



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ARAZİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ
PROJELERİNİN OPTİMİZASYONU VE
EKONOMİKLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Selin ESFENDİYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Selin ESFENDİYAR tarafından hazırlanan “Arazi Güneş Enerjisi Santralleri Projelerinin Optimizasyonu ve Ekonomikliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması 23/09/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Günnur YAVUZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Ali KÖKEN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

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.

İmza

Selin ESFENDİYAR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARAZİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ PROJELERİNİN OPTİMİZASYONU VE EKONOMİKLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Selin ESFENDİYAR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali KÖKEN

2024, 120 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ali KÖKEN
Doç. Dr. Günnur YAVUZ
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER**

Yenilenebilir enerji dönüşümünde öncü bir rol oynayan güneş enerjisi, önemli çevresel ve finansal avantajlar sunmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin etkili ve maliyet etkin bir şekilde tasarımı ve inşası, bu avantajlardan en iyi şekilde yararlanmak için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinin yapısal tasarımı, özellikle hafif çelik ve alüminyum yapıların kullanımı ve finansal analizleri üzerine odaklanmaktadır.

Bursa ili Karacabey ilçesindeki güneş enerjisi potansiyeli örnek alınarak, AISI ve Eurocode standartlarına uygun yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler, malzeme avantajları, tasarım parametreleri, yük kombinasyonları ve maliyet analizlerini içermektedir. Elde edilen bulgular, güneş enerjisi santrallerinin yapısal ve finansal yönlerinin optimize edilmesine yönelik sürdürülebilirlik ve verimlilik artırıcı öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Finansal Analiz ve Maliyet, Hafif Çelik ve Alüminyum Yapılar, , Yapısal Tasarım, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMIZATION AND ECONOMICS OF LAND SOLAR POWER PLANT PROJECTS

Selin ESFENDİYAR

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

Advisor: Prof. Dr. Ali KÖKEN

Year 2024, 120 Pages

Jury

**Advisor Prof. Dr. Ali KÖKEN
Associate Prof. Dr. Günnur YAVUZ
Assistant Prof. Nebi ÖZDÖNER**

Solar energy plays a leading role in the renewable energy transition, offering significant environmental and financial benefits. Effective and cost-efficient design and construction of solar power plants are crucial for maximizing these advantages. This study focuses on the structural design of solar power plants, particularly the use of lightweight steel and aluminum structures, and the financial analysis of their implementation.

Using the solar energy potential of the Karacabey district in Bursa as a case study, structural analyses were performed according to AISI and Eurocode standards. These evaluations included material advantages, design parameters, load combinations, and cost analysis. The findings provide recommendations for optimizing the structural and financial aspects of solar power plants to enhance sustainability and efficiency.

Keywords: Financial Analysis and Cost, Light Steel and Aluminum Structures, Renewable Energy, Structural Design

ÖNSÖZ

Enerji ihtiyacının son yıllarda artmasıyla birlikte, fosil yakıtların bu talebi karşılamada yetersiz kalacağı anlaşılmıştır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmış ve güneş enerjisi, yüksek yatırım ve üretim getirisiyle öne çıkmıştır. Güneş enerjisi, doğaya müdahale etmeden, tamamen doğal yollarla elde edilen temiz bir enerji kaynağı olarak hem konut hem de endüstriyel kullanımda yeşil enerjinin simgesi haline gelmiştir.

Hafif çelik yapılarla güneş enerjisi santrallerinin davranışlarını anlamak ve yorumlamak amacıyla gerçekleştirilen bu araştırma, güneş enerjisinin potansiyelinden en iyi şekilde yararlanmak için yapısal tasarım ve finansal analizlerin önemine dikkat çekmektedir.

Çalışma süresince yardımını ve değerli bilgisini esirgemeyen danışmanım KTÜN Yapı Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ali KÖKEN'e, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta biricik ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Selin ESFENDİYAR
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ	5
3.1. Yenilenebilir Enerji Sistemleri	5
3.1.1. Güneş enerjisi	6
3.1.2. Güneş enerjisi santralleri	9
3.1.3. Çelik Malzemenin Güneş Enerjisi Santrallerindeki Rolü	10
3.1.4. Çelik Malzemenin Fiziksel Özellikleri ve Avantajları	10
3.1.5. Güneş Enerjisi Santrallerinde Çelik Kullanımının Etkileri	12
3.1.6. Güneş Enerjisi Santralleri İçin Optimal Çelik Türleri ve Kalınlıkları.....	12
3.1.7. Dayanıklılık ve Uzun Ömür İçin Çelik Tasarımı Stratejileri.....	12
3.1.8. Panel Montajı İçin Çelik Konstrüksiyonların Tasarımı	13
3.1.9. Çelik Malzemenin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi	13
3.1.10. Yeşil Çelik Alternatifleri ve Uygulamaları.....	14
3.1.11. Hafif çelik yapılar	18
3.1.12. GES kurulumu için dikkat edilmesi gereken hususlar.....	20
3.1.13. Güneş paneli sistemini oluşturan temel donanımlar	21
3.1.14. GES projelerinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	22
3.1.15. GES'in çelik çerçeve yapılarına yönelik tasarım hususları	25
3.2. Uygulama Alanı Özellikleri.....	28
3.2.1. Santral sahasının özellikleri	28
3.2.2. Santral sahasının sosyoekonomik durumu.....	28
3.2.3. Kapasite seçimi	29
3.2.4. Tesisin verimlilik hesabı.....	29
3.2.5. Tesisin yer aldığı bölgenin meteorolojik verileri.....	33
3.2.6. Bursa ili Karacabey ilçesinde güneş enerjisi potansiyeli, bölgenin ihtiyacı ve sosyoekonomik durumları.....	34
3.3. Optimizasyon ve Ekonomik Analiz Yöntemleri.....	36
3.3.1. AISI S100-16 (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members) Kriterleri	36
3.3.1.1. AISI S240	36
3.3.1.2. AISI S400:	37
3.3.2. Eurocode Kriterleri ve Yük Kombinasyonları.....	37
3.3.3. AISI S100-2016 VE EN 1993-1-3 (2006) yönetmeliklerinde verilen kesit şartları	39

3.3.4. Alüminyum Ekstrüzyon Kılavuzu	40
4. MATERİYAL VE YÖNTEM.....	45
4.1. Modelin Bilgisayar Ortamında Malzeme Tanımı	49
4.2. Tasarımda Kullanılan Yönetmelikler.....	49
4.3. Yapının Genel Tanımı	50
4.3.1. Yapının Taşıyıcı Sistemi.....	50
4.3.2. Modele Aks Tanımlama.....	51
4.3.3. Kullanılan Kesitler	52
4.3.4. Mesnet Tanımı	54
4.3.5. Yapıya Etkileyecek Karakteristik Yükler	55
4.3.5.1 Panel yükünün hesaplanması	56
4.3.5.2 Kar yükünün hesaplanması	57
4.3.5.3. Rüzgâr yükünün hesaplanması	59
4.3.5.3. Eşdeğer deprem yükünün hesaplanması	63
4.3.6. Yapının Analizi ve Dizayn Süreçleri	67
4.3.6.1. Yük Kombinasyonları.....	67
4.3.6.2. Yapısal sistemlerin analizi	68
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	90
5.1. Ekonomik Profil Tasarımı	90
5.2. Elverişsiz Yükleme Altında Nokta Deplasman Değerleri (mm)	91
5.3. Yapı ağırlıkları.....	95
5.4. Maliyet analizi	97
5.5. Malzeme ve Model Seçimi	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
6.1. Elde Edilen Sonuçlar	101
6.2. Öneriler	102
KAYNAKLAR	103
EKLER	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

\$: Amerikan Doları

%: Yüzde

Δ : Narinlik Katsayısı

C_e : Maruz Kalma Katsayısı

C_t : Isı Katsayısı

s_k : Dikkate alınan mahaldeki karakteristik zemin kar yükü (kN/m^2)

γ_{kar} : Kar Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)

α : Yatay düzleme göre ölçülen çatı eğimi ($^\circ$)

q_p : Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı

z_e : Dış rüzgâr etkisi için referans yükseklik, iç basınç

c_p : Basınç katsayısı

v_b : Esas rüzgâr hızı

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

c_{dir} : Yön katsayısı

c_{season} : Mevsim katsayısı

c_r : Engebelilik katsayısı

v_m : Ortalama rüzgâr hızı

v_b : Esas rüzgâr hızı

c_o : Orografi katsayısı

c_r : Engebelilik katsayısı

k_r : Arazi katsayısı

z_o : Engebelilik uzunluğu

v_m : Ortalama rüzgâr hızı

k_1 : Türbülans katsayısı

$c_{p,net}$: Net Basınç katsayısı

V_E : (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]

m_t : Bina bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi [t]

$S_{ar}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]

T_p : (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]

I: Bina Önem Katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Kısaltmalar

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi
AC: Alternatif akım
AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AISI: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AHP: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ALS: Kaza Sınırı Durumu
ASD: İzin Verilebilir Stres Tasarımı
ASTM: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi
CO₂: Karbondioksit
CPV: Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik
CSP: Konsantre Güneş Enerjisi
DRI: Doğrudan İndirgenmiş Demir
ESO: Evrimsel Yapı Eniyilemesi
ERR: Eleman Kaldırma Oranı
EJ: Exa Joule
FEA: Sonlu Elemanlar Analizi
GES: Güneş Enerji Santrali
GEPA: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
HSLA: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelik
IEA: Uluslararası Enerji Ajansı
LFRD: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
MOE: Erimiş Oksit Elektrolizi
MW: Mega-Watt

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Turnow-Preilack güneş enerji santrali (GİRGİN, 2011)	9
Şekil 3.2. Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistemlerine yönelik bazı tasarım örnekleri (Özkal ve Küçük).....	16
Şekil 3.3. Örnek güneş paneli montaj yapısı (GİRGİN, 2011).....	17
Şekil 3.4. Hafif çelik güneş enerji santrali (Akzemin Mühendislik A.Ş., 2020)	22
Şekil 3.5. Fotovoltaik modül (Solar Magazam, 2019).....	23
Şekil 3.6. Polikristal ve monokristal güneş panelleri (GİRGİN, 2011).....	26
Şekil 3.7. Monokristal silikon hücrelerden yapılmış güneş paneli (Minas Enerji, tarih yok).....	26
Şekil 3.8. Bursa Fiziki Haritası (Harita Genel Müdürlüğü, tarih yok)	28
Şekil 3.9. Şebekeye bağlı PV'nin performansı.....	31
Şekil 3.10. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (25° Sonuçlar).....	31
Şekil 3.11. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (30° Sonuçlar).....	31
Şekil 3.12. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (35° Sonuçlar).....	32
Şekil 3.13. Açığa göre enerjideki değişim eğrisi	32
Şekil 3.14. Bursa sıcaklık dağılımı	33
Şekil 3.15. Bursa yağış miktarı	34
Şekil 3.16. Bursa GEPA (Saka & Kaynaklı, Bursa'da Bulunan Şebeke Bağlantılı Bir Pv Güç Santralinin Günlük Elektrik Üretimi, 2018).....	35
Şekil 3.17. Dairesel Olmayan Deliklere Sahip Düzgün Sıkıştırılmış Takviyeli Elemanlar (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Strucural Members, 2007)	40
Şekil 3.18. Tasarım Avantajları (1-3) (Aluminum Extruders Council, 2013).....	43
Şekil 3.19. Tasarım Avantajları (4-6) (Aluminum Extruders Council, 2013).....	43
Şekil 4.1. Optimizasyon işlemi için başlangıç tasarımları	46
Şekil 4.2. 30° sistemler	46
Şekil 4.3. Hafif çelik tasarlanan 3 modelin plan kesit ve görünüşleri	47
Şekil 4.4. Alüminyum tasarlanan 3 modelin plan, kesit ve görünüşleri	48
Şekil 4.5. SAP2000 Malzeme tanımı.....	49
Şekil 4.6. Yapının Taşıyıcı Sistemi	51
Şekil 4.7. Yapının SAP2000 aks bilgileri	52
Şekil 4.8. Yapının SAP2000 kullanılan kolon profili bilgisi.....	52
Şekil 4.9. Yapının SAP2000 kullanılan kiriş profili bilgisi.....	53
Şekil 4.10. Yapının SAP2000 kullanılan aşıkların profili bilgisi.....	53
Şekil 4.11. Yapının SAP2000 kullanılan diyagonal profili bilgisi	53
Şekil 4.12. Yapının SAP2000 serbestlik görüntüsü.....	54
Şekil 4.13. Yapının SAP2000 serbestlik bilgileri	55
Şekil 4.14. SAP2000 Panel yükü etkisi	56
Şekil 4.15. SAP2000 kar yükü etkisi	58
Şekil 4.16. Rüzgâr yükünün yönleri ve taşıyıcı sistem doğrultusunda dağılımı.....	62
Şekil 4.17. SAP2000 rüzgâr yükleri etkisi.....	63
Şekil 4.18. Bursa Karacabey ilçesi deprem verileri.....	64
Şekil 4.19. Kesitlerin kullanım oranına bağlı belirtilen renk skalası.....	69
Şekil 4.20. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-CF-25-EU).....	69
Şekil 4.21. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-CF-25-EU).....	70
Şekil 4.22. Kesme kuvveti diyagramı (N1-CF-25-EU)	70
Şekil 4.23. Moment diyagramı (N1-CF-25-EU).....	71
Şekil 4.24. Yapılan analiz neticesinde kolon hesabı (N1-CF-25-EU).....	71

Şekil 4.25. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-CF-25-EU).....	72
Şekil 4.26. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-CF-25-EU).....	73
Şekil 4.27. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-CF-25-EU).....	74
Şekil 4.28. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-CF-25-AISI)	75
Şekil 4.29. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-CF-25-AISI)	75
Şekil 4.30. Kesme kuvveti diyagramı (N1-CF-25-AISI).....	76
Şekil 4.31. Moment diyagramı (N1-CF-25-AISI)	76
Şekil 4.32. Yapılan analiz neticesinde kolon hesabı (N1-CF-25-AISI)	77
Şekil 4.33. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-CF-25-AISI)	78
Şekil 4.34. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-CF-25-AISI)	79
Şekil 4.35. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-CF-25-AISI)	80
Şekil 4.36. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-AL-25-AA2020).....	81
Şekil 4.37. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-AL-25-AA2020).....	81
Şekil 4.38. Kesme kuvveti diyagramı (N1-AL-25-AA2020)	82
Şekil 4.39. Moment diyagramı (N1-AL-25-AA2020).....	82
Şekil 4.40. Yapılan analiz neticesinde kolon hesabı (N1-AL-25-AA2020)	83
Şekil 4.41. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-AL-25-AA2020)	84
Şekil 4.42. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-AL-25-AA2020).....	85
Şekil 4.43. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-AL-25-AA2020).....	86
Şekil 4.44. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-AL-25-EU)	87
Şekil 4.45. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-AL-25-EU)	87
Şekil 4.46. Kesme kuvveti diyagramı (N1-AL-25-EU).....	88
Şekil 4.47. Moment diyagramı (N1-AL-25-EU)	88
Şekil 4.48. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-AL-25-EU)	89

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Potansiyeli (Republic Of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources ,2023)	8
Çizelge 3.2. Türkiye'nin Bölgelere Göre Toplam Yıllık Güneş Enerjisi Dağıtım Potansiyeli (Republic Of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023).....	8
Çizelge 3.3. Fotovoltaik panelin mekanik özellikleri (Sadri, ve diğerleri, 2017).....	24
Çizelge 3.4. Bursa ekonomisi	29
Çizelge 4.1. Cold Formed -Malzeme Bilgisi	49
Çizelge 4.2. Aluminum Data-Malzeme Bilgisi	49
Çizelge 4.3. Yapının taşıyıcı sisteminin eleman bilgisi.....	51
Çizelge 4.4. Joint kısıtlama atamaları	54
Çizelge 4.5. Zati kar yükü bölgesi	57
Çizelge 4.6. Karakteristik zemin kar yükü değerleri	57
Çizelge 4.7. Kar yükü şekil katsayıları	58
Çizelge 4.8. Farklı yüklemeler altındaki konstrüksiyon ağırlıkları	66
Çizelge 5.1. Model isimlendirmeleri	90
Çizelge 5.2. Model isimlendirmeleri (devamı)	91
Çizelge 5.3. Nokta deplasman değerleri (mm)	91
Çizelge 5.4. Nokta deplasman değerleri (mm) (devamı).....	92
Çizelge 5.5. Modellerin yapı ağırlıkları.....	95
Çizelge 5.6. Modellerin maliyet analizi.....	97
Çizelge 5.7. Modellerin maliyet analizi (devamı)	98
Çizelge 5.8. Modellerin puanlandırılması.....	100

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının verimli kullanımı, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye verdiği zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi temiz ve sınırsız bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kavramı, dünyada ve Türkiye’deki yenilenebilir enerji kullanımının dağılımı, güneş enerjisi ve Türkiye’de güneş enerjisi kullanımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, Bursa ili Karacabey ilçesinin güneş enerjisi potansiyeli, bölgenin sosyoekonomik durumları ve bu potansiyelin değerlendirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Güneş enerjisi santralleri, inşaat yönetimi, proje planlaması, zemin etüdü ve arazi hazırlığı gibi önemli aşamaları içerir. Ek olarak, güneş enerjisi santrallerinin ekonomik analizleri, çevresel kazançlar ve enerji düzenlemeleri gibi konular kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji teknolojilerinin inşaat projelerinde kullanımı, proje maliyet kontrolü ve çevresel etki değerlendirmesi gibi konular detaylandırılmış, enerji yönetmelikleri, kalite standartları ve denetim süreçleri de incelenmiştir.

Hafif çelik yapılar, özellikle güneş enerjisi santrallerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında G.E.S. yapılarıyla ilgili tarihçe, kullanım alanları ve tasarım hususları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Güneş enerjisi santrallerinde çelik çerçeve yapıların tasarımı, yüklerin belirlenmesi ve yapısal analiz gibi konular üzerinde durulmuştur. Ayrıca, güneş enerjisi santrali projelerinin tanıtımı, santral sahasının özellikleri ve tesisle ilgili bilgilerin detaylı bir şekilde sunulması hedeflenmiştir. Çelik malzemenin güneş enerjisi santrallerindeki kullanımı, fiziksel özellikleri ve avantajları ele alınmış; ayrıca, çelik malzemenin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi ve yeşil çelik alternatifleri de incelenmiştir. Tezin kapsamı çerçevesinde, örnek bir güneş enerjisi santral yapısının statik modeli bilgisayar ortamında analiz edilmiş, malzeme tanımları ve kullanılan standartlar detaylandırılmıştır. Yük analizleri ve ekonomik profil tasarımı gibi konular derinlemesine irdelenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun yapı modelinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, güneş enerjisi santralleri için taşıyıcı sistemlerin tasarımı, performans analizleri, karşılaşılan problemler, uygulama süreçleri ve bu alanlarda yapılmış çeşitli vaka çalışmaları incelenmiştir. Her bir çalışma, güneş enerjisi santrallerinin tasarım, montaj ve operasyon süreçlerinde karşılaşılan zorlukları ve elde edilen sonuçları ele almıştır.

Öztürk (2014) çalışmasında, hafif çelik profiller ile inşa edilen yapıların tanıtımını yaptıktan sonra, bu profillerle oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde merkezi yükleme deneyleri gerçekleştirmiştir. Soğuk şekillendirilmiş hafif çelik profiller ile oluşturulan çok parçalı kolonlar üzerinde yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen bulgular detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, tepe birleşim bölgesi davranışının birleşim levhası elemanlarında oluşan yerel burkulmalar ve delik geometrilerinin bozulmasına bağlı olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, yerel burkulmaların eş zamanlı olarak başladığı modeller yerine, profiller arası mesafenin en az, gövde levhasının berkitmeli olarak ve üst başlığın dudaklı olduğu tasarımlar daha verimli sonuçlar vermiştir.

Özkal & Küçük (2017) çalışmasında, güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı ele alınmıştır. Bu çalışma, panel taşıyıcı sistemlerin kar, rüzgâr ve modal yükleme gibi çoklu yükleme durumlarına maruz kaldığını varsayarak bir topoloji eniyilemesi algoritması geliştirmiştir. Üç ayrı başlangıç tasarımı kullanılarak en uygun taşıyıcı sistem tasarımı aranmıştır. Sonuç olarak, malzemenin daha verimli kullanıldığı tasarımlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, taşıyıcı sistem tasarımlarında malzeme verimliliğini artırmak için önemli bir temel sağlamaktadır.

Genç (2018) çalışmasında, güneş paneli taşıyıcı sistem tipleri ve bu sistemlere etki eden deprem, kar ve rüzgâr gibi dış yükler incelenmiştir. Çalışma ayrıca uygulama sırasında sık karşılaşılan problemleri ve hataları ele almış, tesislerin fen ve sanat kaidelerine uygun olarak nasıl inşa edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışma, güneş enerjisi santrallerinin tasarımında dikkate alınması gereken temel mühendislik

prensiplerini ortaya koyarak, doğru ve güvenilir bir inşaat süreci için rehberlik sağlamaktadır.

Güneş & Çeribaşı (2018) çalışmasında, Türkiye'deki soğuk büküm hafif çelik yapılarla ilgili olarak kesit, kapasite, tasarım, üretim ve montaj kontrollerinin yetersiz olduğu vurgulanmıştır. Mevcut piyasa şartlarında bir yönetmelik olmaması, tasarım ve üretim süreçlerinde farklı firmalar arasında büyük farklılıklar doğurmakta ve bu durumun olumsuz etkileri üzerinde durulmuştur. Çalışma, yurtiçi ve yurtdışı yönetmeliklerin incelemelerinin karşılaştırılması sonucunda, Türkiye'de oluşturulması gereken hafif çelik yönetmeliği için önerilerde bulunmuştur.

Bir diğer çalışmada, (Doğan, 2019) güneş enerjisi santrallerinde kullanılan sehpa sistemlerinin performans üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çatı tipi ve arazi uygulamalı güneş enerjisi santralleri üzerinden yapılan analizlerde, çeşitli açısall ve geometrik farklılıkların enerji üretimine etkileri detaylandırılmıştır. Bu tür analizler, güneş enerjisi santrallerinin verimliliğini artırmak için kritik önem taşımaktadır.

Taco John's, Amerika Birleşik Devletleri'nde bir güneş enerjisi santrali kurarak, restoranın enerji maliyetlerini düşürmeyi başarmıştır. Bu santral, restoranın elektrik ihtiyacının %65'ini karşılayarak, uzun vadede önemli maliyet tasarrufları sağlamıştır. Ayrıca, bu yatırım sayesinde büyük miktarda karbon salınımı önlenmiştir. Bu vaka çalışması, güneş enerjisi santrallerinin ticari tesislerde nasıl başarılı bir şekilde entegre edilebileceğini göstermektedir.

Steffensmeier Welding & Manufacturing firması, 2016 yılında tamamladığı güneş enerjisi santrali ile aylık enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar elde etmiştir. Şirketin tamamen güneş enerjisi ile çalışan bir tesise dönüşmesi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük bir başarı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalarda güneş enerjisi kullanımının potansiyel faydalarını ortaya koymaktadır.

Drake Üniversitesi, kampüsünde kurduğu güneş enerjisi sistemi ile karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmış ve üniversitenin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunmuştur. Bu vaka çalışması, eğitim kurumlarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için güneş enerjisi kullanımını nasıl etkin bir şekilde entegre edebileceğini göstermektedir.

Bu örnek çalışmalar, güneş enerjisi santrallerinin tasarımı, montajı ve operasyon süreçlerinde elde edilen başarılar ve karşılaşılan zorluklar hakkında geniş bir perspektif sunmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin performansını artırmak ve maliyet etkinliğini sağlamak için doğru tasarım ve mühendislik uygulamalarının ne kadar kritik olduğu bu çalışmalarla ortaya konulmuştur.



3. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ

Bu bölümde, arazi güneş enerjisi santralleri (GES) için geliştirilen hafif çelik tasarımıyla ilgili 24 adet sistem modelinin oluşturulma süreci ve bu modellerin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Araştırmanın amacı, hafif çelik tasarımının GES projelerindeki verimliliğini ve uygunluğunu belirlemek için çeşitli modelleme ve analiz tekniklerini uygulamaktır. Güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaştığı göz önünde bulundurularak, bu çalışmada güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistemlerine yönelik bir tasarım yaklaşımı sergilenmiştir.

İlk olarak, araştırmanın dayandığı temel malzemeler ve tasarım parametreleri tanımlanmıştır. Ardından, modelleme süreci ve kullanılan yazılım araçları, model doğrulama yöntemleri ve simülasyon süreçleri detaylandırıldı. Son olarak, elde edilen verilerin analizi için kullanılan istatistiksel yöntemler ve değerlendirme kriterleri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3.1. Yenilenebilir Enerji Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynağı, "doğanın kendi evrimi içinde ertesi gün de aynen mevcut olabilen" enerjidir. Doğal kaynaklardan elde edilebilen ve insan-zaman ölçeğinde doğal olarak yenilenen kaynaklardan elde edilebilen bu enerji türünün doğaya ve canlılara sağladığı fayda daima yadsınamaz seviyede olmuştur. Fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan yenilenebilir enerji kaynakları, çevreye sera gazı emisyonu yaymayan, doğada her zaman mevcut olan ve uzun vadede verimli olan enerjilerdir. Güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, hidrojen, hidroelektrik, dalgalar, gelgitler ve jeotermal enerji başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli var olmaları, karbon salınımını en aza indirerek çevreyi etkilememeleri, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları olmaları nedeniyle çevre dostudur. Bu noktada Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) "Enerji Raporu "nu hazırladı: 2050 yılında %100 Yenilenebilir Enerji" raporunu hazırlamış ve bu raporda yenilenebilir enerjinin 2050 yılına kadar dünya enerji arzının tamamını sağlayabileceği vurgulanmıştır. (YILMAZ ve ÖZİÇ, 2018)

Günümüzde artan enerji talebinin büyük bir kısmı maalesef halen yüksek miktarda hidrokarbon içeren fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu durum hava kirliliği ve küresel ısınma gibi birçok çevresel probleme yol açmaktadır. Bu sorunlar

karşısında tüm dünya gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına ağırlık vermektedir.

3.1.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, kullanılan en eski enerji kaynağı olup insanoğlunun ve canlılığın varlığını sürdürebilmesinde kuşkusuz en önemli rolü üstlenmektedir. En temel şekilde örnek verilecek olursa; fotosentez ve su döngüsü gibi hayati olaylar güneş enerjisi etkisiyle oluşmaktadır. Güneş enerjisinin ilk kullanımı ise besinlerin kurutulması muhafaza edilmesi olarak bilinmektedir (Kalogirou, 2004). Bunu takiben insanoğlu tarih boyunca güneş enerjisinden nasıl faydalanacağını araştırarak öğrenmiş ve bu bilgisini daima geliştirmiştir. Söz konusu gelişimler kısaca; güneş enerjisinin sıcak su üretimi, ısıtma, soğutma, kurutma, arıtma ve elektrik üretimi şeklinde sıralanabilecektir.

Güneş enerjisi temel olarak iki amaç için kullanılabilir. Bu amaçlardan ilki güneş enerjisini kullanarak ısı eldesi, ikincisi ise güneş enerjisini kullanarak elektrik eldesi olarak belirtilebilir. Bu iki amaç için farklı teknolojiler kullanılmakta ve günden güne bu teknolojilerin verimlilikleri artmaktadır.

Güneş enerjisinin termal veya elektrik enerjisine dönüştürülmesi güneş enerjisinin kullanım kavramını oluşturmaktadır. Güneş enerjisi en bol ve temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu bağlamda Güneş enerjisinin kullanım oranını hızlı bir şekilde arttırmaya yönelik fikirler de gün geçtikçe daha çok ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin yatırımcılara daha cazip ve kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla enerji dışındaki diğer mühendislik alanlarının da ilgili araştırmalara katkı sağlamaları gerekmektedir.

Güneş enerjisi teknolojisi bu enerjiyi elektrik üretmek, ışık veya sıcak bir iç mekân atmosferi sağlamak ve evsel, ticari veya endüstriyel kullanım için su ısıtmak için kullanılabilir.

Güneş enerjisinden üç şekilde faydalanabilmek mümkündür. Fotovoltaikler, (güneş hücreleri ya da güneş panelleri sayesinde Güneş'ten elektrik elde etme yöntemi, teknolojisi) doğrudan güneş ışığından elektrik üretmek için elektronik bir yöntem kullanır ve hesap makineleri ve trafik işaretleri gibi küçük elektronik cihazlardan konutlara ve büyük ticari kuruluşlara kadar her şeye güç sağlamak için kullanılmaktadır. Güneş enerjili ısıtma ve soğutma (SHC) sistemleri, güneş enerjisini doğru şekilde kullanarak bir binanın ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılama prensibine göre çalışmaktadır. SHC sistemleri, çoğunlukla aktif veya pasif sistemler olarak

sınıflandırılmaktadır. Bu sistemlerde, genellikle güneş enerjisini toplayan ve bir ısı transfer sıvısını ısıtan güneş kolektörleri kullanır.

Konsantre güneş enerjisi (CSP) sistemler, güneş ışığını büyük aynalar kullanarak tek bir noktaya odaklarlar. Bu yoğunlaştırılmış ışık, bir ısı transfer sıvısını ısıtarak ısı enerjisine dönüştürülür. Bu ısı daha sonra bir buhar türbini aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. CSP sistemleri, genellikle büyük ölçekli güneş enerjisi projelerinde kullanılmaktadır. CSP teknolojisi, parabolik trough, lineer Fresnel reflektörleri, kule ve disk olmak üzere çeşitli şekillerde bulunabilir.

Güneş enerjisi, özellikle uyarlanabilir bir enerji teknolojisidir: dağıtılmış üretim (kullanım noktasına veya yakınına yerleştirilen) veya şebeke ölçeğinde, merkezi istasyon güneş enerjisi santrali (mevcut enerji santrallerine benzer) olarak üretilebilir. En gelişmiş güneş + depolama teknolojileri kullanılarak, bu tekniklerin her ikisi de güneş battığında dağıtım için ürettikleri enerjiyi depolayabilir (Solar energy, n.d.).

3.1.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Güneşten üretilebilecek enerji potansiyeli yaklaşık 380 milyar kWh'dir. Türkiye'nin brüt solar enerji teknik potansiyeli 87,5 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) büyüklüğündedir. Bu değerin 26,5'i termal kullanıma, 8,75'i ise elektrik üretimine uygundur.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritasına (SEM) göre;

- Yıllık Ortalama Güneşlenme Süresi = 2766,5 saat/yıl
- Ortalama Günlük Toplam Güneşlenme Süresi = 7,58 saat/gün
- Yıllık Ortalama Radyasyon Yoğunluğu = 1527,1 kWh/m².yıl
- Ortalama Günlük Radyasyon Yoğunluğu = 4,18 kWh/m².gün

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve aylara göre güneşlenme süresi değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Potansiyeli (Republic Of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources ,2023)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	Saat/ay
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Ortalama	308 cal/cm²-gün	3.6 kWh/m².gün	7.2 saat/gün

Ülkemizin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin coğrafi bölgelere göre dağılımı Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin Bölgelere Göre Toplam Yıllık Güneş Enerjisi Dağıtım Potansiyeli (Republic Of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, 2023)

Bölge	Toplam Enerji (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

3.1.2. Güneş enerjisi santralleri

Sanayi devrimi ile birlikte günden güne artan enerji talebi, dünya üzerindeki fosil kaynakların hızla tükenmesine sebebiyet vermektedir. Konvansiyonel enerji kaynaklarına ulaşım sorunları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını öne çıkarmış ve çevresel sorunlar da bu enerji kaynaklarının kullanımının tercihinde rol oynamıştır. Ancak, günümüzde, çevresel zorunluluktan öte, ülkelerin kendi enerji taleplerini karşılamak için geliştirdikleri stratejiler bağlamında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek daha çok önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, son yıllarda tüm dünya ülkeleri enerji bağımsızlıklarını sağlayabilmek için enerji üretim oranları arasında yenilenebilir enerjinin payını arttırmaya çalışmaktadır. Güneş enerjisi santralleri ise temiz, yerel ve yenilenebilir özellikleriyle günümüzde giderek önem kazanan enerji üretim tesislerinden biri durumundadır.



Şekil 3.1. Turnow-Preilack güneş enerjisi santrali (GİRGİN, 2011)

Bu bağlamda, ileri bir güneş enerjisi üretim tesisi fotovoltaiik bir ilkeye dayalı olarak çalışan panelleri içeren tesisler olmaktadır. Güneş enerjisi santralleri, PV (fotovoltaiik) tipi ve termik elektrik tipi olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.2.1. Güneş enerjisi santrali projelerinin inşaat yönetimi

Güneş enerjisi santrali tesislerinin inşası için belirli bir onay süreci gereklidir. Bu süreç şu adımlardan oluşur:

1. Proje Önerisi: Proje önerisi yerel, bölgesel veya ulusal yetkililer tarafından değerlendirilir; ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik analizler yapılır.
2. Çevresel Değerlendirme: Çevresel etki değerlendirme raporu hazırlanarak projenin çevre üzerindeki etkileri ve önleyici önlemler belirlenir.
3. Yer Seçimi: Projeye uygun bir yer seçilerek çevresel etkiler minimize edilmeye çalışılır.
4. Planlama ve İnşaat İzni: Proje planı yerel planlama kurulu tarafından incelenir ve bina kodlarına uygunluk sağlanarak inşaat izni alınır.
5. İşletme İzni: İnşaat tamamlandıktan sonra santralin güvenli ve verimli bir şekilde işletilmesi için işletme izni alınır.

Bu adımlar, güneş enerjisi santrallerinin çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir şekilde inşa edilmesini sağlar. Proje geliştiricilerin yerel düzenlemelere uyması ve çevresel etkileri minimize etmesi önemlidir. Süreleri dikkate alarak planlama yapmak ve yetkililerle iş birliği yapmak, yatırım fırsatlarını kaybetmemek için kritik öneme sahiptir (MapperX, 2024).

3.1.3. Çelik Malzemenin Güneş Enerjisi Santrallerindeki Rolü

Güneş enerjisi santrallerinde çelik, dayanıklılık ve esneklik sağlayarak panellerin güvenle monte edilmesini sağlar. Çelik yapılar, panelleri rüzgar, kar ve sismik yükler gibi dış etkenlere karşı korur. Galvanizleme ve paslanmaz çelik gibi kaplamalarla korozyon direnci artırılarak, santralin ömrü uzatılır.

Çelik, maliyet etkinliği ve kolay montaj imkanı sunarak projelerde hız kazandırır. Ayrıca, modüler yapılar sayesinde santrallerin genişletilmesine olanak tanır. Yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olması da sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Güneş takip sistemlerinde de çelik kullanılarak, panellerin güneşi takip etmesi ve enerji verimliliği artırılır.

3.1.4. Çelik Malzemenin Fiziksel Özellikleri ve Avantajları

Çelik, demir ve karbonun belirli oranda karıştırılmasıyla elde edilir; Karbon içeriği toplam ağırlığın %0,2 ila %2,14'ü arasında değişebilir. Çelik üretiminde karbonun yanı sıra krom, manganez, vanadyum ve tungsten de kullanılan alaşım malzemeleridir. Bu malzemelerden karbon en uygun maliyetli elementtir. Ve herhangi bir alaşım çeliğin mekanik özelliklerini değiştirmeye yardımcı olur.

- Bir alaşımın fiziksel özellikleri, bileşen elementlerin yüzde bileşimine ve üretim sürecine bağlıdır. Çeliğin özellikleri, bileşenleri olan demir ve karbondan

tamamen farklıdır. En önemli özelliklerinden biri, su veya yağa maruz kaldıktan sonra aşırı sıcak bir sıcaklıktan hızla soğuma yeteneğidir.

- Çeliğin fiziksel özellikleri arasında yüksek mukavemet, hafiflik, mukavemet, dayanıklılık ve korozyon direnci yer alır. Hepimizin bildiği gibi çelik, hafif olmasına rağmen büyük bir dayanım sunar. Aslında çelik, diğer mevcut yapı malzemelerinden daha düşük bir mukavemet/ağırlık oranına sahiptir. Süneklik terimi, çeliğin kolayca istenilen şekle getirilebilmesi anlamına gelir.
- Bileşen element demirden farklı olarak çelik, nem ve suya maruz kaldığında kolayca korozyona uğramaz. Çeliğin boyutsal kararlılığı istenen bir özelliktir; uzun yıllar sonra veya aşırı çevre koşullarına maruz kaldıktan sonra bile çeliğin boyutunun değişmediği görülmüştür.
- Galvanizli çelik ve paslanmaz çelik (korozyona dayanıklı çelik) gibi başka çelik türleri de vardır. Galvanizli çelik korozyondan korumak için çinko ile kaplanırken, paslanmaz çelik bileşiminde yaklaşık yüzde 10 krom içerir.
- Çelik kaliteleri, metalin bileşimine ve fiziksel özelliklerine göre birçok standart kuruluş tarafından sınıflandırılır. Çelik kalitesi için belirleyici faktör temel olarak kimyasal bileşimi ve tedarik koşuludur.

Çeliğin en büyük avantajı, geri dönüşüm sürecinde fiziksel özelliklerinden herhangi birini yok etmeden veya kaybetmeden etkili bir şekilde geri dönüştürülebilmesidir. Çelik, en çok yönlü ve sürdürülebilir yapı malzemelerinden biridir.

Yapısal çerçeveleri üretmek için kullanılan çeliğin belirli özelliklere sahip olması gerekir. Çelik malzemenin, tesis sahasındaki hava basıncına dayanabilecek yeterli yüksek mukavemete sahip olması gerekir. Yapısal çelik normalde yeterli mukavemete ve kırılmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Soğukken bile oldukça sünektir. Yüksek çekme mukavemetine ve darbe mukavemetine sahiptir. Yapısal çelikten yapılan yapının kesme mukavemeti, kesme gerilmesinden dolayı yapının kırılma olasılığı nedeniyle önemli bir faktördür. Yapısal çelik, yapının kırılmasına karşı koyacak kesme mukavemetine de sahiptir. Ayrıca yapısal çelik, güneş enerjisi santralinin yapısının inşası için gerekli sertliğe sahiptir. Yapısal çelik, doğasında bulunan esneklik sayesinde kolaylıkla işlenebilir ve şekillendirilebilir. Karbürleme ile sertleştirilebilir, bu da onu güneş enerjisi santralinin destek yapısını üretmek için ideal bir malzeme haline getirir. Yapısal çelik ayrıca kaynaklanabilir ve farklı kaynak işlemlerinden herhangi biri

kullanılarak kaynak yapılabilir. Yapısal çeliğin bir diğer avantajı da kolayca temin edilebilmesidir (IspatGuru, 2022).

3.1.5. Güneş Enerjisi Santrallerinde Çelik Kullanımının Etkileri

Güneş enerjisi santralleri (i) güneş Fotovoltaik (PV), (ii) konsantre güneş enerjisi (CSP) ve (iii) yoğunlaştırıcı Fotovoltaik (CPV) olmak üzere üç teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin tümü, PV modüllerinin veya aynaların takıldığı yapıda çelik kullanır (IspatGuru, 2022).

Çalışmalar, güneş alanının (güneş kolektörleri ve alıcıları) ve termal enerji depolamasının bir güneş termal tesisinde en fazla çevresel etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Bunun nedeni aynaları desteklemek için kullanılan büyük miktarda çelik, termal depolama tanklarını inşa etmek için kullanılan önemli miktarda çelik, alüminyum ve betonun yanı sıra erimiş tuz üretimidir (Gobio-Thomas, Darwish, & Stojceska, 2023).

