



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ TAŞIYICI SİSTEMLERİNE
KAR YÜKLERİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muharrem ÜLGEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222303408 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Muharrem ÜLGEN tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ TAŞIYICI SİSTEMLERİNE KAR YÜKLERİ ETKİSİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Mahmut Sami DÖNDÜREN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Mehmet Aydın KÖMÜR

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 12/06/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Muharrem ÜLGEN



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, tez konum başta olmak üzere birçok konuda bilgi, rehberlik ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım. SAP2000 programının kullanımına izin vererek çalışmama katkı sağlayan Europower Enerji A.Ş.'ye, programın etkin kullanımına yönelik bilgi ve tecrübesiyle katkıda bulunan İnşaat Mühendisi Kanber KAV'a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışma sürecimde yanımda olan ve desteğini esirgemeyen kıymetli arkadaşım Mustafa ALIÇ'a ve her daim yanımda olan, manevi destekleriyle beni her koşulda teşvik eden sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Muharrem ÜLGEN

AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi	1
1.2 Literatür Özeti	5
1.2.1 Kar yükleri ve kar yükünün yapıya etkileriyle ilgili çalışmalar	5
1.2.2 GES verimliliğini etkileyen çalışmalar.....	6
1.2.3 GES yapısal tasarımı ile ilgili çalışmalar.....	9
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
2. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ	13
2.1 Güneş Enerjisi	13
2.2 Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi.....	14
2.3 Dünya’da Güneş Enerjisi.....	15
2.4 Türkiye’nin Enerji Profili	16
2.5 Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	19
2.6 Güneş Enerjisi Değerlendirilmesi	23
2.6.1 Güneş enerjisinden istifade.....	25
2.7 Güneş Enerji Santrali İçin Arazi Seçimi	26
2.8 Konum Analizi	26
2.9 Güneş Enerji Santrali Kurulumu İçin Yasal Süreç ve Gerekli İzinler	27
2.10 Güneş Enerji Santrali Kurulum Aşamaları.....	27
3. KAR YÜKÜ	33
3.1 Kar Yüğü Kaynaklı Hasar Nedenleri	33
3.1.1 Yanlış zemin kar yükü değeri	33
3.1.2 Yetersiz yapısal tasarım	34
3.1.3 Yapım ve malzeme hataları	34
3.1.4 Taşıyıcı sistem kolon problemleri	35
3.1.5 Bakım ve temizlik.....	35
3.2 Kar Yüğü Hesabında Kullanılan Standartlar	36
3.3 TS 498-1997	37
3.3.1 Kar yükü hesap değeri (P_k)	37
3.3.2 Zati kar yükü (P_{k0})	38
3.4 TS 498-2021	42
3.5 TS EN 1991-1-3 (EUROCODE 1)	45
3.5.1 Çatı kar yükü (S).....	45
3.5.2 Tek eğimli çatılar	47
3.5.3 Çift eğimli çatılar	48
3.5.4 Çok eğimli çatılar	49
3.6 ASCE 7-22	49
3.7 NBCC 2020	52
4. STATİK ANALİZLER.....	56
4.1 GES Taşıyıcı Konstrüksiyon Sistemi Modellemesi	56
4.2 GES Malzeme ve Materyal Seçimi	57

4.2.1 Fotovoltaik panel seçimi.....	58
4.2.2 GES taşıyıcı konstrüksiyon sistemindeki elemanların seçimi	58
4.2.2.1 Çelik profil materyal seçimi.....	59
4.2.2.2 Çelik profil kesitleri seçimi.....	60
4.3 GES Taşıyıcı Sistem Elemanlarının SAP2000'e Tanımlanması.....	61
4.4 GES'te Kullanılan Tasarım Yönetmeliklerinin SAP2000'e Tanımlanması....	62
4.5 GES'e Etki Eden Yüklerinin Hesaplanması ve SAP2000'e Tanımlanması....	65
4.5.1 Fotovoltaik panel yükü hesabı	66
4.5.2 Deprem yükü hesabı	67
4.5.3 Rüzgâr yükü hesabı.....	68
4.5.4 Kar yükü hesabı	71
4.5.4.1 TS 498-1997'ye göre kar yükü hesabı	71
4.5.4.2 TS EN 1991-1-3 (Eurocode 1)'e göre kar yükü hesabı	72
4.5.4.3 ASCE 7-22'ye göre kar yükü hesabı	74
4.5.4.4 NBCC 2020'ye göre kar yükü hesabı	77
4.6 Standartların Karşılaştırılması.....	80
4.7 GES Taşıyıcı Sisteminin SAP2000 Programında Tasarımı	82
4.7.1 TS 498-1997'ye göre kapasite oranları (D/C)	83
4.7.2 TS EN 1991-1-3'e göre kapasite oranları (D/C).....	85
4.7.3 ASCE 7-22 (25°)'ye göre kapasite oranları (D/C)	88
4.7.4 ASCE 7-22 (15°)'ye göre kapasite oranları (D/C)	91
4.7.5 NBCC 2020 (25°)'ye göre kapasite oranları (D/C)	94
4.7.6 NBCC 2020 (15°)'ye göre kapasite oranları (D/C)	97
4.8 Kapasite Oranlarının (D/C) Karşılaştırması	100
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR	110
EKLER.....	115
Ek A. GES Taşıyıcı Sitem Kesit Kontrolü	115
ÖZGEÇMİŞ.....	148

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ TAŞIYICI SİSTEMLERİNE KAR YÜKLERİ ETKİSİ

Muharrem ÜLGEN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ÖZET

Enerji, genel anlamda toplumların yaşam standardını belirlemenin yanı sıra, küresel düzeydeki ekonomik ve politik güçlerini ortaya koyan temel faktörlerden biri hâline gelmiştir. Bu bağlamda, enerji ihtiyacını çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda karşılamayı hedefleyen toplumlar, fosil yakıtlar (doğalgaz, petrol ve kömür) ile elde edilen enerjiye alternatif oluşturabilecek yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirmeye yönelmektedir. Güneş enerjisi teknolojileri, fosil yakıtların neden olduğu sera gazı emisyonlarını ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirerek sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle güneş enerji kaynaklı elektrik üretim teknolojileriyle ilgili çalışmaların sayısı oldukça artmaktadır. Bu çalışmada ise Türkiye'nin güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli değerlendirilmiş; güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretim miktarı ile Güneş Enerji Santrali (GES) kurulu gücünün oranı araştırılmıştır. Arazi tipi GES tesislerine ait taşıyıcı sistemlerin yapısal dayanımı üzerinde etkili olabilecek kar yükü ele alınmıştır. Bu kapsamda, zemin kar yükünün doğru belirlenememesi, yapısal tasarım eksiklikleri, malzeme ve işçilik hataları, taşıyıcı sistemin zeminle olan etkileşiminden kaynaklanan problemler ile bakım ve temizlik yetersizlikleri gibi kar yüküne bağlı hasar nedenleri incelenmiştir. GES'lerin tasarım sürecinde kar yükü hesabında kullanılabilecek standartlar olan TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarının hesaplama yöntemleri karşılaştırılmış; bu standartlara göre hesaplanan kar yükü değerlerinin birbirinden önemli ölçüde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Örnek bir arazi tipi GES tesisinin hafif çelik taşıyıcı sistemi üzerinde, söz konusu standartlardan elde edilen kar yüklerinin yapısal etkileri değerlendirilmiştir. Her standart için farklı tasarım senaryolarında, SAP2000 programı kullanılarak yapılan statik analizlerden elde edilen aşık, kiriş ve kolon kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, farklı standartlara göre yapılan tasarımların önemli farklılıklar gösterebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, eğim ve rüzgâra maruz kalma gibi parametrelerin, arazi tipi GES'lerin tasarımını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Arazi tipi GES'lerin tasarımında, arazinin rüzgâra maruz kalmasının yanı sıra, taşıyıcı sistem sehpalарının rüzgâra karşı korunmuş olması da belirleyici bir kıstas olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Fotovoltaik Panel, Güneş Enerjisi, Güneş Enerji Santrali, Kar Yükü.

Haziran, 2025; 148 sayfa

M.Sc. THESIS

EFFECT OF SNOW LOADS ON STRUCTURAL SYSTEMS OF SOLAR POWER PLANTS

Muharrem ÜLGEN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ABSTRACT

Energy has become one of the fundamental factors that determine the living standards of societies, as well as their economic and political power at the global level. In this context, societies aiming to meet their energy needs in line with the principles of environmental sustainability are turning to developing renewable energy technologies. Solar energy technologies play an important role in the development of sustainable energy systems by minimizing greenhouse gas emissions and negative effects on the ecosystem caused by fossil fuels. For this reason, the number of studies on solar energy-based electricity generation technologies is increasing considerably. In this study, Turkey's potential to benefit from solar energy is evaluated; the ratio of solar energy-based electricity production and the installed power of the solar power plant is investigated. The snow load that may affect the structural strength of the load-bearing systems of ground-mounted solar power plants has been discussed. In this context, the causes of damage due to snow load such as incorrect determination of ground snow load, structural design deficiencies, material and workmanship errors, problems between the carrier system and the ground, and maintenance and cleaning deficiencies are examined. The calculation methods of the standards TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 and NBCC 2020, that can be used in snow load calculations are compared; and it was determined that the snow load values calculated according to these standards are different significantly. The structural effects of snow loads obtained from the standards in question are evaluated on the example ground-mounted solar power plant. For each standard, the purlin, beam and column capacity ratios obtained from static analyses using the SAP2000 program are compared in different design scenarios. As a result of these comparisons, it is concluded that designs made according to different standards may show significant differences. In addition, it has been observed that parameters such as the slope and the exposure to wind significantly affect the design of ground-mounted solar power plant.

Keywords: Energy, Photovoltaic Panel, Solar Energy, Solar Power Plant, Snow Load.

June, 2025; 148 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	a) Aksaray Eczacıbaşı arazi tipi GES, b) Kar etkisi ile göçen GES tesisi.....	4
Şekil 2.1.	Dünya küresel fotovoltaik güç potansiyeli	15
Şekil 2.2.	Günlük enerji üretimin kuruluşlara göre dağılımı.....	18
Şekil 2.3.	Günlük enerji üretimin kaynaklara göre dağılımı	18
Şekil 2.4.	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	20
Şekil 2.5.	Yıllara göre dünyadaki yenilenebilir enerji.....	21
Şekil 2.6.	Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi	22
Şekil 2.7.	Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)	23
Şekil 2.8.	Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)	23
Şekil 2.9.	Elektrik enerjisi yenilenebilir kurulu gücü.....	25
Şekil 2.10.	Fotovoltaik panel.....	28
Şekil 2.11.	Arazi üzerine kurulumu gerçekleşmekte olan tek eğimli GES.	28
Şekil 2.12.	Arazi üzerine kurulumu gerçekleşmekte olan çift eğimli GES.....	29
Şekil 2.13.	İnvertör.....	29
Şekil 2.14.	Çift eğimli GES taşıyıcı konstrüksiyon sitemi.....	30
Şekil 2.15.	Tek eğimli GES taşıyıcı konstrüksiyon sitemi.....	30
Şekil 2.16.	Elektrik panosu.....	31
Şekil 2.17.	Trafo.....	31
Şekil 2.18.	Güneş enerji santrali kurulum planı	32
Şekil 3.1.	İl ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri.....	40
Şekil 3.2.	Kar yağış yüksekliği haritası	41
Şekil 3.3.	İl ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri.....	43
Şekil 3.4.	Kar yağış yükseklik haritası	44
Şekil 3.5.	Kar yükü şekil katsayıları.....	47
Şekil 3.6.	Kar yükü şekil katsayısı tek eğimli çatı	48
Şekil 3.7.	Kar yükü şekil katsayıları - çift eğimli çatı	48
Şekil 3.8.	Kar yükü şekil katsayıları - çok eğimli çatı.....	49
Şekil 4.1.	GES taşıyıcı konstrüksiyon sisteminin yan kesit görünümü.	56
Şekil 4.2.	GES taşıyıcı konstrüksiyon sisteminin arka kesit görünümü.....	57
Şekil 4.3.	GES taşıyıcı konstrüksiyon sisteminin 3D görünümü.	57
Şekil 4.4.	Fotovoltaik panel ölçü ve ağırlığı.....	58
Şekil 4.5.	S355-CF kalitesindeki yapısal çelik malzemenin SAP2000'e tanımlanması.	59
Şekil 4.6.	S355 kalitesindeki yapısal çelik malzemenin SAP2000'e tanımlanması.	60
Şekil 4.7.	Profil kesitleri.....	60
Şekil 4.8.	S355-CF kolon kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.....	61
Şekil 4.9.	S355-CF kiriş kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.....	61
Şekil 4.10.	S355-CF aşık kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.	62
Şekil 4.11.	S355 çapraz kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.....	62
Şekil 4.12.	AISI-16 standardının SAP2000'e tanımlanması.	63
Şekil 4.13.	AISI-16 kombinasyonlarının SAP2000'e tanımlanması.....	64
Şekil 4.14.	AISC 360-16 standardının SAP2000'e tanımlanması.....	65
Şekil 4.15.	SAP2000'e yüklerin tanımlanması.....	66
Şekil 4.16.	Fotovoltaik panel yükünün SAP2000'e tanımlanması.....	67
Şekil 4.17.	Deprem yükünün SAP2000'e tanımlanması.	68
Şekil 4.18.	Rüzgâr yükünün taşıyıcı sistem doğrultusundaki dağıtımı	69

Şekil 4.19.	Rüzgâr basınç yükünün SAP2000'e tanımlanması.	70
Şekil 4.20.	Rüzgâr emme yükünün SAP2000'e tanımlanması.	70
Şekil 4.21.	TS 498-1997'ye göre kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	72
Şekil 4.22.	TS EN 1991-1-3 rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	73
Şekil 4.23.	TS EN 1991-1-3 korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	73
Şekil 4.24.	ASCE 7-22 çatı eğiminin 25° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	75
Şekil 4.25.	ASCE 7-22 çatı eğiminin 25° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	75
Şekil 4.26.	ASCE 7-22 çatı eğiminin 15° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	76
Şekil 4.27.	ASCE 7-22 çatı eğiminin 15° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	77
Şekil 4.28.	NBCC 2020 çatı eğiminin 25° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	78
Şekil 4.29.	NBCC 2020 çatı eğiminin 25° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	79
Şekil 4.30.	NBCC 2020 çatı eğiminin 15° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	79
Şekil 4.31.	NBCC 2020 çatı eğiminin 15° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.	80
Şekil 4.32.	Kar yükü değerlerinin karşılaştırılması.	82
Şekil 4.33.	TS 498-1997 standardına göre elemanların kapasite oranları.	84
Şekil 4.34.	TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	86
Şekil 4.35.	TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	87
Şekil 4.36.	ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	89
Şekil 4.37.	ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	90
Şekil 4.38.	ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	92
Şekil 4.39.	ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	93
Şekil 4.40.	NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	95
Şekil 4.41.	NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	96
Şekil 4.42.	NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	98
Şekil 4.43.	NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.	99
Şekil 4.44.	En kritik aşıkların kapasite oranlarının karşılaştırılması.	102
Şekil 4.45.	En kritik kirişlerin kapasite oranlarının karşılaştırılması.	103
Şekil 4.46.	En kritik kolonların kapasite oranlarının karşılaştırılması.	105
Şekil A.1.	TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	115

Şekil A.2.	TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	116
Şekil A.3.	TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	117
Şekil A.4.	TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	118
Şekil A.5.	TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	119
Şekil A.6.	TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	120
Şekil A.7.	TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	121
Şekil A.8.	TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	122
Şekil A.9.	TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	123
Şekil A.10.	ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	124
Şekil A.11.	ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	125
Şekil A.12.	ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	126
Şekil A.13.	ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	127
Şekil A.14.	ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	128
Şekil A.15.	ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	129
Şekil A.16.	ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	130
Şekil A.17.	ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	131
Şekil A.18.	ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	132
Şekil A.19.	ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	133
Şekil A.20.	ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	134
Şekil A.21.	ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	135
Şekil A.22.	NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	136
Şekil A.23.	NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	137
Şekil A.24.	NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.	138
Şekil A.25.	NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	139
Şekil A.26.	NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	140

Şekil A.27. NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.....	141
Şekil A.28. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	142
Şekil A.29. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.....	143
Şekil A.30. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.....	144
Şekil A.31. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.	145
Şekil A.32. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.	146
Şekil A.33. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.....	147



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	2023 yılı Dünya’da yenilenebilir enerji kurulu gücü	16
Çizelge 3.1.	Çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m).....	38
Çizelge 3.2.	Zati kar yükü (P_{ko}) değerleri kN/m^2	39
Çizelge 3.3.	Karakteristik kar yükü S_k değerleri kN/m^2	42
Çizelge 3.4.	Farklı topoğrafik alanlar için önerilen C_e değerleri.....	46
Çizelge 3.5.	Kar yükü şekil katsayıları.....	47
Çizelge 3.6.	C_t ve C_s değerleri	51
Çizelge 3.7.	C_e değerleri	52
Çizelge 3.8.	I_s değerleri	52
Çizelge 3.9.	I_s yapı önem katsayısı	53
Çizelge 3.10.	C_w maruz kalma katsayısı	54
Çizelge 3.11.	C_s çatı eğim faktörü katsayısı	55
Çizelge 4.1.	Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı.....	69
Çizelge 4.2.	GES tesisine etkileyen kar yükü değerleri.	81
Çizelge 4.3.	Standartlara göre en kritik aşıkların kapasite oranları.....	101
Çizelge 4.4.	Standartlara göre en kritik kirişlerin kapasite oranları.	103
Çizelge 4.5.	Standartlara göre en kritik kolonların kapasite oranları.	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım
ASCE	American Society Of Civil Engineers (Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
DC	Doğru Akım
DEK-TMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
GEPA	Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
GWh	Gigawatt-Saat
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
kg/m²	Kilogram/Metrekare
km/s	Kilometre/Saniye
kN/m	Kilonewton/Metre
kN/m²	Kilonewton/Metrekare
kW	Kilowatt
kWh/m²	Kilowatt Saat/Metrekare
MW	Megawatt
N	Newton
NBCC	National Building Code of Canada (Kanada Ulusal Bina Kodu)
PV	Fotovoltaik Panel
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TS	Türk Standartları
TWh	Terawatt Saat
V	Volt
vd.	ve diğerleri
W	Watt

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Güneş enerjisi, global düzeyde sürdürülebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve doğalgaz, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara olan bağımlılığın düşürülebilmesi açısından önemli bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir ve çevre dostu bir kaynak olan güneş, enerji arz güvenliğinin sağlanması, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ve bir takım ekonomik faydaların kazanılması gibi çok yönlü faydalar sunmaktadır. İlaveten, güneş enerjisi yerel düzeyde enerji üretim kapasitesini artırarak, ülkelerin enerji bağımsızlıklarını güçlendirmelerinde de stratejik bir rol üstlenmektedir. Enerji, insan yaşamının tüm alanlarında temel bir gereksinim hâline gelmiş ve stratejik önemi artmıştır. Yükselen nüfus ve teknolojik ilerlemeler sayesinde sürekli artan enerji ihtiyacının hâlihazırdaki kaynaklarla yeterli düzeyde karşılanamaması, alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Günümüzde çoğunlukla kullanılan konvansiyonel enerji üretim teknikleri, telafisi mümkün olmayan çevresel problemlere ve ekosistem hasarlarına sebep olmaktadır.

Yaşanabilir bir çevrenin korunması, iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz etkilerin azaltılması ve enerji kaynaklı çevresel sorunların giderilmesi gibi hususlar, tüm insanlığın ortak sorumluluğu haline gelmiştir. Bu nedenle, küresel çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıt temelli enerji sistemleri ile geleneksel üretim teknolojilerinin yerine; çevresel etkileri düşük, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bu doğrultuda yeni teknolojilerin geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, güneş enerjisi önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye, 26°-45° doğu meridyenleri ile 36°-42° kuzey paralelleri arasında yer alan bir kara parçası olup, bu coğrafi konumu sayesinde güneş ışınlarını yıl boyunca birçok bölgesinde daha dik açılarla alabilmektedir. Bir başka ifadeyle, Akdeniz Havzası'nda konumlanması, güneş enerjisinden ileri düzeyde faydalanan Avrupa ülkeleri olmak üzere birçok ülkeye nazaran güneş potansiyeli açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Nispeten az yağış alan bölgelerde bulutluluk oranının ve nem düzeyinin düşük olması, güneş panel verimliliğini artırmakta; dolayısıyla ülkenin iç bölümleri güneş kaynaklı elektrik üretimi açısından daha makul duruma gelmektedir.

Türkiye, geniş ve eğimli bozkır alanlara, tarımsal kullanım dışı düz ovalara ve geniş çatı alanlarına sahip olup, bu durum güneş enerjisi yatırımları için önemli avantaj sağlamaktadır. Güneş ışıınımı değerleri ve güneşlenme süresi, düşük yağış miktarı, düşük nem oranı ve az bulutlu gün sayısı gibi iklimsel ve coğrafi faktörler göz önüne alındığında, Türkiye'nin güneş enerjisinden azami düzeyde yararlanması gereken ülkelerden biri olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, yaz aylarında enerji tüketimi; tarımsal sulamanın başlaması, klima kullanımındaki artış, yurt dışından gelen vatandaşların geçici nüfus katkısı ve yaz turizminin yoğunlaşması gibi nedenlerle dikkate değer oranda artış göstermektedir. Örnek vermek gerekirse Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) 2024 yılı aylık üretim-tüketim raporlarına bakılırsa Nisan dönemindeki brüt üretim 24.334 GWh iken Temmuz döneminde bu miktar 34.663 GWh'a yükselmiştir. Yani yaz aylarında yaklaşık olarak Nisan ayına göre %40 daha fazla elektrik ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yaz aylarında meydana gelen ilave enerji miktarının telafi edilmesinde güneş enerjisi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de kaynak verimliliği bakımından oldukça rasyonel ve uygulanabilir bir çözümdür.

Son 50 yılda büyük oranda kullanılan fosil yakıtlı enerji santrallerinin, fosil yakıt rezervlerinin azalması ya da erişilebilirliğinin kısıtlanması gibi nedenlerle yakın gelecekte mevcudiyetini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, Türkiye'yi enerji üretim hedef planlamasında yeni atılımlar yapmaya yöneltmiştir. Türkiye Cumhuriyeti hükümeti, "Enerji Dönüşümü – Yenilenebilir Enerji 2035" başlıklı toplantıda, 2035 yılına yönelik yenilenebilir enerji stratejisini kamuoyuyla paylaşmıştır. Toplantıda verilen bilgilere göre, 2005 yılında Türkiye'nin yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücü 12.975 MW düzeyindeyken, bu rakam toplam kurulu gücün %33'ünü oluşturmaktaydı. 2024 yılının Eylül ayı itibarıyla ise yenilenebilir enerji kurulu gücü 67.400 MW'a ulaşmış ve toplam kurulu güç içerisindeki payı %59'a yükselmiştir. Bu büyüme, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde kaydettiği ilerlemeyi açıkça ortaya koymaktadır. 2024 itibarıyla Türkiye'nin toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü, başlıca üç ana kaynaktan oluşmaktadır: hidroelektrik santraller 32.200 MW ile en büyük paya sahipken, güneş enerjisi 18.700 MW ve rüzgâr enerjisi 12.400 MW kurulu güce sahiptir. Ayrıca, mevcut durumda 31.100 MW olan rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı toplam kurulu gücün, 2035 yılına kadar dört kat artarak 120.000 MW seviyesine çıkarılması hedeflenmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda, güneş enerjisi santrali (GES) yatırımlarının, küresel

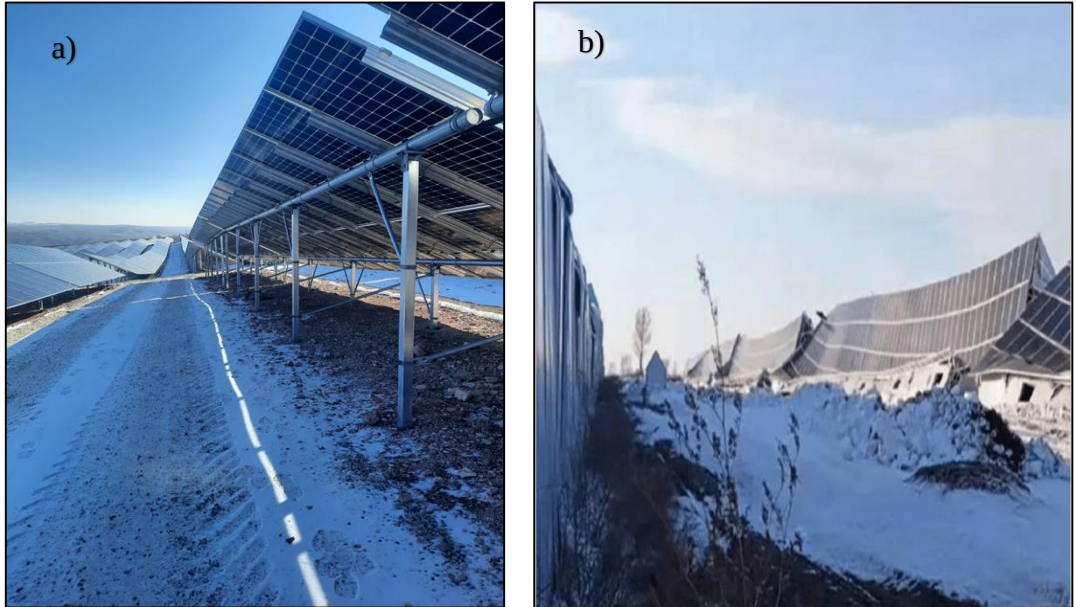
eğilimlere paralel olarak Türkiye’de de artarak devam etmesi beklenmektedir. Bu durum, GES projelerinin yalnızca yüksek verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayacak biçimde değil, aynı zamanda yapısal güvenlik kriterlerine uygun olarak tasarlanmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

GES tesisleri, güneş ışığını enerjiye dönüştürmek amacıyla fotovoltaik (PV) paneller ya da termal güneş kolektörleri kullanan sistemlerdir. Güneş enerjisinin dünya genelinde giderek daha yaygın hale gelmesi, bu tesislerin güvenilirliğini ve verimliliğini artırmaya yönelik araştırmaların da önemini artırmıştır. Bu kapsamda, coğrafi konumların yanında iklim koşulları GES’lerin performansını doğrudan etkileyebilecek unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle kar yağışı, GES’ler üzerinde etkili olan en önemli çevresel parametrelerden biridir. Kar birikintileri, panellerin üzerine yük bindirerek hem panelin kendi dayanımını hem de taşıyıcı sistemin bütünlüğünü tehdit edebilir; ayrıca elektrik üretim kapasitesini de olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, kar yüklerinin GES üzerindeki olası etkilerinin doğru şekilde değerlendirilmesi, hem tasarım hem de yapım süreçlerinde hayati önem taşımaktadır.

GES, genel olarak bina çatılarına ya da açık arazilere kurulan elektrik enerjisi üretim tesisleridir. Arazi tipi GES’ler geniş alanlar üzerine yerleştirilen tesisler olup, elektrik üretimini güneş ışınlarının fotovoltaik paneller üzerine doğrudan etkisiyle gerçekleştirirler (Şekil 1.1.a). Bu panellerin montajı için kullanılan mekanik yapı ise genellikle “panel taşıyıcı sistem” olarak adlandırılmakta olup, çoğunlukla galvanizli çelik veya alüminyumdan imal edilen yapısal elemanlar ile çeşitli metal bağlantı aparatlarının birleşiminden oluşmaktadır. GES tesislerinin yapısal tasarım sürecinde, bu sistemlerin maruz kalacağı yüklerin doğru şekilde analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle rüzgâr ve kar yükleri, panel taşıyıcı sistemlerin güvenli ve dayanıklı biçimde tasarlanmasında dikkate alınması gereken temel dış yüklerdir (Firat, 2007; Firat ve Yucemen, 2012). Bu çalışmada, kar yağışı sonrasında oluşabilecek yüklerin panel taşıyıcı sistem üzerinde meydana getirebileceği muhtemel hasar sebepleri de ele alınmıştır. Kar yükleri, yalnızca panellerin kendi mekanik yapısında gerilmeler oluşturarak deformasyonlara veya hasarlara neden olmakla kalmaz, aynı zamanda panel taşıyıcı sistemin zayıflamasına ya da aşırı yük durumlarında tamamen çökmesine de yol açabilir. Bu duruma somut bir örnek olarak, Çin’in İç Moğolistan

bölgesinde kar birikmesi sonucu çöken bir güneş enerji santrali Şekil 1.1.b’de sunulmaktadır.

Yukarıda anlatılanlar, GES projelerinin yalnızca yüksek verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayacak biçimde değil, aynı zamanda yapısal güvenlik kriterlerine uygun olarak tasarlanmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Tüm dünyada yapısal tasarımlar belirli standart ve yönetmeliklerle idealize edilmiştir. Dolayısı ile ülkeler ya kendine göre standart oluşturmakta ya da tüm dünyada genel anlamda kabul gören standart ve yönetmeliklerin doğrudan kullanılmasına müsaade etmektedir. Bu standartlardaki tasarım kurallarının malzeme, dönüştürme, yük ve dayanım katsayılarının deneysel çalışmalar ve istatistiksel analizler vasıtasıyla en doğru hale getirilmesine standart güncellenmesi veya kod kalibrasyonu (code calibration) denilmektedir. Bu güncellemeler yapılırken diğer standartlardaki tasarım kurallarının ve kullanılan katsayıların incelenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması çok önemlidir. Bu bağlamda GES’ler tasarlanırken kar yükü hesaplamasında kullanılan TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği (ASCE) 7-22 ve Kanada Ulusal Bina Kodu (NBCC) 2020 standartlarını incelemek yapısal güvenilirlik açısından anahtar rol oynamaktadır.



Şekil 1.1. a) Aksaray Eczacıbaşı arazi tipi GES, b) Kar etkisi ile göçen GES tesisi (URL-1).

1.2 Literatür Özeti

Bir GES tesisi tasarlanırken, ilk adım olarak santralin taşıyıcı sistemini doğrudan etkileyecek olan statik ve dinamik yüklerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu yükler; genel anlamda panel ve çelik taşıyıcı sistem ağırlıkları, rüzgâr yükleri, deprem yükleri ve kar yükleridir. Genelde bu yükler de standart ve yönetmeliklerden alınmaktadır. Güncel bilgi ve veriler geldikçe, saha araştırmaları, performans analizleri ve akademik çalışmalara dayalı olarak standartlar güncellenir ya da revizyona uğrar. Bu bağlamda GES tesislerine etkiyen yükler, GES tesisinin verimliliğini etkileyen faktörler ve yapısal tasarım ile ilgili birtakım çalışmalar bulunmaktadır. Literatüre bakıldığında kar yükünün doğru tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

1.2.1 Kar yükleri ve kar yükünün yapıya etkileriyle ilgili çalışmalar

Ellingwood ve Redfield (1983) araştırmalarında ABD’de 76 istasyondan 1979-1980 yıllarında zemin kar yükü değerlerinin hangi dağılıma uygun olduklarını belirlemiş, kar yükü için çalıştıkları bölgede Lognormal ve Tip1 dağılımın uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Sack (1989) çalışmasında ABD ve Kanada’daki kar yükü ile ilgili standartları kıyaslamıştır. Zemin kar yüklerinden bir takım dönüştürme katsayıları ile çatı kar yükü hesabını elde etmeyi irdelemiştir. ABD ve Kanada standartlarındaki benzerlik ve farklılıkları ortaya koymuşlardır.

Daloğlu ve Durmaz (2005) yaptıkları çalışmada Doğu Karadeniz bölgesi için zemin kar yüklerini hesaplamış ve bir harita elde etmişlerdir. TS 498 standardında önerilen zemin kar yükü değerlerinin emniyetli bir tasarım için yetersiz olduğunu belirtmişlerdir.

Firat (2009) çatı kar yüklerini 17 il referans alarak istatistiksel yöntemlere dayalı olarak hesaplamış TS 498’e göre hesaplanan çatı kar yükleriyle kıyaslamıştır. Sonuç olarak TS 498’e göre hesaplanan kar yükünün bazı illerde aşırı yüksek, bazı illerde ise ciddi oranda düşük olduğunu ifade etmiştir.

Firat ve Yucemen (2014) Türkiye için yeni yük ve dayanım katsayılarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kar yüklerinin kendi bünyesinde ve yapıya olan etkileri konusunda birçok belirsizliğin bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Haberdar (2015) yaptığı çalışmasında şed tipi çatılar özelinde farklı ülkelerin kar yükü standartlarını tasarladığı yapı sistemine uygulayıp farklı yük yönetmeliklerinin karşılaştırmasını yapmıştır ve birbirlerine benzer ya da farklı yönlerini değerlendirmiştir.

Vatansever vd. (2017) yaptıkları çalışmada, 50.000 m² otopark alanı üzerine yapılmış çelik çerçeveli kanopilerin (canopy) bir kısmının göçmesi sonucu ortaya çıkan problemleri incelemişlerdir. Çalışmadaki saha gözlemleri ve analiz sonuçları, kar yüküyle ilgili hatalı tasarım yapıldığını ve çelik yapı elemanlarının ve bağlantı elemanlarının tasarım ve inşaat hataları nedeniyle göçtüğünü göstermiştir.

Croce vd. (2018) iklim değişikliği nedeniyle farklılaştığı düşünülen kar yağışı özelliklerinin İtalya özelindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri değerler Eurocode'den elde edilen değerleri kıyaslamışlardır.

Temel (2020) çalışmasında, 50 yıl ortalama tekerrür periyoduna sahip zemin kar yükü ECMWF'in ERA 5 küresel iklim veri seti kar verilerine dayalı olarak Türkiye için yeni bir zemin kar yükü haritası tavsiye etmiştir. Ayrıca, GES'lerde kullanılan çelik konstrüksiyonlarda tespit edilen kar kaynaklı hasarlarla ilgili birtakım yorumlar yapmıştır.

Ivanov vd. (2022) Kuzey Avrupa'da görülen iklim değişikliğinin kar yağışı ve dolayısı ile kar yükünü ne oranda etkilediğini araştırmışlardır. Sonuç olarak rakımı yüksek bölgelerde ileri yıllarda kar yüklerinde önemli artış olabileceğini, sıcak alanlarda ise dikkate değer bir düşme yaşanabileceğini ifade etmişlerdir.

1.2.2 GES verimliliğini etkileyen çalışmalar

Bilindiği üzere kar yağdığında panellerin üzeri kar eriyene kadar kapanmakta veya sistem üzerinde bazı yerlerde gölgelenmeler meydana gelebilmekte GES tesisinin verimliliği düşmektedir. Kar yağışı sonucu GES tesisinin verimliliğini etkileyen

faktörlerle ilgili çalışmaların sayısı son zamanda gittikçe artmaktadır. Kar yağışının haricinde tesis verimliliğini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. GES tesisinin verimliliğini etkileyen çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sayın ve Koç (2011) yaptıkları çalışmada fotovoltaik sistemlerin Türkiye'deki enerji üretim sürecine entegrasyonunun önemine dikkat çekmiştir. Ülkenin sahip olduğu yüksek güneşlenme potansiyelinin, yapı tasarımlarına güneş enerjisi sistemlerinin dâhil edilmesiyle etkin şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu sayede yapıların enerji tüketen değil, aynı zamanda enerji üreten sistemler hâline gelmesinin mümkün olacağı vurgulanmıştır.

Mussard (2017) çalışmasında, soğuk iklimlerde güneş enerjisi teknolojilerine dair kapsamlı bir literatür taraması sunmaktadır. Seralar, binalar, ısı pompaları, PV paneller ve yüksek enlem sorunları gibi çeşitli uygulamalar incelenmiş, Avrupa, Kuzey Amerika, Türkiye, İran, Çin, Japonya, And Dağları ve Antarktika bölgeleri ele alınmıştır. Sonuçlar, uygun teknoloji seçimi için çevresel ve ekonomik faktörlerin önemini vurgulamaktadır.

Taktak ve Ilı (2018) yaptıkları çalışmada GES arazi seçimi, konum analizi, kurulum aşamaları, TEDAŞ onay sürecindeki yasal süreçler ve gerekli izinlerin alınmasına dair birtakım bilgiler vererek, GES kurulumu için baştan sona olan süreci detaylı bir şekilde incelemişlerdir.

Andenaes vd. (2018) çalışmalarında, karın optik özellikleri ve PV panellerdeki gölgeleme etkilerini inceleyen literatürü değerlendirmiştir. Karın yansıma, spektral geçirgenlik ve örtü yayılımı ile homojen ve kısmi gölgeleme etkileri analiz edilmiştir. Kar yükleri, erime riskleri ve bina entegreli PV sistemlerdeki etkiler tartışılmış, malzeme ve mimari çözümler ile gelecekteki araştırma alanları önerilmiştir.

Rahmatmand vd. (2019) çalışmalarında fotovoltaik (PV) paneller üzerinde biriken kar, enerji üretiminde ciddi kayıplara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, yatay ve eğimli yüzeylerdeki kar erimesi ve kaymasını tahmin etmek amacıyla, karı gözenekli ortam olarak ele alan sayısal bir model geliştirilmiştir. Darcy yasasıyla su tahliyesi hesaplanmış, laboratuvar deneyleriyle model doğrulanmıştır. Ayrıca, eğimli

panellerdeki kar kayma süresi için deneysel verilerle uyumlu ampirik bir denklem sunulmuştur.

