T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CİZRE BÖLGESİNDE 1 MW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLENDİRMESİ VE TAŞIYICI KONSTRÜKSİYON YÜK ANALİZİ

Roni SARIYILDIZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Amaç ve Kapsam 1
1.2. Genel Bilgi 2
1.2.1. Dünya enerji durumu 2
1.2.2. Güneş enerjisinin mevcut durumu ve geleceği 4
1.2.3. Dünyadaki mevcut güneş santrallerinin durumu 7
1.2.4. Türkiyedeki mevcut güneş santrallerinin durumu 10
1.2.5 Fotovoltaik güneş panellerinin özellikleri 12
1.2.6. Fotovoltaik güneş panellerinin tarihçesi 14
1.2.7. Fotovoltaik güneş panellerinin çalışma prensibi 14
1.2.8. P-N bağlanma oluşumu (Kavşaklar) 16
1.2.9. Fotovoltaik hücre tipleri 19
1.2.9.1. Silikon bazlı güneş hücreleri 20
1.2.9.1.1. Monokristal güneş hücreleri 21
1.2.9.1.2. Polikristal güneş hücreleri 22
1.2.9.2. İnce film güneş hücreleri 24
1.2.9.3. Üçüncü nesil güneş hücreleri 24
1.2.10. Güneş enerji sistemlerinde enerji üretimi 25
1.2.11. Şebekeden bağımsız sistemler 26
1.2.12. Şebeke bağlantılı sistemler 27
1.2.13. Fotovoltaik sistem donanımları 28
1.2.14. Eviriciler 32
1.2.15. Solar konstrüksiyon 35
1.2.16. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan kablolar 36
1.2.17. Güneş panellerinde montaj yapılar 37
1.2.17.1. Çatı üstü montaj sistemi 37
1.2.17.2. Arazi montaj sistemi 38
1.2.18. Güneş enerjisi santrali mevzuat süreci 39
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 41
3. MATERYAL ve YÖNTEM 43
3.1. Materyal 43
3.1.1. Seçilen santral alanının özellikleri 43
3.1.2. Santral alanı hakkında genel bilgiler 44
3.1.3. Santral alanının güneş enerji potansiyeli 48
3.2. Yöntem 52
3.2.1. Santral alanında kurulacak tesis 52
3.2.2. PVsyst 53
3.2.3. SAP2000 54
3.2.4. Yapı bilgileri 54
3.2.5. Yük analizi 61
3.2.6. Sabit yükler 61
3.2.7. Hareketli yükler 61
3.2.8. Kar yükü 62
3.2.9. Rüzgar yükleri 62
3.2.10. Yüklerin etki hesabı 63

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 73
4.1. Sistemlerin Güneş Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması 73
4.2. Yapı alanının jeolojik değerlendirmesi ile konstrüksiyonun statik - dinamik yük analizi 79
4.2.1. Santral alanı hakkında jeomorfolojik ve çevresel faktörlerin irdelenmesi 79
4.2.2. Temel zemini olarak seçilen birimlerin değerlendirilmesi 80
4.2.3. Doğal afet risklerinin değerlendirilmesi 81
4.2.4. Çelik konstrüksiyon sisteminin statik ve dinamik çözümü 82
4.2.5. Sistemin yeterli olduğunu gösteren gerekli kontroller ve statik analiz 82
4.3. Güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi 83
4.3.1. Şantiye, lojistik ve gümrük harcamaları 83
4.3.2. Fotovoltaik paneller, inverter ve toplama panoları 84
4.3.3. Haberleşme ve takip sistemi 84
4.3.4. Konstrüksiyon sistemi 84
4.3.5. AG Kablo ve yardımcı ekipmanlar 84
4.3.6. Mühendislik-kurulum ve dökümantasyon 84
4.3.7. OG Köşk, trafo, hücreler, DM, enerji nakil hattı, topraklama ve paratoner sistemi 85
4.3.8. Güvenlik ekipmanları 85
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 86
KAYNAKLAR 88
ÖZGEÇMİŞ 94

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CİZRE BÖLGESİNDE 1 MW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLENDİRMESİ VE TAŞIYICI KONSTRÜKSİYON YÜK ANALİZİ

Roni SARIYILDIZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ
Yıl: 2021, Sayfa: 94

Bu çalışmada Şırnak iline bağlı Cizre ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Burada PVsyst ve SAP2000 (Structural Analysis Program) programları kullanılarak 1 MW kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santralinin enerji değerlendirmesi, maliyet ile taşıyıcı sistemin statik ve dinamik yük analizi yapılmıştır. Bu güneş enerjisi sistemi için sekiz farklı fotovoltaik sistem uygulanıp herbirinin enerji üretim değerlendirmesi ayrı ayrı yapılmıştır. Bu sistemlerin uygulanması sırasında en yaygın olarak kullanılan eviriciler ve güneş panelleri seçilip sabit montaj tipi sistem ile uygulama tasarlanmıştır. PVsyst modelleme programının yanında meteorolojik analizler için PVGIS programından elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca santralin kurulacağı Cizre bölgesinin yapısı bütün yönleriyle incelenip ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Sonuç olarak Cizre bölgesinde kurulumu modellenen 1 MW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali için maliyet ve enerji verimi bakımından analiz gerçekleştirilmiş ve en uygun sistem önerisi yapılmıştır. Ayrıca sistemin taşıyıcı konsrüksiyonuna ait statik ve dinamik yük analizi sonucunda gerekli tahkikler yapılarak taşıyıcı sistemin uyin uygunluğu değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler, enerji, verimlilik, taşıyıcı sistem

