

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Güneş Enerjisi Santrallerinde Kullanılan Çelik Yapıların
Dayanıklılık Analizlerinin Yapılması**

Adil UÇAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Güneş Enerjisi Santrallerinde Kullanılan Çelik Yapıların
Dayanıklılık Analizlerinin Yapılması

Adil UÇAR

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 28/11/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ (Danışman)

: Prof. Dr. Abdulkadir YAŞAR

: Prof. Dr. Erinc ULUDAMAR

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak
gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3.MEKANİK TASARIM.....	9
3.1. Yapı Gereksinimlerinin Belirlenmesi	10
3.2. Mekanik Tasarım Alternatifleri	11
3.2.1. Tasarım Alternatif 1.....	11
3.2.2. Tasarım Alternatif 2.....	12
3.2.3. Tasarım Alternatif 3.....	13
3.3. Kabul Edilen Tasarıma Ait Genel Özellikler	13
3.3.1. Fotovoltaik Panele Ait Özellikler.....	14
3.3.2. Taşıyıcı Sistemin Genel Boyutları.....	15
3.3.3. Kule Bağlantı Plakasının Detayı	18
3.3.4. Yapıda Kullanılan Profil Kesitleri.....	20
3.4. Sonlu Elemanlar Analizi.....	22
3.4.1. Yapıya Etki Eden Yüklerin Hesaplanması	22
3.5. SAP2000 Ortamında Modelin Oluşturulması	24
3.5.1. SAP2000’de Kesit Ataması ve Mesnet Atamalarının Yapılması.....	25
3.5.2. Hesaplanan Yüklerin SAP2000 Programına Tanıtılması	28
3.6. Katı Modelin Oluşturulması	31
3.6.1. ANSYS’te Malzeme Tayini.....	32
3.6.2. ANSYS’de Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	33
3.6.3. ANSYS’de Sınır Şartlarının, Başlangıç Şartlarının ve Yüklerin Uygulanması.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

Güneş Enerjisi Santrallerinde Kullanılan Çelik Yapıların Dayanıklılık Analizlerinin Yapılması

Adil UÇAR

Danışman: Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Bu tez çalışmasında, baz istasyonlarının enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik Güneş Enerjisi Sistemleri (GES) çelik taşıyıcı yapısına ait gereksinimler belirlenerek tasarım alternatifleri oluşturulmuştur. Tasarım alternatifleri arasından fonksiyonellik, imal edilebilirlik ve dayanım parametreleri göz önüne alınarak en uygun tasarım seçilmiştir. Seçilen tasarım S355 kalite çelik profiller kullanılarak modüler ve kuleye entegre edilebilecek bir sistem olarak ortaya çıkmıştır.

Yapıya etki eden yükler ilgili standartlar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yükler altında taşıyıcı sistemin davranışı hem SAP2000 hem de ANSYS paket programları kullanılarak hesaplanmıştır. Çelik yapı için SAP2000 ve ANSYS paket programları kullanıldığında izlenen yol ve yöntemler detaylı olarak gösterilmiştir. SAP2000 ve ANSYS paket programları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçların izin verilen sehim limitlerinin içerisinde kaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Sistemleri, Çelik Taşıyıcı Sistem, SAP2000 ve ANSYS, Yapısal Analiz, Sonlu Elemanlar Analizi

**Conducting Durability Analyses of Steel Structures
Employed in Solar Power Plants**

Adil UÇAR

Advisor: Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this thesis study, the requirements for the steel support structure of Solar Power Systems (SPV) intended to meet the energy needs of base stations were determined, and design alternatives were developed accordingly. Among these alternatives, the most suitable design was selected by considering parameters such as functionality, manufacturability, and structural strength. The selected design was developed as a modular system that can be integrated into the tower, using S355 grade steel profiles.

The loads acting on the structure were calculated in accordance with the relevant standards. The structural behavior under these loads was analyzed using both SAP2000 and ANSYS software. The procedures and methods followed when using SAP2000 and ANSYS for the steel structure analysis were presented in detail. The results obtained from SAP2000 and ANSYS were also presented in a comparative manner. It was observed that the obtained results remained within the allowable deflection limits.

Keywords: Solar Power Systems, Steel Support Structure, SAP2000 and ANSYS, Structural Analysis, Finite Element Method

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bilgi, deneyim ve değerli yönlendirmeleriyle bana her zaman ışık tutan, sabrı ve desteğiyle bu sürecin en önemli yol göstericisi olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Kerimcan ÇELEBİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, özellikle her daim yanımda olup sevgisi, anlayışı ve desteğiyle bana güç veren sevgili eşim Şeyma UÇAR'a; hiçbir desteğini esirgemeyen değerli büyüğüm Sayın Atilla DENİZ'e, her koşulda yanımda olan arkadaşım Polat DENİZ'e ve beni hayatım boyunca daima destekleyen değerli dedem Adil UÇAR'a şükran borçluyum. Onların katkısı ve manevi desteği, bu çalışmayı tamamlamamda büyük bir motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu süreçte sabırlarıyla yanımda olan anne ve babama, manevi desteğini her zaman hissettiren dostlarıma ve çalışmam boyunca bilgi ve yardımlarını paylaşan tüm değerli arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.Gereksinimler Tablosunun Gösterimi	11
Çizelge 3.2.Genel Özellikler Tablosu	14
Çizelge 3.3.Yük Dağılım Tablosu.....	24
Çizelge 3.4.SAP2000 Modelinde Kullanılan Kesit Tipleri ve Özellikleri	26
Çizelge 3.5.Yükleme Tiplerinin Açıklanması	30
Çizelge 4.1.Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması	37



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Baz Kulesine Montajlanmış GES Çelik Yapısının Gösterimi.....	9
Şekil 3.2. Çelik Kafes Kule Tipinin Gösterimi	10
Şekil 3.3. Tasarım Alternatif 1	12
Şekil 3.4. Tasarım Alternatif 2	12
Şekil 3.5. Tasarım Alternatif 3	13
Şekil 3.6. Tasarım Alternatif 3'ün Model Görüntüsü	14
Şekil 3.7. Fotovoltaik Panelin Ölçüleri	16
Şekil 3.8. Tasarımın Genel Boyutlarının Gösterimi	16
Şekil 3.9. Tasarımın Kule Üstünde Konumlandırılması.....	17
Şekil 3.10. 1 Numaralı Bağlantı Plakası	18
Şekil 3.11. 2 Numaralı Bağlantı Plakası	18
Şekil 3.12. 3 Numaralı Bağlantı Plakası	18
Şekil 3.13. 4 Numaralı Bağlantı Plakası	19
Şekil 3.14. Kule Bağlantı Plakalarının Konumlarının Gösterilmesi	19
Şekil 3.15. Bağlantı Plakalarının Uygulama Görüntüleri	20
Şekil 3.16. Yapıda Kullanılan Profiller	21
Şekil 3.17. Yapıda Kullanılan C Profilin Kesit Görünüşü.....	21
Şekil 3.18. Yapıda Kullanılan L Profilin Kesit Görünüşü	21
Şekil 3.19. Rüzgar Yönleri.....	23
Şekil 3.20. SAP2000 Ortamında Modelin Görüntüsü.....	25
Şekil 3.21. Malzeme Özelliklerinin SAP2000 Ortamına Aktarılması.....	26
Şekil 3.22. C Profil Kesit Detayının SAP2000 Programına Aktarılması	27
Şekil 3.23. L Profil Kesit Detayının SAP2000 Ortamına Aktarılması	27
Şekil 3.24. Yapısal Sınır Koşulları	28
Şekil 3.25. Uygulanan Yüklerin SAP2000 Ortamına Aktarılması	29
Şekil 3.26. Kar Yükünün Yapıya Uygulanması.....	30
Şekil 3.27. Rüzgar Yükünün Basma Yönünde Yapıya Uygulanması.....	30
Şekil 3.28. Rüzgar Yükünün Çekme Yönünde Yapıya Uygulanması	31
Şekil 3.29. Panel Yükünün Yapıya Uygulanması.....	31
Şekil 3.30. GES Çelik Taşıyıcının 3 Boyutlu Katı Modeli	32
Şekil 3.31. S355 Mekanik Değerlerin ANSYS Ortamına Aktarılması.....	32
Şekil 3.33. Ankastre Mesnet Uygulanan Plakaların Gösterimi	34
Şekil 3.34. Kar Yükünün ANSYS Ortamında Uygulanması.....	35
Şekil 3.35. Panel Yükünün ANSYS Ortamında Uygulanması.....	35
Şekil 3.36. Rüzgar Yükünün (W+) ANSYS Ortamında Uygulanması	36

Şekil 3.37. Rüzgar Yükünün (W-) ANSYS Ortamında Uygulanması	36
Şekil 4.1. SAP2000 Panel Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	38
Şekil 4.2. ANSYS Panel Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	38
Şekil 4.3. SAP2000 Kar Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	39
Şekil 4.4. ANSYS Kar Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	39
Şekil 4.5. SAP2000 Rüzgar (W+) Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi.....	40
Şekil 4.6. ANSYS Rüzgar (W+) Yükü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	40
Şekil 4.7. SAP2000 Rüzgar (W-) Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	41
Şekil 4.8. SAP2000 Rüzgar (W-) Altında Düşey Deformasyon Gösterimi	41
Şekil 5.1. Türk Patent Kurumu Tasarım Başvurusu Ekran Görüntüsü.....	44
Şekil 5.2. Tasarım Alternatifi 3 Uygulama Görüntüleri -1	44
Şekil 5.3. Tasarım Alternatif 3 Uygulama Görüntüleri-2	45
Şekil 5.4. Tasarım Alternatif 3 Uygulama Görüntüleri-3	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

PV	: Fotovoltaik
GES	: Güneş Enerjisi Sistemi
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
kN	: Kilonewton
TPT	: Tedlar-Polyester-Tedlar
m	: Metre
F	: Kuvvet
E	: Elastisite Modülü
Dxf	: Cad veri dosyası uzantısı
.step	: Cad veri dosyası uzantısı
Max	: Maksimum
Min	: Minimum

1.GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknolojinin baş döndürücü bir hızla gelişmesi ve buna paralel olarak toplumların ve sosyal yapılarda meydana gelen dönüşümler, enerjiye duyulan ihtiyacı her zamankinden daha önemli bir konuma taşımıştır. Duyulan bu enerji ihtiyacını karşılayabileceğimiz kaynaklardan biriside yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, erişebilirliği, potansiyeli ve sürdürülebilirlik açısından en öne çıkan seçeneklerden biri güneş enerjisidir. Doğrudan güneş ışınlarından elde edilmesi nedeniyle tükenmez bir kaynak olarak değerlendirilen güneş enerjisi, hem dünya genelinde hem de Türkiye’de giderek artan yatırımlarla desteklenmektedir. Bu artışta, fotovoltaik (PV) teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin etkisi büyüktür; zira bu teknolojiler, enerji dönüşüm verimliliğini arttırarak güneş enerjisinin daha yaygın ve ekonomik biçimde kullanılmasına olarak tanımaktadır. Özellikle şebekeden uzak kırsal alanlarda enerji ihtiyacını karşılamadaki başarısı, güneş enerjisini mikro ölçekli enerji sistemleri için ideal bir çözüm haline getirmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, Güneş Enerjisi Sistemleri (GES) kurumlarına yönelik çelik yapıların tasarımı ve analizini gerçekleştirmektir. Özel bir uygulama örneği olarak, bir baz istasyonu (Baz Kulesi) üzerine entegre edilecek GES çelik konstrüksiyonu ele alınmıştır. Bu kapsamda, baz kulelerine montajı mümkün olan, modüler ve ekonomik bir çelik yapı sistemi tasarlanarak, yapının statik yükler altındaki davranışları mühendislik prensipleri çerçevesinde analiz edilecektir. Çalışma kapsamında, öncelikle GES yapıları için uygun çelik yapı türlerinin belirlenmesi, kullanılan profil ve bağlantı elemanlarının seçim kriterlerinin ortaya konulması, yükleme durumlarının (ölü yük, rüzgar yükü, kar yükü, v.b.) doğru şekilde modellenmesi ve yapının verilen yükler altındaki deplasmanının incelenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca çalışma sonucunda elde edilen bulguların yalnızca seçilen örnek baz istasyonu ile sınırlı kalmayıp, benzer yapısal ihtiyaçlara sahip diğer GES uygulamaları için de kullanılabilir mühendislik ilkeleri ve öneriler sunması amaçlanmaktadır.

Çalışma esnasında GES Çelik Konstrüksiyonları için üç farklı tip tasarım alternatifi belirlenmiş olup gereksinimleri karşılayan tasarım için sonlu elemanlar tabanlı analiz programlarından faydalanarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte faydalanılan sonlu elemanlar tabanlı programlarından biri de SAP2000 programıdır. SAP2000, sonlu elemanlar yöntemine dayalı, hızlı ve kolay modelleyebilme, hazır model kütüphanesinden ve başka bir programdan model aktarabilme veya ekleme, model üzerinde her an değişiklik yapabilme, analiz sonuçlarını görsel ve sayısal olarak izleyebilme, boyutlandırmada optimizasyon gibi pek çok işleve izin veren kapsamlı bir programdır. SAP2000 programından yararlanılarak elde edilen sonuçların doğrulanması yine sonlu elemanlar tabanlı ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte, güneş enerjisi sistemlerinin (GES) çelik taşıyıcı yapılarla entegrasyonu, yapı mühendisliği açısından giderek daha önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu tür sistemlerde enerji üretimi kadar, taşıyıcı yapıların statik, dinamik ve dayanım özelliklerinin doğru belirlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Literatürde, güneş panellerinin çelik konstrüksiyonlar üzerine montajı, bu yapıların farklı yükleme koşulları altında davranışı, profil seçiminin sistem rijitliğine etkisi ve çeşitli analiz yazılımlarının sonuç karşılaştırmaları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır.

Kocabaş (2005), “Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analizi ve Tasarımı” başlıklı yüksek lisans tezinde, üç farklı çelik yapı sistemi üzerinde SAP2000 yazılımını kullanarak analizler gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular, SAP2000’in yönetmelik tabanlı hızlı hesap kabiliyetine sahip olduğunu ve global davranış analizlerinde yüksek verimlilik sunduğunu göstermiştir. Ancak birleşim bölgeleri gibi lokal detayların modellenmesinde sınırlı temsil yeteneği bulunduğu belirtilmiştir.

Özkal ve Küçük (2012), güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı geliştirmiş ve sistem geometrisini Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile analiz etmiştir. Çalışmalarında rüzgâr ve kar yükleri altında farklı profil tiplerinin davranışlarını karşılaştırmış, çelik profil seçiminin sistem rijitliği ve malzeme verimliliği üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuştur.

Naik ve arkadaşları (2013), güneş paneli taşıyıcı sistemlerinin yapısal davranışını sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile inceleyerek bu sistemlerde optimizasyonun önemini vurgulamıştır. Çalışmada, panel destek yapıları üzerine etki eden başlıca yüklerin rüzgâr, atalet ve dönme momentleri olduğu belirtilmiş; bu yüklerin özellikle panel yüzeyine etkiyen aerodinamik kuvvetler nedeniyle kritik tasarım parametrelerini belirlediği ifade edilmiştir. Araştırmacılar, CATIA ve HyperMesh ortamlarında oluşturdukları modeli ANSYS yazılımına aktararak gerilme, şekil değiştirme ve güvenlik kontrollerini gerçekleştirmiştir. İlk analiz sonuçlarında elde edilen yaklaşık 2,4 mm’lik deplasman ve 102 MPa seviyesindeki Von Mises gerilmesinin izin verilen sınırlar içinde kaldığı görülmüş; devamında ANSYS optimizasyon modülü kullanılarak altı tasarım değişkeni üzerinden ağırlık azaltımına yönelik çoklu senaryolar analiz edilmiştir. Optimizasyon sonucunda, taşıyıcı sistemin ağırlığında %13,9 oranında azalma elde edilmiş ve tüm tasarım setlerinde gerilme–sehim limitlerinin sağlandığı gösterilmiştir. Bu çalışma, güneş paneli destek yapılarında FEM tabanlı optimizasyonun hem yapısal güvenlik hem de malzeme verimliliği açısından önemli bir mühendislik yaklaşımı olduğunu ortaya koymaktadır.

Karakaş (2016) tarafından yapılan “Çelik Yapılarda Yarı-Rijit Bağlantıların Doğrusal Olmayan Analizi” adlı yüksek lisans tezinde, yarı-rijit bağlantıların doğrusal olmayan davranışı ANSYS yazılımı ile analiz edilmiştir. Farklı bağlantı konfigürasyonları için moment–dönme

ilişkileri belirlenmiş, kaynaklı ve bulonlu birleşim bölgelerinde oluşan lokal gerilme dağılımları ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, tam rijit veya mafsallı bağlantı varsayımlarının gerçek davranışı tam olarak temsil etmediği ve yarı-rijit bağlantıların sistem deplasmanı üzerinde önemli etkiler yarattığı görülmüştür.

Wang ve arkadaşları (2018), sabit tip fotovoltaik taşıyıcı sistemlerin yapısal tasarımı ve optimizasyonuna yönelik kapsamlı bir çalışma sunmuş ve SAP2000 esaslı bir mühendislik yaklaşımı ortaya koymuştur. Çalışmada, Japonya'daki bir PV projesi temel alınarak JIS C 8955-2011 standardına göre rüzgâr, kar ve deprem yükleri ayrıntılı biçimde hesaplanmış; tipik sabit taşıyıcı diziliminde (4 sıra $\times$ 5 kolon) düşey ve yatay yük kombinasyonları belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda toplam sabit yükün 4679.4 N, rüzgâr yükünün 1.05 kN/m², kar yükünün 0.89 kN/m², sismik yükün ise 5877.51 N olduğu belirlenmiştir. Yapısal sistem ray-kiriş-kolon üçlüsünden oluşmuş ve çift uçlu mesnetli kiriş modeline dayalı teorik analiz ile optimal kiriş adedi ve açıklığı belirlenmiştir; yapılan karşılaştırmalı çalışmalar sonucunda kiriş açıklığının 2200 mm ve konsol bölgesinin 895 mm olması gerektiği gösterilmiştir. SAP2000 üzerinde gerçekleştirilen tek faktör deney analizleri, W tipi kolon bağlantıları için en uygun üç mesnet noktasının 400 mm mesafe aralığında konumlandırılması gerektiğini göstermiştir. Hafiflik odaklı tasarım kapsamında ray ve kiriş profillerinin farklı et kalınlıkları için deformasyon ve gerilme karşılaştırmaları yapılmış; güvenlik katsayıları sağlanarak optimal kesitlerin sırasıyla 60 $\times$ 60 $\times$ 1.0 mm (ray ve kiriş), 40 $\times$ 50 $\times$ 2.0 mm (kolon) ve bağlantı elemanı olarak M10 cıvata olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, PV destek yapılarında SAP2000 kullanılarak yük hesapları, kesit optimizasyonu ve mesnet konfigürasyonu için sistematik bir mühendislik süreci önermesi açısından literatürde önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Mahboob ve çalışma arkadaşları (2018), 50 MW kapasiteli bir güneş termal enerji santrali için kule yapısının tasarımı ve yapısal analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, güneş kulesinin türleri (çelik, kafes/truss ve betonarme) detaylı şekilde sınıflandırılmış; farklı santral projelerindeki kare, dairesel ve taper formdaki kule örnekleri üzerinden tasarımın geometrik kriterleri tartışılmıştır. Ray-trace analizinden elde edilen gereksinimler doğrultusunda 200 m yüksekliğinde ve 15 m genişliğinde çelik açi profillerinden oluşan bir kule modeli oluşturulmuş, üç farklı kesit konfigürasyonu (L1, L2, L3) kullanılarak üç alternatif tasarım geliştirilmiştir. CAE modelleme süreci ANSYS Geometry üzerinden koordinat tabanlı oluşturulmuş, ardından ANSYS Mechanical ortamında mesh, sınır koşulları, rüzgâr yükü ve alıcı (receiver) ağırlığı etkileri altında yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, yapılar arasında deformasyon, eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti açısından belirgin farklar bulunduğunu göstermiştir. Yazarlar, sonuç olarak Yapı 3'ün hem deformasyon hem de güvenli gerilme değerleri açısından en uygun çözüm olduğunu vurgulamış; tasarımın üst bölgelerinde kesit artırımı ve taban bölgesinde ilave rijitlik takviyeleriyle performansın daha da iyileştirilebileceğini önermiştir. Bu çalışma, yüksek katlı güneş

kulelerinde rüzgâr etkisi altında çelik kafes sistemlerinin davranışını inceleyen önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Yapısal optimizasyon ve malzeme verimliliği üzerine odaklanan bir diğer araştırma 2019 yılında yayımlanmıştır. Bu çalışmada Dr. Prashant N. Ulhe ve arkadaşları, güneş paneli sistemlerinde kullanılan çelik taşıyıcı yapıların optimizasyonu ve yapısal performansını incelemiştir. Farklı kesit tipleri için yapılan analizlerde sistemin kar ve sismik yükler altındaki davranışı karşılaştırılmış; optimum profil seçiminin hem malzeme ekonomisi hem de sistem rijitliği açısından kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, çelik profil seçimi ve malzeme kullanımının yapısal güvenlik üzerindeki etkisini vurgulaması bakımından mevcut tez konusuyla doğrudan ilişkilidir.