Øgaard vd. (2020) çalışmalarında PV sistemlerin güvenilir izlenmesi, maliyet ve bakım verimliliği için önemli olduğunu ifade etmiş Norveç'teki 3,3 MW'lık sistemlerde kar, düşük ışıınım ve kısıtlamalar nedeniyle performans dalgalanmaları incelenmiş; özgül verim ve makine öğrenmeli indeks etkili bulunmuştur. Çalışma, uygun metrik seçimi ve filtreleme stratejileriyle izleme güvenilirliğini artırmayı önermektedir.

Pero vd. (2021) yaptıkları çalışmada, kristal silisyum PV teknolojisinin yağmur etkisi altındaki performansını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Avrupa'nın ılıman iklimlerinde yapılan analizler, yağmurun genellikle göz ardı edildiğini ancak termal ve optik etkilerle enerji üretimini olumlu etkileyebileceğini göstermiştir. Bulgular, bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bayón vd. (2022) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi santrali kurulacak alan QGIS yazılımı ile belirlenmiş ve güneş ışıınımı analizleri yapılmıştır. PV modülleri, gölgeleme etkisi azaltılarak Mathematica™ tabanlı bir yerleştirme algoritması ile optimize edilmiştir. Farklı dizilimler ve eğimler karşılaştırılmış, yapısal kontroller yapılmıştır. 3V×8 konfigürasyonu ve 14° eğim açısı ile enerji üretimi %32'den fazla artış göstermiş ve daha az maliyet sağlanmıştır.

Romer vd. (2023) yaptıkları çalışmada, fotovoltaik modüllerin saha koşullarında maruz kaldığı düzensiz kar ve rüzgâr yüklerini CFD ve FEM ile analiz etmiştir. Kapsülleyici malzeme ve sıcaklık, termomekanik gerilimi etkilerken, poliolefin düşük sıcaklıklarda en az gerilmeyi sağlamıştır. Yandan rüzgâr en kritik yük olup, eğim arttıkça gerilim yükselmiştir. Elde edilen bulgular, dayanıklı PV modül tasarımı için temel prensipler sunmaktadır.

Jordan vd. (2023) yaptıkları çalışmada NOAA ve NREL verileriyle yapılan analizde, 170 PV sisteminin aşırı hava olaylarından etkilendiği, sel, rüzgâr ve dolunun %60'a varan enerji kaybına yol açabildiği belirlenmiştir. 90 km/s üzeri rüzgârlar ve dolu olayları, performans kaybını artırmakta olup, bu durum PV sistemlerin iklim risklerine karşı güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ghoroi vd. (2023) yaptıkları çalışmada hidrofobik kaplamaların çığ oluşumu engellendiğinde PV yüzeylerindeki partikül birikimini azalttığı 70 günlük saha çalışmasıyla incelenmiştir. Çığ baskılaması uygulanan kaplamalı yüzeylerde kirlenme %50, baskılamasızlarda %31 azalmıştır. Özellikle 10–30 µm partiküllerde %60 azalma gözlenmiş, çığ kontrolünün PV sistemlerde kirlenmeyi azaltmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Volkova vd. (2024) yaptıkları çalışmada soğuk iklimlerde kar depolamalı fotovoltaiik destekli bölgesel soğutma (PV-DC) sistemlerinin saha seçimi ve performansı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme yöntemleriyle analiz edilmiştir. Estonya’da orta uygunlukta bir alan belirlenmiş, kar soğutma potansiyeli ve PV üretimi yüksek performansla uyumlu bulunmuştur. Sistem, ekonomik ve çevresel açıdan etkili olup, soğuk bölgelerde yerel enerji kullanımına önemli katkı sağlamaktadır.

1.2.3 GES yapısal tasarımı ile ilgili çalışmalar

Arazi GES santrallerinde kullanılan paneller, genellikle çelik veya alüminyum sehpalar üzerine monte edilir. Bu tür tesislerin yapısal güvenliği, GES tesisinin uzun yıllar çalışabilmesi ve ekonomik açıdan kayıpların meydana gelmemesi açısından kritik öneme sahiptir. Taşıyıcı sistemler; deprem, rüzgâr, kar gibi çevresel yükler altında dayanıklı olmalıdır. Yetersiz yapısal tasarım, panel deformasyonuna, elektriksel sistem arızalarına hatta yapısal göçme riskine yol açabilir. Bu tesislerin taşıyıcı sistemleri ile ilgili literatürde bazı çalışmalara rastlanılmıştır.

Naik vd. (2013) hareketli güneş paneli taşıyıcı sistemlerini sonlu elemanlar yöntemiyle analiz ederek, yapısal optimizasyonun gerilmeleri azalttığını göstermiştir. Çalışmada, optimizasyonun hem yapı güvenliğini artırdığı hem de çelik tüketimini azalttığı vurgulanmıştır. Bu bulgular, güneş paneli taşıyıcı sistemlerinin verimli ve ekonomik tasarımında önemli katkılar sunmaktadır.

Kim vd. (2015) yaptıkları çalışmada açık alanda çalışan PV sistemler, çevresel yüklere karşı yapısal olarak dayanıklı olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, $90^\circ \pm 1^\circ$ izleme hassasiyetine sahip 5 kW’lık bir CPV sistemine rüzgâr yükünün etkisi

ANSYS ile analiz edilmiştir. 65 m/s rüzgâr hızına dayanacak şekilde tasarlanan sistemin, ISO4017/ISO4762 standartlarına uygun olduğu doğrulanmıştır.

Özkal ve Küçük (2017), güneş paneli taşıyıcı sistemlerinin dayanıklılığını artırmak amacıyla modülün yapısal elemanlarını yeniden tasarlamışlardır. Çalışmalarında kar, rüzgâr ve modal analizlere yer vererek, uygun taşıyıcı sistemin hızlı bir şekilde belirlenebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan yük analizlerinin, taşıyıcı sistem tasarımının etkinliğini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Wang vd. (2018) çalışmalarında Japonya'daki bir güneş enerjisi santrali için sabit PV destek yapısı, SAP2000 yazılımıyla (JIS C 8955-2011) standardına göre tasarlanmıştır. Sistem, 4×5 sıra-kolon düzeninde olup, kalıcı yük 4679,4 N, rüzgâr yükü 1,05 kN/m², kar yükü 0,89 kN/m² ve sismik yük 5877,51 N olarak belirlenmiştir. Kiriş açıklığı 2.200 mm hesaplanmış, SAP2000 analizleriyle en uygun yapısal eleman ölçüleri ve destek noktaları optimize edilmiştir.

He vd. (2020) tarafından geliştirilen üç kablolu ters kemer yapı, dikey yer değiştirmeyi azaltarak verimi artırmaktadır. Bu çalışmada, 30 m açıklığa sahip sistemin dinamik davranışı sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş; yüksek taşıma kapasitesi ve geniş uygulama potansiyeli ortaya konmuştur.

Yukarıda görüldüğü gibi kar yüklerinin istatistiksel analizi, kar yükünün yapıya etkileri ve GES tesislerinin verimliliği konusunda birçok çalışma yapılmışken GES tesislerinin statik analizi ile ilgili çok az çalışmaya rastlanılmıştır. Bu bağlamda GES'ler tasarlanırken kar yükü hesaplamasında kullanılan TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarının karşılaştırıldığı bu çalışmadan başka bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Hatta birçok standartta GES tesislerinin özel durumlarının dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışma özellikle kod kalibrasyonu ve standart güncellenmesi açısından önemli bir çalışma olacaktır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Hem dünyada hem de ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili araştırmalar, küresel enerji talebindeki artış ve çevresel sürdürülebilirlik gereklilikleri

doğrultusunda her geçen gün daha da artmaktadır. Gerek bu çalışmalar doğrultusunda gerekse ilgili kanun ve yönetmelik düzenlemeleriyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son zamanlarda hükümetlerin ve toplumların dikkatini eskiye oranla daha fazla çekmektedir. Ülkeden ülkeye yenilenebilir enerji kaynak kullanımı değişkenlik gösterse bile genel anlamda birçok ülkede fayda-maliyet açısından daha avantajlı olmaları nedeniyle GES'ler öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı:

- Güneş enerjisi kullanımının öneminin anlatılması
- Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin irdelenmesi
- Kar yüklerinin GES tesisleri üzerinde etkilerinin incelenmesi
- Bir GES taşıyıcı sistem sehpasının çeşitli standartlara göre statik hesabının inşaat mühendislerine anlatılması
- Kod kalibrasyonu ya da standart güncelleme çalışmalarında kullanılmak üzere, farklı standart ve yönetmeliklerde önerilen kar yükü hesaplama tekniklerinin birbirlerinden farklarını irdelenmesi olarak sıralanabilir.

Bu çalışma ile elde edilecek bulgular, kar yüklerinin arazi tipi güneş enerji sistemlerinde kullanılan çelik taşıyıcı konstrüksiyonlar üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayacak ve bu alandaki tasarım süreçlerinin geliştirilmesine yönelik bilimsel bir temel oluşturacaktır.

Bu tez çalışması toplam 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde GES projelerinin yalnızca yüksek verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik ile birlikte yapısal güvenlik kriterlerine uygun olarak tasarlanmasını ve uygulanmasını gerektiğine dair argumanlar sıralanmıştır. Konuyla ilgili yapılan diğer çalışmalar özetlenmiş bu tez çalışmasının amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölümde güneş enerjisinin önemi ve tarihsel gelişimi anlatılmış Dünya'da ve Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı ile ilgili bazı istatistiksel bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda güneş enerji santrallerinin yapılması için arazi seçiminin nasıl yapılması gerektiği, bu kurulum için nasıl yasal sürecin ana hatlarıyla irdelenmesi ve santral kurulum aşamaları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde standart ve yönetmeliklerde önerilen zemin kar yükü değerlerindeki yetersizlikler, yapısal tasarımlardaki belirsizlikler, malzeme ve işçilik hataları, taşıyıcı

sistem sehpa ayaklarının zemine gömülmesi ile ilgili problemler gibi kar yükü kaynaklı yapısal hasar nedenleri incelenmiştir. Ayrıca, TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarında bir arazi tipi GES statik analizi yapabilmek için gerekli kar yükü hesaplama yöntemi anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde bir GES modellemesinin nasıl yapılacağı, bu modellemede kullanılacak malzeme ve profillerin seçimi, GES taşıyıcı sistem elemanlarının SAP2000 programına tanımlanması, rüzgâr ve deprem yükünün hesabı anlatılmıştır. Yine bu bölümde farklı standartlardan hesaplanan kar yüklerinin de genel sistem üzerine etkilmesiyle statik analizler yapılmış bu analizler sonucu bulunan kapasite oranları birbiriyle kıyaslanmıştır.

Beşinci bölümde ise gerek yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar gerek değişik standartlara göre hesaplanan kar yüklerine göre yapılan statik analizler nedeniyle elde edilen değerlerin birbirleri ile kıyaslanmasıyla ortaya çıkan sonuçlar sıralanmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ

2.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkmakta olan ısıma enerjisidir. Güneş yaklaşık olarak $3,9 \times 10^{26}$ W güç yayan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten yayılan enerjinin çok az bir oranı Dünyaya ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyinde ki her metrekareye ortalama 1.369 W güç düşmektedir. Atmosfere gelmekte olan bu ısımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışınlardan oluşan bir kısmı emilirken bir kısmı da yansımaktadır (URL-2).

Yeryüzündeki tüm enerji kaynakları kökenini Güneş'ten almaktadır. Ancak, fosil yakıtlar başta olmak üzere birçok enerji kaynağı günümüzde tükenme noktasına yaklaşmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi; güvenli, çevre dostu ve ekonomik açıdan avantajlı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alması nedeniyle güneş enerjisi, sürekli ve sürdürülebilir bir enerji arzı sağlamaktadır (URL-3).

Güneş karbondioksit emisyonlarının azaltılmasını enerji maliyetlerinin düşürülmesini ve çevremize temiz bir enerji ile konfor alanı sağlamaktadır. Güneş enerjisi üretim bakımından hem ısınma amaçlı hem de güneş pilleri sayesinde elektrik üretimi ve depolanmasını sağlamak için kurulan bu sistem bizlere ücretsiz enerji sunmaktadır. Güneş enerjisi pratikte tükenmez niteliktedir. Her yıl, Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerji miktarı yaklaşık 1.080.000.000 TWh olup, bu değer Dünya'nın yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık 60.000 katına eşdeğerdir (URL-3).

Güneş enerjisinin de diğer enerji kaynakları gibi kullanımına ilişkin çeşitli zorluklar ve koşullar bulunmaktadır. Günümüzde güneş enerjisi, her tür tüketim modelinde kolaylıkla uygulanamamaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisinin farklı tüketim alanlarında etkin şekilde kullanılabilmesi için dünya genelinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir. Özellikle, bu enerji türünün verimliliğinin artırılması, etkin depolanması, transferi ve elde edilen enerjinin yoğunluğunun optimize edilmesi üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır.

2.2 Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

Güneş enerjisinin ilk kullanımlarından biri M.Ö. 215 yılında Syraküza'yı kuşatan gemilere güneş ışınlarını odaklayarak ateşe veren Arşimet tarafından gerçekleştirilmiştir (Akova, 2003). Güneş enerjisinin daha sistematik olarak kullanılmasına ilişkin çalışmalar ise 18. yüzyılda başlamıştır. Bu alandaki ilk bilimsel girişimler ise 17. yüzyılda Galileo'nun merceği keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır.

Akova (2008) tarafından belirtildiği üzere, 1767 yılında ilk güneş kolektörü, İsviçreli bilim insanı Horace de Saussure tarafından geliştirilmiş ve Afrika seferinde yemek pişirmek amacıyla kullanılmıştır. Aynı dönemde, İskoç bilim insanı Robert Stirling, 27 Eylül 1816'da icat ettiği bir makine için patent başvurusu yapmıştır. Bu makine, daha sonra "Çanak/Stirling Sistemi" olarak adlandırılan ve güneşin ısı enerjisini elektrik üretimi için yoğunlaştıran güneş ısı elektrik teknolojisinde kullanılmıştır.

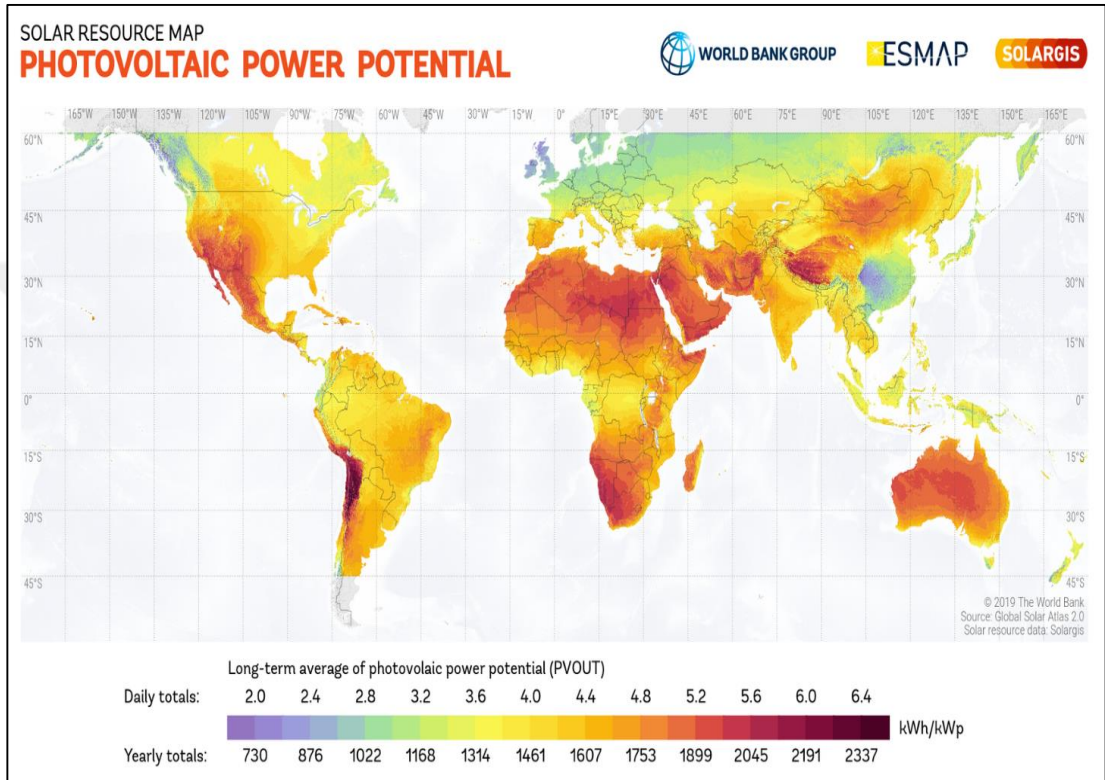
1839 yılında ise Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel, iki metal plaka arasındaki elektrik akımını gözlemleyerek ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz icat etmiş ve böylece fotovoltaiik etkiyi keşfetmiştir. Güneş ışığı bu cihaz tarafından soğurulduğunda, güneş enerjisi elektronları atomlardan kopararak malzeme içinde hareket ettirir ve bu süreç sonucunda elektrik üretimi sağlanır. Işığın (fotonların) elektriğe (gerilime) dönüştüğü bu mekanizmaya fotovoltaiik (fotoelektrik) etki adı verilmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi [DEK-TMK], 2009).

Güneş enerjisinin bulunmasından yıllar sonra, 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, petrole uygulanan ambargolar ve nükleer kirlilik olayları neticesinde yenilenebilir enerji kaynakları tekrar tartışma konusu olmuştur. Küresel ısınma ve karbondioksit emisyonlarının azaltılması konusunun tekrar gündeme gelmesi üzerine temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi daha da artmıştır.

Türkiye'de güneş enerjisi uygulamaları, özellikle 1990'lı yıllarda güneş kolektörleri aracılığıyla sıcak su üretimiyle yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu alanda bilimsel çalışmaların öncüsü olarak 1978 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü kurulmuştur. Yaklaşık yirmi yıl sonra ise, 4,8 kW/p kapasiteye sahip Türkiye'nin ilk güneş enerji santrali Didim'de işletmeye alınmıştır (Oral, 2017).

2.3 Dünya’da Güneş Enerjisi

Şekil 2.1’de de gösterildiği üzere, Dünya’nın geometrik yapısı nedeniyle ekvator ve güney yarımkürede yer alan bölgeler güneş ışınlarından daha yoğun şekilde etkilenmektedir. Buna karşılık, kuzey yarımkürede yer alan kutup bölgesi ise en az güneş ışınına maruz kalan alan olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 2.1. Dünya küresel fotovoltaik güç potansiyeli (URL-4).

Güneş ışınları Dünya atmosferine ulaştığında, atmosferdeki bulutlara bağlı olarak bu ışıının bir kısmı saçılmaktadır, bir kısmı ise tekrar uzaya yansımaktadır. Yalnızca geriye kalan kısmı yeryüzüne gelmektedir. Atmosfer haricindeki güneş ışıının yaklaşık %51’lik kısmı Dünyaya ulaşabilmektedir. Belirtilen bu miktarın ortalama %5’i ise yeryüzünden tekrar uzaya yansımaktadır. Yeryüzüne ulaşan Güneş enerjisinin bir bölümü ısınmadan ve bitkilerin fotosentezinde kullanılmaktadır. Bu ışıının büyük bir kısmı daha uzun dalga boylarına sahip ışıınım (özellikle kızılötesi) şeklinde uzaya geri yayılmaktadır. Bu bağlamda, yeryüzüne yansıyan ışıının soğurulması sonucunda yerküre ısınmakta ve ardından uzun dalga boylarında yeniden ışıınım yapmaktadır. (Demircan, 1990).

Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi Dünyada enerjiye öncelik veren güçlü devletler kalkınma ve ekonomik bakımdan daha bağımsız olan devletlerdir. Gelişmişlik bakımından oldukça ileride olan devletlerin güneş enerji santrallerine yaptığı yatırım güneş enerjisinin önemini ortaya koymaktadır. Bunlarla birlikte Türkiye 58.462 MW’lık Kurulu gücü ile listede 11. sırada yer almaktadır. Türkiye’nin konumu gereği sahip olduğu güneşlenme potansiyeli sayesinde kurulu gücün artırılması gerektiği gözlenmektedir.

Çizelge 2.1. 2023 yılı Dünya’da yenilenebilir enerji kurulu gücü (URL-5).

Sıra	Ülke	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	1.453.701
2	ABD	387.549
3	Brezilya	194.085
4	Hindistan	175.929
5	Almanya	166.939
6	Japonya	132.528
7	Kanada	109.004
8	İspanya	80.136
9	Fransa	66.157
10	İtalya	65.157
11	Türkiye	58.462
12	Rusya	56.708
13	İngiltere	55.561
14	Avustralya	51.816
15	Vietnam	46.012

2.4 Türkiye’nin Enerji Profili

Türkiye’nin toplam elektrik enerjisi tüketimi, 2024 yılı itibarıyla bir önceki yıla kıyasla %3,8 oranında artarak 347,9 TWh düzeyine ulaşmıştır. Aynı dönemde elektrik üretimi ise %5,4’lük bir artış göstererek 348,9 TWh olarak gerçekleşmiştir. Bu veriler, ülkemizin enerji talebinde artış eğiliminin sürdüğünü açıkça ortaya koymaktadır.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Ulusal Enerji Planı projesine göre, elektrik tüketiminin:

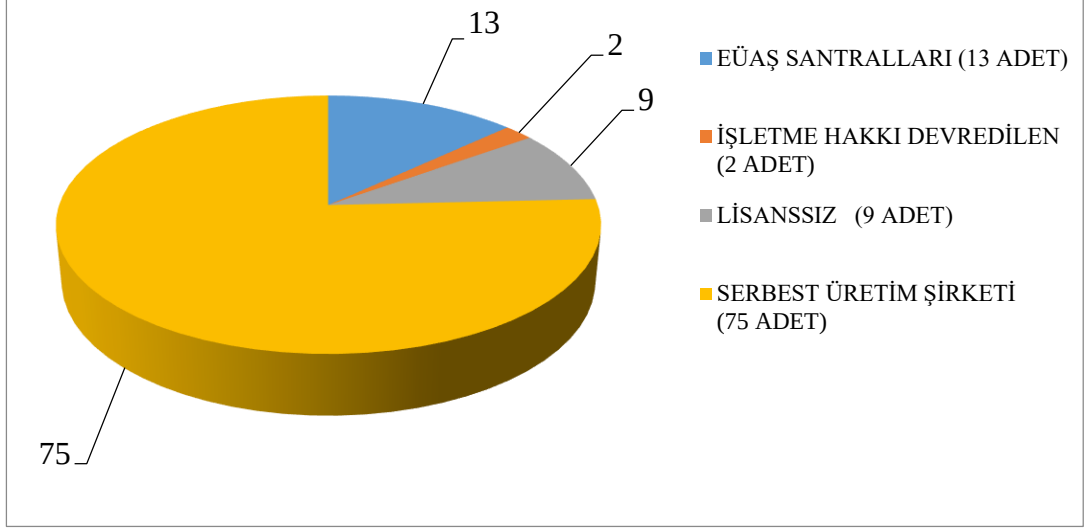
- 2025 yılında 380,2 TWh,
- 2030 yılında 455,3 TWh,
- 2035 yılında ise 510,5 TWh düzeyine ulaşması öngörülmektedir.

Bu talep artışı, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilir enerji politikalarının önemini artırmaktadır. Öte yandan, Mart 2025 sonu itibarıyla Türkiye genelinde lisanslı ve lisanssız üretim tesisleri dâhil olmak üzere toplam 35.160 elektrik üretim santrali faaliyette bulunmaktadır. Bu sayı, ülkemizin enerji üretim kapasitesini çeşitlendirme ve artırma yönündeki stratejik çabalarının bir yansımasıdır (URL-6).

Enerji kaynakları değerlendirilirken birden fazla kriterin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Enerji teknolojilerinin analizinde, ülkenin yapısına ilişkin kriterler, teknolojik kriterler, ekonomik kriterler ve sosyoekonomik kriterler ayrı ayrı ele alınmalıdır. Ülkemizin enerji alanında sorun yaşamaması için, enerji talebinin hangi kaynaklarla karşılanacağını doğru şekilde belirlenmesi ve uygulamaların bu doğrultuda gerçekleştirilmesi zorunludur. Enerji politikalarındaki dağınıklık ve ciddiyetsizlik ortadan kaldırılmalı; güvenli, temiz ve yeterli enerji teminini amaçlayan planlı bir enerji politikası oluşturulmalı ve bu politika kararlılıkla uygulanmalıdır.

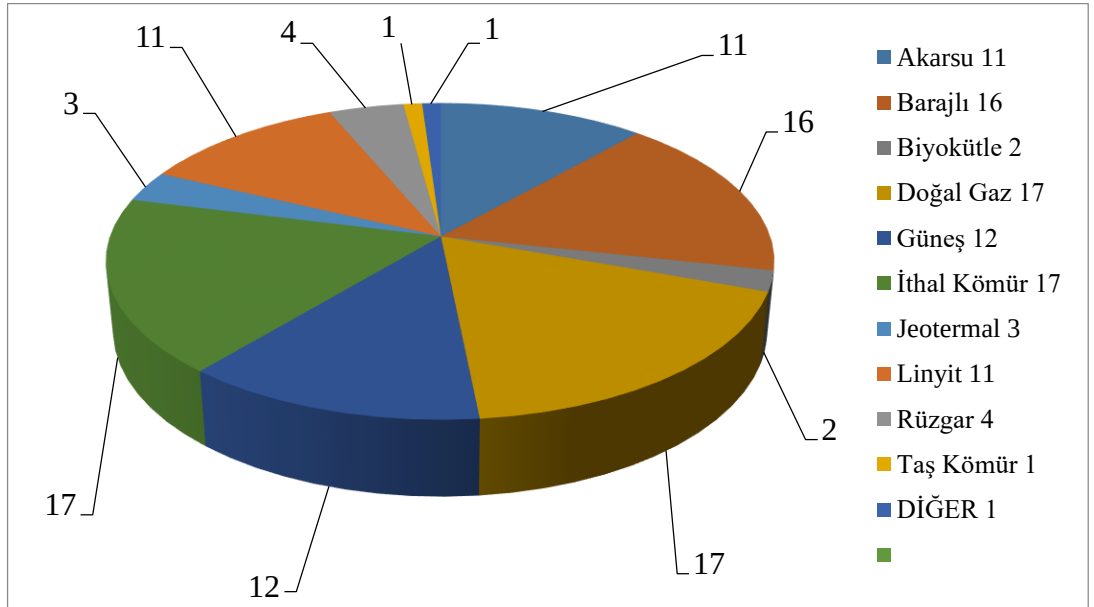
Son yıllarda, enerji toplumların yaşam alanlarını ve yaşam kalitelerini belirleyen en önemli unsur olmuştur. Yıllarca yaşanan teknolojik gelişmeler, nüfus miktarında ki artış ve ekonomik artış gibi parametrelere bağlı olarak enerjiye olan talep sürekli artış göstermiştir. Günlük hayatımızda bulunduğumuz her ortamda ve çevremizde bulunan tüm cihazlarda enerji kullanımı gözlemlenmektedir. Bu nedenle yalnızca enerji tüketimi değil, aynı zamanda enerji üretimi de büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de enerji üretimi stratejik bir öncelik olarak ele alınmakta ve bu alanda yatırım yapmak isteyen kuruluşlara çeşitli teşvik mekanizmaları ile destek sağlanmaktadır (T.C. Resmî Gazete, 2021).

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi Türkiye’de günlük enerjinin farklı kuruluşlarına göre dağılımı gösterilmektedir. Şekilde verilen verilere göre enerji üretiminde ki en büyük pay serbest üretim şirketlerine aittir. Bu şirketler Türkiye’nin toplam enerji üretiminin önemli bir kısmını üstlenmektedir. Bu durum, Türkiye’nin enerji üretim sektöründe serbest piyasa mekanizmalarının ve özel sektör yatırımlarının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.2. Günlük enerji üretimin kuruluşlara göre dağılımı (URL-7).

Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, Türkiye'nin enerji üretiminde çeşitlilik sağlamaya çalıştığını ancak hala fosil yakıtlara olan bağımlılığını yeterince azaltamadığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji santrallerinin fazlaştırılması hem ülkemizin dışa bağımlılığını azaltmak hem de sürekli ve depolanabilir bir enerji üretimi kullanarak ekonomik ve çevre dostu olan enerji üretim santralleri kullanmak gerekmektedir.



Şekil 2.3. Günlük enerji üretimin kaynaklara göre dağılımı (URL-7).

Türkiye, hızla artmakta olan nüfus artışı ve gelişmekte olan sanayisiyle birlikte her geçen yıl daha fazla enerji ihtiyacı duymaktadır. 2025 yılı mart ayı itibarıyla ülkemizin

toplam enerji tüketimi 88.416 TWh seviyesine ulaşmaktadır. Aynı dönemde toplam kurulu güç 116.516,4 MW'a yükselmiştir. Ancak enerji üretiminin dışa bağımlılık oranı halen yüksek seviyede seyretmesi ülkemizi hem ekonomik hem de stratejik bakımdan olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bilgiler doğrultusunda enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artırılması büyük önem arz etmektedir.

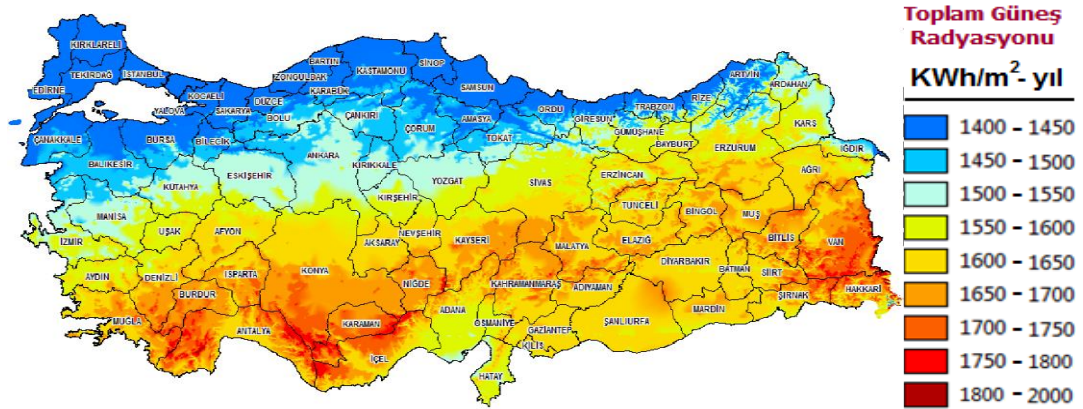
2.5 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu gereği önemli ölçüde güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Şekil 2.4’te gösterilen Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasındaki verilere göre, ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama toplam ışıyım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü güneş enerjisi potansiyel atlasına göre Türkiye’nin en çok ve en az güneşlenme süreleri sırası ile Temmuz ve Aralık aylarıdır. Bölgeler arasında ise en önemli potansiyel Akdeniz, Doğu, Güneydoğu Anadolu ile İç Anadolu bölgelerindedir (URL-2).

Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimine dair yasal düzenlemeler ve mekanizmalar son birkaç yılda ivmelenmiş olduğundan elektrik üretimi konusundaki gelişmeler oldukça yenidir. Bununla birlikte, ülkemiz güneş enerjisinden sıcak su elde eden sistemler konusunda Dünya’da Çin’den sonra ikinci konumdadır ve hala köy evlerinde doğalgaz olmadığından dolayı güneş enerjisi kaynaklı sıcak su sistemlerinin kurulumu ciddi oranda devam etmektedir.

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük toplam 7,5 saat/gün), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m²-yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (URL-2). Bu değerler ülkemizin güneş enerjisi açısından potansiyelinin çok iyi durumda olduğunu göstermektedir. Şekil 2.4’te verilmiş olan Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasına bakıldığında güneş enerjisinin ülkemizin enerji üretimi bakımından ön planda yer aldığı sonucu çıkarılabilir. Bu duruma göre ileride fosil yakıtların azalması durumunda güneş enerjisinin üretim bakımından diğer kaynaklara oranla daha etkili olduğu için güneş enerjisine verilen önem artacaktır. Bu gelişmeler hem enerji ithalatının azaltılması hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlamaktadır.

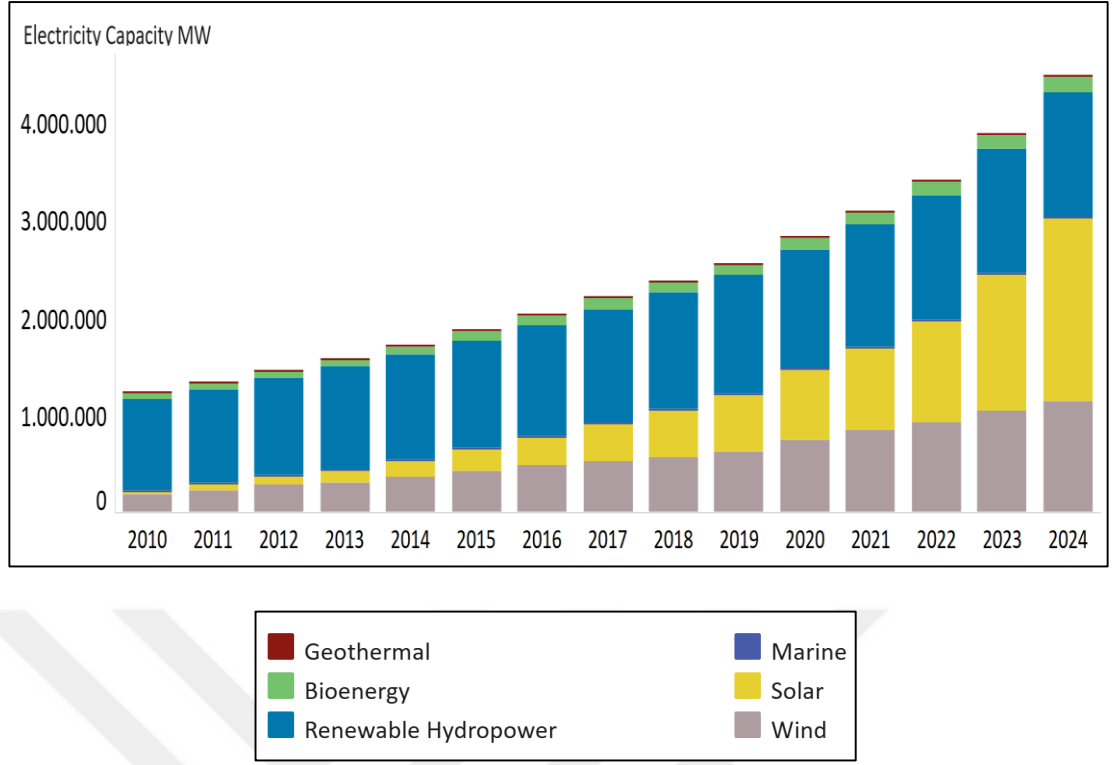
Aynı zamanda enerji sektöründeki istihdamı artırma ve yerli üretim teknolojilerinin geliştirilmesi açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır.



Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (URL-2).

Günümüzde yaygın kullanılmakta olan fosil yakıtlı santrallerin yaklaşan gelecekte fosil yakıtlarının tükenmesi veya azalması durumuna bağlı olarak yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakacaktır. Bu durum ülkemizi yeni planlamalara yöneltmiştir. 2035 yılı için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yeni bir yol haritası planlamıştır. Bu planlamaya göre 2035 yılında rüzgâr ve güneş enerjisinden ortalama 120.000 MW'lık Kurulu güce ulaşmayı hedeflemektedir (URL-8). 2023 yılı itibariyle Türkiye'nin Kurulu gücü 58.462 MW olduğu düşünülürse 2035 yılında mevcudun 2 katı kadar GES yapılması planlanmaktadır. Bu gelişme ülkemizin kalkınma planlaması açısından önem arz etmektedir. Yenilenebilir ve sürekli enerji kaynaklarına yönelim ekonomik olarak daha az maliyetli ve sürekli enerji üretimi sağlayacaktır. Bu bağlamda enerji üretiminde sağlanacak teşvik ile birlikte yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde kurulum için ödenecek tutar minimuma indirgenmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi kolaylaştırmaktadır.

Dünyada genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlanması son yıllarda çok daha fazla öneme sahip olmuştur. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın kurulu güç istatistikleri Şekil 2.5'te verilmiştir. Grafikte sarı renk güneş enerjisini temsil etmektedir. Grafiğe bakacak olursak son yıllarda güneş enerji santralleri kurulu gücünün dikkate değer bir artış gösterdiği görülmektedir. Aynı kurumun istatistiklerinde Çin, ABD ve Brezilya gibi enerji sistemlerine büyük ölçüde bütçe ayıran büyük nüfuslu devletlerde yer almasına rağmen Türkiye 58.462 MW'lık güneş enerji üretimi ile 11. sırada yer alarak son yıllarda üst sıralara çıkmıştır.