3.1.6. Güneş Enerjisi Santralleri İçin Optimal Çelik Türleri ve Kalınlıkları

Çelik destek yapısının imalatı için yüksek mukavemetli çelik ve paslanmaz çelik kullanılabilir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelik, hafiflik, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, dayanıklılık, iyi şekillendirilebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik gibi özellikleri nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır (IspatGuru, 2022).

PV güneş paneli montaj metalik yapısı, gerektiğinde 12 Gauge kalınlığında, zemin seviyesinden 6 inç yukarıda beton taban üzerine monte edilmiş sabit montaj L2 veya L3 yapısı olmalıdır. Eğim açısı yıl boyunca uzlaşmaya ayarlanmalıdır.

3.1.7. Dayanıklılık ve Uzun Ömür İçin Çelik Tasarımı Stratejileri

Yapısal çelik çerçeveler genellikle güneş panellerini yerden belirli bir yükseklikte desteklemek için kullanılır. Yapısal çelik destek yapısı saniyede 55 metre rüzgâr yüküne dayanabilmektedir. Güçlü çelik, sürdürülebilir güneş enerjisinin temelidir. Uzun vadeli bir güneş enerjisi sistemi için korozyon direnci çok önemlidir. Güneş paneli ve çerçeve yapısı kurulduktan sonra elektrik üretimini azaltabilecek dış kuvvetlere maruz kalırlar.

Güneş enerjisi santralının destek yapısının, dış kuvvet uygulandığında deformasyona direnmek için sertliğe sahip olması gerekir. Güneş enerjisi santrali sahasındaki rüzgarın hızı panellere büyük miktarda kuvvet uygular ve onları saptırmaya veya destek yapısından ayırmaya çalışır. Bu nedenle, destek yapısı için oldukça sert bir malzemeye ihtiyaç vardır. Yapısal çeliğin sertliği, onu destek yapısı için uygun hale getirir. Destek

yapıları dizisinin çerçeveleri ve ayak tertibatları sıcak daldırma galvanizli yapısal çelikten yapılmıştır. Yapısal çerçeve için kullanılan çelik bölümler normalde açılar, kanallar, 'I' veya 'H' kirişler, borular veya borular veya tasarım kriterlerini karşılamak için çelik yapı için ulusal standartlara uygun diğer bölümlerdir. Rüzgâra, suya ve tuza karşı dayanıklı olması için yapısal çeliğin boyanması veya kaplanması gerekir, bu da korozyon direncini büyük ölçüde artırır. Korozyona karşı koruma, bir güneş enerjisi santralinin taşıyıcı yapılarının en önemli kriterlerinden biridir. Korozyon, malzemenin mukavemetini yok eder ve destekleyici yapıları zayıflatarak bunların çökmesine neden olur. Kromat kaplamalı (galvanizli) galvanizli çelik genellikle çelik yapıları korozyona karşı korumak için kullanılır. Son zamanlarda çeliğin kaplanması için magnezyum ve alüminyum kaplama ile çinko, magnezyum ve alüminyum kaplama malzemesi geliştirilmiştir. Bu kaplamalar 5-10 kat daha iyi korozyon direnci sunar. (Use of Steel in the Generation of Solar and Wind Power, 2022)

3.1.8. Panel Montajı İçin Çelik Konstrüksiyonların Tasarımı

Güneş panellerinin destekleyici yapılara doğru montajı güneş enerjisi santralinin performansını belirler. Güneş paneli destek yapılarında iki farklı tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar sabit destek yapısı ve ayarlanabilir destek yapısıdır. Rüzgâr yükü, rüzgâr tüneli etkisinden dolayı güneş panellerini etkilemektedir. Bu rüzgâr yükü ve güneş panellerinin ağırlığı, yapısal deformasyonlara ve güneş ışınımının bozulmasına neden olabilir. Ek olarak destek yapısı, genellikle bölgenin karakteristik özelliği olan sismik yüke dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Yapının sağlamlığı önemlidir. Bu nedenle güneş enerjisi santrallerinin güneş panellerini destekleyecek şekilde iyi tasarlanmış ve güvenilir yapılara ihtiyacı vardır (IspatGuru, 2022).

3.1.9. Çelik Malzemenin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Güneş enerjisi inşaat sektörüne çeşitli faydalar sağlayarak sürdürülebilir kalkınma için cazip bir seçenek haline gelmektedir.

- Azaltılmış Karbon Ayak İzi: Güneş enerjisi, işletme sırasında sıfır sera gazı emisyonu üreten temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. İnşaat projeleri, güneş enerjisinden yararlanarak karbon ayak izlerini önemli ölçüde azaltabilir ve daha yeşil bir geleceğe katkıda bulunabilir.
- Enerji Maliyeti Tasarrufu: Güneş panelleri güneş ışığını enerjiye dönüştürerek elektrik üretir. İnşaat projeleri güneş enerjisinden faydalanarak fosil yakıtlara

olan bağımlılıklarını azaltabilir ve uzun vadede enerji maliyetlerinden tasarruf edebilirler.

- **Güvenilirlik ve Dayanıklılık:** Güneş panelleri zorlu hava koşullarına dayanacak ve uzun ömürlü olacak şekilde üretilmiştir. Minimum bakım gereksinimi ile güneş enerjisi sistemleri, inşaat projeleri için güvenilir ve dayanıklı bir elektrik kaynağı sağlar.
- **Ölçeklenebilirlik:** Güneş enerjisi sistemleri, inşaat projelerinin enerji ihtiyaçlarına bağlı olarak kolayca yukarı veya aşağı ölçeklendirilebilir. Bu esneklik, özelleştirilmiş çözümlere olanak tanıyarak optimum enerji çıkışı ve verimlilik sağlar.

3.4.8. Yeşil Çelik Alternatifleri ve Uygulamaları

Küresel iklim politikası nedeniyle çeliğe olan talebin giderek artması ve kurumsal karbondioksit emisyonlarının azaltılması, önümüzdeki onyıllar için çelik üretimine ilişkin halihazırda yüksek olan tahminlere katkıda bulunacaktır. Pandemiye, jeopolitik çalkantılara ve ekonomik durgunluğa rağmen küresel çelik talebinin 2050 yılına kadar üçte birden fazla artması bekleniyor. Küresel sıcaklıkları Paris Anlaşması'nda belirlenen 1.5 derece hedefinin altında tutabilmek için çelik endüstrisinin emisyonlarını yüzde 90 oranında azaltması gerekiyor.

Büyük ilgi gören bir yeşil çelik teknolojisi, demir üretmek için indirgeyici olarak fosil yakıt gazı yerine yeşil hidrojen kullanan ve daha sonra yenilenebilir elektrikle çalışan bir elektrik ark ocağında (EAF) çeliğe dönüştürülen doğrudan indirgenmiş demir (DRI) yöntemini kullanır.

Erimiş oksit elektrolizi (MOE), yeşil hidrojen altyapısının inşasına bağlı olmayan ve yüksek fırınlarda üretilen çeliğin %70'ni işlemeyi vaat eden alternatif bir yeşil çelik yaklaşımıdır. Teknoloji, demir cevheri bağlarını ayırmak ve sıvı metal üretmek için yenilenebilir enerji elektrolizini kullanıyor ve süreçte yalnızca oksijen açığa çıkarıyor. Basitleştirilmiş yöntem aynı zamanda düşük ve orta dereceli demir cevheri tozlarıyla da çalışır ve geleneksel çelik üretimindeki birçok adımı ortadan kaldırır. Yeşil çelik çözümlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcudiyetine bağlı olduğu bilinmektedir. Hem MOE hem de hidrojen DRI süreçleri, üretilen çelik tonu başına yaklaşık dört megawatt saat temiz enerji gerektirir. Ancak bu, geleneksel entegre çelik üretiminde gereken 5-6 megavatsaatten çok daha azdır (Building tomorrow's clean energy systems on green steel, n.d.).

3.1.2.2. Zemin etüdü ve arazi hazırlığı

Zemin etüdü ve arazi hazırlığının doğru zamanda yapılması ciddi bir maddi kazanç getirecektir. Ön sondaj işlemindeki düşük performans ile para ve zaman kaybı beklenebilir. Bu sebeple; Geoteknik koşulların önceden bilinmesi bazı önlenemez sürprizleri de önleyecektir.

Ekipman ve Zemin Test Cihazları:

- Dinamik Penetrasyon Süper Ağır (DPSA)
- Sondajlar
- Dinamik Penetrometre Testi
- Toprak Numunesi Alma ve Laboratuvar Testleri
- Elektrik Tomografisi-Düzenli Depolama Sahası Araştırması
- Özdirenç Testi-Wener Dizisi
- Termal Test – RHO

3.1.2.3. Taşıyıcı konstrüksiyonların tasarımı

Güneş PV panelleri, destek yapısı üzerinde yerden belirli bir yüksekliğe monte edilir. Güneş panelleri sıralar halinde dizilir. Çelik destek yapısı (i) güneş paneli montajı için ray, (ii) kiriş, (iii) kolon, (iv) aşıklar ve (v) destek olarak adlandırılan beş temel taşıyıcı elemana sahiptir. Çelik destek yapısı betonarme temel üzerine inşa edilir. Beton temellerde takviye çelik çubuklar/teller kullanılır (IspatGuru, 2022).

3.1.2.4. Çelik GES tasarım ve analizi

Çatı tipi güneş enerji santrallerinde etkiyen tüm yükler, mevcut çatının taşıyıcı elemanlarına etki etmektedir.

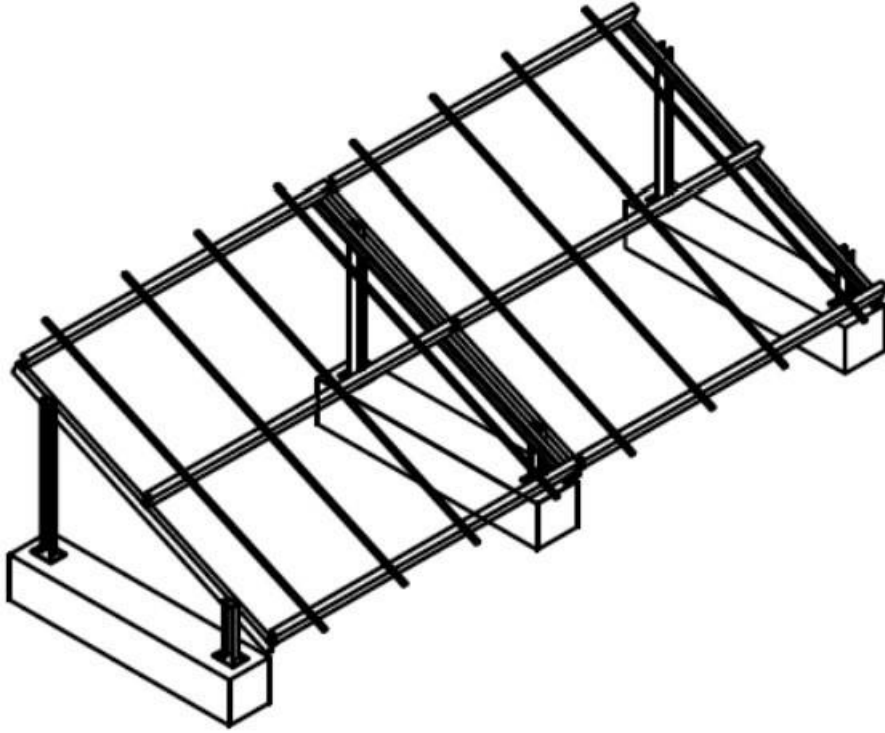
Konut ve işyerlerinin çatıları, bilindiği gibi bölgenin rüzgâr ve kar gibi atmosferik etkilerine dayanacak şekilde tasarlanır. Bu etkilerin dışında başka bir yük göz önünde bulundurulmaz. Dolayısıyla, çatıya binen herhangi bir ekstra yük, risk oluşturur. Standart bir fotovoltaiik panel (270 W) 18 kg ağırlığında olup, bir panelin monte edileceği çatı tipi yapının ağırlığı ise yaklaşık 15 kg'dır.



Şekil 3.2. Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistemlerine yönelik bazı tasarım örnekleri (Özkal ve Küçük)

Basit bir hesaplamayla, 1000 kW gücünde bir çatı tipi santral, çatıya ekstra 120 ton yük bindirir. Santral kapasitesine bakılmaksızın, projelendirme aşamasında panellerin yanı sıra çatının maruz kalacağı rüzgâr ve kar gibi yükler de hesaplanmalı ve gerekli güçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Çatı tipi bir güneş enerjisi santralini sigortalarken, bina projelerinin güncellenip güncellenmediği ve güçlendirme yapıp yapılmadığı mutlaka sorgulanmalıdır.

Çatı tipi santrallerde inverterler genellikle zemin seviyesine yerleştirilir ve çatıdan kablo tavaları ile gelen kablolarla bağlantı kurulur. Bu bağlamda, inverterler konutlarda çoğunlukla giriş katındaki kapalı bir alana, fabrikalarda ise yapıya bitişik bir duvara monte edilir. Santralin elektrik tesisatları ile yapının mevcut elektrik tesisatları arasında hiçbir bağlantı bulunmamalıdır. Aksi takdirde elektriksel yangın riski ortaya çıkabilir.



Şekil 3.3. Örnek güneş paneli montaj yapısı (GİRGİN, 2011).

3.1.2.5. Taşıyıcı sistem tasarımları için yapısal eniyileme

Günümüzde güneş enerjisinin dolayısıyla güneş enerji santrallerinin kullanımı büyük bir ivmeyle artmakta olup bu yenilenebilir enerji türünden optimum manada yararlanabilmek adına her geçen gün yeni fikirler ortaya sürülmektedir. Bu bağlamda; ihtiyaç ve imkânlar, farklı disiplinler tarafından bilimsel yönde irdelenerek en elverişli niteliklere sahip santral projeleri oluşturulma faaliyetlerine devam edilmektedir. Geniş düzlükler üzerinde tarla şeklinde yerleştirilen güneş enerjisi panelleri, metal taşıyıcı sistemler tarafından taşınmaktadır. Bu taşıyıcı sistemler, yatırım amaçlı kurulan ve en az 25 yıl kullanım gerektiren tesisin devamlılığı açısından hayati bir önem arz etmektedir. Bu sebeptendir ki, taşıyıcı sistemlerin tasarımı ve kurulumunda yoğun dikkat sarf edilmelidir. Ayrıca zemin sınıfı, özellikleri ve kimyasal içeriği ile kar, rüzgâr, deprem gibi değişken yükleme durumları, taşıyıcı yapıların tasarımında dikkate alınması gereken etkenlerdir.

Eniyileme çalışmaları, doğada karşılaşılan olaylardan sağlanan tecrübenin muhtelif deneme sonuçlarıyla birleştirilmesi şeklinde başlamış, günümüze gelene kadar kullanım alanları ve tercih edilen yöntemler sürekli geliştirilmiştir (Özkal, 2012). Gerçekleştirilen sonlu elemanlar çözümlemesi sonucunda gerilme değeri düşük olan sonlu elemanların yapısal davranışa sunduğu katkının da düşük olduğu fikrinden yola

çıkarak, bu elemanların kaldırılması halinde geriye kalan elemanların daha etkin bir katkıya sahip olacağı ve yapısal başarımın artırılacağı düşünülmüştür. Söz konusu yöntemle has muhtelif eniyileme değişkenleri de kullanılarak döngüsel biçimde etkisiz elemanlar yapıdan ihraç edilerek nihayetinde hem malzeme miktarı azaltılmakta hem de kullanılan bütün malzemenin birbirine yakın miktarda katkı sağladığı, azami rijitliğe sahip, kafes benzeri topolojiler elde edilmektedir. Oluşturulan topoloji temelli eniyileme algoritması, sonlu elemanlar çözümü yapabilen paket programlar ile kolayca uygulanabilmekte ve diğer yöntemlere kıyasla daha az bir zamanda çözüme kavuşturulmaktadır.

Xie ve Steven (1993) tarafından “evrimsel yapı eniyilemesi (ESO)” adıyla bilimsel literatüre dâhil edilen bu yöntem üzerinde bugüne dek birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Özkal ve Uysal, 2009). Yöntem basit bir fikir üzerine kurulmuş olmasına karşın eniyileme algoritmasının oluşturulması ve kullanılan değişkenlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Optimizasyon işlemine başlamadan önce ilk olarak nihai tasarımı içine alabilecek şekilde yeterince büyük bir tasarım alanı belirlenmektedir. Yükleme ve mesnet koşulları uygulanmakta olup bir sonlu eleman programı kullanılarak da gerilme analizi gerçekleştirilmektedir. ESO yönteminin gerilme tabanlı ilk biçimi, eleman kaldırma işlemi düzenlemek için genellikle von Mises gerilmelerini kullanmaktadır (Q. Li ve Xie, 2001). Her bir noktadaki gerilme düzeyi, bütün gerilme bileşenlerinin bir çeşit ortalaması alınarak hesaplanabilmektedir. Bu yönden izotropik malzemeler için en çok kullanılan kıstaslardan birisi Von Mises gerilmeleridir (Xie ve Steven, 1997). Elemana ait gerilme değerinin tüm yapıdaki azami gerilmeye oranlanması ile elemanların gerilme düzeyi belirlenmektedir. Her bir sonlu elemanlar analizinin ardından, mevcut ret oranına (RR) bağlı olarak etkili olarak kullanılmayan elemanlar, eleman kaldırma oranı (ERR) sayısınca her döngüde sistemden ihraç edilmektedir. RR değeri sabit kalmak şartıyla kısmi uygun duruma ulaşıncaya dek sonlu elemanlar analizi ve eleman kaldırma işlemi tekrarlanmakta ve ardından ret oranı (RR) yeni tanımlanan evrimsel oran (ER) değerince artırılmaktadır.

3.1.3. Hafif çelik yapılar

Geçmişten günümüze hafif çelik, inşaat sektöründe uzun süredir yer almış ve her geçen gün varlığını büyütürken yapı üretiminde oldukça önemli konumlara yükselmiştir. Önemli yapı elemanlarında kullanılan hafif çelik yüzdesinin zaman içinde arttığı dikkat çekmiştir. Hafif bir malzeme olması, kolay taşınabilir ve monte edilebilir olması, daha

az atık üretmesi, uygun fiyatlı olması, çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olması, fabrika üretimi ile işçilik hatasını en aza indirmesi ve tekrarlanan yapılara uygun olması popülerliğinde rol oynamıştır. Bu kritik hususlara rağmen ülkemizde hafif çelik yapıların inşası için henüz tam bir kural benimsenmemiştir. Ülkemizde hafif çelik yapılar, idari otoriteler tarafından kabul edilen Amerikan standardı AISI NAS'a (Amerikan Demir Çelik Enstitüsü Kuzey Amerika Şartnamesi) göre geliştirilmektedir.

Çelik malzemenin inşaat sektöründe kullanımı ise 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Yarım asır sonra çelik malzemeler Amerika Birleşik Devletleri'nde yoğun olarak kullanılmaya başlanmış olsa da bu tarihten önce çelik kiriş ve kablolarla yapılmış büyük askılı köprülere rastlamak mümkündür. Hafif çelik, ilk olarak 1900'lü yılların ikinci yarısında, Almanya'da ortaya çıkmış bir çelik türüne verilen addır. Soğukta şekil verilerek üretilen hafif çelikler, aslında otomobil ve uçak endüstrisinde kullanılmak için üretilmiştir. Öte yandan, bugün birçok yerde tercih edilen bir çelik türü haline gelmiştir. Hafif çelik; U, C, Z gibi birbirinden farklı profillere sahip olabilir. Dolayısıyla her şekil, farklı kalınlığa sahip ölçüyü de beraberinde getirmektedir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı öncesi ve sırasında gelişen üretim teknolojisi ve üretim kapasitesi, savaşın sonuçlarıyla yıkılan şehirlerin hızlı bir şekilde yeniden inşasında çeliğin yoğun olarak kullanılmasına etki etmiştir. 20. yüzyılın sonlarında özellikle konut dışı binaların üretiminde ahşabın kullanımının yüksek maliyetleri ve sürdürülemezliği nedeniyle, gün geçtikçe yaygınlaşan daha ileri imalat teknikleriyle birlikte hafif çeliğin hayatımıza girişi büyük ölçüde hız kazanmıştır. Hafif çelik yapıların kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir (Akçelik, tarih yok);

- **Endüstriyel yapılar:** Bu yapılar geniş açıklıklı olup 15-20m açıklığa sahiptir. Depo, hangar, çiftlik ve hayvan barınakları gibi yapılar örnek verilebilir.
- **Konteyner yapıları:** Bu yapıların taşıyıcı sistemi hafif çelik elemanlardır. Hafif çelik, bu tür yapılarda dayanıklılığı ile ön plana çıkmaktadır. Uygulamada çokça yapılmakta olup özellikle şantiyelerde bulunmaktadır.
- **Prefabrik yapılar:** Bu yapıların taşıyıcı sistemleri hafif çelik elemanlardır. Türkiye'de en çok kullanılan sistemdir ve neredeyse bütün prefabrik firmalarının %80-90 oranında uygulamada kullandığı sistemdir. Bu sistemler hafif çelik sistemdir fakat sektör literatüründe daha çok prefabrik sistem olarak geçer.
- **Yerinde kaplama sistem:** Aks aralıkları kaplama malzemesine göre belirlenmiş ve bu aralıklar 61 cm ile 62,5 cm'dir. Bir alçıpanın veya OSB'nin boşta

kalmaması için bu ölçülerde yapılır. Bu yüzden aks aralıkları bu şekilde ayarlanır. Her 610 mm’de bir taşıyıcı dikmeler vardır, kolonların bu literatür’deki karşılığı “strut” elamanlardır yani “dikme” elmanlardır. Her bir döşeme kirişine karşı gelecek şekilde dikme elemanlar olacaktır (Fenkli & Ünal, Hafif Çelik Yapı Sistemleri, 2023).

3.1.4. GES kurulumu için dikkat edilmesi gereken hususlar

Güneş enerji sistemlerinin kurulumunda aşağıdaki hususların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

- **Arazi Statüsü:** GES kurulumu yapılacak arazide aranan ilk şart, arazinin marjinal arazi (mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri ve dikili tarım arazileri dışında kalan araziler) statüsünde olmasıdır. Marjinal tarım arazisi; mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri ve dikili tarım arazileri dışında kalan, toprak ve topografik sınırlamaları nedeniyle üzerinde sadece geleneksel toprak işlemeli tarımın yapıldığı arazilerdir. Bu tip arazilere güneş enerjisi santrali kurulması için arazinin mutlaka bir kadastral yola cephesi olmalıdır.
- **Işınım Değerleri:** GES projelerinin verimliliği üzerinde büyük etkisi olan temel faktörlerden biri, bölgenin güneş enerjisi potansiyelidir. Arazinin bulunduğu bölgedeki yüksek ışıınım değerleri santralin üreteceği enerji miktarını da arttıracaktır. Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından diğer öncü ülkelere kıyasla oldukça avantajlı bir pozisyonda bulunmaktadır. Bu bakımdan ülkemizin Karadeniz kıyıları haricindeki bölgelerin tamamı güneş enerjisi santral kurulumuna uygundur.
- **Cephe:** Güneş enerjisi santrali kurulumu planlanırken, kurulum yapılacak arazinin güney cepheye bakması büyük bir öneme sahiptir. Diğer yönler bakması durumunda ise güneş enerjisi santralinin verimliliği düşer ve yatırımın geri dönüş süresi uzar. Bu nedenle güney cepheye bakan araziler, güneş enerjisi santrali kurulumu için en iyi tercihtir.
- **Gölge:** Güneş Enerjisi Santrali (GES) projelerinde gölgelenme, güneş panellerinin verimliliğini önemli ölçüde azaltabilir. Bu nedenle, güneş enerjisi santrali kurulumunun yapılacağı arazinin, yakındaki yapılar, bitki örtüsü veya diğer engeller nedeniyle oluşabilecek gölgelemeyi en aza indirecek şekilde seçilmesi büyük bir öneme sahiptir. Önceden bir gölgeleme analizi yapmak,

potansiyel gölgeleme sorunlarını belirlemeye ve buna göre bir arazi seçmeye yardımcı olabilir.

- Bölgenin İklim ve Hava Koşulları: Santralin tesis edileceği ideal bölge seçilirken bölgenin; yıllık yağış miktarının düşük olması, bulutsuz ve sissiz bir atmosfere sahip olması, hava kirliliğinin olmaması, ormanlık ve ağaçlık bölgelerden uzak olması, Rüzgâr hızının düşük olması gibi kıstaslar öncelikli olarak tercih edilmektedir.
- Enerji Nakil Hatlarına Olan Uzaklık (Erişim): GES kurulumu yapılacak arazinin, dağıtım şirketinin enerji nakil hatlarına olan mesafesi güneş enerjisi santrali bağlantı izninin alınması için önemli bir kriterdir. Hatlara mesafe, arazinizde GES kurulum izni almanıza mâni olabilir. Ayrıca güneş enerjisi santrali ile enerji nakil hatları arasındaki mesafenin artması yatırım maliyetini artıracığından dolayı geri dönüş süresini de uzatacaktır.

3.1.5. Güneş paneli sistemini oluşturan temel donanımlar

Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatör, evirici (invertörler), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemini (fotovoltaik sistem) oluşturur. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar ve yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi (şarj regülatör) ise akünün durumuna göre ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda ise, sisteme bir evirici (invertör) eklenir.



Şekil 3.4. Hafif çelik güneş enerji santrali (Akzemin Mühendislik A.Ş., 2020)

3.1.6. GES projelerinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

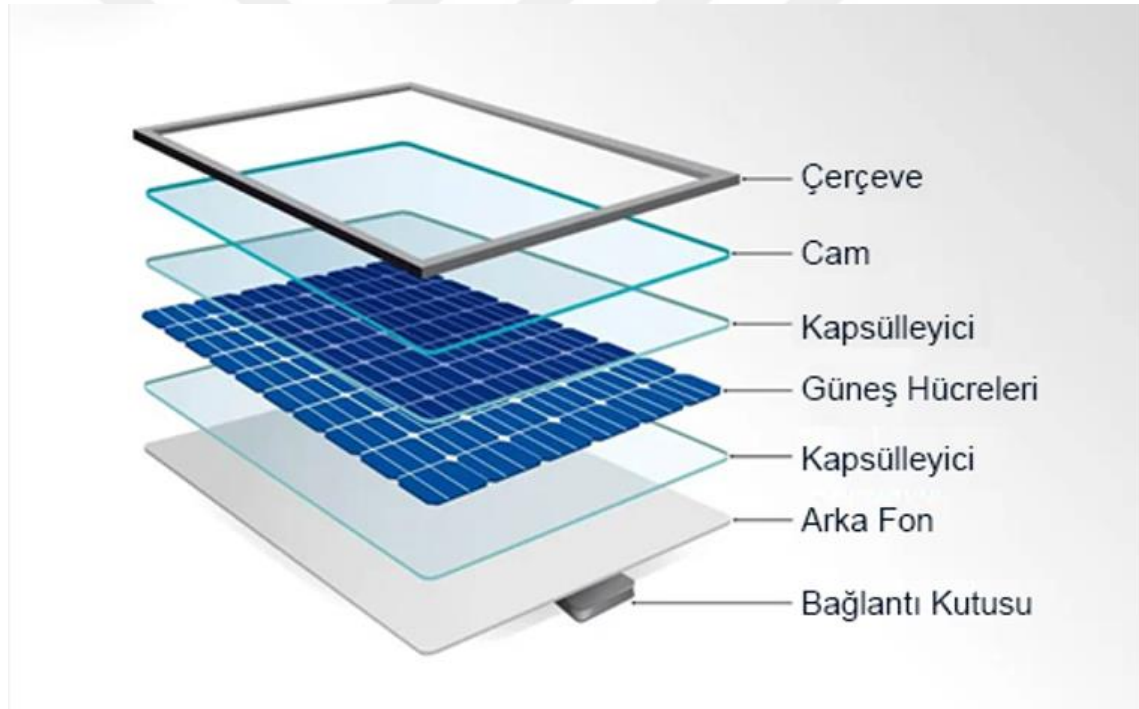
Güneş panellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan teknik ve mekanik değerler, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kritik bir rol oynamaktadır.

- **Kısa Devre Akımı ve Açık Devre Voltajı:** Güneş paneli standart test koşullarında, 25°C sıcaklıkta ve 1000 W/m^2 güneş radyasyonunda test edilmektedir. Bu koşullar altında elde edilen bazı temel değerler vardır. Kısa devre akımı (I_{sc}), güneş panelinin pozitif ve negatif terminalleri arasındaki akımdır. Açık devre voltajı (V_{oc}) ise güneş panelinin terminallerinin bir yüke bağlı olmadığı durumda ölçülen voltajdır. Kısa devre akımı, güneş pili teknolojisi, yapısı ve birim alanına bağlı olarak değişir. Ayrıca, açık devre voltajı güneş panelinin çalışma sıcaklığına da bağlıdır. Yüksek V_{oc} değeri, güneş panelinin kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir.
- **Maksimum Güç Noktası ve Doldurma Faktörü:** Maksimum güç voltajı, güneş panelinin gücünün maksimum olduğu noktadaki voltaj değeridir. Maksimum güç akımı ise bu noktadaki akım değerini ifade etmektedir.
- **Güneş Paneli Verimliliği ve Güneş Pili Sayısı:** Güneş paneli verimliliği, standart test koşulları altında elde edilen maksimum gücün (P_m) giriş gücüne

oranı ile ifade edilir. Verimlilik ise güneş panelinin ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Güneş panelinde bulunan güneş pili sayısı, elde edilmek istenen güce bağlı olarak değişir.

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında bu teknik ve mekanik değerlerin anlaşılması, güneş panellerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için oldukça önemlidir.

Fotovoltaik enerji üretimi sadece güneş pillerinden oluşmaz. Her bir modül tarafından üretilen güç, modülün arkasına monte edilen bir bağlantı kutusu tarafından toplanır ve konektörler ve kablolar aracılığıyla dış dünyaya iletilir. Bu bağlantı kutuları, hasarlı veya kirli yüzeyler nedeniyle arızalı olabilecek hücrelerin etrafındaki güç akışlarını yönlendirerek enerji kayıplarının önlenmesinde önemli bir rol oynayan bypass diyotları içerir. Tipik fotovoltaik modül Şekil 3.5.'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Fotovoltaik modül (Solar Magazam, 2019)

Tipik bir fotovoltaik panel; üst cam kapak, Etilen-Vinil Asetat 1, silikon hücreler, Etilen-Vinil Asetat 2 ve tedlar arka tabaka olmak üzere 5 katmandan oluşur. Kullanılan cam ultra şeffaftır, yüksek geçirgenlik oranına ve düşük demir içeriğine sahiptir, böylece mümkün olduğunca fazla güneş enerjisi çıkarabilir. Fotovoltaik hücreler, hücreleri kapak camına ve arka kapsülleme malzemesine (tedlar) doğru yapıştırmak için bir EVA tabakası içinde kapsülленir. Polimer katman, fotovoltaik katmanı için ek yalıtım ve koruma sağlayan polivinil florürden (PVF) yapılmıştır.

PV panel malzemelerinin kalınlık, termal iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı kapasitesi gibi özellikleri değişkendir. Değerleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir (Sadri, ve diğerleri, 2017).

3.1.6.1. GES projelerinde imalatla dikkat edilmesi gerekli hususlar

- Solar Modüllerin arka yüzü; Modüllerin ilgili sahaya montajına olanak sağlayacak ve sert iklim şartlarına (Rüzgâr, Kar, Yağmur vb.) karşı dayanıklı olmalıdır. Alt (arka) malzeme/film, kaliteli malzemeden olmalıdır.
- Güneş Paneli (Solar Modül) çerçevesi korozyona dayanıklı malzemeden imal edilmiş ve paslanmaz yapıda olmalıdır. Çerçeve herhangi bir delme vb işleme gerek kalmaksızın montaj yapılabilir biçimde tasarlanmış olmalıdır.
- Konstrüksiyon paslanma/korozyona karşı dayanıklı (sıcak daldırma galvaniz, alüminyum vb.) olmalıdır. Galvaniz kalınlığı, tesis 10 yıl boyunca korozyona uğramadan çalışacak şekilde seçilmelidir.

Çizelge 3.3. Fotovoltaik panelin mekanik özellikleri (Sadri, ve diğerleri, 2017)

Katman	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Termal İletkenlik (W/m.°C)	Spesifik Isı Kapasitesi (kg.°C)
Cam	0,30	3000	1,8	500
EVA 1	0,05	960	0,35	2090
Fotovoltaik Hücre	0,04	2330	148	677
EVA 2	0,05	960	0,35	2090
Tedlar	0,01	1200	0,2	1250

3.1.6.2. GES projelerinde imalatla kullanılan malzemeler

GES Projelerinde imalatla kullanılan malzemeler ve görevleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Güneş Enerjisi Kiremitleri: Solar laminatlar, entegre fotovoltaik hücreli modüller ve şeffaf laminatlar dahil olmak üzere çeşitli solar çatı kiremitleri.
 - Yüksek Performans
 - Kusursuz Entegre Tasarım
 - Rahat Montaj

- Güneş Duvar Panelleri: Güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren ve sistemin ana elemanı olan ekipmandır. Solar duvar paneller, her projeye mimari kalite ve çok yönlülük katmaktadır.

- Solar Hücreler: Yüksek verimli PV hücreleri, özel çatı kurulumları, ticari ve endüstriyel çatı kurulumları, uzaktan güç jeneratörleri ve yerdeki ve sudaki büyük ölçekli enerji santralleri dahil olmak üzere çok çeşitli modül uygulamaları için uygundur. Solar hücrelerin avantajları;

- Yüksek dönüşüm verimliliği
- Tüm dalga boylarında mükemmel spektral yanıt
- Sıcak noktayı önlemek için düşük ters akım
- Lehimleme kolaylığı ve yüksek yapışma sağlamak için hassas baskı ve üstün gümüş teması

- Polikristal Silikon: Genellikle Polisilikon olarak adlandırılan ham Polikristal Silikon, güneş fotovoltaiik (PV) üretim endüstrisinde temel bir malzeme bileşeni olarak hizmet veren yüksek saflıkta bir silikon formudur.

- Monokristal Silikon: Birinci sınıf güneş panellerinde kullanılan oldukça verimli bir güneş pili türüdür. Genellikle diğer muadil ürünlere oranla daha fazla güç çıkışı sunarlar ancak çok daha maliyetlidirler (Targray, tarih yok).

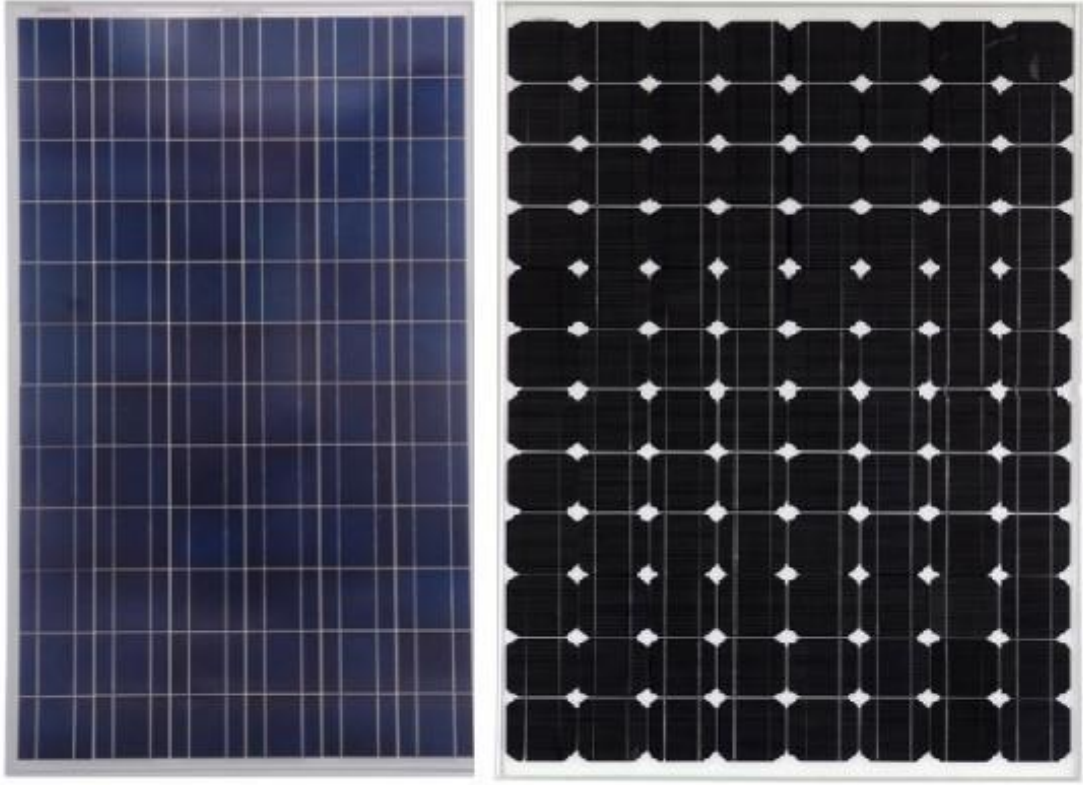
3.1.7. GES'in çelik çerçeve yapılarına yönelik tasarım hususları

Güneş panellerinde kullanılan çelik yapıların tasarımına ait hususların belirlenmesinde 2019 yılında Trinity Mühendislik Akademisi'nin yapmış olduğu bir çalışma kullanılmıştır.

3.1.7.1. Hesap yüklerinin belirlenmesi

GES Projelerinin analizinde dikkate alınana hesap yükleri;

- Sabit Yük (G)
- Hareketli Yük (S-Ex-Ey)
- Rüzgâr Yüğü (W) olmak üzere hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Polikristal ve monokristal güneş panelleri (GİRGİN, 2011)



Şekil 3.7. Monokristal silikon hücrelerden yapılmış güneş paneli (Minas Enerji, tarih yok)

3.1.7.2. Yapısal analiz

Çalışmada ele alınan yapısal sistemler, belirlenen parametrelere göre modellendikten sonra bilgisayar ortamına aktarılmış ve mühendislik analiz yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle, yapının geometrik özellikleri, malzeme türleri, yapısal elemanların boyutları (örneğin, kolonlar, kirişler) ve öngörülen yükleme koşulları yazılıma tanımlanmıştır. Bu verilerin aktarılmasının ardından, yazılım tarafından çeşitli yükleme durumları altında yapıların davranışı analiz edilmiş, taşıma kapasitesi, yer değiştirme, gerilme ve şekil değiştirme gibi kritik parametreler incelenmiştir. Yapısal analiz süreci, yapıların güvenli ve ekonomik bir şekilde tasarlanabilmesi için gerekli verilerin elde edilmesini sağlamış, farklı malzeme ve geometri kombinasyonlarının performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu analizler hem statik hem de dinamik yükleme koşulları altında yapısal sistemlerin dayanıklılığını ve stabilitesini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

3.1.7.3. Sonuçların değerlendirilmesi

Sonuçların değerlendirilmesi aşamasında aşağıdaki hesaplamalar büyük bir öneme sahiptir. İlk olarak, yer değiştirme hesaplamaları, yapının yükleme altında ne kadar şekil değiştirdiğini gösterir ve sistemin stabilitesinin değerlendirilmesi açısından kritik rol oynar. Bu veriler, yapı elemanlarının rijitliğini ve deformasyon sınırlarını belirlemeye yardımcı olur.