Avcı-Karataş (2020) tarafından Türkiye’deki bir güneş enerjisi santralinde kullanılan çelik yapı sisteminin rüzgâr, kar ve sismik yükler altındaki davranışı incelenmiştir. SAP2000 yazılımı ile gerçekleştirilen analizlerde yük kombinasyonları TS 498 ve TS EN 1991 standartlarına göre tanımlanmış, panel eğim açısı ve yükleme yönünün sistemde oluşan en büyük deplasman ve moment değerlerini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Çalışma, SAP2000’in modüler güneş paneli taşıyıcı sistemlerin global davranış analizinde etkinliğini ortaya koyarak, TS standartlarına uygun yükleme koşulları altında sistem performansını değerlendirmiştir.

Panjawani ve arkadaşları (2020), 3 HP gücündeki solar su pompası sistemine ait panel taşıyıcı yapının tasarım ve analizini gerçekleştirmiştir. Sekiz adet 335 W panel için farklı malzeme seçenekleri (galvanizli çelik, sıcak daldırma galvaniz, anodize alüminyum, PosMAC) karşılaştırılmış; ölü yük, canlı yük ve rüzgâr yükleri Hindistan rüzgâr verilerine göre hesaplanmıştır. Mevsimsel panel açılarına göre rüzgâr kuvveti belirlenmiş ve 18° eğimde 4746 N değerine ulaştığı görülmüştür. SolidWorks modeli ANSYS ortamında analiz edilmiş; maksimum gerilme (2.391×10^6 Pa) ve deplasman (2.699 mm) değerlerinin güvenli sınırlar içinde kaldığı doğrulanmıştır. Çalışma, kırsal uygulamalarda hafif ve dayanıklı güneş paneli taşıyıcı sistemler için uygun malzeme ve yük analizlerinin önemini ortaya koymaktadır.

Laha ve arkadaşları (2021) ise fotovoltaik panellerin farklı rüzgâr hızları altındaki mekanik davranışını ANSYS Fluent programı kullanarak incelemiştir. 10–260 km/h aralığındaki rüzgâr yüklerinde panel yüzeyinde oluşan aerodinamik basınç dağılımları değerlendirilmiş; özellikle yüksek hızlarda köşe ve ön kenarlarda gerilme yoğunlaşmaları gözlenmiştir. 260 km/h hızda panel içinde 4196 Pa seviyesine ulaşan iç gerilmelerin delaminasyon eğilimini artırdığı belirlenmiştir. Rüzgâr basıncı yükseldikçe stres, deformasyon ve hata oranlarının doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, panel iç katman yapısının yüksek rüzgâr etkileri karşısında kritik rol oynadığını göstermektedir.

Hasibuan ve Qolby (2023), SAP2000 yazılımının basit kiriş sistemlerinin analizinde doğruluk ve hız açısından sağladığı avantajları inceleyen uygulamalı bir çalışma sunmuştur. Araştırmada, uçları mafsal–makara mesnetlerle desteklenen basit bir kiriş modeli oluşturularak

hem yayılı yük (3 t/m) hem de noktasal yük (5 ton) altında davranışı değerlendirilmiştir . SAP2000’de modelleme süreci; grid tanımları, çerçeve elemanlarının çizimi, mesnet ataması, yayılı ve noktasal yüklerin uygulanması ile analiz çalıştırma adımları şeklinde sistematik olarak aktarılmıştır . Analiz sonuçları eşdeğer yük diyagramları, kesme kuvveti diyagramları ve eğilme momenti diyagramları üzerinden sunulmuş; sonrasında SAP2000 çıktıları, statik denge prensiplerine göre yapılan manuel hesaplarla karşılaştırılmıştır . Elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüş, yalnızca yazılımın varsayılan kiriş elemanı kabullerinden kaynaklanan küçük farklar tespit edilmiştir. Yazarlar, bu bulgular doğrultusunda SAP2000’in basit kiriş sistemleri için hızlı, güvenilir ve mühendislik uygulamalarında pratik bir çözüm sunduğunu vurgulamıştır. Çalışma, SAP2000’in temel eleman analizlerindeki doğruluğunun literatürde deneysel bir şekilde doğrulanmasına katkı sağlamaktadır.

Çıkılı ve Keleşoğlu (2023), güneş paneli sistemlerinde çelik kazık temellerin zeminle etkileşimini ve deplasman davranışını FLAC3D sonlu farklar yöntemi ile incelemiştir. Çalışmada, panel üst yapısı ve zemin profili üç boyutlu olarak modellenmiş, elastisite modülü, kayma mukavemeti açısı, soket boyu ile rüzgâr ve kar yüklerinin değiştirildiği çok sayıda yük kombinasyonu analiz edilmiştir. Sayısal sonuçlar, sistem deplasmanları üzerinde kar ve rüzgâr yüklerinin en belirleyici etkenler olduğunu, özellikle $\pm y$ yönlü rüzgâr yükü artışlarında panel sisteminin ani deplasmanlarla göçmeye kadar gidebildiğini göstermiştir. Ayrıca zemin parametrelerindeki azalmaların (E, ϕ) deplasmanları 2–6 kata kadar artırdığı, soket boyunun kısılmasının ise deplasmanları kritik seviyelere yükselttiği belirlenmiştir. Rüzgâr yüklerinin TS 498’e göre düşük hesaplandığı ve bunun güvensiz tasarım sonuçlarına yol açabileceği vurgulanmıştır. Bu çalışma, güneş paneli sistemlerinde geoteknik tasarımın kritik rolünü ortaya koymakta ve özellikle rüzgâr–kar yükleri altında temel performansının doğru belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Li ve çalışma arkadaşları (2023), geniş açıklıklı esnek fotovoltaik (PV) taşıyıcı dizilerinin şiddetli rüzgâr koşullarındaki davranışını, rüzgâr tüneli deneyleri ve doğrusal olmayan dinamik sonlu eleman analizleri ile ayrıntılı biçimde incelemiştir. Çalışmada, Çin’in doğu kıyısındaki 66 MW’lık balıkçılık–PV hibrit tesisine ait üç açıklıklı ve beş sıralı büyük açıklık esnek panel dizisi araştırma nesnesi olarak seçilmiş; 1:50 ölçekli rijit basınç ölçüm modeli kullanılarak yüzey rüzgâr basıncı dağılımları 2520 ölçüm noktası üzerinden elde edilmiştir . Deney sonuçlarına göre en yüksek pozitif rüzgâr basıncı katsayısı 0,85 (0° rüzgâr yönü), en yüksek emme katsayısı ise 0,89 (180° rüzgâr yönü) olarak bulunmuş; her iki durumda da maksimum değerlerin rüzgâr yönündeki 1. sırada, minimumların ise 2. sırada olduğu gösterilmiştir. Bu veriler daha sonra geniş açıklıklı esnek sistemin ANSYS LS-DYNA tabanlı tam ölçekli explicit dinamik modeline aktarılmış ve yapı üzerinde 0° ve 180° rüzgâr yönleri için deplasman, iç kuvvet ve gerilme tepkileri hesaplanmıştır. Model sonuçları, kritik deplasman ve Von Mises gerilme bölgelerinin 1. sıranın orta açıklığında yoğunlaştığını, maksimum deplasmanın 0° yönünde 0,31 m, 180° yönünde ise 1,04 m seviyesine

ulaştığını göstermiştir . Artan rüzgâr hızları altında, taşıyıcı dizinin kritik göçme rüzgâr hızları 0° için 51 m/s, 180° için 46 m/s olarak belirlenmiş ve her iki durumda da göçmenin sistem genelindeki bir stabilite kaybindan değil, yerel çubuk elemanlarda rijitlik yetersizliği nedeniyle gelişen lokal burkulma ile başladığı ortaya konmuştur . Özellikle 0° durumunda üçgen çubuk elemanlarda Euler burkulması, 180° durumunda ise çapraz diyagonal çubuklarda limit nokta burkulması meydana gelmiştir. Yazarlar, bu davranışları temel alarak esnek PV dizileri için çift parametrelili bir göçme kriteri önermiştir: eksenel basınç oranı $\Delta > 0,1$ veya çubuk başına biriken şekil değiştirme enerjisi artışı $\Delta U > 1,0 \times 10^5$ J olduğunda sistemin lokal stabilitesini kaybettiği belirtilmiştir. Bu çalışma, çok açıklıklı esnek PV taşıyıcılarının rüzgâr kaynaklı göçme mekanizmalarının anlaşılması, kritik tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve yeni nesil esnek PV sistemlerinde rüzgâr dayanımı için sınır kriterlerin oluşturulması açısından literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Lou, Zhang ve Pan (2024), esnek fotovoltaik taşıyıcı sistemlerin rüzgâr etkisi altındaki statik ve dinamik davranışlarını SAP2000 tabanlı sayısal analizlerle incelemiştir. Çalışmada, esnek PV yapılarının geleneksel rijit sistemlere kıyasla rüzgâr yüklerine daha duyarlı olduğu belirtilmiş; fluctuating (dalgalı) rüzgâr yüklerinin MATLAB ortamında AR (autoregressive) model kullanılarak simüle edildiği ve bu zaman tanımındaki yüklerin SAP2000'e aktarılmasıyla sistemin gerçekçi dinamik davranışının elde edildiği ifade edilmiştir . Altı açıklıklı, kablo-germe prensibiyle çalışan 4,75 m yüksekliğindeki esnek PV modeli üzerinde yapılan analizlerde, rüzgâr emme (suction) ve rüzgâr basıncı (pressure) durumlarında orta açıklık bölgesinde maksimum deplasman, hızlanma ve kablo eksenel kuvvetlerinin olduğu gösterilmiştir . Modal analiz sonuçları ilk doğal titreşim frekansının 1,46 Hz olduğunu ortaya koymuş, bu değer rüzgârın karakteristik 0,5–1 Hz frekans aralığından yüksek olması sebebiyle rezonans oluşmadığı belirtilmiştir . Aşırı yük durumları incelendiğinde, 15–45 m açıklıklar için sınır sehim koşulu ($L/100$) esas alınarak gerekli minimum ön gerilme kuvvetleri belirlenmiş; örneğin 30 m açıklıkta gerekli minimum kablo ön gerilmesi 85 kN, 45 m açıklıkta ise 154 kN olarak hesaplanmıştır . Ayrıca çalışma, kritik rüzgâr hızının ön gerilme arttıkça doğrusal biçimde yükseldiğini göstermiştir . Yazarlar, eşdeğer statik analizlerde kullanılmak üzere rüzgâr titreşim katsayısını (wind-vibration coefficient) hesaplamış ve esnek PV sistemleri için önerilen aralığı 1.5–2.52 olarak belirlemiştir . Çeşitli güçlendirme stratejilerinin değerlendirildiği sonuç bölümünde, orta açıklığa yerleştirilen ilave destek kirişinin (F2) titreşim genliklerini en etkili şekilde azalttığı, kablo çapının artırılmasının ise sınırlı fayda sağladığı görülmüştür. Bu çalışma, esnek PV taşıyıcı sistemlerde rüzgâr kaynaklı dinamik davranışın doğru modellenmesi ve gerekli tasarım limitlerinin belirlenmesi açısından literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Ceylan (2024) tarafından yapılan karşılaştırmalı çalışmada, SAP2000, İdeCAD ve Sta4CAD yazılımları arasında analiz sonuçları değerlendirilmiş; doğal titreşim periyotları ve

deprem yüklerine karşı davranışlar incelenmiş, global analizlerde genel bir uyum bulunmasına rağmen, yerel deformasyon bölgelerinde modelleme yaklaşımına bağlı farklılıklar gözlemlenmiştir.

Son olarak, Iturralde Carrera ve arkadaşları (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan taşıyıcı yapıların malzeme seçimi, yapısal tasarım değişkenleri ve çevresel koşullara göre performansları kapsamlı biçimde incelenmiştir. 2018–2025 yılları arasında yayımlanan 122 bilimsel makalenin sistematik olarak değerlendirildiği bu derleme çalışmasında, yumuşak çelik, galvanizli çelik, alüminyum, polimer ve kompozit malzemelerden üretilen taşıyıcı sistemlerin dayanım, rijitlik ve uzun ömürlülük açısından karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışma, PRISMA metodolojisi kullanılarak malzeme türleri ve tasarım parametreleri (panel eğim açısı, yönelme, yükleme türü, montaj tipi) açısından analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları, güneş paneli taşıyıcı sistemlerinin yapısal davranışında malzeme kalitesi, çevresel koşullar (rüzgâr, kar, sıcaklık, nem) ve montaj düzeninin belirleyici olduğunu göstermektedir. Ayrıca, modüler, hafif ve çevresel koşullara adapte olabilen çelik veya kompozit sistemlerin sürdürülebilir enerji altyapılarında giderek daha fazla tercih edildiği vurgulanmıştır. Malzeme maliyetlerinin düşmesiyle birlikte taşıyıcı sistemlerin toplam proje maliyetindeki payının arttığı, bu nedenle yapısal optimizasyon ve dayanıklılık kriterlerinin daha kritik hale geldiği belirtilmiştir. Bu yönüyle çalışma, tezimizde ele alınan çelik taşıyıcı sistem tasarımı, malzeme seçimi (S355 kalite çelik), yükleme koşulları (rüzgâr, kar) ve modüler GES entegrasyonu konularıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, SAP2000 ve ANSYS ortamlarında gerçekleştirilen analizlerin dayandığı malzeme ve yükleme varsayımlarına teorik bir altyapı kazandırarak, tez kapsamındaki yapısal karşılaştırmaların literatür desteğini güçlendirmektedir.

Bu kapsamda yapılan araştırmalar genel olarak üç temel noktada birleşmektedir: Birincisi, çelik profil seçimi ve yük kombinasyonlarının sistem rijitliği üzerindeki etkisi; ikincisi, zemin ve bağlantı koşullarının global ve lokal davranışlara katkısı; üçüncüsü ise farklı yazılım tabanlı analizlerin sonuç farklılıklarının mühendislik tasarımlarına yansımalarıdır. Ancak mevcut literatürde, baz istasyonları gibi özel yapılara entegre edilen modüler GES çelik taşıyıcı sistemlerin hem global hem de lokal düzeyde karşılaştırmalı analizini içeren kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu nedenle, yürütülen bu tez çalışması, SAP2000 ve ANSYS yazılımlarının birlikte kullanıldığı, modüler GES çelik taşıyıcı sistemlerin davranışlarının karşılaştırmalı incelendiği özgün bir yaklaşım sunmakta ve literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir..

3.MEKANİK TASARIM

Bu tezde, bir baz istasyonu kulesine entegre edilecek güneş enerjisi panel taşıyıcı sistemine ait bir yapı tasarımı yapılacaktır. Sistem, mevcut çelik kule üzerine monte edilecek şekilde planlanmış olup, zeminle doğrudan temas etmeyen, hafif ve modüler bir çelik yapı yaklaşımı benimsenmiştir. Taşıyıcı sistemin malzemesi olarak, dış ortam koşullarına dayanıklı, kaynak kabiliyeti iyi ve yüksek dayanım değerlerine sahip S355 kalite yapısal çelik kullanılması hedeflenmiştir. Ana taşıyıcı elemanlar, açık kesitli C ve L profiller ile oluşturulacak; güneş panellerini 27° bir eğimle taşıyacak şekilde konumlandırılacaktır. Panel çerçevesi, kule gövdesine bulonlu bağlantı elemanları aracılığıyla sabitlenecek olup, gerektiğinde sökülebilir ve yeniden konumlandırılabilir modüler bir yapı karakteri taşıyacaktır. Bu bağlantılar, kuleye ek yük bindirmeden güvenli yük transferi sağlayacak şekilde tasarlanacaktır.

Taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında, güneş panellerinin yüzey alanı, ağırlığı ve eğim açısı ile birlikte panel, kar ve rüzgar yükleri dikkate alınmıştır. Yapının projelendirilmesinde genel mühendislik yaklaşımı ele alınmış; yük ve çevresel etkiler “TS498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler” standardına göre belirlenmiştir. Yapısal analizler Sonlu elemanlar metoduna dayalı paket programlar yardımı ile gerçekleştirilecek olup, tüm elemanlar üç boyutlu olarak modellenerek statik yükler ve çevresel etkiler altındaki davranışları incelenecektir. Yapıya ait çizimler ve yerleşim planları ise AutoCAD ve Solid Edge yazılımları ile hazırlanacaktır. Bu doğrultuda, kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve profil kesitlerinin taşıma kapasiteleri dikkate alınarak, güvenli ve uzun ömürlü bir sistem performansı hedeflenmiştir.