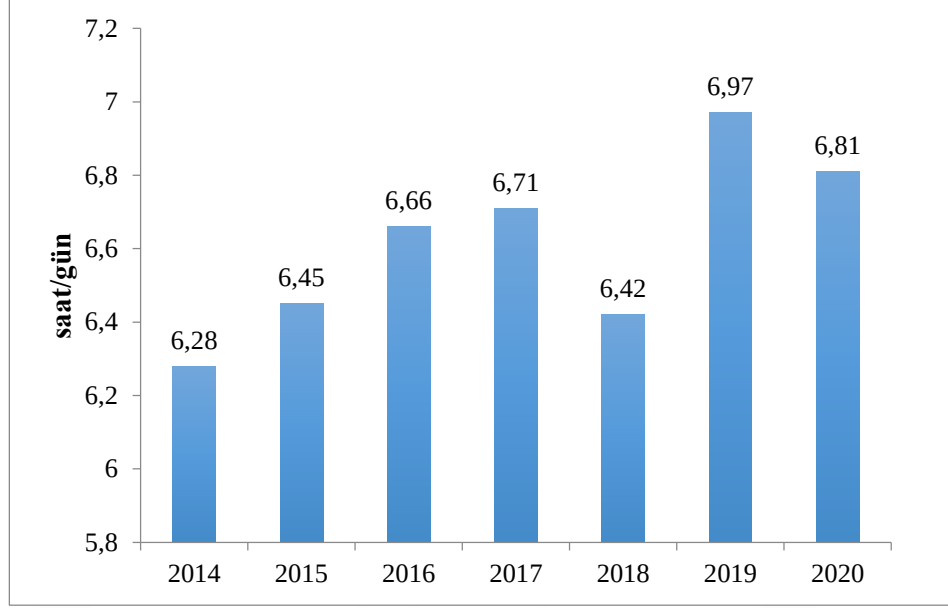
Şekil 2.5. Yıllara göre dünyadaki yenilenebilir enerji (URL-9).

Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu verileri, güneş enerjisi sistemlerinin kurulması gereken öncelikli bölgelerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Güneş enerji santrallerinden istenilen verimi alabilmek için yüksek güneşlenme süresi ve radyasyon değerlerine sahip bölgeler tercih edilmelidir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi Türkiye'nin güneşlenme süreleri verilmiştir. Kırmızı renkte olan iller güneş enerji santralleri kurulumu için en uygun kategoriye alabileceğimiz illerimizdir. Ülkemizin güneş enerjisi kullanılarak üretilmesi planlanan elektrik üretimi için kırmızı bölgede yer alan illerimize öncelik ve teşvik desteği sağlanmalıdır. Güneş ışığından faydalanılarak üretilmiş olan elektriği güneş ışınlarından faydalanamadığımız saatlerde de kullanabilmek için bu elektriğin depolanması gerekmektedir. Genel olarak lityum piller veya akü gibi enerji depolama araçları bu iş için uygundur.

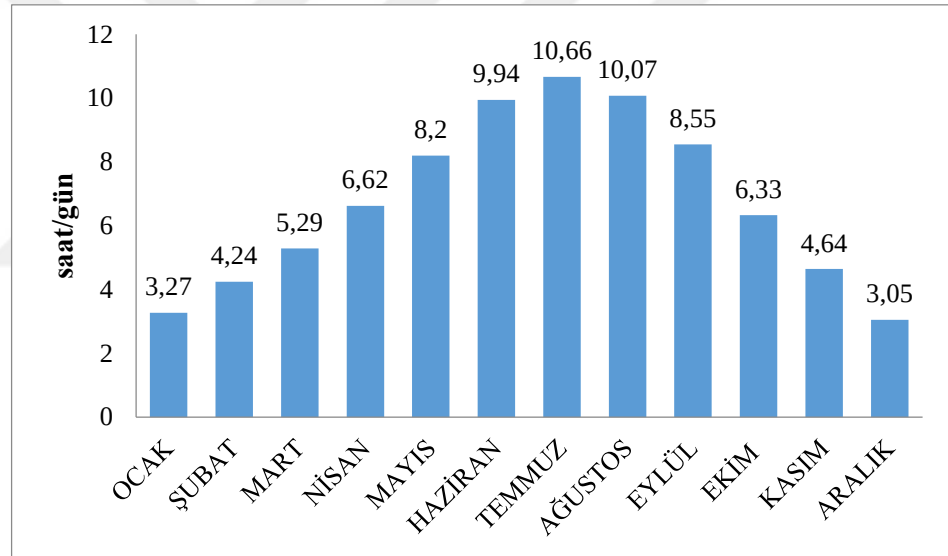


Şekil 2.6. Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi (URL-10).

Türkiye'nin 2014 ile 2020 arasındaki 6 yıllık dönemi kapsayan yıllık ortalama güneşlenme süresi Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü üzere yıllık ortalama güneşlenme süresi 6,28 ile 6,97 saat arasında değişmektedir. Bu veriler Türkiye'de güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin çok mantıklı olduğuna işaret etmektedir. Şekil 2.8'de ise Türkiye genelinde aylık ortalama güneşlenme süresi verilmiş olup en çok verim alınabilecek ayın temmuz ayı olduğu görülmektedir. Yaz aylarında tarımsal sulama için kullanılacak enerji miktarı çok fazla artmaktadır. Ayrıca klima kullanımı yaz aylarında çok fazlalaşmaktadır. İlaveten Türkiye nüfusu yazın gerek yurtdışından gelen gurbetçiler gerek turizm potansiyelinin yüksek olması nedeniyle gelen turistler nedeniyle oldukça artmaktadır. Dolayısı ile artan enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması çok mantıklı olacaktır. Yaz aylarında güneş ışınlarından alınabilecek verim oldukça yüksek olduğu için bu aylarda üretilen enerjinin depolanması ve güneş ışınları veriminin düştüğü saatlerde kullanılabilmesi çok fazla önem arz etmektedir.



Şekil 2.7. Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün) (URL-10).



Şekil 2.8. Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün) (URL-10).

2.6 Güneş Enerjisi Değerlendirilmesi

Sanayi, tarım, ulaştırma sektörleri ile yapıların enerjiye duyduğu ihtiyaç, günümüzde oldukça yüksek seviyelerdedir. Genel olarak ülkemizde enerji üretimi fosil yakıtlı santraller tarafından üretilmektedir. Fosil yakıtlı santraller enerji üretimi sırasında çevreye çok fazla zarar vermektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak hem çevreye verilen zararı minimuma indirmek hem de sürekli bir enerji kaynağını kullanmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Bunlarla birlikte alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmak için

sağlanan teşvik ve destekler bu bağlamda yönelimi oldukça artırmaktadır. Güneş enerji sistemleri sadece elektrik üretiminde değil farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Bunların başlıca örnekleri; sıcak su üretimi, buhar üretimi ve saf su üretimi gibi önemli noktalarda da güneş enerji sisteminden faydalanılmaktadır.

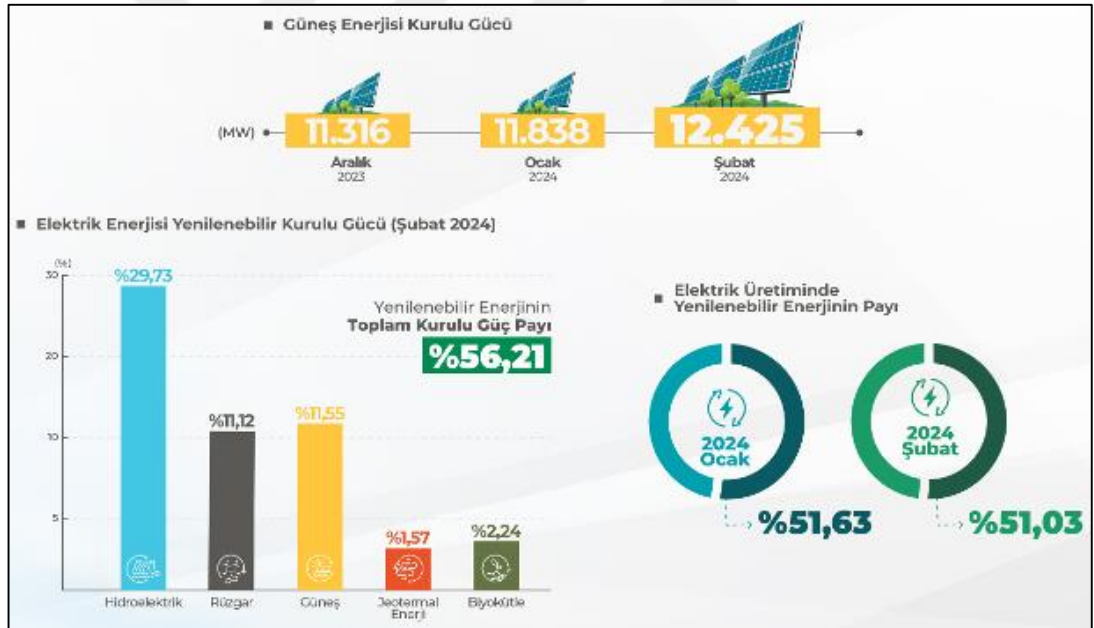
Ülkemiz ciddi oranlarda yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının da ön planda yer almaktadır. Bu kaynaklar arasında özellikle rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi genel olarak temizliği, yenilenebilir olması ve çevreye duyarlı bir üretim biçimi olması nedeniyle diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla daha ön planda yer almaktadır. Bunların yanı sıra güneş enerjisinin yalnızca güneşlenme süresince üretilebilmesi, elde edilen enerjinin depolanmasını ve ihtiyaç halinde kullanılmak üzere saklanması zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde sanayileşme ve nüfus artışının artması sonucu enerji üretimi ve enerji tüketimi arasında ki fark ileriki yıllarda hızla artacaktır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda üretilen enerjinin depolanması da üretmek kadar önem arz etmektedir. Bunlarla birlikte güneş enerjisi kullanım alanı oldukça geniştir, ekonomik olarak diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla daha uygundur, sistemin kapasitesi ihtiyaç durumuna göre ayarlanabilmektedir ve sistem modüllerinden biri bozulsa bile diğerleri enerji üretebilir.

Güneş enerjisi üretiminde, birim yüzeye düşen güneş ışığı miktarının düşük olması nedeniyle geniş yüzey alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş ışıınımı sabit ve sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Özellikle enerji talebinin yüksek olduğu kış aylarında güneş ışıınımı az olmakta, ayrıca geceleri güneş ışıınımı hiç bulunmamaktadır. Güneş enerjisinden yararlanan birçok sistemin ilk yatırım maliyetleri yüksek olup, henüz tam anlamıyla ekonomik olmamaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin verimli çalışabilmesi için çevresinin açık olması ve gölgelenmenin önlenmesi gerekmektedir. Bütün bunlarla birlikte güneş ışıınımından yararlanan birçok sistem yüksek ilk yatırım maliyetleri nedeniyle uzun geri dönüş sürelerine sahiptir. Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir. Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışıınımı az, geceleri ise hiç yoktur. Güneş enerji santrali kurulurken arazi şartları, güneş ışıınlarının hangi açı ile geldiği kurulumu yapılan bölgeye hangi panel türünün

kullanılması gerektiğini de hesaplamamız gerekmektedir. Bu şartların sağlanması enerji verimini yüksek tutmaktadır.

2.6.1 Güneş enerjisinden istifade

Şekil 2.9'da gösterildiği gibi Şubat 2024 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'deki toplam elektrik üretimindeki payı göstermektedir. Hidroelektrik enerji %29,73 ile en yüksek paya sahipken, rüzgâr enerjisi %11,12 ve güneş enerjisi %11,55 oranında katkı sağlamaktadır. Jeotermal ve biokütle enerjileri ise sırasıyla %1,57 ve %2,24 oranlarıyla daha sınırlı katkı sunmaktadır. Bu bilgiler kapsamında Türkiye elektrik üretiminde %56,21 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaktadır. Bu durum doğrultusunda çevresel sürdürülebilirlik bakımından olumlu yönde gelişmeler olduğu ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması bakımından stratejik önem taşımaktadır.



Şekil 2.9. Elektrik enerjisi yenilenebilir kurulu gücü (URL-11).

Güneş enerjisinin termal uygulamaları; sıcak su ve buhar üretimi, sera ısıtması, kapalı alanların ısıtılması ve soğutulması, yüzme havuzlarının ısıtılması, saf suyun elde edilmesi, buz üretimi ve tuz üretimi gibi çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.

2.7 Güneş Enerji Santrali İçin Arazi Seçimi

Güneş enerji santrallerinin konumlandırılması, hem kurulum ve işletme aşamalarını hem de elektrik üretim maliyetlerini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Yer seçimi sürecinde santralin verimliliği, yürürlükteki yasal düzenlemeler ve çevresel etkiler öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, ilgili yasa ve yönetmeliklerdeki kısıtlayıcı hükümler ile teşvik mekanizmalarının analiz edilmesi de gerekmektedir (Şenlik, 2017).

Bu kapsamda arazi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken temel kriterler şu şekilde sıralanabilir:

- Arazinin eğiminin güneye dönük ve düşük açılı olması,
- Arazinin fiziksel ve jeoteknik özelliklerinin kurulum için elverişli olması,
- DSİ sulama programı kapsamında yer almaması,
- Maden sahası veya koruma altındaki bir bölge statüsünde olmaması,
- Tarım dışı arazi vasfına sahip olması,
- Toprak yapısının zemin taşıma kapasitesi açısından uygun olması,
- Çevresinde gölgelenmeye neden olabilecek yapı, bitki örtüsü veya topoğrafik engellerin bulunmaması,
- Elektrik dağıtım şebekesine olan yakınlığı,

Bu faktörler, hem yatırımın sürdürülebilirliği hem de izin süreçlerinin hızlandırılması açısından belirleyici rol oynamaktadır.

2.8 Konum Analizi

GES'ler konumlandırılırken güneş ışınlarını alma açıları vb. gibi birçok parametre oldukça önemlidir. Bu nedenle aşağıda sıralanan parametreler dikkate alınarak konum seçimi yapılması GES'in verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bunlar;

- Arazide gölgeleme yapabilecek herhangi bir cismin bulunup bulunmadığı değerlendirilmelidir.
- Arazinin ön zemin etüdü yapılmalıdır.

- Arazinin çevresindeki yapılar, toz veya kirlenmeye yol açıp açmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Elektrik altyapısının uygunluğu araştırılmalıdır.
- Bölgenin iklim ve hava koşullarının güneş enerjisi üretimine elverişli olup olmadığı analiz edilmelidir.

2.9 Güneş Enerji Santrali Kurulumu İçin Yasal Süreç ve Gerekli İzinler

GES kurulumu sürecinde, arazi seçiminin ardından gerekli yasal izinlerin alınması zorunludur. Bu yasal süreç, başvuru tarihinden itibaren yaklaşık 6 ay sürebilmektedir. Tarım dışı arazi kullanımı, çevresel etki değerlendirme (ÇED) muafiyet belgesi veya ÇED raporu, başlıca istenen belgelerdir. Sürecin işleyişi aşağıdaki adımları içermektedir:

- Elektrik Dağıtım Şirketine Başvuru ve Çağrı Mektubunun Alınması: GES kurulacak alanın bağlantı noktası belirlenerek ilgili Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye başvuru yapılır ve uygunluk halinde çağrı mektubu düzenlenir.
- TEDAŞ Proje Onayı ve Bağlantı Anlaşması: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ), sunulan projeyi teknik açıdan inceleyip onayladıktan sonra Elektrik Dağıtım A.Ş. ile bağlantı anlaşması yapılır.
- TEDAŞ Geçici Kabulü ve Sistem Kullanım Anlaşması: Santral kurulumu tamamlandığında TEDAŞ tarafından geçici kabul işlemi yapılır. Akabinde, sistemin şebekeye entegrasyonu için Elektrik Dağıtım A.Ş. ile sistem kullanım anlaşması imzalanır.

Bu belgelerin tamamlanmasıyla birlikte, yatırımcı bağlantı anlaşmasını imzalayarak sahada fiziki kurulum çalışmalarına geçebilir. Yasal süreçlerin titizlikle yürütülmesi, santral işletmeye alındıktan sonra yaşanabilecek olası hukuki ve teknik sorunların önüne geçmek açısından büyük önem taşımaktadır (Büyükzeren vd., 2015).

2.10 Güneş Enerji Santrali Kurulum Aşamaları

GES kurulumu sürecine ilişkin adımlar, aşağıda örnek görseller eşliğinde sunulmuştur.

Fotovoltaik (PV) panel, güneş ışığını doğrudan doğru akıma dönüştüren yarı iletken malzemelerden oluşan PV hücrelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir enerji

dönüştürme birimidir. Şekil 2.10’da bir fotovoltaiik panel, Şekil 2.11’de arazi tipi tek eğimli bir GES projesi ve Şekil 2.12’de ise araziye kurulumu devam eden çift eğimli bir GES sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Fotovoltaiik panel.



Şekil 2.11. Arazi üzerine kurulumu gerçekleşmekte olan tek eğimli GES.



Şekil 2.12. Arazi üzerine kurulumu gerçekleştirilmekte olan çift eğimli GES.

İnvertör (evirici), fotovoltaik paneller tarafından üretilen doğru akım (DC) elektriğini, şebeke elektriği ile uyumlu olan alternatif akıma (AC) çeviren elektronik bir cihazdır. Şekil 2.13’te bir invertör örneği verilmiştir.



Şekil 2.13. İnvertör.

Panel taşıyıcı sistemleri, güneş enerji santrallerinde arazi tipi ve çatı tipi olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu sistemler, genellikle galvanizli çelik veya alüminyum malzemeden üretilmiş taşıyıcı profiller ve montaj aparatlarından oluşmaktadır. Şekil

2.14'te arazi tipi çift eğimli bir GES konstrüksiyon sisteminin montajı, Şekil 2.15'te ise yine arazi tipi fakat tek eğimli bir GES konstrüksiyon sisteminin montajı örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Çift eğimli GES taşıyıcı konstrüksiyon sitemi.



Şekil 2.15. Tek eğimli GES taşıyıcı konstrüksiyon sitemi.

Elektrik Panosu: Kısa devre, şebeke dalgalanmaları ve aşırı gerilim gibi olumsuz koşullarda meydana gelebilecek zararları minimize ederek, GES'in en doğru şekilde

trafoya entegrasyonunu gerçekleřtirir. şekil 2.16’da elektrik panosu rneęi gösterilmiştir.



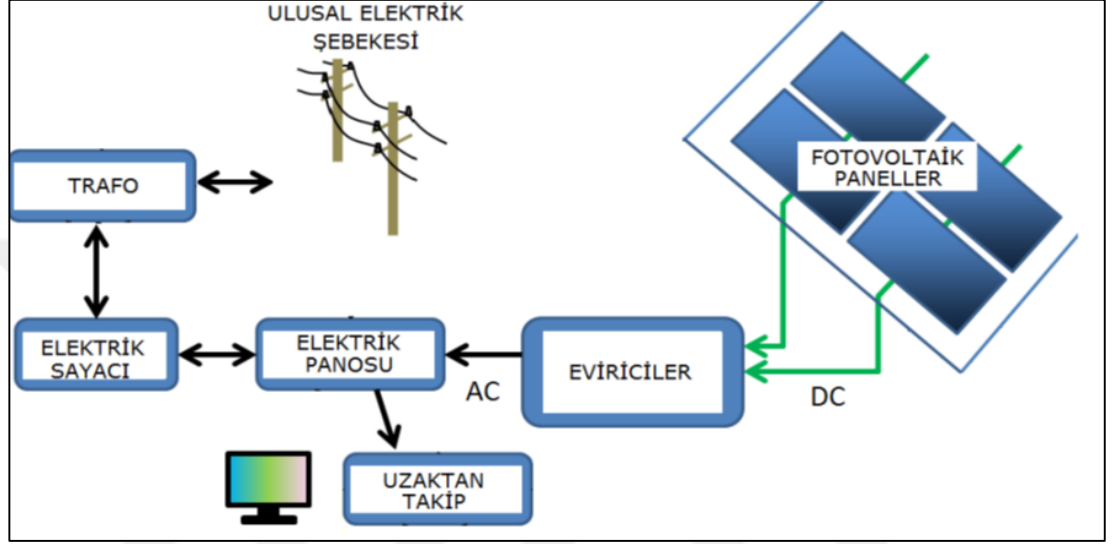
şekil 2.16. Elektrik panosu.

Trafo (beton köşk), invertrden gelen alternatif gerilimli elektrik enerjisini, ulusal şebeke hattının orta gerilim seviyelerine dönüştürmek amacıyla kullanılan cihazdır. şekil 2.17’de ise bir trafo rneęi gösterilmektedir.



şekil 2.17. Trafo.

Şekil 2.18’de belirtilen GES kurulum aşamasında, öncelikle arazi belirlenir ve çevresi güvenlik amacıyla kapatılır. Daha sonra çelik konstrüksiyon sistem montajı gerçekleştirilir ve üzerine fotovoltaik paneller monte edilir. İnvertörler yerlerine konumlandırılır ve alternatif akım bağlantıları yapılır. Bütün orta gerilim ve trafo bağlantıları yapılır. Son olarak ise tüm yapılan işlemler hata olmaması adına kontrol edilir ve kurulum tamamlanmış olur.



Şekil 2.18. Güneş enerji santrali kurulum planı (URL-12).

3. KAR YÜKÜ

3.1 Kar Yüğü Kaynaklı Hasar Nedenleri

GES tesislerine etkiyen kar yüğü kaynaklı hasarların araştırılması, yapı mühendisliğı ve enerji üretim tesislerinin güvenliğı açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu tür değerlendirme çalışmaları, güneş enerjisi santrallerinin maruz kaldığı kar yüğü etkisinin, tesisin yapısal bütünlüğü üzerindeki etkilerini inceleyerek, tasarım ve yapım yönetmeliklerinin uygunluklarını test etme ve güncelleme imkânı sağlar. Kar yüğü, güneş panelleri ve dolayısıyla çelik konstrüksiyon taşıyıcı sisteminde belirli bir ağırlık birikimine neden olabilir ve bu durum, GES sehpalarının hasar almasına hatta göçmesine neden olabilir. Bu tür hasarların nedenleri belirlenerek, GES tesislerinde benzer hataların tekrarlanmaması önlenabilir, yapısal güvenlik artırılabilir ve kar yüğü kaynaklı hasarın yol açabileceğı üretim kayıpları en aza indirilebilir. Aşağıda kar yüğü kaynaklı hasar nedenleri maddeler halinde verilmiştir.

3.1.1 Yanlış zemin kar yüğü değeri

Bilindiğı üzere bir bölgede yağan kar genellikle o bölgeye en yakın meteoroloji istasyonları tarafından kayıt altında tutulmaktadır. Dolayısı ile GES taşıyıcı sistemine etkiyecek kar yüklerinin hesaplamasında kullanılacak kar verileri çoğunlukla bu istasyonlardan alınmaktadır. Meteoroloji istasyonlarının bir kısmında son 50 yıllık kar su eşdeğeri ve kar derinliğı ölçülürken, bir kısmında ise sadece kar derinliğı ölçülmüştür. Özellikle kar derinliğı ölçümü yapan istasyonlardan elde edilen zemin kar yüğü değeri beklemiş karın yoğunluk değeriindeki değişkenliklerden dolayı gerçeğe en yakın şekilde tespit edilemeyebilir. Ayrıca, meteoroloji istasyonlarının il ve ilçe merkezlerinde bulunması nedeniyle rakım olarak istasyonun bulunduğu yerden yüksek yerlerdeki zemin kar yükleri nispeten daha fazla olması gerekirken, meteoroloji istasyonlarının bulunduğu yere göre değerler veren zemin kar yüğü haritaları bu açıdan yetersiz kalmaktadır. Bunların da ötesinde her ilçe merkezinde kar ölçümü yapan istasyon bulunmamaktadır. Bulunsa bile bir zemin kar yükünü tespit edebilmek maksadıyla istatistiksel analiz yapmak için yeteri kadar veri elde edilememiştir. Mesela istasyonda 15 yıllık kar derinliğı verisi var ise istatistiksel anlamda çok güvenilir sonuçlar vermeyebilir. Dolayısı ile istasyon olmayan ilçe merkezlerindeki veya rakımı göreceli olarak daha yüksek yerlerdeki kar yükünü bir

takım bilimsel tahmin yöntemleri ile tahmin etmek gerekmektedir. Ama mevcut kar yükü standartlarımızda kar yükü verisi olmayan yerlerdeki kar yükü değerleri, en yakın meteoroloji istasyonunun bulunduğu merkezdeki kar yükü değerlerine uydurulmuştur. Bir diğer problem, karın türüne göre (kuru kar, yaş kar, yağmurla doymuş kar vb.) yoğunluk farklılıklarının dikkate alınmamasıdır. Yağmurla doymuş hale gelen kar örtüsünün yoğunluğu kuru kara göre iki kat fazla olabilir. Bu fark, kar yükü hesabında göz ardı edilirse ciddi taşıyıcı sistem hataları doğabilir. Bununla birlikte Türkiye’de yapılan birçok çalışmada güncel standartlarda önerilen kar yüklerinin yeterli doğrulukta değerler önermediği ifade edilmektedir (Durmaz ve Daloğlu, 2005; Firat, 2009; Firat ve Yucemen, 2014; Yalçın, 2020).

3.1.2 Yetersiz yapısal tasarım

Tasarım sırasında kullanılan kar yükü hesaplama formülasyonu ve yöntemi yetersiz ise ya da bölgesel meteorolojik verilerle uyumlu değilse yapı yetersiz tasarlanmış olur. GES taşıyıcı sistemine ait kolon, kiriş, aşıklar ve çapraz elemanlarının kesitlerinin kar yükünü karşılayacak şekilde boyutlandırılmaması durumunda, yükleme altında aşırı sehim, burkulma veya kopma gerçekleşebilir. GES tesislerinde bir diğer önemli parametre ise bağlantı elemanlarıdır. Taşıyıcı sistemin taşıma kapasitesi, bağlantı noktalarındaki dayanıma büyük ölçüde bağlıdır. Bağlantı noktalarında oluşabilecek zayıflıklar veya hatalı uygulamalar, taşıyıcı sistemin yükleri doğru şekilde aktaramamasına neden olabilir. Ayrıca, termal genleşme ve büzülme etkilerinin tasarımı dikkate alınmaması, özellikle sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde ciddi yapısal sorunlara yol açabilmektedir. Farklı sıcaklık koşullarında taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları değişebilir; bu durum, sistem içerisinde gerilme farklarının artmasına ve bazı elemanlarda öngörülmeyen hasarlara neden olabilir. Öte yandan, son yıllarda birçok GES tesisinde taşıyıcı sistem elemanları hafif çelikten imal edilmektedir. Ancak, hafif çelik yapı standartlarında sunulan formüllerin güvenilirliği konusunda yeterli sayıda bilimsel çalışma henüz yapılmamıştır.

3.1.3 Yapım ve malzeme hataları

Genel anlamda GES taşıyıcı sistemlerinde düşük kalitede çelik veya standart dışı bağlantı elemanları kullanıldığında, teorik tasarım yeterli olsa bile yapı pratikte başarısız olur. GES taşıyıcı sistem kolonlarının yanlış hizalanması, bu kolonların

projede belirtilen derinliklerde zemine gömülmemesi, bulon bağlantılarının eksik ya da gevşek bırakılması, kaynak işlemlerinin yetersiz yapılması önemli hasarlara neden olabilir. GES tesisinin yapım aşamasında şantiye denetimine yeterince özen gösterilmemesi, projeye aykırı malzeme ve özensiz işçilik gibi etkenler ciddi sorunlar doğurmuştur.

3.1.4 Taşıyıcı sistem kolon problemleri

GES tesisi çok geniş bir alana yayılmakta ve taşıyıcı sistem kolonları genellikle zemine gömülmektedir. Geniş alanlarda da zeminin her yerde aynı özellik göstermesi beklenemez. Fakat projelerde kolon gömülü boyu genelde aynı olmaktadır. Bu durum özellikle ilave kar yüklerinin gelmesi durumunda önemli bir problemdir. Gömülü çelik kolonlar, yeraltı suyu veya yağın kar ve yağmur suları nedeniyle oluşan yeraltı neminden dolayı her ne kadar galvanizli olsalar da belli bir zaman sonra paslanacaklardır. Aynı zamanda asidik toprak, denize yakın yerlerdeki tuzlu su, özellikle bazı zeminlerin içerisindeki belli kimyasal bileşenlerle temas korozyonu hızlandırmaktadır. Bunun yanında kar suyu nedeniyle kolonların oturduğu zemin zamanla sıkışarak oturabilir veya farklı oturmalar taşıyıcı sistemin bütününde yapısal bozulmalara ve ilave gerilmelere yol açabilir. Özellikle içerisinde organik madde bulunan zeminler zamanla oturacaktır. Hava sıcaklığının sıfırın altına düştüğü yerlerde, zemin içerisindeki su veya nem donduğu zaman hacmi artacak kolonun zemin yüzeyine doğru hareket etmesine neden olabilecektir. Zemin içerisinde bulunan klorür ve sülfatlar gibi kimyasallar galvanizli hafif çelik veya normal çelik kolonlarda paslanmaya ilaveten profil et kalınlığının da azalmasına neden olabilir.

3.1.5 Bakım ve temizlik

Kış aylarında GES panelleri üzerinde biriken kar ve buz kütleleri, zamanla dikkate değer ağırlıklara ulaşabilir. Eğer taşıyıcı sistem bu ek yükü göz ardı edecek şekilde tasarlandıysa ya da yük dengeli olarak dağılmamışsa, taşıyıcı sistem hasar riski artar. Düzenli bakım ve kar temizliği, sadece mevcut GES taşıyıcı sisteminin korunması için değil, aynı zamanda panellerin kendisinin güvenliği açısından da kritik öneme sahiptir. Zira çözülüp donma olayları yaşandıkça panel yüzeyi zarar görecektir. Ayrıca temizlenmeyen kar güneş ışınlarının fotovoltaiik panele ulaşmasını engeller. Bu

nedenle kar yüzünden bloke edilmiş fotovoltaiik panelde önemli oranda üretim miktarında azalma görülür veya panel tamamen enerji üretmez.

3.2 Kar Yüğü Hesabında Kullanılan Standartlar

Bu bölümde yapılar tasarlanırken kar yükünün hesabında kullanılması muhtemel yük standartları incelenmiştir. İlk olarak TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değeri) standardının 1997 yılındaki baskısında ne tür kriterlerin dikkate alındığı anlatılmıştır. TS 498-1997 standardındaki il ve ilçe merkezlerine göre önerilen zemin kar yükü değeri 2021 yılında revize edilerek TS 498-2021 standardı yayımlanmıştır. Bu bölümde TS 498 standardının 1997 ve 2021 yılındaki baskıları karşılaştırılmıştır.

Avrupa Birliği Ülkelerinde kullanılan kar yükü standardı EN 1991-1-3 (Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yüğüleri (Eurocode 1)) incelenmiştir. Bilindiğı üzere Türkiye, özellikle yapı malzemeleri ve teknik tasarım konusunda Avrupa normlarına uyum sağlamak maksadıyla Avrupa standartlarını aynen kabul etmiştir. Mesela EN 1991-1-3 standardı, İngiltere’de BS EN 1991-1-3 iken Türkiye’de TS EN 1991-1-3 olarak Türkçeleştirilmiş ve yayımlanmıştır. EN 1991-1-3 standardın en sonunda her ülkenin kendisine göre düzenlediğı Milli Ek’ler konulabilmektedir. Aslında bir Euro Norm olan TS EN 1991-1-3 standardının sonunda da Milli Ek olarak Türkiye’de kullanılacak kar haritası, bölgelere ve yüksekliğe bağılı olarak alınması gereken zemin kar yüğüleri ve il ve ilçelere göre kar yükü bölgeleri eklenmiştir. Fakat bu eklenen parametreler tamamen TS 498-1997 standardından olduğu gibi alınmıştır. Yukarıdaki paragrafta ifade edildiğı gibi 2021 yılında TS 498-1997 revize edilmiştir. Buna rağmen TS EN 1991-1-3’teki zemin kar yükü değeri 1997 yılı basımı olan TS 498 ile aynı kalmıştır. Bu da hangi standart öncelikli tartışmasıyla beraber inşaat mühendisleri arasında uzunca bir süre kafa karışıklığına neden olmuştur. Mart 2025’te TS EN 1991-1-3 standardı güncellenmiş ve Türkiye Kar Yüğü Haritası kaldırılmıştır. TS 498-2021’de tanımlanan zemin kar yükü değeri bu standarda eklenmemiştir. TS EN 1991-1-3 standardının Milli Ek’ler kısmına en güncel Kar Yüğü Haritasının eklenmesi gerekmektedir.

Ayrıca bu bölümde ASCE 7-22 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures) standardı da konu edilmiştir. Yapıların güvenli ve

dayanıklı olmasını sağlamak için karşılaşılabilecekleri doğal ve yapay yükleri (örneğin rüzgâr, deprem, kar, ölü yük, su basıncı vb.) belirlemek maksadıyla bu standart yayımlanmıştır. International Building Code bu standardı referans alır. ASCE 7-22 standardı birçok NATO binaları, ABD üsleri, uluslararası ticari binalar gibi birçok uluslararası yapıda zorunlu olabilir.

Son olarak, Kanada da kullanılan NBCC 2020 (National Building Code of Canada 2020) kodu bir kıyaslama yapabilmek için incelenmiştir. Yapılarda uygulanması gereken tüm yük türleri ve yük kombinasyonları bu kodda tanımlanmıştır.

3.3 TS 498-1997

TS 498-1997, Türkiye’de yapıların kar yüklerine karşı güvenliğini sağlamak amacıyla belirlenmiş standartlardan biri olup, kar yüklerinin belirlenmesinde temel kar yükü, çatı geometrisi, eğim, termal durum ve diğer etkenlerin sistematik olarak değerlendirilmesini öngörür. Bu standart 2021 yılında revize edilmiştir (TS 498, 1997).

3.3.1 Kar yükü hesap değeri (P_k)

Kar yükü hesap değerine (P_k) ilişkin olarak dikkate alınacak yükler, ilgili bölgenin kar yağış oranlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kar yükü (P_{k0}), hareketli yükler kapsamında değerlendirilmekte olup, bu yükün büyüklüğü başta coğrafi ve meteorolojik koşullar olmak üzere çeşitli çevresel etkenlere bağlıdır. TS 498-1997 standardında belirtilen kar yükü değerleri asgari düzeyde olup, yapının kullanım amacı, önem derecesi ve güvenlik gerekçeleri doğrultusunda, tasarımı gerçekleştirecek olan mühendis tarafından daha yüksek değerler alınabilir.

Tasarımı yapılacak çatının eğiminin (α) 30° ’den küçük olması durumunda, kar yükü hesap değeri (P_k), zati kar yükü (P_{k0}) değerine eşit kabul edilmekte ve bu yük, çatı alanının plandaki izdüşümüne düzgün yayılı yük olarak uygulanmaktadır. Eğimi yatayla α açısı yapan ve kar tutucular gibi kar kaymasını engelleyici unsurların bulunmadığı çatı sistemlerinde ise kar yükü hesap değeri Denklem 3.1 aracılığıyla belirlenmektedir. Bu hesaplamada kullanılan m katsayısı, Çizelge 3.1’den temin edilmektedir.

$$P_k = m \times P_{k0}, m = 1 - (\alpha - 30^\circ)/(40^\circ), (\text{geçerlilik sınırı } 0 \leq m \leq 1) \quad (3.1)$$

Burada;

- P_k : Kar yükü hesap değeri (kN/m²)
- m : Kar yükü azaltma değeri
- P_{k0} : Zati kar yükü (kN/m²)
- α : Çatı örtüsünün eğimi (derece)'dir.

Çizelge 3.1. Çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m) (TS 498-1997).

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0-30°	1,0									
30°	1,00	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
40°	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,52
50°	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27
60°	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,02
70° - 90°	0									

3.3.2 Zati kar yükü (P_{k0})

Zati kar yükü (P_{k0}) değeri, Şekil 3.2’de sunulan kar yağış yüksekliğine göre düzenlenmiş haritada yer alan bölge numaraları esas alınarak, Çizelge 3.2’den temin edilmektedir. Standart dışı, özel olarak tasarlanmış çatı sistemleri için kar yükü hesap değeri (P_k), yapıya özgü olarak gerçekleştirilecek deneysel kar yükü dağılımı analizleri sonucunda belirlenmelidir. Belirtilenlerin dışında kalan ve farklı iklimsel veya topoğrafik özellikler gösteren bölgelerde ise, yerel kar yağış süresi, deniz seviyesinden yükseklik (rakım) gibi parametreler göz önünde bulundurularak, Şekil 3.1’deki zati kar yükü değerleri meteorolojik verilerle desteklenmek suretiyle yükseltilmelidir. Kar yağmayan bölgelerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.