İkinci olarak, kesme kuvveti diyagramı yapının kesme kuvvetlerine karşı nasıl tepki verdiğini gösterir. Bu diyagram, özellikle kolon ve kiriş gibi elemanların kesme kapasitelerinin aşılmaması için önemlidir ve kesme hasarlarını önlemek amacıyla tasarım sürecine yön verir.

Üçüncü önemli hesaplama olan eğilme momenti diyagramı, elemanların maruz kaldığı eğilme momentlerini gösterir ve yapısal elemanların dayanıklılığını değerlendirmede önemli bir rol oynar. Bu diyagram, yapının yük taşıma kapasitesini ve güvenliğini belirlemek için kullanılır.

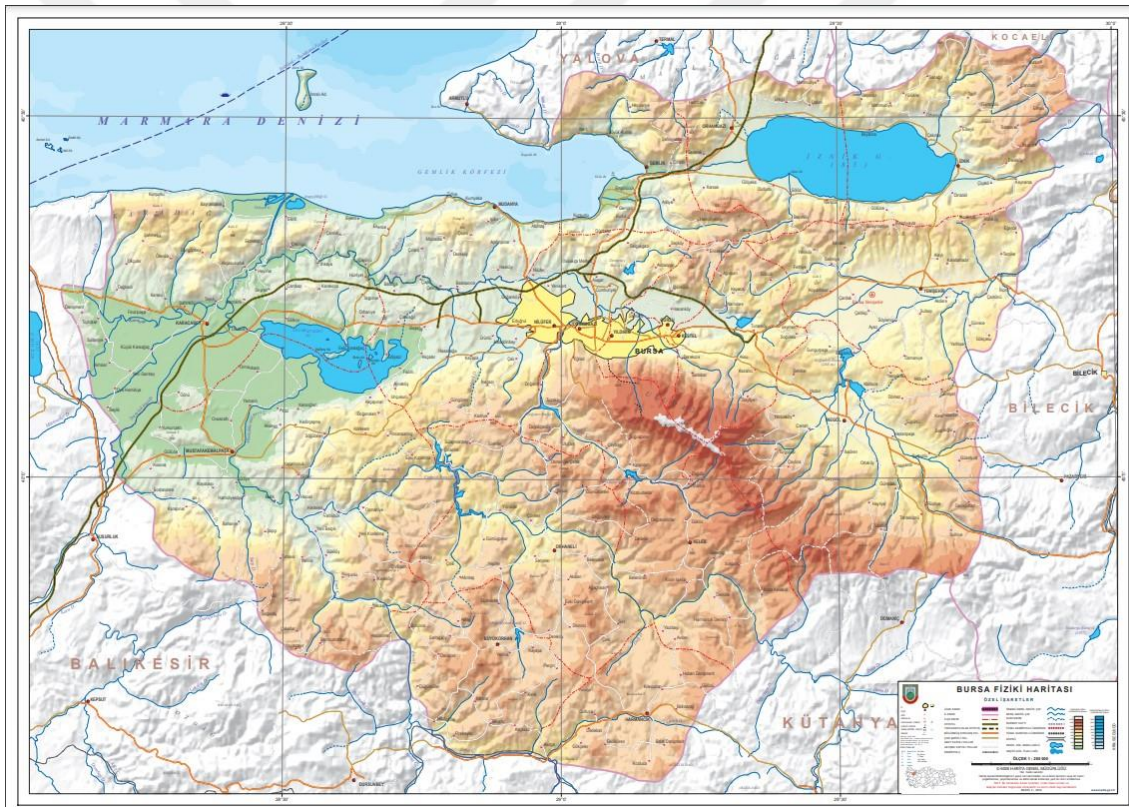
Son olarak, çelik malzeme maliyeti de analizlerde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Sanket, Mayur, Krishna, & Akash, 2019). Yapının tasarımında kullanılan çelik miktarı ve maliyeti, ekonomik açıdan verimli bir proje planlaması için

önem teşkil eder. Bu nedenle, yapısal analizlerin yanı sıra malzeme maliyetlerinin de göz önünde bulundurulması hem güvenli hem de maliyet açısından uygun tasarımların elde edilmesine katkı sağlar.

3.2. Uygulama Alanı Özellikleri

3.2.1. Santral sahasının özellikleri

Bursa, Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara bölümünde, 40 derece kuzey paraleli, 29 derece doğu meridyeninin kesiştiği yerde yer alır. Toplam 11.027 kilometrekarelik alana sahip olan Bursa'nın 17 ilçesi (Büyükorhan, Gemlik, Gürsu, Harmancık, İnegöl, İznik, Karacabey, Keles, Kestel, Mudanya, Mustafakemalpaşa, Orhaneli, Orhangazi, Yenişehir, Nilüfer, Osmangazi ve Yıldırım), 230 beldesi ve 659 köy yerleşimi vardır. Bursa Fiziki İl Haritası Şekil 3.8'de verilmiştir



Şekil 3.8. Bursa Fiziki Haritası (Harita Genel Müdürlüğü, tarih yok)

da güçlü olan Bursa, 17 organize sanayi bölgesi (OSB) ile Türkiye'nin önemli sanayi ve ticaret merkezlerinden biridir. Bursa'nın ekonomik bilgileri Çizelge 3.4.'de verilmiştir (Bursa Ekonomisine Genel Bakış, 2023).

Çizelge 3.4. Bursa ekonomisi

Nüfus (2022)	3.194.720
Yüzölçümü	10.882 km ²
Yüzölçümü Bakımından Sırası	27
Nüfus Yoğunluğu	307
İthalat (Bin \$ 2022)	10.183.576
İhracat (Bin \$ 2022)	17.473.176
Dış Ticaret Hacmi (Bin \$)	27.656.752
OSB Sayısı	17

3.2.3. Kapasite seçimi

Güneş enerji santralinin kapasitesi, bir dizi faktöre bağlı olarak belirlenir. Bunlar;

- Güneş Radyasyonu: Santralin kurulacağı bölgedeki güneş radyasyonu seviyesi, güneş panellerinin ne kadar enerji üretebileceğini belirler.
- Arazi ve İklim Koşulları: Arazinin düzlüğü arttıkça güneş paneli barındırma kapasitesi artar ve daha verimli enerji üretir.
- Panel Verimliliği: Yüksek verimle çalışan paneller daha yüksek kapasitede enerji üretir ancak daha maliyetlidir.
- Finansal Faktörler: Özellikle yatırımın fizibilitesini ölçme amacıyla geri ödeme süresinin çok yüksek değerlerde olmaması gerekmektedir.
- Enerji Talebi: Bölgenin gelişmişlik kapasitesine bağlı olarak ne kadarlık bir enerji talebinin olduğu belirlenmeli ve buna göre optimum güç kapasiteli santral tasarlanmalıdır.

Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, kurulacak olan güneş enerjisi santrali için 1,2 MW'lık kurulu güç tercih edilmiştir.

3.2.4. Tesisin verimlilik hesabı

Herhangi bir fotovoltaik sistemin verimini etkileyen etmenler şunlardır: PV hücrenin malzemesi, PV hücrenin akım-gerilim özellikleri, dolum (şarj) kontrol cihazının özellikleri, dönüştürücü verimi, akümülatör verimi, sıcaklık, PV tesisatın gölgelenme durumu, kullanılan kablonun kalınlığı, PV tesisat üzerinde toz/kir birikmesi, PV tesisatın yönlendirilmesi, PV dizilerin eğim açısı, PV hücrelerin yüzeyine uygulanan işlemler ve PV tesisata uygulanan bakım/onarım işlemleridir.

Verime Etki Eden Etmenler (ÖZTÜRK)

PV hücre verimine etki eden faktörler şunlardır:

1. PV hücre yüzey malzemesinin ışıınım özellikleri
2. Güneş ışıınının spektral özellikleri
3. Güneş ışıınlarının PV hücre üzerine geliş açısı
4. Ortamdaki havanın sıcaklığı
5. PV hücrenin iç seri direncinden kaynaklanan kayıplar
6. PV hücrenin kalınlığı
7. PV hücrenin eğim açısı
8. PV hücrenin temizliği

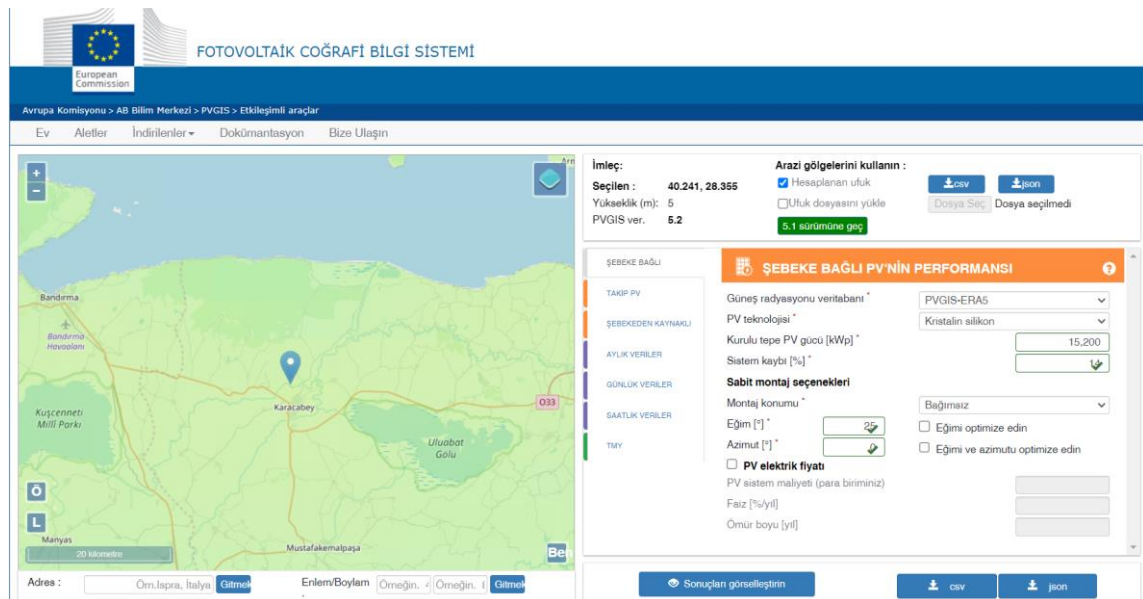
PVGİS Metodu

PVGİS metodu, Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen ve kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan bir simülasyon programdır. PVGIS metodu uydu etkileşimli meteorolojik verileri kullanarak hesaplama yapmaktadır. PVGIS metodu veri tabanı ile istenilen coğrafi konuma ve panel eğim açısına bağlı olarak optimum saatlik, günlük, aylık ve yıllık güneş ışıınıını değerlerini farklı opsiyonlarda simüle etmektedir.

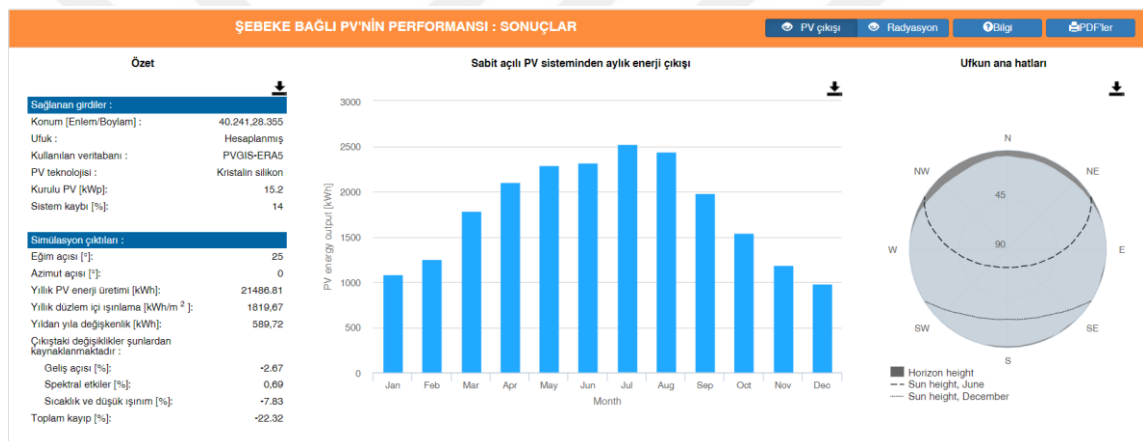
Bu çalışmada statik hesaplamalara bağlı olarak değişen açılardan güneş panellerinin verime etkisi inceleneceğinden Güneş ışıınlarının PV hücre üzerine geliş açısı değişecektir ve buna bağlı olarak verimlilik hesabı fotovoltaiik coğrafi bilgi sistemi yardımıyla hesaplanmıştır. (Súri, Huld, Cebecauer, ve Dunlop, 2008)

İlk olarak eğim açısı 25° seçilmiştir. Aşağıdaki şekilde proje ili Bursa, ilçesi Karacabey olduğundan koordinatlar girilmiştir. Güneş radyasyonu veritabanı PVGIS-ERA5 seçilmiştir. Pv teknolojisi kristalin silikon, kurulu tepe PV gücü 15,200 kWp olarak girilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak şebeke bağlı PV'nin performansı Şekil 3.9. ve Şekil 3.12. arasında verilmiştir.

Eğim açısının değişimiyle beraber aylara göre enerji verimliliği incelenmiştir. PV sistemin kurulacağı bölge olan Bursa ilinin Karacabey ilçesine uzun yıllar boyunca gelen güneş ışıınları gibi çevresel faktörlerin ortalamasını baz alarak hesap yapan Fotovoltaiik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGİS) aylara göre ortalama üretebileceğimiz enerji miktarı Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

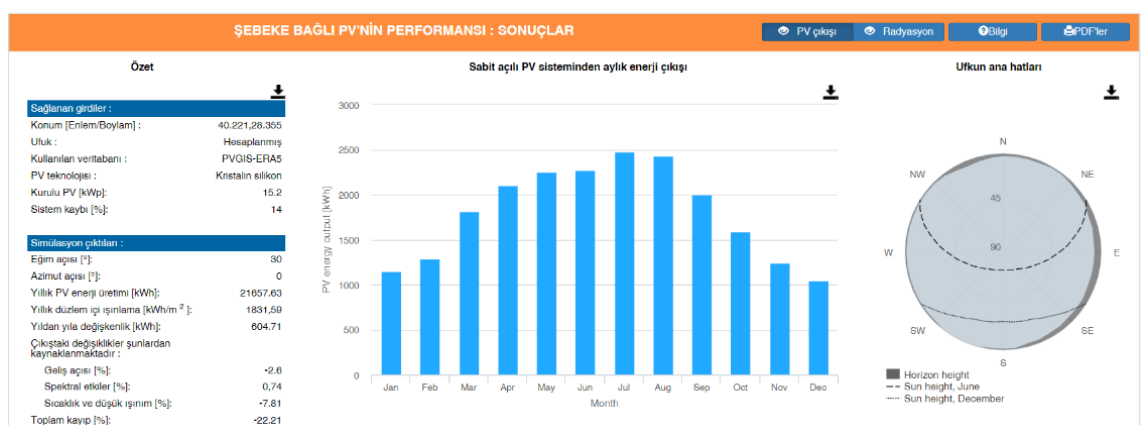


Şekil 3.9. Şebekeye bağlı PV'nin performansı

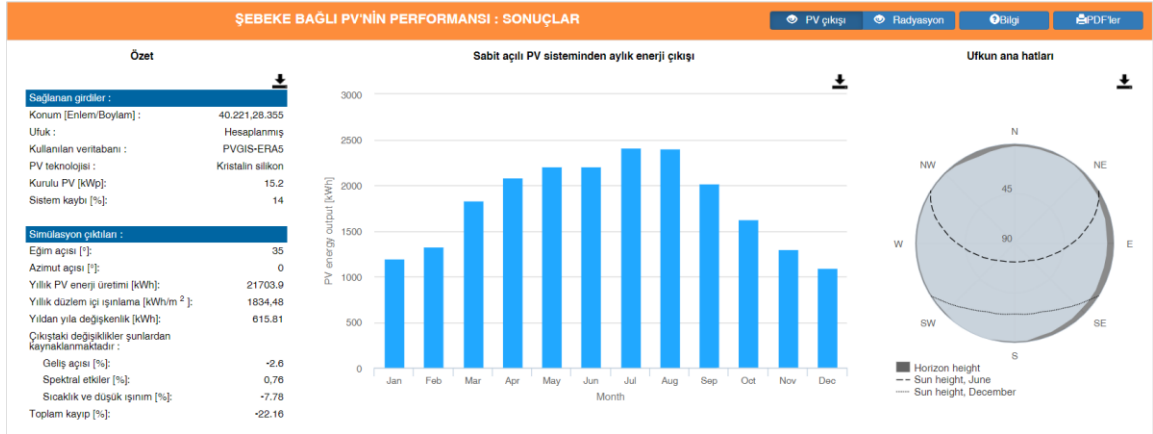


Şekil 3.10. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (25° Sonuçlar)

Daha sonra eğim açısı 30° 'ye çıkarılmıştır.



Şekil 3.11. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (30° Sonuçlar)



Şekil 3.12. Şebekeye bağlı PV'nin performansı (35° Sonuçlar)

Çizelge 3.5.'de açının üretilen enerjiye olan etkisini incelemek için almış olduğumuz 25°, 30° ve 35° güneş paneli sistemlerin eğrisi görülmektedir. PVGIS tarafından belirlenen optimum açı değeri olan 35° sistemin grafikte azalarak artan pozitif bir eğri ile daha fazla enerji ürettiği ve maksimum verimin 35°'lik sistemde üretildiği sonucuna ulaşılmıştır. Grafikte azalarak artan bir eğri görüldüğünden eğim açısı arttıkça kazanılan enerji artacak yorumu kısmen yanlıştır. Güneş ışınlarının panellerle dik açı yapabilmesi kazanılan enerjinin artmasına sebep olacağından optimum açı bu yöntemle belirlenebilir.



Şekil 3.13. Açıya göre enerjideki değişim eğrisi

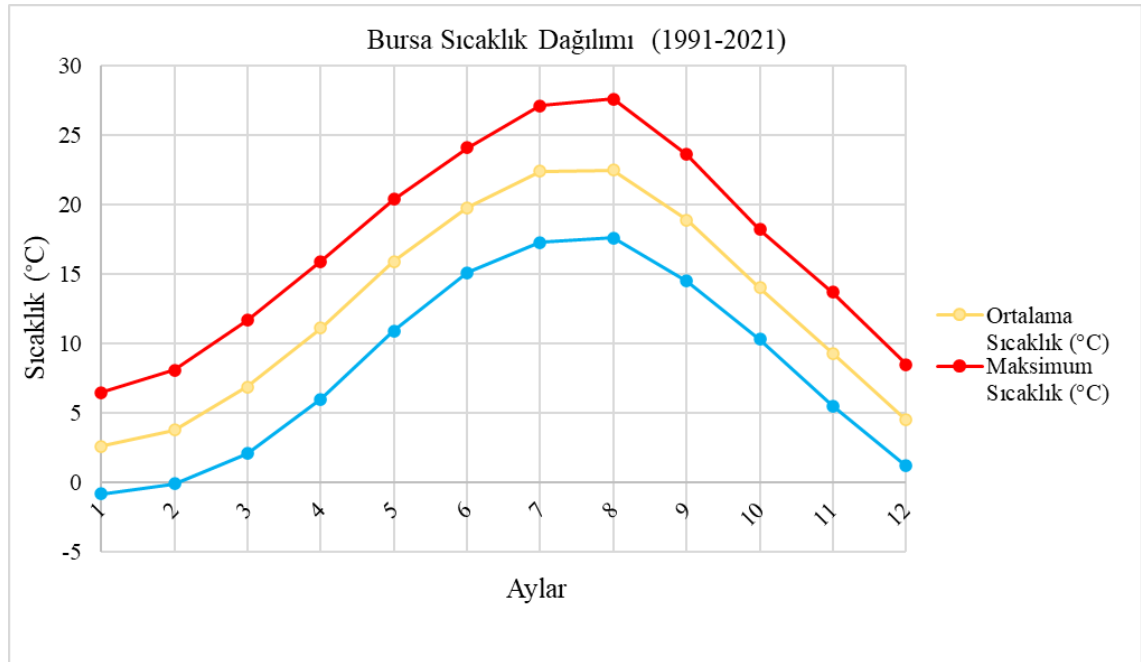
3.2.5. Tesisin yer aldığı bölgenin meteorolojik verileri

Bursa'ya ait sıcaklık ve iklim verileri Çizelge 3.5.'te verilmiştir. (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

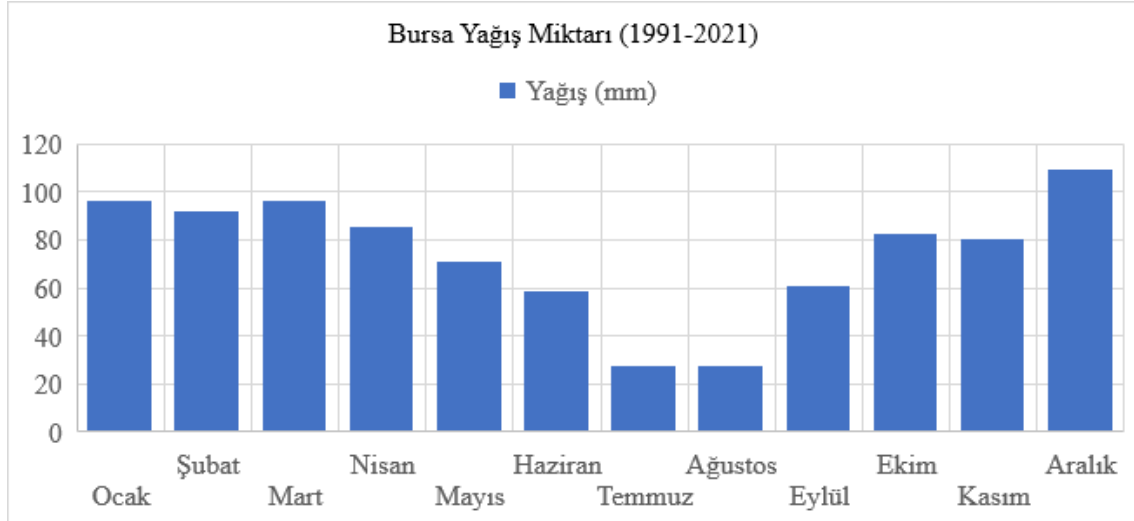
Çizelge 3.5. Bursa iklim verileri

AYLAR	Oc ak	Şub at	Ma rt	Nis an	May ıs	Hazir an	Tem muz	Ağus tos	Eyl ül	Eki m	Kası m	Aral ık
Ort. Sıcaklık	2,6	3,8	6,9	11, 1	15,9	19,8	22,4	22,5	18, 9	14	9,3	4,5
Min. Sıcaklık	- 0,8	-0,1	2,1	6	10,9	15,1	17,3	17,6	14, 5	10, 3	5,5	1,2
Max. Sıcaklık	6,5	8,1	11, 7	15, 9	20,4	24,1	27,1	27,6	23, 6	18, 2	13,7	8,5
Nem (%)	82 %	79 %	74 %	73 %	70%	68%	64%	64%	69 %	76 %	77%	82%
Yağış (mm)	97	92	97	86	71	59	28	28	61	83	81	110
Yağmurlu Gün Sayısı	10	9	9	8	7	6	4	3	5	7	7	10
Güneşli Saat Sayısı	5	5,7	7,2	8,8	10,2	11,1	11,5	10,4	8,8	6,8	6,5	5,3

Bursa'ya ait sıcaklık dağılımları ve yağış miktarlarının yer aldığı grafikler ise sırasıyla **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** ve **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir. (İklim: Bursa-İklim grafiği, Sıcaklık grafiği, İklim tablosu, 2023)



Şekil 3.14. Bursa sıcaklık dağılımı



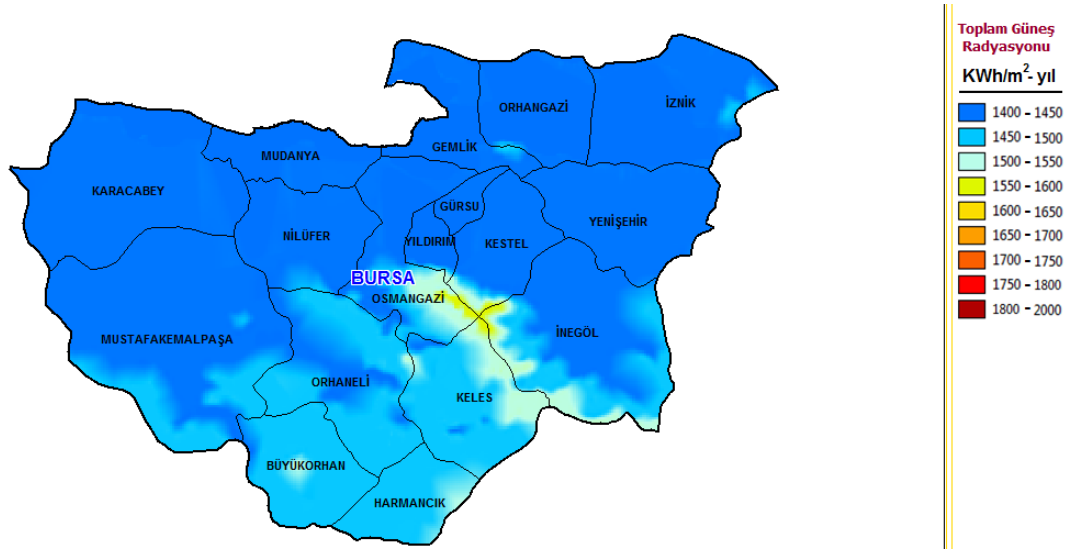
Şekil 3.15. Bursa yağış miktarı

3.2.6. Bursa ili Karacabey ilçesinde güneş enerjisi potansiyeli, bölgenin ihtiyacı ve sosyoekonomik durumları

Güneş enerjisi, Bursa'nın enerji üretiminde en yeni enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi kullanan enerji santrallerinin toplam kurulu güç içindeki oranı en düşük seviyededir. Soğuksu güneş enerjisi santrali, mevcut yedi ünite arasında en fazla güce sahip olanıdır. Soğuksu güneş enerjisi santrali, fotovoltaik güneş panellerinin birbirine bağlanması ve ara elemanların sisteme dahil edilmesiyle oluşturulmuş bir güneş tarlasıdır. Santralin kurulumunda polikristal silikon tipi paneller kullanılmıştır. Panelin pik gücü 270 W, verimliliği ise %16,6'dır (SolarGüç Enerji Sistemleri, tarih yok).

Soğuksu güneş enerji santrali 170 dekar üzerine inşa edilmiş 30800 adet panel kullanılmıştır. Sadece panel sayısı dikkate alındığında 8,3 MW güce ulaşması beklenen santralin maksimum gücü güneşli ve üretim değerleri arasından herhangi bir kopukluk yaşanmayan bir günde 6,8 MW olarak tespit edilmiştir. Panel sayısına bağlı olarak santralin pik verimliliğinin %82 olduğu görülmektedir (SolarGüç Enerji Sistemleri, tarih yok).

Bir güneş enerji santralinin üretkenliği santral panellerine gelen güneş ışınlarının taşıdığı enerjiyle doğrudan alakalıdır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme potansiyelini gösteren Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA)'ya göre Bursa'nın dağılımı Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Bursa GEPA (Saka & Kaynaklı, Bursa'da Bulunan Şebeke Bağlantılı Bir Pv Güç Santralinin Günlük Elektrik Üretimi, 2018)

Bursa'nın güneş radyasyon değerleri Türkiye ortalamasının altındadır. Şekil 3.16. incelendiğinde Karacabey'in Bursa'daki en düşük toplam ortalama güneş radyasyonu değerlerinden birine sahip olduğu görülmektedir. Bölgenin yıllık radyasyon değeri metrekare başına 1550 kWh ile 1600 kWh arasındadır (Saka & Kaynaklı, Bursa'da Bulunan Şebeke Bağlantılı Bir Pv Güç Santralinin Günlük Elektrik Üretimi, 2018).

Çizelge 3.6. Bursa Güneş Enerjisi Santralleri (Saka & Kaynaklı, Bursa'da Bulunan Şebeke Bağlantılı Bir Pv Güç Santralinin Günlük Elektrik Üretimi, 2018)

İşletmedeki Güneş Enerji Santralleri			
Santral Adı	İlçe	Firma	Güç
Soğuksu Güneş Enerji Santrali			7,00 MW
Olca Salça Bursa GES	Karacabey		1,00 MW
Beybi Plastik Bursa GES	Kestel	Beybi Plastik	0,85 MW
Özlüce AAT Santrali	Nilüfer	Bursa Büyükşehir Bld.	0,22 MW
Hibrid Otomotiv GES			0,18 MW
Gürsu Belediyesi GES	Gürsu	Gürsu Belediyesi	0,093 MW
İnegöl Mediha-Hayri Çelik Fen Lisesi Güneş Enerjisi Tesisi	İnegöl	Mediha-Hayri Çelik Fen Lisesi	0,023 MW
Bursa'daki diğer lisanssız GES'ler		Çeşitli Firmalar	76 MW

Özetle, Bursa ilinde işletmede olan 8 adet santral bulunmaktadır.

3.3. Optimizasyon ve Ekonomik Analiz Yöntemleri

3.3.1. AISI S100-16 (North American Specification for the Design of Cold-Formed. Steel Structural Members) Kriterleri

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanları, kalınlıkları benzer boyutlu hadde profillerin et kalınlıklarına kıyasla çok daha küçük olan çelik levhaların şekillendirme makinelerinde bükülmeleriyle üretilen taşıyıcı elemanlardır. Ülkemizde hafif çelik binalarda ana taşıyıcı, geleneksel çelik yapılarda ise yardımcı taşıyıcı elemanlar olarak yaygın şekilde kullanılıyor olmalarına rağmen, soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin tasarımları için güncel bir ulusal yönetmelik bulunmamaktadır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik tekrarlı çerçeveleme uygulamalarında kullanılan yapısal elemanların tasarımı ve montajı AISI S240'a ve uygulanabilir olduğu şekilde AISI S400'ün sismik gerekliliklerine uygun olacaktır (AISI S100-16 (2020) (North American Specification for the Design of Cold-Formed. Steel Structural Members) Kriterleri, 2016).

3.3.1.1. AISI S240

Malzeme:

Soğuk şekillendirilmiş çelik hafif çerçeve konstrüksiyonunda kullanılan yapısal elemanlar, aşağıdaki sınırlamalara tabi olarak ASTM A1003/A1003M gerekliliklerine uygun çelik sacdan soğuk şekillendirilmiş olacaktır:

- a) Tip H (yüksek süneklik): Sınırlama yoktur.
- b) Tip L (düşük süneklik): Aşıklar, kirişler ve perde duvar saplamaları ile sınırlıdır. Perde duvar saplamaları için ülkeye özgü ek sınırlamalar AISI S100 Bölüm A2.3.5'te verilmiştir. (North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing", 2015)

Korozyon Koruma:

Soğuk şekillendirilmiş çelik hafif çerçeve konstrüksiyonunda kullanılan yapısal elemanlar **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de belirtildiği gibi koruyucu bir kaplamaya sahip olacaktır (AISI S100-16 (North American Specification for the Design of Cold-Formed. Steel Structural Members) Kriterleri, 2016)

Çizelge 3.7. Korozyon koruma yöntemleri

Kaplama Sınıflandırması	Kaplama Tanımı	Minimum Kaplama Alanı			
		Çinko Kaplama	Demir Çelik Kaplama	Alüminyum – Çinko Kaplama	Çinko (%) Kaplama
Metalik Kaplama	CP 60	G60 (ZF180)	A60 (ZF180)	AZ50 (AZM150)	CF30 (ZGF90)
	CP 90	G90 (Z275)	Uygulanamaz.	AZ50 (AZM150)	CF45 (ZGF135)
Metalik Boyalı	PM	Metalik kaplamalı alt tabaka metalik kaplama gerekliliklerini karşılamalıdır. Ek olarak, boya filmi her bir tarafta minimum 0,1 mil astar kalınlığı ile her bir tarafta minimum 0,5 mil kalınlığa (astar artı son kat) sahip olacaktır.			

3.3.1.2. AISI S400:

2016 yılında AISI S400, binalarda ve diğer yapılarda sismik kuvvete dayanıklı sistemlerde ve diyaframlarda soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının ve bağlantılarının tasarımını ve yapımını ele almak için geliştirilmiştir (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members", 2016).

3.3.2. Eurocode Kriterleri ve Yük Kombinasyonları

Avrupa'da hafif çelik yapı tasarımı için kullanılan yönetmeliktir. Amerikan normlarına nazaran daha teorik ve karmaşık kriterleri bulunmaktadır. Eurocode 3 ayrıca hafif çelik elemanların plastik tasarımı ile ilgili kavramları da içerir (KAYA, 2019). Avrupa ülkelerinin haricinde Afrika ve Ortadoğu ülkelerinde de kullanılmaktadır.

Yük kombinasyonları, yapının tasarlandığı ve kontrol edildiği yük durumlarının farklı durumlar için birleştirilmiş halidir.

Aşağıda, Eurocode-1'e göre sabit yükler ve hareketli yükler (hareketli, rüzgar ve termal) ve deprem (sismik) dikkate alınarak oluşturulan sınır durumları ALS (Accidental Limit State) dahil olmak üzere kullanılabilirlik sınır durumları SLS (Serviceability Limit States) ve nihai sınır durumları ULS (Ultimate Limit States)'deki kombinasyonlar verilmiştir.

Ele alınan yük tipleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Sabit Yük (G)
- Hareketli Yük (Q)
- Rüzgâr Yüğü (W)
- Sıcaklık Etkisi (Temp)
- Sismik Yük (Seis)

Farklı yük tiplerine göre belirlenen yük kombinasyonları Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Eurocode'a göre olan yük kombinasyonları ile sistemde ortak olarak kullanılanlar **kahin** yazıyla belirtilmiştir.

Çizelge 3.8. Eurocode'a göre Yük Kombinasyonları (EUROCODE 3 : Design of Steel Structures, PART 1-3 - Design of Cold-formed Steel Structures, 2006)

G & Q & W Kombinasyonu	
SLS Eurocode-1	ULS Eurocode-1
1) $G + Q + 0,6 W$	1) $1.35 G + 1.5 Q + 0.9 W$
2) $G + Q$	2) $1.35 G + 1.5 Q$
3) $G + 0,7 Q + W$	3) $G + 1.5 Q + 0.9 W$
4) $G + W$	4) $G + 1.5 Q$
	5) $1.35 G + 1.05 Q + 1.5 W$
	6) $1.35 G + 1.5 W$
	7) $G + 1.05 Q + 1.5 W$
	8) $G + 1.5 W$
Combination of G & Q & W & Temp	
SLS Eurocode-1	ULS Eurocode-1
1) $G + Q + 0,6 W + 0.6 Temp$	1) $1.35 G + 1.5 Q + 0.9 W + 0.9 Temp$
2) $G + Q + 0.6 W$	2) $1.35 G + 1.5 Q + 0.9 W$
3) $G + Q + 0.6 Temp$	3) $1.35 G + 1.5 Q + 0.9 Temp$
4) $G + Q$	4) $1.35 G + 1.5 Q$
5) $G + 0.7 Q + W + 0.6 Temp$	5) $G + 1.5 Q + 0.9 W + 0.9 Temp$
6) $G + 0.7 Q + W$	6) $G + 1.5 Q + 0.9 W$
7) $G + W + 0.6 Temp$	7) $G + 1.5 Q + 0.9 Temp$
8) $G + W$	8) $G + 1.5 Q$
9) $G + 0.7 Q + 0.6 W + Temp$	9) $1.35 G + 1.05 Q + 1.5 W + 0.9 Temp$
10) $G + 0.7 Q + Temp$	10) $1.35 G + 1.05 Q + 1.5 W$
11) $G + 0.6 W + Temp$	11) $1.35 G + 1.5 Q + 0.9 W$
12) $G + Temp$	12) $1.35 G + 1.5 W$
	13) $G + 1.05 Q + 1.5 W + 0.9 Temp$
	14) $G + 1.05 Q + 1.5 W$
	15) $G + 1.5 W + 0.9 Temp$
	16) $G + 1.5 W$
	17) $1.35 G + 1.05 Q + 0.9 W + 1.5 Temp$
	18) $1.35 G + 1.05 Q + 1.5 Temp$
	19) $1.35 G + 0.9 W + 1.5 Temp$
	20) $1.35 G + 1.5 Temp$
	21) $G + 1.05 Q + 0.9 W + 1.5 Temp$
	22) $G + 1.05 Q + 1.5 Temp$
	23) $G + 0.9 W + 1.5 Temp$
	24) $G + 1.5 Temp$
Combination of G & Q & W & Temp	
SLS Eurocode-1	ULS Eurocode-1
1) $G + Q$	1) $1.35 G + 1.5 Q$
	$G + 1.5 Q$
ALS Eurocode-1	
1) $G + 0.3 Q + SEI$	
2) $G + SEI$	
3) $G + 0.3 Q + (-SEI)$	
4) $G + (-SEI)$	
5) $G + 0.3 Q$	

3.3.3. AISI S100-2016 VE EN 1993-1-3 (2006) yönetmeliklerinde verilen kesit şartları

Dairesel veya dairesele olmayan ağı deliklerine sahip basınç elemanları için, etkili kesit özellikleri Bölüm B2.2'ye uygun olarak belirlenecektir.

3.3.3.1. Bölüm B2.2.

Dairesel ve Dairesel Olmayan Delikli Düzgün Sıkıştırılmış Takviyeli Elemanlarla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

A. Mukavemet Tespiti

Dairesel Kesitler için:

Etkin genişlik, b , Denklem 1 veya 2 ile hesaplanacaktır:

$$0,50 \text{ için } \geq \frac{d_h}{w} \geq 0 \text{ ve } \frac{w}{t} \leq 70, \text{ ve}$$

Deliklerin merkezleri arasındaki mesafe $\geq 0,50w$ ve $\geq 3 d_h$

Denklem 3.1. Etkin Genişlik

$$b = w - d_h \quad \text{eğer } \Delta \leq 0.673$$

Denklem 3.2. Etkin Genişlik

$$b = w \left(\frac{1 - \left(\frac{0,22}{\Delta} \right) - \left(\frac{0,8 d_h}{w} \right) + \left(\frac{0,085 d_h}{w \Delta} \right)}{\Delta} \right) \quad \text{eğer } \Delta \geq 0.673$$

Tüm durumlarda;

$$b \leq w - d_h$$

w = Düz genişlik

t = Eleman kalınlığı

d_h = Deliklerin çapı

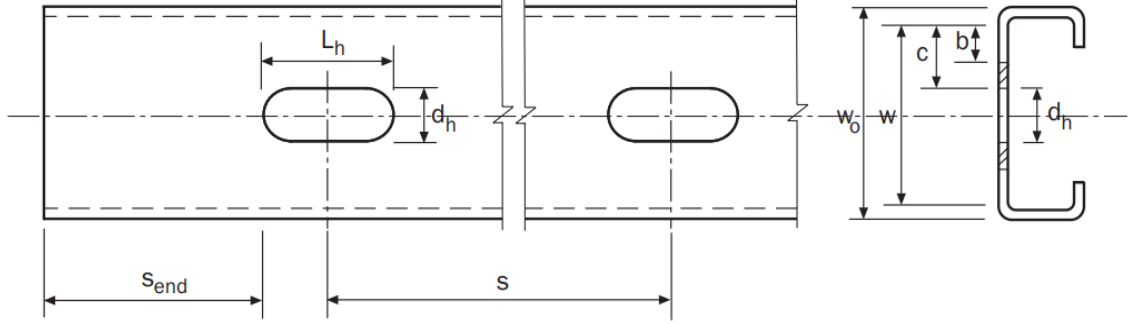
$$\Delta = \text{Narinlik Katsayısı} = \sqrt{\frac{f}{f_{cr}}}$$

Dairesel olmayan kesitler için:

1. Merkezden merkeze delik aralığı, $s > 610 \text{ mm}$
2. Uçlardaki delikten net mesafe, $s_{uç} > 254 \text{ mm}$
3. Delik derinliği $d_h < 63.5 \text{ mm}$
4. Delik uzunluğu $L_h < 114 \text{ mm}$ olmalıdır.