Şekil 3.1. Baz Kulesine Montajlanmış GES Çelik Yapısının Gösterimi

Tasarımı yapılacak olan elik yapının montajlanacağı yer, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bir baz kulesidir. Baz Kuleleri, elektronik haberleŐme sistemlerinin temel bileŐenlerinden biri olup, çeşitli iletişim ekipmanlarının ve anten sistemlerinin kurulu olduğu yapisal birimlerdir. Baz kulelerinin birbirinden farklı tipleri vardır, ancak bu çalışmada, temsili bir örnek olarak elik kafes kule tipi seçilmiş ve yapisal analizler bu kule tipine montajlanacağı düşünülerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. elik Kafes Kule Tipinin Gösterimi

3.1. Yapı Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Baz istasyonlarının enerji ihtiyaının mevcut yöntemlerle karŐılanması oldukça yüksek maliyetler doğurmaktadır. Özellikle Őehir merkezlerinden uzakta, kırsal alanlarda konumlandırılan baz istasyonlarının enerji gereksinimleri genellikle dizel jeneratörler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu durum, yakıt temini, nakliye ve bakım maliyetleri dikkate alındığında sürdürülebilir olmayan bir ekonomik yük ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, Türkiye genelinde on binlerce baz istasyonunun Őebeke elektriği veya jeneratörlerle çalıŐtırılması, kümülatif olarak ülke enerji bütçesi üzerinde ciddi bir maliyet oluşturmaktadır. Bu bağlamda, baz istasyonlarının enerji ihtiyaçlarının güneş enerjisi sistemleri (GES) aracılığıyla karŐılanması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanmak, enerji giderlerini belirli oranda azaltmayı ve uzun vadede daha sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluŐturmayı amaçlamaktadır. Ancak, bu sistemlerin baz istasyonlarına entegrasyonu sırasında dikkate alınması gereken çeşitli

yapısal ve tasarımsal parametreler bulunmaktadır. Yapının gereksinim tablosu Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.Gereksinimler Tablosunun Gösterimi

No	Gereksinim Sınıfı	Gereksinim
1	İşlevsel Gereksinimler	Yapı en az 580 Wattlık 2 panel taşıyacaktır.
		Sistem, hem tek kolonlu hem de çift kolonlu kule tiplerine bağlanabilir modüler yapıda olacaktır.
2	Performans Gereksinimleri	Sistem ömrü 25 yıl olacaktır.
		Sistem, 1,3 kN/m ² kar yükü ve 150 km/s rüzgar yükünü taşıyacaktır.
3	Fiziksel Gereksinimler	Sistem toplam ağırlığı 240 kg değerini aşmamalıdır.
		Sistem gövdesi ve ilgili tutucular korozyona karşı sıcak daldırma galvaniz işlemine tabi tutulacaktır.
4	Tasarım Gereksinimleri	Kuleye bağlantı elemanları, farklı kolon kesitlerine uyum sağlayabilecek modüler adaptör plakaları içerecektir.
		Kule açıklıkları 5 m ve üzeri durumlarda rijitlik korunacak şekilde tasarlanacaktır.

3.2. Mekanik Tasarım Alternatifleri

Mekanik tasarım şekillendirilirken fonksiyonellik, imal edilebilirlik ve dayanım parametreleri göz önüne alınmıştır. GES Çelik yapıların konstrüksiyonu için ilk olarak kule tipine göre bağlantı yöntemleri seçilmekte, seçime göre tek kolon veya çift kolona bağlanabilmektedir. Bu çalışmada, GES Çelik yapının genel boyutlandırılması ve geometrileri Çizelge 3.1’de gösterilen gereksinimler doğrultusunda oluşturulmuştur. GES çelik yapı, Tasarım alternatif 1 ve Tasarım alternatif 3 başlıkları altında tek kolona bağlanacak şekilde tasarlanmış olup, Tasarım Alternatif 2 başlığı altında iki kolona bağlanacak şekilde tasarlanmıştır.

3.2.1. Tasarım Alternatif 1

Bu tasarımda kule bağlantı noktaları NPU profiller aracılığıyla oluşturulmuştur (Şekil 3.3). İki adet NPU profilin birbirine bulonla sıkıştırılmasıyla kenetlenme mekanizması sağlanmıştır. Ancak, kule kolon kesitlerinin büyümesi durumunda, NPU profillerin de orantılı biçimde büyütülmesi gerektiği görülmüştür. Kule kesiti büyüdükçe NPU profiller arasındaki mesafenin

artması, sistemin rijitliğini koruyabilmek için daha büyük kesitlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu durum yapının ağırlığını hedeflenen ağırlık değerinden daha yukarıya taşıması sebebiyle kabul görmemiştir.



Şekil 3.3. Tasarım Alternatif 1

3.2.2. Tasarım Alternatif 2

Bu tasarıma ait ayaklar baz kulesinin iki kolonuna aynı anda bağlanacak biçimde düzenlenmiştir (Şekil 3.4). Kule bağlantı plakaları soğuk şekillendirme yöntemiyle imal edilen sac plakalardan oluşturulmuştur. Üç ayrı bağlantı plakasının birleşimiyle kenetlenme mekanizması elde edilmiştir. Ayrıca, plakalarda kullanılan slot delikleri sayesinde farklı kule kesitlerine uyum sağlanmış ve tasarım esnekliği artırılmıştır. Bununla birlikte, kule açıklıklarının 5 metre ve üzerini bulduğu durumlarda rijitliğin sağlanması için daha dayanıklı malzemelerin kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu da sistemin kendi ağırlığı ve kulenin statik dengesine olumsuz etki etmiş, dolayısıyla tasarımın 5 metre ve üzeri kule açıklıklarında kullanıma uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.4. Tasarım Alternatif 2

3.2.3. Tasarım Alternatif 3

Bu tasarımda, Tasarım Alternatifi 1'in taşıyıcı karkas yapısı korunmuş (Şekil 3.5), Tasarım Alternatifi 2'de sunulan yenilikçi bağlantı detayları entegre edilmiştir. Böylece, kule tipi, açıklık değeri veya kolon ölçülerinden bağımsız olarak her türlü kuleye uyarlanabilen modüler bir sistem ortaya konmuştur. Tasarım Alternatif 3, önceki iki tasarımda gözlemlenen eksiklikleri gidermekte ve hem yapısal hem de montaj açısından en iyilenmiş performans sağlamaktadır. Şekil 3.5'te Tasarım Alternatifi 3'ün tasarım ve uygulama görüntülerini göstermektedir.



Şekil 3.5. Tasarım Alternatif 3

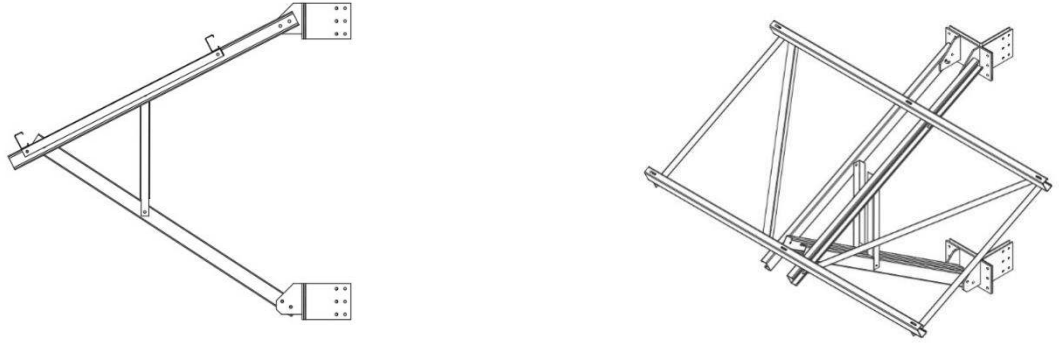
3.3. Kabul Edilen Tasarıma Ait Genel Özellikler

Kabul edilen çelik taşıyıcı sistem (Tasarım Alternatif 3), baz istasyonlarına entegre fotovoltaik (GES) uygulamaları için modüler, sahada hızlı montaj imkânı sunan ve bakım erişimi kolay bir yapı olarak kurgulanmıştır. Sistem, üretim ve montaj süreçlerinde standardizasyonu sağlamak amacıyla ön yüklemeli civatalı birleşim detayları esas alınarak tasarlanmıştır; bu sayede sökülebilirlik, taşınabilirlik ve servis kolaylığı artırılmıştır.

Taşıyıcı elemanlarda S355 kalite çelik tercih edilmiştir. Bu malzeme, yüksek akma dayanımı ve iyi kaynak kabiliyeti özellikleri sayesinde hem statik hem de dinamik yükler altında güvenli bir performans sergilemektedir. Yapıya etki eden yükler, TS 498 standardı esas alınarak tanımlanmıştır; rüzgâr ve kar yüklerinin karakteristik değerleri, proje sahasının iklimsel verileri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Korozyon dayanımı kapsamında, sistem elemanlarının sıcak daldırma galvaniz kaplama ile korunması öngörülmüştür. Kaplama kalınlığı, hedeflenen servis ömrü ve bakım periyotları dikkate alınarak seçilmiştir; uzun dönem dayanıklılığı artıracak biçimde tanımlanmıştır.

Fotovoltaik panellerin yerleşimi, kablo güzergâhları ve aksesuar bağlantı detayları, taşıyıcı sistem geometrisiyle uyumlu şekilde planlanmıştır.



Şekil 3.6. Tasarım Alternatif 3'ün Model Görüntüsü

Kabul edilen tasarım ait malzeme özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Taşıyıcı sistemin malzemesi, dış ortam koşullarına dayanıklı, kaynak kabiliyeti iyi ve yüksek dayanım değerlerine sahip S355 kalite yapısal çelik kullanılmıştır. Malzemenin korozyon direnci kazandırmak için sıcak daldırma galvaniz işlemine tabii tutulmuştur. Seçilen malzemeler aynı zamanda kolay ulaşılabilen ve kolay işlenebilen malzemeler arasından seçilmesine dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.2.Genel Özellikler Tablosu

Çelik Malzemesi	S355 JR / Malzeme Sınıfı EN10025-2
Kullanılan Malzeme Kesitleri	Soğuk Şekillendirilmiş C Profil (Aşık ve Kirişler), L Profil (Çaprazlar,Bağlantılar)
Birleşim Aracı	Bulon 8.8 Kalite
Kaplama Malzemesi	Sıcak Daldırma Galvanizleme

3.3.1. Fotovoltaik Panele Ait Özellikler

Fotovoltaik panelin temel görevi, güneş ışığından gelen foton enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektir. Bu dönüşüm, panel içerisindeki yarı iletken hücrelerin p-n bağlantısı üzerinden gerçekleşmekte olup, elde edilen doğru akım (DC) enerji daha sonra inverter aracılığıyla alternatif akıma (AC) çevrilerek sistemde kullanılmaktadır. Çalışmamızda, gereksinim tablosunda belirlenen enerji ihtiyacına uygun fotovoltaik panel tipi belirlenmiştir.

Fotovoltaik paneller, aynı güç aralıklarında farklı üreticiler tarafından üretilmekte olup, hücre yapısı, verimlilik oranı ve sıcaklık katsayıları gibi parametreler markalar arasında değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda, proje kapsamında kullanılacak panel gücünün 580 W seviyesinde olması uygun görülmüştür. Seçilen panel tipi, mevcut pazar koşullarında yaygın olarak kullanılan monokristal teknolojisine sahip olup, yüksek dönüşüm verimi ve uzun ömürlü performans sağlamaktadır.

Fotovoltaik panellerin boyutları üreticiye bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, 580 W gücündeki tipik bir panel yaklaşık 2278 mm × 1135 mm boyutlarında ve 26–30 kg ağırlığındadır. Bu paneller genellikle 144 adet monokristal hücreden oluşur.

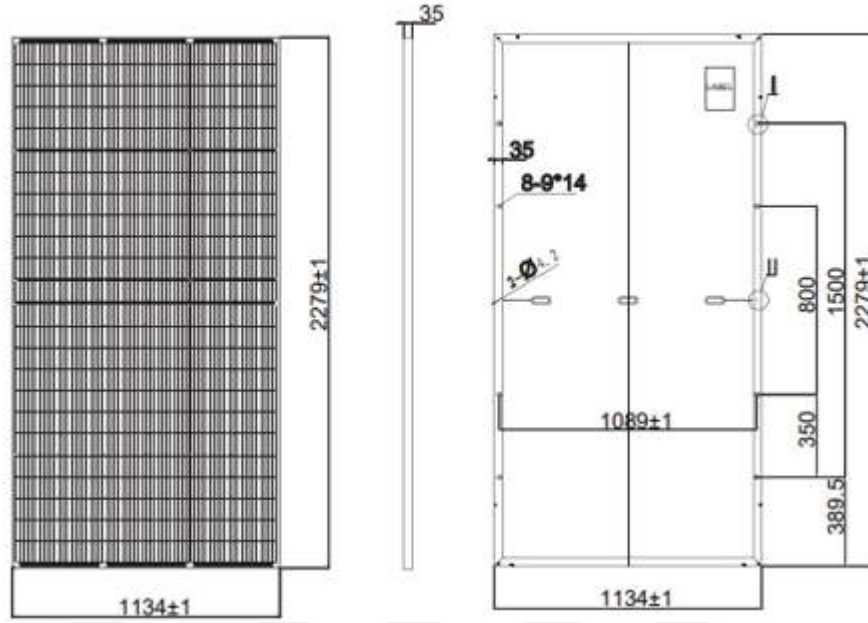
Panellerin nominal çalışma sıcaklığı 45 ± 2 °C olup, çalışma sıcaklık aralığı –40 °C ile +85 °C arasındadır. Sıcaklık katsayısı genellikle –0,35 ila –0,45 %/°C arasında değişmektedir. Bu nedenle, taşıyıcı çelik konstrüksiyon tasarımında uygun hava sirkülasyonunun sağlanması, panelin arka yüzeyinde ısı birikiminin önlenmesi açısından büyük önem taşır.

Panellerin mekanik dayanım değerleri IEC 61215 ve IEC 61730 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Bu standartlara göre paneller, 5400 Pa kar yükü ve 2400 Pa rüzgâr yükü altında güvenli şekilde çalışabilecek mukavemete sahiptir. Ön yüzeyde kullanılan 3,2 mm kalınlığında düşük demirli temperli cam, hücreleri dış etkenlere karşı korurken, arka yüzeydeki TPT tabaka panelin nem ve mekanik zorlanmalara karşı dayanımını artırır.

Sonuç olarak, seçilen 580 W gücündeki monokristal fotovoltaik panel, yapının gereksinim tablosuna göre seçilmekte olup, hem mekanik dayanım hem de verimlilik açısından proje sahasının iklim koşullarına uygun performans sergilemektedir. Bu panellerin boyut ve ağırlık değerleri, yapının yükleri belirlenmesi aşamasında temel parametre olarak dikkate alınmıştır.

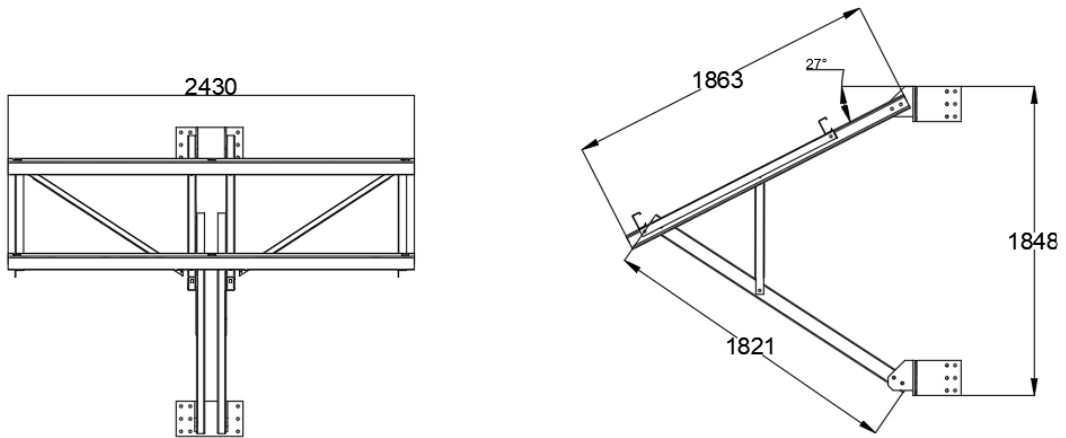
3.3.2. Taşıyıcı Sistemin Genel Boyutları

Sistem, genel olarak mevcut kule yapısına entegre edilecek şekilde tasarlandığından, taşıyıcı geometrinin belirlenmesinde öncelikli kriter, güneş paneli boyutları ve panelin eğim açısına bağlı konumlandırma gereksinimleri olmuştur. GES çelik konstrüksiyonunda 580-600 Wattlık panellerin taşınacağı gereksinimler tablosunda belirtilmiştir. Dışarıdan temin edilen 580-600 Wattlık fotovoltaik panel ölçüleri kalınlık harici benzerdir. Bu doğrultuda, güneş panelinin ölçüleri ve yerleşim açısı referans alınarak sistemin genel boyutları tanımlanmıştır. Fotovoltaik paneline ait ölçüler Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Fotovoltaik Panelin Ölçüleri

Şekil 3.8’de yapının maksimum açıklık ve maksimum yükseklik değerleri gösterilmektedir. Taşıyıcı sistem, bu boyutlara göre hem panel yerleşimine uygun yüzey alanı oluşturacak hem de rüzgâr ve kar yükleri altında yeterli rijitliği sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Sistemde kullanılan fotovoltaik panelin nominal boyutları 35 mm × 1135 mm × 2295 mm olup, taşıyıcı sistem geometrisi bu ölçülere uyumludur. Bu ölçülendirme, panel modülünün hem montaj toleranslarını hem de bakım erişim alanlarını karşılayacak biçimde belirlenmiştir. Böylece kuleye entegre GES sisteminde panel dizilimi, taşıyıcı yapı ile bütünleşik ve tekrarlanabilir bir modüler geometri oluşturacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. Tasarımın Genel Boyutlarının Gösterimi

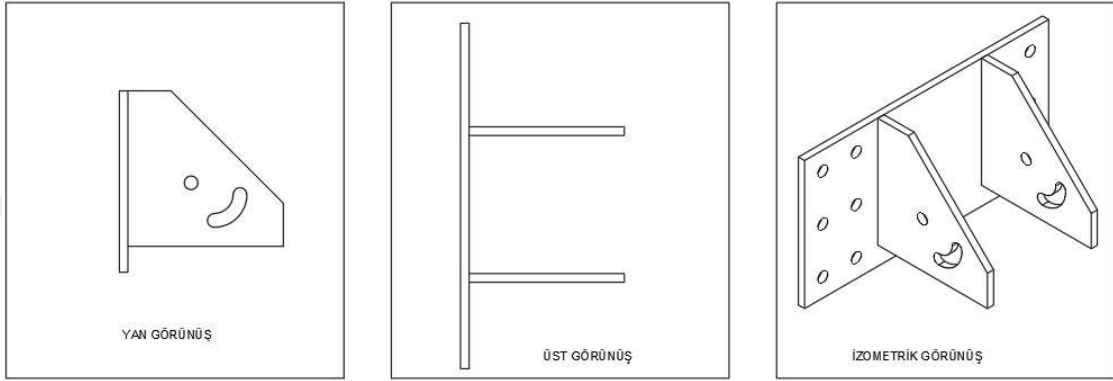
Sistemin kule üzerindeki konumu, kurulacağı bölgenin yerel çevresel ve fiziksel koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle bazı baz istasyonu sahalarının çevresinin tel örgü veya güvenlik bariyerleriyle sınırlandırılmış olması, taşıyıcı sistemin yerden yükseklik değerinde belirli kısıtların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, hem panel yüzeylerinin optimum eğim açısında konumlandırılmasını hem de bakım ve erişim faaliyetlerinin güvenli bir biçimde yürütülmesini doğrudan etkilemektedir.

The diagram shows a portal frame structure resting on a ground level labeled "ZEMİN" in orange. The frame consists of two vertical columns and two horizontal beams. The left column is labeled "A" with a vertical dimension line. The right column is labeled "Kolon" with an arrow pointing to it. The ground level is indicated by a horizontal line with a stippled pattern below it.