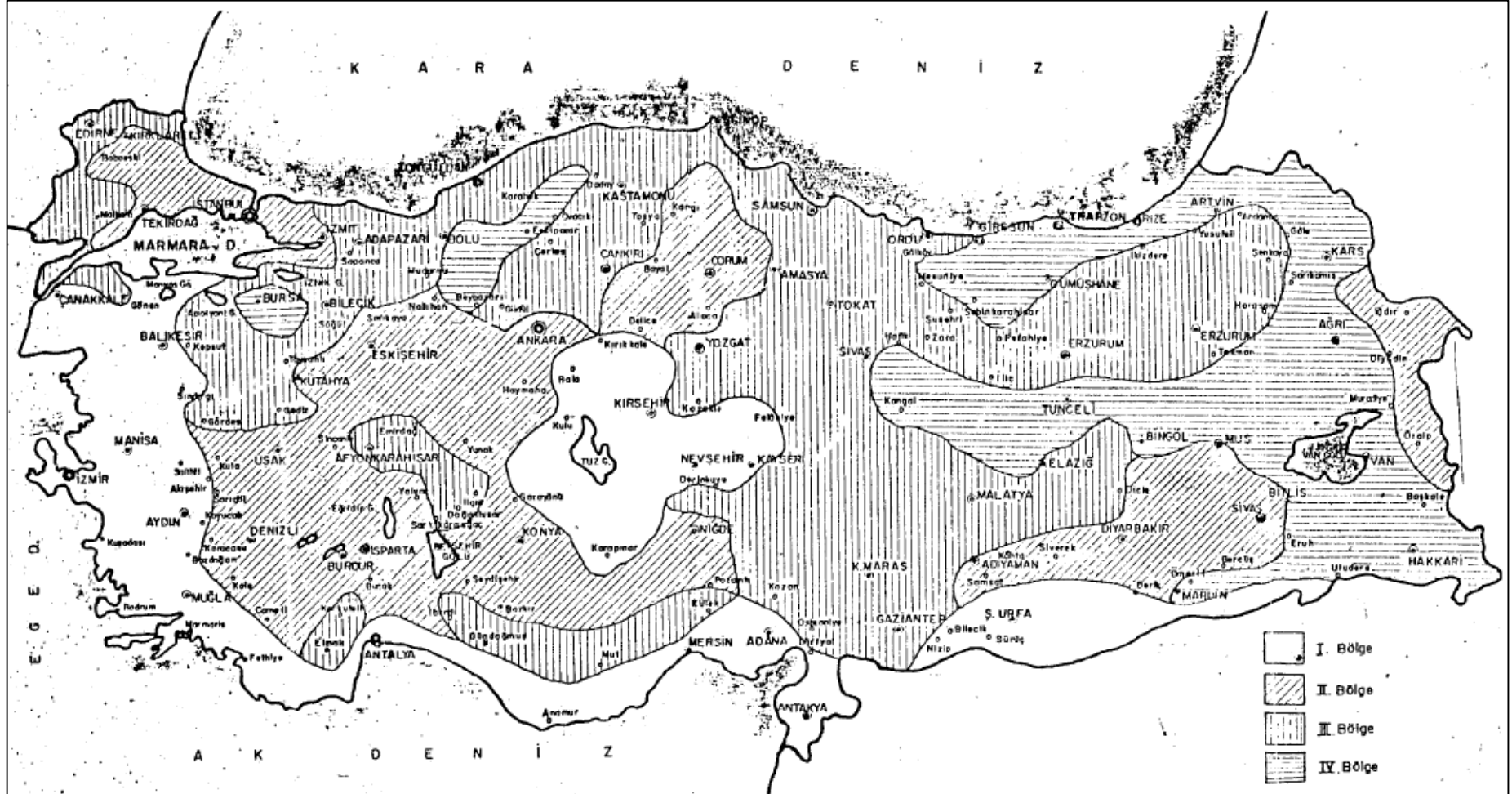
Çizelge 3.2. Zati kar yükü (P_{ko}) değerleri kN/m^2 (TS 498-1997).

Yapı yerinin denizden yüksekliği	Bölgeler			
	1	II	III	IV
m				
200	0,75	0,75	0,75	0,75
300	0,75	0,75	0,75	0,80
400	0,75	0,75	0,75	0,80
500	0,75	0,75	0,75	0,85
600	0,75	0,75	0,80	0,90
700	0,75	0,75	0,85	0,95
800	0,80	0,85	1,25	1,40
900	0,80	0,95	1,30	1,50
1000	0,80	1,05	1,35	1,60
>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.			

Bu tez çalışmasında tasarımı gerçekleştirilen yapının konumu, Türkiye’de Aksaray ili Merkez ilçesi olarak esas alınmış olup ve tüm ilgili yönetmelikler kapsamında yapılan analizlerde bu lokasyon sabit kabul edilmiştir. Aksaray ili, deniz seviyesinden 978 m yükseklikte yer almakta olup, TS 498-1997 standardına göre 1. derece zati kar yükü bölgesinde sınıflandırılmaktadır.

İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.	İL/İLÇE	BÖLGE NO.
Ermenek	II	<u>MARDİN</u>	II	Ünye	III
Hadım	II	Cizre	I	<u>RİZE</u>	IV
İlgın	II	Derbesiye	I	Ardeşen	IV
Kadınhanı	II	Derik	I	Çamlıhemşin	IV
Karaman	II	Gercüş	II	Çayeli	IV
Karapınar	I	Hasankeyf	II	Fındıklı	IV
Kulu	I	İdil	I	İkizdere	III
Sarayönü	II	Kızıltepe	I	Pazar	IV
Seydişehir	II	Mazıdağı	I	<u>SAMSUN</u>	III
Yunak	II	Midyat	IV	Alaçam	III
Zivari	I	Nusaybin	I	Bafra	III
<u>KÜTAHYA</u>	III	Ömerli	IV	Çarşamba	III
Altıntaş	II	Savur	II	Havza	II
Dağardı	III	Silopi	I	Kavak	III
Domanıç	III	<u>MUĞLA</u>	I	Ladik	III
Dumlupınar	II	Bodrum	I	Terme	III
Emet	III	Dalaman	I	Vezirköprü	III
Gediz	III	Datça	I	<u>SİRT</u>	II
Simav	III	Fethiye	I	Batman	II
Tavşanlı	III	Güllük	I	Baykan	II
<u>MALATYA</u>	III	Köyceğiz	I	Beşiri	II
Ağın	IV	Marmaris	I	Eruh	IV
Akçadağ	III	Milas	I	Kozluk	II
Arapkir	IV	Ula	I	Kurtalan	II
Arguvan	IV	Yatağan	I	Pervari	IV
Darende	III	<u>MUŞ</u>	III	Sason	II
Doğanşehir	III	Bulanık	IV	Şırnak	IV
Hekimhan	III	Malazgirt	IV	Şirvan	II
Pötürge	III	Varto	IV	<u>SİNOP</u>	III
Yeşilyurt	III	<u>NEVŞEHİR</u>	I	Ayancık	III
<u>MANİSA</u>	I	Avanos	I	Boyabat	III
Akhisar	I	Derinkuyu	I	Durağan	III
Alaşehir	I	Gülşehir	I	Gerze	III
Demirci	III	Hacıbektaş	I	Türkeli	III
Gölmarmara	I	Ürgüp	I	<u>SİVAS</u>	III
Gördes	III	<u>NİĞDE</u>	II	Divriği	IV
Kırkağaç	I	Aksaray	I	Gemerek	III
Kula	II	Bor	II	Gürün	III
Salihli	I	Çamardı	II	Hafik	III
Sarıgöl	II	Ortaköy	II	İmranlı	III
Saruhanlı	I	Ulukışla	II	Kangal	IV
Selendi	II	<u>ORDU</u>	III	Koyulhisar	III
Soma	I	Akkuş	III	Suşehri	III
Turgutlu	I	Aybastı	III	Şarkışla	III
<u>K.MARAŞ</u>	III	Fatsa	III	Yıldızeli	III
Afşin	III	Gölköy	III	Zara	III
Andirin	III	Korgan	III	<u>TEKİRDAĞ</u>	II
Elbistan	III	Kumru	III	Alpullu	II
Göksun	III	Mesudiye	III	Çorlu	II
Pazarcık	III	Perşembe	III	Ganos	II
Türkoğlu	III	Ulubey	III	Hayrabolu	III

Şekil 3.1. İl ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri (TS 498-1997).



Şekil 3.2. Kar yağış yüksekliği haritası (TS 498-1997).

3.4 TS 498-2021

TS 498-2021 standardı Türkiye’de yapıların kar yükü hesaplamalarında güvenliğini sağlamak amacıyla TS 498-1997’nin güncellenmiş halidir. Aşağıda, TS 498-2021’e göre kar yükü hesaplamasının temel prensiplerini, kullanılan parametreleri detaylı bir şekilde verilmiştir (TS 498, 2021).

Tasarımı yapılacak çatının kar yükü değeri S (kN/m²) ile karakteristik zemin kar yükü S_k (kN/m²) hesaplarında, standardın ekinde sunulan Türkiye Kar Yüğü Bölge Haritasında belirtilen değerler esas alınmaktadır. Çatı tipinin belirlenmesi ve ilgili hesaplamalar, TS EN 1991-1-3 standardı doğrultusunda gerçekleştirilmekte olup, kar yükü hesap sonuçları bu çerçevede elde edilmektedir. TS 498-2021 standardı, yalnızca karakteristik zemin kar yükü S_k değerlerini vermekte, hesaplama ve tasarım süreçlerinde ise EN 1991-1-3 standardında tanımlı parametrelerin doğrudan kullanılmasını öngörmektedir.

Karakteristik kar yükü (S_k) değeri, Şekil 3.4’te verilen kar yağış yüksekliğine göre düzenlenmiş haritadaki bölgelerin numarasına göre Çizelge 3.3’ten alınır. İstisnai bir durum olarak rakımı 1000 ve 1500 metreden fazla olan yerler için S_k değeri yine Çizelge 3.3’te verilen oranlara göre artırılır. Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır olarak kabul edilir.

Çizelge 3.3. Karakteristik kar yükü S_k değerleri kN/ m² (TS 498-2021).

Yapı yerinin denizden yüksekliği	Bölgeler								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m									
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.								

Bu tez kapsamında tasarımı gerçekleştirilen yapının konumu, Türkiye’de Aksaray ili Merkez ilçesi olarak belirlenmiş olup, yapılan tüm analizlerde bu lokasyon sabit tutulmuştur. Aksaray ili, deniz seviyesinden 978 metre yükseklikte konumlanmakta olup, TS 498-2021 standardına göre 6. derece karakteristik kar yükü bölgesinde yer almaktadır. Bu kapsamda elde edilen karakteristik zemin kar yükü değeri, TS EN 1991-1-3 (Eurocode 1), ASCE 7-22 ve NBCC 2020 yönetmelikleri çerçevesinde gerçekleştirilecek hesaplamalarda doğrudan kullanılacaktır.

Trabzon		Van		Bayburt		Iğdır	
Akçaabat	2	Bahçesaray	8	Merkez	8	Merkez	5
Araklı	1	Başkale	9	Aydıntepe	7	Aralık	6
Arsin	2	Çaldıran	8	Demirözü	7	Karakoyunlu	6
Beşikdüzü	1	Çatak	8	Karaman		Tuzluca	7
Çarşıbaşı	1	Edremit	8	Merkez	7	Yalova	
Çaykara	1	Erciş	8	Ayrancı	7	Merkez	2
Dernekpazarı	1	Gevaş	8	Başıayla	7	Altınova	2
Düzköy	4	Gürpınar	8	Ermenek	7	Armutlu	2
Hayrat	4	İpekyolu	8	Kazımkarabekir	7	Çınarcık	2
Köprübaşı	4	Muradiye	8	Sarıveliler	7	Çiftlikköy	2
Maçka	4	Özalp	8	Kırkkale		Termal	2
Of	1	Saray	9	Merkez	4	Karabük	
Ortahisar	1	Tuşba	8	Bahşılı	4	Merkez	2
Sürmene	4	Yozgat		Balışeyh	4	Eflani	2
Şalpazarı	4	Merkez	6	Çelebi	4	Eskipazar	2
Tonya	4	Akdağmadeni	5	Delice	4	Ovacık	2
Vakfikebir	1	Aydıncık	5	Karakeçili	4	Safranbolu	2
Yomra	1	Boğazlıyan	5	Keskin	4	Yenice	2
Tunceli		Çandır	5	Sulakyurt	4	Kilis	
Merkez	6	Çayıralan	6	Yahşihan	4	Merkez	1
Çemişgezek	5	Çekerek	4	Batman		Elbeyli	1
Hozat	5	Kadışehri	4	Merkez	2	Musabeyli	1
Mazgirt	5	Saraykent	5	Beşiri	2	Polateli	1
Nazımiye	6	Sarıkaya	5	Gercüş	2	Osmaniye	
Ovacık	6	Sorgun	6	Hasankeyf	2	Merkez	3
Pertek	5	Şefaattli	5	Kozluk	2	Bahçe	2
Pülümür	7	Yenifakılı	5	Sason	2	Düziçi	2
Şanlıurfa		Yerköy	5	Şırnak		Hasanbeyli	4
Akçakale	1	Zonguldak		Merkez	7	Kadirli	4
Birecik	2	Merkez	1	Beytüşşebap	8	Sumbas	4
Bozova	2	Alaplı	1	Cizre	6	Toprakkale	4
Ceylanpınar	1	Çaycuma	2	Güçlükönak	5	Düzce	
Eyyübiye	1	Devrek	2	İdil	5	Merkez	2
Halfeti	2	Ereğli	1	Silopi	5	Akçakoca	2
Haliliye	2	Gökçebey	2	Uludere	8	Cumayeri	2
Harran	1	Kilimli	1	Bartın		Çilimli	2
Hilvan	2	Kozlu	1	Merkez	2	Gölyaka	2
Karaköprü	1	Aksaray		Amasra	2	Gümüşova	2
Siverek	2	Merkez	6	Kurucaşile	2	Kaynaşlı	2
Suruç	1	Ağaçören	5	Ulus	2	Yığılca	2
Viranşehir	1	Eskil	6	Ardahan			
Uşak		Gülağaç	5	Merkez	9		
Merkez	6	Güzelyurt	5	Çıldır	8		
Banaz	6	Ortaköy	5	Damal	8		
Eşme	6	Sarıyahşi	5	Göle	8		
Karahallı	6	Sultanhanı	5	Hanak	9		
Sivaslı	6			Posof	8		
Ulubey	6						

Şekil 3.3. İl ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri (TS 498-2021).



Şekil 3.4. Kar yağış yükseklik haritası (TS 498-2021).

3.5 TS EN 1991-1-3 (EUROCODE 1)

Avrupa ülkeleri, yapıların tasarım ve hesaplamaları konusunda ortak standartlar geliştirmişlerdir. Tez kapsamında TS EN 1991-1-3 kar yükleri incelenmiştir. Bu standart çelik yapılar içinde mümkün olduğunca detaylı bir veri sunmaktadır. Emniyet katsayıları her bölgenin değişse de hesap yöntemi her bölge için ortak olarak kabul edilmiştir (TS EN, 1991-1-3).

3.5.1 Çatı kar yükü (S)

Yapı tasarımlarında, kar kütlelerinin çatı yüzeyinde homojen dağılmayabileceği ve yer yer farklı oranlarda birikebileceği dikkate alınmalıdır. Kar birikiminin düzensizliğine neden olabilecek başlıca çatı özellikleri ve çevresel faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- Çatının geometrik şekli,
- Yapının ısı özellikleri,
- Çatı yüzeyinin pürüzlülük durumu,
- Çatı altındaki iç ortamdan yayılan ısı miktarı,
- Komşu yapılara olan mesafe,
- Çevredeki arazi topografyası,
- Bölgeye özgü meteorolojik ve iklimsel koşullar.

Kar yükü hesabı yapılırken, karın düşey yönde etki ettiği varsayılmalı ve bu etkinin çatı yüzeyinin yatay izdüşüm alanı üzerinde olduğu kabul edilmelidir. Çatı üzerinde biriken kar kütlelerinin yapay müdahalelerle kaldırılması ya da dağılımının değiştirilmesi olasılığı söz konusu ise, bu durum göz önünde bulundurularak yapıya etkiyen kar yükleri yeniden düzenlenmeli ve yapısal tasarım buna uygun şekilde yapılmalıdır.

Tasarım yapılan bölgenin iklim koşulları gereği, kar kütlesi üzerine yağmur yağması, karın tekrar tekrar eriyip donması gibi olasılıklar mevcutsa; özellikle çatı drenaj sisteminin kar ya da buz nedeniyle tıkanma riski olan durumlarda, çatı kar yükü değerlerinin artırılması gerekmektedir.

Çatı kar yükü S (kN/m²) değeri Denklem 3.2 aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (3.2)$$

Formülde yer alan parametreler şu şekilde tanımlanmaktadır:

- μ_i : Kar yükü şekil katsayısı,
- C_e : Maruz kalma katsayısı,
- C_t : Isı katsayısı,
- S_k : Karakteristik zemin kar yükü değeri (kN/m²).

Bu formül, TS EN 1991-1-3 (Eurocode 1) standardında tanımlanmış olup, yapıların kar yükü altında güvenli performans göstermesini sağlamak amacıyla tasarım sürecinde kullanılmaktadır.

Maruz kalma katsayısı (C_e), çatı kar yükünün belirlenmesinde kullanılan temel bir parametre olup, bu değerin doğru şekilde seçilmesi, yapının taşıyıcı sistem tasarımını doğrudan etkilemektedir. Çizelge 3.4'te belirtilen C_e değeri belirlenirken, yapının bulunduğu bölgenin mevcut topoğrafik koşullarının yanı sıra, gelecekte meydana gelebilecek çevresel değişiklikler de göz önünde bulundurulmalıdır. TS EN 1991-1-3 standardına göre, farklı topoğrafik bölgeler için özel bir değer belirtilmediği sürece maruz kalma katsayısı $C_e=1,0$ olarak kabul edilmelidir.

Çizelge 3.4. Farklı topoğrafik alanlar için önerilen C_e değerleri (TS EN 1991-1-3).

Topoğrafik Bölge	C_e	Açıklama
Rüzgâra açık	0,8	Her coğrafi yönden rüzgâr etkisine açık, arazi tarafından korunmayan; çevresinde yüksek yapıların ve ağaçların bulunmadığı, engel teşkil etmeyen düz alanlar.
Normal	1,0	Rüzgârın yapı üzerine etkisiyle kar kütlelerinin, arazi, diğer yapılar ve ağaçlar nedeniyle önemli bir değişime uğramadığı alanlar.
Korunmuş	1,2	Yapının yüksekliğinin, çevredeki arazi veya çevredeki yüksek ağaçlar/diğer yapılarla kıyaslandığında önemli ölçüde daha düşük olduğu alanlar.

Isı katsayısı (C_t), yapıların çatı tasarımında, özellikle çatının altından yayılan ısı kaybının çatı yüzeyinde karın erimesine neden olabileceği durumlarda dikkate alınması gereken bir parametredir. Bu katsayı, genellikle cam yüzeyli veya yüksek ısı

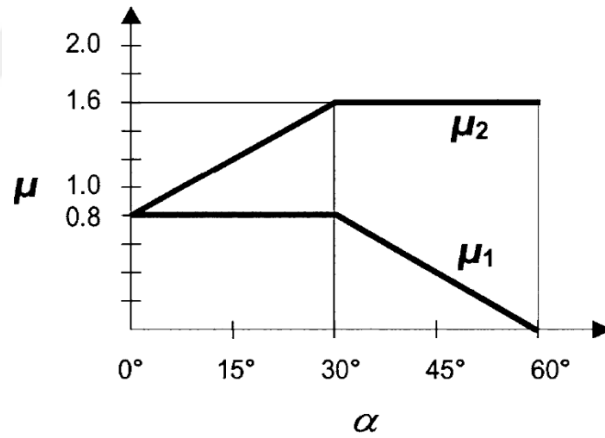
iletimine sahip çatı sistemlerinde, eriyen kar nedeniyle çatı kar yükünde meydana gelen azalmayı hesaba katmak amacıyla kullanılır. TS EN 1991-1-3 standardına göre, bu tür özel durumlar dışında kalan tüm çatı tipleri için ısı katsayısı $C_t=1,0$ olarak alınmalıdır.

3.5.2 Tek eğimli çatılar

Tek eğimli çatı sistemlerinde, kar yükünün çatıda oluşturduğu etkileri temsil eden kar yükü şekil katsayısı (μ_1), TS EN 1991-1-3 standardında tanımlanmış olup, bu katsayının değerleri Çizelge 3.5'te verilmiş ve Şekil 3.5-6'da görsel olarak sunulmuştur. Bu katsayı, çatının eğim açısına bağlı olarak değişmekte olup, karın çatı yüzeyinde birikme ve kayma davranışını yansıtacak şekilde belirlenmektedir.

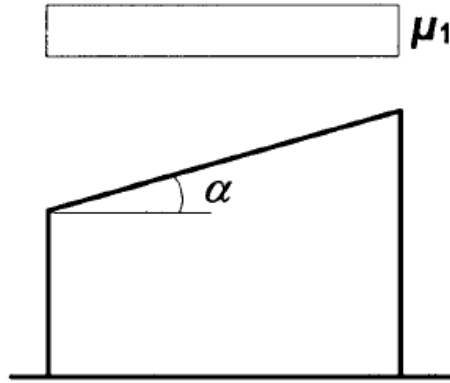
Çizelge 3.5. Kar yükü şekil katsayıları (TS EN 1991-1-3).

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	--



Şekil 3.5. Kar yükü şekil katsayıları (TS EN 1991-1-3).

Tasarımı yapılacak çatı yüzeyinde kar kütlesinin serbestçe kaymasının engellenmediği durumlarda, kar yükü şekil katsayısı (μ) değeri TS EN 1991-1-3 standardında yer alan Çizelge 3.5'te verilen değerlere göre belirlenmelidir. Bununla birlikte, çatı üzerinde kar tutucu elemanlar (örneğin kar perdeleri veya diğer mekanik kar tutucular) ya da saçaklarda parapetler bulunması durumunda, karın yüzeyden kayması önleneceğinden dolayı, şekil katsayısı değeri 0,8'den daha düşük olamaz.

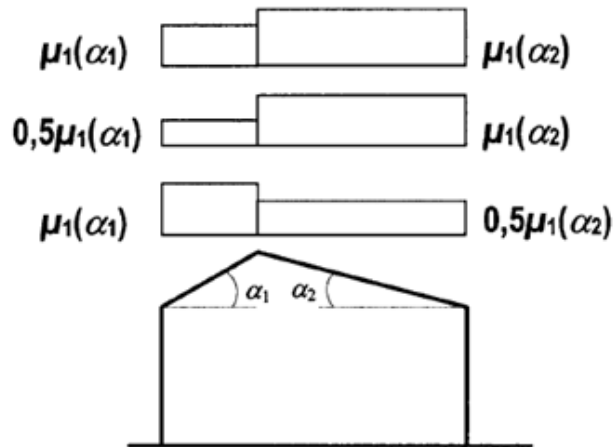


Şekil 3.6. Kar yükü şekil katsayısı tek eğimli çatı (TS EN 1991-1-3).

3.5.3 Çift eğimli çatılar

Çift eğimli çatılar için kullanılacak kar yükü şekil katsayıları, TS EN 1991-1-3 standardında tanımlanmış olup, ilgili dağılımlar Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu çatı tiplerinde, μ_1 değerleri Çizelge 3.5’te sayısal olarak verilmiş ve ayrıca Şekil 3.5’te grafiksel olarak sunulmuştur.

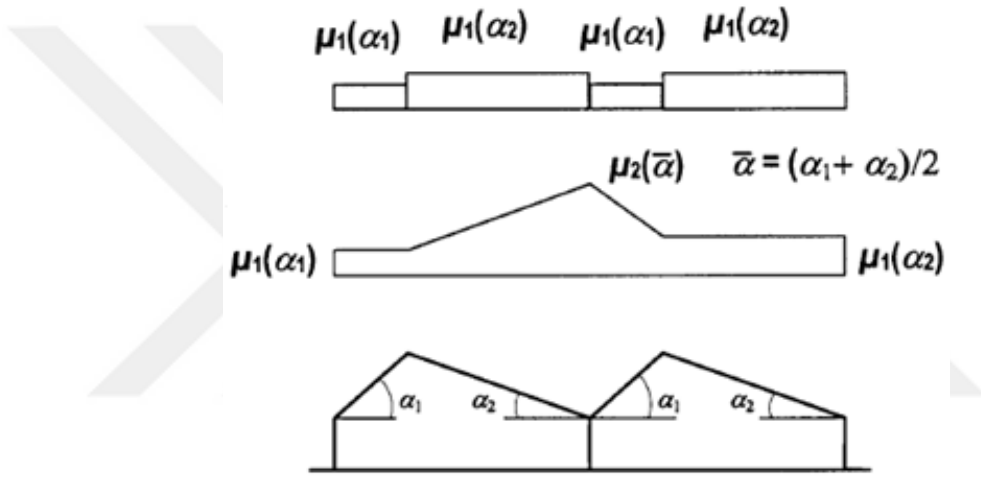
Tasarımı yapılan çatı yüzeyinde kar kütlesinin doğal olarak kaymasının önlenmediği durumlarda, şekil katsayısı değerleri doğrudan Çizelge 3.5’ten alınmalıdır. Ancak, çatı yüzeyinde kar tutucu elemanlar (örneğin kar perdeleri, mekanik kar tutucular) ya da saçak kenarlarında parapetlerin bulunması hâlinde, karın yüzeyde tutulması söz konusu olacağından, kar yükü şekil katsayısı $\mu=0,8$ ’den daha düşük bir değerde seçilemez.



Şekil 3.7. Kar yükü şekil katsayıları - çift eğimli çatı (TS EN 1991-1-3).

3.5.4 Çok eğimli çatılar

Çok eğimli çatı tipleri için kullanılan kar yükü şekil katsayısı, TS EN 1991-1-3 standardına göre Çizelge 3.5'te sayısal olarak verilmiş ve Şekil 3.5'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.8'de çok eğimli çatılar için iki farklı yük düzenlemesi tanımlanmıştır. İlk durumda, çatı yüzeyinde karın birikmediği varsayımıyla hesaplama yapılmakta; ikinci durumda ise çatı yüzeyinde oluşan derelerde kar birikmesinin söz konusu olduğu senaryo esas alınmaktadır. Bu iki farklı yükleme durumu, yapının bulunduğu bölgenin meteorolojik koşulları ve çatı geometrisine göre değerlendirilerek tasarımda dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.8. Kar yükü şekil katsayıları - çok eğimli çatı (TS EN 1991-1-3).

Eğimlerinden en az biri 60°'den büyük olan çok eğimli çatılar için, standartta sunulan kar yükü şekil katsayıları yeterli doğruluk sağlamayabileceğinden, bu tür çatıların tasarımında kar yükü dağılımı mühendislik tecrübelerine dayanarak özel hesaplama yöntemleri ile belirlenmelidir. Bu durumlarda, yapı güvenliğini sağlayacak şekilde detaylı analiz ve gerekirse deneysel verilerle desteklenen tasarım esas alınmalıdır.

3.6 ASCE 7-22

Amerikan yapısal tasarım standardı ASCE 7-22'de kar yüklerinin tanımı, TS 498-1997 standardından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Avrupa standardında olduğu gibi, ASCE 7-22 standardında da kar yüklerinin belirlenmesinde çatının geometrik şekli, termal özellikleri, eğim açısı ve yapının önem derecesi gibi çeşitli parametreler dikkate alınmakta ve yük durumları buna göre çeşitlenmektedir (URL-13).

Zemin kar yükü, diğer ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde olduğu gibi, belirli meteorolojik verilere dayalı istatistiksel analizler sonucunda bir bölgede oluşabilecek minimum kar yükünü ifade etmektedir ve P_g sembolü ile gösterilmektedir. Bu tez kapsamında incelenen yapının Türkiye sınırları içerisinde yer alması nedeniyle, zemin kar yükü değeri TS 498-2021 esas alınarak hesaplanacaktır.

Düz çatılar için çatıya etkiyen kar yükü P_f Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$P_f = 0,7 \times C_e \times C_t \times I_s \times P_g \quad (3.3)$$

Bu formülde yer alan parametreler şu şekilde tanımlanmaktadır:

- P_f : Çatıya etkiyen düz kar yükü
- 0,7: Düz çatı dönüşüm katsayısı
- C_e : Maruz kalma katsayısı
- C_t : Termal (ısıtma) katsayı
- I_s : Bina önem katsayısı
- P_g : Yerel zemindeki kar yükü

ASCE 7-22 standardı kapsamında çatı kar yükü hesaplamalarında kullanılan bazı değerler, yönetmelikte yer alan belirli tablolar aracılığıyla belirlenmektedir. Bu yönetmelik, minimum kar yükü (P_m) kavramını da açık şekilde tanımlamaktadır. Minimum kar yükü tanımı; eğimi 15° 'den küçük olan tek eğimli, kırma ve çift eğimli çatılar ile eğimi 10° 'den az olan silindirik çatılar için geçerlidir. Bu sınıflandırmaya giren çatılar için kar yükü Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$P_m = I_s \times P_g \quad (3.4)$$

Bu değer, çatıda kar birikimi olup olmadığına bakılmaksızın kullanılan sabit (uniform) bir yükü ifade eder. Kar birikiminin etkisi göz ardı edilerek yalnızca minimum yük dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilir.

ASCE 7-22 standardına göre eğimli çatılarda kar yükü, eğim faktörü (C_s) ile düz çatı kar yükü (P_f) çarpımı sonucu elde edilen değer olarak tanımlanır ve P_s ile gösterilir. Bu yük, çatının yatay izdüşümüne etkiyen kar yükü olarak kabul edilir. İlgili hesaplama Denklem 3.5 formülü ile ifade edilir:

$$P_s = C_s \times P_f \quad (3.5)$$

Ayrıca, çatı yüzeyinin termal özelliklerine bağlı olarak, soğuk çatı eğim katsayısı ya da sıcak çatı eğim katsayısı dikkate alınmalıdır. Çatı eğiminin 70°'yi aştığı durumlarda eğim katsayısı sıfır ($C_s = 0$) olarak alınır; bu da çatının kar tutmadığı anlamına gelir. P_s değeri, dengeli yük durumu olarak değerlendirilir ve bu bağlamda Eurocode'da karın birikmediği yükleme senaryosuna karşılık gelmektedir. Termal katsayı (C_t) ise yapının ısıtma durumuna göre belirlenmektedir. Bu iki katsayının nasıl alındığına dair veriler Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. C_t ve C_s değerleri (ASCE 7-22).

Çatı Tipi	Yüzey Tipi	Eğim Aralığı (°)	C_s Değeri
Isıtılmış Çatı ($C_t = 1,0$)	Kaygan ve engelsiz	0°–5°	$C_s = 1,0$
		5°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 5^\circ)/65^\circ$
		>70°	$C_s = 0$
	Diğer yüzeyler	0°–30°	$C_s = 1,0$
		30°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 30^\circ)/40^\circ$
		>70°	$C_s = 0$
Kısmen Isıtılmış Çatı ($C_t = 1,1$)	Kaygan ve engelsiz	0°–10°	$C_s = 1,0$
		10°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 10^\circ)/60^\circ$
		>70°	$C_s = 0$
	Diğer yüzeyler	0°–37,5°	$C_s = 1,0$
		37,5°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 37,5^\circ)/32,5^\circ$
		>70°	$C_s = 0$
Isıtılmamış Çatı ($C_t = 1,2$)	Kaygan ve engelsiz	0°–15°	$C_s = 1,0$
		15°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 15^\circ)/55^\circ$
		>70°	$C_s = 0$
	Diğer yüzeyler	0°–45°	$C_s = 1,0$
		45°–70°	$C_s = 1,0 - (\text{eğim} - 45^\circ)/25^\circ$
		>70°	$C_s = 0$

C_e , maruz kalma katsayısı olup, kar birikiminin rüzgârla taşınım etkisini yansıtan bir parametredir ve bu katsayı, çevresel faktörlere göre Çizelge 3.7'de gösterildiği gibi belirlenmektedir.

Çizelge 3.7. C_e değerleri (ASCE 7-22).

Arazi Durumu	Arazi Tanımı	Çatı Maruz Kalma Durumu (C_e)		
		Tamamen Açık	Kısmen Açık	Korunaklı
B	Kentsel ve banliyö alanları, ormanlık alanlar ve konut büyüklüğünde çok sayıda birbirine yakın engellerin bulunduğu araziler.	0,9	1,0	1,2
C	Düz, açık kırsal alanlar ve yaylaları içeren, genellikle 9 m'den daha az yüksekliğe sahip, dağınık engellerin bulunduğu açık araziler.	0,9	1,0	1,1
D	Düz, pürüzsüz alanlar ve su yüzeylerini içeren, engelsiz düz araziler.	0,8	0,9	1,0

I_s , bina önem katsayısıdır ve yapının kullanım amacına bağlı olarak, risk kategorisi dikkate alınmak suretiyle Çizelge 3.8'de belirtildiği şekilde alınır.

Çizelge 3.8. I_s değerleri (ASCE 7-22).

Risk Kategorisi	Yapı Türü / Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I_s)
I	Geçici yapılar	0,8
II	Konut, normal yapılar	1,0
III – IV	Hastane, okul	1,1 – 1,2

Bu katsayılar, kar yüklerinin hesaplanmasında, yapıların maruz kaldığı çevresel koşullara ve kullanım amacına göre gerekli düzeltmeleri yapmak için kullanılır.

3.7 NBCC 2020

National Building Code of Canada 2020, kar yükü hesaplamasında, çatıya etki eden kar yükünü doğru bir şekilde tahmin edebilmek için çevresel, geometrik ve yapısal parametreleri dikkate alır. Kar yükü hesaplaması, bu parametrelerin birleşimiyle yapılmakta olup, her bir faktörün etkisi dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilir. NBCC 2020'de sunulan genel yaklaşım, yerel yönetmelikler ve uygulama koşullarına göre uyarlanabilir. Bu nedenle, söz konusu bölgenin imar yönetmelikleri ve iklimsel verileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu unsurlar, hesaplamaların doğruluğunu ve yerel koşullara uygunluğunu sağlamak adına kritik öneme sahiptir (URL-14).

Bazı çatı tipleri, özellikle birleşik çatı sistemleri veya karmaşık geometrilere sahip çatılar, ek hesaplamalar ve farklı katsayıların uygulanmasını gerektirebilir. Ayrıca, kar yükünün zamanla değişkenlik gösterebileceği ve karın erimesi, yeniden donması ve kayması gibi dinamik etkilerin yapısal davranış üzerinde önemli bir etkisi olabileceği

unutulmamalıdır. Bu dinamik etkiler, çatıların tasarımında dikkate alınmalıdır. Kanada, soğuk iklimi ve yüksek yağış miktarı ile bilinen bir ülke olup, çoğu bölgesinde kar yükü, çatıların yapısal analizinde önemli bir faktör olarak kabul edilmekte ve bu yük, yapıların maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, kar yüklerinin doğru hesaplanması, yapıların güvenli ve ekonomik bir şekilde tasarlanabilmesi için kritik bir öneme sahiptir.

NBCC 2020'ye göre çatıya gelen kar yükü Denklem 3.6 ile hesaplanır:

$$S = I_s \times [S_s \times (C_b \times C_w \times C_s \times C_a) + S_r] \quad (3.6)$$

Burada formülde kullanılan parametreler aşağıdaki gibi tanımlanır:

- S = Çatıya gelen kar yükü
- I_s = Önem katsayısı
- S_s = Yerel kar yükü (kPa)
- C_b = Temel çatı konfigürasyon katsayısı
- C_w = Maruz kalma katsayısı
- C_s = Çatı eğim katsayısı
- C_a = Kar birikme faktörü
- S_r = Yağmurdan kaynaklanan ek yük

I_s , bina önem katsayısı olup; bir yapının taşıması gereken kar yükü, rüzgâr yükü ve sismik yük gibi çevresel etkiler altında hangi oranda emniyet payı ile tasarlanması gerektiğini belirleyen yük çarpanıdır. Bu katsayı deprem, kar, rüzgâr yükleri altındaki kombinasyonlarda farklı değerler göstermektedir. Çizelge 3.9'da kar yükü hesabında kullanılan I_s katsayısına ilişkin değerler sunulmaktadır.

Çizelge 3.9. I_s yapı önem katsayısı (NBCC 2020).

Yapı Önem Katsayısı (I_s)	Yapı Türü
0,8	Geçici yapılar veya düşük riskli binalar
1,0	Normal öneme sahip yapılar
1,15	Yüksek öneme sahip yapılar (örneğin, okullar, spor salonları)
1,25	Kritik yapılar (örneğin, hastaneler, acil çıkış yolları)

S_s , zemin kar yükü; belirli bir bölgede uzun yıllara dayalı meteorolojik gözlemler sonucunda elde edilen, 50 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip istatistiksel verilere

dayanarak belirlenir. Bu tez kapsamında incelenen yapının Türkiye sınırları içerisinde yer alması nedeniyle, zemin kar yükü değeri TS 498-2021 esas alınarak belirlenecektir.