B. Servis Verilebilirlik Belirleme

Hizmet verilebilirliğin belirlenmesinde kullanılan etkin genişlik, b_d , Bölüm B2.1 (b) Prosedür 1 uyarınca hesaplanan b' 'ye eşit olacaktır, ancak f_d 'nin f yerine geçmesi gerekir, burada f_d dikkate alınan elemandaki hesaplanan basınç gerilmesidir.



Şekil 3.17. Dairesel Olmayan Deliklere Sahip Düzgün Sıkıştırılmış Takviyeli Elemanlar (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2007)

3.3.4. Alüminyum Ekstrüzyon Kılavuzu

Alüminyum Ekstrüzyon Kılavuzu, alüminyum Tercih Edilen Yeşil Malzeme olarak sunmaktadır. Alüminyumun doğasında var olan geri dönüştürülebilirlik ve sürdürülebilirlik gibi "yeşil" özellikleri, diğer benzersiz nitelikleriyle birleştiğinde, alüminyum birçok uygulama için çok yönlü bir malzeme haline getirmektedir. Alüminyumun karmaşık şekillere (profillere) ekstrüzyon yeteneği tasarımcılara yaratıcı özgürlük verir. Çevre, zaman, maliyet ve süreç tekrarlanabilirliğinin önemli parametreler olduğu durumlarda, alüminyum ekstrüzyonlar aşağıdaki özelliklere sahip bir malzeme ve süreç seçeneği sunar sayısız ürün uygulaması için kelimenin tam anlamıyla rakipsizdir.

Alüminyum Ekstrüzyon Kılavuzu, Alüminyum Ekstrüderleri Konseyi tarafından tasarım hayal gücünü harekete geçirmek ve tasarımcılara çalışmalarında yardımcı olmak için gereken teknik bilgileri sunmak amacıyla bir referans kılavuzu olarak hazırlanmıştır. Sektörde en çok kullanılan Tablolar, Grafikler ve Standart Referansların birçoğu Ekstrüzyon El Kitabında yer almaktadır (AYAN).

3.3.4.1. Alüminyum kullanımının avantajları

- Geri Dönüştürülebilir: Alüminyum tamamen ve tekrarlanabilir şekilde geri dönüştürülebilir. Alüminyum, doğuştan gelen özelliklerinde herhangi bir bozulma veya kayıp olmadan defalarca geri dönüştürülebilir. İyi bilinen ve belgelenen bu özellik verimliliği en üst düzeye çıkarır.

- Hafif: Çelik, demir, pirinç veya bakırın yaklaşık üçte biri kadar ağırlığa sahip olan alüminyumun hafiflik özelliği, ulaşım ve dayanıklı tüketim malları gibi pazarlarda tercih edilmesini sağlamıştır.
- Yüksek Mukavemet: Uygun şekilde alaşımlandırılan alüminyumun nihai gerilimleri 90.000 PSI'a kadar ulaşarak çeliğinkine yaklaşabilir. Sonuç olarak, alüminyumun birçok yapısal uygulaması vardır. Şekillendirilebilirliğin mukavemetten daha önemli olduğu durumlarda, alüminyum çok daha düşük nihai gerilme için alaşımlandırılabilir.
- Yüksek Direnç: Dayanımın esnek olması gereken yerlerde, alüminyum yük altında sapabilir ve sonra geri yaylanabilir. İster yelkenli direkleri ister modern sokak lambası direkleri olsun, esnekliğin tasarım için kritik önem taşıdığı yerlerde, alüminyum teknik özellikleri karşılayabilir.
- Korozyon Direnci: Alüminyum paslanmaz. Havaya maruz kaldığında, alüminyum oksijenle reaksiyona girerek hem dayanıklı hem de korozyona dirençli ince bir oksit tabakası oluşturur.
- Kusursuza Yakın: Alüminyum, gevşeyebilecek, zayıflayabilecek veya sızıntı yapabilecek mekanik bağlantılar veya dikişler olmadan içi boş şekiller oluşturmak için ekstrüde edilebilir (özellikle haddelenmiş ve damgalanmış ürünlerle karşılaştırıldığında).
- Zehirli Değil: Alüminyum katı halde toksik değildir, bu da onu gıda hazırlama ve paketlenmeden kimyasal işleme ve işlemeye kadar ürünler için mükemmel bir malzeme haline getirir.

3.3.4.2. Güneş enerjisi santrallerinde alüminyum kullanımı

Nevada, Boulder City'de bulunan Nevada Solar One, Las Vegas bölgesindeki 40.000 eve elektrik sağlayan dünyanın en büyük üçüncü güneş enerjisi santralidir. Bu parabolik güneş kolektörü sisteminde yedi milyon pound ekstrüde alüminyum boru ve bileşen kullanılmış ve 400 dönümlük bir alanda 9.120 uzay çerçevesi oluşturulmuştur.

3.3.4.3. Alüminyum ekstrüzyonlarla tasarım

Tasarımcılara nispeten düşük maliyetli bir süreçle, zamanında, seçtikleri net şekle yakın bir şekil sunan alüminyum ekstrüzyonlar, tasarım seçimi için yapısal malzemeler arasında rakipsizdir.

a. Tasarım Fonksiyonları

Tasarımcılar, alüminyum ekstrüzyonların kullanımı yoluyla mevcut olan geniş fırsatları keşfetmeye ve ekstrüzyon alüminyum bileşenlerin ve son ürünlerin performansı için yüksek beklentiler belirlemeye teşvik edilmektedir.

Tasarım gerçekleştirmek için çeşitli modelleme yöntemleri kullanılır. Bunlardan en çok tercih edileni Sonlu Elemanlar Metodu'dur. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), tasarımın çalışma sırasında nasıl performans gösterdiğini tam olarak anlarken en az ağırlık ve maliyete sahip olacak şekilde bir tasarımı optimize etmeye yönelik bir modelleme tekniğidir.

Termal analiz ise en iyi ısı transfer planını oluşturmak için ortama bağlı olarak bağlantı sıcaklığını tahmin etmeye yönelik bir modelleme yöntemidir.

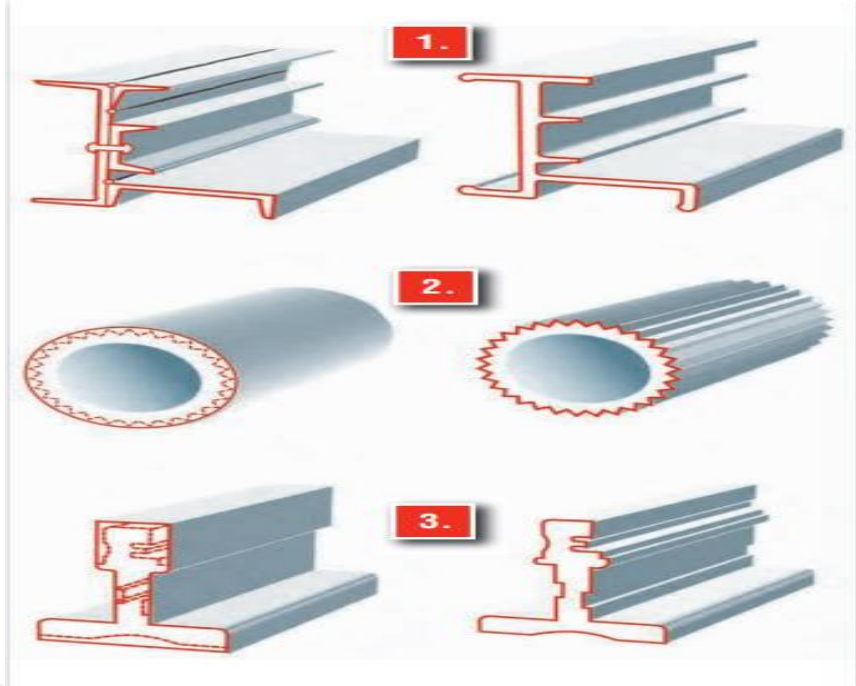
Yapısal Analiz, kullanılan malzemeye, destek noktalarına, iletilen yüke ve temas noktalarına bağlı olarak gerilme ve deformasyon konumlarını belirlemek için kullanılan bir modelleme tekniğidir.

b. Tasarım Avantajları

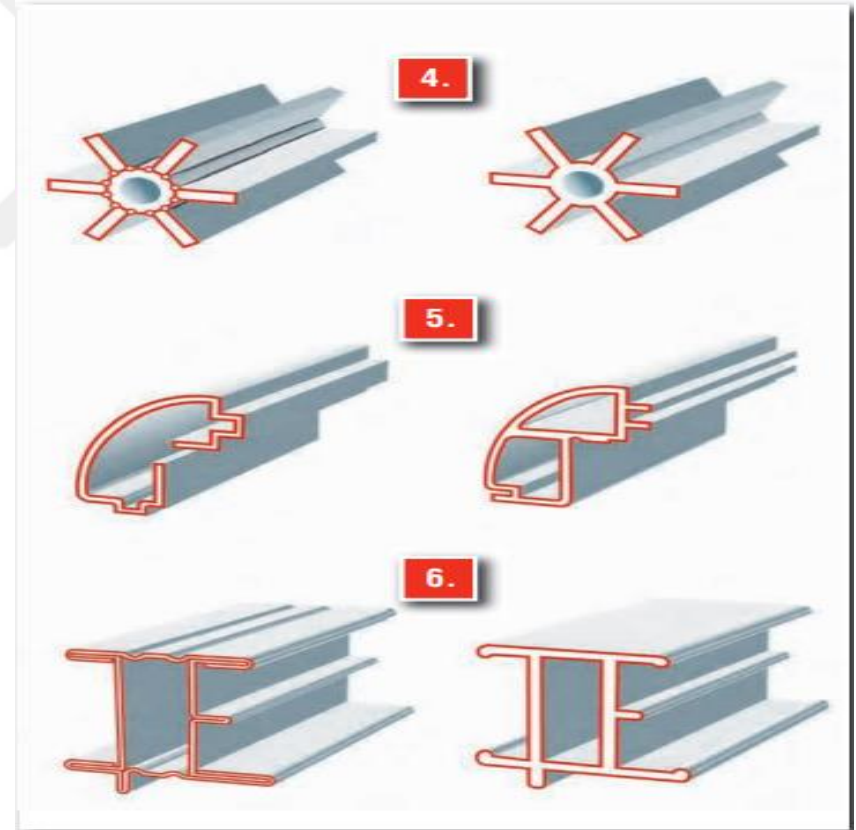
Ekstrüde alüminyum, tasarım zorluklarını alternatif üretim yöntemlerinden daha başarılı, verimli veya ucuz bir şekilde yerine getirmek için çeşitli şekillerde kullanılabilir. Aşağıdaki maddeler birkaç popüler örnektir.

1. Gösterildiği gibi, birçok perçinlenmiş haddelenmiş şekil tek bir ekstrüzyon profil ile ikame edilebilir, bu da birleştirme masraflarını ortadan kaldırırken mukavemeti artırır.
2. İstenen bileşenin hassas (veya buna yakın) boyut ve şekil kriterlerine göre ekstrüde edilmesi, genellikle işleme masraflarından tasarruf sağlayabilir.
3. Metalin sadece ihtiyaç duyulan yere yerleştirilmesiyle ağırlık önemli ölçüde azaltılabilir. Metal, ekstrüzyon yöntemiyle hassas bir şekilde yerleştirilebilir.
4. Kaynaklı montajlardan genellikle uygun bir ekstrüzyon tasarlanarak kaçınılır. Bu şekilde mukavemet ve hassasiyet artırılırken maliyetler azaltılabilir.
5. Güçlü çok boşluklu içi boş profiller, genellikle daha düşük kurulum maliyetleri ve daha kısa teslim süreleri ile rulo şekillendirilmiş alternatiflerin yerini almak için kullanılabilir.
6. Sertliği ve mukavemeti artırmak için ekstrüzyon kullanılabilir. Karmaşık bir içi boş profil, bu durumda kıvrımlı boru şeklindeki bir kısmın yerini alarak daha düşük bir üretim maliyeti sağlar.

Şekil 3.18. ve Şekil 3.19'da bu maddelere dair gösterimler yer almaktadır.



Şekil 3.18. Tasarım Avantajları (1-3) (Aluminum Extruders Council, 2013)



Şekil 3.19. Tasarım Avantajları (4-6) (Aluminum Extruders Council, 2013)

c. Tasarım Parametreleri

- Profil (Şekil) Konfigürasyonu: Ekstrüde profiller üç tipte sınıflandırılır: dolu, yarı boş ve içi boş.

- Tolerans: Bölüm 8, standart boyutsal toleranslar ve geometrik toleranslama hakkında kapsamlı bilgiler içermektedir.
- Yüzey cilası: Bölüm 4'te belirtildiği gibi, yüzeyler çeşitli şekillerde cilalanabilir.
- Alaşım: Her biri kendi nitelik ve özelliklerine sahip çeşitli alüminyum ekstrüzyon alaşımları vardır.

Çevreleyen Dairenin Boyutu. Bu, bir profilin çapının sektördeki en yaygın ölçümüdür. Çevreleyen daire çapı (CCD) olarak da bilinir.

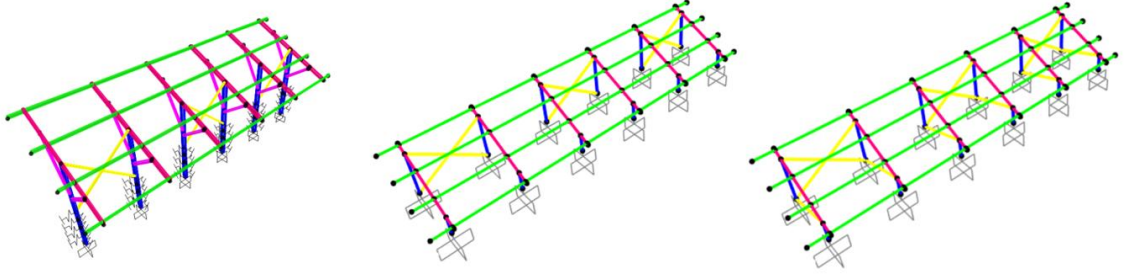
d. Kullanılan Alüminyum Kesit Tipleri

Çoğu güneş paneli düzensiz kesitli alüminyum alaşımdan yapılmıştır. Panellerin kolay montajı için yuvaları vardır. Yüzey mat efektli gümüşü beyaz renkte anodize edilirken, bazıları siyah renktedir. Güneş çerçevesinin şekli, alüminyum çubuk tarafından bir kalıptan ekstrüde edilir ve yüzey etkisi kumlama ve eloksal ile elde edilir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

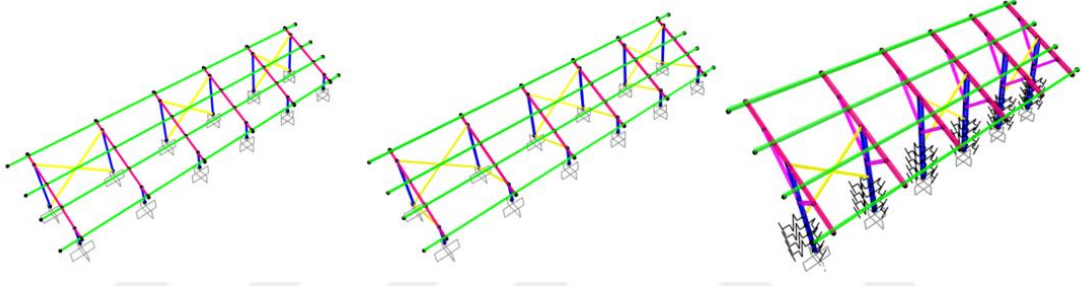
Tez kapsamında, hafif çelik kullanılarak tasarlanan 24 farklı güneş enerjisi santrali modeli, SAP2000 programında analiz edilmiştir. Analizlerde dört temel parametre dikkate alınmıştır.

1. **Sistemlerin çaprazlı veya çaprazsız olması:** Bu parametre, yapısal sistemlerde çapraz elemanların bulunup bulunmamasına göre farklı analizler yapılmasını sağlamıştır. 1. Model çaprazsız, 2. Model ise çaprazlı tasarlanarak çapraz kullanımının yapı davranışına olan etkisi incelenmiştir. Son olarak; 3. Model tek kolonlu ve çaprazlı tasarlanarak 3 temel model oluşturulmuştur.
2. **Eğim açısı:** Güneş panellerinin yerleştirildiği yapısal sistemlerin eğim açıları, enerji verimliliğini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Farklı eğim açıları, panel yüzeyine gelen güneş ışığı miktarını değiştirdiğinden, bu açılar üzerinde yapılan analizler, sistemlerin performansını optimize etmeye yöneliktir. Oluşturulan 3 temel modelin eğim açıları 25 derece ve 30 derece olacak şekilde belirlenmiş ve toplamda 6 farklı sistem elde edilmiştir.
3. **Kullanılan malzeme (soğuk şekillendirilmiş çelik ve alüminyum):** Yapısal sistemlerde kullanılan malzeme türleri hem ekonomik hem de yapısal performans açısından kritik bir parametredir. Soğuk şekillendirilmiş çelik ve alüminyum, hafiflik ve mukavemet açısından farklı özelliklere sahiptir ve bu malzemelerin performansı detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu sebeple 3 temel modelin farklı açılarıyla beraber oluşturulan 6 farklı model, kullanılan malzeme açısından 2 türe ayrılarak 12 adet model elde edilmiştir.
4. **Eurocode ve AISI yönetmeliklerine göre yapılan analizler:** Yapısal tasarım ve analizlerde kullanılan bu iki yönetmelik, farklı yük ve dayanım kombinasyonlarına göre sistemlerin değerlendirilmesini sağlamıştır. Eurocode, Avrupa standartlarına göre, AISI ise Amerika çelik standartlarına göre yapılan hesaplamaları içerir ve her iki yönetmelik doğrultusunda sistem performansları analiz edilmiştir. Böylelikle oluşturulan 12 adet sistem, 2 farklı yönetmelik kapsamında değerlendirilerek 24 farklı model üzerinden sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Optimizasyon işlemi için başlangıç tasarımları

Bu tasarımlara ilaveten; güneş panellerinin arazi koşullarına bağlı olarak eğim açısının genişletildiği 3 sistem tasarımı daha yapılmıştır. Bu sistemlerde eğim açısı 25° 'den 30° 'ye çıkarılmıştır. Eğim açısına bağlı olarak; değişen güneş enerjisi santrallerinin verimliliği de bu çalışma kapsamında değerlendirilecektir.

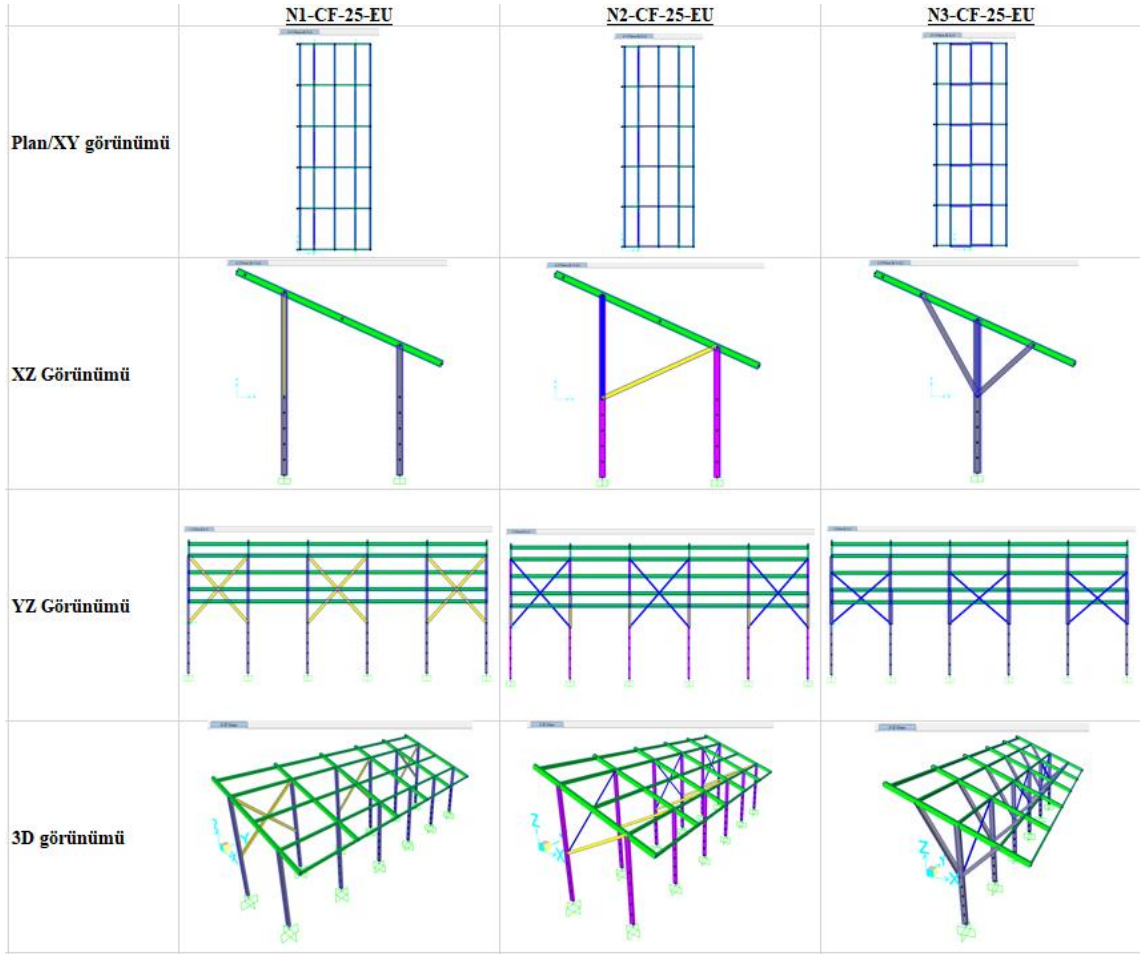


Şekil 4.2. 30° sistemler

Hafif çelik sistemler ile alüminyum sistemlerin kıyaslanması için 6 güneş enerjisi santrali sistemi daha tasarlanmıştır. Böylelikle 12 sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Hafif çelik yapılarla ilgili ülkemizde yönetmelik bulunmamasından dolayı AISI S100-2016 (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members) ve Eurocode (EN 1993-1-3 (2006)) yönetmeliklerine göre 2 farklı şekilde tasarım yapılmıştır. Yapı sistemlerinin modelleme, yükleme, analiz ve tasarım işlemleri N1-CF-25-EU numunesi için örnek olarak diğer bölümlerde verilmiştir.

Statik tasarımı yapılacak olan çelik santralin mimarisi ülkemizde sıkça görülen tipik bir G.E.S. mimarisine göre seçilmiştir. Bina tam simetrik olarak tasarlanmıştır. Yine çapraz bağlantı elemanları bina üzerine tam simetrik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yapıya ait tipik modeller Şekil 4.3'te verilmiştir. AutoCAD ortamında çizimi yapılan yapının SAP2000 programına aktarılması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Hafif çelik tasarlanan 3 modelin plan kesit ve görüşleri

Bu tablo, 25 derece eğimli hafif çelik destek sistemlerine ait üç farklı yapısal modelin görüşlerini içermektedir. Modeller arasındaki farklar ve her model için verilen görüşler şu şekildedir:

Model 1: N1-CF-25-EU

Bu modelde çapraz elemanlar bulunmaz. Destek sistemi basit bir yapıdadır ve yatay kuvvetlere karşı dayanımı daha düşük olabilir.

Model 2: N2-CF-25-EU

Bu modelde çapraz elemanlar kullanılmıştır. Çaprazlar, yatay ve düşey yükler altındaki stabiliteyi artırır, sistemin rijitliğini sağlar.

Model 3: N3-CF-25-EU

Bu modelde tek bir kolon kullanılarak daha minimal bir yapı oluşturulmuştur. Genellikle alan tasarrufu sağlamak veya ekonomik çözümler arandığında tercih edilir.

Bu tablo, hafif çelik destek sistemlerinin farklı yapılandırmalara göre nasıl değiştiğini ve bu değişikliklerin görsel olarak nasıl temsil edildiğini göstermektedir.

Alüminyum malzemeye tasarlanmış 30 derece eğimli ayni destek sistemleri için değerlendirmeler şu şekildedir:

	N1-AL-30-EU	N2-AL-30-EU	N3-AL-30-EU
Plan/XY görünümü			
XZ Görünümü			
YZ Görünümü			
3D görünümü			

Şekil 4.4. Alüminyum tasarlanan 3 modelin plan, kesit ve görünüşleri

Model 1: N1-AL-30-EU

Alüminyumun hafifliği ve korozyona dayanıklılığı avantaj sağlar, ancak çapraz elemanların olmaması sistemin stabilitesini azaltabilir. Özellikle rüzgar gibi yatay yükler altında daha fazla deformasyon görülebilir.

Model 2: N2-AL-30-EU

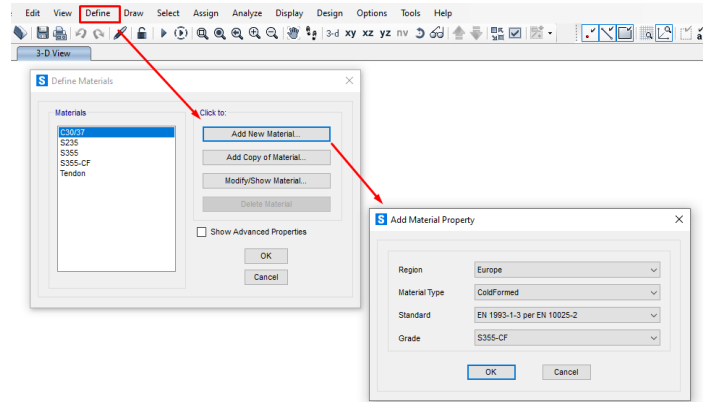
Çapraz elemanların eklenmesi, alüminyumun hafifliği nedeniyle oluşabilecek esnemeyi ve stabilite sorunlarını minimize etmiştir. Yatay ve düşey yükler karşısında daha dayanıklı ve rijit bir sistem sunmuştur.

Model 3: N3-AL-30-EU

Tek kolonlu yapı, malzeme tasarrufu sağlar ve daha hafif bir sistem sunar. Alüminyumun hafifliği bu tip tasarımlar için avantajlıdır çünkü taşıma ve montaj süreçlerini kolaylaştırır.

4.1. Modelin Bilgisayar Ortamında Malzeme Tanımı

SAP2000 Programında Define-Materials-Add New Material sekmesinden Europe standartları seçilerek ColdFormed malzeme sisteme tanımlanmıştır.



Şekil 4.5. SAP2000 Malzeme tanımı

Özet bilgiler, Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6. ile verilmiştir.

Çizelge 4.1. Cold Formed -Malzeme Bilgisi

TABLE: Material Properties 03d - Cold Formed Data				
Material	Fy	Fu	SSHysType	CoupModType
Text	N/mm ²	N/mm ²	Text	Text
S355-CF	355	510	Kinematic	Von Mises

Çizelge 4.2. Aluminum Data-Malzeme Bilgisi

TABLE: Material Properties 03c - Aluminum Data								
Material	AlumType	Alloy	Fcy	Fty	Ftu	Fsu	SSHysType	CoupModType
Text	Text	Text	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	Text	Text
6061T6	Wrought	6061-T6	241,32	241,32	262	165,47	Kinematic	Von Mises

4.2. Tasarımda Kullanılan Yönetmelikler

- TS 498 "Yapı Elemanları Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", 1997
- ÇYTHYE-2016/ Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği
- TS EN 1991-1-1/ Yapılar Üzerinde Etkiler- Bölüm 1-1: Genel Etkiler-Yoğunluklar, Binaların Zati Ağırlıkları ve Binaların Maruz Kaldığı Diğer Yükler
- TS EN 1991-1-3 / Yapılar Üzerindeki Etkiler -Bölüm1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri (2006)

- TS EN 1991-1-4/ Yapılar Üzerindeki Etkiler -Bölüm1-4: Genel Etkiler -Rüzgar Etkileri (2006)
- TBDY-2018/ Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- Aluminum Frame Design Preferences for AA-ASD 2000
- Cold-Formed Steel Frame Design Preferences for AISI-S100-16
- Steel Frame Design Preferences for AISC 360-10 (ASD)
- EUROCODE 3: Design of Steel Structures, PART 1-3-Design of Cold-formed Steel Structures

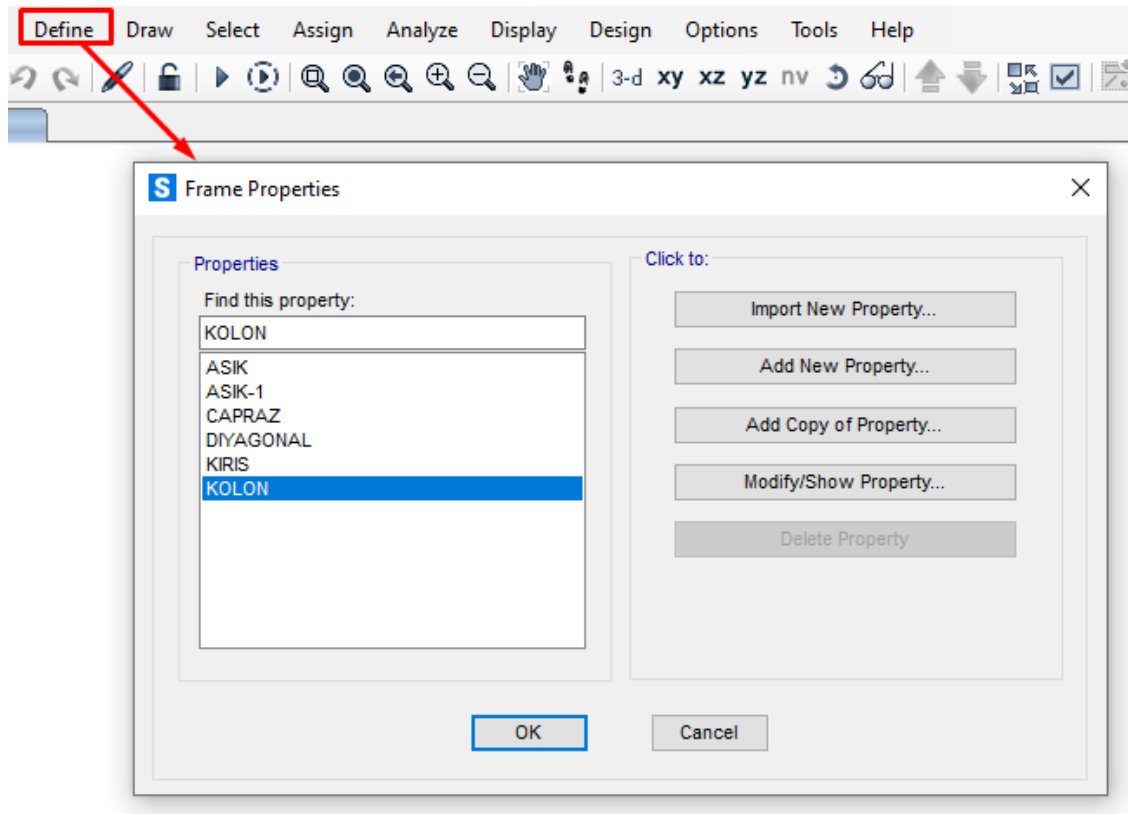
4.3. Yapının Genel Tanımı

- İl: Bursa
- İlçe: Karacabey
- Rakım: 24m
- Yerel Zemin Sınıfı: ZD (TBDY-2018 Tablo 2.1.)
- Topografik Bölge Sınıfı: Rüzgâra Açık (TS EN 1991-1-3 Çizelge 5.1)

4.3.1. Yapının Taşıyıcı Sistemi

Arazi tipi güneş enerjisi santralının taşıyıcı sistemi 6 akstan oluşmaktadır. Aks aralıkları 2.2 m'dir. Çerçeve sisteminde soğuk şekillendirilmiş hafif çelik konstrüksiyon 1.5m çakılarak zemine mesnetlenecektir. Mevcut sistem, kar yağdığında güneş enerjisi panellerini temizleyecek olan sorumlu bir kişi tarafından sürekli esasta korunacaktır. Buna rağmen statik hesaplarda toplam kar yükünün tamamı değerlendirilmiştir.

Şekil 4.6'da SAP2000 programında yapının taşıyıcı sistem elemanlarının özellikleri tanıtılmış, Çizelge 4.3'te taşıyıcı sistem elemanlarının kesit ve boyut özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yapının Taşıyıcı Sistemi

Çizelge 4.3. Yapının taşıyıcı sisteminin eleman bilgisi

TABLE: Frame Section Properties 01 - General								
SectionName	Material	Shape	t3	t2	tw	Radius	LipDepth	Area
Text	Text	Text	mm	mm	mm	mm	mm	mm2
Aşık	S355-CF	Cold Formed C	100	50	3	3	20	660,82
Çapraz	S355-CF	Cold Formed L	50		4	2	0	377,13
Diyagonal	S355-CF	Cold Formed L	50		4	3	0	377,13
Kiriş	S355-CF	Cold Formed C	140	60	2,5	3	20	706,76
Kolon	S355-CF	Cold Formed C	120	80	4	3	20	1181,66

Malzeme ve kesit tanımı yapıldıktan sonra, 2 boyutlu Aks sistemi oluşturulmuştur.

4.3.2. Modele Aks Tanımlama

Yapıya ait SAP2000 aks aralıkları ve isimlendirmeleri Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Aks sisteminin oluşturulmasından sonra kullanılan kesit özellikleri detaylı bir şekilde görsellerle açıklanmıştır.

Define Grid System Data

System Name: GLOBAL

X Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	0	Primary	Yes	End	
2	0,9	Primary	Yes	End	
3	3,1	Primary	Yes	End	
4	3,9	Primary	Yes	End	

Add Delete

Y Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	0	Primary	Yes	Start	
B	2,2	Primary	Yes	Start	
C	4,4	Primary	Yes	Start	
D	6,6	Primary	Yes	Start	
E	8,8	Primary	Yes	Start	
F	11	Primary	Yes	Start	

Add Delete

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
Z1	0	Primary	Yes	End	
Z2	1,5	Primary	Yes	End	
Z3	2,14	Primary	Yes	End	
Z4	2,5	Primary	Yes	End	
Z5	3,5	Primary	Yes	End	
Z6	3,9	Primary	Yes	End	

Add Delete

Grid Lines

Quick Start...

Display Grids as

☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines

☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

Şekil 4.7. Yapının SAP2000 aks bilgileri

4.3.3. Kullanılan Kesitler

Yapıya ait kullanılan kolon profil kesiti ile ilgili bilgiler Şekil 4.8'de verilmiştir.

Cold Formed C Section

Section Name: KOLON

Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color: [Color Box]

Dimensions

Outside Height (A): 120

Outside Width (B): 80

Thickness (t): 4

Radius (R): 3

Lip Depth (d): 20

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material

S355-CF

Property Modifiers

Set Modifiers...

Section

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Property Data

Section Name: KOLON

Properties

Cross-section (axial) area	1181,6637	Section modulus about 3 axis (top)	46614,01
Moment of inertia about 3 axis	2796840,5	Section modulus about 3 axis (bottom)	46614,01
Moment of inertia about 2 axis	993796,9	Section modulus about 2 axis (left)	33450,63
Product of inertia about 2-3	0	Section modulus about 2 axis (right)	19761,136
Torsional constant	6302,2064	Warping Constant (Cw)	3,286E+09
Shear area in 2 direction	424	Plastic modulus about 3 axis	46614,01
Shear area in 3 direction	528	Plastic modulus about 2 axis	19761,136
CG offset in 3 direction	10,2906	Radius of Gyration about 3 axis	48,6505
CG offset in 2 direction	0	Radius of Gyration about 2 axis	29,0003
Shear Center Offset (x3)	66,5932		
Shear Center Offset (x2)*	0		

* Value is not used in analysis

OK

Şekil 4.8. Yapının SAP2000 kullanılan kolon profili bilgisi

Cold Formed C Section

Section Name: KRIS

Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color: [Green]

Dimensions

Outside Height (A): 140

Outside Width (B): 60

Thickness (t): 2.5

Radius (R): 3

Lip Depth (d): 20

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material: S355-CF

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Property Data

Section Name: KRIS

Properties

Cross-section (axial) area	706,7568	Section modulus about 3 axis (top)	30659,103
Moment of inertia about 3 axis	2146137,2	Section modulus about 3 axis (bottom)	30659,103
Moment of inertia about 2 axis	351949,7	Section modulus about 2 axis (left)	17748,047
Product of inertia about 2-3	0	Section modulus about 2 axis (right)	8761,5801
Torsional constant	1472,4143	Warping Constant (Cw)	1,570E+09
Shear area in 2 direction	322,5	Plastic modulus about 3 axis	30659,103
Shear area in 3 direction	245	Plastic modulus about 2 axis	8761,5801
CG offset in 3 direction	10,1697	Radius of Gyration about 3 axis	55,1053
CG offset in 2 direction	0	Radius of Gyration about 2 axis	22,3154
Shear Center Offset (x3)	47,1942		
Shear Center Offset (x2)*	0		

* Value is not used in analysis

Şekil 4.9. Yapının SAP2000 kullanılan kiriş profili bilgisi

Cold Formed C Section

Section Name: ASK-1

Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color: [Green]

Dimensions

Outside Height (A): 100

Outside Width (B): 50

Thickness (t): 3

Radius (R): 3

Lip Depth (d): 20

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material: S355-CF

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Property Data

Section Name: ASK-1

Properties

Cross-section (axial) area	660,823	Section modulus about 3 axis (top)	20193,175
Moment of inertia about 3 axis	1009658,8	Section modulus about 3 axis (bottom)	20193,175
Moment of inertia about 2 axis	233262,84	Section modulus about 2 axis (left)	12541,761
Product of inertia about 2-3	0	Section modulus about 2 axis (right)	7428,4907
Torsional constant	1982,469	Warping Constant (Cw)	6,156E+08
Shear area in 2 direction	264	Plastic modulus about 3 axis	20193,175
Shear area in 3 direction	228	Plastic modulus about 2 axis	7428,4907
CG offset in 3 direction	6,4011	Radius of Gyration about 3 axis	39,0881
CG offset in 2 direction	0	Radius of Gyration about 2 axis	18,788
Shear Center Offset (x3)	42,6836		
Shear Center Offset (x2)*	0		

* Value is not used in analysis

Şekil 4.10. Yapının SAP2000 kullanılan aşıklar profili bilgisi

Cold Formed C Section

Section Name: DIAGONAL

Section Notes: Modify/Show Notes...