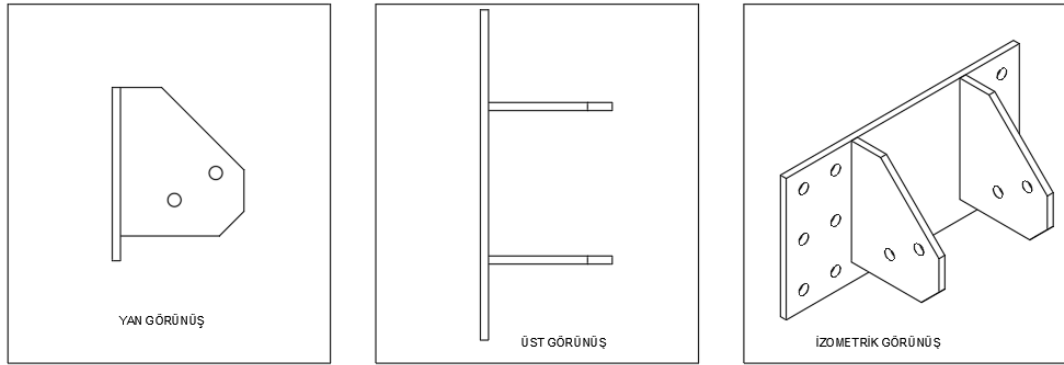
17

3.3.3. Kule Bağlantı Plakasının Detayı

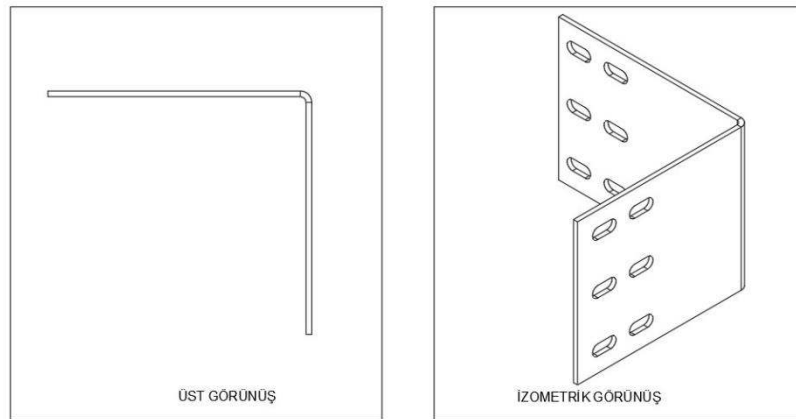
Çelik yapının kuleye olan bağlantısı, tasarımın önemli bir elemanıdır. Burada kullanılan kule bağlantı plakaları sağlam ve rijit olmalı, bu sayede çelik yapının kule üzerindeki pozisyonu korunabilecektir. Tasarlanan kule bağlantı plakası 4 farklı plaka yapısının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu plakalar, kule kolonuna kenet olarak bağlanmaktadır. Kule bağlantı plakalarına ait görüşler Şekil 3.10-3.13'te gösterilmiştir. Şekil 3.14'te montaj şeması verilmiş olup Şekil 3.15'te ise sahadaki uygulamaları sunulmuştur.



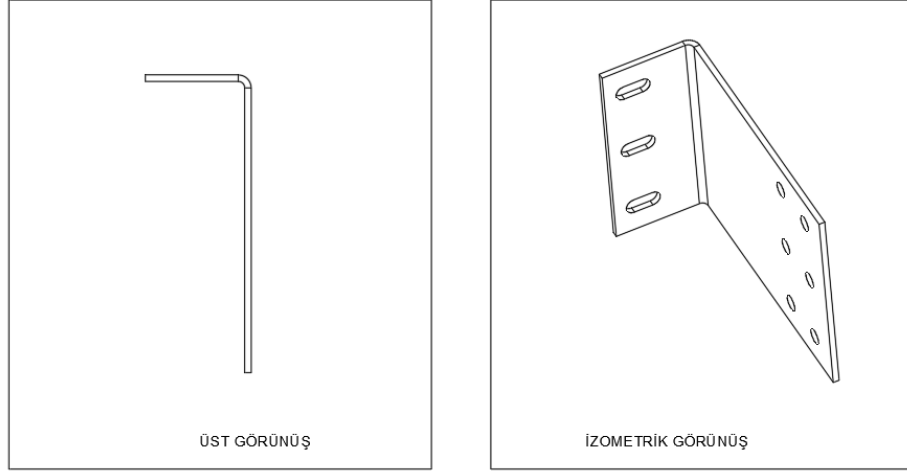
Şekil 3.10. 1 Numaralı Bağlantı Plakası



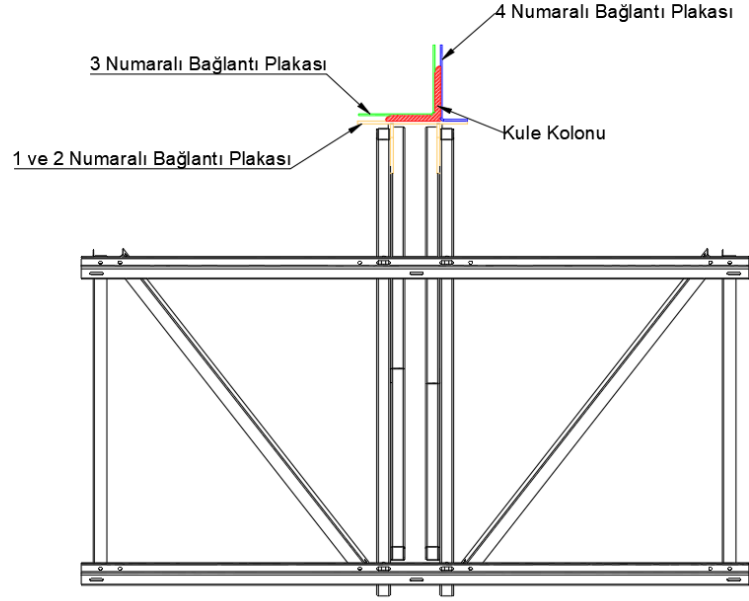
Şekil 3.11. 2 Numaralı Bağlantı Plakası



Şekil 3.12. 3 Numaralı Bağlantı Plakası



Şekil 3.13. 4 Numaralı Bağlantı Plakası



Şekil 3.14. Kule Bağlantı Plakalarının Konumlarının Gösterilmesi



Şekil 3.15. Bağlantı Plakalarının Uygulama Görüntüleri

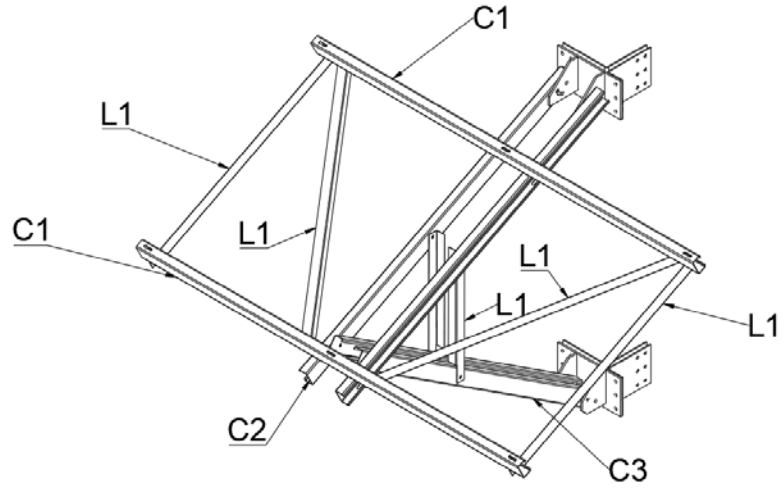
3.3.4. Yapıda Kullanılan Profil Kesitleri

Yapının ana taşıyıcı elemanlarında C kesitli soğuk şekillendirilmiş çelik profiller kullanılmıştır. C profiller, rulo sac malzemenin soğuk şekillendirilmesi yöntemiyle belirlediğimiz boyutlarda imal edilmekte olup yüksek yüzey kalitesi ve imalat hassasiyeti açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. İnce cidarlı yapıları sayesinde birim ağırlık başına yüksek eğilme ve basınç taşıma kapasitesi sunan bu profiller, dudak (lip) detayı sayesinde yerel burkulma eğilimlerini geciktirmekte ve özellikle tek açıklıklı aşıklar ile ikincil kiriş elemanlarında verimli bir kullanım sağlamaktadır.

Soğuk şekillendirme işlemi sırasında profilin köşe bölgelerinde malzemenin akma dayanımında artış meydana gelmekte, bu durum uygun hesap modelleriyle dikkate alındığında kesit dayanımına olumlu katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, ince cidarlı kesitlerin karakteristik özelliği olarak yerel ve burkulma eğilimleri göz önünde bulundurulmalı; bu kapsamda kesit sınıfı tayini ve etkili en hesabı ilgili yönetmelik hükümlerine (örneğin TS EN 1993-1-3) uygun biçimde yapılmalıdır.

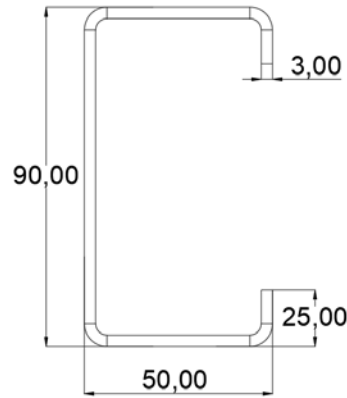
C profillerin üretim hattında, boyut toleransları, delik yerleşimleri ve bağlantı yüzeyleri standartlara uygun biçimde kontrol edilmektedir. Bu sayede sahada gerçekleştirilen bulonlu birleşimler yüksek montaj hızına olanak tanımaktadır. Önceden delikli bağlantı şeritleri, kapak levhaları ve köşe bağlantı elemanları montaj sürecini kolaylaştırmakta; moment aktarımı gerektiren birleşimlerde ise rijitliği sağlamak için ek levha detayları kullanılmaktadır.

Projede kullanılan C profillerin konumları ve numaralandırmaları Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Bu sınıflandırma, montaj sırasını ve kontrol adımlarını sistematik hâle getirerek imalat ve saha montajında hata payını minimize eden bir izleme düzeni oluşturmuştur.

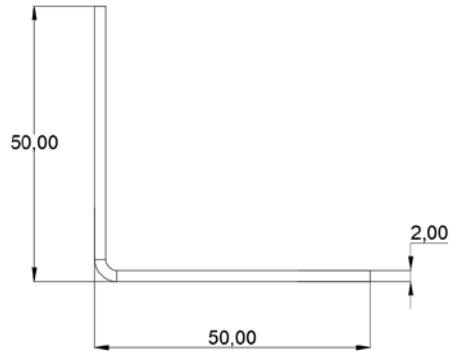


Şekil 3.16. Yapıda Kullanılan Profiller

Yapıda kullanılan C profillerin tamamı aynı kesit özelliklerine sahipken, farklı boy uzunlukları vardır. Aynı şekilde soğuk şekillendirme yöntemiyle imal edilen L profillerde aynı kesit özelliklerine sahip, fakat farklı boy uzunlukları mevcuttur. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 kesit detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.17. Yapıda Kullanılan C Profilin Kesit Görünüşü



Şekil 3.18. Yapıda Kullanılan L Profilin Kesit Görünüşü

3.4. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi küçük parçadan tüme gitme prensibine dayanır. Matematiksel denklemler, her bir elemanın davranışını öngörmeye yardımcı olmakta ve daha sonra bir bilgisayar yardımı ile gerçek yapının davranışını ön görmek için tüm davranışları toplamaktadır. Sonlu elemanlar analizi, tasarlanan bir ürünün gerçekte maruz kaldığı kuvvetlere, ısı yüküne, akışa ve titreşime göstereceği tepkisini tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Sonlu elemanlar yönteminde analizi yapılacak bir problemin çözümü için bilgisayara girmeniz gereken temel bilgiler; yapının modeli, elemanın mekanik değerleri, analizde kullanılacak ve gerçekte karşılaşılabilecek başlangıç ve sınır yükleme şartlarıdır.

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan yazılımlardan biride SAP2000 paket programıdır. SAP2000, klasik sonlu elemanlar metodolojisini rijitlik matrisi üzerinden uygular. Rijitlik matrisi, her bir elemanın maruz kaldığı dış kuvvetler ile bu kuvvetlerin oluşturduğu yer değiştirmeler arasındaki ilişkisini tanımlar ve bu sayede sistemin tüm statik ve dinamik davranışını sayısal olarak analiz edebilir. (Kocabaş, S. 2013).

SAP2000 gibi ANSYS paket programı da sonlu elemanlar yöntemi tabanlıdır. Bu program model üzerinde analiz yaparken en büyük gerilmelerin elde edilmesini sağladığı gibi gerilmelerin dağılımı, bulunduğu yerleri ve sebep olduğu deplasmanların grafiksel olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

Bu tezde hem SAP2000 hem ANSYS paket programları kullanılarak Güneş Enerji Sistemleri (GES) için çelik taşıyıcı yapıya etki eden yükler altındaki statik analizi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

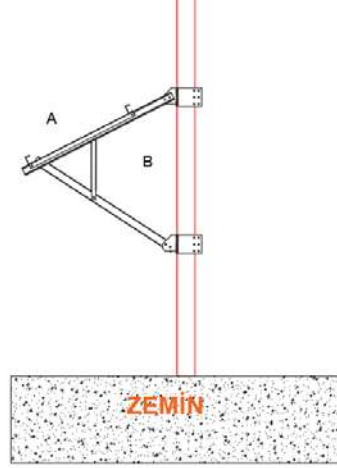
3.4.1. Yapıya Etki Eden Yüklerin Hesaplanması

Sonlu eleman tabanlı analiz programları için ilk olarak, sisteme etkiyen yüklerin ilgili yönetmeliklere göre hesaplanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, yapıya gelen yükler için TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler” standardında belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Yapıya uygulanacak yükler aşağıda verilmiştir;

Zati Yük: Zati yük, kiriş, kolon, döşeme, çatı gibi taşıyıcı elemanların ve bunların sıva, kaplama vs. gibi tamamlayıcı kısımlarının ağırlıklarıdır (*TS498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Eylül 2021*). Zati yük, yapının kendi elemanlarının oluşturduğu yüküdür. Bu bağlamda, kesit ataması yapılan profiller kendi ağırlığını oluşturacağı için, zati yükünün hesaplanması sonlu elemanlar tabanlı program tarafından yapılacaktır.

Rüzgar Yükü: Rüzgar yükü, yapıların dış yüzeylerine ve bazı durumlarda iç yüzeylerine etki eden hava hareketinden kaynaklanan dinamik basınç kuvvetidir. Rüzgar yük hesabı yapının geometrisine bağlıdır. Basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır. Gereksinimler tablosunda belirtilen rüzgar hızı olan 150 km/saat düşünülerek, rüzgar yükü hesaplanacaktır. Belirlenen rüzgâr hızının, TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler” standardında

tanımlanan yöntem uyarınca hız basıncına dönüştürülmesi gerekmektedir. Yapı modelinde, fotovoltaik panelin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı 27° olarak kabul edilmiştir. Bu eğim değeri, hem panel yüzeyinin güneşlenme süresini maksimize etmekte hem de taşıyıcı sistem üzerinde oluşan aerodinamik rüzgâr etkilerini doğrudan etkilemektedir. panel eğim açısı ve Şekil 3.19’da gösterilen rüzgârın esme yönüne bağlı olarak elde edilen emme katsayısı yardımıyla rüzgâr basıncı yükleri hesaplanacaktır.



Şekil 3.19. Rüzgar Yönleri

Kar Yüğü: Yapının üzerine düşen karın ağırlığından kaynaklanan dikey yüküdür. Kar yükü hesabında TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler” standardı çizelge 3’ten faydalanılmıştır. Çizelge 3.1’den faydalanılarak yapılan seçimlerde ilgili yapının denizden 900 metre yükseklikte ve 3.bölge olduğu değerlendirilmiştir.

Fotovoltaik Panel Yüğü: Yapı üst kısmında kullanılması beklenen panelin ağırlığıdır. Kullanılan panelin ağırlığı 30 kg’dır. Fotovoltaik Panelin alanı 1,135mm x 2,278 mm’dir. Yapıya etki eden yükler

Çizelge 3.3’te hesaplanan yükler, panelin karşılıklı iki kenarında yer alan aşık hatlarına doğrudan çizgisel yük olarak aktarılmıştır. Böylece panelin yük taşıma mekanizması, gerçek sistemdeki yük transferine uygun biçimde, iki kenar boyunca mesnetlenmiş bir yüzey elemanı davranışıyla temsil edilmiştir. Bu yaklaşım, panel rijitliğini ve yük paylaşımını gerçekçi biçimde yansıtmakta ve sistemin genel analizinde panel-yapı etkileşiminin dikkate alınmasına olanak sağlamaktadır

Çizelge 3.3.Yük Dağılım Tablosu

Açıklama	Yük Değerleri
Rüzgar Hızı	$V = 150 \text{ km/saat} = 41,667 \text{ m/sn}$
Rüzgar Basıncı	$q = 1,085 \text{ kN/m}^2$
Panel Açısı	$\alpha = 27^\circ$
Emme Katsayısı (A yönünde)	$CA = 1,28$
Emme Katsayısı (B yönünde)	$CB = 1,6$
Rüzgar Yüğü (A yönünde)	$WA = -0,631 \text{ kN/m}^2$
Rüzgar Yüğü (B yönünde)	$WB = 0,788 \text{ kN/m}^2$
Kar Yüğü	$Sk = 1,30 \text{ kN/m}^2$
Panel Yüğü	$P = 0,113 \text{ kN/m}^2$

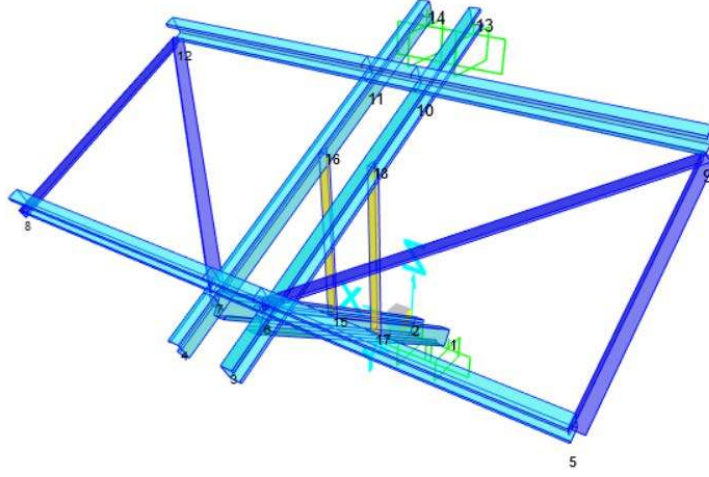
3.5. SAP2000 Ortamında Modelin Oluşturulması

Bu bölümde, tasarlanan çelik taşıyıcı sistemin SAP2000 yazılımı ortamında oluşturulması, malzeme özelliklerinin tanımlanması ve mesnet koşullarının uygulanması adımları açıklanmaktadır. Şekil 3.20’de, modelin SAP2000 ortamındaki genel görünümü sunulmuştur.

Modelleme süreci, öncelikle yapının geometrik bileşenlerinin AutoCAD ortamında iki boyutlu olarak çizilmesi ile başlamıştır. Hazırlanan çizim, DXF formatı kullanılarak SAP2000 yazılımına aktarılmış ve sistemin üç boyutlu taşıyıcı eleman modeli bu temel üzerinden oluşturulmuştur. Bu yöntem, geometrik doğruluğun korunmasını ve modelleme sürecinin hızlandırılmasını sağlamıştır.