C_b , temel çatı konfigürasyon katsayısı; Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği'nde tanımlanan ve kar yükü hesaplamalarında kullanılan düzeltme katsayısıdır. Bu katsayı, rüzgârın çatı yüzeyinde biriken karı uzaklaştırma etkisi ile çatı yüzey sıcaklığının zemin seviyesine göre daha yüksek olması durumunu yansıtmak amacıyla kullanılmakta olup, genellikle 0,8 olarak alınmaktadır (Denklem 3.7).

$$I_c = 2w - w^2/l$$

$$(I_c \leq 70m/C_w^2) \text{ ise } C_b = 0,8$$

$$(I_c > 70m) \text{ ise } C_b = 1,0 - (30/I_c)^2$$
(3.7)

w: Kısa yönde uzunluk, l: Uzun yönde uzunluk, I_c : Karakteristik uzunluk

C_w , maruz kalma katsayısı; yapının çevresel koşullarına bağlı olarak belirlenir. Yapı çevresi tamamen açık değilse veya yapı, afet sonrası kullanılacak yapılar sınıfında yer alıyorsa, bu katsayının 1,0'den daha düşük bir değeri almasına izin verilmez. Bu sınırlama, yapının kar yüküne karşı rüzgârla taşınan kar kaybını tam olarak temsil edebilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Rüzgâr etkisine bağlı olarak dikkate alınması gereken katsayı değerleri Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10. C_w maruz kalma katsayısı (NBCC 2020).

Çevresel Durum	C_w Katsayısı
Rüzgâra Açık Alanlar	0,75
Korunaklı Alanlar	1,00

C_s , çatı eğim katsayısı; çatı eğiminin karın birikme veya yüzeyden kayma potansiyeline etkisini temsil eder. 15° 'nin altındaki eğimlerde bu katsayı 1,0 olarak alınır, çünkü bu eğimlerde karın çatı yüzeyinde birikmeye devam edeceği varsayılır. Eğimin artmasıyla birlikte, karın yüzeyden kayma eğilimi artmakta ve bu da katsayının azalmasına neden olmaktadır. Özellikle 60° eğimde bu değer sıfıra yaklaşırken, 70° ve üzerindeki çatılarda karın tutunamayacağı kabul edilerek katsayı sıfır olarak alınmaktadır. Çatı eğimine bağlı olarak alınması gereken katsayı Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

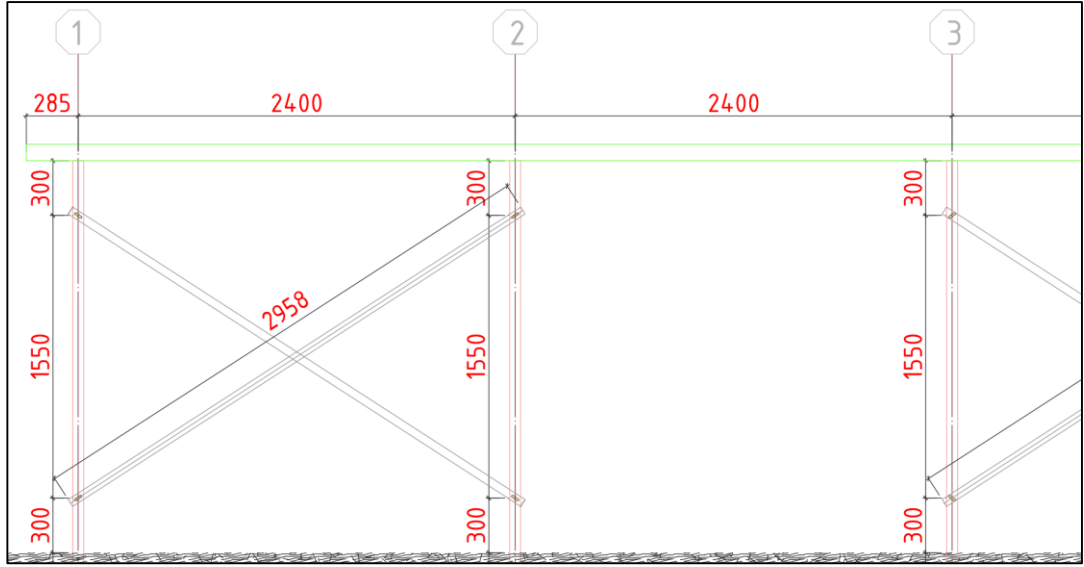
Çizelge 3.11. C_s çatı eğim faktörü katsayısı (NBCC 2020).

Çatı Eğim Açısı (α)	Standart Çatı Yüzeyleri	Kaygan Çatı Yüzeyleri
$\alpha \leq 15^\circ$	1,0	1,0
$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	1,0	$(60^\circ - \alpha)/45^\circ$
$30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$(70^\circ - \alpha)/40^\circ$	$(60^\circ - \alpha)/45^\circ$
$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	$(70^\circ - \alpha)/40^\circ$	0
$\alpha > 70^\circ$	0	0

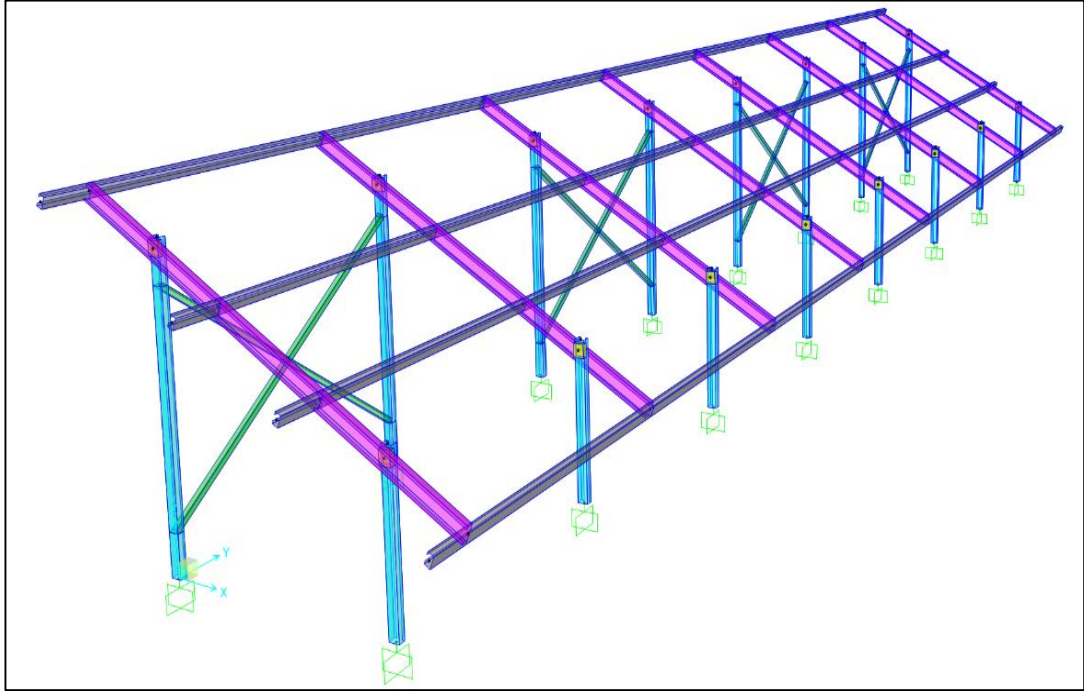
C_a , birikme faktörü; yapı geometrisi, mahya konumları ve komşu yapı etkileri gibi etkenlere bağlı olarak, çatıda kar birikiminin artmasına neden olabilecek durumları temsil eder. Bu katsayı, özellikle çok katlı yapılar, seviye farkları içeren çatı sistemleri ve rüzgâr yönü gibi unsurlar dikkate alınarak belirlenir ve genellikle kar birikme faktörü 1,0 olarak alınır.

S_r , yağmur kaynaklı ek yük katsayısıdır ve yalnızca Kanada yapı yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Literatürde yapılan araştırmalar, yağmurun zamanlaması, süresi ve yoğunluğunun mevcut kar örtüsü ile etkileşime girerek çatıda ek bir yüke neden olabileceğini göstermektedir. Özellikle erimeye başlamış kar örtüsüne yağmurun eklenmesi durumunda, çatıya etkiyen toplam yük önemli ölçüde artabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Kanada yapı yönetmeliği kar yükü hesaplamalarında diğer yönetmeliklerden farklı olarak, kar birikimi etkisini doğrudan formülasyon içerisine entegre etmiş ve yağmur etkisini ayrı bir parametre olarak tanımlamıştır. Bu yaklaşım, özellikle karmaşık iklim koşullarının hâkim olduğu bölgelerde yapısal güvenliği artırmak amacıyla geliştirilmiş ileri düzey bir hesaplama metodolojisi sunmaktadır.



Şekil 4.2. GES taşıyıcı konstrüksiyon sisteminin arka kesit görünümü.



Şekil 4.3. GES taşıyıcı konstrüksiyon sisteminin 3D görünümü.

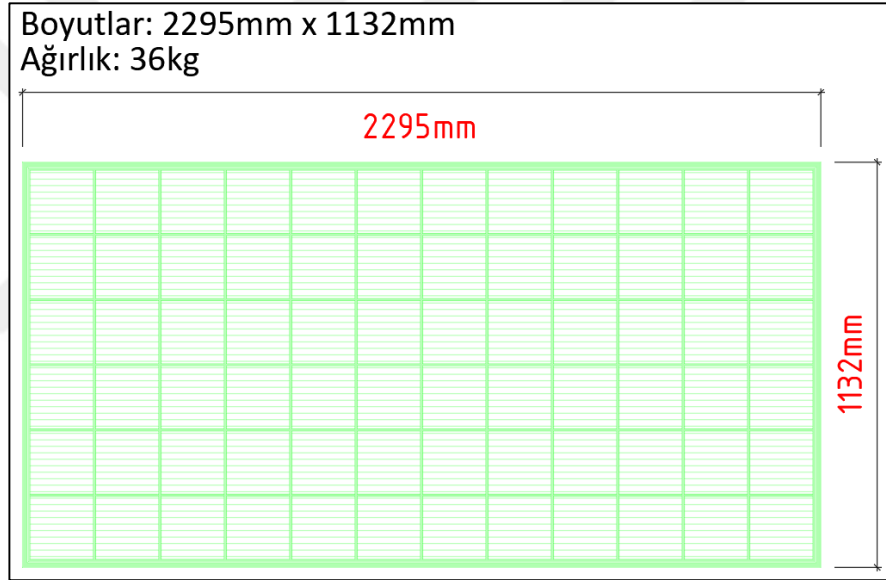
4.2 GES Malzeme ve Materyal Seçimi

GES projeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını sağlayan mühendislik uygulaması olmasından dolayı bu projelerde kullanılan malzemelerin seçimi; sistemin performansı, ekonomik ömrü, yatırım geri dönüş süresi ve bakım gereksinimleri üzerinde doğrudan belirleyici bir role sahip olacaktır. Dolayısıyla, GES projelerindeki malzeme seçimi kritik bir tasarım parametresi olarak

değerlendirilmelidir. Bu bağlamda seçilebilecek malzemeleri iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki fotovoltaik panel seçimi, ikincisi ise taşıyıcı sistemdeki elemanların seçimidir.

4.2.1 Fotovoltaik panel seçimi

Fotovoltaik panel seçimi yapılırken, en önemli ölçüt olan enerji veriminin yanında, panellerin çelik konstrüksiyon taşıyıcı sistemini etkileyen boyut ve ağırlıkları da önemli parametrelerdendir. Söz konusu fotovoltaik panelin birim alana (m^2) düşen ağırlığı, GES yapısına zati yük olarak etki edeceğinden ötürü, bu değerlerin analiz aşamasında doğru tanımlanması oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında kullanılan fotovoltaik panelin detayları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Fotovoltaik panel ölçü ve ağırlığı.

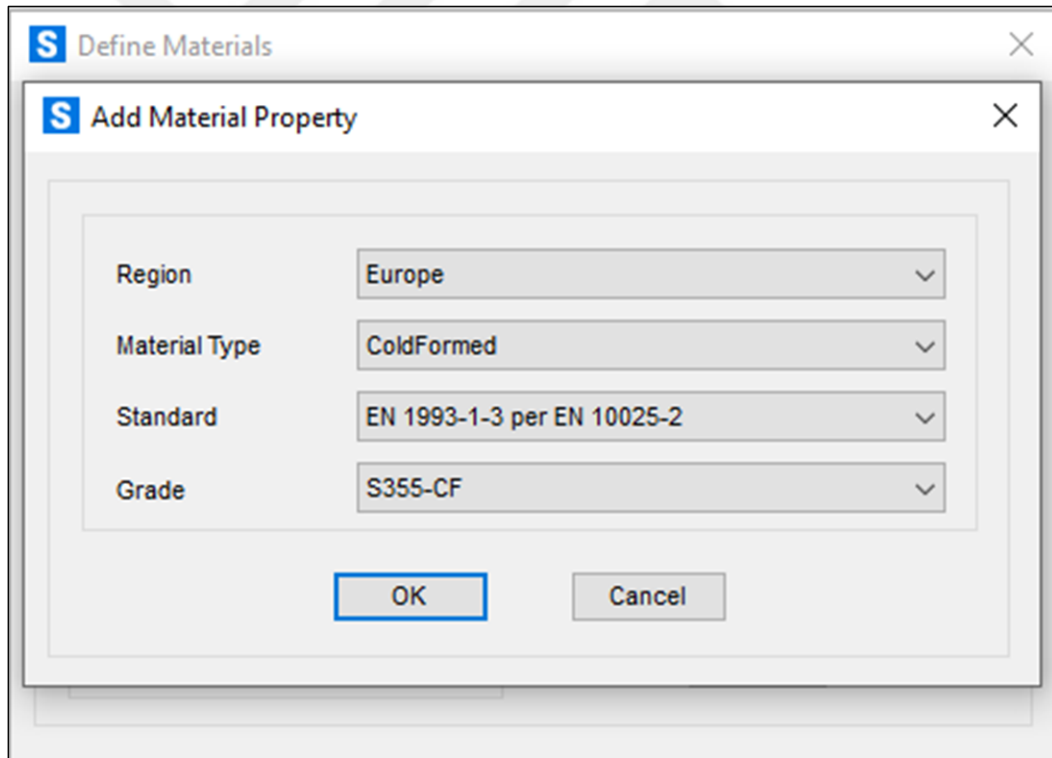
4.2.2 GES taşıyıcı konstrüksiyon sistemindeki elemanların seçimi

GES projesinde tüm yükler altında dayanımını etkileyen en önemli faktör olarak profil kesit ve malzeme kalitesi gibi parametrelerin doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Söz konusu elemanlar seçilirken tasarım, montaj ve ekonomik olarak en verimli şekilde seçeneklerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

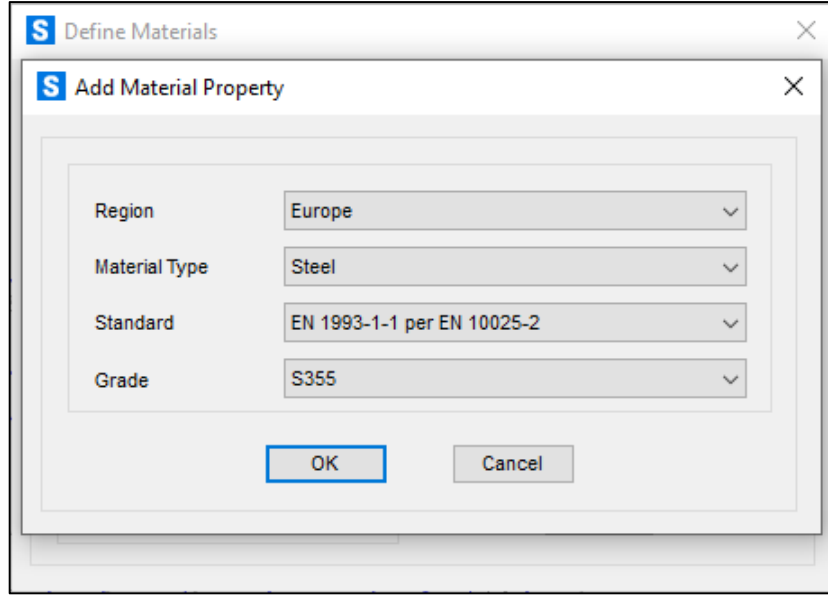
4.2.2.1 Çelik profil materyal seçimi

GES projelerinde, statik ve dinamik yükleri karşılayan ana taşıyıcı eleman olan çelik profillerin seçimi önem arz etmektedir. Profil seçilirken dayanım esaslarının ilk sırada yer alması gerekir. Bundan yola çıkarak tasarım yapısının hem daha hafif çözülebilmesi hem de S235 çeliğine göre daha dayanımlı olmasından ötürü S355 çeliği tercih edilmiştir.

Bu kapsamda, GES projesinin oluşturulmasında Şekil 4.5'te gösterilen soğuk haddelenmiş (hafif çelik) S355-CF kalitesindeki yapısal çelik sınıfı; kolon, kiriş ve aşık profillerinde kullanılmak üzere, Şekil 4.6'da gösterilen S355 kalitesindeki yapısal çelik sınıfı ise çapraz elemanlarda kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Söz konusu malzeme tanımlamaları, SAP2000 programının “*Define>Materials>Add New Material*” menüsü aracılığıyla yapılmıştır.



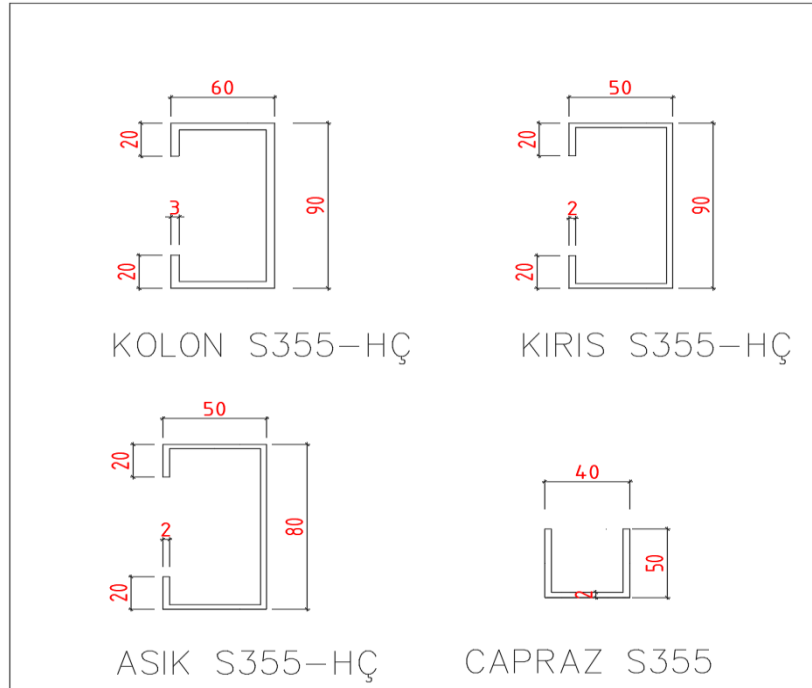
Şekil 4.5. S355-CF kalitesindeki yapısal çelik malzemenin SAP2000'e tanımlanması.



Şekil 4.6. S355 kalitesindeki yapısal çelik malzemenin SAP2000’e tanımlanması.

4.2.2.2 Çelik profil kesitleri seçimi

GES projesinde çelik profil materyalini seçtikten sonra, kesit detaylandırma yapılırken en önemli kriterlerden birkaçı piyasada sık bulunurluğu, ekonomik oluşu, montaj kolaylığı ve tasarım şekilleridir. Bu hususlardan yola çıkılarak yapılan araştırmalar göz önünde bulundurularak en çok tercih edilen hafif çelik (HÇ) profil kesitleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir ve tüm kesitler mm cinsinden verilmiştir.



Şekil 4.7. Profil kesitleri.

4.3 GES Taşıyıcı Sistem Elemanlarının SAP2000'e Tanımlanması

Çelik konstrüksiyon taşıyıcı sistem kolon, kiriş ve aşık için seçilen hafif çelik S355-CF çeliği ve taşıyıcı sistemdeki çapraz için seçilen S355 çeliğinin tasarım detayları SAP2000 programının “*Define>Section Properties>Frame Sections*” menüsü kullanılarak Şekil 4.8-11’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

The screenshot shows the 'Cold Formed C Section' dialog box in SAP2000. The 'Section Name' is 'C90x60x20x3'. The 'Display Color' is a cyan square. The 'Section Notes' field is empty, and the 'Modify/Show Notes...' button is visible. The 'Dimensions' section includes: Outside Height (A) = 90, Outside Width (B) = 60, Thickness (t) = 3, Radius (R) = 3, and Lip Depth (d) = 20. The 'Include Shear Center Offset in Analysis' checkbox is checked. The 'Material' dropdown is set to 'S355-CF'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Section' preview shows a C-section on a grid with dimensions 90, 60, 3, and 20. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 4.8. S355-CF kolon kesit detaylarının SAP2000’e tanımlanması.

The screenshot shows the 'Cold Formed C Section' dialog box in SAP2000 for a beam section. The 'Section Name' is 'C90x50x20x2'. The 'Display Color' is a magenta square. The 'Section Notes' field is empty, and the 'Modify/Show Notes...' button is visible. The 'Dimensions' section includes: Outside Height (A) = 90, Outside Width (B) = 50, Thickness (t) = 2, Radius (R) = 2, and Lip Depth (d) = 20. The 'Include Shear Center Offset in Analysis' checkbox is checked. The 'Material' dropdown is set to 'S355-CF'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Section' preview shows a C-section on a grid with dimensions 90, 50, 2, and 20. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Şekil 4.9. S355-CF kiriş kesit detaylarının SAP2000’e tanımlanması.

Cold Formed C Section

Section Name: C80x50x20x2 Display Color: [Dark Grey]

Section Notes: [Modify/Show Notes...]

Dimensions

Outside Height (A): 80, Outside Width (B): 50, Thickness (t): 2, Radius (R): 2, Lip Depth (d): 20

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

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

Section: [Preview of C-section on grid]

Properties: [Section Properties...], [Time Dependent Properties...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.10. S355-CF aşık kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.

Channel Section

Section Name: U40x50x2 Display Color: [Green]

Section Notes: [Modify/Show Notes...]

Dimensions

Outside depth (t3): 40, Outside flange width (t2): 50, Flange thickness (tf): 2, Web thickness (tw): 2, Fillet Radius: 0

☒ Include Shear Center Offset in Analysis

Material: S355 Property Modifiers: [Set Modifiers...]

Section: [Preview of U-section on grid]

Properties: [Section Properties...], [Time Dependent Properties...]

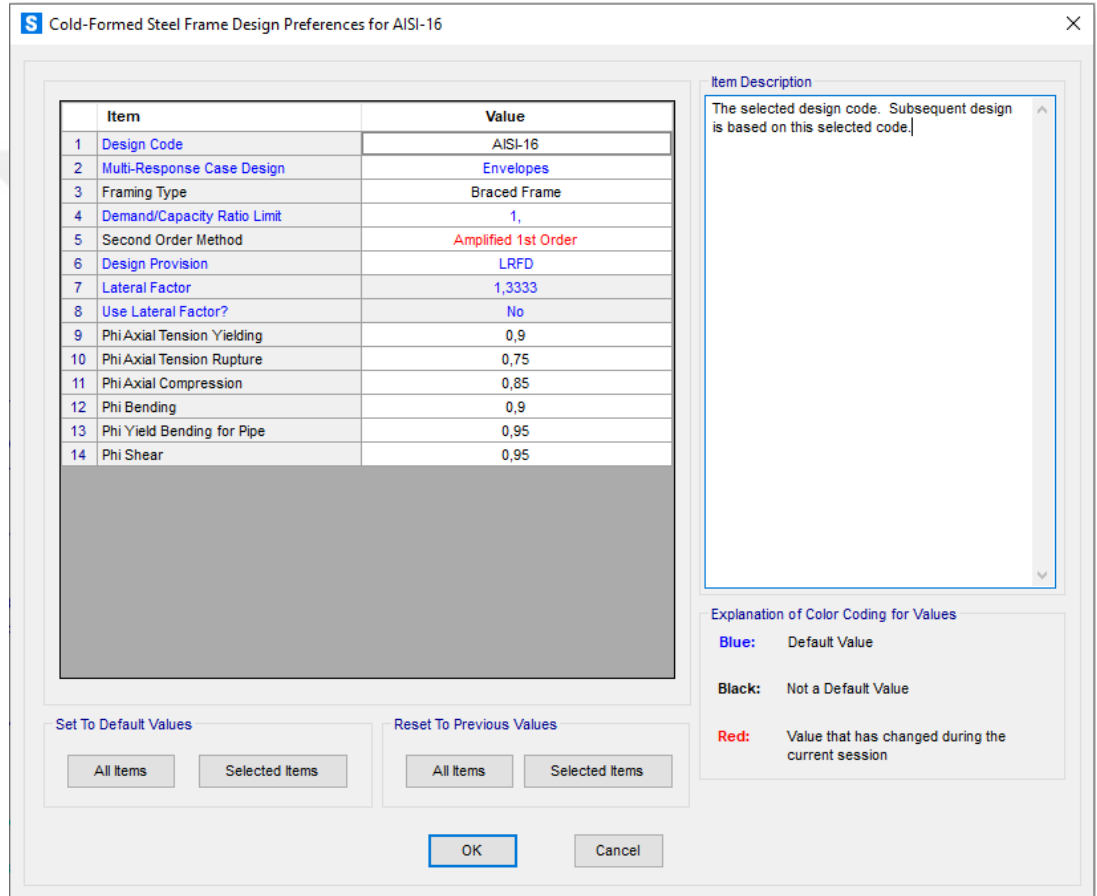
[OK] [Cancel]

Şekil 4.11. S355 çapraz kesit detaylarının SAP2000'e tanımlanması.

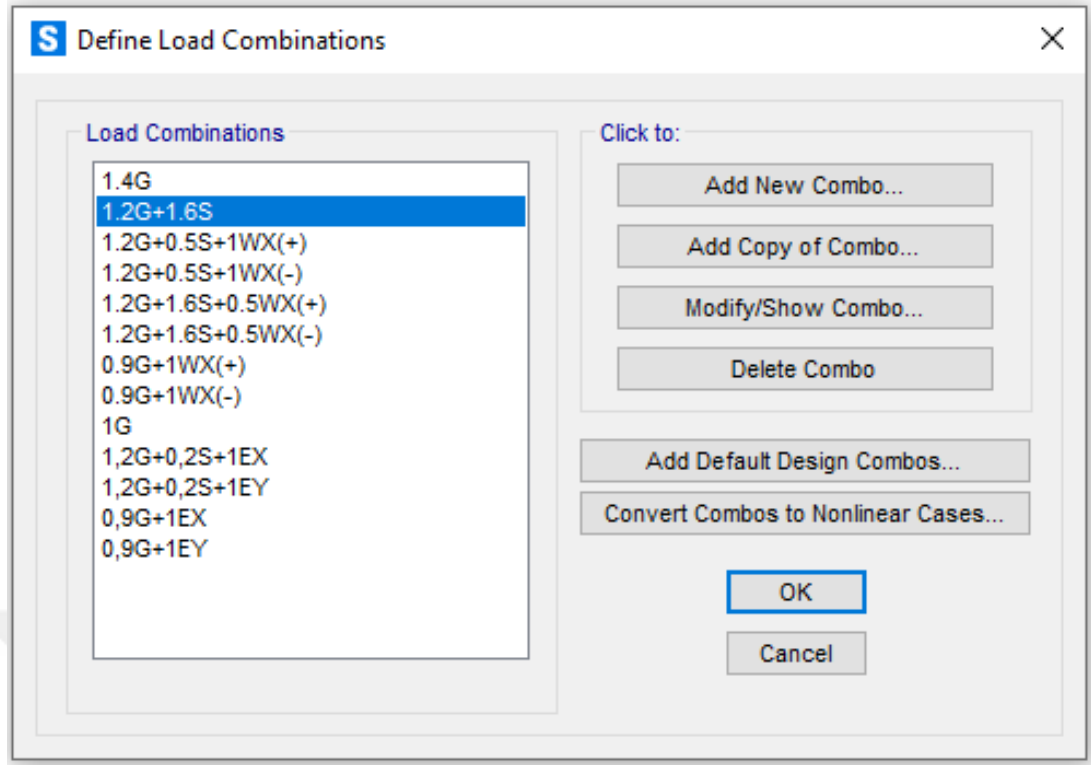
4.4 GES'te Kullanılan Tasarım Yönetmeliklerinin SAP2000'e Tanımlanması

AISI S100-16 (LRFD) standardı, soğuk şekillendirilmiş çelik yapısal elemanların tasarımına yönelik olarak Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute) tarafından yayımlanmış olup, yük ve dayanım katsayılarına dayalı tasarım yapan önemli bir yapısal tasarım standardıdır. Bu standart, Amerika (AISI),

Kanada (CSA) ve Meksika’da kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin tasarımı, hesaplaması ve güvenli kullanımı için ortak bir çerçeve sunmaktadır (Bölükbaş ve Oruç, 2025; Bölükbaş, 2024; Oruç, 2025). Bu tasarım yönetmeliğinde kullanılan kombinasyonlar ise Şekil 4.13’te gösterildiği üzere “*Define>Load Combinations*” menüsü kullanılarak girilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan taşıyıcı çelik konstrüksiyon sistemdeki kolon, kiriş ve aşıklar C profil (hafif çelik) olduğu için SAP2000 programının “*Design>Cold Formed Steel>View Preferences*” menüsü kullanılarak Şekil 4.12’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

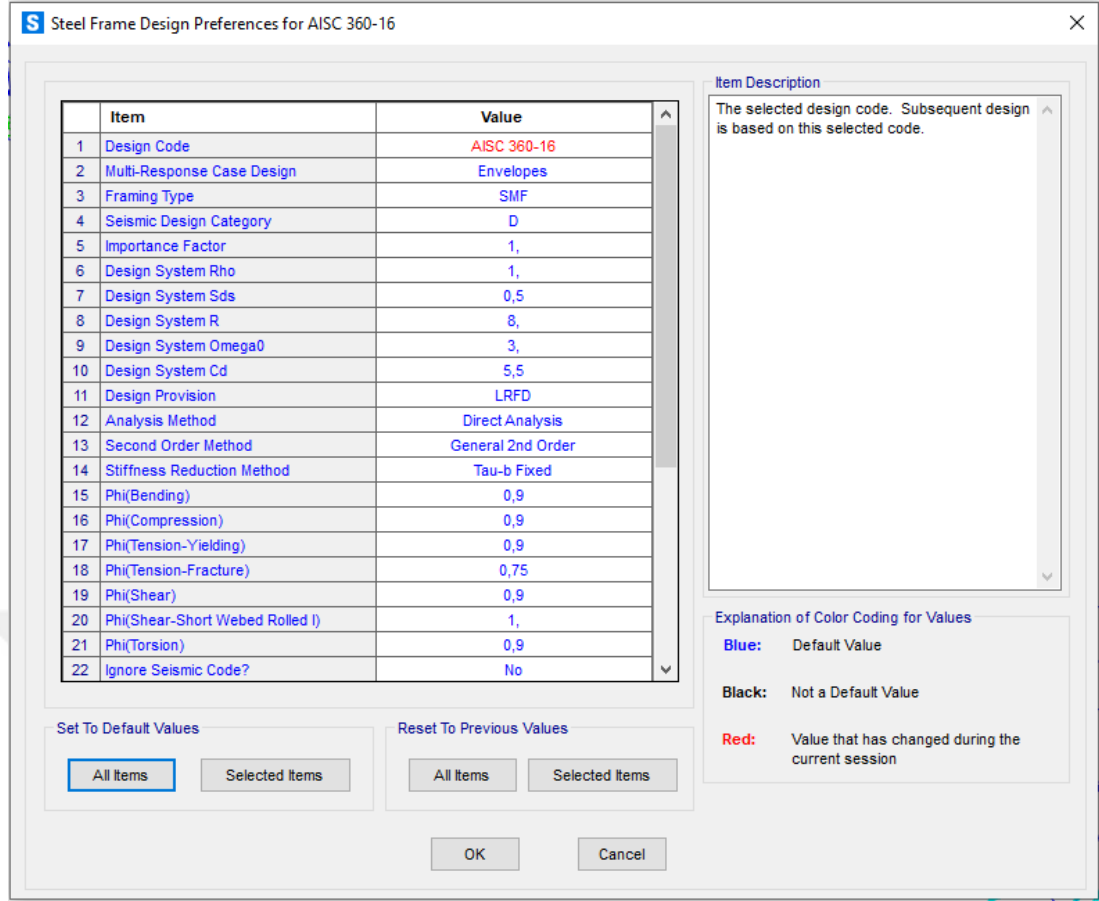


Şekil 4.12. AISI-16 standardının SAP2000’e tanımlanması.



Şekil 4.13. AISI-16 kombinasyonlarının SAP2000'e tanımlanması.

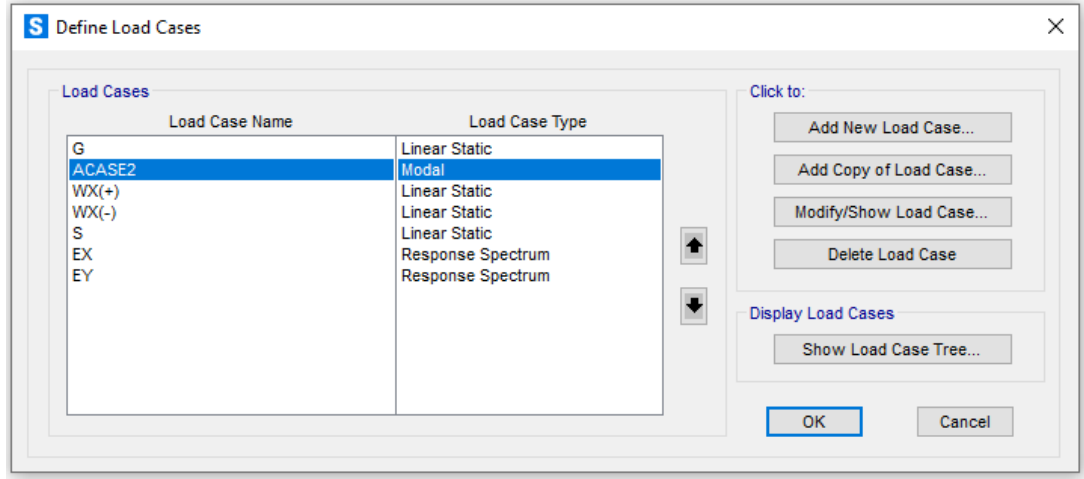
AISC 360-16 ise, Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü tarafından yayımlanan ve çelik yapıların tasarımı ve yapımı için kullanılan kapsamlı bir standarttır. Bu yönetmelik, Amerika Birleşik Devletleri'nde çelik yapı mühendisliğinin temel standartlarından biri olup, hem uygulama hem de akademik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. AISC 360-16'nın temel amacı, çelik yapıların taşıma kapasitesinin güvenli, ekonomik ve etkin şekilde hesaplanmasını sağlamak ve yapıların tasarımında ve analizinde mühendislik uygulamaları ile limit durum tasarımı prensiplerine uyulmasını temin etmektir. Bu tez çalışmasında kullanılan taşıyıcı çelik konstrüksiyon sistemindeki çaprazlar U profil olduğu için AISC 360-16 yönetmeliği tercih edilmiştir. Ancak, çapraz elemanlara ait kapasite oranlarının oldukça düşük çıkması nedeniyle bu elemanlar karşılaştırmalı değerlendirmeye dâhil edilmemiştir. Bu bağlamda çapraz profil için SAP2000 programının "*Design>Steel>View Preferences*" menüsü kullanılarak Şekil 4.14'te gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.14. AISC 360-16 standardının SAP2000'e tanımlanması.

4.5 GES'e Etki Eden Yüklerinin Hesaplanması ve SAP2000'e Tanımlanması

GES yapısına, SAP2000 programında yüklerin tanımlanması işlemi, âşıkların üzerine gelen yayılı yük şeklindedir. Aşıkların orta noktalarına gelen GES panellerinin uzunluk ortalaması yaklaşık olarak 1,15 m olarak hesaplanmaktadır. Bu durum, GES yapı sistemine etki eden yüklerin aşık elemanlarına tanımlanması sırasında, yük değerlerinin 1,15 katsayısı ile çarpılması gerektiğini ifade etmektedir. SAP2000 programına tanımlanan G sabit yükü (panel ağırlığı), S kar yükü, W rüzgâr yükü ve E deprem yükü parametreleri, Şekil 4.15'te görüldüğü üzere "Define>Load Cases" menüsü aracılığı ile görüntülenmektedir.



Şekil 4.15. SAP2000'e yüklerin tanımlanması.

4.5.1 Fotovoltaik panel yükü hesabı

Şekil 4.16'da gösterilen ve GES projesi için seçilen fotovoltaik panelin ağırlık değerleri, Şekil 4.4'teki verilere göre SAP2000 programının "*Assign>Frame Loads>Distributed*" menüsü kullanılarak tanımlanmıştır.

Panel Ölçüleri: 2,295m x 1,132m

Panel Ağırlığı (Somun, Vidalar ve Aşık Tutucu Aparatı Dahil): 36,5 kg

Panelin m² ağırlığı (Denklem 4.1);

$$36,5 / (2,295 \times 1,132) = 14,05 \text{ kg/m}^2 \quad (4.1)$$

Aşığa gelen panel yükü (Denklem 4.2);

$$1,15 \times 14,05 = 16,17 \text{ kg/m} = 0,1586 \text{ kN/m} \quad (4.2)$$

S Assign Frame Distributed Loads

General

Load Pattern: G

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Uniform Load

0,1586 kN/m

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0,25	0,75	1
Loads	0	0	0	0 kN/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 4.16. Fotovoltaik panel yükünün SAP2000’e tanımlanması.