Display Color: [Yellow]

Dimensions

Outside Height (A): 90

Outside Width (B): 50

Thickness (t): 3

Radius (R): 3

Lip Depth (d): 0

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material: S355-CF

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Property Data

Section Name: DIAGONAL

Properties

Cross-section (axial) area	540,4115	Section modulus about 3 axis (top)	15393,498
Moment of inertia about 3 axis	692707,4	Section modulus about 3 axis (bottom)	15393,498
Moment of inertia about 2 axis	135809,98	Section modulus about 2 axis (left)	9318,72
Product of inertia about 2-3	0	Section modulus about 2 axis (right)	3833,6122
Torsional constant	1621,2345	Warping Constant (Cw)	1,825E+08
Shear area in 2 direction	234	Plastic modulus about 3 axis	15393,498
Shear area in 3 direction	264	Plastic modulus about 2 axis	3833,6122
CG offset in 3 direction	10,4261	Radius of Gyration about 3 axis	35,8024
CG offset in 2 direction	0	Radius of Gyration about 2 axis	15,8527
Shear Center Offset (x3)	31,7425		
Shear Center Offset (x2)*	0		

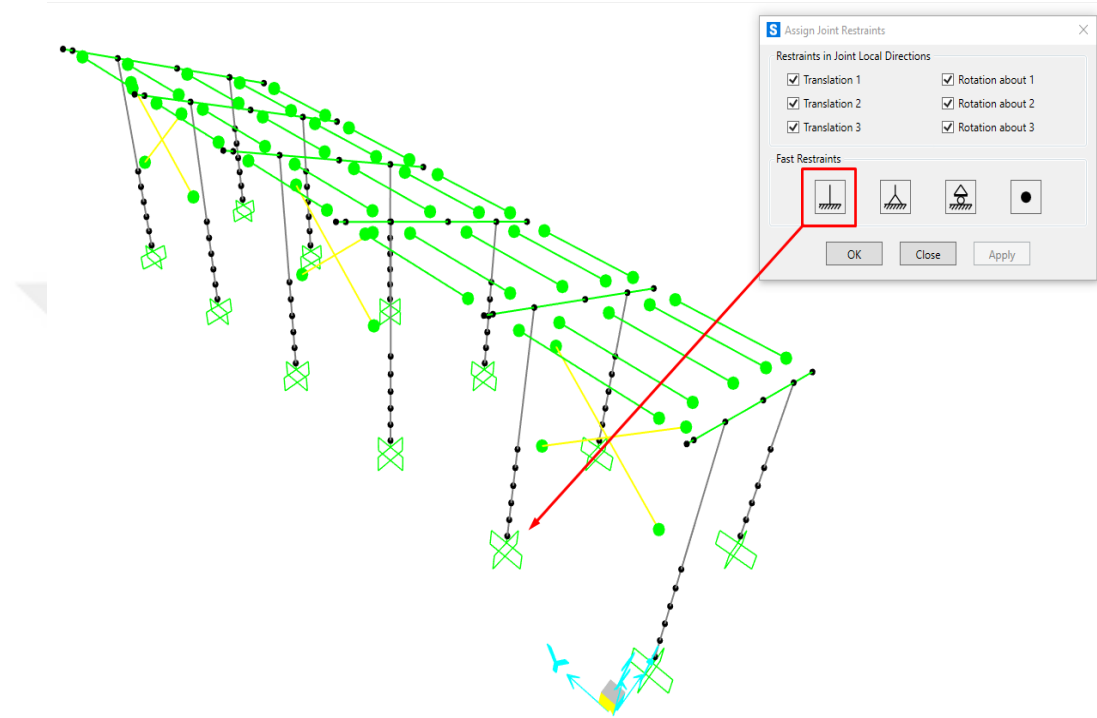
* Value is not used in analysis

Şekil 4.11. Yapının SAP2000 kullanılan diyagonal profili bilgisi

Yapıda kullanılan elemanlara ait kesit bilgileri şu şekildedir: kiriş kesiti Şekil 4.9'da, aşıklar kesiti Şekil 4.10'da ve diyagonal kesiti Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

4.3.4. Mesnet Tanımı

Güneş enerjisi sistemlerinde mesnet durumları genellikle ankastre mesnet şeklinde dikkate alınmaktadır. Kolonların 1,5 m zemine gömülen kısımlarına ise yay tanımlaması yapılmıştır. Ayrıca merkezi çapraz, diyagonal ve aşık elemanları moment aktarmayan elemanlar olduğundan dolayı mafsallı (pinned) olarak yapısal modele tanımlanmıştır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Yapının SAP2000 serbestlik görüntüsü

Çizelge 4.4. Joint kısıtlama atamaları

TABLE: Joint Restraint Assignments						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No
1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
13	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
14	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
47	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
83	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
84	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
90	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
91	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
97	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
98	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
105	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

TABLE: Frame Release Assignments 1 - General													
Frame	PI	V2I	V3I	TI	M2I	M3I	PJ	V2J	V3J	TJ	M2J	M3J	PartialFix
Text	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No
2	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
3	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
16	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
17	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
18	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
19	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
29	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
30	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
31	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
32	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	No
39	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
40	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
41	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
42	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
43	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
93	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
94	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
95	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
96	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
111	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
112	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
113	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
114	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
124	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
125	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
126	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
127	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
142	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
143	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
144	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No
145	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	No

Şekil 4.13. Yapının SAP2000 serbestlik bilgileri

4.3.5. Yapıya Etkiyecek Karakteristik Yükler

Bu bölümde analizi yapılacak hafif çelik GES yapısına etkiyen yükler ve hesap detaylarından bahsedilmiştir. Tasarımda kullanılacak yükler sırasıyla,

- Zati Yükler (DEAD)
- Ölü Yükler (GPanel)
- Kar Yükleri (S)
- Rüzgâr Yükleri (Wx-Wy)
- Deprem Yükleri (Ex-Ey) şeklinde dikkate alınmıştır.

Yapı elemanlarının zati ağırlığı SAP2000 programı tarafından otomatik olarak hesaplatılmıştır. Bunun için yük modeli tanımlanırken öz ağırlık çarpanı (self weight multiplier), zati yük modelinde “1” olarak dikkate alınmıştır.

4.3.5.1 Panel yükünün hesaplanması

Güneş enerji sistemini planlarken panellerin ağırlığını bilmek oldukça önemlidir. Ağır güneş panelleri, kurulumu oldukça zorlaştırır. Diğer bir taraftan karavan, yat ya da evin çatısının taşıyabileceği yük sınırlıdır. Güneş panelleri bu tür yüzeylere monte edilecekse ağırlık göz önünde bulundurulmalıdır. Yaygın olarak kullanılan 400 W güneş panellerinin ağırlığı yaklaşık olarak 22 kg'dır. Daha düşük güce sahip 200 W güneş panelleri ise 12 kg civarında bir ağırlığa sahiptir. Bu doğrultuda hesaplanan panel yükleri, SAP2000 programında çubuk elemanlara yayılı yük olarak atanmıştır.

Güneş paneli ağırlığı = 22 kg

Güneş paneli uzunluğu (En) = 1,001

Güneş paneli uzunluğu (Boy) = 1,986 m

Eğim açısı = 25°

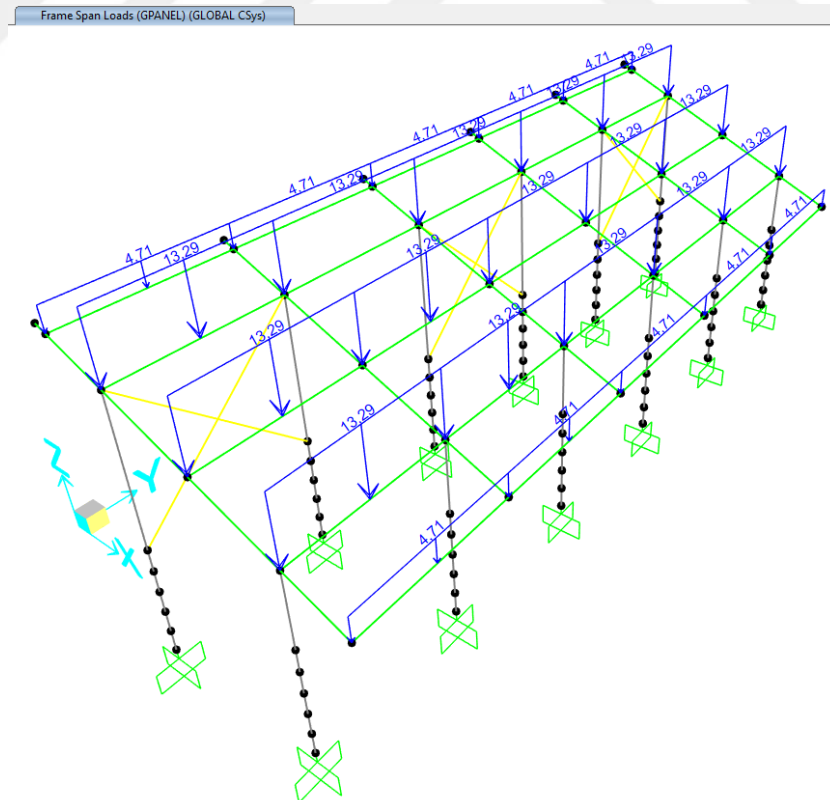
Orta aşıklık yük aralığı = 1,001 m

Kenar aşıklık yük aralığı = 0,5055 m

1 m² ye gelen yük = 22/ (1,001*1,986) = 11,077 kg/m²

Kenar aşıklara gelen yük = 11,071 * 1,2m = 13,29 kg/m

Ara aşıklara gelen yük = 11,077*1,2m = 13,29 kg/m



Şekil 4.14. SAP2000 Panel yükü etkisi

4.3.5.2 Kar yükünün hesaplanması

Kar yükleri, TS EN 1991-1-3 bölüm 1.6.4'te tanımlandığı şekilde, bölüm 5.2 (3.a)'de belirttiği gibi çatı kar yükü hesaplanmıştır (Denklem 4.1).

$$S = \mu_1 \times C_s \times C_t \times s_k \quad (4.1.)$$

Bursa ili Karacabey ilçesi TS EN 1991-1-3 yönetmeliğinde 4. Bölge olarak okunmuştur.

Çizelge 4.5. Zati kar yükü bölgesi

Bursa	
Büyükorhan	6
Gemlik	4
Gürsu	6
Harmancık	7
İnegöl	4
İznik	5
Karacabey	4
Keles	4

Bursa ili Karacabey ilçesi deniz seviyesinden yükseklik değeri Google Earth aracılığıyla 24 m olarak okunmuştur. Bu bilgiler ışığında karakteristik zemin kar yükü değeri ; $s_k = 0.75 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6. Karakteristik zemin kar yükü değerleri

Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER								
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-200	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85
300	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,85	0,90
400	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,90	0,95
500	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,95	1,00
600	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85	0,90	1,00	1,10
700	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90	0,90	0,95	1,10	1,20
800	0,80	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	1,10	1,20	1,30
900	0,80	0,95	1,05	1,10	1,10	1,10	1,25	1,30	1,40
1000	0,80	1,05	1,10	1,20	1,30	1,35	1,40	1,50	1,60
>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.								

* Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.

$$\gamma_{kar} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 1$$

$$C_t = 1$$

$$s = \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k$$

$$s_k = 0,75 \times 101,94 \text{ kg/m}^2 = 76,478 \text{ kg/m}^2$$

Panel eğim açısı 25° olduğundan TS EN 1991-1-3 yönetmelik çizelge 4.7'den kar yükü şekil katsayıları hesaplanmıştır;

Çizelge 4.7. Kar yükü şekil katsayıları

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

$$\mu_1 = 0,8$$

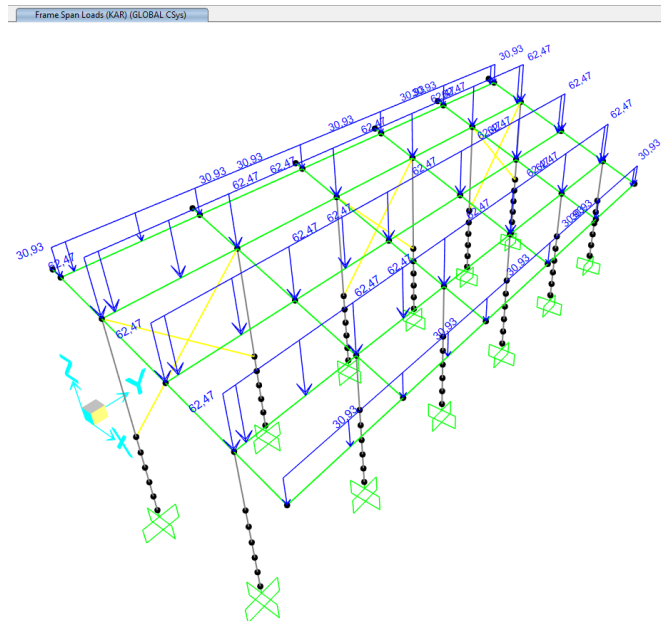
$$\mu_2 = 0,8 + 0,8 (25/30) = 1,33 \text{ olduğundan;}$$

$$s = 0,8 \times 1 \times 1 \times 76,478 = 61,182 \text{ kg/m}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır, bu durumda;}$$

$$\text{Kenar aşıklara gelen yük} = 61,182 \times 0,5055 = 30,928 \text{ kg/m}$$

$$\text{Orta aşıklara gelen yük} = 61,181 \times 1,021 = 62,467 \text{ kg/m olmuştur.}$$

Hesaplanan kar yükleri, SAP2000 programında çubuk elemanlara yayılı yük olarak atanmıştır.



Şekil 4.15. SAP2000 kar yükü etkisi

4.3.5.3. Rüzgâr yükünün hesaplanması

Fotovoltaik Modüller ve bağlantı elemanları 150 km/saat (41,667 m/sn) hızındaki rüzgara dayanabilecek kapasitede rüzgar direncine sahip olacaktır.

$$V = 150 \text{ km/saat}$$

$$V = 150 \times 1000 / (3600) = 41,667 \text{ m/sn}$$

Rüzgâr yükleri, TS EN 1991-1-4 bölüm 5.2(1)'de belirtildiği gibi dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı hesaplanacaktır (Denklem 4.2).

$$W = q_p(z_e) \times c_{p,net} \quad (4.2)$$

Rüzgar hızının temel değeri ($V_{b,o}$), ÇYTHY-2016'da bölüm 5.3 belirttiği üzere $V_{b,o} = 41,667 \text{ m/sn}$ (150 km/sa)'dir. Bursa iline ait meteorolojik ölçümler sonucunda 12.03.2010 tarihinde meydana gelen günlük en hızlı rüzgâr hızı değeri 41,667 m/sn olarak kaydedilmiştir (<https://mgm.gov.tr>). Bu sebeple rüzgâr hızının temel değeri, $V_{b,o} = 41,667 \text{ m/sn}$ dikkate alınmıştır.

Esas rüzgâr hızı, TS EN 1991-1-4 bölüm 4.2(1)'de belirtildiği üzere, 4.2(2)'de belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 4.3).

$$V_b = c_{dir} \times c_{season} \times V_{b,o} \quad (4.3)$$

Farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı (c_{season}) ve mevsim katsayısı (c_{dir}), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.2(Not 2 ve Not 3)'de tavsiye edilen değer "1,0" dikkate alınmıştır.

$$V_b = 1 \times 1 \times 41,667 \rightarrow V_b = 41,667$$

Ortalama rüzgâr hızı, TS EN 1991-1-4 bölüm 4.3'te belirtildiği üzere, 4.3.1(1)'de belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 4.4).

$$V_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times V_b \quad (4.4)$$

Engbelik katsayısı ($c_r(z)$), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.3.2(1)'de belirtildiği üzere ve bölüm 4.3.2(Not)'de verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Denklem 4.5).

$$c_r(z) = k_r(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.5)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\text{en küçük}}) \quad z \leq z_{\min}$$

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

Yapının yer seviyesinden olan yüksekliği $z = 2,3$ m'dir. Yapının bulunduğu yer Bursa ili Karacabey ilçesi dikkate alınmasından dolayı arazi kategorisi II olarak belirlenmiştir.

Bu durumda $z_0 = 0,05$ m ve $z_{\text{en küçük}} = 2$ m bulunmuştur (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991-1-4, Çizelge 4.1)

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

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} \rightarrow k_r = 0,19$$

$$z = 2,3 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 2 \text{ m} \leq z = 2,3 \text{ m} \leq z_{\max} = 200 \text{ m}$$

$$C_r(z) = 0,19 \times \ln(2,3 / 0,05) \rightarrow c_r(z) = 0,73$$

Orografi katsayısı (c_o), yapı yamaç, tepe vs. rüzgâr hızını %5'ten fazla artıracak bir bölgede bulunmadığı için TS EN 1991-1-4 bölüm 4.3.2(Not 1)'de tavsiye edilen değer "1,0" dikkate alınmıştır.

$$V_m(z) = 0,73 \times 1 \times 41,667 \rightarrow V_m(z) = 30,31 \text{ m/sn}$$

Rüzgâr türbülansı ($l_v(z)$), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.4(1)'de belirtildiği üzere ve bölüm 4.3.2(Not 2)'de tavsiye edilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Denklemler 4.6).

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_l}{c_o \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.6)$$

$$l_v(z) = l_v(z_{min}) \quad z \leq z_{min}$$

Türbülans katsayısı (k_1), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.4(Not 2)'de tavsiye edilen değer "1,0" dikkate alınmıştır.

$$Z = 2,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m} \leq z = 2,3 \text{ m} \leq z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$l_v(z) = 1 / (1 \times \ln(2,3/0,05)) \rightarrow l_v(z) = 0,261$$

Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı ($q_p(z)$), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.5(1)'de belirtildiği üzere ve bölüm 4.5(Not 1)'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Denklem 4.7).

$$q_p(z) = [1 + 7 \times l_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times V_m^2(z) \quad (4.7)$$

Hava yoğunluğu (ρ), TS EN 1991-1-4 bölüm 4.5(Not 2)'de tavsiye edilen değer "1,25 kg/m³" dikkate alınmıştır.

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,19] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 46,46^2 \rightarrow q_p(z) = 3143,36 \text{ N/m}^2$$

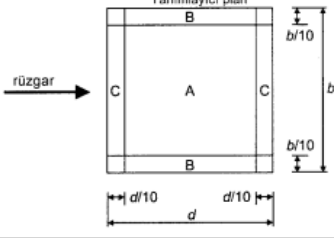
$$q_p(z) = 3,14 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z) = (1 + 7 \times 0,261) \times 1/2 \times 1,25 \times 30,31^2 \rightarrow q_p(z) = 1623,22 \text{ N/m}^2$$

$$q_p(z) = 1,62 \text{ kN/m}^2$$

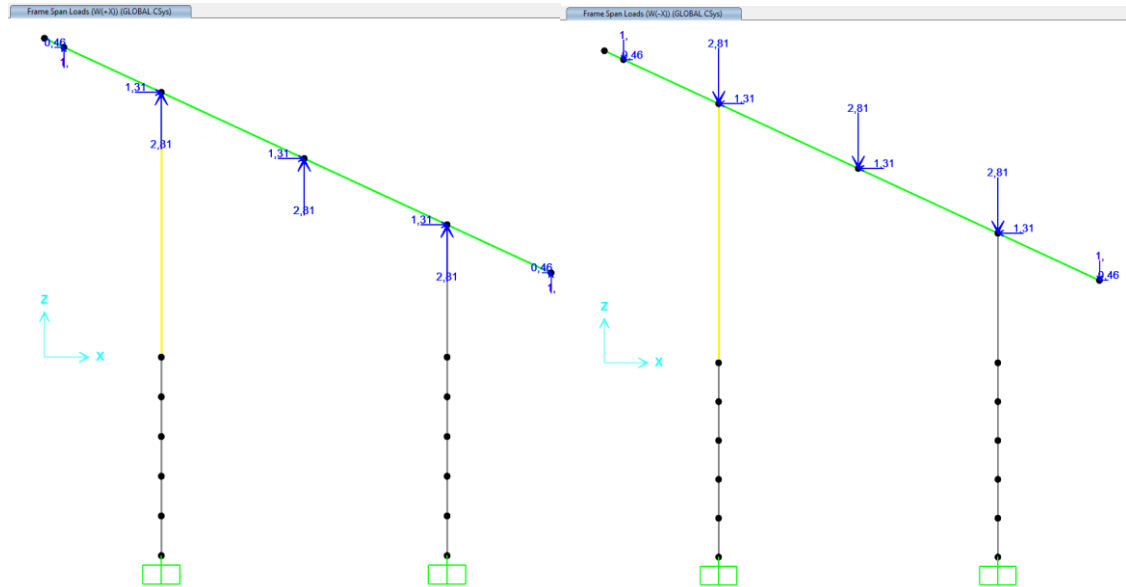
Net basınç katsayıları ($c_{p,net}$), dış basınç katsayılarına ($c_{pe,10}$) ve iç basınç katsayılarına (c_{pi}) bağlı olarak hesaplanmaktadır. TS EN 1991-1-4 bölüm 5.2(3) uyarınca cephelere ve çatıya etkiyen net basınç, dış ve iç yüzeylerinde oluşan basınçların yönleri de dikkate alınarak hesaplanan farkına eşittir.

Çizelge 4.9. Rüzgâr yükü basınç katsayıları

Net basınç katsayısı $c_{p, net}$ Tanımlayıcı plan 					
Çatı açısı α	Engel oranı φ	Genel kuvvet katsayıları c_f	A Bölgesi	B Bölgesi	C Bölgesi
0°	En büyük φ	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	En düşük $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	En düşük $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	En büyük φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	En düşük $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	En büyük φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	En düşük $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,7
15°	En büyük φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	En düşük $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	En büyük φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	En düşük $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	En büyük φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	En düşük $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	En büyük φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	En düşük $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	En düşük $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

Not - + değerler rüzgârın uzaklaştığı yönde etkiyen net rüzgâr etkisini temsil eder
- değerler rüzgârın yaklaştığı yönde etkiyen net rüzgâr etkisini temsil eder

Rüzgâr yükünün X ve y doğrultusunda dağılımı ise Şekil 4.16'daki gibidir.



Şekil 4.16. Rüzgâr yükünün yönleri ve taşıyıcı sistem doğrultusunda dağılımı

W(-X) için;

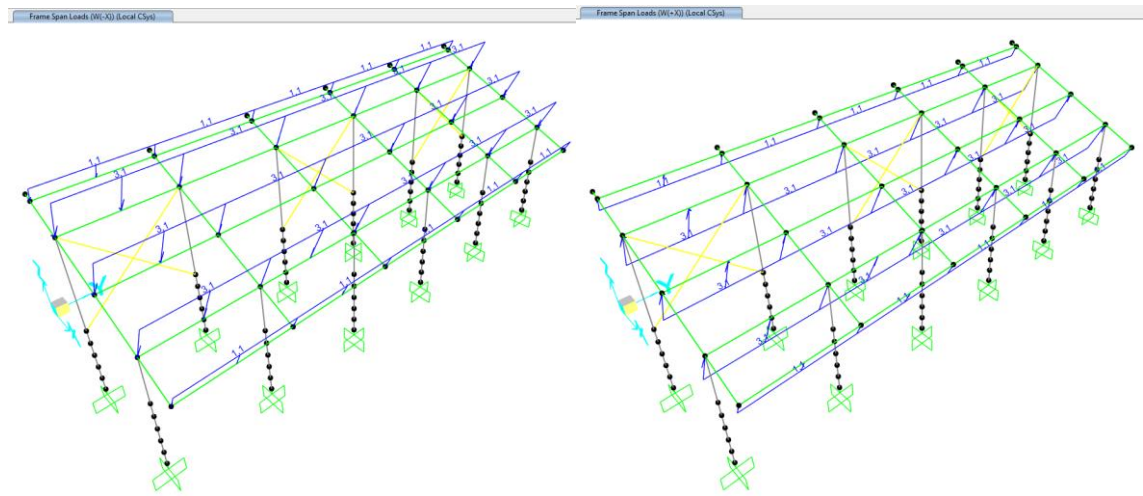
$$1 \text{ m}^2 \text{ ye gelen yük} = q_p \times c_f = 1,62 \times -1,6 = -2,59 \text{ kN/m}^2$$

- Kenar aşıklara gelen yük $= 0,425\text{m} \times -2,59 \text{ kN/m}^2 = -1,1 \text{ kN/m}$
- Ara aşıklara gelen yük $= 1,2\text{m} \times -2,59 \text{ kN/m}^2 = -3,1 \text{ kN/m}$

W(+X) için;

$$1 \text{ m}^2 \text{ ye gelen yük} = q_p \times c_f = 1,62 \times 1,6 = 2,59 \text{ kN/m}^2$$

- Kenar aşıklara gelen yük $= 0,425\text{m} \times 2,59 \text{ kN/m}^2 = 1,1 \text{ kN/m}$
- Ara aşıklara gelen yük $= 1,2\text{m} \times 2,59 \text{ kN/m}^2 = 3,1 \text{ kN/m}$



Şekil 4.17. SAP2000 rüzgâr yükleri etkisi

4.3.5.3. Eşdeğer deprem yükünün hesaplanması

Dayanımına göre tasarım eşdeğer deprem yükü ile yapılmış ve TBDY 2018 bölüm 4.7.1.'de belirtildiği üzere X ve Y deprem doğrultuları için hesaplanan taban kesme kuvveti Denklem 4.8. ile belirlenmiştir.

$$V_{tE}^{(x)} = m_t S_{aR} (T_p^{(x)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.8.)$$

Burada $S_{aR} (T_p^{(x)})$ göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda TBDY 2018

Bölüm 4.7.3'e göre hesaplanan binanın hâkim doğal titreşim periyodu ($T_p^{(x)}$) göz önüne alınarak Denklem (4.9)'dan hesaplanan Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi'ni göstermektedir. S_{DS} ise kısa periyot için 2.3.2.2'de tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısıdır.

$$V_{tE}^{(x)} = m_t S_{aR} (T_p^{(x)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.9)$$

Tasarımı yapılacak olan yapının Bursa ili Karacabey ilçesinde olduğu düşünülerek deprem hesabına esas katsayıların AFAD Sitesinden alınması Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Çıktılar

$S_S = 0.871$	$S_1 = 0.228$	$S_{DS} = 1.003$	$S_{D1} = 0.489$
$PGA = 0.365$	$PGV = 21.711$		

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Şekil 4.18. Bursa Karacabey ilçesi deprem verileri

- S_{DS} = Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz) = **1,003**
- S_{D1} = 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz) = **0,4888**
- S_S = Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz) = **0,871**
- S_1 = 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz) = **0,228**
- T = Doğal titreşim periyodu [s]
- T_A = Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]=**0,097**
- T_B = Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]=**0,487**

X ve Y deprem doğrultusunda Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı TBDY Tablo 4.1’den 4 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (TBDY 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8

Bina Önem Katsayısı TBDY Tablo 4.11’e göre 1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Bina önem katsayısı (TBDY 2018)

Tablo 3.1 – Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

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

- T_L = Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
- G = Yerçekimi ivmesi [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]
- $S_{ae}(T)$ = Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
- $R_a(T)$ = Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
- $S_{aR}(T)$ = Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
- $V_{Te}^{(X)}$ = (X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
- $V_{Te}^{(Y)}$ = (Y) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
- Binanın Deprem Yüklerinin Hesaplanmasında Kullanılan Toplam Ağırlığı (W)

Çizelge 4.8. Farklı yüklemeler altındaki konstrüksiyon ağırlıkları

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
GPANEL	LinStatic	3,64E-11	4,79E-12	541,93	3088,98	-1086,44	-2,17E-10
KAR	LinStatic	2,39E-10	3,00E-11	2741,83	15628,41	-5500,66	-1,46E-09
W(-X)	LinStatic	5451,53	1,24E-10	11690,84	66637,76	-15272,13	-31073,7
W(+X)	LinStatic	-5451,53	-1,24E-10	-11690,84	-66637,76	15272,13	31073,7
Ex1	LinStatic	-907,65	-6,03E-12	-2,16E-12	-1,03E-10	-1390,83	5173,63
Ey1	LinStatic	7,71E-14	-853,12	-1,18E-12	1307,26	-5,11E-13	-1470,86

Konstrüksiyon zati ağırlığı (G1) = 837,39 kg

Panel Ağırlığı (GP) = 484 kg

Konstrüksiyon Etkiyen Hareketli Yük Toplamı (Qx0,3) = 1744,89x0,3 = 523,467 kg

W= G1+G2+0.3Q = 837,39 + 484 + 523,467 = 1.844,857 kg

mt = G1+G2+0.3Q = 837,39 + 484 + 523,467/9,81 = 188,058 kg

Ra(T) = Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

T = Doğal titreşim periyodu [s]

TA= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]=0,097

TB= Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]=0,487

$$Ra(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B$$

$$Ra(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \quad T \leq T_B$$

$$Ra(T) = 2 + \left(\frac{4}{1} - 2 \right) \times \left(\frac{0,138}{0,487} \right) = 2,567 \quad T_A \leq T \leq T_B$$

Sae (T)= Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]

Sae (T) = SDS =1,003

SaR(T) = Sae (T)/Ra (T) = 1,003/2,567= 0,391

SDS = Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz) = 1,003

V_{Te}^(X-Y) = mt* SaR(T) ≥ 0,04* mt*I*SDS*g = 870,708 ≥ 74,015

V_{Te}^(Y) = 188,058 * 0,391 ≥ 0,04*188,058 *1*1,003*9,81 = 74,015 ≥ 73,53

V_{Te}^(X) = 188,058 * 0,391 ≥ 0,04*188,058 *1*1,003*9,81 = 74,015 ≥ 73,53

EX , EY > V_{Te}^(Y) , V_{Te}^(X) şartını sağlıyorsa mod birleştirme yöntemi deprem yükü değerleri uygundur.

Çizelge 4.13. Deprem yükü değerleri

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
Ex1	LinStatic	-907,65	-6,03E-12	-2,16E-12	-1,03E-10	-1390,83	5173,63
Ey1	LinStatic	7,71E-14	-853,12	-1,18E-12	1307,26	-5,11E-13	-1470,86

907,65 > 74,015 Düzeltme yapılmasına gerek yoktur.

853,12 > 74,015 Düzeltme yapılmasına gerek yoktur.

Yapısal analizlerde elde edilen kuvvetler yönetmelik sınırları içinde ve yapının beklenen performans seviyesi karşılandığı için, hesaplamalar ve tasarım uygun kabul edilmiştir.

4.3.6. Yapının Analizi ve Dizayn Süreçleri

GES (güneş enerji santralleri) projelerinde yapısal sistemlerin analiz ve dizayn süreçleri, özellikle güneş panellerini destekleyecek yapıların tasarımı ve kurulumu açısından kritik öneme sahiptir. Bu süreçler, yapısal bütünlüğü sağlamak ve uzun vadeli performansı garantilemek için bir dizi adımı içerir: Yapısal analiz yazılımı SAP2000 kullanılarak, güneş paneli taşıyıcı sistemlerinin 3D modelleri oluşturuldu. Bu modeller, rüzgâr, kar, sismik ve panel yükü etkilerini simüle edecektir.

4.3.6.1. Yük Kombinasyonları

GES projelerinde yapısal sistemlerin yük kombinasyonları, AISI, Eurocode ve alüminyum yönetmeliklerine göre farklılık gösterir:

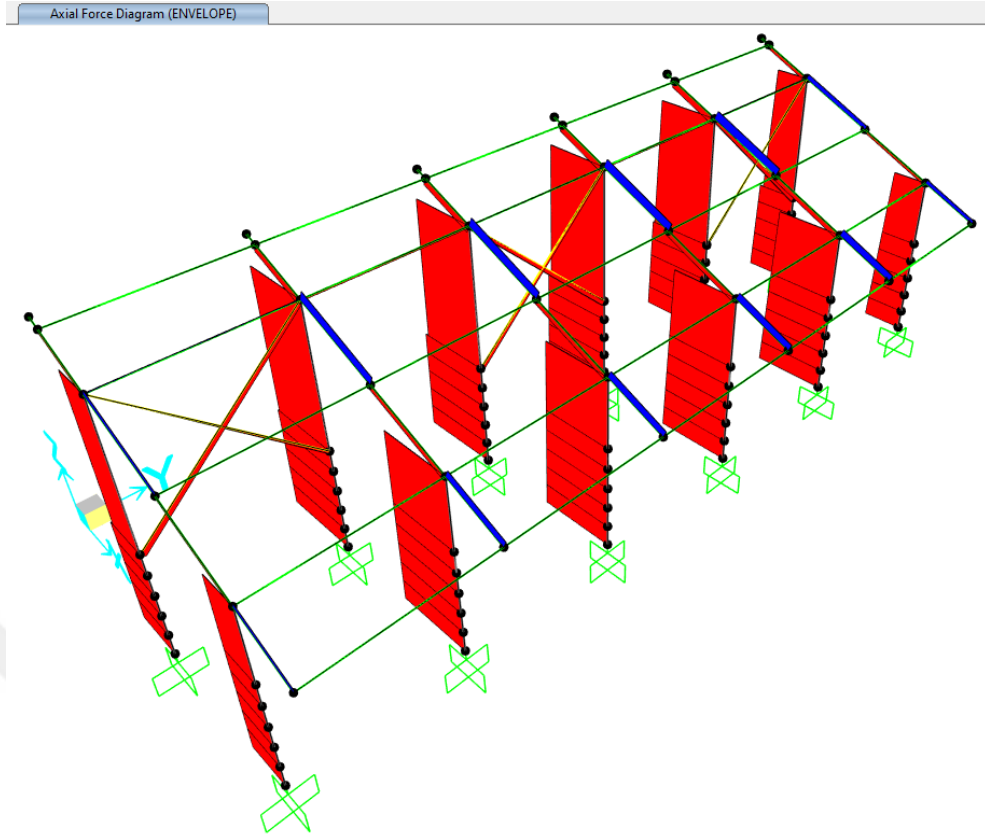
AISI (American Iron and Steel Institute): Çelik yapılar için kullanılan bu standart, ASD (Allowable Stress Design) ve LRFD (Load and Resistance Factor Design) yöntemlerini kullanır. Farklı yükler (ölü yük, hareketli yük, rüzgar, kar, deprem) için belirli kombinasyonlar sunar. Eurocode (Avrupa Standartları): Avrupa'da yapı tasarımında kullanılan bu standart, hem dayanım (ULS) hem de servis durumu (SLS) için yük kombinasyonları içerir. Kalıcı yükler, değişken yükler ve çevresel yükler için farklı indirgeme faktörleri ve kombinasyonlar kullanır. Alüminyum Yönetmeliği: Alüminyum yapıların tasarımı için kullanılan yönetmelikler, malzemenin hafifliği ve dayanıklılığına göre yük kombinasyonları belirler. Standartlar, rüzgâr ve deprem yükleri gibi çevresel yüklerin etkilerini optimize eder. Her standardın, malzeme ve yapı tipiyle ilgili farklı kriterleri ve uygulama alanları vardır. GES projelerinde kullanılan yapısal tasarımlar, proje gereksinimlerine göre bu standartlardan birine göre yapılır. 3 farklı yönetmeliğin, programda tanımlanmış olan kombinasyonları Çizelge 4.14. olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Modellerin yük kombinasyonları

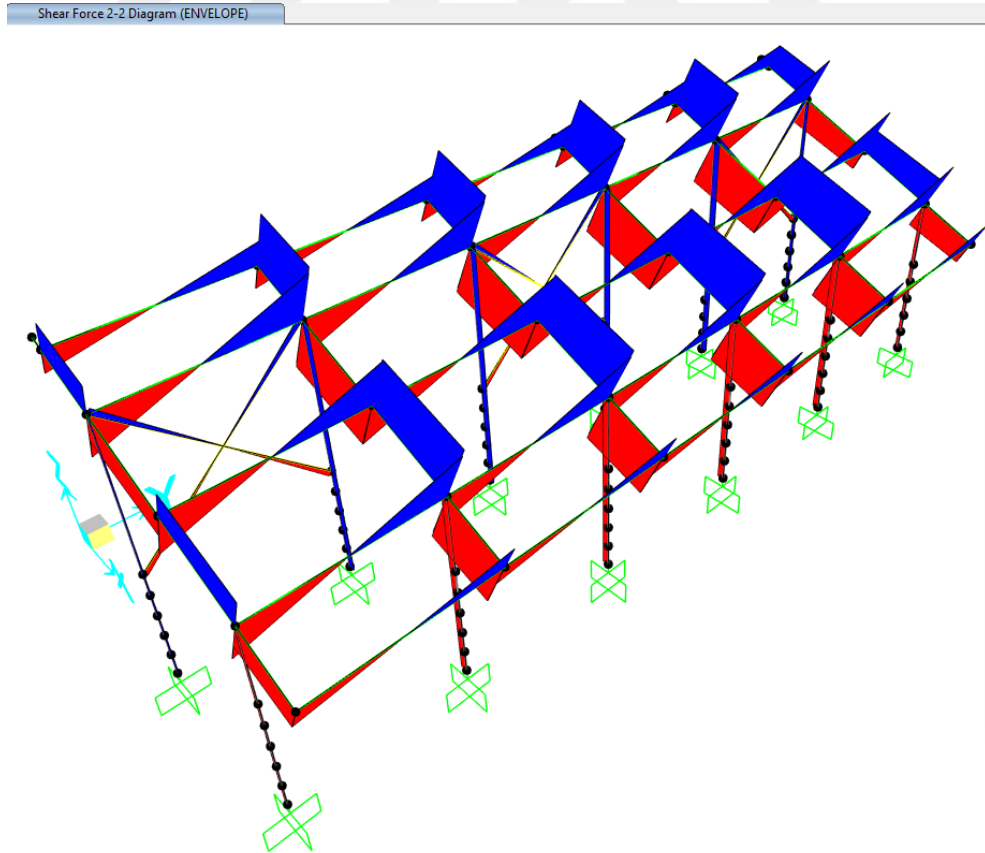
No	EUROCODE	AISI	AA2020
	1. model 25°	1. model 25°	1. model 25°
1	1.35G	1.4G	1.4G
2	1.35G+1.5S	1.2G+1.6S	1.2G+1.6S
3	1.35G+1.5S+0.9W(-X)	1.2G+S+W(-X)	1.2G+S+W(-X)
4	1.35G+1.5S-0.9W(-X)	1.2G+S+W(-X)	1.2G+S-W(-X)
5	1.35G+1.5S+0.9W(+X)	1.2G+S+W(+X)	1.2G+S+W(+X)
6	1.35G+1.5S-0.9W(+X)	1.2G+S-W(+X)	1.2G+S-W(+X)
7	1.35G+1.05S+1.5W(-X)	0.9G+W(-X)	0.9G+W(-X)
8	1.35G+1.05S-1.5W(-X)	0.9G-W(-X)	0.9G-W(-X)
9	1.35G+1.05S+1.5W(+X)	0.9G+W(+X)	0.9G+W(+X)
10	1.35G+1.05S-1.5W(+X)	0.9G+W(-X)	0.9G-W(+X)
11	1.35G+1.5W(-X)	1.3G+S+Ex1	1.2G+S+Ex1
12	1.35G-1.5W(-X)	1.3G+S-Ex1	1.2G+S-Ex1
13	1.35G+1.5W(+X)	1.3G+S+Ey1	1.2G+S+Ey1
14	1.35G-1.5W(+X)	1.3G+S-Ey1	1.2G+S-Ey1
15	G+1.5W(-X)	0.8G+Ex1	0.9G+Ex1
16	G-1.5W(-X)	0.8G-Ex1	0.9G-Ex1
17	G+1.5W(+X)	0.8G+Ey1	0.9G+Ey1
18	G-1.5W(+X)	0.8G-Ey1	0.9G-Ey1
19	G+0.3S+Ex1	1.3G+S+Ex	1.2G+S+Ex
20	G+0.3S-Ex1	1.3G+S+EY	1.2G+S+Ey
21	G+0.3S+Ey1	0.8G+Ex1	0.9G+Ex
22	G+0.3S-Ey1	0.8G+Ey	0.9G+Ey
23	G+Ex1	G	G
24	G-Ex1	G+S	G+S
25	G+Ey1		
26	G-Ey1		
27	G+0.3S+Ex		
28	G+0.3S+Ey		
29	G+Ex		
30	G+Ey		
31	G		
32	G+S		

4.3.6.2. Yapısal sistemlerin analizi

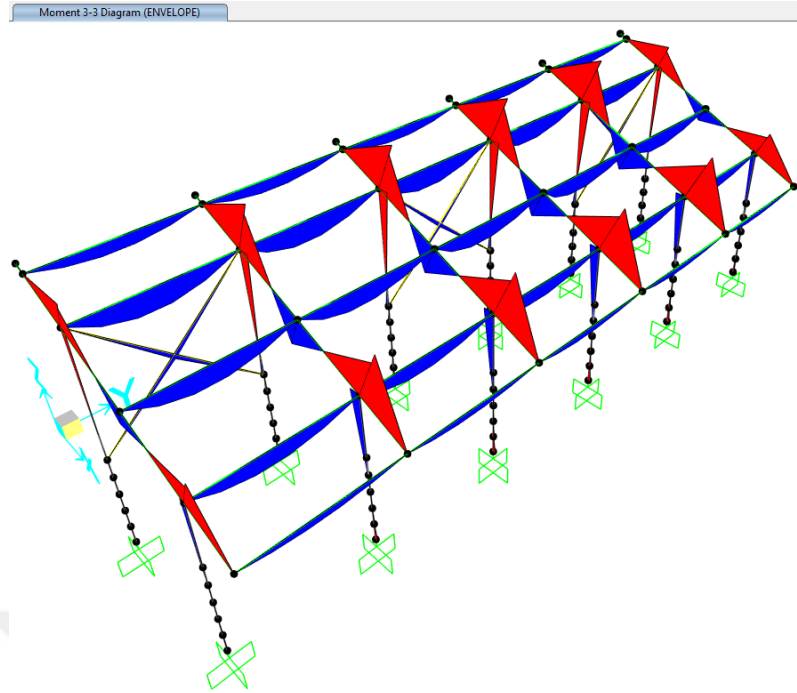
N1-CF-25-EU sistemi, program içerisinde yapısal elemanların boyutları ve malzemeleri yönetmelik doğrultusunda belirlenerek SAP2000 v25 programında modellenmiştir. Daha sonra model belirlenen yönetmeliklerin yük kombinasyonları ve mesnet koşullarıyla yüklenerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle belirtilen 1 model (N1-CF-25-EU) üzerinden; kolon, kiriş, aşıklar ve çapraz elemanların kesit hesapları SAP2000 programı yardımıyla irdelenmiştir. Yapıda kolon, kirişler, aşıklar ve



Şekil 4.21. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-CF-25-EU)



Şekil 4.22. Kesme kuvveti diyagramı (N1-CF-25-EU)



Şekil 4.23. Moment diyagramı (N1-CF-25-EU)

Bu sonuçlara göre elde edilen yapısal elemanların hesabı ise sırasıyla irdelenmiştir. Özellikle kolon ve kirişlerde burkulma ve stabilite kontrolü yapılmıştır. SAP2000, burkulma modları ve kritik yük faktörleri gibi sonuçları değerlendirmek için araçlar sunmuştur.