Geometri aktarımının ardından, taşıyıcı elemanlara tasarım projesinde öngörülen S355 kalite çelik malzeme özellikleri atanmıştır. Malzeme tanımı, SAP2000’in veri tabanında yer alan çelik özellikleri referans alınarak düzenlenmiş; elastisite modülü ($E = 210 \text{ GPa}$), Poisson oranı ($\nu = 0.3$), yoğunluk ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) ve akma dayanımı ($f_y = 355 \text{ MPa}$) değerleri modele tanımlanmıştır.

Sistemin statik dengesi için gerekli mesnet koşulları, kule bağlantı noktalarında ankastre olarak ele alınmıştır. Bu tanım, sistemin yerinde rijit bir bağlantı ile sabitlendiği varsayımına dayanmakta ve panel yükleri ile çevresel etkiler altında gerçekçi bir davranış öngörüsü sağlamaktadır. Ayrıca, bağlantı bölgelerinde dönme serbestlikleri ve yük aktarım yönleri dikkatle kontrol edilerek modelin stabilitesi doğrulanmıştır.



Şekil 3.20. SAP2000 Ortamında Modelin Görüntüsü

SAP2000 ortamında oluşturulan model; malzeme, mesnet ve yükleme koşulları açısından tasarım projesiyle tam uyum içinde olup, analiz aşamasında kullanılacak verilerin güvenilir biçimde elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

3.5.1. SAP2000’de Kesit Ataması ve Mesnet Atamalarının Yapılması

Yapısal analizlerde kesit seçimi ve ataması, sistemin genel davranışını belirleyen en kritik adımlardan biridir. Bir elemanın kesit geometrisi, o elemanın eksenel, eğilme, kesme ve burkulma rijitliklerini doğrudan etkileyerek sistemin rijitlik matrisini, deformasyon kapasitesini ve iç kuvvet dağılımını belirler. Bu nedenle SAP2000 ortamında yapılan kesit ataması yalnızca geometrik bir tanımlama değil, yapısal davranışın fiziksel gerçeklikle uyumlu bir biçimde temsil edilmesini sağlayan temel bir modelleme aşamasıdır. Kesit geometrisinin doğru belirlenmesi, sistemin statik ve dinamik yükler altındaki davranışını doğru yansıtmak açısından büyük önem taşır. Elemanların yük aktarım biçimi, konumları ve bağlantı özellikleri dikkate alınarak uygun kesitlerin seçilmesi gerekir.

Bu çalışmada oluşturulan GES çelik taşıyıcı sistem modelinde, yapının farklı eleman grupları için uygun kesit türleri belirlenmiş ve SAP2000 yazılımında her gruba özel atamalar yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları için,soğuk şekillendirilmiş C profiller tercih edilmiştir. Bu profillerin seçilmesinde; düşük kesit ağırlığına rağmen yüksek eğilme dayanımı sunmaları, imalat ve montaj kolaylığı sağlamaları etkili olmuştur.

Çapraz elemanlar ve diagonal bağlantılar için ise eksenel çekme ve basınç yüklerini etkin bir şekilde taşıyabilen soğuk şekillendirilmiş L profiller kullanılmıştır. Bu kesit tipi, montaj bağlantılarında civata veya kaynaklı birleşimlere kolaylıkla uyum göstermekte ve sahada pratik uygulama avantajı sunmaktadır.

SAP2000 analizinde tanımlanan bu kesitler; kesit alanı (A), atalet momentleri (I_y, I_z), burulma sabiti (J) ve kesit modülü (W) gibi parametreleriyle sistemin rijitlik matrisine doğrudan dâhil edilmiştir. Bu sayede yapının global davranışı, seçilen kesitlerin mekanik özelliklerini temsil edecek biçimde modellenmiş ve analiz sonuçları fiziksel gerçeklikle uyumlu şekilde elde edilmiştir.

Çizelge 3.4.SAP2000 Modelinde Kullanılan Kesit Tipleri ve Özellikleri

Eleman Grubu	Kesit Tipi	Profil Ölçüleri	Malzeme	Fonksiyon
Taşıyıcı Grup	C Profil	90x50x25x3	S355	Ana taşıyıcı eleman
Çapraz Grup	L Profil	50x50x2	S355	Yük aktarım elemanı

Kesit ataması SAP2000 paket programında GES çelik taşıyıcı sistemin analiz güvenilirliğini doğrudan etkileyen bir adımdır. Taşıyıcı grup için C profillerin, çapraz ve diagonal elemanlar için ise L profillerin seçilmesi; hem dayanım hem de ekonomik tasarım açısından uygun bir çözüm sunmuş, sistemin genel rijitliğini korurken yapının toplam ağırlığında iyileşme sağlamıştır. Çizelge 3.4’te tasarımda kullanılan kesit tip ve özellikleri gösterilmiş olup, Şekil 3.21’de kullanılan malzemenin mekanik özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 programa tanıtılan kesit detayları gösterilmektedir.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for material 'S355-CF'. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (S355-CF with a red square), 'Material Type' (ColdFormed), 'Material Grade' (S355-CF), and 'Material Notes' (empty). The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (76,9729) and 'Mass per Unit Volume' (7,849). The 'Units' dropdown is set to 'KN, m, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (2,100E+08), 'Poisson, U' (0,3), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (1,170E-05), and 'Shear Modulus, G' (80769231). The 'Other Properties For Cold Formed Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (355000) and 'Minimum Tensile Stress, Fu' (510000). At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 3.21. Malzeme Özelliklerinin SAP2000 Ortamına Aktarılması

Cold Formed C Section

Section Name: CC90x50x25x3 (ST52) Display Color: [Blue]

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Outside Height (A): 90,
 Outside Width (B): 50,
 Thickness (t): 3,
 Radius (R): 6,
 Lip Depth (d): 25,

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material: S355-CF Property Modifiers: Set Modifiers...

Section: [Preview of C-section profile]

Properties: Section Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.22. C Profil Kesit Detayının SAP2000 Programına Aktarılması

Cold Formed L Section

Section Name: L50x2 Display Color: [Blue]

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Outside Length (A): 50,
 Thickness (t): 2,
 Radius (R): 4,
 Lip Depth (d): 0,

Material: CF_S235 Property Modifiers: Set Modifiers...

Section: [Preview of L-section profile]

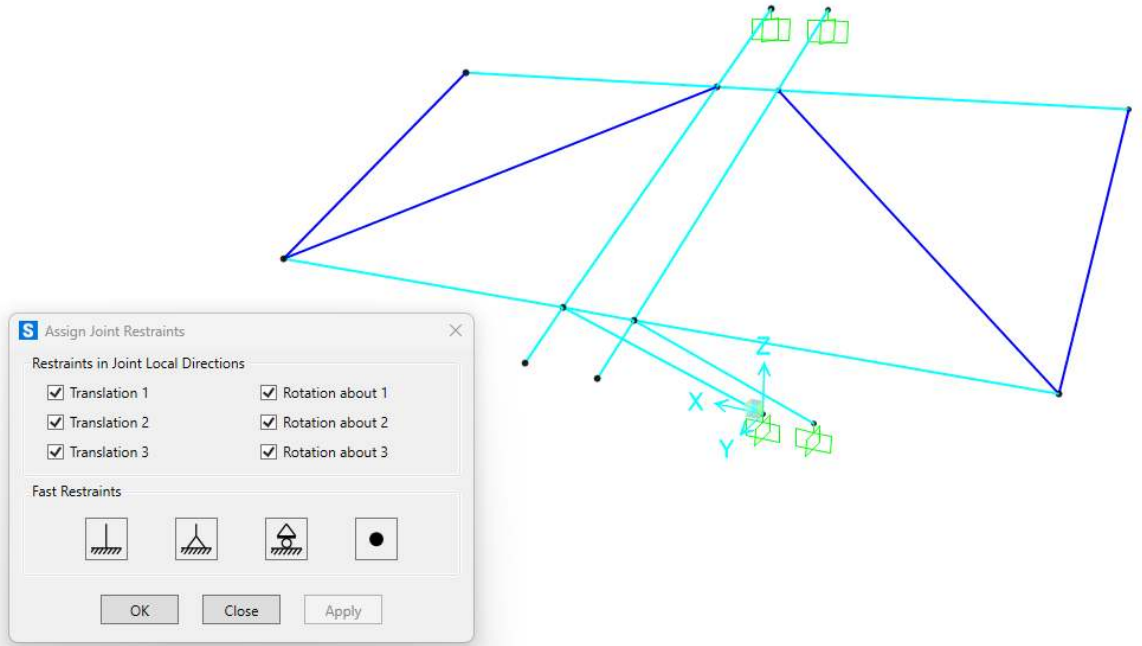
Properties: Section Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.23. L Profil Kesit Detayının SAP2000 Ortamına Aktarılması

Yapısal sistemlerin analitik olarak doğru modellenebilmesi için, sınır koşullarının (mesnet tiplerinin) gerçeğe uygun biçimde tanımlanması oldukça önemlidir. Mesnet koşulları, yapı elemanlarının deplasman ve dönme serbestliklerini sınırlandırarak sistemin genel rijitliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, bağlantı tipine bağlı olarak uygun mesnet modelinin seçilmesi, analiz sonuçlarının doğruluğu açısından kritik bir rol oynar.

Kabul edilen tasarımda, güneş paneli taşıyıcı çelik sistemin kule yapısına bağlantısı ankraj plakası aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Ankraj plakasının kuleye civatalı ve kaynaklı biçimde bağlanması, bağlantı bölgesinin moment aktarabilme kabiliyetine sahip olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, sistem bu noktada dönme serbestliği bulunmayan ankastre mesnet koşulu altında modellenmiştir. kabul, yapının hem global stabilitesinin hem de eleman iç kuvvet dağılımlarının gerçeğe yakın biçimde temsil edilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 3.24 mesnet uygulamasını göstermektedir.



Şekil 3.24. Yapısal Sınır Koşulları

3.5.2. Hesaplanan Yüklerin SAP2000 Programına Tanıtılması

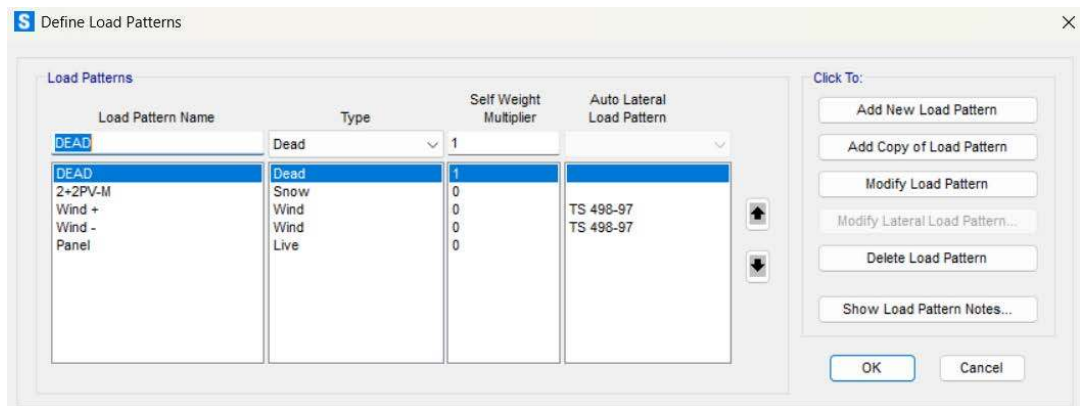
Yapının analitik modelinin güvenilir sonuçlar verebilmesi, yalnızca yüklerin doğru hesaplanmasıyla değil, aynı zamanda bu yüklerin modele uygun biçimde tanıtılmasıyla da mümkündür. Bu nedenle yüklerin tanımlanmasında; büyüklük, yön, uygulama şekli ve etki noktaları titizlikle belirlenmiş ve sistematik bir biçimde programa entegre edilmiştir.

SAP2000 yazılımı, yük tanımlama sürecinde kullanıcılara Yükleme Düzeni, Yük Durumu ve Yük Kombinasyonu kavramlarıyla hiyerarşik bir yapı sunmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle her yük türü için ayrı desenler oluşturulmuş ve bu desenler, ilgili analiz senaryolarında kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Hesaplanan değerler, model geometrisiyle orantılı koordinat sistemleri üzerinden girilmiş, böylece yüklerin etkiye doğrultuları ve büyüklükleri fiziksel gerçeklikle uyumlu hâle getirilmiştir.

Yapıya etki eden panel yükleri, geleneksel yaklaşımda olduğu gibi yüzeye düzgün yayılı alan yükü (uniform area load) olarak tanımlanmak yerine, bu çalışmada farklı bir yöntemle modele aktarılmıştır. Güneş panelinin taşıyıcı sistem üzerindeki konumlanma biçimi ve yük aktarım karakteristiği dikkate alındığında, panelin yükleri doğrudan geniş yüzeyden değil, montaj noktaları boyunca yer alan aşık hatları aracılığıyla ana taşıyıcı sisteme iletildiği görülmektedir. Bu nedenle, panel yüzeyine etki eden ağırlık ve çevresel yükler, panelin iki uzun kenarı boyunca uzanan aşık hatlarına çizgisel yük (line load) biçiminde uygulanmıştır. Bu şekilde, panelin yüzeysel yükünün iki kenar hattına indirgenmesi sağlanmış ve böylece yük transfer mekanizması gerçek sistemdeki davranışa uygun biçimde modellenmiştir. Panel, bu durumda iki kenarı boyunca mesnetlenmiş bir levha gibi davranmakta; yükünü ara elemanlar aracılığıyla ana taşıyıcılara aktarmaktadır. Bu yaklaşım, SAP2000 modelinde hem panel rijitliğinin hem de yük paylaşımının gerçeğe daha yakın biçimde temsil edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca, alan yüklerinin doğrudan uygulanması hâlinde oluşabilecek idealize edilmiş rijitlik etkileri önlenmiş, yük aktarımı aşık elemanlar üzerinden doğrusal olarak gerçekleştirilmiştir.

Model doğruluğunun kontrolü amacıyla, tanımlanan yüklerin vektörel yönleri ve büyüklükleri SAP2000 grafik arayüzü üzerinden görsel olarak incelenmiş; gerekli durumlarda yön terslemeleri, yüzey normal düzeltmeleri ve yük büyüklüğü kontrolleri yapılmıştır. Bu süreç, analiz öncesinde hatalı veya eksik yük tanımlamalarının tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlamıştır.

Sonuç olarak, bu aşamada hesaplanan tüm yükler SAP2000 analiz ortamına fiziksel gerçeklikle uyumlu, standartlara uygun ve kontrollü bir biçimde aktarılmıştır. Böylece, ilerleyen bölümlerde gerçekleştirilen statik analizlerin hem doğruluk hem de tekrarlanabilirlik açısından güvenilir sonuçlar üretmesi sağlanmıştır. Şekil 3.25 Hesaplanan yüklerin programa aktarılma tablosunu gösterirken, Çizelge 3.5 programa tanıtılan yükleme tiplerinin açıklamalarını vermektedir.

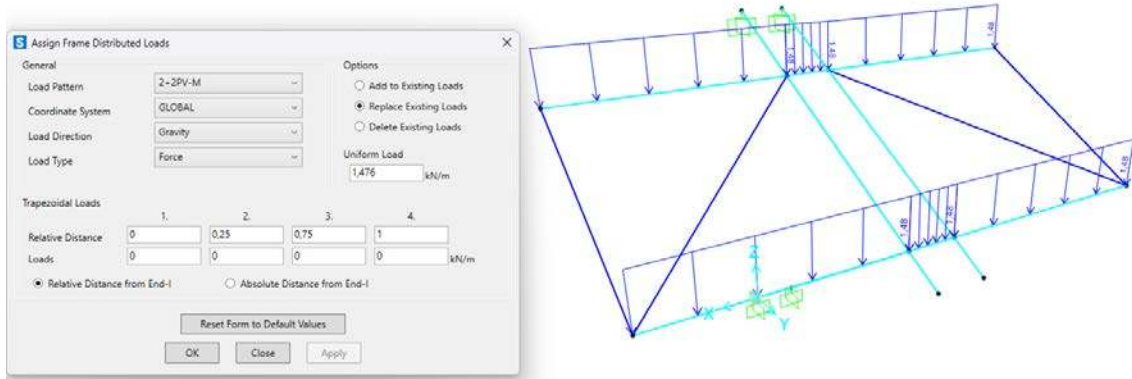


Şekil 3.25. Uygulanan Yüklerin SAP2000 Ortamına Aktarılması

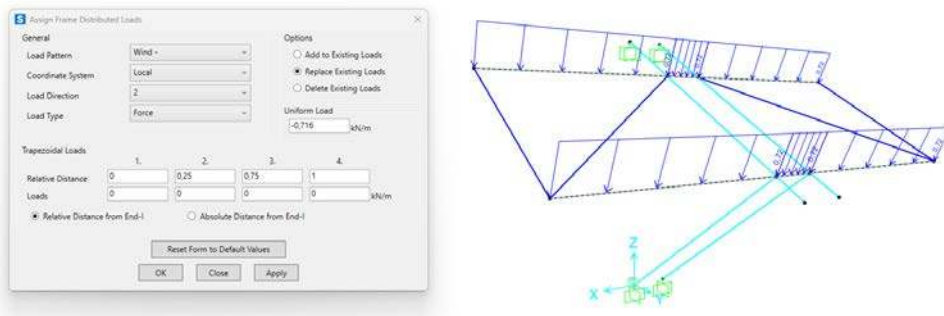
Çizelge 3.5.Yükleme Tiplerinin Açıklanması

Yükleme Adı	Yükleme Açıklaması
Dead Load	Zati Yük
2+2PV-M	Kar Yükü
Wind+	Rüzgar yükünün basma yönü
Wind-	Rüzgar yükünün çekme yönü
Panel	FV Panel Yükü

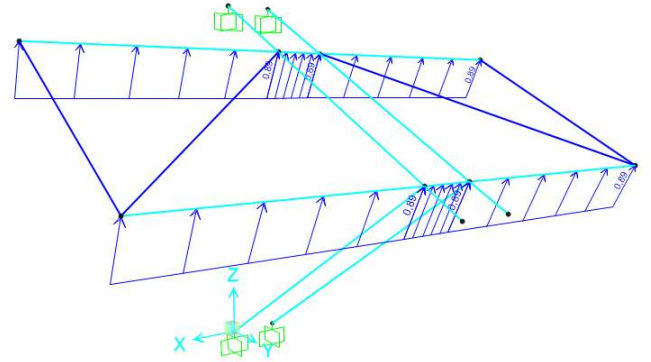
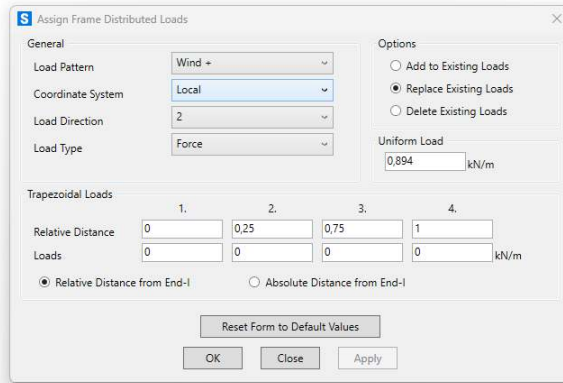
Modelin doğruluğunu ve yük tanımlarının tutarlılığını sağlamak amacıyla, SAP2000 ortamında oluşturulan yüklerin yön ve kuvvet kontrolleri ayrıntılı biçimde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Şekil 3.26 – Şekil 3.29 her bir yükün vektörel doğrultusu, etki yönü ve büyüklüğünü göstermektedir. Kontrol sürecinde, yüklerin tanımlı koordinat sistemleriyle uyumu değerlendirilmiş; gerek duyulan durumlarda yüzey normali yönleri ve yük etki doğrultuları yeniden düzenlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan yön büyüklükleri analizlerde kullanılmıştır.