4.5.2 Deprem yükü hesabı

Yapılara etkiyen deprem yükü, yer kabuğundaki ani hareketler sonucu zeminle birlikte yapının tabanında oluşan ivmeler nedeniyle meydana gelen atalet kuvvetleridir. Bu kuvvetler, yapının kütlesi ve dinamik özelliklerine bağlı olarak değişir ve taşıyıcı sistem elemanlarında yatay ve düşey yönde iç kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Deprem yüklerinin doğru belirlenmesi, yapı güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığına ait Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden GES projesinin yapım yeri olan 38.522633° enlem ve 33.885593° boylamında bulunan Aksaray ili Merkez ilçesi lokasyonu baz alınarak, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (T.C. Resmî Gazete, 2018, 30364) doğrultusunda Şekil 4.17’deki gibi SAP2000 programının “*Define>Functions>Response Spectrum*” menüsü kullanılarak tanımlanmıştır.

S Response Spectrum TSC-2018 Function Definition

Function Name: Function Damping Ratio:

Parameters

0.2 Sec Spectral Accel, Ss:
 1 Sec Spectral Accel, S1:
 Long-Period Transition Period:
 Response Modification, R:
 System Overstrength, D:
 Occupancy Importance, I:
 Site Class:
 Site Coefficient, Fs:
 Site Coefficient, F1:
 Design Spectrum Direction:

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,1014
0,0767	0,2112
0,3835	0,1267
0,6	0,081
0,8	0,0607
1,	0,0486
1,2	0,0405
1,4	0,0347

Function Graph

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = Fs * Ss:
 SD1 = F1 * S1:

Convert to User Defined

Display Graph: (4,8583 , 0,01)

OK Cancel

Şekil 4.17. Deprem yükünün SAP2000'e tanımlanması.

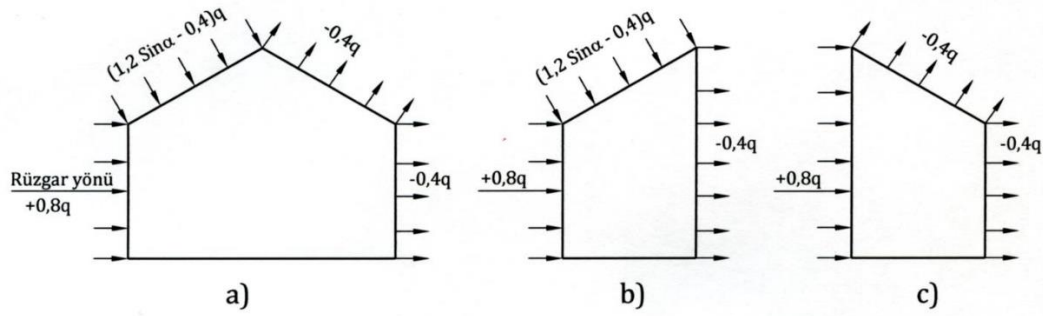
4.5.3 Rüzgâr yükü hesabı

Rüzgâr yükü hesaplamaları, esas olarak yapının geometrik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Rüzgârın yapı üzerine etkisi; basınç, emme ve sürtünme kuvvetlerinin birleşiminden oluşur. Bu etkiler, yapının konumu, yüksekliği, çevresindeki yapılaşma durumu ve topoğrafik koşullara bağlı olarak farklı oranlarda ortaya çıkar. Yerel topoğrafik özellikler, rüzgâr hızlarında önemli farklılıklara yol açabilir. Bu nedenle, belirli bölgelerde gözlemlenen rüzgâr hızları, standart şartlara göre hazırlanmış Çizelge 4.1'de verilen değerlerden sapma gösterebilir. Özellikle yüksek kotlarda ve sarp yamaçlarda konumlanan yapılar, rüzgâr etkilerine karşı daha fazla maruz kalmaktadır. Bu tür olumsuzlukların hesaba katılması amacıyla, söz konusu yapı konumları için emme basıncı değeri artırılmalı ve bu bağlamda $q = 1,1$ kN/m² olarak alınmalıdır. Bu değer, yapı üzerindeki rüzgâr yüklerinin daha güvenli ve gerçekçi biçimde modellenmesini sağlamak üzere kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı (TS 498-2021).

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı, v (m/s)	Emme Basıncı, q (kN/m ²)
0 – 8	28	0,5
9 – 20	36	0,8
21 – 100	42	1,1
> 100	46	1,3

Kare kesitli ve eğik (tek veya çift eğimli) çatılı kapalı yapılarda, rüzgâr yüklerinin yapı üzerindeki etkisi hem çatının geometrisi hem de yapının aerodinamik davranışıyla yakından ilişkilidir. Bu tür yapılarda, rüzgâr yükü öncelikle yapının rüzgâr gelen cephesi, çatı yüzeyleri ve arka cephede farklı basınç ve emme kuvvetleri oluşturur. Rüzgâr, yapının maruz kalan yüzeylerinde pozitif basınç (itici kuvvet) ve diğer yüzeylerde negatif basınç (emme kuvveti) meydana getirir. Şekil 4.18’de taşıyıcı sistem üzerine rüzgâr yükünün dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Rüzgâr yükünün taşıyıcı sistem doğrultusundaki dağıtımını (TS 498-2021).

Bu tez çalışmasında tasarlanan GES projesinde en tepedeki fotovoltaik panelin sıfır kotundan yüksekliği 2,7 m ve yatayla yaptığı açı (15° - 25°) aralığındadır. Çizelge 4.1’e göre rüzgâr emme basıncı 0,5 kN/m² alınır ve Şekil 4.18’e göre ise hesaplamalar yapılır. Yapılan hesaplamalar sonrasında bulunan değerler Şekil 4.19-20’de gösterildiği üzere SAP2000 programının “Assign>Frame Loads>Distributed” menüsü kullanılarak tanımlanmıştır.

Rüzgâr basınç (Denklem 4.3);

$$WX(-) = (1,2 \times \sin \alpha(25^\circ) - 0,4) \times 0,5 = 0,0536 \text{ kN/m}^2 \quad (4.3)$$

Aşığa gelen rüzgâr basınç (Denklem 4.4);

$$WX(-) \rightarrow 1,15 \times 0,0536 = 0,0616 \text{ kN/m} \quad (4.4)$$

Rüzgâr emme (Denklem 4.5);

$$WX(+) = -0,4 \times 0,5 = -0,2 \text{ kN/m}^2 \quad (4.5)$$

Aşığa gelen rüzgâr emme (Denklem 4.6);

$$WX(+) \rightarrow 1,15 \times -0,20 = -0,23 \text{ kN/m} \quad (4.6)$$

Şekil 4.19. Rüzgâr basınç yükünün SAP2000'e tanımlanması.

Şekil 4.20. Rüzgâr emme yükünün SAP2000'e tanımlanması.

4.5.4 Kar yükü hesabı

Kar yükü, yapının güvenliği, dayanıklılığı ve servis ömrü açısından kritik bir parametre olup, özellikle çatılarda lokal birikmeler sonucunda yapısal hasar riski oluşturabilir. Kar yükü, genellikle düşey yüklere etki eden bir çevresel etki olarak değerlendirilir ve yapıların statik hesabında kar yükü katsayısı, yerel iklim verileri ve çatı geometrisi dikkate alınarak hesaplanır. Kar yükünün büyüklüğü; karın yoğunluğuna, birikme şekline, rüzgâr etkisine, çatı eğimine ve termal kaçaklara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu değişkenler doğrultusunda birçok ülke, kar yükünün belirlenmesi için mühendislik standartları ve yönetmelikler geliştirmiştir.

Bu bölümde ise yukarıda bahsi geçen materyal, malzeme, kesitler ile GES projesine etkiyen rüzgâr, deprem ve panel ağırlıkları sabit tutularak, ülkelerin geliştirdiği farklı yük standartları doğrultusunda kar yüklerinin hesaplanarak, GES yapısına etkimesi gerçekleştirilmiştir.

4.5.4.1 TS 498-1997'ye göre kar yükü hesabı

Şekil 3.1'e göre Aksaray 1. Bölgede yer almaktadır. Aksaray'ın rakımı 978 m olup Çizelge 3.2'ye göre ise P_{k0} (zati kar yükü) değeri $0,80 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. GES yapısının eğimi 15° - 25° olup, Çizelge 3.1'e göre m (çatı eğimine bağlı azaltma değeri) 1,0 olarak alınmıştır. Kar yükü hesabı ise Denklem 4.7 kullanılarak bulunup, Şekil 4.21'de görüldüğü gibi "*Assign>Frame Loads>Distributed*" menüsü kullanılarak SAP2000 programına tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} P_k &= m \times P_{k0} \\ m &= 1,0 - (\alpha - 30^\circ)/(40^\circ), (\text{geçerlilik sınırı } 0 \leq m \leq 1) \\ P_k &= 1,0 \times 0,80 = 0,80 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Aşığa gelen kar yükü} &\rightarrow 1,15 \times 0,80 = 0,92 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Şekil 4.21. TS 498-1997’ye göre kar yükünün SAP2000’e tanımlanması.

4.5.4.2 TS EN 1991-1-3 (Eurocode 1)’e göre kar yükü hesabı

Şekil 3.3’e göre Aksaray ili Merkez ilçesi 6. Bölgede yer almaktadır. Aksaray’ın rakımı 978 m olup Çizelge 3.3’e göre ise S_k (karakteristik kar yükü) değeri emniyetli tarafta kalmak açısından $1,35 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. GES yapısının eğimi 15° - 25° olup, Çizelge 3.5’e göre μ_i (kar yükü şekil katsayısı) 0,8 olarak alınmıştır. C_t (ısı katsayısı) GES yapısı özel bir durum teşkil etmediğinden dolayı 1 olarak alınmıştır. C_e (topoğrafik bölge) değeri ise bu tez kapsamında karşılaştırma yapılacak değerdir. Çünkü TS 498-1997 yönetmeliği hariç bu tez kapsamında yapılan diğer yük yönetmeliklerde de olduğu gibi yapının bulunduğu lokasyondaki topoğrafik bölge yani rüzgâra maruz kalma durumu kar yükü hesabında önemli ölçüde değişimlere neden olmaktadır. Kar yükü hesabı ise hem rüzgâra açık hem de korunmuş yapılar için Denklem 4.8 kullanılarak hesaplanıp, Şekil 4.22-23’te görüldüğü gibi “Assign>Frame Loads> Distributed” menüsü kullanılarak SAP2000 programına tanımlanmıştır.

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (4.8)$$

GES projesinin rüzgâra açık bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Çizelge 3.4’e göre 0,8 olarak alınmıştır (Denklem 4.9).

$$S = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,35 = 0,864 \text{ kN/m}^2 \quad (4.9)$$

$$\text{Aşığa gelen kar yükü} \rightarrow 1,15 \times 0,864 = 0,9936 \text{ kN/m}$$

Şekil 4.22. TS EN 1991-1-3 rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin rüzgârdan korunmuş bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Çizelge 3.4'e göre 1,2 olarak alınmıştır (Denklem 4.10).

$$S = 0,8 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,35 = 1,296 \text{ kN/m}^2 \quad (4.10)$$

$$\text{Aşığa gelen kar yükü} \rightarrow 1,15 \times 1,296 = 1,49 \text{ kN/m}$$

Şekil 4.23. TS EN 1991-1-3 korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

4.5.4.3 ASCE 7-22'ye göre kar yükü hesabı

Bölüm 3.6'da da belirtildiği üzere GES projesinin lokasyonu sabit ve Türkiye'de olduğu için ASCE 7-22 standardında olan P_g (yerel zemin kar yükü) değeri, TS 498-2021'deki S_k değeri olan $1,35 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. GES projesinin çatı tipi herhangi bir ısıtılma maruz kalmayacağı için C_t (termal katsayı) değeri Çizelge 3.6'da belirtilen ısıtılmamış çatı tipi katsayısı olan 1,2 olarak alınmıştır. Çatının eğim faktörü katsayısı ise çatı yüzeyinin termal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 30° 'ye kadar TS 498-1997 ve TS EN 1991-1-3 standartlarında çatı eğimine bağlı azaltma katsayıları sabit tutulmuştur. Lakin ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarında bu eğim faktörü sabit değildir. Çizelge 3.6'daki ısıtılmamış çatı → kaygan ve engelsiz → 15° – 70° 'deki C_s (eğim faktörü) formülü kullanılarak aşağıda bulunmuştur. I_s (bina önem katsayısı) ise Çizelge 3.8'de belirtildiği üzere, yapının kullanım amacına göre belirlenir ve GES projeleri normal yapı sınıfına dâhil olduğu için bina önem katsayısı 1,0 olarak alınmıştır. C_e (maruz kalma katsayısı) ve C_s (eğim faktörü) bu yönetmelikte karşılaştırma konusu olacaktır. Kar yükü hesabı ise hem eğim faktörü (15° – 25°) hem de rüzgâr etkisi göz önünde bulundurularak Denklem 4.11 kullanılarak hesaplanıp, Şekil 4.24-27'de görüldüğü gibi “Assign>Frame Loads>Distributed” menüsü kullanılarak SAP2000 programına tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} P_f &= 0,7 \times C_e \times C_t \times I_s \times P_g \\ P_s &= C_s \times P_f \\ C_s &= 1,0 - (\text{eğim} - 15^\circ)/55^\circ \end{aligned} \quad (4.11)$$

GES projesinin 25° eğimli ve rüzgâra açık bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Çizelge 3.7'de verildiği üzere 0,9 olarak alınmıştır (Denklem 4.12).

$$\begin{aligned} P_f &= 0,7 \times 0,9 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,35 \\ C_s &= 1,0 - (25^\circ - 15^\circ)/55^\circ = 0,82 \\ P_s &= C_s \times P_f = 0,82 \times 1,021 = 0,837 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Aşığa gelen kar yükü} &\rightarrow 1,15 \times 0,837 = 0,962 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Şekil 4.24. ASCE 7-22 çatı eğiminin 25° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin 25° eğimli ve rüzgârdan korunmuş bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Çizelge 3.7'de verildiği üzere 1,1 olarak alınmıştır (Denklem 4.13).

$$P_f = 0,7 \times 1,1 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,35$$

$$C_s = 1,0 - (25^\circ - 15^\circ)/55^\circ = 0,82$$

$$P_s = C_s * P_f = 0,82 \times 1,247 = 1,023 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Aşığa gelen kar yükü} \rightarrow 1,15 \times 1,023 = 1,176 \text{ kN/m}$$

(4.13)

Şekil 4.25. ASCE 7-22 çatı eğiminin 25° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin 15° eğimli ve rüzgâra açık bir bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Çizelge 3.7’de verildiği üzere 0,9 olarak alınmıştır (Denklem 4.14).

$$\begin{aligned}
 P_f &= 0,7 \times 0,9 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,35 \\
 C_s &= 1,0 \\
 P_s &= C_s \times P_f = 1 \times 1,021 = 1,021 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Aşığa gelen kar yükü} &\rightarrow 1,15 \times 1,021 = 1,174 \text{ kN/m}
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

Şekil 4.26. ASCE 7-22 çatı eğiminin 15° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000’e tanımlanması.

GES projesinin 15° eğimli ve rüzgârdan korunmuş bir bölgede olduğu düşünüldüğünde C_e değeri Bölüm 3.7’de verildiği üzere 1,1 olarak alınmıştır (Denklem 4.15).

$$\begin{aligned}
 P_f &= 0,7 \times 1,1 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,35 \\
 C_s &= 1,0 \\
 P_s &= C_s \times P_f = 1,0 \times 1,247 = 1,247 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Aşığa gelen kar yükü} &\rightarrow 1,15 \times 1,247 = 1,434 \text{ kN/m}
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Şekil 4.27. ASCE 7-22 çatı eğiminin 15° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

4.5.4.4 NBCC 2020'ye göre kar yükü hesabı

Bölüm 3.7'de de belirtildiği üzere GES projesinin lokasyonu sabit ve Türkiye'de olduğu için NBCC 2020 standardında olan S_s (yerel kar yükü) değeri, TS 498-2021'deki S_k değeri olan $1,35 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. I_s (bina önem katsayısı) Çizelge 3.9'da belirtildiği üzere yapının kullanım amacına göre belirlenir ve GES projeleri normal yapı sınıfına dâhil olduğu için bina önem katsayısı 1,0 olarak alınmıştır. C_b (temel çatı konfigürasyon katsayısı) ise 0,8 olarak alınmıştır. C_a (birikme faktörü) 1,0 olarak alınmıştır. S_r yağmur kaynaklı ek yük katsayısı değeri ise 0 olarak alınmıştır. C_s (çatı eğim katsayısı) Çizelge 3.11'deki formül kullanılarak aşağıda bulunmuştur. C_w (rüzgâr etkisi katsayısı) ve C_s (çatı eğim katsayısı) da tıpkı Amerika standardında olduğu gibi bu yönetmelikte de karşılaştırma konusu olacaktır. Kar yükü hesabı ise hem eğim faktörü (15° - 25°) hem de rüzgâr etkisi göz önünde bulundurularak (Denklem 4.16) kullanılarak hesaplanıp, Şekil 4.28-31'de görüldüğü gibi “Assign>Frame Loads> Distributed” menüsü kullanılarak SAP2000 programına tanımlanmıştır.

$$S = I_s \times [S_s \times (C_b \times C_w \times C_s \times C_a) + S_r] \quad (4.16)$$

$$C_s = (60^\circ - \alpha)/45^\circ$$

GES projesinin 25° eğimli ve rüzgâra açık bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_w değeri Çizelge 3.10'da verildiği üzere 0,75 olarak alınmıştır (Denklem 4.17).

$$C_s = (60^\circ - 25^\circ)/45^\circ = 0,77$$

$$S = 1,0 \times (1,35 \times (0,8 \times 0,75 \times 0,77 \times 1,0) + 0)$$

$$S = 0,624 \text{ kN/m}^2$$

$$(4.17)$$

Aşığa gelen kar yükü $\rightarrow 1,15 \times 0,624 = 0,717 \text{ kN/m}$

Şekil 4.28. NBCC 2020 çatı eğiminin 25° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin 25° eğimli ve rüzgârdan korunmuş bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_w değeri Çizelge 3.10'da verildiği üzere 1,0 olarak alınmıştır (Denklem 4.18).

$$C_s = (60^\circ - 25^\circ)/45^\circ = 0,77$$

$$S = 1,0 \times (1,35 \times (0,8 \times 1,0 \times 0,77 \times 1,0) + 0)$$

$$S = 0,832 \text{ kN/m}^2$$

$$(4.18)$$

Aşığa gelen kar yükü $\rightarrow 1,15 \times 0,832 = 0,956 \text{ kN/m}$

Şekil 4.29. NBCC 2020 çatı eğiminin 25° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin 15° eğimli ve rüzgâra açık bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_w değeri Çizelge 3.10'da verildiği üzere 0,75 olarak alınmıştır (Denklem 4.19).

$$C_s = 1,0$$

$$S = 1,0 \times (1,35 \times (0,8 \times 0,75 \times 1,0 \times 1,0) + 0)$$

$$S = 0,81 \text{ kN/m}^2$$

(4.19)

Aşığa gelen kar yükü $\rightarrow 1,15 \times 0,81 = 0,932 \text{ kN/m}$

Şekil 4.30. NBCC 2020 çatı eğiminin 15° ve rüzgâra açık bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

GES projesinin 15° eğimli ve rüzgârdan korunmuş bir topoğrafik bölgede olduğu düşünüldüğünde C_w değeri Çizelge 3.10'da verildiği üzere 1,0 olarak alınmıştır (Denklem 4.20).

$$C_s = 1,0$$

$$S = 1,0 \times (1,35 \times (0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0) + 0)$$

$$S = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Aşığa gelen kar yükü} \rightarrow 1,15 \times 1,08 = 1,242 \text{ kN/m}$$
(4.20)

Şekil 4.31. NBCC 2020 çatı eğiminin 15° ve korunaklı bölgede kar yükünün SAP2000'e tanımlanması.

4.6 Standartların Karşılaştırılması

Çizelge 4.2 farklı ulusal ve uluslararası standartlar kapsamında çatı kar yüklerinin, rüzgâr durumu (açık - korunaklı) ve çatı eğimi (15° - 25°) değişkenlerine göre nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca Şekil 4.32'de bu değerlerin karşılaştırılmalı bir grafiği sunulmuştur. TS 498-2021'de sadece zemin kar yükleri verilmiş olup bu yüklerin yapıya nasıl etki edeceği konusunda bir hesaplama yöntemi önerilmemiştir; doğrudan TS EN 1991-1-3 (Eurocode 1) yönetmeliğinde verilen hesaplama ve tasarım parametrelerinin kullanılmasını önermektedir. Zira 2025 yılında yayımlanan TS EN 1991-1-3'te ise artık zemin kar yükleri Milli Ekler bölümünde verilmemiştir. Yani bu tez çalışmasında kullanılan TS 498-2021 ve TS EN 1991-1-3

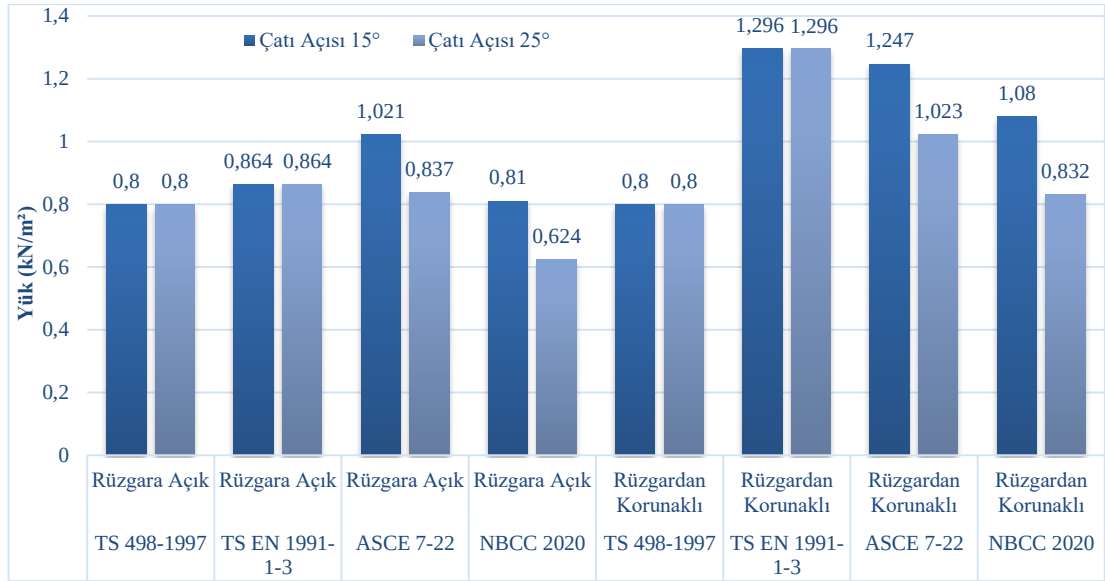
Türkiye’de kullanılan güncel kar yükleri açısından birbirlerini tamamlayan standartlardır. Bu tez kapsamında TS 498-1997 standardı, çatı eğiminden ve rüzgâr durumundan bağımsız olarak sabit kar yükü değeri (0,8 kN/m²) öngörürken, TS EN 1991-1-3 standardı sadece rüzgâr durumuna bağlı olarak farklı yük değeri öngörmektedir. Buna karşın ASCE 7-22 ve NBCC 2020 gibi daha detaylı hesaplama yöntemleri içeren standartlar, hem çatı eğimi hem de rüzgâr etkisi gibi parametrelere bağlı olarak kar yükünde değişiklikler sunmaktadır.

Rüzgâra açık koşullarında, 15° çatı eğimi için en yüksek yük değeri 1,021 kN/m² ile ASCE 7-22 standardı kullanarak hesaplanmışken, en düşük değer 0,8 kN/m² ile TS 498-1997 standardından elde edilmiştir. Çatı eğiminin 25°’ye yükselmesiyle birlikte, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarında hesaplanan kar yüklerinde azalma meydana gelmiş; bu durum, çatı eğiminin artmasının kar birikimini azalttığını göstermektedir. Korunaklı durumlarda ise TS 498-1997 standardı hariç diğer tüm standartlar açık duruma kıyasla daha yüksek yük değerleri sunmuş; özellikle TS EN 1991-1-3 standardı her iki eğim için de 1,296 kN/m² ile en yüksek değeri vermiştir. Bu durum, yapının çevresel koşullarının ve standartların temel varsayımlarının, kar yükü hesaplamalarında belirleyici bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, farklı standartlar arasındaki hesaplama yöntemleri ile rüzgâra maruz kalma ve çatı eğimi gibi dönüştürme katsayılarının, kar yükü değerleri üzerinde önemli farklılıklar yarattığı görülmektedir. Bu durum, yapısal tasarımda hangi standardın esas alınacağını, nihai yük değerleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu vurgulamakta ve mühendislik uygulamalarında standart seçiminin dikkatle yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.2. GES tesisine etkiyen kar yükü değerleri.

Standart	Rüzgâr Durumu	Yük (kN/m ²)	Standart	Rüzgâr Durumu	Yük (kN/m ²)
Çatı Açısı 15°			Çatı Açısı 25°		
TS 498-1997	Açık	0,800	TS 498-1997	Açık	0,800
TS EN 1991-1-3	Açık	0,864	TS EN 1991-1-3	Açık	0,864
ASCE 7-22	Açık	1,021	ASCE 7-22	Açık	0,837
NBCC 2020	Açık	0,810	NBCC 2020	Açık	0,624
TS 498-1997	Korunaklı	0,800	TS 498-1997	Korunaklı	0,800
TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,296	TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,296
ASCE 7-22	Korunaklı	1,247	ASCE 7-22	Korunaklı	1,023
NBCC 2020	Korunaklı	1,080	NBCC 2020	Korunaklı	0,832



Şekil 4.32. Kar yükü değerlerinin karşılaştırılması.

4.7 GES Taşıyıcı Sisteminin SAP2000 Programında Tasarımı

Bu bölümde, kar yükleri altında standartların (TS 498-1997, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22, NBCC 2020) karşılaştırılması SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerde rüzgâr, deprem ve fotovoltaiik panel yükleri sabit tutulup, yalnızca kar yükü değişken parametre olarak ele alınmıştır. Tüm tanımlamalar SAP2000 programına girildikten sonra, tasarım (dizayn) işlemi “*Design>Cold Formed Steel>Start Design*” menüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

SAP2000’de tasarım yapıldığı zaman yapı elemanlarının kapasite oranları (Demand/Capacity), elemanların tasarım yükleri altında gerçekleştirdiği performansın, taşıyabileceği sınır dayanımı ile karşılaştırılması esasına dayanan normalize bir yapısal güvenlik ölçütüdür. Bu oran, mühendislikte sıkça kullanılan göreceli güvenlik göstergesi olarak yorumlanır. SAP2000 gibi sonlu elemanlar yazılımı, elemanların maruz kaldığı çok eksenli yükleme durumları (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti vb.) altında D/C oranlarını sayısal olarak: $D/C = Q_u / (\phi * R_n)$ göstermektedir.

Q_u : Uygulanan yük kombinasyonları sonucunda oluşan tasarım istemi,

R_n : Elemanın nominal (hesaplanan) kapasitesi,

ϕ : Dayanım indirgeme katsayısı,

$\phi * R_n$: Etkin (izin verilen) dayanım.

Bu oran, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yöntemi (Load and Resistance Factor Design - LRFD) çerçevesinde geliştirilmiştir ve çok eksenli yük etkilerinin tasarım güvenliğine olan etkilerini sayısal olarak ortaya koymaktadır.

4.7.1 TS 498-1997'ye göre kapasite oranları (D/C)

Şekil 4.33'te TS 498-1997 standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 0,935 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranına sahip değer 0,752'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,387'dir. TS 498-1997 standardı rüzgâra maruz kalma ve çatı eğimine (15° - 25°) bağlı azaltma katsayısı içermemektedir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.1- 3'te gösterilmiştir.

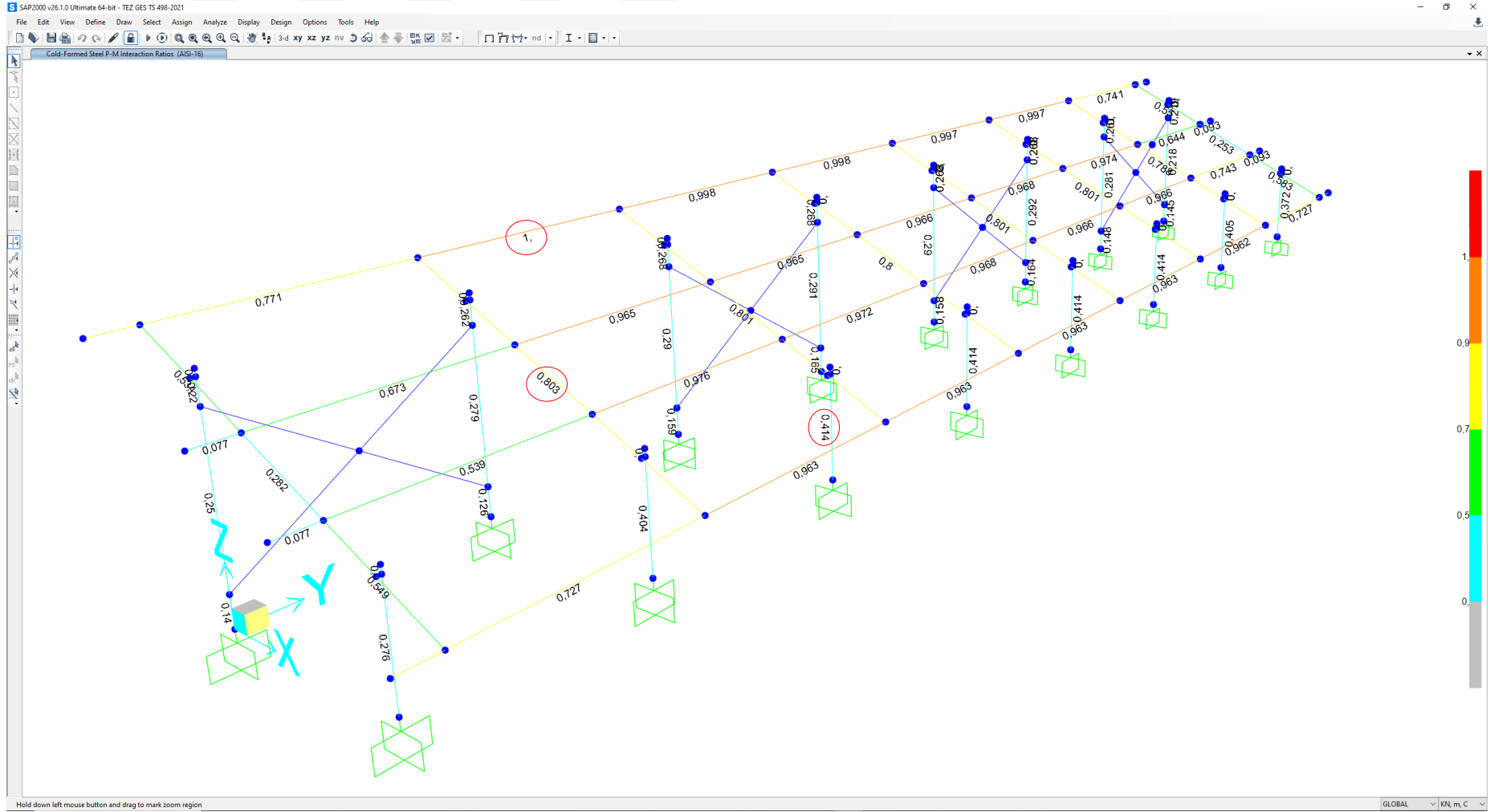
TS 498-1997 standardına göre, çatı eğimi 30° 'ye kadar olan durumlarda kar yükü azaltma katsayısı sabit bir değer olarak kabul edilmekte ve bu eşik değerinin altındaki eğimler için ayrı bir azaltma öngörülmemektedir.

4.7.2 TS EN 1991-1-3'e göre kapasite oranları (D/C)

Şekil 4.34'te TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,803'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,414'tür. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.4-6'da gösterilmiştir.

Şekil 4.35'te TS EN 1991-1-3 (korunaklı) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1,438 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 1,147'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,591'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.7- 9'da gösterilmiştir.

TS EN 1991-1-3 standardına göre, çatı eğimi 30°'ye kadar olan durumlarda kar yükü azaltma katsayısı sabit bir değer olarak kabul edilmekte ve bu eşik değerinin altındaki eğimler için ayrı bir azaltma öngörülmemektedir.



Şekil 4.34. TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.

4.7.3 ASCE 7-22 (25°)'ye göre kapasite oranları (D/C)

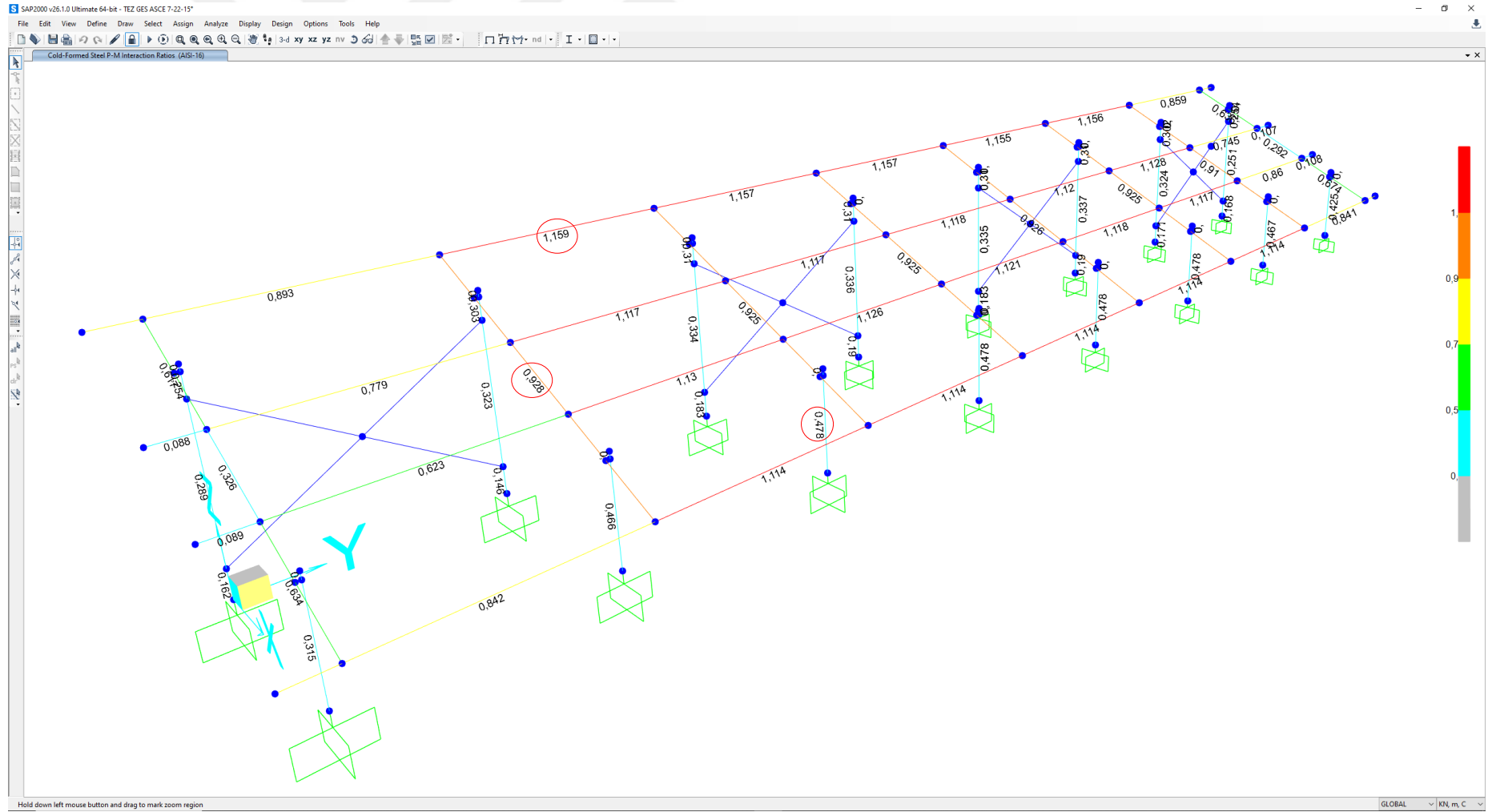
Şekil 4.36'da ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 0,972 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,781'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,402'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.10- 12'de gösterilmiştir.

Şekil 4.37'de ASCE 7-22 (25° - korunaklı) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1,164 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,932'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,48'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.13- 15'te gösterilmiştir.