Eurocode 3 1-3 2004 COLD-FORMED STEEL DESIGN CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : EN, m, C

Frame : 169 Z Mid: 0,0 Combo: 1.85G+1.05S+1.5W (Design Type: Column)
Length: 0,5 Y Mid: 0,0 Shape: HCCOL Frame Type: Braced
Loc : 0,0 Z Mid: 0,25 Class: Slender Prin. Axes : 0, degrees Rolled: Yes

Country : CEN Defaults Reliability : Class 2 P-Delta Done : No
Interaction: Method 2 (Annex B) MultiResponse: Envelopes Torsion Considered: No

MATERIAL PROPERTIES E 210000000 f_{yb} 355000 f_{yk} 412105,262 f_u 510000 G 80769231,0 U 0,3

DESIGN INFO GammaM0 1,0 GammaM1 1,25 RLF PLF 0,0

ELEMENT/SEGMENT INFO 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565

Eurocode 3 1-3 2006 COLD-FORMED STEEL DESIGN CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : kN, m, C

Frame : 101 X Mid: 1,95 Combo: 1.35G+1.05S-1.5W (Design Type: Brace
Length: 4,284 Y Mid: 4,6 Shape: KIRIS Frame Type : Braced
Loc : 0,989 Z Mid: 1,523 Class: Slender Prin. Axes : 0, degrees
Rolled: Yes

Country : CEN Default Reliability : Class 2 P-Delta Done
: No
Interaction: Method 2 (Annex B) MultiResponse: Envelopes Torsion
Considered: No

MATERIAL PROPERTIES E fyb fya fu G U
210000000, 355000, 392413,793 510000, 80769231, 0,3

DESIGN INFO GammaM0 GammaM1 GammaM2 RLLF PLLF
1, 1, 1,25 1, 0,

ELEMENT/SEGMENT INFO L K iBraceLoc jBraceLoc K braced
Y-Y 0,989 1, 0, 0,989 1,
Z-Z 0,824 1, 0,165 0,989 1,
LTB 0,824 1, 0,165 0,989

SECTION PROPERTIES iy iz Wel,y,c Wel,y,t Wel,z,c Wel,z,t
Rounded Corner
Geometric 0,056 0,023 3,250E-05 3,250E-05 9,559E-06 1,962E-05
Neglected

Iw A Iy(I2) Iz(I2) It y0 z0
Geometric 7,25E-04 2,234E-06 3,696E-07 1,510E-09 -0,047 0,
1,570E-09

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
COMB. RATIO EQUATION - EC3 1-3 (6.36) - GOVERNS THE DESIGN
RATIO LIMIT 1,

SECTION

DEMANDS NEd My,Ed DelMy,Ed Mz,Ed DelMz,Ed V2,Ed
V3,Ed
6,413 -7,654 0, -0,333 0, -9,79
-0,403

CAPACITIES Nt,Rd Nc,Rd Mcy,Rdten Mcy,Rdcom Mcz,Rdten Mcz,Rdcom
Vb2,Rd Vb3,Rd
284,5 211,168 12,752 11,318 6,906 3,237
70,778 59,196

EQUATIONS
Ratio
EC3 1-1 (6.5) = NEd/Nt,Rd
= 0,023
EC3 1-1 (6.12) = My,Ed/min(Mcy,Rdten; Mcy,Rdcom)
= 0,676
EC3 1-1 (6.12) = Mz,Ed/min(Mcz,Rdten; Mcz,Rdcom)
= 0,103
EC3 1-1 (6.17) = V2,Ed/Vb2,Rd
= 0,138
EC3 1-1 (6.17) = V3,Ed/Vb3,Rd
= 0,007
EC3 1-3 (6.23) = NEd/Nt,Rd + My,Ed/Mcy,Rdten + Mz,Ed/Mcz,Rdten
= 0,671
EC3 1-3 (6.24) = |NEd/Nt,Rd + My,Ed/Mcy,Rdcom + Mz,Ed/Mcz,Rdcom|

Şekil 4.25. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-CF-25-EU)

```

Eurocode 3 1-3 2006 COLD-FORMED STEEL DESIGN CHECK      (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 40          X Mid: 2,          Combo: 1.35G+1.05S+1.5W (Design Type: Beam
Length: 2,2         Y Mid: 3,5         Shape: ASIK-1          Frame Type : Braced
Loc : 2,2           Z Mid: 1,5         Class: Slender       Prin. Axes : 0, degrees
Rolled: Yes

Country : CEN Default      Reliability : Class 2          P-Delta Done
: No
Interaction: Method 2 (Annex B)  MultiResponse: Envelopes      Torsion
Considered: No

MATERIAL PROPERTIES      E      fyb      fya      fu      G      U
210000000,      355000, 412105,263      510000, 80769231,      0,3

DESIGN INFO      GammaM0      GammaM1      GammaM2      RLLF      PLLF
1,      1,      1,25      1,      0,

ELEMENT/SEGMENT INFO      L      K      iBraceLoc      jBraceLoc      K braced
Y-Y      2,2      1,      0,      2,2      1,
Z-Z      2,2      1,      0,      2,2      1,
LTB      2,2      1,      0,      2,2

SECTION PROPERTIES      iy      iz      Wel,y,c      Wel,y,t      Wel,z,c      Wel,z,t
Rounded Corner
Geometric      0,039      0,019      2,198E-05      2,198E-05      1,431E-05      8,346E-06
Neglected

Iw      A      Iy(I3)      Iz(I2)      It      y0      z0
Geometric      6,84E-04      1,066E-06      2,478E-07      2,052E-09      -0,043      0,
6,156E-10

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
COMB. RATIO EQUATION - EC3 1-3 (6.36) - GOVERNS THE DESIGN
RATIO LIMIT      1,

-----
***SECTION***
-----
DEMANDS      NEd      My,Ed      DelMy,Ed      Mz,Ed      DelMz,Ed      V2,Ed
V3,Ed      0,03      0,      0,      0,      0,      6,
-0,413

-----
CAPACITIES      Nt,Rd      Mc,Rd      Mcy,Rdten      Mcy,Rdcom      Mcz,Rdten      Mcz,Rdcom
Vb2,Rd      Vb3,Rd      279,072      281,384      9,057      9,057      5,079      2,963
59,917      58,064

-----
EQUATIONS
Ratio
EC3 1-1 (6.5) = NEd/Nt,Rd
= 0,
EC3 1-1 (6.12) = My,Ed/min(Mcy,Rdten; Mcy,Rdcom)
= 0,
EC3 1-1 (6.12) = Mz,Ed/min(Mcz,Rdten; Mcz,Rdcom)
= 0,
EC3 1-1 (6.17) = V2,Ed/Vb2,Rd
= 0,1
EC3 1-1 (6.17) = V3,Ed/Vb3,Rd
= 0,007
EC3 1-3 (6.23) = NEd/Nt,Rd + My,Ed/Mcy,Rdten + Mz,Ed/Mcz,Rdten
= 0,
EC3 1-3 (6.24) = |-NEd/Nt,Rd + My,Ed/Mcy,Rdcom + Mz,Ed/Mcz,Rdcom|

```

Şekil 4.26. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-CF-25-EU)

```

Eurocode 3 1-3 2006 COLD-FORMED STEEL DESIGN CHECK      (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 16          X Mid: 0,9          Combo: 1.35G+1.05S-1.5W (Design Type: Brace
Length: 2,973       Y Mid: 1,3          Shape: DIAGONAL          Frame Type : Braced
Loc : 0,            Z Mid: 1,           Class: Slender          Prin. Axes : 0, degrees
Rolled: Yes

Country : CEN Default      Reliability : Class 2          P-Delta Done
: No
Interaction: Method 2 (Annex B) MultiResponse: Envelopes      Torsion
Considered: No

MATERIAL PROPERTIES      E      fyb      fya      fu      G      U
210000000,      355000, 390380,435      510000, 80769231,      0,3

DESIGN INFO      GammaM0      GammaM1      GammaM2      RLLF      PLLF
1,      1,      1,25      1,      0,

ELEMENT/SEGMENT INFO      L      K      iBraceLoc      jBraceLoc      K braced
Y-Y      2,973      1,      0,      2,973      1,
Z-Z      2,973      1,      0,      2,973      1,
LTB      2,973      1,      0,      2,973

SECTION PROPERTIES      iy      iz      Wel,y,c      Wel,y,t      Wel,z,c      Wel,z,t
Rounded Corner
Geometric      0,036      0,016      1,645E-05      1,645E-05      3,863E-06      1,079E-05
Neglected

      A      Iy(I3)      Iz(I2)      It      y0      z0
Iw      Geometric 5,52E-04      7,154E-07      1,380E-07      1,656E-09      -0,031      0,
1,825E-10

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
COMB. RATIO EQUATION - EC3 1-3 (6.36) - GOVERNS THE DESIGN
RATIO LIMIT      1,

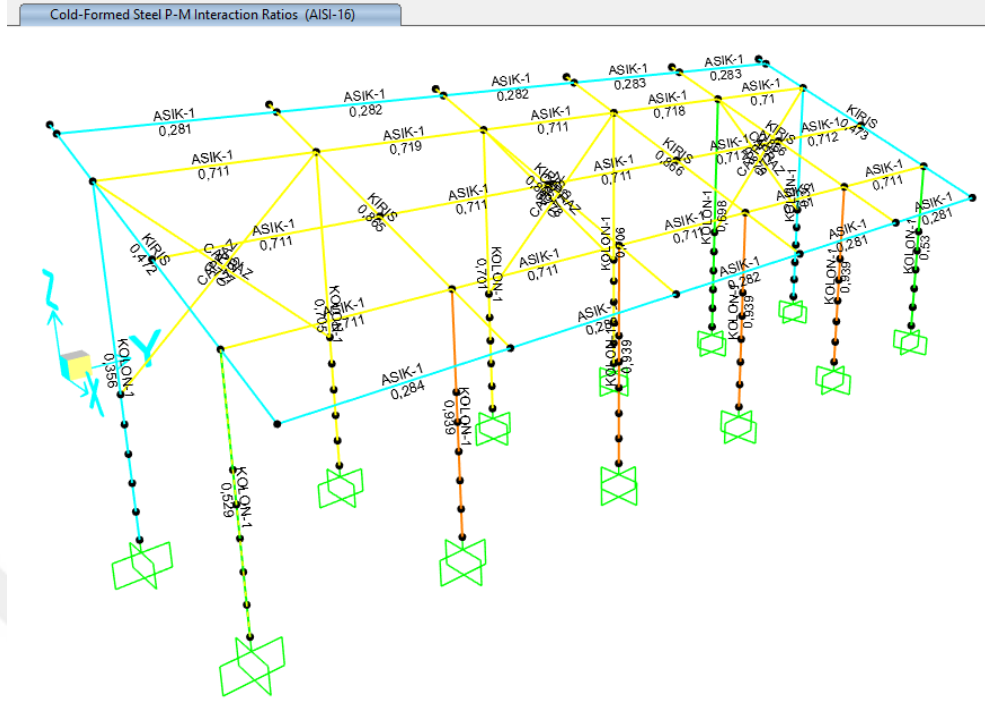
-----
***SECTION***
-----
DEMANDS      NEd      My,Ed      DelMy,Ed      Ms,Ed      DelMs,Ed      V2,Ed
V3,Ed
0,      -1,227      0,      0,      0,      -0,005      -0,062

-----
CAPACITIES      Nt,Rd      Nc,Rd      Mcy,Rdten      Mcy,Rdcom      Mcz,Rdten      Mcz,Rdcom
Vb2,Rd      Vb3,Rd
53,74      59,917      215,49      172,772      5,655      4,975      3,508      1,088

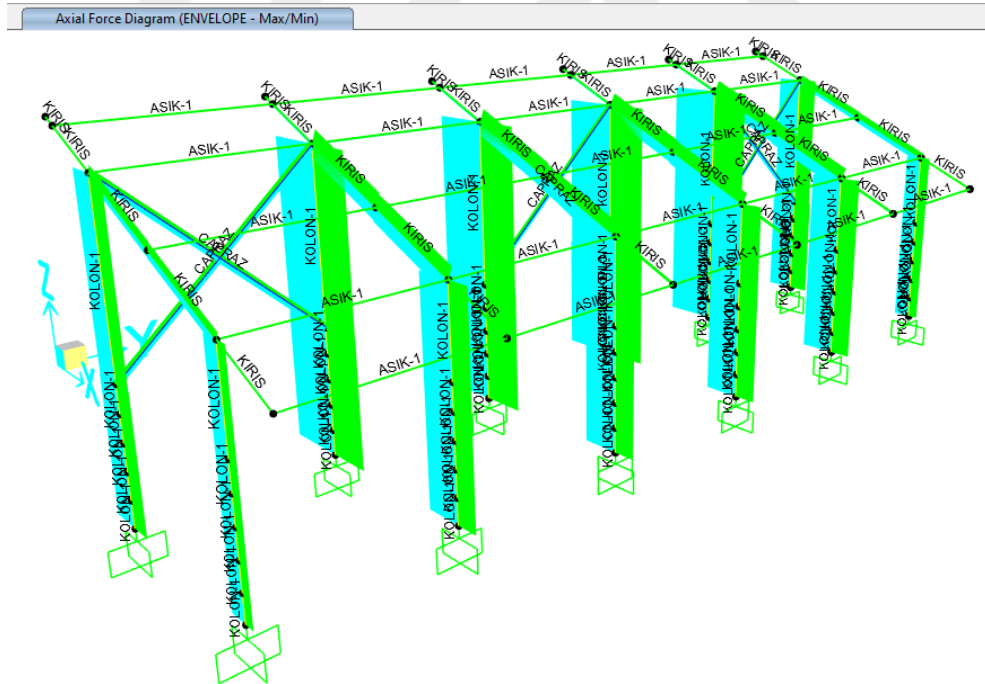
-----
EQUATIONS
Ratio
EC3 1-1 (6.9) = NEd/Nc,Rd
= 0,007
EC3 1-1 (6.12) = My,Ed/min(Mcy,Rdten; Mcy,Rdcom)
= 0,
EC3 1-1 (6.12) = Ms,Ed/min(Mcz,Rdten; Mcz,Rdcom)
= 0,
EC3 1-1 (6.17) = V2,Ed/Vb2,Rd
= 0,001
EC3 1-1 (6.17) = V3,Ed/Vb3,Rd
= 0,
EC3 1-3 (6.25) = NEd/Nc,Rd + (My,Ed + DelMy,Ed)/Mcy,Rdcom + (Ms,Ed + DelMs,Ed)/Mcz,Rdcom
= 0,012
EC3 1-3 (6.26) = |-NEd/Nc,Rd + (My,Ed + DelMy,Ed)/Mcy,Rdten + (Ms,Ed +

```

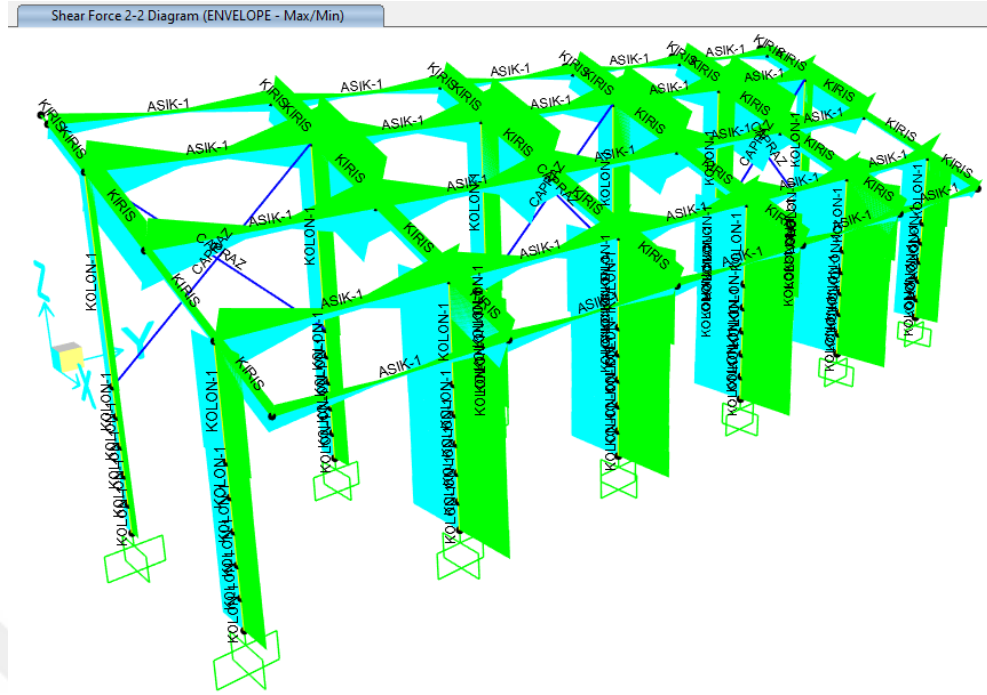
Şekil 4.27. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-CF-25-EU)



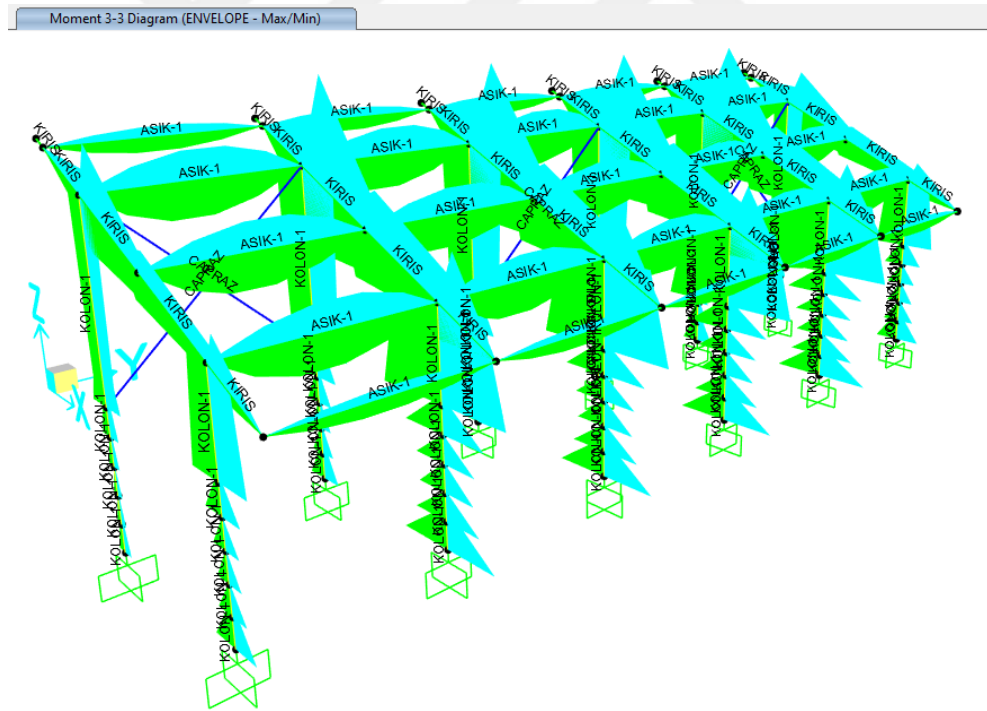
Şekil 4.28. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-CF-25-AISI)



Şekil 4.29. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-CF-25-AISI)

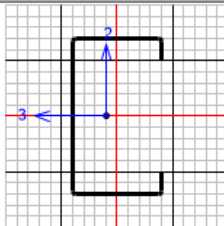


Şekil 4.30. Kesme kuvveti diyagramı (N1-CF-25-AISI)



Şekil 4.31. Moment diyagramı (N1-CF-25-AISI)

File



Units **KN, m, C**

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK
Units : KN, m, C

Frame : 105 Design Sect : KOLON-1 Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 3,1 Design Type : Column Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 0,2 Frame Type : Braced Fastening R Value : N/A
Z Mid : -0,25 2nd-Order Method: General 2nd-Order Design Provision : LRFD
Length : 2,5 LLRF : 1,
Loc : 1,5 Major Axis : 0, degrees

MATERIAL PROPERTIES

E	Fy	Fu	G	U
210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3

ELEMENT/SEGMENT INFO

L	K	Lg	LNet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major 2,5	2,	2,5	0,	0,	2,5	0,	0,
Minor 2,5	2,	2,5	0,	0,	2,5	0,	0,
LTB 2,5	2,	2,5	0,	0,	2,5	0,	0,
Distortional 2,5	1,	N/A	N/A	0,	2,5	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES

rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right
GROSS 0,056	0,029	5,704E-05	5,704E-05	3,761E-05	2,020E-05

Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS 0,001	0,001	3,993E-06	1,051E-06	6,729E-09	-0,064	0,	4,490E-09

RESISTANCE FACTORS

PhiTy	PhiTr	PhiC	PhiB	PhiBPipe	PhiV
0,9	0,75	0,85	0,9	0,95	0,95

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
COMB. RATIO EQUATION - (H1.2-1)- GOVERNS THE DESIGN
$$\frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May}$$

COMB. RATIO	0,529 =	0,123 +	0,285 +	0,121
COMB. RATIO LIMIT	1,			

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS 1.35G+1	-7,997	-3,343	-0,498	-5,883	-0,43
CAPACITIES	64,991	11,724	4,114	101,984	106,841
DEMAND/CAPACITY	0,123	0,285	0,121	0,058	0,004

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

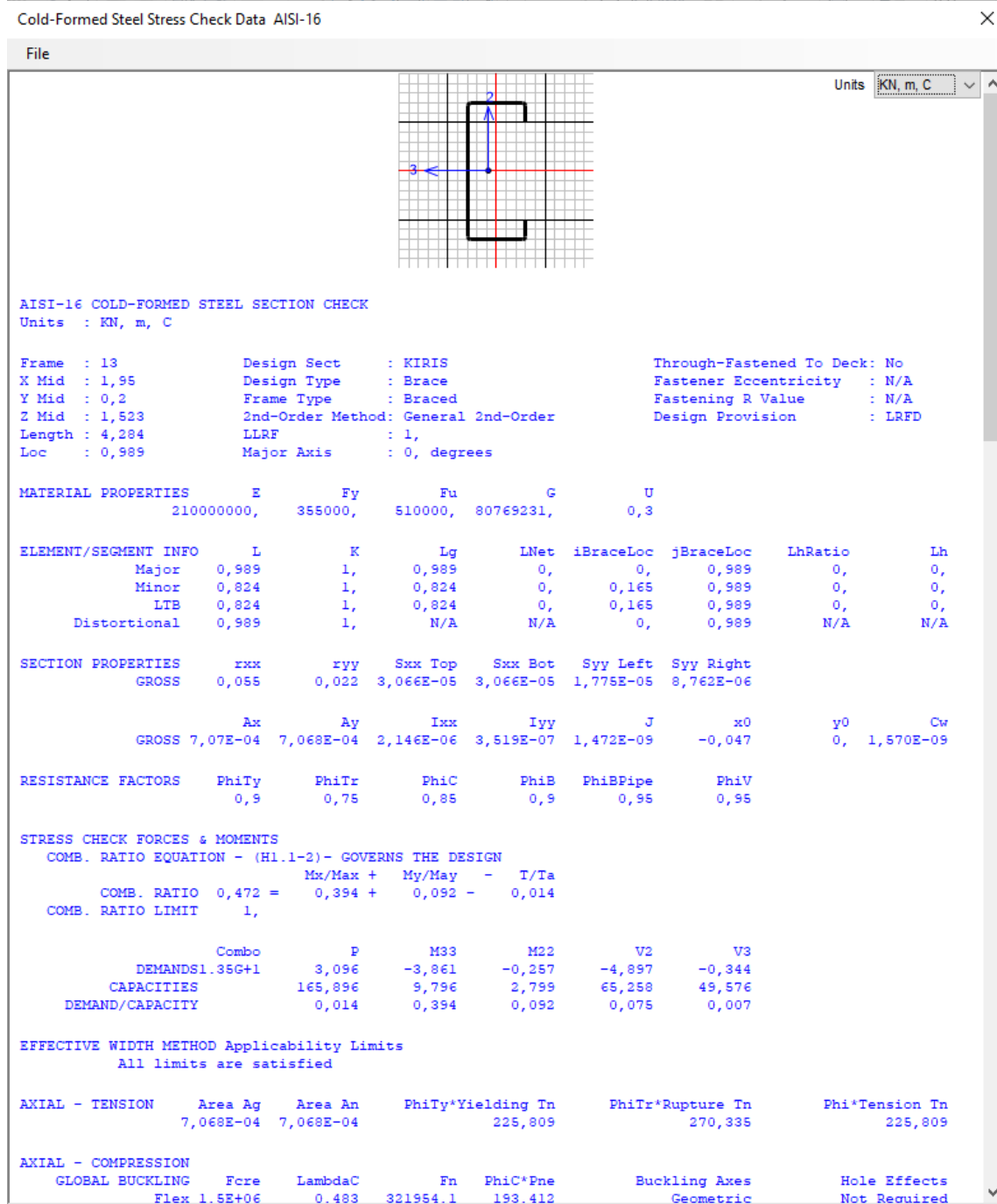
AXIAL - TENSION

Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
0,001	0,001	403,102	482,586	403,102

AXIAL - COMPRESSION

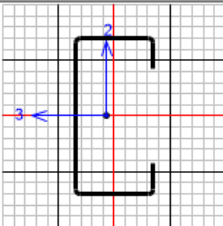
GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex 69102,	2,267	60602,817	64,991**	Geometric	Not Required	

Şekil 4.32. Yapılan analiz neticesinde kolon hesabı (N1-CF-25-AISI)



Şekil 4.33. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-CF-25-AISI)

File



Units **KN, m, C**

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 18	Design Sect : ASIK-1	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 0,9	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 1,3	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,	2nd-Order Method: General 2nd-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,2	LLRF : 1,	
Loc : 1,32	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3

ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	Net	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,2	1,	2,2	0,	0,	2,2	0,	0,
Minor	2,2	1,	2,2	0,	0,	2,2	0,	0,
LTB	2,2	1,	2,2	0,	0,	2,2	0,	0,
Distortional	2,2	1,	N/A	N/A	0,	2,2	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS	0,039	0,019	2,019E-05	2,019E-05	1,254E-05	7,428E-06		
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS	6,61E-04	6,608E-04	1,010E-06	2,333E-07	1,982E-09	-0,043	0,	6,156E-10

RESISTANCE FACTORS	PhiTy	PhiTr	PhiC	PhiB	PhiBPipe	PhiV
	0,9	0,75	0,85	0,9	0,95	0,95

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

COMB. RATIO EQUATION - (H1.2-1)- GOVERNS THE DESIGN

		P/Pa +	Mx/Max +	My/May
COMB. RATIO	0,711 =	0, +	0,605 +	0,106
COMB. RATIO LIMIT	1,			

Combo	P	M33	M22	V2	V3	
DEMANDS	1.35G+1	-0,02	3,168	-0,218	1,2	-0,083
CAPACITIES		74,343	5,238	2,054	53,42	46,136
DEMAND/CAPACITY		0,	0,605	0,106	0,022	0,002

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,608E-04	6,608E-04	211,133	252,765	211,133

AXIAL - COMPRESSION

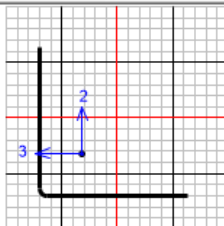
GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	151159,	1.532	132566.469	74.463	Geometric	Not Required

Şekil 4.34. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-CF-25-AISI)

File

Units

KN, m, C



AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 2	Design Sect : CAPRAZ	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 0,9	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 1,3	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,	2nd-Order Method: General 2nd-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,973	LLRF : 1,	
Loc : 1,487	Major Axis : 45, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3

ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	Net	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,973	1,	2,973	0,	0,	2,973	0,	0,
Minor	2,973	1,	2,973	0,	0,	2,973	0,	0,
LTB	2,973	1,	2,973	0,	0,	2,973	0,	0,
Distortional	2,973	1,	N/A	N/A	0,	2,973	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx2	ry2	Sx2 Top	Sx2 Bot	Sy2 Left	Sy2 Right
GROSS	0,016	0,008	1,434E-06	1,434E-06	6,776E-07	6,898E-07

	Ax	Ay	Ix2	Iy2	J	x0	y0	Cw
GROSS	1,53E-04	1,534E-04	3,954E-08	9,344E-09	2,046E-10	-0,014	0,	0,

RESISTANCE FACTORS	PhiTy	PhiTr	PhiC	PhiB	PhiBPipe	PhiV
	0,9	0,75	0,85	0,9	0,95	0,95

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

COMB. RATIO EQUATION - (H1.2-1)- GOVERNS THE DESIGN

		P/Pa +	Mx/Max +	My/May
COMB. RATIO	0,727 =	0,656 +	0,04 +	0,032
COMB. RATIO LIMIT	1,			

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDSENVELOP	-1,071	0,007	-0,007	4,600E-18	-2,353E-18	
CAPACITIES	1,633	0,171	0,216	14,569	14,569	
DEMAND/CAPACITY	0,656	0,04	0,032	0,	0,	

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

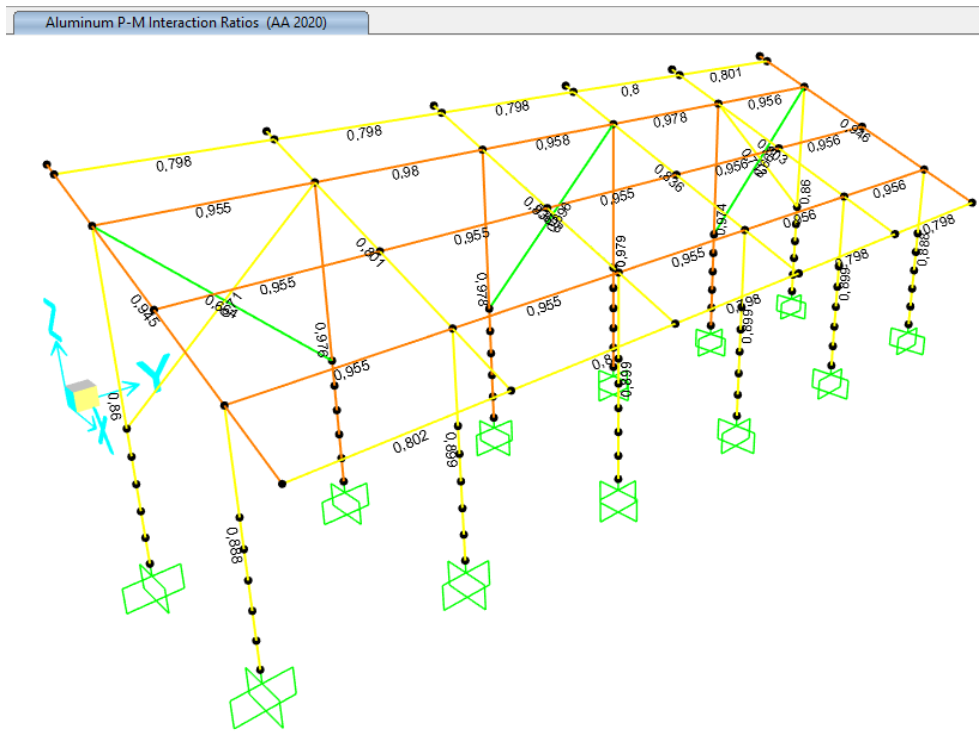
All limits are satisfied

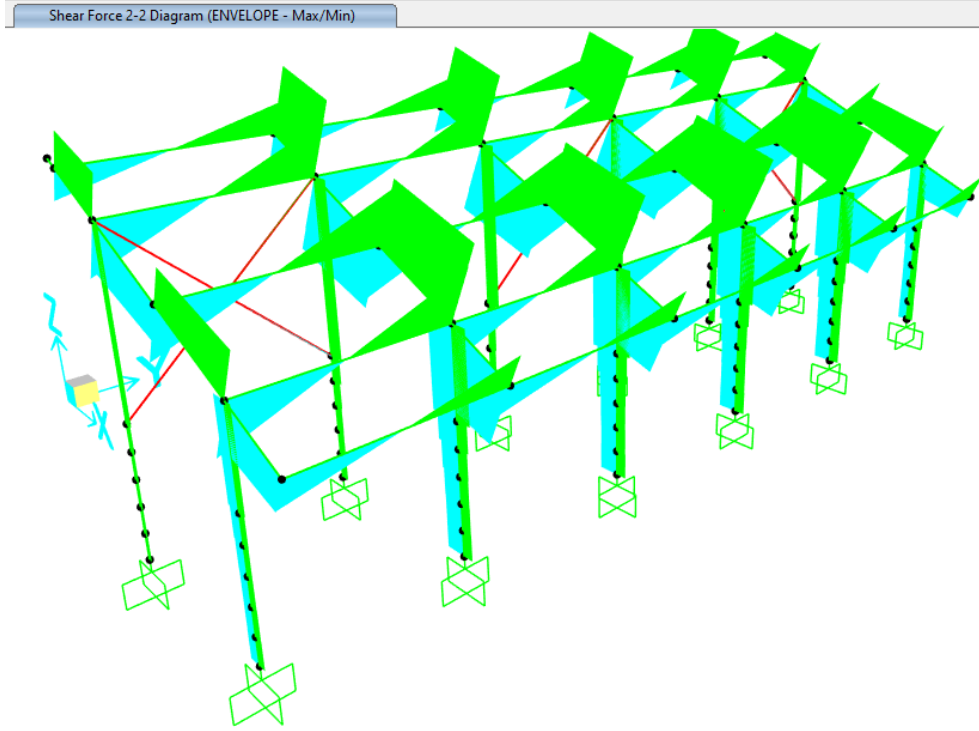
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	1,534E-04	1,534E-04	49,019	58,685	49,019

AXIAL - COMPRESSION

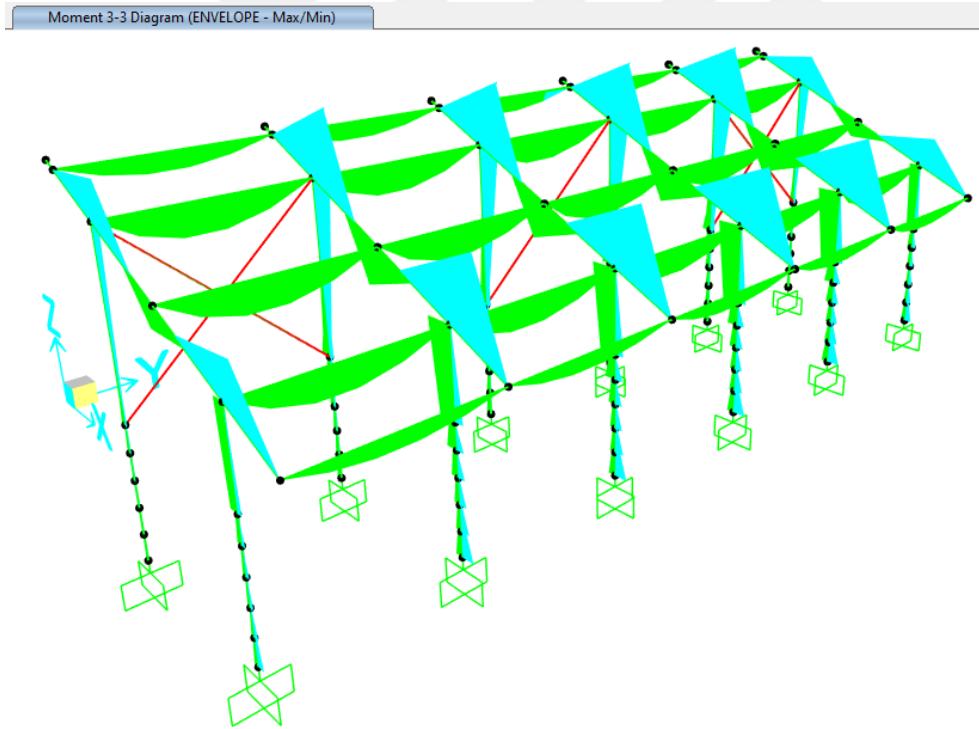
GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	14278,5	4,986	12522,251	1,633**	Principal	Not Required

Şekil 4.35. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-CF-25-AISI)