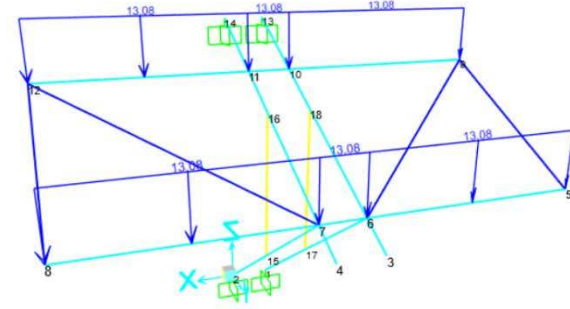
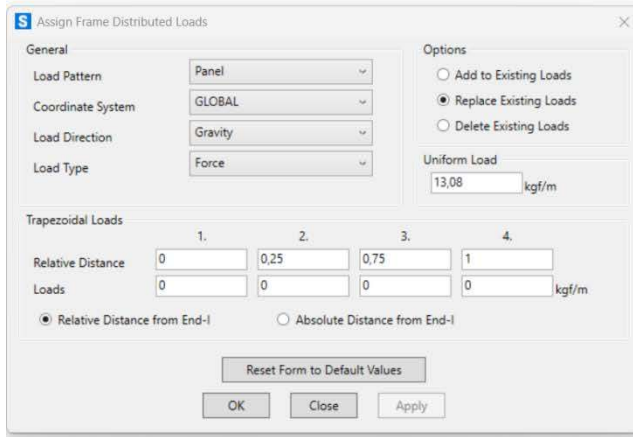
Şekil 3.26. Kar Yükünün Yapıya Uygulanması



Şekil 3.27. Rüzgar Yükünün Basma Yönünde Yapıya Uygulanması



Şekil 3.28. Rüzgar Yükünün Çekme Yönünde Yapıya Uygulanması



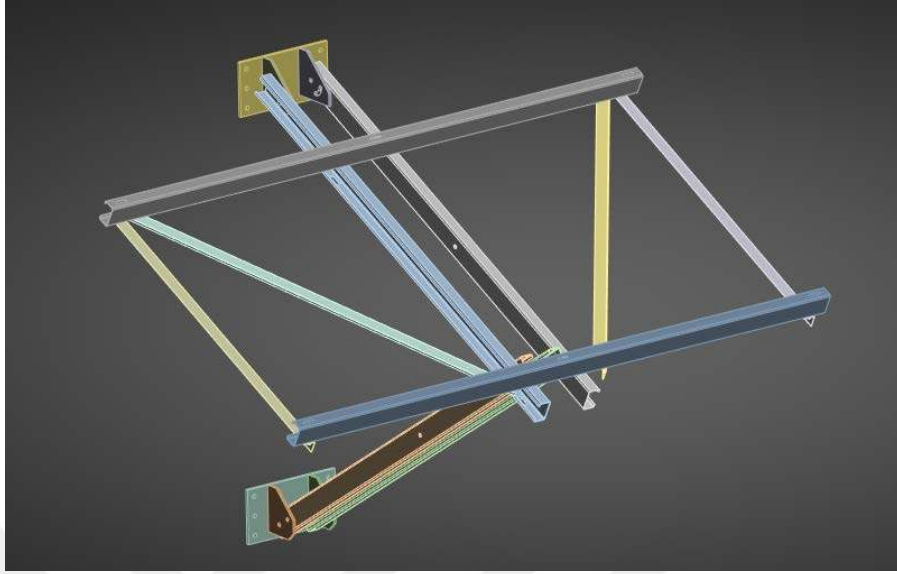
Şekil 3.29. Panel Yükünün Yapıya Uygulanması

3.6. Katı Modelin Oluşturulması

ANSYS, sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı mühendislik analizlerinin gerçekleştirilmesi için geliştirilmiş, çok disiplinli bir bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımıdır. Yapısal, termal, akışkan, elektromanyetik ve çoklu-fizik problemlerinin çözülebilmesine imkân tanıyan geniş bir analiz altyapısına sahiptir. Yazılım, karmaşık mühendislik sistemlerinin hem global hem de yerel davranışlarının yüksek doğrulukla incelenebilmesine olanak tanıdığı için akademik araştırmalarda ve endüstriyel tasarım süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmanın ilk aşamasında, GES çelik taşıyıcı sistemin üç boyutlu geometrik modeli Solid Edge paket programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.30). Solid Edge, parametrik modelleme yapısı ve yüzey/katı model oluşturma kabiliyeti sayesinde yapısal sistemin genel geometrisinin hızlı, kontrollü ve hatasız bir biçimde tanımlanmasına olanak sağlamıştır. Bu ortamda oluşturulan

model, sonlu elemanlar analizine uygun bir format olan .step uzantısıyla dışa aktarılmış ve böylece geometrik verinin ANSYS tarafından eksiksiz biçimde işlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.30. GES Çelik Taşıyıcının 3 Boyutlu Katı Modeli

3.6.1. ANSYS'te Malzeme Tayini

ANSYS'de sonlu elemanlar analizinin ilk aşamasını, modele ait malzeme davranışının tanımlanması oluşturmaktadır. Program, bünyesinde çok çeşitli mühendislik malzemelerini içeren kapsamlı bir malzeme veri tabanı barındırmakta olup, kullanıcı gerekli gördüğü durumlarda bu kütüphanede yer almayan malzemeler için yeni bir malzeme tanımlı yapabilmektedir. Böylece analizde kullanılacak elemanların elastik, plastik veya diğer mekanik özellikleri modele uygun şekilde tanımlanarak sonlu elemanlar çözümünün temel girdilerinden biri oluşturulmaktadır.

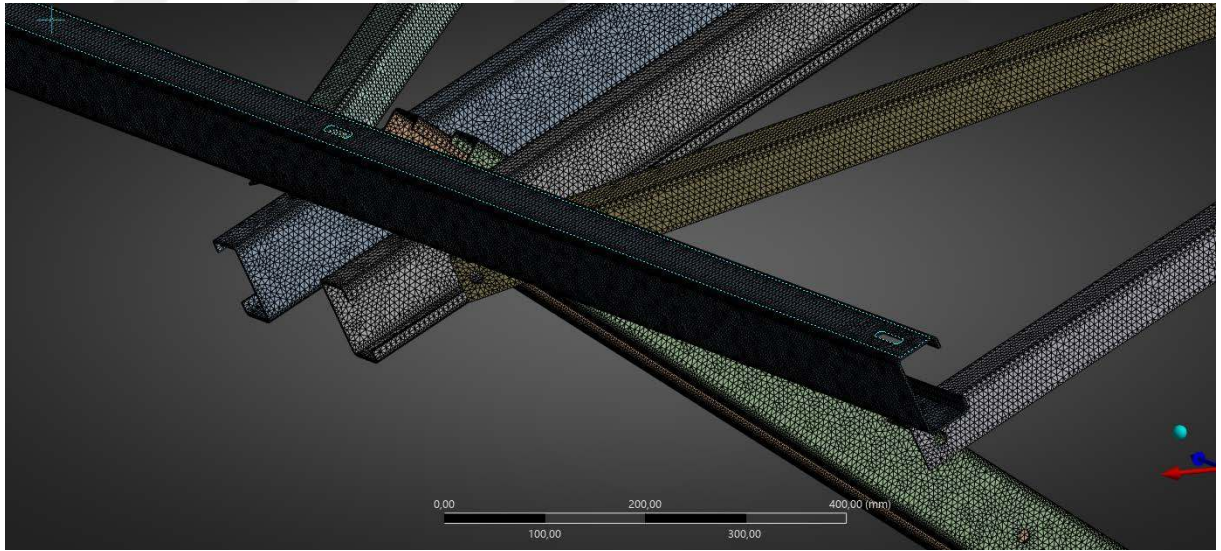
Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	355	MPa	
25	Compressive Yield Strength	250	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	510	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	MPa	

Şekil 3.31. S355 Mekanik Değerlerin ANSYS Ortamına Aktarılması

Bu tezde, S355'e ait özellikler Şekil 3.31'de gösterildiği gibi verilerek yeni bir malzeme modeli oluşturulmuştur. Kullanılacak olan tüm malzemelerin programa tanımlanması gerekmektedir. Malzemesi tanımlandıktan sonra GES Çelik Konstrüksiyonuna ait hacim, ağırlık vb. özellikler elde edilebilmektedir.

3.6.2. ANSYS'de Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Hazırlanan .step uzantılı model geometri modülünden ANSYS ortamına aktarılarak mesh işlemine tabii tutulmuştur. Analizin temel amacı, sistemin global rijitlik davranışını temsil eden genel deplasman değerlerinin elde edilmesi olduğundan; hem çözüm süresini optimize eden hem de yeterli hassasiyeti sağlayan bir ağ yapısı tercih edilmiştir. Bu doğrultuda model genelinde 3 mm eleman boyutu (element size) kullanılarak düzenli, homojen ve çözüm açısından dengeli bir mesh yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modeli, toplam 2.239.672 node ve 944.342 element sayısı içermektedir. Bu değerler, modelin global deformasyon davranışını güvenilir biçimde temsil edecek sayısal çözünürlüğe sahip olduğunu göstermektedir. Mesh yoğunluğunun tüm model boyunca eşit tutulması, özellikle deplasman analizlerinde lokal farklılıkların global davranışı yapay olarak etkilemesini önlemiş ve SAP2000 ile yapılacak karşılaştırmalar için tutarlı bir temel oluşturmuştur. Şekil 3.32'de model üzerinde oluşturulan mesh ağ yapısının genel görünümü sunulmaktadır.



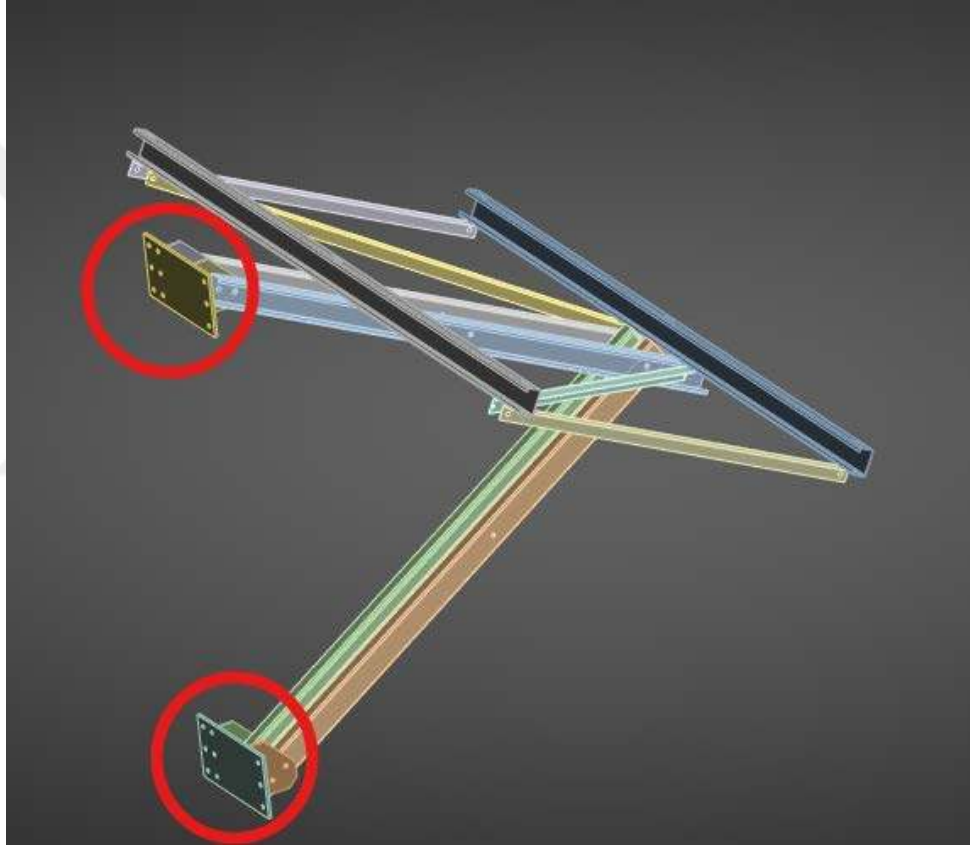
Şekil 3.32. Mesh Ağ Yapısının Gösterilmesi

3.6.3. ANSYS'de Sınır Şartlarının, Başlangıç Şartlarının ve Yüklerin Uygulanması

ANSYS ortamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizinin en önemli adımlarından biri, modele uygulanacak sınır şartlarının doğru ve fiziksel gerçeklikle uyumlu biçimde tanımlanmasıdır. Sınır şartları, yapının dış ortamla olan etkileşimini temsil ederek elemanların hangi bölgelerde serbestçe hareket edebileceğini, hangi bölgelerde ise deplasmanlarının

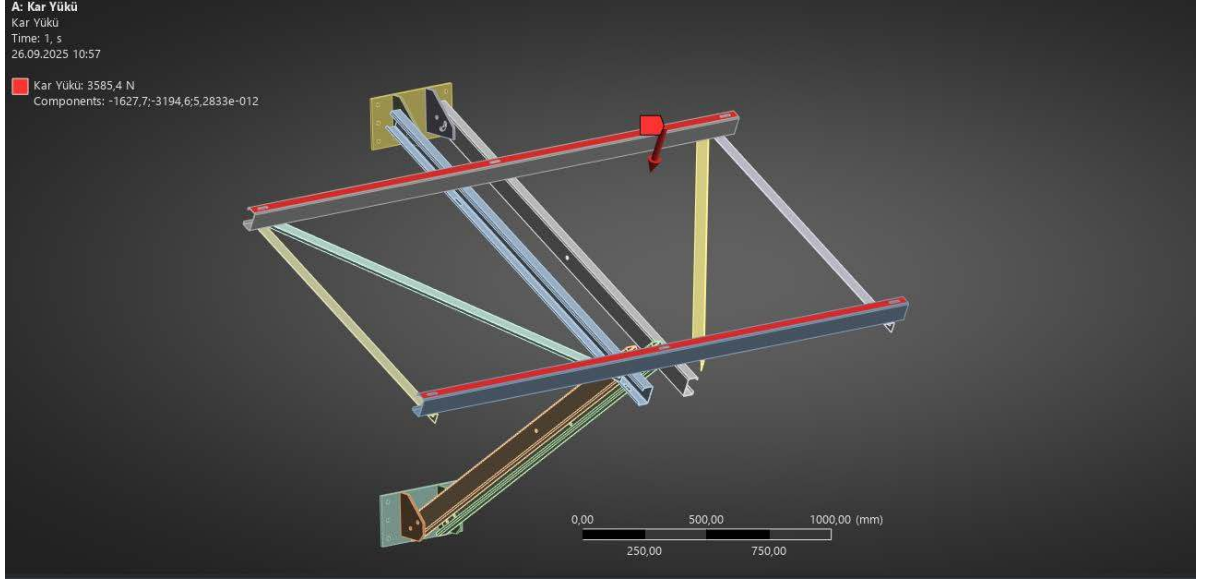
kısıtlanacağını belirler. Bu nedenle sınır koşullarının doğru tanımlanması, modelin genel rijitlik davranışını ve elde edilen deplasman sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada GES çelik taşıyıcı sistemin destek koşulları, yapının gerçek çalışma durumu esas alınarak modellenmiştir. Şekil 3.33'te ankastre mesnet olarak kabul edilen plakaların konumları gösterilmekte olup, bu bölgeler SAP2000 analizinde de aynı şekilde kabul edilmiştir. Böylece iki paket program arasında sınır şartı eşdeğerliği sağlanmış ve elde edilen deplasman değerlerinin karşılaştırılabilir olması güvence altına alınmıştır. Belirlenen ankastre bölgeleri dışında kalan tüm düğüm noktaları serbest bırakılmış; yapının doğal davranışını yapay olarak sınırlandırabilecek gereksiz kısıtlamalardan kaçınılmıştır.

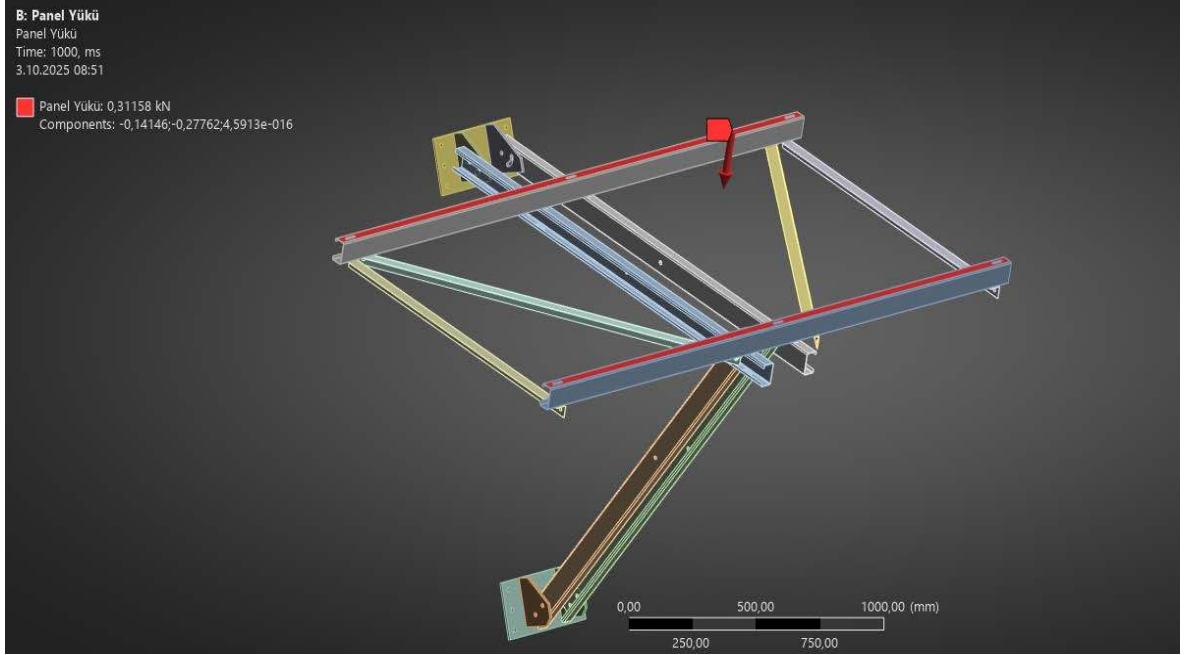


Şekil 3.33. Ankastre Mesnet Uygulanan Plakaların Gösterimi

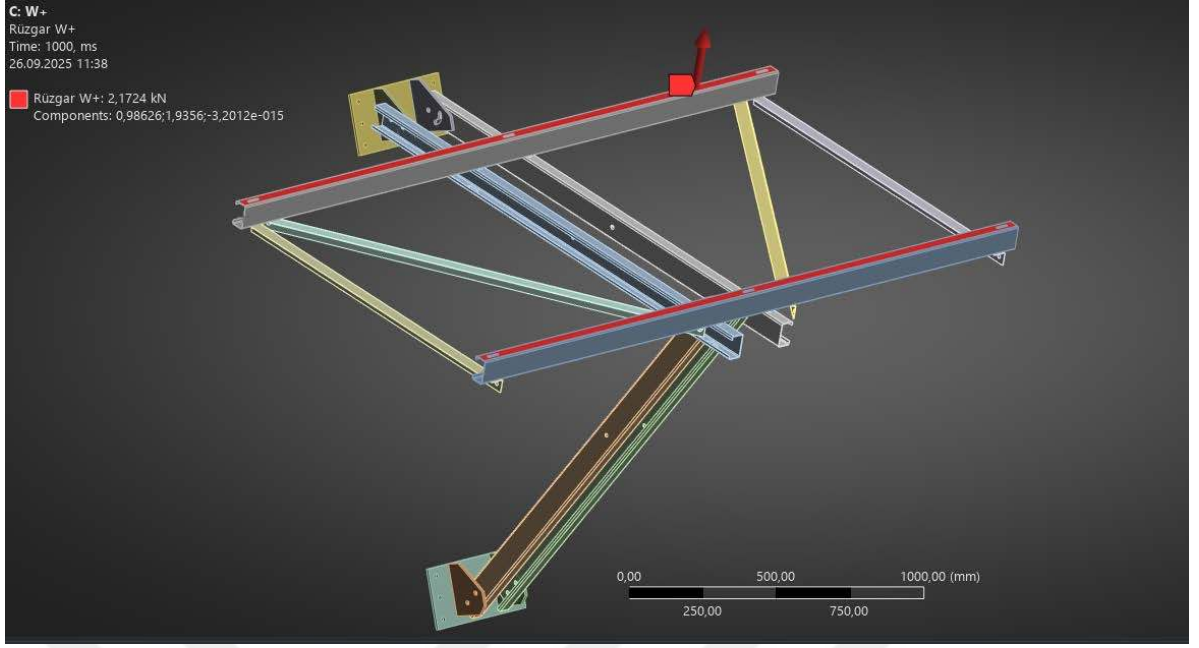
Teorik olarak hesaplanan yüklerin ANSYS ortamına eşdeğer biçimde aktarılmasına yönelik adımlar Şekil 3.34-3.37 gösterilmektedir. SAP2000'de yayılı yük olarak tanımlanan etkiler, ANSYS modelinde ilgili yüzeylere eşdeğer bileşke yüzey yükü şeklinde uygulanmıştır. Böylece iki paket program arasındaki yük tanımlama yöntemleri arasında hem kavramsal hem de sayısal uyum sağlanmış; aynı yükleme koşullarının her iki analiz ortamında da tutarlı biçimde temsil edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu yaklaşım, SAP2000 ve ANSYS sonuçlarının özellikle deplasman açısından güvenilir ve karşılaştırılabilir olmasına önemli ölçüde katkı sağlamıştır.