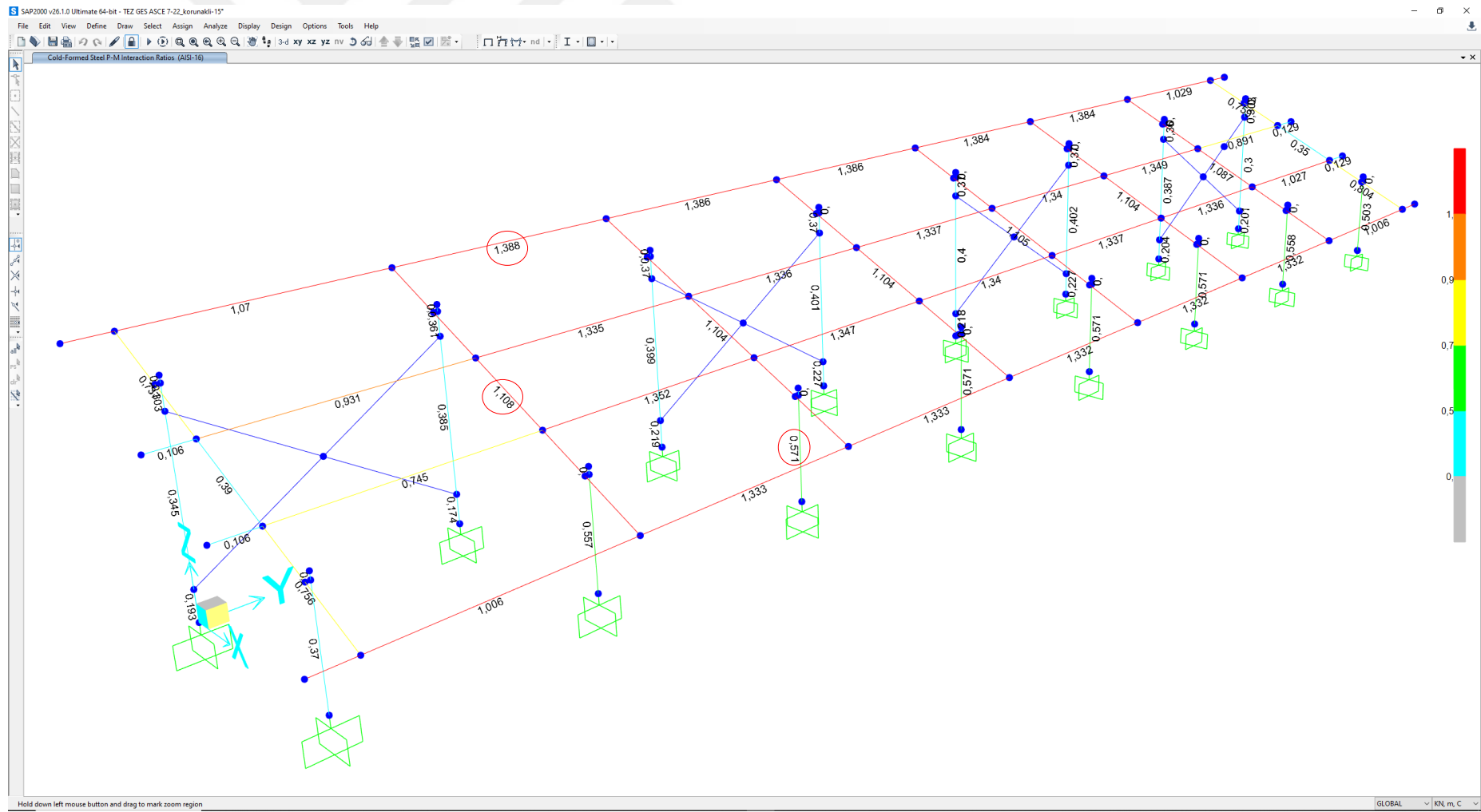
4.7.4 ASCE 7-22 (15°)'ye göre kapasite oranları (D/C)

Şekil 4.38'de ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1,159 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,928'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,478'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.16- 18'de gösterilmiştir.

Şekil 4.39'da ASCE 7-22 (15° - korunaklı) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1,388 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 1,108'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,571'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.19- 21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.

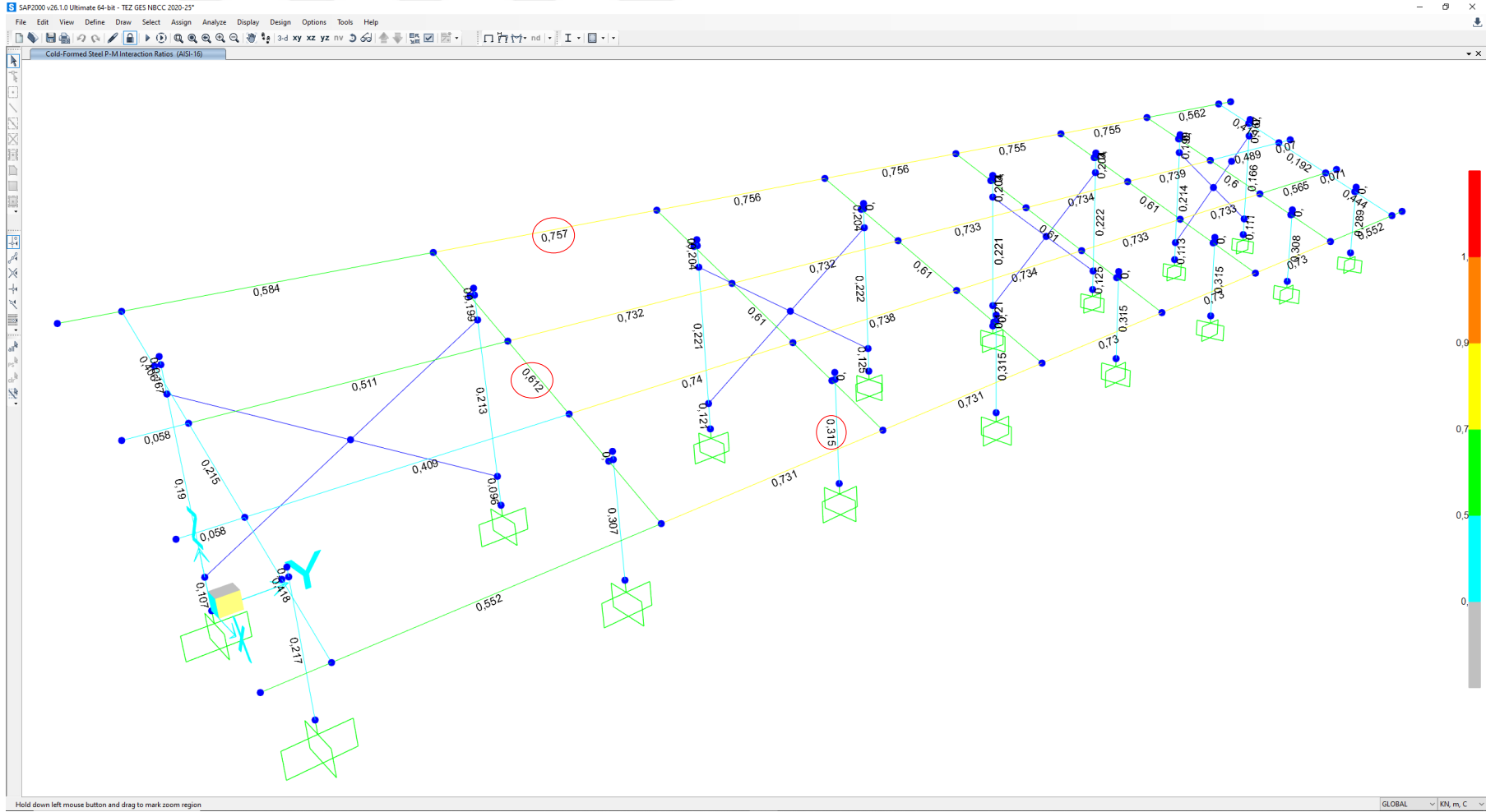


Şekil 4.39. ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.

4.7.5 NBCC 2020 (25°)'ye göre kapasite oranları (D/C)

Şekil 4.40'ta NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 0,757 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,612'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,315'tir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.22- 24'te gösterilmiştir.

Şekil 4.41'de NBCC 2020 (25° - korunaklı) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 0,967 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,777'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,4'tür. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.25- 27'de gösterilmiştir.

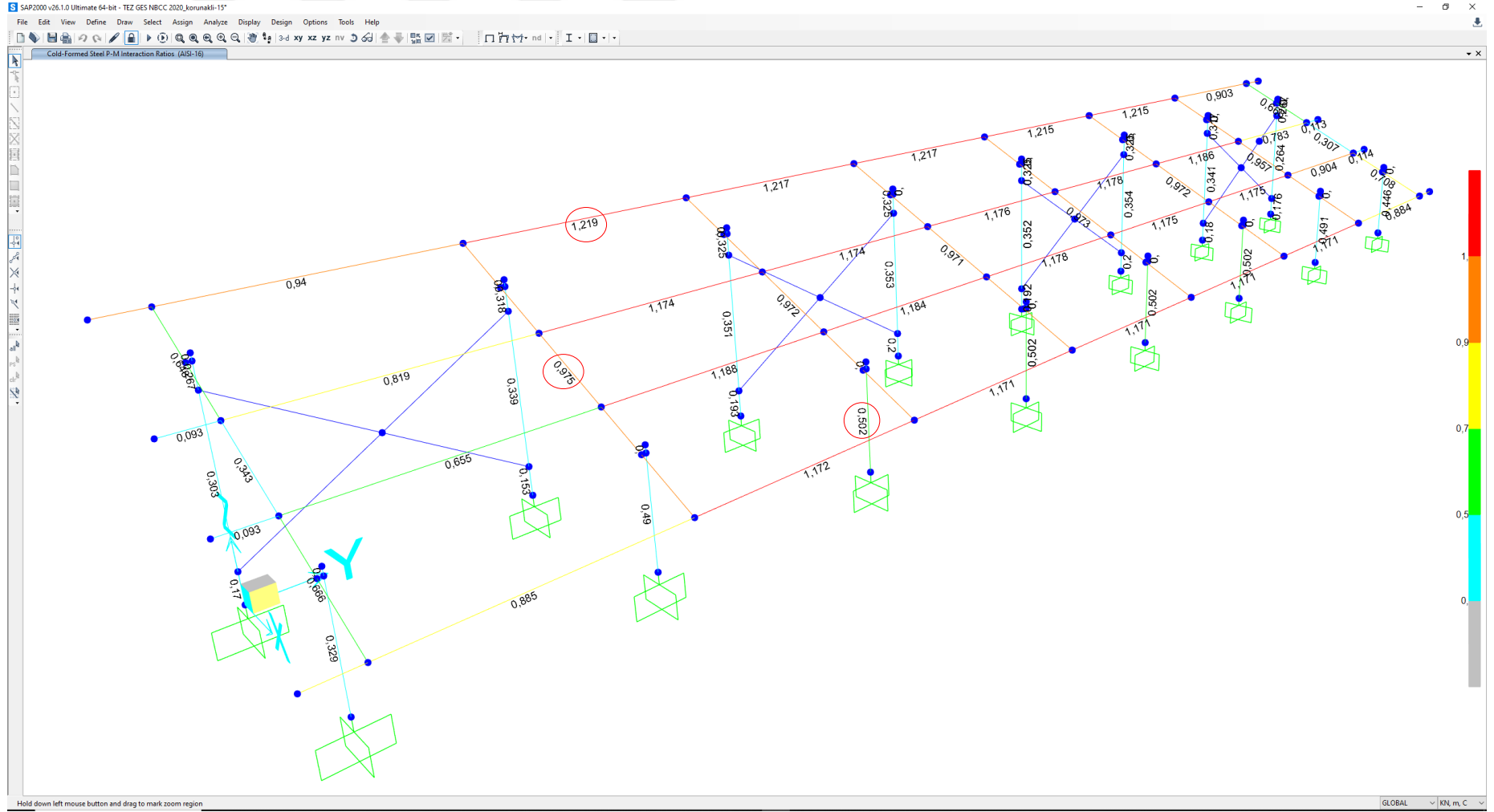


Şekil 4.40. NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre elemanların kapasite oranları.

4.7.6 NBCC 2020 (15°)'ye göre kapasite oranları (D/C)

Şekil 4.42'de NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 0,946 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,761'dir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,392'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.28- 30'da gösterilmiştir.

Şekil 4.43'te NBCC 2020 (15° - korunaklı) standardında önerilen kar yükü kullanılarak yapılan analiz sonucu yapı elamanlarının kapasite oranları görülmektedir. En kritik aşıktaki kapasite oranı 1,219 olarak elde edilmiştir. Kirişler arasında en kritik kapasite oranı sahip değer 0,975'tir. Aynı şekilde kolonlar için en kritik kapasite oran değeri ise 0,502'dir. Bu oranlardan anlaşılacağı üzere bu tasarımda en büyük problem aşıklarda görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en kritik yük kombinasyonu 1,2G+1,6S olduğu görülmüştür. Bu yük kombinasyonundaki göçme modlarına göre farklı kapasite oranları, kullanılan malzeme ve kesit özelliklerine dayalı hafif çelik kesit kontrolü Ek A Şekil A.31- 33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.43. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre elemanların kapasite oranları.

4.8 Kapasite Oranlarının (D/C) Karşılaştırması

Yapısal elemanların dayanım düzeylerinin belirlenmesinde, farklı yükleme senaryolarına ve tasarım standartlarına göre elde edilen kapasite oranları kritik bir değerlendirme ölçütü oluşturmaktadır. SAP2000 programında kullanılan kapasite oranı (D/C), bir yapısal elemanın maruz kaldığı zorlamanın, ilgili yönetmeliklere göre izin verilen kapasiteye oranını ifade eder. Bu oran, “Demand/Capacity” (Talep/Kapasite) prensibine dayanmaktadır ve 1,0’dan küçük veya eşitse, eleman güvenli kabul edilir; 1,0’i aşması durumunda ise elemanın kapasitesi yetersizdir ve yapısal olarak yetersizlik söz konusudur. Bu gösterge, hem eleman düzeyinde hem de tüm yapı sisteminde güvenliğin nicel bir ölçütü olarak mühendislik tasarım süreçlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Bu bağlamda, âşıklar, kirişler ve kolonlar gibi taşıyıcı sistem elemanlarının çeşitli yük standartlarına göre maruz kaldıkları zorlanmalar, hem eleman bazında hem de genel yapı güvenliği açısından önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Çatı eğimi ve rüzgâr durumu gibi çevresel etkenlerin yanı sıra kullanılan standartların yük tanımlama yaklaşımları, elemanların kapasite oranlarını doğrudan etkilemektedir.

Bu bölümde, TS 498-1997, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarına göre en kritik kesitlerde oluşan kapasite oranları incelenmiştir. Analizler, hem 15° hem de 25° çatı eğimi için açık ve korunaklı rüzgâr koşulları altında gerçekleştirilmiş olup, her bir taşıyıcı eleman özelinde elde edilen sonuçlar çizelgeler hâlinde sunulmuştur. Amaç, farklı standartların tasarım senaryolarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve yapısal elemanların hangi koşullarda sınır kapasiteye daha fazla yaklaştığını ortaya koymaktır. Elde edilen bulgular, standart seçiminin ve çevresel parametrelerin yapısal güvenlik üzerindeki etkisini somut biçimde ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3’te, farklı standartlara göre yapılan yapısal analizler sonucunda en kritik âşik kesitlerinde elde edilen kapasite oranları (D/C) sunulmakta ve bu değerler rüzgâra maruz kalma durumu ile çatı eğimine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu oranların karşılaştırılması ise Şekil 4.44’te grafiksel olarak sunulmuştur. Bu oran, yapıya etkileyen yük ile elemanın taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi ifade eder ve 1’e eşit ya da yakın değerler, elemanın sınır kapasitesine ulaştığını gösterir. Değerin 1’in üzerine çıkması ise elemanın yetersiz olduğunu işaret eder.

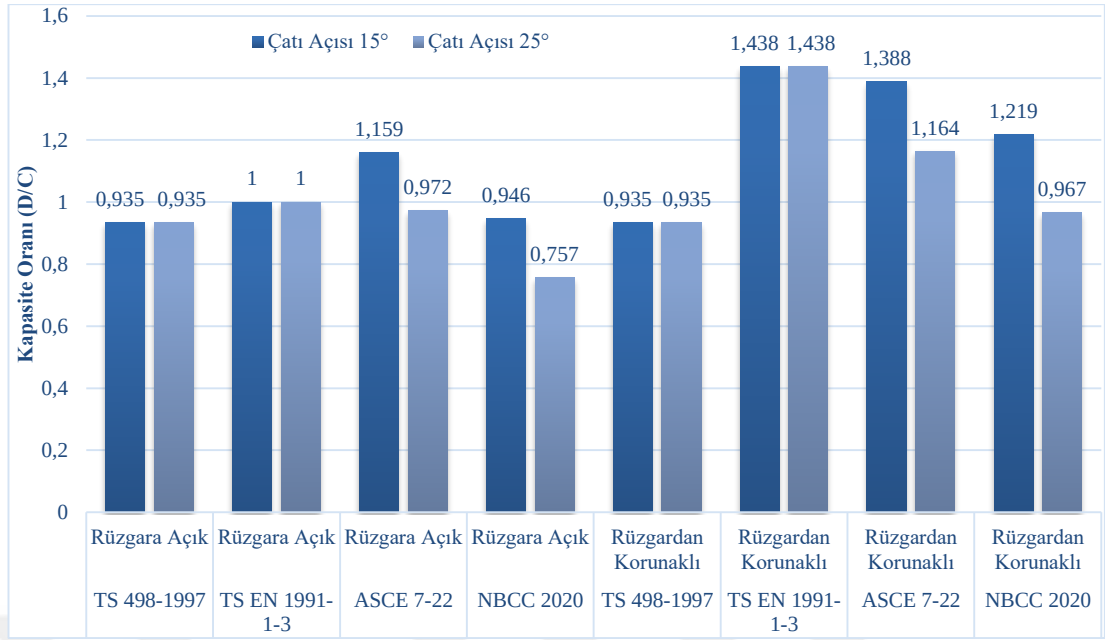
Eğimi 15° olan GES taşıyıcı sistemi için rüzgâra açık koşulunda en yüksek kapasite oranı 1,159 ile ASCE 7-22 standardında, en düşük değer ise 0,935 ile TS 498-1997’de elde edilmiştir. TS EN 1991-1-3 ve NBCC 2020 standartlarında ise sırasıyla 1 ve 0,946 oranları gözlenmiştir. GES taşıyıcı sistemi eğiminin 25° ’ye çıkarılması, NBCC 2020 ve özellikle ASCE 7-22 standartlarına göre kapasite oranlarında azalma meydana getirmiştir. Bu azalma, eğimin artmasıyla kar yükünün azalmasına ve dolayısıyla yapısal zorlanmanın düşmesini ifade etmektedir.

Rüzgârdan korunaklı durumda ise, kapasite oranları rüzgâra açık durumuna kıyasla önemli ölçüde artmıştır. TS EN 1991-1-3 ve ASCE 7-22 standartlarında eğimin 15° olduğu durumda kapasite oranları sırasıyla 1,438 ve 1,388 ile elemanların taşıma kapasitelerini aştığını göstermektedir. Bu durum, özellikle Avrupa ve Amerikan standartlarının kar yüküne ilişkin daha korumacı yaklaşımlar sergilediğini ortaya koymaktadır. NBCC 2020 ve TS 498-1997 ise daha düşük D/C oranlarıyla daha ılımlı sonuçlar sunmuştur.

Genel olarak Çizelge 4.3, farklı standartların taşıyıcı sistem elemanı olan aşıklar üzerindeki etkisini açık biçimde yansıtmaktadır. TS EN 1991-1-3 ve ASCE 7-22 gibi standartlar daha yüksek yükler öngördüğü için kapasite oranlarını artırmakta; bu da yapısal güvenlik açısından daha detaylı hesaplamaların yapılmasını ve gerekirse kesitlerin güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Çizelge 4.3. Standartlara göre en kritik aşıkların kapasite oranları.

Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)	Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)
Çatı Açısı 15°			Çatı Açısı 25°		
TS 498-1997	Açık	0,935	TS 498-1997	Açık	0,935
TS EN 1991-1-3	Açık	1	TS EN 1991-1-3	Açık	1
ASCE 7-22	Açık	1,159	ASCE 7-22	Açık	0,972
NBCC 2020	Açık	0,946	NBCC 2020	Açık	0,757
TS 498-1997	Korunaklı	0,935	TS 498-1997	Korunaklı	0,935
TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,438	TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,438
ASCE 7-22	Korunaklı	1,388	ASCE 7-22	Korunaklı	1,164
NBCC 2020	Korunaklı	1,219	NBCC 2020	Korunaklı	0,967



Şekil 4.44. En kritik aşıkların kapasite oranlarının karşılaştırılması.

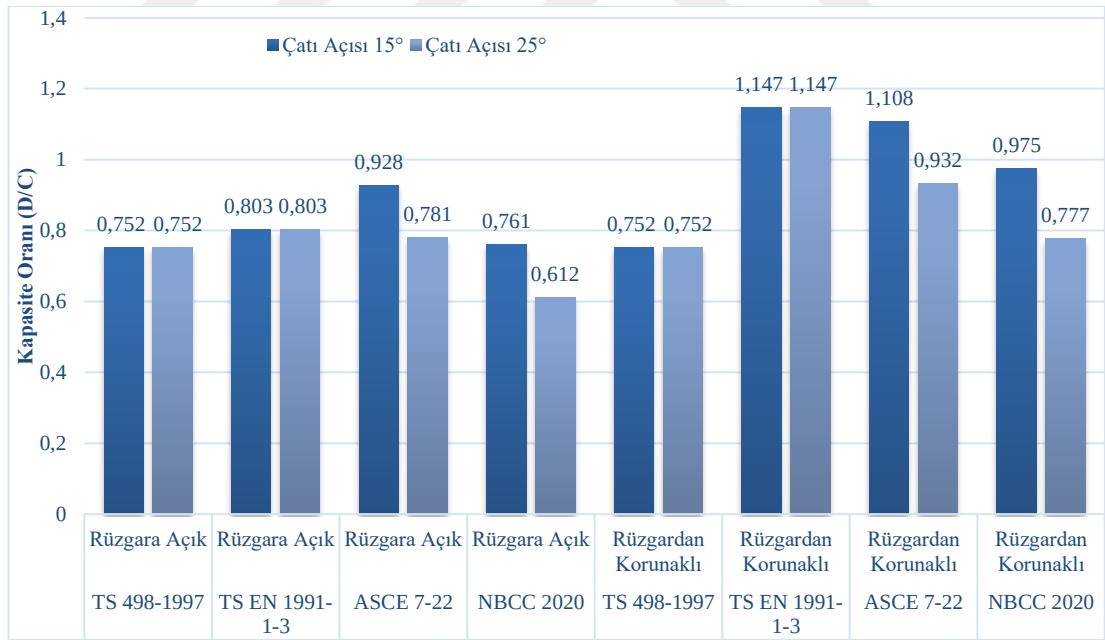
Çizelge 4.4'te, farklı yapı standartlarına göre en kritik kirişlerde elde edilen kapasite oranları (D/C) sunulmakta ve bu değerler rüzgâra maruz kalma durumu ile çatı eğimine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Bu oranların karşılaştırılması ise Şekil 4.45'te grafiksel olarak sunulmuştur. Çatı eğiminin 15° olduğu rüzgâra açık koşullarında, en yüksek kapasite oranı 0,928 ile ASCE 7-22 standardında görülmüş olup, bu değeri 0,803 ile TS EN 1991-1-3 ve 0,761 ile NBCC 2020 takip etmiştir. En düşük oran ise 0,752 ile TS 498-1997'ye aittir. Bu durum, ASCE 7-22'nin çatı kirişleri üzerinde diğer standartlara kıyasla daha yüksek yük etkisi öngördüğünü göstermektedir. Çatı eğiminin 25°'ye yükselmesiyle birlikte kapasite oranlarında genel bir azalma eğilimi gözlenmiş; özellikle ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarında bu düşüş daha belirgindir.

Rüzgârdan korunaklı durumlarda ise TS 498-1997 standardı hariç diğer tüm standartlarda kapasite oranlarında artış yaşanmıştır. Eğimin 15° olduğu durumda TS EN 1991-1-3 ve ASCE 7-22 standartları sırasıyla 1,147 ve 1,108 değerleriyle kiriş kesitlerinin kapasitesini aşmakta; bu da daha emniyetli yükleme yaklaşımlarının taşıyıcı sistem üzerinde oluşturduğu ilave zorlamaları ortaya koymaktadır. Buna karşılık TS 498-1997 standardı, her iki eğim ve rüzgâr durumu için sabit ve düşük kapasite oranı (0,752) vermektedir. NBCC 2020 standardı ise korunaklı durumda 0,975 (15°) ve 0,777 (25°) değerleriyle daha ılımlı bir performans sunmaktadır.

Sonuç olarak Çizelge 4.4, kiriş elemanlarının farklı standartlara göre gösterdiği performansı ortaya koymakta; özellikle Avrupa (TS EN 1991-1-3) ve Amerikan (ASCE 7-22) standartlarının daha yüksek güvenlik düzeyi hedefleri nedeniyle daha büyük kapasite oranlarına yol açtığını göstermektedir. Bu bağlamda, yapısal güvenliğin sağlanması açısından doğru standart seçimi kadar çatı eğimi ve çevresel koşulların da hesaplamalarda dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 4.4. Standartlara göre en kritik kirişlerin kapasite oranları.

Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)	Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)
Çatı Açısı 15°			Çatı Açısı 25°		
TS 498-1997	Açık	0,752	TS 498-1997	Açık	0,752
TS EN 1991-1-3	Açık	0,803	TS EN 1991-1-3	Açık	0,803
ASCE 7-22	Açık	0,928	ASCE 7-22	Açık	0,781
NBCC 2020	Açık	0,761	NBCC 2020	Açık	0,612
TS 498-1997	Korunaklı	0,752	TS 498-1997	Korunaklı	0,752
TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,147	TS EN 1991-1-3	Korunaklı	1,147
ASCE 7-22	Korunaklı	1,108	ASCE 7-22	Korunaklı	0,932
NBCC 2020	Korunaklı	0,975	NBCC 2020	Korunaklı	0,777



Şekil 4.45. En kritik kirişlerin kapasite oranlarının karşılaştırılması.

Çizelge 4.5'te, farklı yapı tasarım standartlarına göre en kritik kolon kesitleri için elde edilen kapasite oranları (D/C) sunulmakta ve bu değerler rüzgâra maruz kalma durumu ile çatı eğimine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu oranların karşılaştırılması ise Şekil 4.46'da grafiksel olarak sunulmuştur. Rüzgâr açık koşullarında ve 15° çatı

eğiminde en yüksek kapasite oranı 0,478 ile ASCE 7-22 standardına aitken, bunu 0,414 ile TS EN 1991-1-3 ve 0,392 ile NBCC 2020 izlemektedir. TS 498-1997 standardı ise 0,387 ile en düşük kapasite oranını sunmuştur. Çatı eğimi 25°'ye çıktığında ise ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarının kapasite oranlarında azalma eğilimi gözlenmiş olup, bu durum eğimin artmasıyla kar yükü etkisinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan TS 498-1997 ve TS EN 1991-1-3 standartlarında benzer bir azalma, eğimin 30°'yi aşması durumunda ortaya çıkmaktadır.

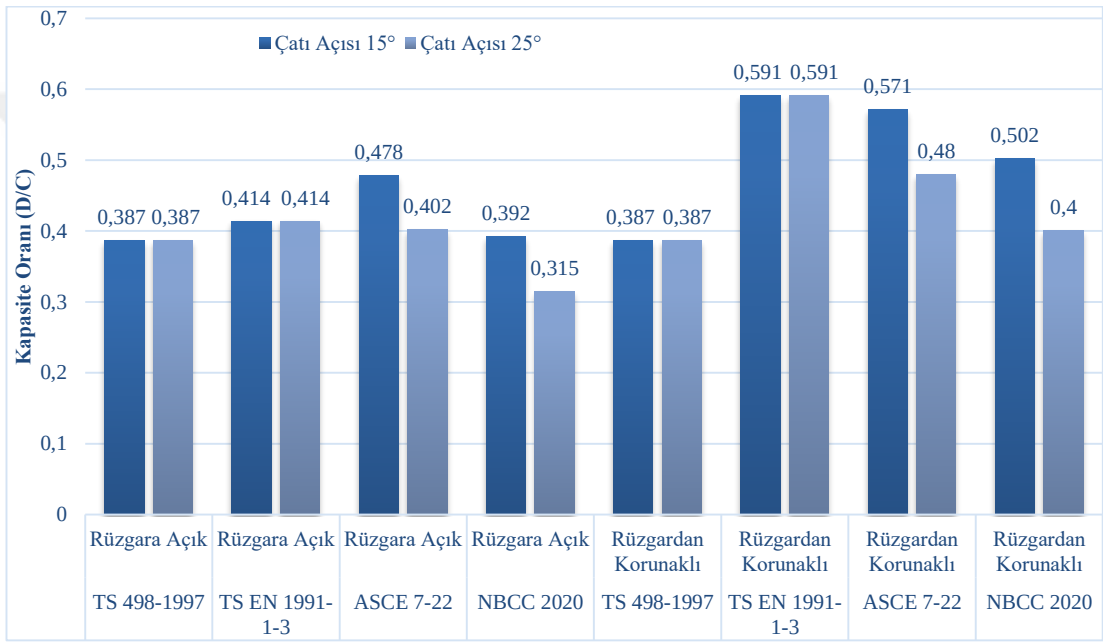
Rüzgârdan korunaklı durumlarda ise kolonlar üzerindeki zorlamanın arttığı görülmektedir. Özellikle TS EN 1991-1-3 standardı 0,591 kapasite oranı ile en yüksek değeri sunarken, ASCE 7-22 (0,571) ve NBCC 2020 (0,502) standartları da benzer şekilde daha yüksek oranlar göstermiştir. TS 498-1997 standardı ise açık ve korunaklı durumlarda aynı kapasite oranını (0,387) vermektedir; bu durum, söz konusu standardın çevresel etkiler açısından daha basitleştirilmiş bir yaklaşım içerdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.5, standartların yükleme esaslarına göre kolonlarda meydana gelen zorlanmaların farklılık gösterdiğini ve özellikle TS EN 1991-1-3 ile ASCE 7-22 standartlarının daha güvenli, ancak daha yüksek tasarım talepleri doğuran yaklaşımlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yapısal güvenlik düzeyinin sağlanmasında yalnızca eleman kesitlerinin değil, aynı zamanda kullanılan standardın da belirleyici bir unsur olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, kapasite oranı yükseldikçe kesitin taşıma kapasitesinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu tez kapsamında tasarımı yapılan GES projesinde kolonların kapasite oranları aşık ve kiriş gibi diğer taşıyıcı elemanlara kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. Bu durum, kolonların daha büyük kesitlerle tasarlanmasıyla ilişkilidir. Çünkü GES projelerinin birçoğunda daha az maliyet açısından genellikle kolonlar, bu iş için imal edilmiş kazık çakma makineleri vasıtasıyla zemin özelliklerine göre ortalama olarak 1,3-1,6 m zemine gömülmektedir. Bu çakılma esnasında hem zeminin sertlik durumu hem de kazık çakma makinesinin kolon profillerine uyguladığı darbe sonucu çelik profillerin hasar almaması için kolon profil kesitlerinin nispeten büyük olması tercih edilmektedir.

Çizelge 4.5. Standartlara göre en kritik kolonların kapasite oranları.

Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)	Standart	Rüzgâr Durumu	Kapasite Oranı (D/C)
Çatı Açısı 15°			Çatı Açısı 25°		
TS 498-1997	Açık	0,387	TS 498-1997	Açık	0,387
TS EN 1991-1-3	Açık	0,414	TS EN 1991-1-3	Açık	0,414
ASCE 7-22	Açık	0,478	ASCE 7-22	Açık	0,402
NBCC 2020	Açık	0,392	NBCC 2020	Açık	0,315
TS 498-1997	Korunaklı	0,387	TS 498-1997	Korunaklı	0,387
TS EN 1991-1-3	Korunaklı	0,591	TS EN 1991-1-3	Korunaklı	0,591
ASCE 7-22	Korunaklı	0,571	ASCE 7-22	Korunaklı	0,480
NBCC 2020	Korunaklı	0,502	NBCC 2020	Korunaklı	0,400



Şekil 4.46. En kritik kolonların kapasite oranlarının karşılaştırılması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artmasıyla birlikte, GES'lerin kurulumu da hızla yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak, söz konusu santrallerin verimliliği üzerine yapılan araştırmaların sayısı da artış göstermektedir. Bununla beraber GES tesislerinin çevresel etkenlere karşı dayanıklılığını tespit etmeye yönelik çok az çalışmaya rastlanılmıştır. Bu bağlamda GES'ler tasarlanırken kar yükü hesaplamasında kullanılan TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 standartlarının karşılaştırıldığı bu çalışmadan başka bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisinin neden önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu, çevresel ve ekonomik avantajları çerçevesinde açıklanmıştır. Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli, coğrafi ve iklimsel parametreler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Kar yüklerinin GES'ler üzerindeki etkileri incelenmiş; bu yüklerin özellikle taşıyıcı sistemler üzerindeki yapısal ve işlevsel sonuçları analiz edilmiştir. Bir GES taşıyıcı sistem sehпасının çeşitli yapı standartlarına göre statik analizinin nasıl yapıldığı detaylandırılarak, inşaat mühendislerine yönelik teknik bir anlatım sunulmuştur. Kod kalibrasyonu ya da standart güncelleme süreçlerinde kullanılmak üzere, farklı ulusal ve uluslararası standartlarda kar yükü hesaplamalarına ilişkin önerilen yöntemlerin karşılaştırmalı bir analizi yapılmış; aralarındaki temel farklar ortaya konmuştur. Bu doğrultuda elde edilen bulgulara dayalı bazı sonuç ve öneriler aşağıda belirtilmiştir.

GES'lerin tasarım sürecinde kar yükü hesabında kullanılacak standartlar olan TS 498-1997, TS 498-2021, TS EN 1991-1-3, ASCE 7-22 ve NBCC 2020 karşılaştırmalı olarak incelenmiş; her bir standardın kar yükü hesaplama yöntemleri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Örnek olarak bu tez kapsamında, Aksaray ili Merkez ilçesinde yapılacak bir GES tesisi için yapılan hesaplamalarda, TS 498-1997 standardına göre hesaplanan kar yükü değeri eğime ve rüzgâra maruz kalma durumuna bakılmaksızın $0,8 \text{ kN/m}^2$ bulunmuştur. Aynı GES tesisi NBCC 2020 standardına göre hesaplansaydı kar yükü değeri (25° -rüzgârdan korunaklı) durumuna göre $= 0,832 \text{ kN/m}^2$, (25° -rüzgâra açık) durumuna göre $= 0,624 \text{ kN/m}^2$, (15° -rüzgârdan korunaklı) durumuna göre $= 1,08 \text{ kN/m}^2$, (15° -rüzgâra açık) durumuna göre ise $= 0,81 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Yapılan değerlendirme sonucunda, bu standartlara göre hesaplanan kar yükü değerlerinin birbirinden belirgin ve anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği tespit

edilmiştir. Bu durum, GES projelerinde kullanılacak standardın seçiminde dikkatli olunması gerektiğini ve yerel iklim koşullarıyla uyumlu hesap yöntemlerinin tercih edilmesinin yapısal güvenlik açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

Örnek bir arazi tipi GES tesisi hafif çelik taşıyıcı sistem üzerinde, bahsi geçen standartlardan elde edilen kar yüklerinin yapısal etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, her bir standarda göre farklı tasarım senaryoları oluşturulmuş ve SAP2000 programı kullanılarak statik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen aşık, kiriş ve kolonların kapasite oranları karşılaştırmalı şekilde değerlendirilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmalar, standartlar arasındaki kar yükü hesaplama yöntemlerinin yapısal tasarım üzerindeki etkilerinin önemli ölçüde farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur. Örneğin, yine bu tez kapsamında rüzgâra açık arazide kurulması planlanan bir GES tesisi için, TS EN 1991-1-3 standardına göre hesaplanan en kritik aşığa gelen kapasite oranı $(D/C) = 1,000$ iken ASCE 7-22'ye göre hesaplanan en kritik aşığa gelen kapasite oranı $(D/C) = 1,388$ bulunmuştur.

Arazi tipi GES tesislerinin tasarımında eğim açısı ve rüzgâra maruz kalma gibi çevresel parametrelerin de kritik rol oynadığı görülmüştür. Özellikle, arazinin rüzgâr yüklerine ne ölçüde maruz kaldığı kadar, taşıyıcı sistem sehpaalarının bu rüzgâr etkilerine karşı korunmuş olması da tasarımın güvenliği ve dayanıklılığı açısından belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. GES tesislerindeki taşıyıcı sehpa elemanları, birbirlerinin arkasında konumlanmaları nedeniyle rüzgâr etkilerine karşı kısmi bir koruma sağlamaktadır. Bu durum, rüzgâr yükü etkisinden korunmuş sehpaar üzerinde biriken kar yükünün, belirli bir katsayıyla artırılmasını gerektirmektedir. Ancak, mevcut uluslararası standartlar arasında bu husus yalnızca Amerikan standardı ASCE 7-22 tarafından dikkate alınmakta ve ilgili hesaplama prosedürlerine yansıtılmaktadır. TS EN 1991-1-3 standardında en azından GES tesisleri için buna benzer bir tasarım metodu önerilmelidir.