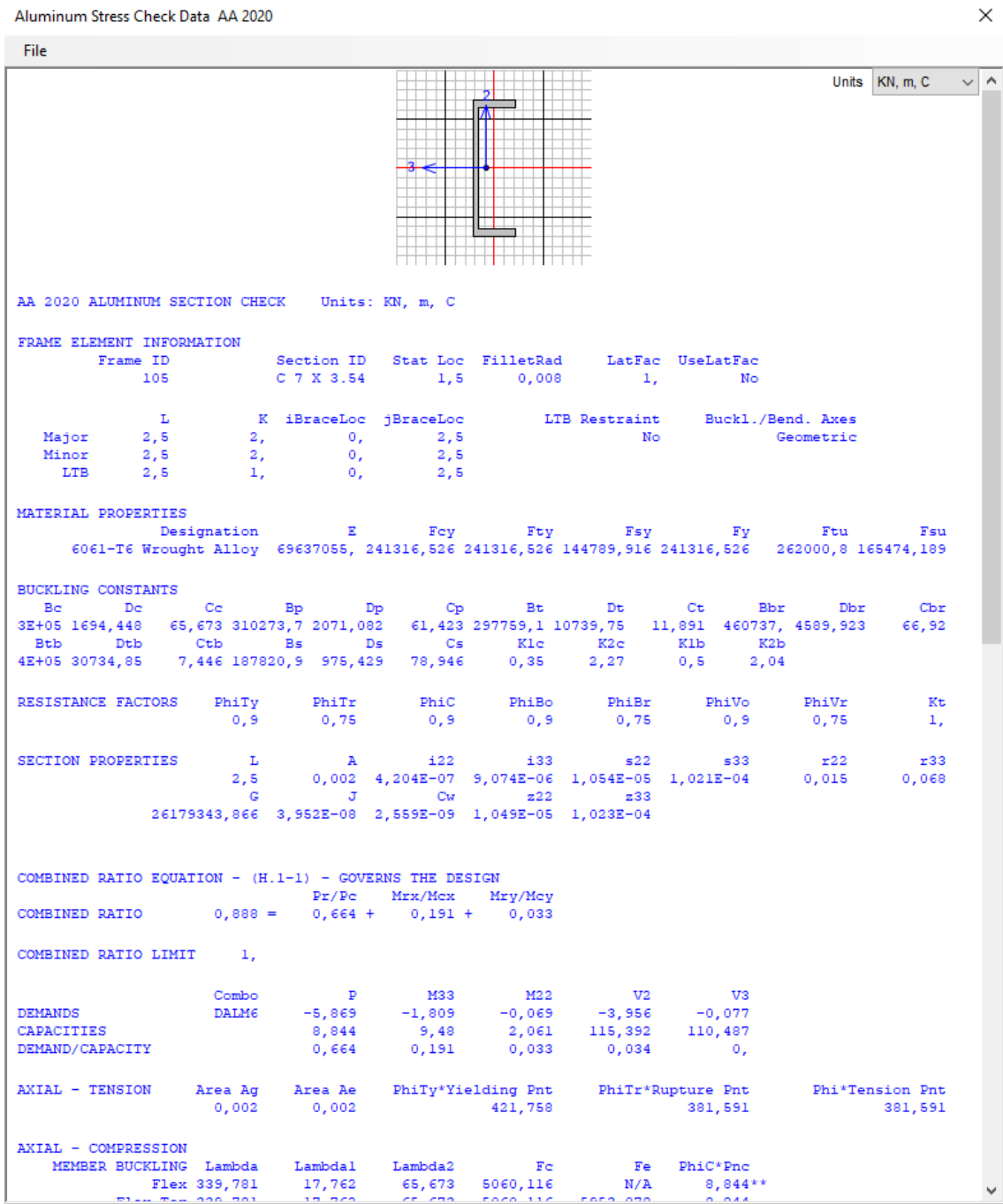




Şekil 4.38. Kesme kuvveti diyagramı (N1-AL-25-AA2020)



Şekil 4.39. Moment diyagramı (N1-AL-25-AA2020)



Şekil 4.40. Yapılan analiz neticesinde kolon hesabı (N1-AL-25-AA2020)

File

Units KN, m, C

AA 2020 ALUMINUM SECTION CHECK Units: KN, m, C

FRAME ELEMENT INFORMATION

Frame ID	Section ID	Stat Loc	FilletRad	LatFac	UseLatFac	
13	C 3 X 1.73	0,989	0,007	1,	No	
Major	L	K	iBraceLoc	jBraceLoc	LTB Restraint	Buckl./Bend. Axes
0,989	1,	0,	0,989		No	Geometric
Minor	0,824	1,	0,165	0,989		
0,824	1,	0,165	0,989			

MATERIAL PROPERTIES

Designation	E	Fcy	Fty	Fsy	Fy	Ftu	Fsu
6061-T6 Wrought Alloy	69637055,	241316,526	241316,526	144789,916	241316,526	262000,8	165474,189

BUCKLING CONSTANTS

Bc	Dc	Cc	Bp	Dp	Cp	Bt	Dt	Ct	Bbr	Dbr	Cbr
3E+05	1694,448	65,673	310273,7	2071,082	61,423	297759,1	10739,75	11,891	460737,	4589,923	66,92
Btb	Dtb	Ctb	Bs	Ds	Cs	K1c	K2c	K1b	K2b		
4E+05	30734,85	7,446	187820,9	975,429	78,946	0,35	2,27	0,5	2,04		

RESISTANCE FACTORS

PhiTy	PhiTr	PhiC	PhiBo	PhiBr	PhiVo	PhiVr	Kt
0,9	0,75	0,9	0,9	0,75	0,9	0,75	1,

SECTION PROPERTIES

L	A	i22	i33	s22	s33	r22	r33
4,284	9,484E-04	8,741E-08	7,700E-07	3,253E-06	2,021E-05	0,01	0,028
G	J	Cw	z22	z33			
26179343,866	1,430E-08	1,018E-10	3,441E-06	2,032E-05			

COMBINED RATIO EQUATION - (H.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

COMBINED RATIO	Pr/Pc	Mrx/Mcx	Mry/Mcy
0,945 =	0,012 +	0,831 +	0,102

COMBINED RATIO LIMIT 1,

COMBINED RATIO LIMIT	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DALM6	2,314	-2,903	-0,069	-3,733	-0,072	
CAPACITIES	67,713	3,495	0,676	50,694	54,209	
DEMAND/CAPACITY	0,012	0,831	0,102	0,074	0,001	

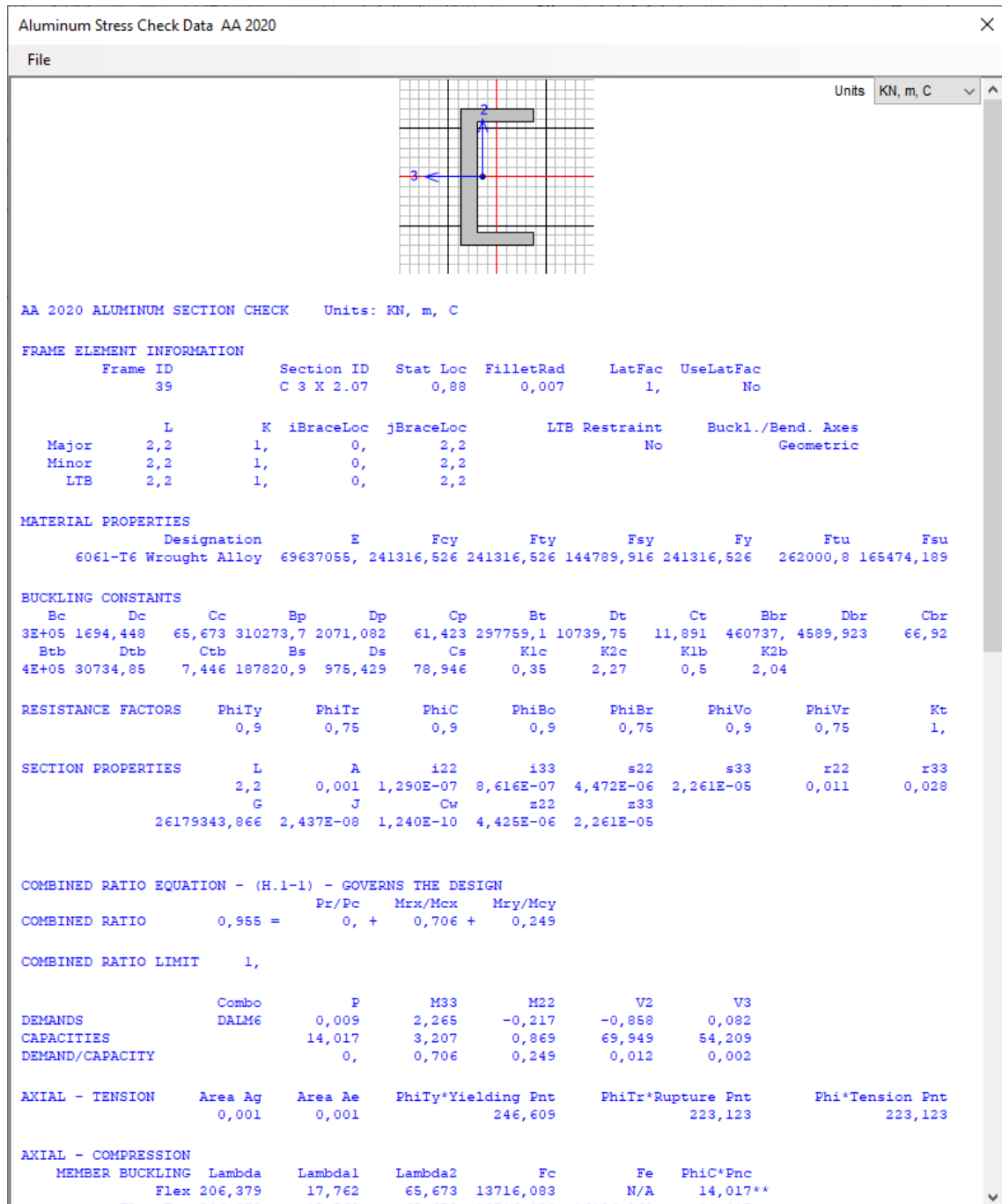
AXIAL - TENSION

Area Ag	Area Ae	PhiTy*Yielding Pnt	PhiTr*Rupture Pnt	Phi*Tension Pnt
9,484E-04	9,484E-04	205,975	186,358	186,358

AXIAL - COMPRESSION

MEMBER BUCKLING	Lambda	Lambda1	Lambda2	Fc	Fe	PhiC*Pnc
Flex	85,814	17,762	65,673	79330,917	N/A	67,713**

Şekil 4.41. Yapılan analiz neticesinde kiriş hesabı (N1-AL-25-AA2020)



Şekil 4.42. Yapılan analiz neticesinde aşık hesabı (N1-AL-25-AA2020)

Aluminum Stress Check Data AA 2020

File

Units KN, m, C

AA 2020 ALUMINUM SECTION CHECK Units: KN, m, C

FRAME ELEMENT INFORMATION

Frame ID	Section ID	Stat Loc	FilletRad	LatFac	UseLatFac
16	L 2 X 1 1/2 X 1/8	1,487	0,005	1,	No
L	K	iBraceLoc	jBraceLoc	LTB Restraint	Buckl./Bend. Axes
Major 2,973	1,	0,	2,973	No	Principal
Minor 2,973	1,	0,	2,973		
LTB 2,973	1,	0,	2,973		

MATERIAL PROPERTIES

Designation	E	Fcy	Fty	Fsy	Fy	Ftu	Fsu
6061-T6 Wrought Alloy	69637055,	241316,526	241316,526	144789,916	241316,526	262000,8	165474,189

BUCKLING CONSTANTS

Bc	Dc	Cc	Bp	Dp	Cp	Bt	Dt	Ct	Bbr	Dbr	Cbr
3E+05	1694,448	65,673	310273,7	2071,082	61,423	297759,1	10739,75	11,891	460737,	4589,923	66,92
Btb	Dtb	Ctb	Bs	Ds	Cs	K1c	K2c	K1b	K2b		
4E+05	30734,85	7,446	187820,9	975,429	78,946	0,35	2,27	0,5	2,04		

RESISTANCE FACTORS

PhiTy	PhiTr	PhiC	PhiBo	PhiBr	PhiVo	PhiVr	Kt
0,9	0,75	0,9	0,9	0,75	0,9	0,75	1,

SECTION PROPERTIES

L	A	i22	i33	s22	s33	r22	r33	
2,973	2,729E-04	3,371E-08	6,993E-08	1,164E-06	1,973E-06	0,011	0,016	
G	J	Cw	z22	z33	sminor	smajor	rminor	rmajor
26179343,866	9,146E-10	1,492E-13	2,180E-06	3,721E-06	9,737E-07	2,463E-06	0,008	0,018
LTB Restraint	Bending Axes							
No	Principal							

COMBINED RATIO EQUATION - (H.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

Pr/Pc	Mrx/Mcx	Mry/Mcy	
0,71 =	0,653 +	0,038 +	0,019

COMBINED RATIO LIMIT 1,

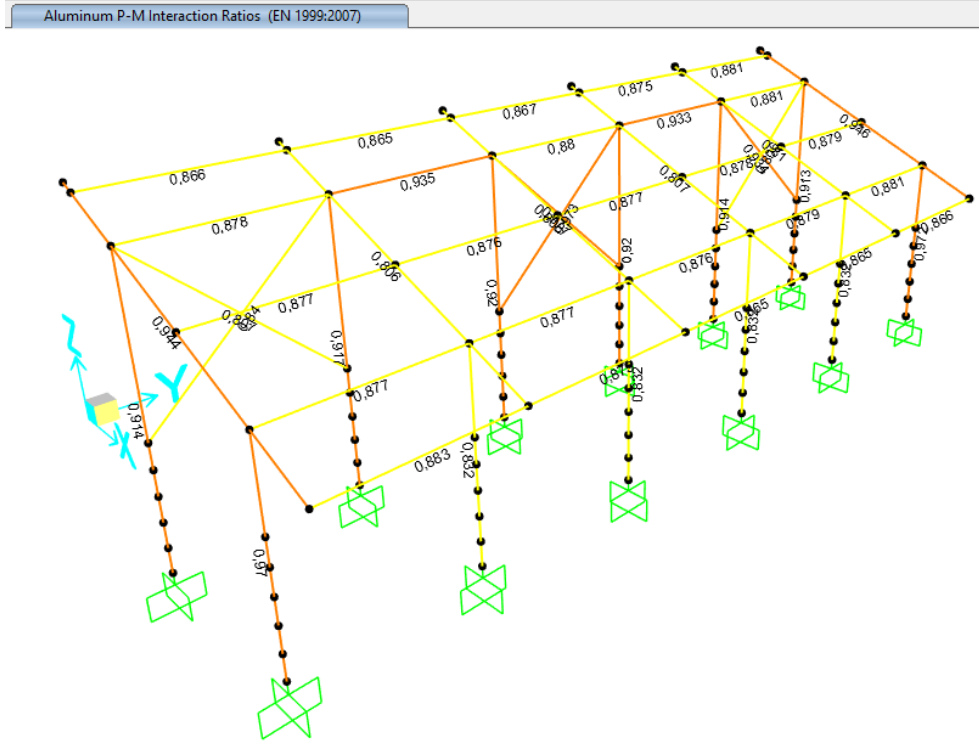
Combo	P	M33	M22	V2	V3
DALM20	-1,281	0,006	-0,003	-1,438E-18	0,
CAPACITIES					
	1,962	0,163	0,187	18,766	13,762
DEMAND/CAPACITY					
	0,653	0,038	0,019	0,	0,

AXIAL - TENSION

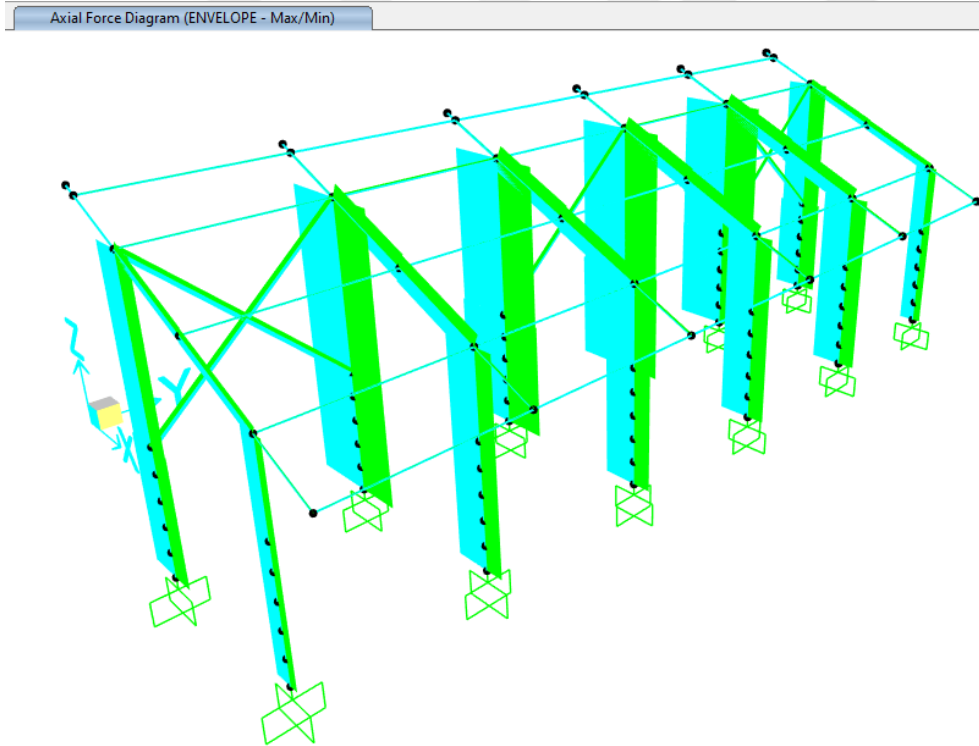
Area Ag	Area Ae	PhiTy*Yielding Pnt	PhiTr*Rupture Pnt	Phi*Tension Pnt
2,729E-04	2,729E-04	59,27	53,626	53,626

AXIAL - COMPRESSION

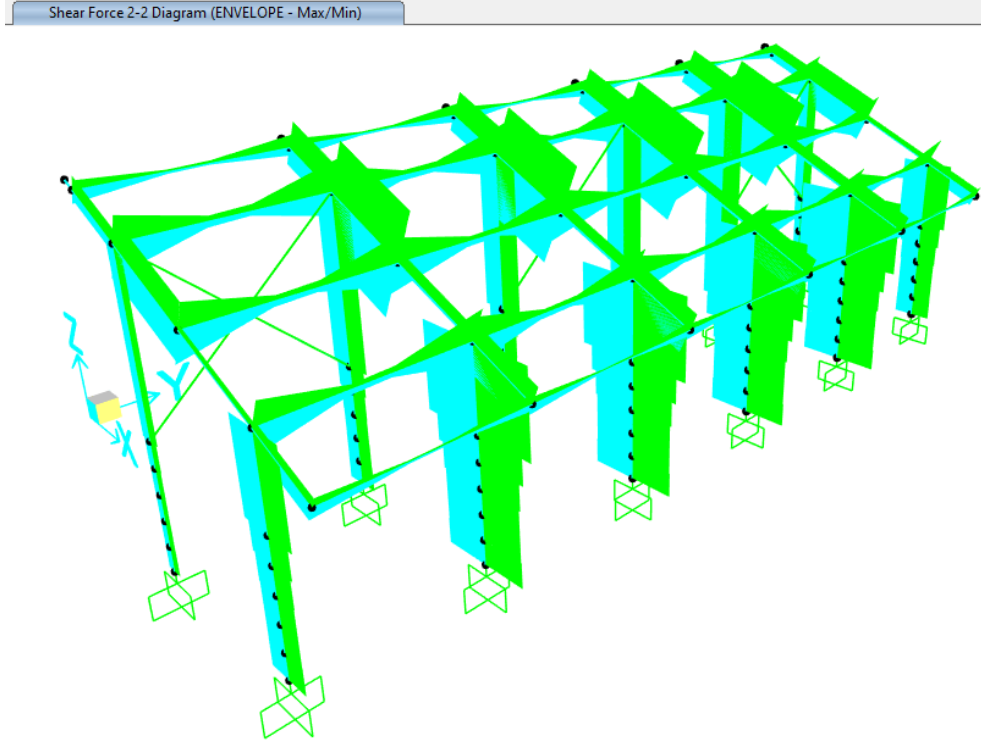
Şekil 4.43. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-AL-25-AA2020)



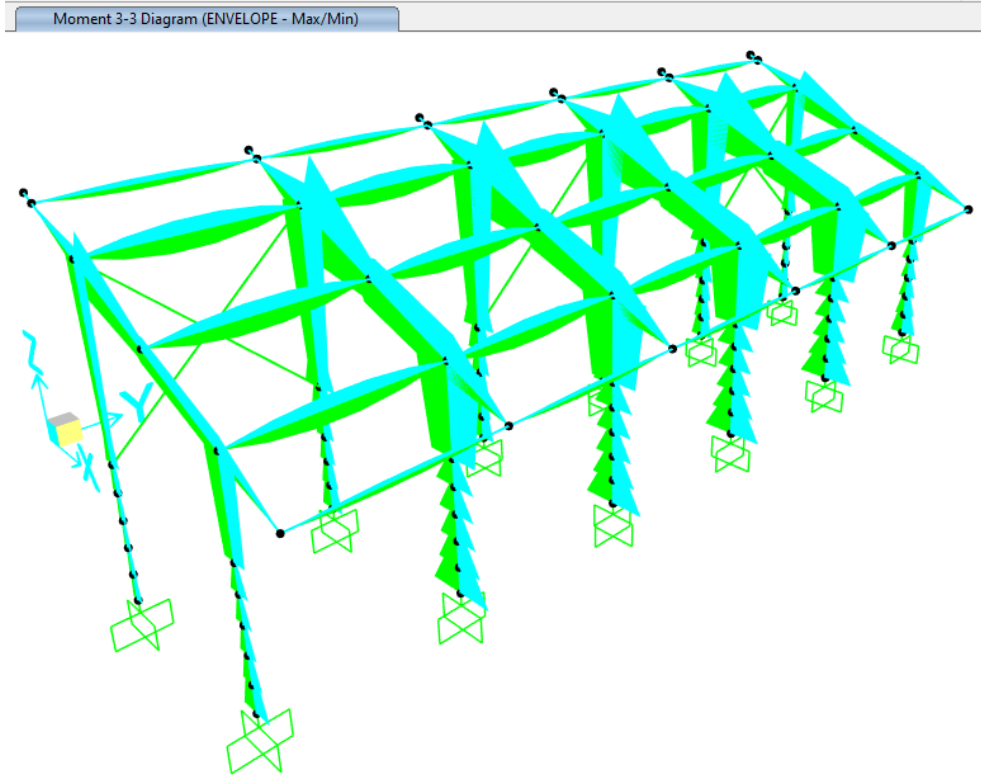
Şekil 4.44. Kesitlerin kullanım oranları görünümü (N1-AL-25-EU)



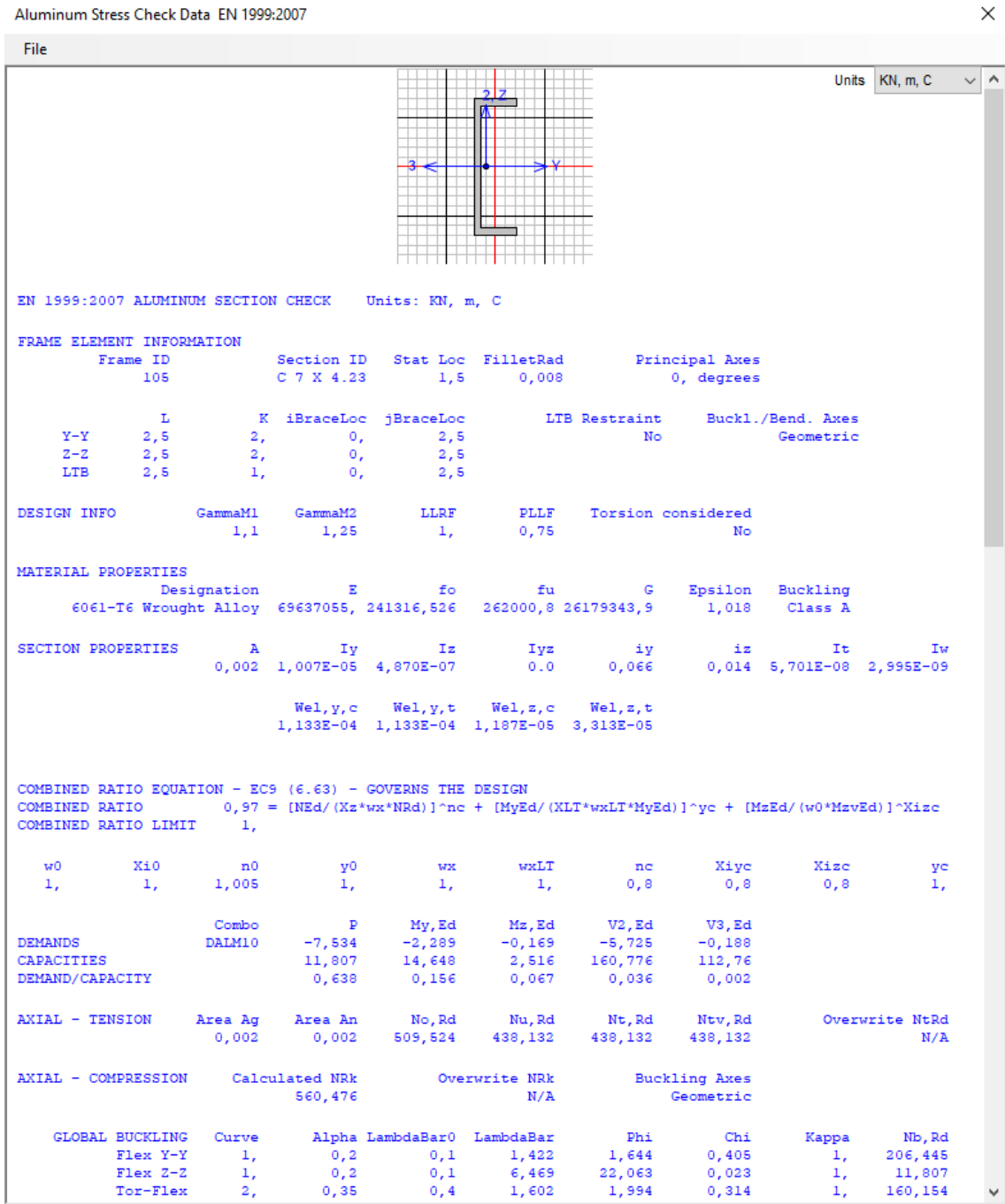
Şekil 4.45. Eksenel kuvvet diyagramı (N1-AL-25-EU)



Şekil 4.46. Kesme kuvveti diyagramı (N1-AL-25-EU)



Şekil 4.47. Moment diyagramı (N1-AL-25-EU)



Şekil 4.48. Yapılan analiz neticesinde çapraz hesabı (N1-AL-25-EU)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen analiz sonuçlarına göre şekil değiştirme ve gerilme diyagramları incelenmiştir. Ayrıca Güneş enerjisi sistemleri deformasyon oranları ve sistemlere gelen maksimum kuvvetler incelenmiştir. Her bir sistem için 23 farklı analiz daha yapılarak sistemlerin alabileceği maksimum yükler de belirtilerek yük dağılımları hakkında yorumlamalar yapılmıştır.

5.1. Ekonomik Profil Tasarımı

Profil tasarımında kullanılan malzemeler yapısal açıdan optimize edilmelidir. Malzeme seçiminde dayanıklılık, maliyet, taşıma kapasitesi ve korozyon dayanıklılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Profilin kesiti, yapısal dayanımı artırırken malzeme maliyetini minimize edecek şekilde optimize edilmelidir. Bu çalışma kapsamında 6 farklı modelin 4 farklı senaryosu ile çalışılmıştır, yani değerlendirmeye alınacak durum sayısı 24 olacaktır. Bu durumlar ve isimlendirmeleri aşağıdaki gibi olacaktır;

N1-2-3: Model numarasını, CF-AL: Kullanılan malzeme türünün kısaltmasını (Cold Formed-Alüminyum), 25-30: Modeldeki kiriş ve aşıkların yatayla yaptığı açıyı, EU-AISI-AA2020-EN2007: Tasarımda kullanılan yönetmelikleri ifade etmektedir. Model isimlendirmeleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Model isimlendirmeleri

NO	Model İsmi	Kullanılan Malzeme	Modelin Yaptığı Açı	Tasarım Yönetmeliği
1	N1-CF-25-EU	Cold Formed	25°	Eurocode
2	N1-CF-30-EU	Cold Formed	30°	Eurocode
3	N2-CF-25-EU	Cold Formed	25°	Eurocode
4	N2-CF-30-EU	Cold Formed	30°	Eurocode
5	N3-CF-25-EU	Cold Formed	25°	Eurocode
6	N3-CF-30-EU	Cold Formed	30°	Eurocode
7	N1-CF-25-AISI	Cold Formed	25°	AISI
8	N1-CF-30-AISI	Cold Formed	30°	AISI
9	N2-CF-25-AISI	Cold Formed	25°	AISI
10	N2-CF-30-AISI	Cold Formed	30°	AISI
11	N3-CF-25-AISI	Cold Formed	25°	AISI
12	N3-CF-30-AISI	Cold Formed	30°	AISI
13	N1-AL-25-AA2020	Alüminyum	25°	AA2020
14	N1-AL-30-AA2020	Alüminyum	30°	AA2020
15	N2-AL-25-AA2020	Alüminyum	25°	AA2020
16	N2-AL-30-AA2020	Alüminyum	30°	AA2020
17	N3-AL-25-AA2020	Alüminyum	25°	AA2020
18	N3-AL-30-AA2020	Alüminyum	30°	AA2020

Çizelge 5.2. Model isimlendirmeleri (devamı)

19	N1-AL-25-EN2006	Alüminyum	25°	Eurocode
20	N1-AL-30-EN2006	Alüminyum	30°	Eurocode
21	N2-AL-25- EN2006	Alüminyum	25°	Eurocode
22	N2-AL-30-EN2006	Alüminyum	30°	Eurocode
23	N3-AL-25-EN2006	Alüminyum	25°	Eurocode
24	N3-AL-30- EN2006	Alüminyum	30°	Eurocode

Analiz ve ekonomik profil seçimi gerçekleştirilirken temel olarak 2 parametre göz önüne alınarak gerekli emniyetin sağlanması koşuluyla kesitlerden maliyeti olabildikçe düşük olan tercih edilmiştir.

Bu 2 parametre ise;

- Yapı Ağırlığı (kN)
- Elverişsiz Yükleme Altında Nokta Deplasman Değerleri (mm)

5.2. Elverişsiz Yükleme Altında Nokta Deplasman Değerleri (mm)

Elverişsiz yükleme altında, her bir yönetmeliğe göre oluşturulan 24 adet sistemin U1, U2 ve U3 noktalarında yer alan nokta deplasman değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

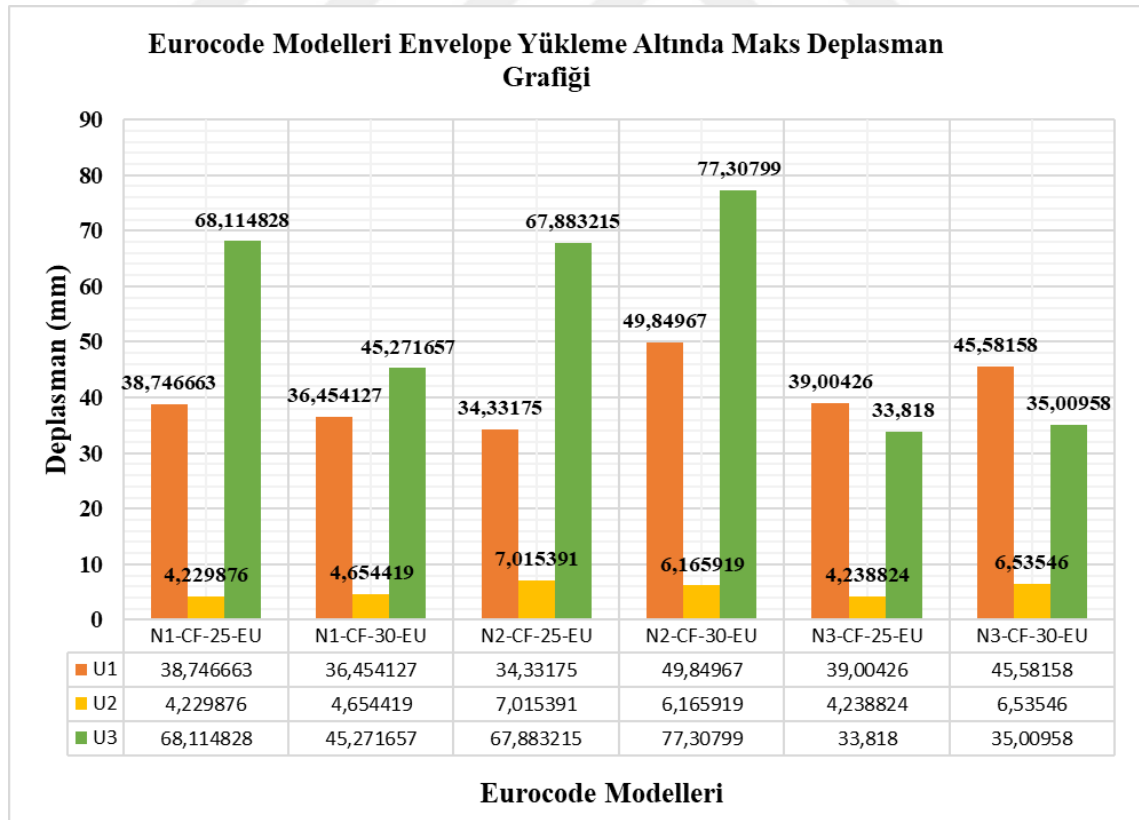
Çizelge 5.3. Nokta deplasman değerleri (mm)

MODEL İSMİ	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)	TOPLAM (mm)
N1-CF-25-EU	38,74666	4,229876	68,11483	111,091367
N1-CF-30-EU	36,45413	4,654419	45,27166	86,380203
N2-CF-25-EU	34,33175	7,015391	67,88322	109,230356
N2-CF-30-EU	49,84967	6,165919	77,30799	133,323579
N3-CF-25-EU	39,00426	4,238824	33,818	77,061084
N3-CF-30-EU	45,58158	6,53546	35,00958	87,12662
N1-CF-25-AISI	37,83868	3,892183	67,99373	109,72459
N1-CF-30-AISI	57,43021	5,982395	85,03589	148,448491
N2-CF-25-AISI	34,39798	6,889082	67,88907	109,176128
N2-CF-30-AISI	55,65291	6,960646	86,69755	149,3111
N3-CF-25-AISI	39,71904	4,873348	34,92718	79,519575
N3-CF-30-AISI	46,13584	6,611842	35,85926	88,60694
N1-AL-25-AA2020	4,809947	11,72901	1,512322	18,051276
N1-AL-30-AA2020	3,814905	12,09241	3,618607	19,525919
N2-AL-25-AA2020	3,814905	12,09241	3,618607	19,525919
N2-AL-30-AA2020	6,186294	22,33904	5,566301	34,091635
N3-AL-25-AA2020	50,90327	5,225993	42,40035	98,529611
N3-AL-30-AA2020	44,51589	5,567839	32,33616	82,419883
N1-AL-25-EN2006	5,164944	9,836595	3,190753	18,192292
N1-AL-30-EN2006	9,504437	22,19144	4,488371	36,184247

Çizelge 5.4. Nokta deplasman değerleri (mm) (devamı)

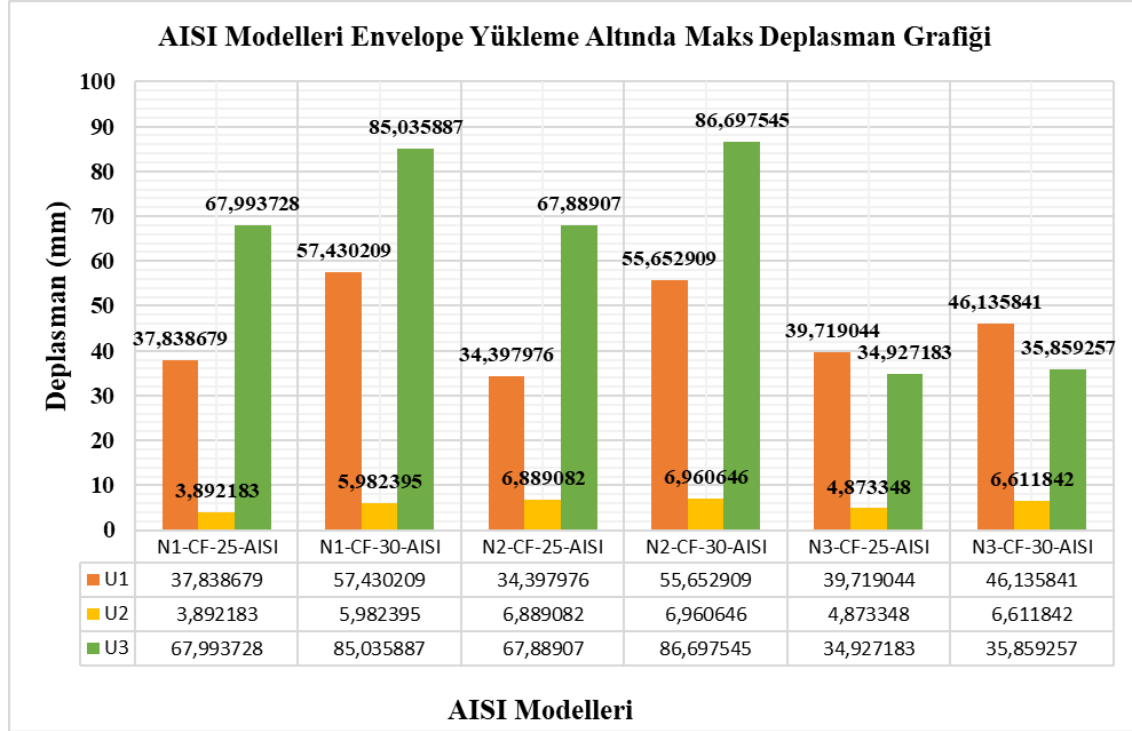
N2-AL-25-EN2007	3,814905	12,09241	3,618607	19,525919
N2-AL-30-EN2007	6,186294	22,33904	5,566301	34,091635
N3-AL-25-EN2007	48,48922	5,220451	40,06099	93,770655
N3-AL-30-EN2007	44,51589	5,567839	32,33616	82,419883

Her bir yapısal sistem için hesaplanan nokta deplasman değerleri bir tablo halinde sunulmuştur. Bu değerler, yapısal sistemlerin davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi ve görselleştirilebilmesi amacıyla grafiksel olarak da ifade edilmiştir. Grafikler, her bir yapısal sistemin yükleme altındaki performansını ve deformasyon özelliklerini görsel olarak analiz etme olanağı sağlamaktadır. Bu süreçte tablo verileri, belirli bir ölçek ve aralık kullanılarak grafiklere dönüştürülmüş ve her bir grafik, sistemin envelope yükleme koşulları altındaki maksimum deplasman değerlerini detaylı bir şekilde göstermektedir. Grafiklerin amacı, tablodaki sayısal verilerin görsel olarak karşılaştırılmasını kolaylaştırmak ve yapısal sistemlerin performans farklılıklarını daha belirgin bir şekilde ortaya koymaktır.