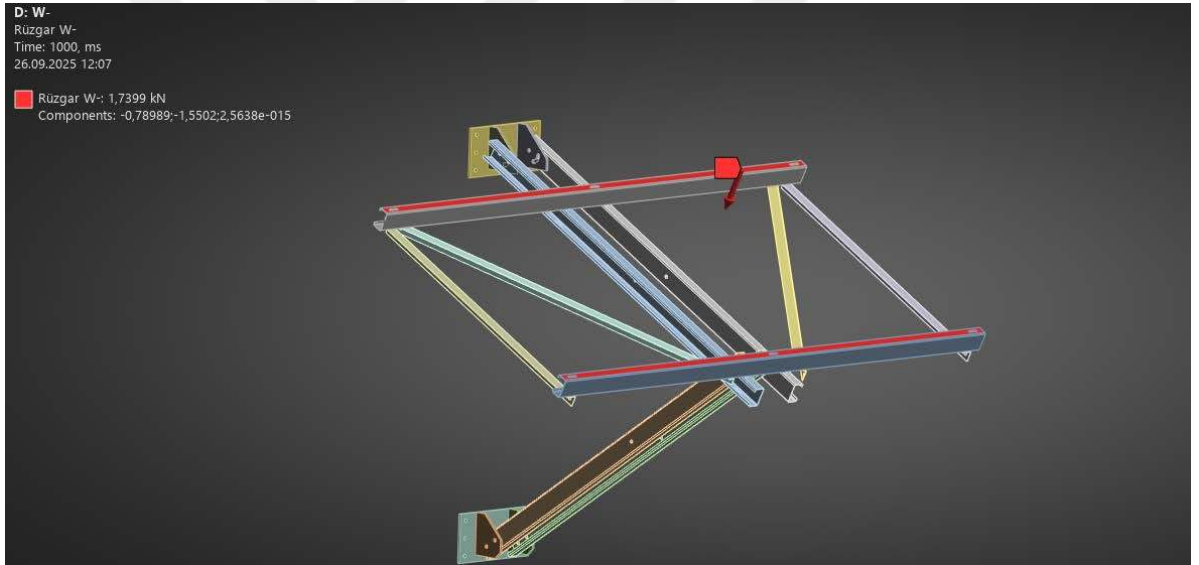
Şekil 3.34. Kar Yüğü'nün ANSYS Ortamında Uygulanması



Şekil 3.35. Panel Yüğü'nün ANSYS Ortamında Uygulanması



Şekil 3.36. Rüzgar Yükünün (W+) ANSYS Ortamında Uygulanması



Şekil 3.37. Rüzgar Yükünün (W-) ANSYS Ortamında Uygulanması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, SAP2000 ve ANSYS paket programlar kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Panel, kar ve rüzgâr yükleri altında yapılan analizler sonucunda elde edilen deplasman değerleri incelenmiştir. Bu değerler, her iki paket programda ele alınan farklı modelleme yaklaşımlarına (çubuk eleman–frame modeli ve üç boyutlu–solid modeli) dayalı sonuçları arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamıştır.

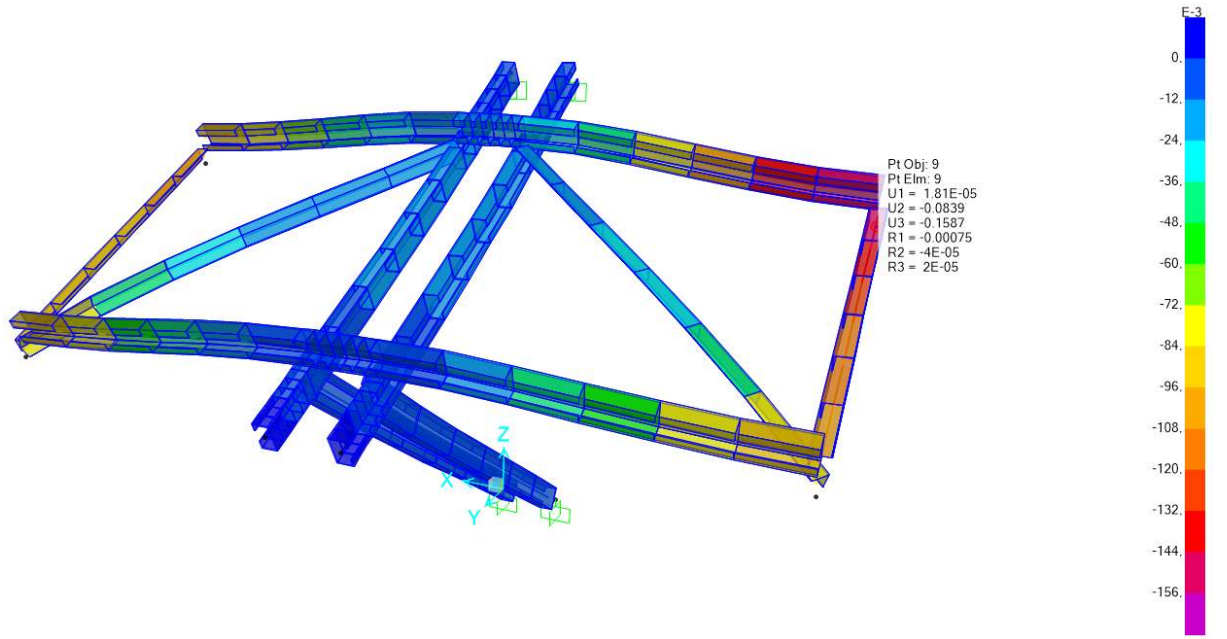
Çizelge 4.1’de her iki paket programdan elde edilen deplasman sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Karşılaştırma sonuçlarına göre, SAP2000’de hesaplanan deplasman değerleri ANSYS sonuçlarına göre %2–3 oranında daha düşük çıkmıştır. SAP2000 modeli, global rijitliği yerel geometrik etkileri sınırlı düzeyde dikkate alan daha sade bir yapısal temsil üzerinden tanımladığı için, ANSYS’in üç boyutlu solid elemanlarla elde ettiği deplasman değerlerine kıyasla kısmen farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1. Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması

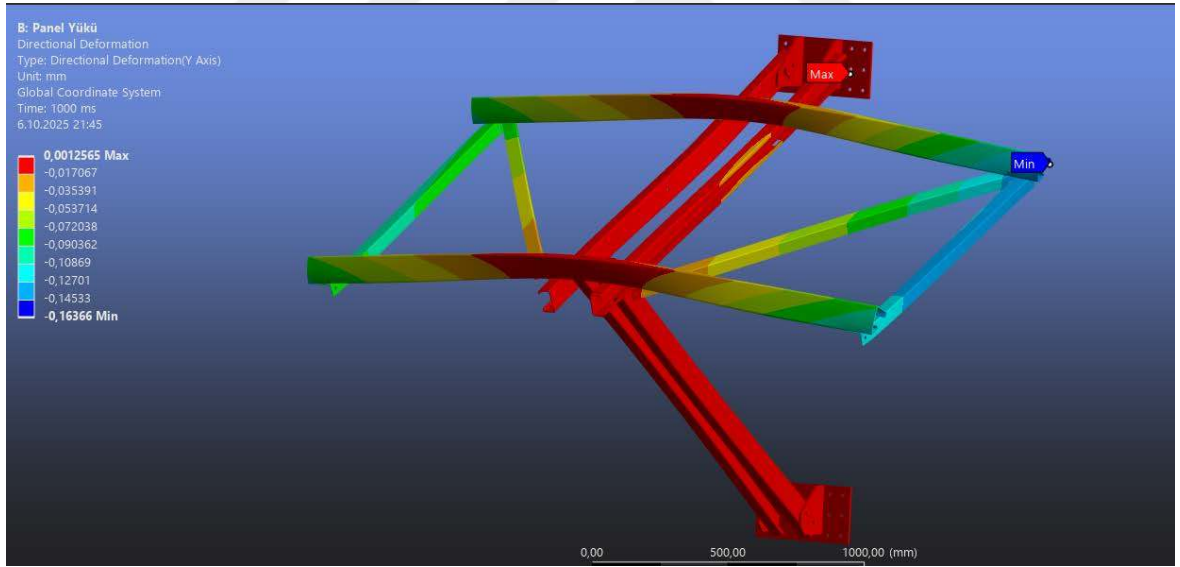
Yüklemeye Adı	SAP2000 Düşey Deplasman Değeri	ANSYS Düşey Deplasman Değeri	Sapma Oranı	Mutlak Fark
Panel Yüğü	-0,1587 mm	-0,16366 mm	%3,03	0,0049 mm
Kar Yüğü	-1,8347 mm	-1,8832 mm	%2,58	0,0485 mm
Rüzgar Yüğü +	1,1083 mm	1,1410 mm	%2,95	0,0327 mm
Rüzgar Yüğü -	-0,8876 mm	-0,9138 mm	%2,87	0,0262 mm

Genel olarak iki paket program tarafından elde edilen deplasman değeri yaklaşık olduğu görülmüş; bu durum modelleme parametreleri eşdeğer biçimde tanımlandığında her iki çözüm ortamının da global deformasyon tahminlerinde benzer sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

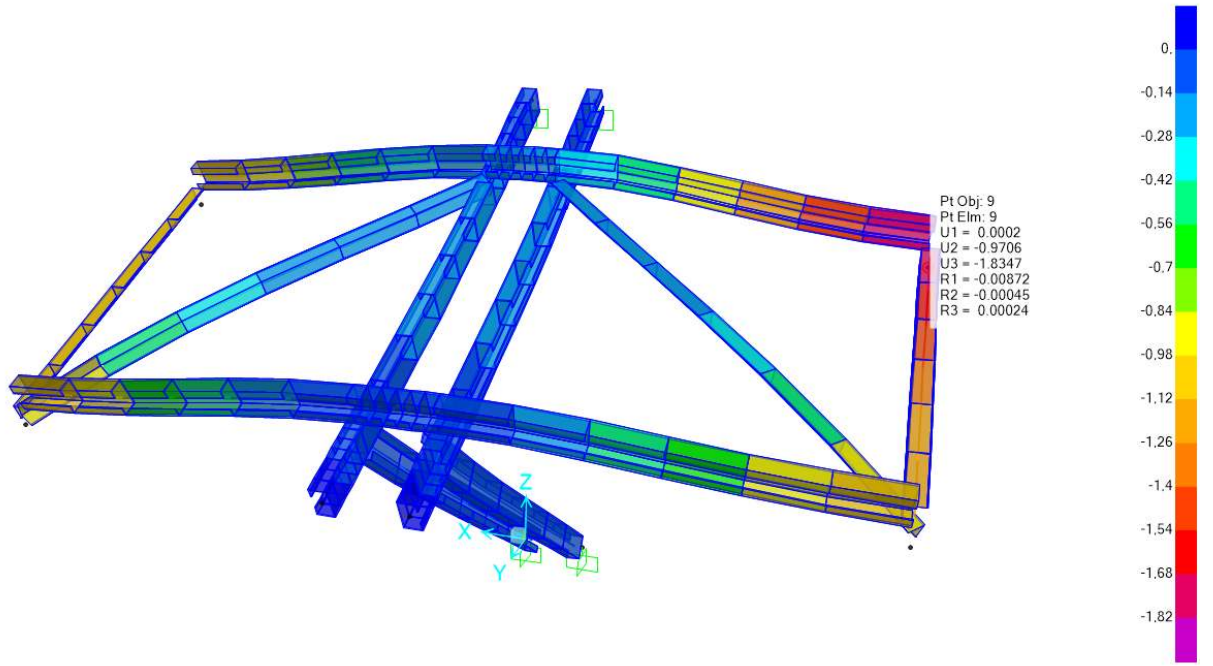
Her bir yüklemeye senaryosunda en büyük deplasman değeri Şekil 4.1-4.8 üzerinde sayısal olarak belirtilmiştir. Bulgular, özellikle rüzgar ve kar yükleri altında, deplasmanların serbest uca yakın bölgede tepe yaptığını ortaya koymaktadır. Bu eğilim; uç bölgelerde etkin açıklığın artmasına bağlı rijitlik azalması ile açıklanabilir. Ayrıca alt yüzeyin tabladan ayrılmaya çalışması ve kenarların yukarıya doğru kıvrılması dönme rijitliğini etkilediğinden serbest uç yakınındaki deplasman tepe değeri artmaktadır.



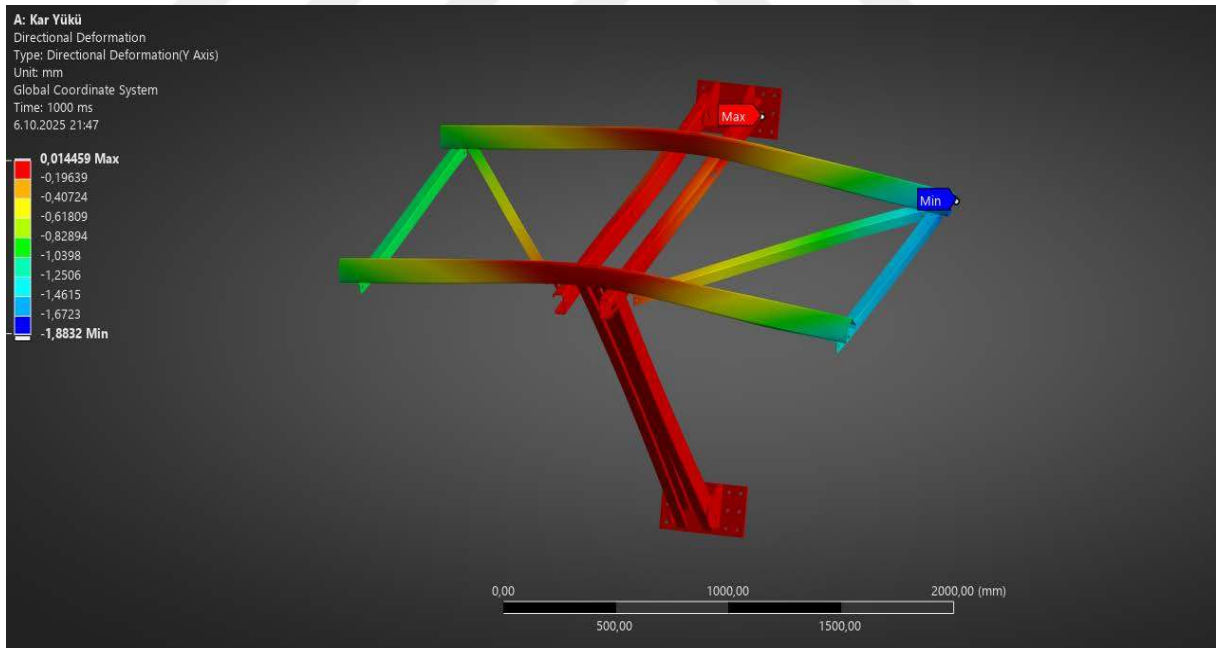
Şekil 4.1. SAP2000 Panel Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



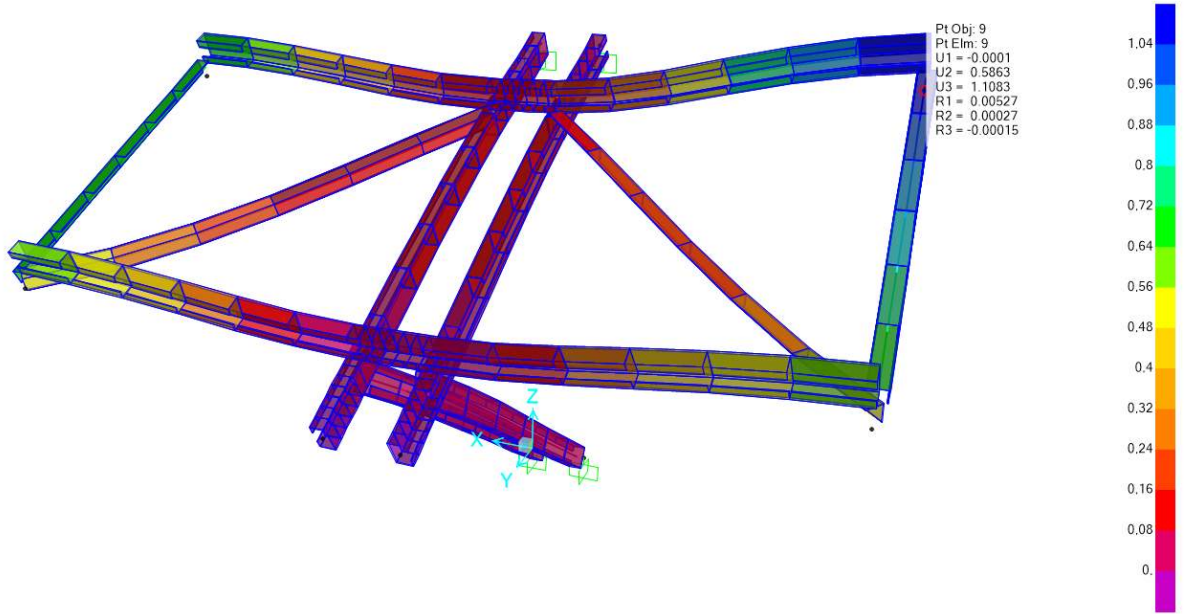
Şekil 4.2. ANSYS Panel Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