Bilindiği üzere, güneş enerjisi üretimi doğrudan güneş ışınımına bağlı olduğundan, enerji üretimi yalnızca gündüz saatlerinde gerçekleşmekte; gece saatlerinde ise üretim ciddi oranda azalmaktadır. Bu durum, güneş enerjisinin sürekliliği açısından önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Ancak bu engelin aşılabilmesi, enerjinin gündüz saatlerinde depolanarak gece kullanılmasını sağlayan batarya sistemlerinin devreye alınmasıyla mümkündür. Bu nedenle, enerji arz güvenliğini artırmak ve güneş

enerjisinden daha verimli şekilde yararlanmak adına, depolama sistemine entegre edilmiş GES'lerin kurulması teşvik edilmeli ve bu yönde hem teknik hem de yasal düzenlemeler geliştirilmelidir. GES tesislerinde üretilen elektriğin ulusal enerji şebekesine verilmesi için, ilgili resmî kurumlar tarafından iletim altyapı iyileştirmeleri ve kapasite artış çalışmaları hızlandırılmalıdır.

Kar yüklerinin doğru ve güvenilir şekilde belirlenebilmesi için, ilgili bölgeye en yakın meteoroloji istasyonlarından elde edilen uzun dönemli meteorolojik verilerin bilimsel yöntemlerle analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizler, kar yağışının yoğunluğu, süresi, birikme miktarı ve karın yoğunluğu gibi parametreleri dikkate alarak yapılmalı; böylece yapıların maruz kalabileceği olası maksimum kar yükleri doğru bir şekilde tahmin edilmelidir. Bu veriler, özellikle taşıyıcı sistemlerin güvenli tasarımı açısından kritik öneme sahiptir.

GES tesislerinin kurulum sürecinde, tüm malzeme kalitesi sorunlarına ve olası işçilik hatalarına karşı etkili bir denetim mekanizması oluşturulmalı ve bu sistem titizlikle uygulanmalıdır. Teknik denetim süreci yalnızca yapısal güvenliğin sağlanmasına katkı sunmakla kalmaz, aynı zamanda projenin yürürlükteki hukuki düzenlemelere, mühendislik standartlarına ve teknik normlara uygunluğunu da garanti altına alır. Bu nedenle denetim faaliyetleri, projenin ilk tasarım aşamasından başlayarak, malzeme temini, montaj, test ve devreye alma işlemlerini kapsayacak şekilde, geçici kabul sürecine kadar kesintisiz olarak sürdürülmelidir. Bu yaklaşım, hem yapısal güvenirliliğinin sağlanması hem de sistemin uzun vadeli verimli çalışması açısından kritik önem taşır.

GES tesislerinin hem enerji verimliliğini sürdürebilmesi hem de kar yüklerine karşı yapısal dayanıklılığını koruyabilmesi için, kar yağışı sonrasında paneller üzerinde biriken kar kütlelerinin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizlik işlemi yalnızca elektrik üretim performansını artırmakla kalmaz, aynı zamanda taşıyıcı sistemin maruz kalacağı aşırı yüklerin önlenmesine de katkı sağlar. Temizlenen karın uygun şekilde tahliye edilebilmesi için yönlendirilmiş tahliye yollarının tesis bünyesinde planlanması önemlidir. Bununla birlikte, uygulamada sıkça karşılaşılan durumlardan biri, panel yüzeyinden kayarak aşağıya düşen karın, eğim yönündeki alçak kotlu kolonların dibinde birikerek panel kotuna yükselmesidir. Bu durum, üstten gelen karın kaymasını engelleyerek panel üzerinde ilave yük oluşmasına neden

olabilir. Ayrıca, biriken karın oluşturduğu ek ağırlık, düşük seviyedeki kolonlar üzerinde ilave eksenel kuvvetlerin meydana gelmesine yol açar. Bu nedenle, panel altı yüksekliğinin yani düşük kottaki kolon yüksekliğinin, karın birikmesini engelleyecek şekilde yeterli düzeyde olması, yapısal güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Akova, İ., 2003. Dünya enerji sorunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Dergisi, 11, 47-73.
- Akova, İ., 2008. Yenilenebilir enerji kaynakları (1. Basım), Nobel Yayın Dağıtım.
- Andenaes, E., Jelle, B.P., Ramlo, K., Kolås T., Selj, J. ve Foss S. E., 2018. The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells, Solar Energy, 159, 318–328.
- Bayón, L., Barbón, A., Bayón-Cueli, C. ve Carreira-Fontao, V., 2022. A methodology for an optimal design of ground-mounted photovoltaic power plants, Applied Energy, 314, 118881.
- Bölükbaş, Y. ve Oruç, R., 2025. Web crippling of cold-formed steel with offset holes under ITF loading: Experimental, numerical study and new design equation, In Structures, 77, 109070.
- Bölükbaş, Y., 2024. Web crippling behaviour of cold-formed steel channels web holes under End Two Flange (ETF) loading, Advanced Steel Construction, 17, 4, 413–423.
- Büyükzeren, R., Altıntaş, H. B., Martin, K. ve Kahraman, A., 2015. Binalardaki fotovoltaik uygulamasının teknik, çevresel ve ekonomik incelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi örneği, EMO Bilimsel Dergi, 5, 10, 9-14.
- Computers and Structures, Inc., 2025. SAP2000 Advanced 64-bit – Integrated Software for Structural Analysis and Design (Version 26.1.0 Build 3006) [Yazılım]. <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>
- Croce, P., Formichi, P., Landi, F., Mercogliano, P., Bucchignani, E., Dosio, A. ve Dimova, S., 2018. The snow load in Europe and the climate change, Climate Risk Management, 20, 138-154,
- Del Pero, D., Aste, N. ve Leonforte, F., 2021. The effect of rain on photovoltaic systems, Renewable Energy, 179, 1803-1814.
- Demircan, O., 1990. Güneşin büyük enerjisi. TÜBİTAK, URL Adres: <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=mTlHvOAbYgKyukPE16cVKO4m?dergiKodu=4&cilt=23&sayi=275&sayfa=22&yaziid=5713> Erişim tarihi: 11.05.2025.
- Durmaz, M. ve Daloğlu, A., 2005. Kar verilerinin istatistiksel analizi ve Doğu Karadeniz bölgesinin zemin kar yükü haritasının oluşturulması, İMO Teknik Dergi, 16, 3, 3619–3642.

- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK-TMK)., 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi (Yayın No: 0011/2009). EKC Form Ofset, Ankara, Erişim: 11.05.2025, <https://dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/GUNES.pdf>
- Ellingwood, B. ve Redfield, R., 1983. Ground snow loads for structural Design, Journal of Structural Engineering, 109, 4, 950-964.
- Firat, F. K. ve Yucemen, M. S., 2014. Determination of new load and resistance factors for reinforced concrete structural members, Digest Teknik Dergi, 25, 3, 6805–6830.
- Firat, F. K. ve Yucemen, M. S., 2012. Türk standardı TS 498’de önerilen rüzgâr yüklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28, 2, 146–152.
- Firat, F. K., 2007. Development of load and resistance factors for reinforced concrete structures in Turkey, Doctoral Dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Firat, F. K., 2009. TS 498’de önerilen çatı kar yüklerinin istatistiksel yöntemlerle hesaplanan çatı kar yükleriyle karşılaştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 2, 115–123.
- Ghoroi, C., Ratnaparkhi, A., Dave, D., Valerino, M. ve Bergin, M., 2023. Reduction in solar PV soiling loss using hydrophobic coating with and without dew suppression, 253, 332–342.
- Haberdar, A.E., 2015. Şed tipi çelik çatıların kar yükü değerlerinin TS-498, EUROCODE 1-3 ve ASCE 07-10 kapsamında analizi, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- He, X. H., Ding, H. Jing, H. Q., Wu, X. P. ve Weng, X. J., 2021. Mechanical characteristics of a new type of cable-supported photovoltaic module system , Solar Energy 226, 408–420.
- Ivanov, O. I. Barring, L. ve Wilcke Renate A. I., 2022. Climate change impact on snow loads in northern Europe, Structural Safety, 97, 102231.
- Jordan, D. C., Perry, K., White, R. ve Deline, C., 2023. Extreme weather and PV performance, IEEE Journal of Photovoltaics, 13, 6, 830-835.
- Kim, S. S., Lee, H. G., Kim, S. J., Park, S. J., Yun, C. W. ve Im, G. P., 2015. Optimal structural design of a 5-kW CPV tracking system by considering the ISO 4017/4762 standard through structure and flow simulations, Journal of the Korean Physical Society, 67, 6, 1071-1077.
- Mussard, M., 2017. Solar energy under cold climatic conditions: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 733–745.

- Naik, R., Melmari, V. B. ve Adeppa, A., 2013, Analysis and optimization solar panel supporting structures using FEM, International Journals Of Engineering And Innovative Technology (IJEIT), 2, 7, 25-34.
- Øgaard, M.B., Riiseb, H. N., Hauga, H., Sartoria, S., Selj, J. H., 2020. Photovoltaic system monitoring for high latitude locations, Solar Energy, 207, 1045–1054.
- Oral, M., 2017. Enerji coğrafyası perspektifinde Türkiye'nin enerji politikaları Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Oruç, R., 2025. April. Influence of web holes on cold-formed steel beams: Experimental and numerical analysis, In Structures, 74, 108471.
- Özkal, F. M. ve Küçük, M., 2017. Güneş enerjisi panellerinin taşıyıcı sistem tasarımı için yapısal eniyileme yaklaşımı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erzincan Üniversitesi, Erzincan, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, 270-280.
- Rahmatmand, A., Harrison, S. J. ve Oosthuizen, P. H., 2019. Numerical and experimental study of an improved method for prediction of snow melting and snow sliding from photovoltaic panels, Applied Thermal Engineering, 158, 113773.
- Sack, R. L., 1989. Designing structures for snow loads, Journal of Structural Engineering, 115, 2, 303-315.
- Sarı, V. ve Özyiğit, F. Y., 2020. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralının ekonomik analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 22, 65, 517-526.
- Satish, M., Santhosh, S. ve Yadav, A., 2020. Simulation of a Dubai based 200 KW power plant using PVsyst software, 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 824-827.
- Sayın, S. ve Koç, E., 2011. Güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 24, 2, 373–380.
- Şenlik, İ., 2017. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi, Elektrik Mühendisliği, 462, 94-98.
- T.C. Resmî Gazete, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (30364 mükerrer), 18.03.2018, 6.
- T.C. Resmî Gazete, Yerli Aksam Yönetmeliği. (31494 mükerrer), 11.05.2025, 6.
- Taktak, F. ve Ilı, M., 2018. Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. Geomatik Dergisi, 3, 1, 1-21.
- TS 498, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 498, 2021. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN, 1991-1-3. Yapılar üzerindeki etkiler - bölüm 1-3: genel etkiler - kar yükleri (EUROCODE 1), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vatansever, C., Seçkin, E. ve Yazıcı, G., 2017. Snow induced collapse of hail protection canopies, Engineering Failure Analysis, 79, 186-197.
- Volkova, A., Sreenath, S., Kirs, T. ve Kirs, K., 2024. Photovoltaic-powered seasonal snow storage-assisted district cooling system: Site suitability analysis and performance assessment, Energy, 312, 133586.
- Wang, X., Ji, G., Gu, H., Lv, S., Ni, H., Wang, P., Chen, K. ve Meng, Y., 2018. Research and design of fixed photovoltaic support structure based on SAP2000. In MATEC Web of Conferences, 166, p. 03002. EDP Sciences.
- Yalçın, Ö., 2020. Yeni Türkiye zemin kar yükü haritası üzerine bir çalışma ve güneş enerjisi santrallerinde kar hasarının önlenmesine ilişkin öneriler, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- URL-1 <<https://www.maysunsolar.eu/blog/photovoltaic-power-station-calculate-maximum-load-capacity-avoid-crushed-by-snow>>, Erişim tarihi: 07.05.2025.
- URL-2 <<https://enerji.gov.tr/gunes-bilgimerkezi>>, Erişim tarihi: 07.05.2025.
- URL-3 <https://www.emo.org.tr/ekler/1076c3237c38c7f_ek.pdf>, Erişim tarihi: 9.05.2025.
- URL-4 <https://globalsolaratlasinfo.translate.google.com/map?c=14.43468%2C179.121094%2C2&s=65.07213%2C61.699219&m=site&x_tr_sl=en&x_tr_tl=tr&x_tr_hl=tr&x_tr_pto=tc&x_tr_hist=true>, Erişim tarihi: 12.05.2025.
- URL-5 <<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21306>>, Erişim tarihi: 07.05.2025.
- URL-6 <<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>>, Erişim tarihi: 14.05.2025.
- URL-7 <https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf>, Erişim tarihi: 07.05.2025.
- URL-8 <<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21380>>, Erişim tarihi: 11.05.2025.
- URL-9 <<https://public.tableau.com/views/IRENARETimeSeries/Charts?:embed=y&:showVizHome=no&publish=yes&:toolbar=no>>, Erişim tarihi: 25.05.2025.
- URL-10 <<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21270>>, Erişim tarihi: 18.05.2025.
- URL-11 <<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21270>>, Erişim tarihi: 22.05.2025.

URL-12 <<http://makale.eceylan.com/1-mva-gunes-enerji-santrali-kurulum-asamalari>>, Erişim tarihi: 15.05.2025.

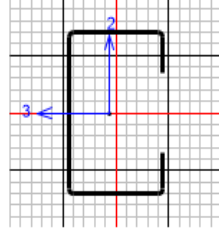
URL-13 <<https://www.asce.org/publications-and-news/codes-and-standards/asce-sei-7-22>>, Erişim tarihi: 24.05.2025.

URL-14 <<https://nrc.canada.ca/en/certifications-evaluations-standards/codes-canada/codes-canada-publications/national-building-code-canada-2020>>, Erişim tarihi: 25.05.2025.



EKLER

Ek A. GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U				
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3				
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh	
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,	
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,	
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,	
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A	

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

COMB. RATIO 0,935 = $\frac{P/Pa}{0,024} + \frac{Mx/Max}{0,439} + \frac{My/May}{0,472}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,636	1,136	-0,523	1,346E-16	1,215E-16
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,024	0,439	0,472	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

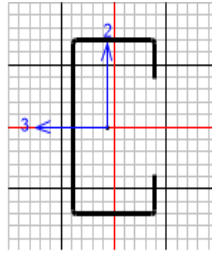
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fu	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.1. TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1)- GOVERNS THE DESIGN

$$\text{COMB. RATIO} = \frac{M_x}{M_{xT}} + \frac{M_y}{M_{yT}} + \frac{T}{T_a}$$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	1,557	2,839	-0,065	3,732	-0,084
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,011	0,717	0,024	0,112	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
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

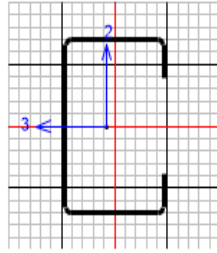
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fb	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.2. TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U				
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3				
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh	
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A	

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

$$\text{COMB. RATIO} = \frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May} = 0,122 + 0,156 + 0,11 = 0,387$$

COMB. RATIO LIMIT : 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-8,219	-0,93	0,337	0,625	-0,048
CAPACITIES		67,376	5,964	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,122	0,156	0,11	0,013	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
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

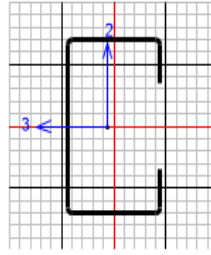
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.3. TS 498-1997'ye göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : kN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional		2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES		rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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	1, =	0,025 +	0,469 +	0,505
COMB. RATIO LIMIT	1,			

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,679	1,214	-0,56	-5,605E-17	-1,072E-16
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,025	0,469	0,505	0,	0,

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

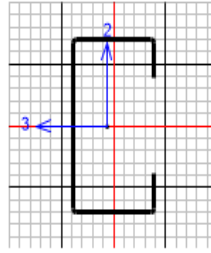
AXIAL - TENSION		Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
		4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING		Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes		Hole Effects
Flex		135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric		Not Required
Flex-Tor		87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric		Not Required
		x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
		-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.4. TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : kN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	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	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1)- GOVERNS THE DESIGN

		Mx/Maxt +	My/Mayt +	T/Ta
COMB. RATIO	0,803 =	0,765 +	0,026 +	0,012
COMB. RATIO LIMIT	1,			

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	1,664	3,031	-0,069	3,983	-0,09
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,012	0,765	0,026	0,12	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

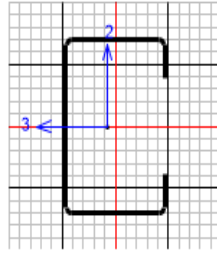
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects	
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required	
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required	
	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.5. TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : kN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO 0,414 = $\frac{P/Pa}{0,13} + \frac{Mx/Max}{0,167} + \frac{My/May}{0,117}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-8,776	-0,992	0,36	0,66	-0,052
CAPACITIES	67,376	5,959	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY	0,13	0,167	0,117	0,014	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
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

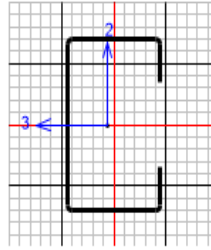
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.6. TS EN 1991-1-3 (rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : kN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional		2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

Combined D/C ratio exceeded

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

$$\text{COMB. RATIO} = \frac{P}{P_a} + \frac{M_x}{M_{ax}} + \frac{M_y}{M_{ay}} = 1,438$$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,976	1,738	-0,809	1,536E-16	1,532E-16
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,036	0,672	0,73	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

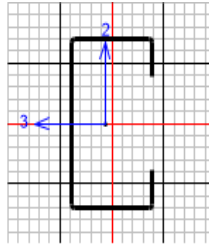
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.7. TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	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	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06

	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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

Flexural capacity exceeded in bending about major axis

Combined D/C ratio exceeded

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

		Mx/Maxt	+	My/Mayt	+	T/Ta
COMB. RATIO	1,147 =	1,092	+	0,037	+	0,017
COMB. RATIO LIMIT	1,					

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS	1.2G+1.	2,385	4,326	-0,099	5,679	-0,129
CAPACITIES		55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,017	1,092	0,037	0,171	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
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

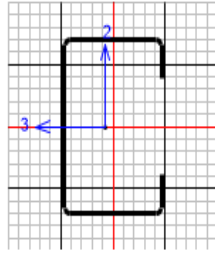
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.8. TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO 0,591 = $\frac{P/Pa}{0,186} + \frac{Mx/Max}{0,238} + \frac{My/May}{0,167}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-12,529	-1,413	0,514	0,897	-0,074
CAPACITIES		67,376	5,937	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,186	0,238	0,167	0,019	0,001

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

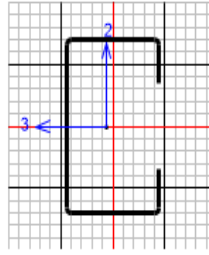
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fb	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.9. TS EN 1991-1-3 (korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	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	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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	0,972	= 0,024	+ 0,457	+ 0,491
COMB. RATIO LIMIT	1,			

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-0,661	1,181	-0,544	1,196E-16	1,246E-16
CAPACITIES		26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,024	0,457	0,491	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

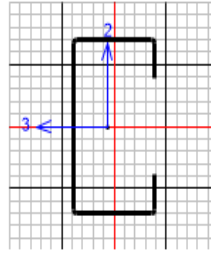
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.10. ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşğın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : kN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional		3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES		rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

COMB. RATIO $0,781 = \frac{M_x/M_{axt} + M_y/M_{ayt} + T/T_a}{1,}$

COMB. RATIO LIMIT

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS 1.2G+1.	1,618	2,948	-0,067	3,875	-0,088
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,012	0,745	0,025	0,117	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION		Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
		4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

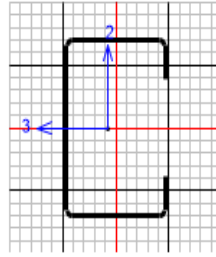
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING		Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex		186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor		171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.11. ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

$$\frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May}$$

COMB. RATIO 0,402 = 0,127 + 0,162 + 0,114

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-8,537	-0,966	0,35	0,645	-0,05
CAPACITIES	67,376	5,961	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY	0,127	0,162	0,114	0,014	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
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

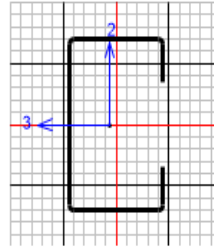
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.12. ASCE 7-22 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

Combined D/C ratio exceeded

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

COMB. RATIO 1,164 = $\frac{P/Pa}{0,029} + \frac{Mx/Max}{0,545} + \frac{My/May}{0,589}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-0,791	1,411	-0,653	-8,520E-18	-2,402E-17
CAPACITIES		26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,029	0,545	0,589	0,	0,

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

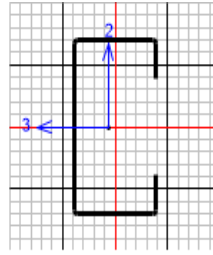
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

AXIAL - COMPRESSION	GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
	Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
	Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.13. ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1)- GOVERNS THE DESIGN

$$\text{COMB. RATIO} = \frac{M_x}{M_{xT}} + \frac{M_y}{M_{yT}} + \frac{T}{T_a}$$

COMB. RATIO 0,932 = 0,888 + 0,03 + 0,014

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		1,935	3,517	-0,08	4,62	-0,105
CAPACITIES		55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,014	0,888	0,03	0,139	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

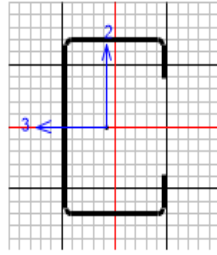
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fu	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects	
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required	
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required	
	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.14. ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO $0,48 = \frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May}$
 COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-10,185	-1,15	0,418	0,749	-0,06
CAPACITIES		67,376	5,949	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,151	0,193	0,136	0,016	0,001

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

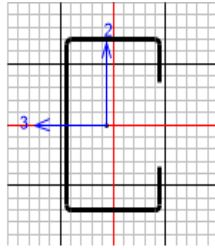
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fb	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.15. ASCE 7-22 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

Combined D/C ratio exceeded

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

COMB. RATIO 1,159 = $\frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,787	1,404	-0,65	-5,951E-16	2,604E-16
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,029	0,543	0,587	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

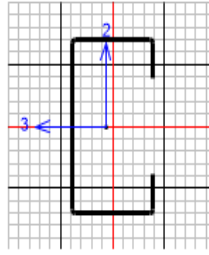
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.16. ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

COMB. RATIO $0,928 = \frac{M_x/M_{axt} + M_y/M_{ayt} + T/T_a}{1,}$

COMB. RATIO LIMIT

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	1,926	3,501	-0,08	4,599	-0,104
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,014	0,884	0,03	0,139	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

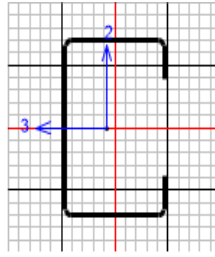
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.17. ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units: KN, m, C

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	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	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO 0,478 = $\frac{P/Pa}{0,15} + \frac{Mx/Max}{0,192} + \frac{My/May}{0,135}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-10,14	-1,145	0,416	0,746	-0,06
CAPACITIES	67,376	5,949	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY	0,15	0,192	0,135	0,016	0,001

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

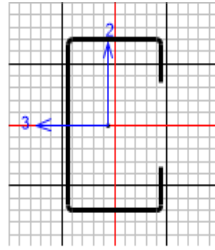
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fu	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.18. ASCE 7-22 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units: KN, m, C

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	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	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

Combined D/C ratio exceeded

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

$$\text{COMB. RATIO } 1,388 = \frac{P/Pa}{0,035} + \frac{Mx/Max}{0,649} + \frac{My/May}{0,704}$$

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-0,942	1,679	-0,781	-2,053E-16	2,703E-16
CAPACITIES		26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,035	0,649	0,704	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

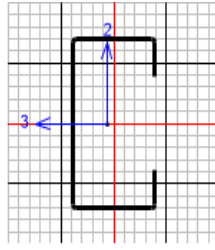
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.19. ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units: KN, m, C

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	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	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06

	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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

Flexural capacity exceeded in bending about major axis
Combined D/C ratio exceeded

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

	Mx/Maxt	+	My/Mayt	+	T/Ta
COMB. RATIO	1,108	=	1,055	+	0,036
COMB. RATIO LIMIT	1,				

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS	1.2G+1.	2,304	4,18	-0,096	5,488	-0,125
CAPACITIES		55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,017	1,055	0,036	0,165	0,004

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

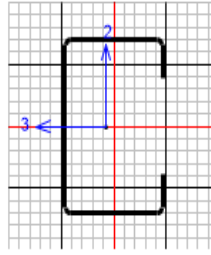
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

AXIAL - COMPRESSION	GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
	Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
	Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.20. ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U				
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3				
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh	
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A	

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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	0,571 =	0,18 +	0,23 +	0,161
COMB. RATIO LIMIT	1,			

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-12,106	-1,365	0,496	0,87	-0,071
CAPACITIES		67,376	5,939	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,18	0,23	0,161	0,018	0,001

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

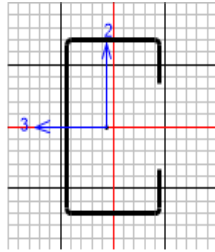
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.21. ASCE 7-22 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB		2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional		2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES		rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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	0,757 =	0,019 +	0,357 + 0,381
COMB. RATIO LIMIT	1,		

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,514	0,923	-0,423	-1,272E-16	1,276E-16
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,019	0,357	0,381	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

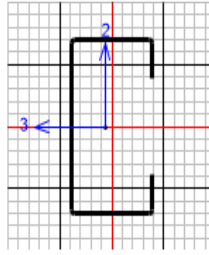
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.22. NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

		$\frac{M_x}{M_{axt}} + \frac{M_y}{M_{ayt}} + \frac{T}{T_a}$
COMB. RATIO	0,612 =	0,583 + 0,02 + 0,009
COMB. RATIO LIMIT	1,	

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS 1.2G+1.		1,262	2,309	-0,052	3,038	-0,069
CAPACITIES		55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,009	0,583	0,02	0,092	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
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

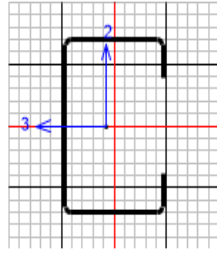
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.23. NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	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	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO $0,315 = \frac{P}{Pa} + \frac{Mx}{Max} + \frac{My}{May}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-6,684	-0,758	0,274	0,528	-0,039
CAPACITIES	67,376	5,981	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY	0,099	0,127	0,089	0,011	0,

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

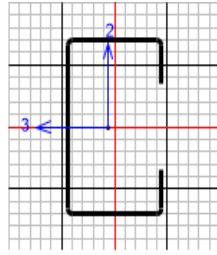
AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

AXIAL - COMPRESSION	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
GLOBAL BUCKLING						
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.24. NBCC 2020 (25° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

COMB. RATIO $0,967 = \frac{P/Pa}{0,024} + \frac{Mx/Max}{0,454} + \frac{My/May}{0,488}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-0,657	1,174	-0,541	-5,847E-17	-1,285E-17
CAPACITIES		26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,024	0,454	0,488	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

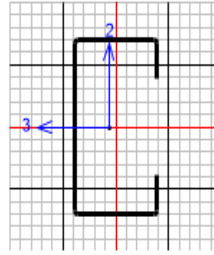
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.25. NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U				
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3				
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh	
Major	3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,	
Minor	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,	
LTB	0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,	
Distortional	3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A	

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

$$\text{COMB. RATIO} = \frac{M_x/M_{xT} + M_y/M_{yT} + T/T_a}{1} = 0,777 = 0,741 + 0,025 + 0,012$$

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS 1.2G+1.		1,609	2,933	-0,067	3,855	-0,087
CAPACITIES		55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,012	0,741	0,025	0,116	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

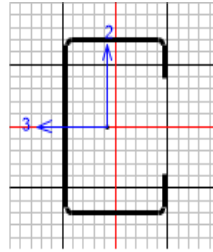
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fu	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.26. NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

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

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	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	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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	0,4	0,126	0,113
COMB. RATIO LIMIT	1,		

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-8,491	-0,961	0,348	0,642	-0,05
CAPACITIES		67,376	5,961	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,126	0,161	0,113	0,014	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
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

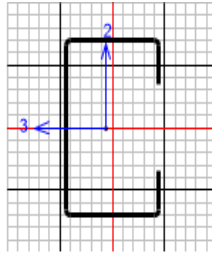
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.27. NBCC 2020 (25° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNNet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

COMB. RATIO $0,946 = \frac{P/Pa}{0,024} + \frac{Mx/Max}{0,444} + \frac{My/May}{0,478}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-0,643	1,149	-0,529	-6,727E-18	-9,651E-17
CAPACITIES	26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,024	0,444	0,478	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

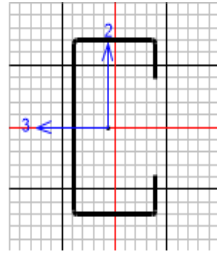
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fu	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.28. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNNet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional		3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES		rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1) - GOVERNS THE DESIGN

COMB. RATIO $0,761 = \frac{M_x/M_{axt} + M_y/M_{ayt} + T/T_a}{1,}$

COMB. RATIO LIMIT

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	1,574	2,87	-0,065	3,773	-0,085
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,011	0,725	0,024	0,114	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION	Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
	4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

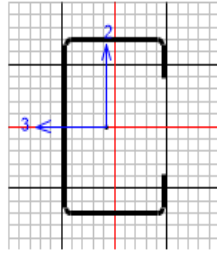
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor	171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.29. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES	E	Fy	Fu	G	U			
	210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right			
GROSS	0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06			
	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw	
GROSS	6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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

COMB. RATIO 0,392 = $\frac{P/Pa}{0,123} + \frac{Mx/Max}{0,158} + \frac{My/May}{0,111}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	-8,31	-0,94	0,341	0,631	-0,049
CAPACITIES	67,376	5,963	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY	0,123	0,158	0,111	0,013	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
	6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

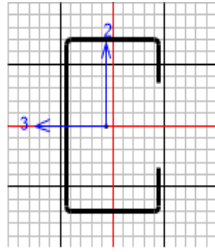
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor	130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.30. NBCC 2020 (15° - rüzgâra açık) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 90	Design Sect : C80x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : -0,636	Design Type : Beam	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 3,559	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 2,384	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 2,4	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,2	Major Axis : 0, degrees	

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

ELEMENT/SEGMENT INFO	L	K	Lg	LNnet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Minor	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
LTB	2,4	1,	2,4	0,	0,	2,4	0,	0,
Distortional	2,4	1,	N/A	N/A	0,	2,4	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES	rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right
GROSS	0,032	0,019	1,059E-05	1,059E-05	7,634E-06	5,243E-06

	Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS	4,14E-04	4,137E-04	4,235E-07	1,554E-07	5,516E-10	-0,047	0,	3,073E-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

Combined D/C ratio exceeded

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

P/Pa + Mx/Max + My/May

COMB. RATIO 1,219 = 0,031 + 0,571 + 0,617

COMB. RATIO LIMIT 1,

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-0,828	1,476	-0,684	-2,532E-16	-1,147E-16
CAPACITIES		26,974	2,586	1,109	29,138	33,995
DEMAND/CAPACITY		0,031	0,571	0,617	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
	4,137E-04	4,137E-04	132,177	158,24	132,177

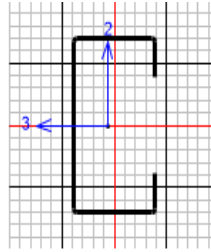
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING	Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex	135177,	1,621	118550,153	41,687	Geometric	Not Required
Flex-Tor	87465,	2,015	76706,877	26,974	Geometric	Not Required

	x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
	-0,047	0,	0,06	0,389	368390,139	135176,914	104116,182

Şekil A.31. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip aşığın tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 12	Design Sect : C90x50x20x2	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 1,076	Design Type : Brace	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 2,359	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 1,579	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 3,784	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 3,024	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNNet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major		3,784	1,	3,784	0,	0,	3,784	0,	0,
Minor		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
LTB		0,614	1,	0,614	0,	2,409	3,024	0,	0,
Distortional		3,784	1,	N/A	N/A	0,	3,784	N/A	N/A

SECTION PROPERTIES		rx	ry	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,036	0,019	1,239E-05	1,239E-05	8,351E-06	5,324E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		4,34E-04	4,337E-04	5,577E-07	1,626E-07	5,783E-10	-0,045	0,	3,739E-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 - (H1.1-1)- GOVERNS THE DESIGN

COMB. RATIO $0,975 = \frac{M_x/M_{axt} + M_y/M_{ayt} + T/T_a}{1}$

COMB. RATIO LIMIT 1,

Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.	2,025	3,679	-0,084	4,832	-0,11
CAPACITIES	55,093	3,96	2,668	33,185	33,995
DEMAND/CAPACITY	0,015	0,929	0,031	0,146	0,003

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits

All limits are satisfied

AXIAL - TENSION		Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
		4,337E-04	4,337E-04	138,567	165,89	138,567

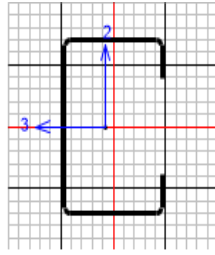
AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING		Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex		186180,	1,381	159819,594	58,917	Geometric	Not Required
Flex-Tor		171741,	1,438	149448,065	55,093	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,045	0,	0,061	0,447	186180,378	2058043,54	1302056,9

Şekil A.32. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kirişin tasarım hesaplamaları.

Ek A (Devam). GES Taşıyıcı Sistem Kesit Kontrolü



Units:

AISI-16 COLD-FORMED STEEL SECTION CHECK

Units : KN, m, C

Frame : 54	Design Sect : C90x60x20x3	Through-Fastened To Deck: No
X Mid : 2,1	Design Type : Column	Fastener Eccentricity : N/A
Y Mid : 7,2	Frame Type : Braced	Fastening R Value : N/A
Z Mid : 0,549	2nd-Order Method: Amplified 1st-Order	Design Provision : LRFD
Length : 1,098	LLRF : 1,	Consider Lateral Factor : No
Loc : 1,098	Major Axis : 0, degrees	

MATERIAL PROPERTIES		E	Fy	Fu	G	U			
		210000000,	355000,	510000,	80769231,	0,3			
ELEMENT/SEGMENT INFO		L	K	Lg	LNNet	iBraceLoc	jBraceLoc	LhRatio	Lh
Major	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Minor	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
LTB	1,098	2,	1,098	0,	0,	1,098	0,	0,	
Distortional	1,098	1,	N/A	N/A	0,	1,098	N/A	N/A	

SECTION PROPERTIES		rxx	ryy	Sxx Top	Sxx Bot	Syy Left	Syy Right		
GROSS		0,036	0,022	2,000E-05	2,000E-05	1,464E-05	9,631E-06		
		Ax	Ay	Ixx	Iyy	J	x0	y0	Cw
GROSS		6,91E-04	6,908E-04	8,999E-07	3,485E-07	2,072E-09	-0,054	0,	7,817E-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	0,502 =	0,158 +	0,202 + 0,142
COMB. RATIO LIMIT	1,		

	Combo	P	M33	M22	V2	V3
DEMANDS1.2G+1.		-10,654	-1,203	0,437	0,778	-0,063
CAPACITIES		67,376	5,946	3,077	47,35	58,277
DEMAND/CAPACITY		0,158	0,202	0,142	0,016	0,001

EFFECTIVE WIDTH METHOD Applicability Limits
All limits are satisfied

AXIAL - TENSION		Area Ag	Area An	PhiTy*Yielding Tn	PhiTr*Rupture Tn	Phi*Tension Tn
		6,908E-04	6,908E-04	220,718	264,24	220,718

AXIAL - COMPRESSION

GLOBAL BUCKLING		Fcre	LambdaC	Fn	PhiC*Pne	Buckling Axes	Hole Effects
Flex		217056,	1,279	179033,103	105,128	Geometric	Not Required
Flex-Tor		130834,	1,647	114741,772	67,376	Geometric	Not Required

x0	y0	r0	beta	Sigma_ex	Sigma_ey	Sigma_t
-0,054	0,	0,069	0,385	560462,452	217056,475	155337,801

Şekil A.33. NBCC 2020 (15° - korunaklı) durumuna göre en büyük kesit tesir değerine sahip kolonun tasarım hesaplamaları.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Muharrem ÜLGEN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
2017-2021, Aksaray

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve
Güvenliği Anabilim Dalı, 2022-2024, Aksaray

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği
Anabilim Dalı, 2022-2025, Aksaray

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrede Sunulan Bildiri

1. Ulgen, M. ve Firat, F. K., 2025. Kar yükünün güneş enerji santralleri üzerine etkisi, Bakü-Azerbaycan, 2. Uluslararası Avrasya Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 565-577.