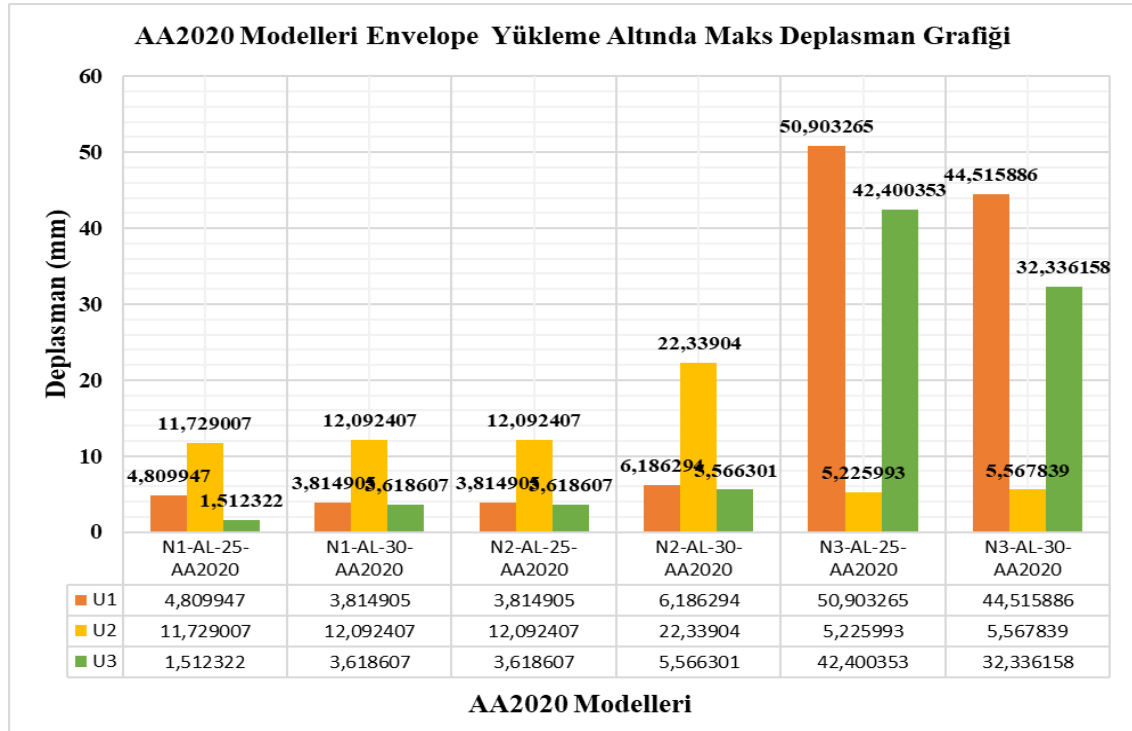


Şekil 5.1. Elverişsiz yükleme altında üst nokta deplasman grafiği (Eurocode)

Grafiklerdeki verilere göre, Model N3-AL-25-EN2007 diğer modellere göre daha büyük deplasmanlar göstermektedir, özellikle U1 noktasında önemli bir deplasman görülmektedir. Bu, Model N3-AL-25-EN2007'nin diğerlerine göre daha fazla deforme olduğunu veya daha büyük bir yüke maruz kaldığını göstermektedir.



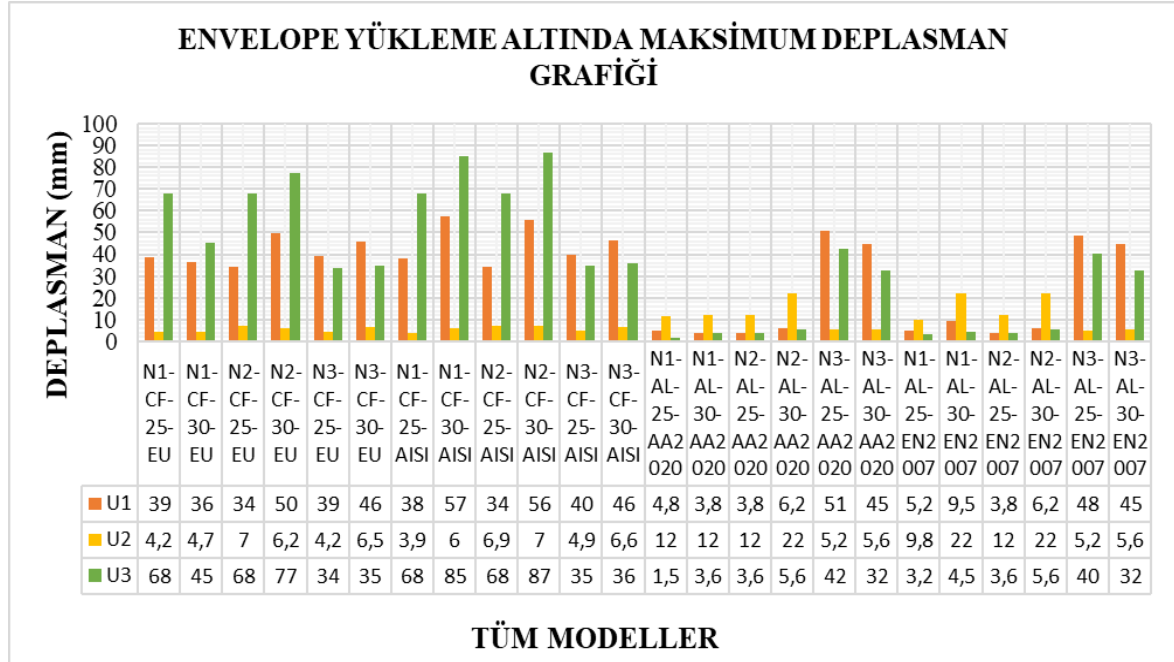
Şekil 5.2. Elverişsiz yükleme altında üst nokta deplasman grafiği (AISI)



Şekil 5.3. Elverişsiz yükleme altında üst nokta deplasman grafiği (AA2020)

TBDY-2018'de belirli bir mesnet deplasman sınırı kesin olarak belirtilmemiş olsa da, genellikle tasarımcılar veya mühendisler belirli bir proje için tasarım yaparken yönetmeliğin belirlediği performans gereksinimlerine uygun olarak hareket ederler.

Türkiye'deki çeşitli projelerde, tipik olarak mesnet deplasman sınırı 10 mm ile 25 mm arasında değişebilir. Projemizde bu değer 20 mm olarak alınmıştır. Yapı elemanlarının belirli bir deprem yükü altında ne kadar deforme olabileceği konusunda bir kılavuz sağlamaktadır.



Şekil 5.4. Elverişsiz yükleme altında toplam nokta deplasman değerleri

Şekil 5.4.'de çeşitli güneş enerjisi santrali (GES) taşıyıcı sistem modellerinin farklı yükleme durumlarındaki maksimum deplasman değerleri gösterilmektedir. Söz konusu grafikte, her model için üç farklı yükleme durumu (U1, U2, U3) incelenmiş ve bu yüklemelere karşılık gelen maksimum deplasman değerleri (mm cinsinden) belirtilmiştir. Farklı model grupları (N1-CF-25-EU, N3-CF-30-AISI, vb.) arasında belirgin farklar gözlenmektedir.

- **U1 yüklemesi:** En yüksek deplasmanlar genel olarak N3 modellerinde görülmektedir ve değerler 30-70 mm arasında değişmektedir.
- **U2 yüklemesi:** Deplasman değerleri genellikle daha düşüktür ve en yüksek değer 10 mm civarındadır.
- **U3 yüklemesi:** N3-CF-30-AISI modeli, en yüksek deplasmanı göstermektedir ve deplasman değerleri 35-85 mm arasında değişmektedir.

Grafiklerle anlatılan sonuçlar, model tasarımı ve kullanılan malzemelerin deplasman üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle N3 grubu modellerinin, diğer modellere kıyasla daha yüksek deplasman değerlerine sahip olduğu dikkat çekicidir. Bu durum, N3 grubunun yük altında daha fazla esneme eğiliminde olduğunu veya yapısal olarak diğer modellere göre daha az rijit olduğunu düşündürmektedir.

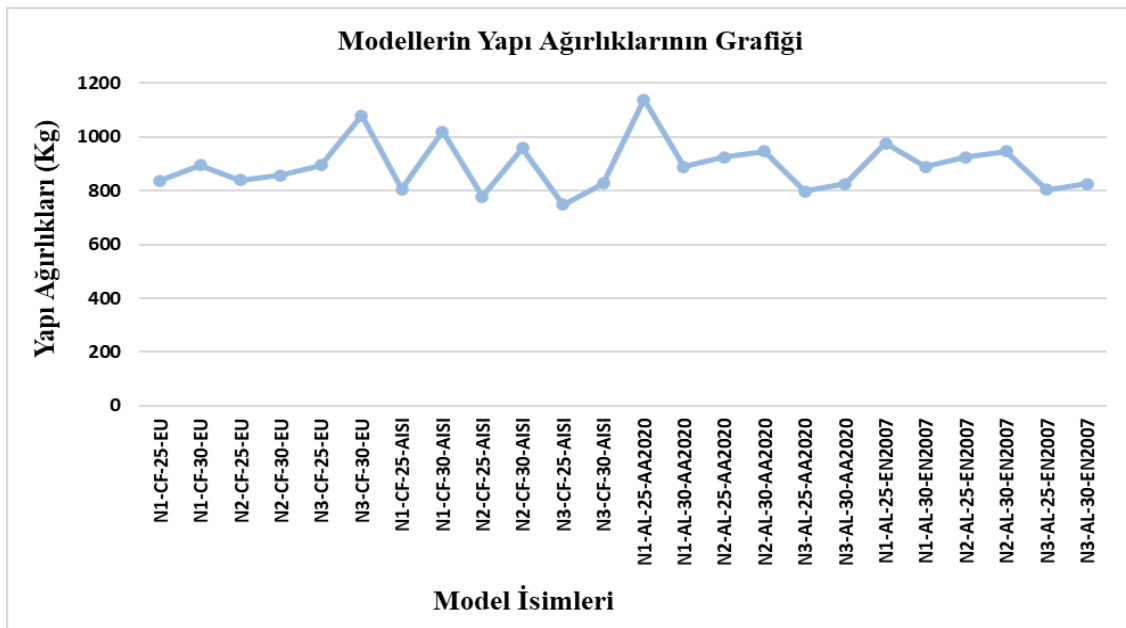
5.3. Yapı ağırlıkları

Modellerin yapı ağırlıkları SAP2000 programından otomatik olarak alınmıştır. Kg ve kN birimlerinde modellerin yapı ağırlıkları Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

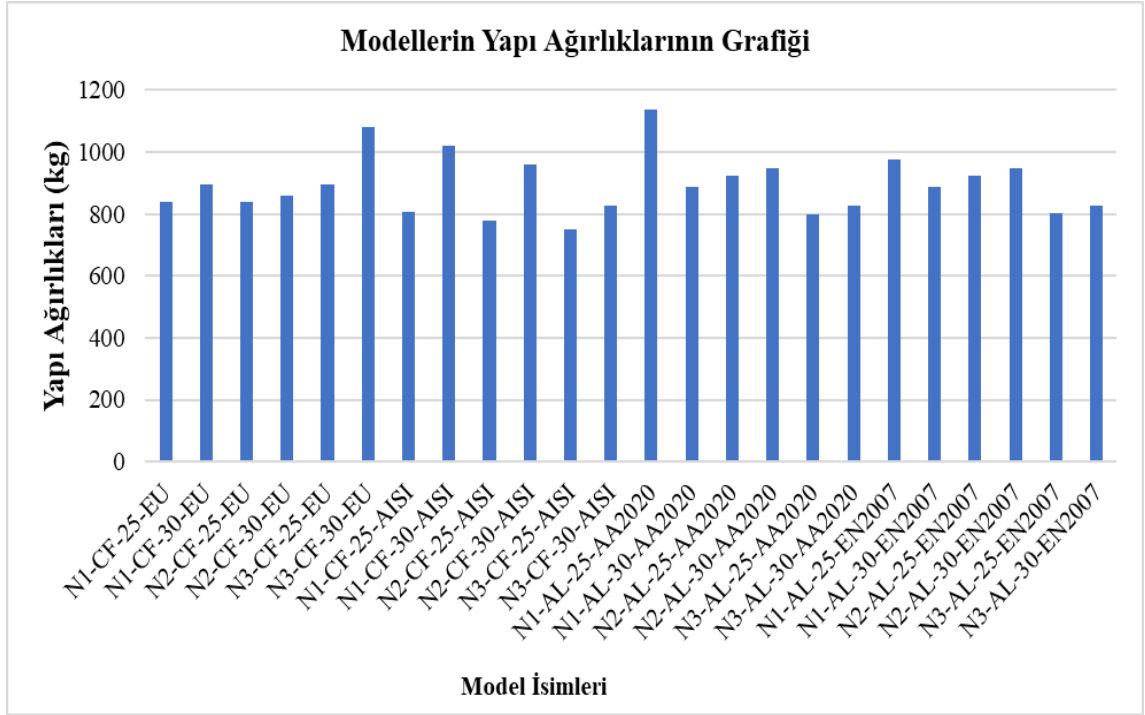
Çizelge 5.5. Modellerin yapı ağırlıkları

Model İsmi	YAPI AĞIRLIKLARI (Kg)	Yapı Ağırlıkları (kN)
N1-CF-25-EU	837,3909541	8,212
N1-CF-30-EU	895,8206931	8,785
N2-CF-25-EU	839,6343298	8,234
N2-CF-30-EU	857,2754203	8,407
N3-CF-25-EU	894,1891472	8,769
N3-CF-30-EU	1079,777498	10,589
N1-CF-25-AISI	805,8817231	7,903
N1-CF-30-AISI	1019,104383	9,994
N2-CF-25-AISI	777,4316408	7,624
N2-CF-30-AISI	959,1450699	9,406
N3-CF-25-AISI	748,4717003	7,34
N3-CF-30-AISI	828,2135082	8,122
N1-AL-25-AA2020	1138,615123	11,166
N1-AL-30-AA2020	888,9885945	8,718
N2-AL-25-AA2020	924,7806335	9,069
N2-AL-30-AA2020	946,6025605	9,283
N3-AL-25-AA2020	797,6220218	7,822
N3-AL-30-AA2020	824,9504163	8,09
N1-AL-25-EN2007	976,9901037	9,581
N1-AL-30-EN2007	888,9885945	8,718
N2-AL-25-EN2007	924,7806335	9,069
N2-AL-30-EN2007	946,6025605	9,283
N3-AL-25-EN2007	803,6383474	7,881
N3-AL-30-EN2007	824,9504163	8,09

Farklı yapısal sistemlerin tasarımında kullanılan modellerin yapı ağırlıkları, malzeme seçimi, kesit boyutları, taşıyıcı elemanların düzeni ve yapı tipi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, çelik çerçeveli bir yapının ağırlığı, genellikle hafif çelik profiller kullanıldığı için betonarme bir yapıya göre daha az olabilir. Çelik yapılar, ince kesitler ve yüksek mukavemet özellikleri sayesinde daha hafif bir yapısal sisteme olanak tanır. Ayrıca, alüminyum gibi hafif malzemeler kullanılarak inşa edilen yapılar da toplam yapı ağırlığını önemli ölçüde azaltabilir. Alüminyumun yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yapıların hem hafif hem de dayanıklı olmasına imkân tanır. Yine de yapısal performans ve stabilite gereksinimlerine bağlı olarak, daha ağır yapı elemanları tercih edilebilir. Örneğin, yüksek rüzgâr veya sismik yükler altında, daha ağır bir yapı sistemi daha iyi performans gösterebilir. Bu nedenle, yapı ağırlıkları arasında kıyaslama yapılırken, sadece malzeme ve kesit boyutları değil, aynı zamanda yapının maruz kalacağı yükler ve kullanım amacına göre tasarım kriterleri de dikkate alınmalıdır. Yapılan analiz ve optimum tasarım süreçleri sonucunda 24 adet arazi GES yapısının yapı ağırlıklarının çizgi ve sütun grafikleri aşağıda verilmiştir. Her bir model için yapı ağırlığı ne kadar artarsa o oranda fazla malzeme kullanılacağı için ek maliyet açığa çıkacaktır. Malzeme maliyetleri, seçilen malzemenin türü, kalitesi ve miktarına da bağlıdır. Hafif çelik veya alüminyum gibi malzemeler başlangıçta daha pahalı olabilir, ancak uzun vadede düşük bakım maliyetleri ve daha hızlı inşaat süreleri ile maliyet etkin olabilir.



Şekil 5.5. Modellerin yapı ağırlıkları çizgi grafiği



Şekil 5.6. Modellerin yapı ağırlıkları sütun grafiği

5.4. Maliyet analizi

Çalışma kapsamında 24 adet arazi G.E.S. projesinin yapısal sisteminin metrajı çıkarılmış ve maliyet analizi yapılmıştır. Metraj çıkarma işlemi, her bir yapısal sistemde kullanılacak malzeme miktarlarının belirlenmesiyle başlamıştır. Metraj çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak her bir yapısal sistem için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı yapısal sistemlerde kullanılan malzeme türleri ve miktarları, bu maliyetlerin önemli bir belirleyicisidir. Her bir yapı sistemi için belirlenen malzeme miktarları ve birim fiyatları kullanılarak toplam malzeme maliyetleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.4.).

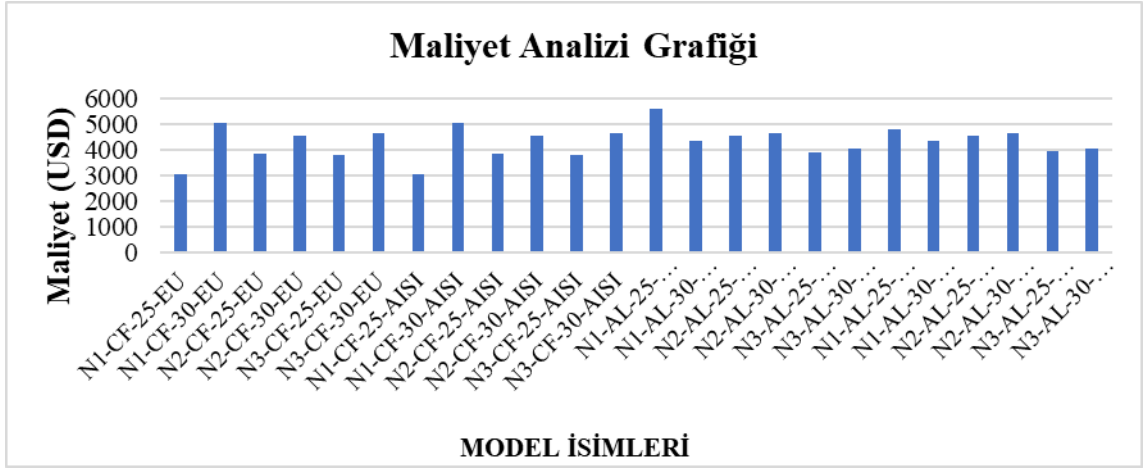
Çizelge 5.6. Modellerin maliyet analizi

No	Model İsmi	Modelin Ağırlığı (Kg)	Birim Fiyat (USD)	Modelin Toplam Maliyeti (USD)	Modelin Toplam Maliyeti (TL)
1	N1-CF-25-EU	837,3909541	3,66	\$ 3.064,85	₺104.474,64
2	N1-CF-30-EU	895,8206931	3,66	\$ 3.278,70	₺111.764,45
3	N2-CF-25-EU	839,6343298	3,66	\$ 3.073,06	₺104.754,53
4	N2-CF-30-EU	857,2754203	3,66	\$ 3.137,63	₺106.955,46
5	N3-CF-25-EU	894,1891472	3,66	\$ 3.272,73	₺111.560,90
6	N3-CF-30-EU	1079,777498	3,66	\$ 3.951,99	₺134.715,29

Çizelge 5.7. Modellerin maliyet analizi (devamı)

7	N1-CF-25-AISI	805,8817231	3,66	\$ 2.949,53	₺100.543,48
8	N1-CF-30-AISI	1019,104383	3,66	\$ 3.729,92	₺127.145,58
9	N2-CF-25-AISI	777,4316408	3,66	\$ 2.845,40	₺96.993,99
10	N2-CF-30-AISI	959,1450699	3,66	\$ 3.510,47	₺119.664,93
11	N3-CF-25-AISI	748,4717003	3,66	\$ 2.739,41	₺93.380,89
12	N3-CF-30-AISI	828,2135082	3,66	\$ 3.031,26	₺103.329,64
13	N1-AL-25-AA2020	1138,615123	3,66	\$ 4.167,33	₺ 142.055,99
14	N1-AL-30-AA2020	888,9885945	3,66	\$ 3.253,70	₺ 110.912,07
15	N2-AL-25-AA2020	924,7806335	3,66	\$ 3.384,70	₺ 115.377,56
16	N2-AL-30-AA2020	946,6025605	3,66	\$ 3.464,57	₺ 118.100,10
17	N3-AL-25-AA2020	797,6220218	3,66	\$ 2.919,30	₺ 99.512,98
18	N3-AL-30-AA2020	824,9504163	3,66	\$ 3.019,32	₺ 102.922,53
19	N1-AL-25-EN2007	976,9901037	3,66	\$ 3.575,78	₺121.891,32
20	N1-AL-30-EN2007	888,9885945	3,66	\$ 3.253,70	₺110.912,07
21	N2-AL-25-EN2007	924,7806335	3,66	\$ 3.384,70	₺115.377,56
22	N2-AL-30-EN2007	946,6025605	3,66	\$ 3.464,57	₺118.100,10
23	N3-AL-25-EN2007	803,6383474	3,66	\$ 2.941,32	₺100.263,59
24	N3-AL-30-EN2007	824,9504163	3,66	\$ 3.019,32	₺102.922,53

Maliyet analizi dolar cinsinde yapılmıştır. Teklifin alındığı güncel tarihte dolar kuru: 34.08 TL'dir. Yapılan maliyet analizi sonucunda sistemlerin ortalama ağırlığı 892,91 kilogramdır. Yeşille boyanan satır minimum maliyetin olduğu modeli, kırmızı ile boyanan satır ise maksimum maliyetin olduğu modeli bize göstermektedir. Daha sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için sütun grafiği elde edilmiştir (Şekil 5.7.).



Şekil 5.7. Modellerin maliyet analizi grafiği

5.5. Malzeme ve Model Seçimi

Bölüm 4.8 göz önüne alındığında, optimum sistem; statik koşulları sağlayan ve bina ağırlığı yüksek olmayan model olarak seçilmelidir.

Bunun için, değerlendirilen 2 parametre önemleri derecesinde yüzde ağırlık verilmiştir ve her bir senaryo ağırlıkları oranında puanlandırılmıştır.

- Elverişsiz Yükleme Altında Nokta Deplasman Değerleri (mm) (%60)
- Yapı Ağırlıkları (kN) (%40)

Farklı yapısal sistemin deplasman ve yapı ağırlığı değerleri incelenmiş ve her sistem için ortalama deplasman ve ortalama ağırlık üzerinden puanlar verilmiştir.

Deplasman: Bu değer, yapı performansının değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir.

Yapı Ağırlığı: Her modelin toplam ağırlığını göstermiştir. Hafiflik, yapı tasarımında maliyet ve verimlilik açısından avantaj sağlar.

Ortalama Deplasman ve Ortalama Ağırlık: Gruplanan modellerin ortalama deplasman ve ağırlık değerleri alınarak her grup için bir ortalama hesaplanır. Bu ortalamalar, modellerin genel performansını daha kolay değerlendirmek için kullanılır.

Puanlama: Ortalama deplasman ve ağırlık için modeller sıralanır ve performansa göre puanlanır. Düşük deplasman ve hafif ağırlık daha yüksek puan alır.

Toplam Puan ve Sıralama: Ortalama deplasman ve ağırlık puanlarının ortalaması alınarak toplam puan hesaplanır ve bu puanlar kullanılarak genel sıralama yapılmıştır. En düşük toplam puan, en iyi performansı göstermiştir.

En olumsuz 1, en olumlu 4 olacak şekilde modeller puanlandırılmıştır. Yapılan hesaplamalar Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.8. Modellerin puanlandırılması

NO	Model İsmi	Deplasman	Yapı Ağırlığı	Ortalama Deplasman	Puan	Ortalama Ağırlık	Puan	Toplam Puan	Sıralama
1	N1-CF-25-EU	111,091367	837,3909541	100,7022015	4	900,6813404	1	2,8	1
2	N1-CF-30-EU	86,380203	895,8206931						
3	N2-CF-25-EU	109,230356	839,6343298						
4	N2-CF-30-EU	133,323579	857,2754203						
5	N3-CF-25-EU	77,061084	894,1891472						
6	N3-CF-30-EU	87,12662	1079,777498	114,1311373	3	856,3746709	2	2,6	2
7	N1-CF-25-AISI	109,72459	805,8817231						
8	N1-CF-30-AISI	148,448491	1019,104383						
9	N2-CF-25-AISI	109,176128	777,4316408						
10	N2-CF-30-AISI	149,3111	959,1450699						
11	N3-CF-25-AISI	79,519575	748,4717003	45,35737383	1	920,2598917	4	2,2	4
12	N3-CF-30-AISI	88,60694	828,2135082						
13	N1-AL-25-AA2020	18,051276	1138,615123						
14	N1-AL-30-AA2020	19,525919	888,9885945						
15	N2-AL-25-AA2020	19,525919	924,7806335						
16	N2-AL-30-AA2020	34,091635	946,6025605	47,36410517	2	894,3251093	3	2,4	3
17	N3-AL-25-AA2020	98,529611	797,6220218						
18	N3-AL-30-AA2020	82,419883	824,9504163						
19	N1-AL-25-EU	18,192292	976,9901037						
20	N1-AL-25-EU	36,184247	888,9885945						
21	N1-AL-25-EU	19,525919	924,7806335	47,36410517	2	894,3251093	3	2,4	3
22	N1-AL-25-EU	34,091635	946,6025605						
23	N1-AL-25-EU	93,770655	803,6383474						
24	N1-AL-25-EU	82,419883	824,9504163						

Birinci Sıradaki Model (N1-CF-25-EU): Bu model hem deplasman hem de yapı ağırlığı bakımından düşük değerlere sahiptir. Ortalama deplasman açısından dördüncü sırada yer alırken, ortalama ağırlık açısından birinci sıradadır. Toplam puanlama sisteminde 2,8 puanla birinci sıraya yerleşmiştir. Bu, modelin genel performans açısından en dengeli ve maliyet etkin çözümlerden biri olduğunu gösterir. **İkinci Sıradaki Model (N1-CF-25-AISI):** Bu model, ortalama deplasman açısından üçüncü sırada yer alırken, ortalama ağırlık açısından ikinci sıradadır. 2,6 toplam puanı ile genel sıralamada ikinci sıraya yerleşmiştir. Bu, modelin deplasman ve ağırlık açısından iyi bir performans sergilediğini ve maliyet etkin bir çözüm sunduğunu gösterir. **Üçüncü Sıradaki Model (N1-AL-25-EN2007):** Bu model, ortalama deplasman açısından ikinci sırada, ortalama ağırlık açısından ise üçüncü sıradadır. 2,4 toplam puan ile üçüncü sıraya yerleşmiştir. Bu model, daha hafif malzemeler kullanarak iyi bir performans göstermiştir, ancak diğer sistemlere göre ağırlık açısından biraz daha düşük puan almıştır. **Dördüncü Sıradaki Model (N1-AL-25-AA2020):** Bu model, ortalama deplasman açısından birinci sırada yer almakta ve en düşük deplasmana sahiptir. Ancak ortalama ağırlık açısından dördüncü sıradadır. 2,2 toplam puanla dördüncü sırada yer almıştır. Bu model, ağırlık bakımından daha ağır olmakla birlikte, deplasman açısından oldukça avantajlıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, hafif çelik yapıların analizi ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geleneksel olarak sıcak hadde profillerinin kullanımının yaygın olması, soğuk şekillendirilmiş yapı sistemlerinin gelişimini bir süre engellemiştir. Ancak yapılan araştırmalar, soğuk şekillendirilmiş yapıların ekonomik açıdan sıcak hadde profillerine kıyasla daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada, her bir yapısal sistemin performansı ve maliyet etkinliği değerlendirilmiş, elde edilen puanlar aracılığıyla bu sistemler karşılaştırılmıştır. Analizler, performans ve maliyet etkinliği arasında bir denge sağlandığını göstermektedir. İlk dört sıradaki modeller, deplasman ve ağırlık kriterlerinde üstün performans sergileyerek genel sıralamada öne çıkmıştır. Özellikle deplasman ve ağırlık arasında başarılı bir denge kuran modeller, puanlama sisteminde avantaj elde etmiştir. Bu tür analizler, yapı tasarımında maliyet ve performans optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir.

Gelişen teknoloji ve mühendislik çalışmaları sayesinde, yıllar boyunca sıcak hadde profillerinin piyasadaki baskınlığına rağmen, hafif çelik sistemler; hafiflikleri, ekonomiklikleri, estetik yapıları ve elastik hareket kabiliyetleri sayesinde başta Amerika ve Japonya olmak üzere birçok ülkede giderek yaygınlaşmaktadır. Hafif çelik sistemlerin, düşey ve yatay yükler altındaki performansları açısından sıcak hadde profillerine göre daha ekonomik olduğu kanıtlanmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye’de de kullanımının artması ve sıcak hadde profillerine olan bağımlılığın azalması beklenmektedir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, soğuk şekillendirilmiş çelik yapı sistemleri günümüzde pek çok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sistem de literatürde kendine yer edinmiş, kullanışlı, verimli ve uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak, birçok yöntemde olduğu gibi, uygulama temelli çalışmalar yerine daha çok teorik çalışmalarla sınırlı kaldığı görülmektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin giderek yaygınlaştığı günümüzde, bu çalışma, güneş panelleri taşıyıcı sistemlerine yönelik bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Panel taşıyıcı sistemleri, kar, rüzgâr ve modal yükleme gibi çoklu yükleme koşullarına maruz kalacak şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, malzemenin daha verimli kullanımını sağlayan çözümler sunmuştur. Bu tasarımların verimliliğini daha da

artırmak için, sonuçların sayısal olarak değerlendirilebileceği bir formülasyon oluşturulması önerilmektedir. Çalışma hem tasarım yönteminin uygulanabilirliği hem de güneş enerjisi santralleriyle ilgili güncel yaklaşımlar sunması açısından, akademisyenler ve sektördeki mühendisler için önemli bir kaynak olarak değerlendirilmelidir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada tasarımı ve analizi yapılmayan yapı sistemleri, ilerleyen araştırmalarda ele alınarak bu sistemlerin ekonomik verimliliği detaylı bir şekilde incelenebilir. Özellikle, farklı yapısal özelliklere sahip sistemlerin performansları karşılaştırılarak hem maliyet etkinliği hem de yapısal dayanıklılık açısından yeni bulgular elde edilebilir. Aynı zamanda, farklı malzeme türleri kullanılarak tasarlanacak güneş enerjisi santralleri (GES) taşıyıcı sistemlerinin ekonomikliğinin araştırılması da gelecek çalışmalar için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Farklı malzemelerin mekanik özellikleri, maliyet avantajları ve çevresel etkileri göz önüne alınarak yapılan bu tür çalışmalar, sürdürülebilir ve ekonomik yapı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Böylece hem tasarım esnekliği hem de malzeme bazlı ekonomik analizler üzerinden daha kapsamlı ve çeşitli sonuçlara ulaşılması mümkün olacaktır. Ayrıca, bu tür araştırmalar, endüstri uygulamaları açısından da büyük önem taşıyacak ve mühendislik projelerinde yeni bakış açıları kazandıracaktır.

Kaynakça

- Anonymous, 2013, Aluminum Extruders Council, *Aluminum Extrusion Manual*. Aluminum Extruders Council .
- Building tomorrow's clean energy systems on green steel. Renewable Energy World. (2022).
- (2023).Bursa Fiziki İl Haritası. T.C Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, Bursa.
- (tarih yok). Bursa İli İçin Zemin Sınıflama Ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi. Tübitak.
- (2019). Bursa İlinin Afet-Tehlike Ve Riskleri. Bursa: Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
- (2019). Bursa İlinin Afet-Tehlike Ve Riskleri. Bursa: Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
- (2023). Bursa Karacabey Taşpınar Arazi Ges 1.201,2 kWp Güneş Enerji Santrali Proje Kurulum Teklifi. Konya: Endüstriyel Elektrik Elektronik San. Ve Tic. A.Ş.
- Bursa Ticaret ve Sanayi Odası. (2023). Bursa Ekonomisine Genel Bakış . Bursa Ticaret ve Sanayi Odası.
- Caldeira, E. (2023). The Important Role of QAQC in Large-Scale Solar Energy Projects. FTQ360.
- Climate Data. (2023). Bursa İklim: <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/bursa/bursa-714886/> adresinden alındı
- Concentrating Solar Power. (2023). Solar Energy Industries Association: <https://www.seia.org/initiatives/concentrating-solar-power> adresinden alındı
- (2017). Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Darwish, M., & Stojceska , V. (2023). Environmental impacts of solar thermal power plants used in industrial supply chains. Thermal Science and Engineering Process.

- Energy, G. O. (Tarih Yok). Technical Specifications For Rooftop Solar Plants Installed. National Portal For Rooftop Solar .
- Fenkli , M., & Ünal, A. (2023). *Hafif Çelik Yapı Sistemleri*. Isparta: Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi.
- Genç, M. (2018). Güneş Paneli Taşıyıcı Sistemlerinde Sık Karşılaşılan Problemler. Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Gobio-Thomas, L.B., Darwish, M. and Stojceska, V. (2023) 'Environmental impacts of solar thermal power plants used in industrial supply chains', *Thermal Science and Engineering Progress*, 38, 101670, pp. 1 - 12.
- Güneş, S. A., & Çeribaşı, S. (2018). Hafif çelik yapı tasarımında yaklaşımlar, mevcut kontrol şartları ve olası bir hafif çelik yapı yönetmeliğinde vurgulanması önerilen konular.
- HOONLY. (2023). Solar Aluminum Frame Production Details.
- Huld, T., Šúri, M., & Dunlop, E. D. (2008). Geographical variation of the conversion efficiency of crystalline silicon photovoltaic modules in Europe. *Progress in photovoltaics: Research and applications*, 16(7), 595-607.
- (2022). Licensing Processes Of Solar Power Plants (Spp) In The Electricity Market Of Turkey. Hansu Real Estate Company .
- (2023). Loads combinations according to Eurocode 1. Tarek Data.
- Mayur, D., Mayur, B., & Krishna, B. (2019). Design of steel structure for installation of solar panels at Trinity Academy of Engineering. Pune: JETIR.
- Nguyen, H. (2019). Project Management Electrical Installation of a 50MW Solar Power Plant. Metropolia University of Applied Sciences.
- (2007). North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Strucural Members. American Iron and Steel Institute.
- Özkal, F. M., & Uysal, H. (2009). ‘General Aspects of Evolutionary Structural Optimization: A Review’. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Pamukkale Üniversitesi. 15(3), s.383-393.

- Özkal, F. M., & Uysal, H. (2017). Betonarme Yapı Elemanlarında En Uygun Donatı Yerleşiminin Belirlenmesi: Konsol Kiriş Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(2), 157-169.
- Özkal, F. M. & Küçük, M. (2017). Güneş Enerjisi Panellerinin Taşıyıcı Sistem Tasarımı İçin Yapısal En İyileme Yaklaşımı. *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*.
- Öztürk, F. (2014). Hafif Çelik Çerçeve Sistemlerin Tepe Birleşim Bölgesinin Sonlu Eleman Analizleri İle Optimizasyonu.
- Öztürk, H. (2021). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi .
- Photovoltaic Geographical Information System. (2023). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ adresinden alındı
- Project Management Plan For Solar Power Plant. (2023, Eylül 8). Target Solar: <https://www.target solar.com.au/project-management-plan-for-solar-power-plant-2/> adresinden alındı
- Quality Management for Photovoltaic Implementation. (2022). Energypedia: https://energypedia.info/wiki/Quality_Management_for_Photovoltaic_Implementation adresinden alındı
- Renewable energy supply by technology in the Net Zero Scenario, 2010-2030. (2023, 07 10). IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-energy-supply-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030> adresinden alındı
- Republic Of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources. (2023). [https://enerji.gov.tr/eigm-renewable-energy-resources-biomass#:~:text=Our%20country%20has%20high%20solar,\(TOE\)%20is%20the%20size.](https://enerji.gov.tr/eigm-renewable-energy-resources-biomass#:~:text=Our%20country%20has%20high%20solar,(TOE)%20is%20the%20size.) adresinden alındı
- Saka, K. (2018). Bursa'nın Yenilenebilir Enerji Görünümü. Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- Saka, K. & Kaynaklı, O. (2018). Bursa'da Bulunan Şebeke Bağlantılı Bir Pv Güç Santralinin Günlük Elektrik Üretimi. IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu. Edirne

- Solar energy. (2023). International Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy> adresinden alındı
- Solar Energy. (2023). Solar Energy Industries Association: <https://www.seia.org/initiatives/about-solar-energy> adresinden alındı
- Solar Photovoltaic Cell Basics. (tarih yok). Solar Energy Technologies Office: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics#:~:text=Silicon%20is%2C%20by%20far%2C%20the,semiconductor%20used%20in%20computer%20chips.> adresinden alındı
- Solar power generation. (2023). Our World In Data: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-energy-consumption?tab=chart> adresinden alındı
- Solar PV Power Plant - How to Control EPC COST / MWp. (2018, Kasım 17). Amara Raja Group: <https://www.linkedin.com/pulse/solar-pv-power-plant-how-control-epc-cost-mwp-v-r-v/> adresinden alındı
- Solar Technologies. (2023). Solar Energy Industries Association: [https://www.seia.org/initiatives/solar-technologies#:~:text=There%20are%20three%20primary%20technologies,\(SHC\)%20systems%2C%20which%20collect](https://www.seia.org/initiatives/solar-technologies#:~:text=There%20are%20three%20primary%20technologies,(SHC)%20systems%2C%20which%20collect) adresinden alındı
- Structural Engineering For Roof-Mounted Solar Projects. (2023, Haziran 22). Pure Power Engineering: <https://www.purepower.com/blog/structural-engineering-for-roof-mounted-solar-projects> adresinden alındı
- Sustainable Power Generation Using Solar Panels in Construction Projects. (2023, Ekim 18). Utilities One : <https://utilitiesone.com/sustainable-power-generation-using-solar-panels-in-construction-projects> adresinden alındı
- Şençayır, N. T. (2012). Karacabey İlçe Raporu . Bursa.
- T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı . (2023). *Bursa İli Genel Bilgiler (Tarihçe)*. Bursa: T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı .
- T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı. (tarih yok). *Bursa İli Genel Bilgiler (Coğrafya)*. T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı: <https://bursa.ktb.gov.tr/TR-70229/cografya.html> adresinden alındı

- (2022). Technical Specification For Solar Power Equipment To Be Required. United Nations Refugee Agency (UNHCR).
- (2022). Technical Specifications Of On-Grid Solar Pv Power Plants. Kerala: Agency For New And Renewable Energy Research And Technology (Anert).
- The Important Role of QAQC in Large-Scale Solar Energy Projects.* (2023). FTQ360: <https://blog.ftq360.com/blog/qaqc-for-large-solar-energy-projects> adresinden alındı
- (2023). *Top Five Nations in Solar Energy Generation.* NASDAQ.
- (2021). *Turkey 2021 Energy Policy Review.* International Energy Agency.
- Use of Steel in the Generation of Solar and Wind Power. (2022, Nisan 6). Ispat Gruru: <https://www.ispatguru.com/use-of-steel-in-the-generation-of-solar-and-wind-power/> adresinden alındı
- Use of Steel in the Generation of Solar and Wind Power. (2022, Nisan 6). ISPAT GURU: <https://www.ispatguru.com/use-of-steel-in-the-generation-of-solar-and-wind-power/> adresinden alındı
- Ünal, A., & Fenkli, M. (2023). HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik Ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 76-87.
- Yılmaz, E. A., & Öziç, H. C. (2018). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri . Ordu: Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi.
- Xie, Y. M. at all. (2001). ' Evolutionary Structural Optimization'. American Society of Civil Engineers.

EKLER

EK-1 Uygun bir başlık buraya yazılmalıdır.