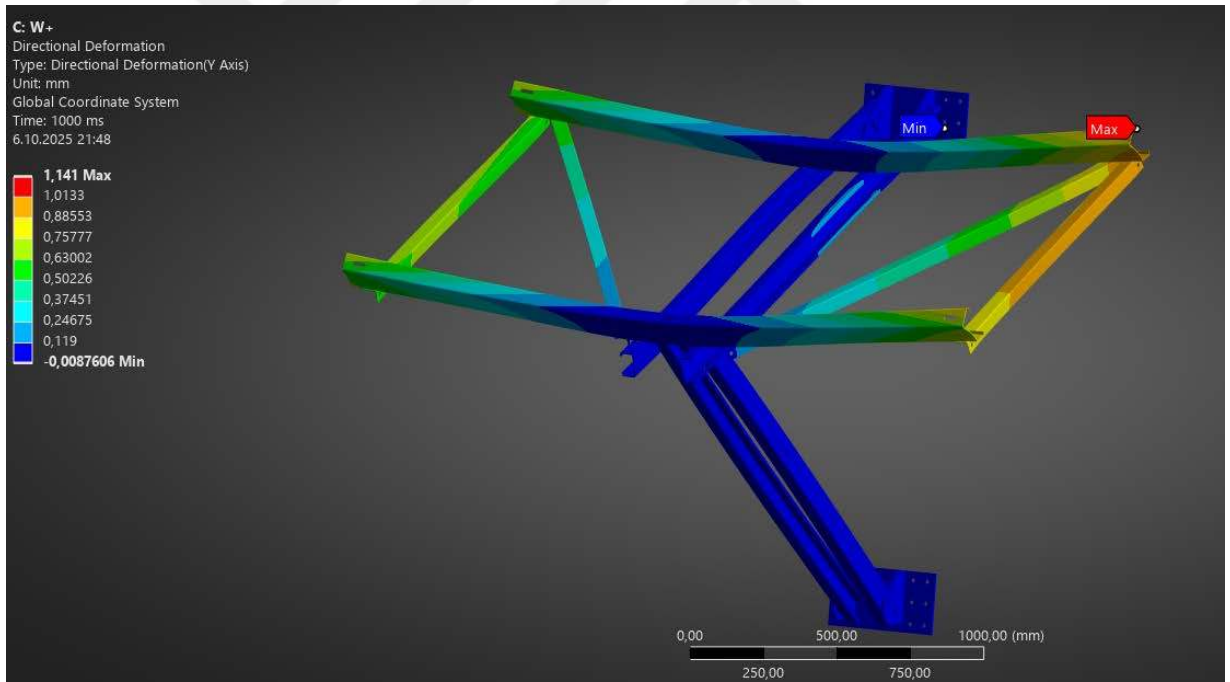
Şekil 4.3. SAP2000 Kar Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



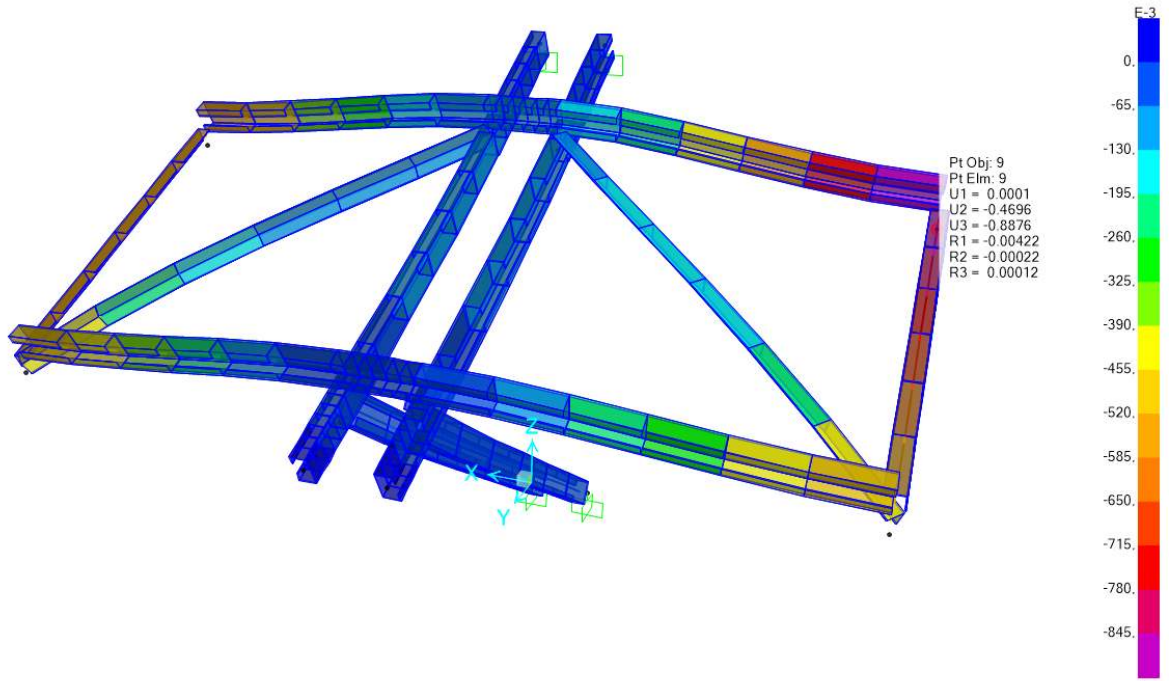
Şekil 4.4. ANSYS Kar Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



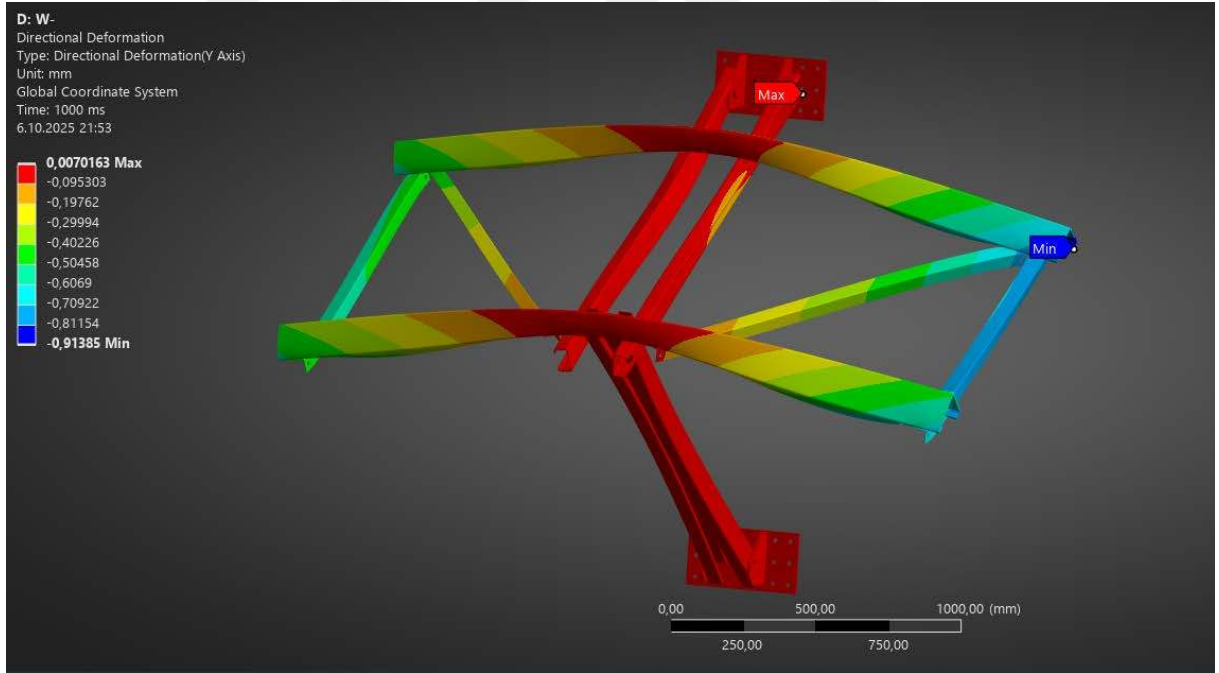
Şekil 4.5. SAP2000 Rüzgar (W+) Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



Şekil 4.6. ANSYS Rüzgar (W+) Yüğü Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



Şekil 4.7. SAP2000 Rüzgar (W-) Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



Şekil 4.8. SAP2000 Rüzgar (W-) Altında Düşey Deformasyon Gösterimi



5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, baz istasyonlarına entegre edilmek üzere belirlenen gereksinimlere göre alternatif tasarımlar arasında en uygun tasarım belirlenmiştir. Belirlenen tasarım;

- Gereksinimler tablosundaki isterleri karşılayabilecek özelliklere,
- Kule tipi, kule açıklık değeri veya kolon ölçülerinden bağımsız olan her türlü kuleye uyarlanan modüler bir sisteme,
- Montaj kolaylığına,
- Yenilikçi kenet mekanizmasına sahiptir.

GES çelik taşıyıcı sisteminin yapısal davranışı SAP2000 ve ANSYS paket programları kullanılarak incelenmiştir. Her iki programda aynı yükleme koşulları, sınır şartları ve malzeme özellikleri kullanılarak yapılan analizlerde:

- Her iki paket program kullanılarak elde edilen sonuçlar izin verilen sehim limitlerinin içerisinde kalmaktadır.
- Maksimum düşey deplasman konumları iki yazılımda da aynı bölgelerde gerçekleşmiştir.
- Deplasman büyüklükleri arasındaki farklar %0,5 ile %3 aralığında kalmıştır.
- ANSYS sonuçları, üç boyutlu solid modelleme nedeniyle SAP2000'e kıyasla kısmen daha yüksek değerler vermiştir.
- SAP2000 çubuk eleman yaklaşımı global davranışı temsil ederken, ANSYS daha ayrıntılı lokal deformasyon davranışını göstermiştir.
-

Belirlenen tasarım için Türk Patent kurumuna 2025004985 tescil numarası ile Güneş Panelli Taşıyıcı Yapı başlıklı TASARIM BAŞVURUSU yapılmıştır(Şekil 5.1). Ayrıca, tasarımı yapılan yapının saha uygulama görüntüleri Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

ePATS TÜRK PATENT VE MARKA KURUMU
Elektronik Başvuru Sistemi

ADIL UÇAR

Benim Sayfam
Belgelerim
İşlemlerim
Tahakkuklarım
Duyurular
Sıkça Sorulanlar
İletişim Seçeneklerim
Sistemden Çıkış

Elektronik Tebligat Sistemi (ETEBİS)

Daha önce yapmış olduğunuz işlemlere ait başvuru formlarını görüntüleyebilir veya indirebilirsiniz.

Zamanında Ödeme Yapılmadığı İçin İptal Olanlar ☒

Görünmesin

Tahakkuk No	Durum	Açıklama	Başvuruyu Yapan	Başvuru No	Evrak No	Evrak Tarihi
	İşlem Talebi Alındı	Eksik Evrak Tamamlama/Bilgi Düzeltme/EK...	ADIL UÇAR	2025/004985	2025-GE-559874	28-08-2025 13:26:46
3637280	İşlem Talebi Alındı	Tasarım Başvurusu	ADIL UÇAR	2025/004985	2025-GE-434954	08-07-2025 12:15:21
3376747	İşlem Talebi Alındı	Marka Başvurusu	ADIL UÇAR	2025/009170	2025-GE-46019	23-01-2025 10:23:27
	İşlem Talebi Alındı	Tüzel Kişi Yetkilisi Bildirim Talebi	ADIL UÇAR	0	2025-GE-42573	22-01-2025 08:22:00

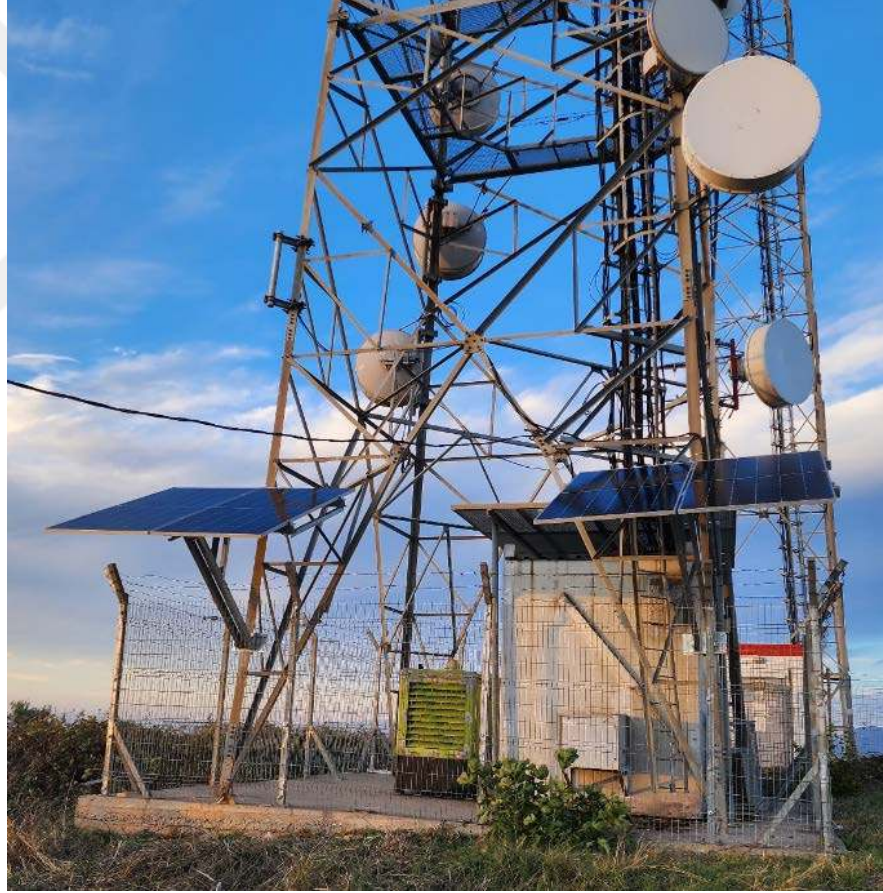
Şekil 5.1. Türk Patent Kurumu Tasarım Başvurusu Ekran Görüntüsü



Şekil 5.2. Tasarım Alternatifi 3 Uygulama Görüntüleri -1



Şekil 5.3. Tasarım Alternatif 3 Uygulama Görüntüleri-2



Şekil 5.4. Tasarım Alternatif 3 Uygulama Görüntüleri-3



KAYNAKLAR

- Avcı-Karataş, C. 2020. Design and analysis of steel support structures used in photovoltaic (PV) solar panels (SPs): A case study in Turkey (Master's thesis). Yalova University, Department of Transportation Engineering.
- Ceylan, H., Karaşin, A., & Erdil, B. 2024. Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının basitleştirilmiş deplasman tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(6), 790–807.
- Çıkılı, E. B., & Keleşoğlu, M. K. 2023. Geoteknik parametrelerin ve yükleme şartlarının güneş panel sistemlerinin deplasmanları üzerindeki etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 985–1000.
- Dal, A. R. 2021. Güneş enerji panellerindeki optimum eğim açısının verime etkisinin incelenmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 241–250.
- Hasibuan, S. A. R. S., & Qolby, A. A. 2023. Solution of beam structure analysis using SAP2000. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology, 11(1). International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). 2019. Design and optimization of steel structures for solar panel systems. IJRASET, 7(6).
- Iturralde Carrera, L. A., Díaz-Tato, L., Constantino-Robles, C. D., Garcia-Barajas, M. G., Zapatero-Gutiérrez, A., Álvarez-Alvarado, J. M., & Rodríguez-Reséndiz, J. 2025. Advances in mounting structures for photovoltaic systems: Sustainable materials and efficient design.
- Kahya, Ç. 2016. Çelik konstrüksiyon raf sistemlerinde kullanılan dikme (ayak) burkulma davranışının iyileştirilmesi (Yüksek lisans tezi).
- Kocabaş, S. 2005. Çelik yapıların SAP2000 programı ile analizi ve tasarımı (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Laha, S. K., Sadhu, P. K., Dhar, R. S., Dey, R., Bhattacharya, S., Ganguly, A., & Naskar, A. K. 2021. Analysis of mechanical stress and structural deformation on a solar photovoltaic panel through various wind loads. Microsystem Technologies, 27(9), 3465–3474.
- Li, W., Ke, S., Cai, Z., Ji, C., Wang, W., Wang, L., & Ren, H. 2023. Instability mechanism and failure criteria of large-span flexible PV support arrays under severe wind. Solar Energy, 264, 112000.
- Lou, Y., Zhang, J., & Pan, Y. 2024. Static and dynamic response analysis of flexible photovoltaic mounts. Buildings, 14(7), 2037.
- Mahboob, K., Aslam, M. M., Qaddus, A., Ahmad, A., Mushtaq, U., & Khan, A. 2018. Design and analysis of tower structure for solar thermal power plant. 2018 2nd International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), 30–36. IEEE.

- Naik, R., Melmari, V. B., & Adeppa, A. 2013. Analysis and optimization of solar panel supporting structures using FEM. *International Journal of Engineering Technology and Innovation*, 2, 25–36.
- Özkal, F. M., & Küçük, M. 2017. Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı. 7th International Symposium on Steel Structures, Gaziantep, Turkey, 270–280.
- Panjawani, P. R., Jain, V. D., Bhandari, R. K., Gaikwad, U. S., & Deokar, U. 2020. Design and analysis of solar structural and mountings for solar panel. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 13(2s), 668–679.
- Türk Standartları Enstitüsü. 2021. TS 498: Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri. Ankara: TSE
- Wang, X., Ji, G., Gu, H., Lv, S., Ni, H., Wang, P., ... & Meng, Y. 2018. Research and design of fixed photovoltaic support structure based on SAP2000. *MATEC Web of Conferences*, 166, 03002.

ÖZGEÇMİŞ

Adil UÇAR, 2017 yılında başladığı Lisans eğitimini 2022 yılında Makine Mühendisliği alanında tamamlayarak Mühendislik Fakültesinden mezun olmuştur. Lisans öğrenimi süresince mekanik tasarım, çelik yapılar, imalat yöntemleri ve yapısal analiz konularına yoğunlaşarak akademik yetkinliğini geliştirmiş; çeşitli araştırma projelerinde görev alarak mühendislik problemlerine çözüm odaklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Mezuniyetinin ardından OYAK Çimento ve ÇSİ Çelik firmaları bünyesinde farklı uygulama alanlarında çalışarak teorik bilgisini pekiştirmiş, saha ve imalat süreçlerine yönelik pratik deneyim kazanmıştır. Şuan LCE Enerji Proje firmasında Kurucu Ortak olarak görev yapmakta olup enerji ve çelik yapı sistemlerine yönelik mühendislik, tasarım ve proje geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir.