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY GENERATION EVALUATION AND LOAD ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SYSTEM FOR 1 MW SOLAR POWER PLANT IN CIZRE REGION

Roni SARIYILDIZ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ
Year: 2021, Page: 94

In this study, Cizre district of Şırnak province was chosen as the study area. Energy evaluation, cost and static-dynamic load analyses of structural system of a solar power plant with 1 MW installed power were made through utlization of PVsyst and SAP2000 (Structural Analysis Program) programs. For the solar energy system, eight different photovoltaic system alternatives were assessed and the energy production evaluation of each was made comparatively. During the implementation of these systems, the most commonly used inverters and solar panels were selected. However, the systems were assumed to be constructed with a fixed mounting type system. In addition to the PVsyst modeling program, the data obtained from the PVGIS program were used for meteorological analysis, as well. Moreover, the features of the Cizre region, where the power plant will be established, has been examined in all its aspects and presented in detail. As a result, the analysis was carried out in terms of cost and energy efficiency for the solar power plant with an installed power of 1 MW. The most suitable model was determined for installation in the Cizre region. In addition, as a result of the static and dynamic load analysis of the structural system, required safety checks were made and the conformity of the structural system was evaluated.

KEY WORDS: Solar power, photovoltaic systems, energy, efficiency, structural system

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar tüm desteğini ve tecrübesini benimle paylaşan ve yüksek motivasyonu ile beni yüreklendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ ve bu uzun süreçte konu hakkında sürekli danıştığım Sayın Arş. Gör. Osman ÜRPER'e en özel teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana inanan, beni destekleyen ve maddi manevi hep yanımda olan değerli annem, babam ve kardeşlerime bana hayat boyu süren destekleri için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Birçok zorluğu aşmamda beni desteği ile hep motive eden sevgili eşime ve varlığı ile bize mutluluk veren güzel kızım Solîn Sara'ya sevgilerimi sunarım.

Özellikle hayatımın her aşamasında varlığıyla güç bulduğum ve bende hep özel bir yeri olan çok kıymetli ağabeyim Cihan SARIYILDIZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. 2017'de mevcut enerji sistemlerine eklenen net enerji güç sistemleri (Global, 2018). 5
Şekil 1.2. 2013-2018 yılları arasında dünyadaki toplam enerji tüketimi (REN21, 2020). 6
Şekil 1.3. 2018 yılında tüketilen toplam enerjinin dağılımı (REN21, 2020). 7
Şekil 1.4. 2012-2018 yılları arasındaki yıllık eklenen yenilenebilir güç kapasitesi (Energy, 2020). 8
Şekil 1.5. Dünyada elektrik enerji kullanımının, enerji kaynaklarına göre dağılımı (Energy, 2020). 9
Şekil 1.6. Güneş ve rüzgâr enerji ile elektrik elde edilmesine en fazla katkı yapan ilk 10 ülke, 2018 (REN21, 2019). 10
Şekil 1.7. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim grafiği, 2020 (Kurban, 2020) 11
Şekil 1.8.Türkiye elektrik enerji üretim istatistikleri, 2019 (Kurban, 2020) 12
Şekil 1.9. Bir güneş panelinin yapısı (Çelebi, 2002) 13
Şekil 1.10. Bir güneş panelinin seri ve paralel bağlanması 13
Şekil 1.11. Fotoelektik Olay (Ashish, 2019) 15
Şekil 1.12. Yarı iletken bir malzemedeki eşik enerjisi (Eg) gösterimi (PVeducation, 2020) 16
Şekil 1.13. Bir Güneş Hücresi (Urper ve Yavuz, 2014) 16
Şekil 1.14. Silisyum atomunun kristal yapısı (Özgöçmen, 2007) 17
Şekil 1.15. Si kristal yapısına yabancı atom katkılanması a) Boron katkılama (p-tipi), b) Fosfor katkılama (n-tipi) (Urper ve Yavuz, 2014) 18
Şekil 1.16. Bir p-n yarıiletken bağlantısının gösterim a) p-n bölgeler birleşmeden önce, b) p-n bölgeler birleştirildekten sonra (Urper ve Yavuz, 2014) 19
Şekil 1.17. Silikon bazlı güneş hücresi üretim işlemleri (Girgin, 2011) 21
Şekil 1.18. Güneş Hücrelerinin Verimlilik Sonuçları (NREL, 2019). 22
Şekil 1.19. Güneş Panelinin Yapısı (Girgin, 2011) 23
Şekil 1.20. Üçüncü Nesil Güneş Hücresi (Brabec, 2004) 25
Şekil 1.21. Güneş paneli örneği (Auctions, 2020). 26
Şekil 1.22. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem (Elektrikde, 2020). 27
Şekil 1.23. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem (Elektrikde, 2020) 28
Şekil 1.24. Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar (Leblebicioglu, 2017) 29
Şekil 1.25. Şebeke bağlantılı bataryasız AA fotovoltaik sistem örneği 30
Şekil 1.26. Şebeke bağlantılı bataryalı AA fotovoltaik sistem örneği 30
Şekil 1.27. Evirici gösterimi 32
Şekil 1.28. Dizi tipi evirici (Leblebicioglu, 2017) 33
Şekil 1.29. Mikro evirici 34
Şekil 1.30. Merkezi tip evirici örneği 34
Şekil 1.31. Güneş panellerinin farklı montajlanma biçimleri (Girgin, 2011) 35
Şekil 1.32. Güneş konstrüksiyon örneği (DAO, 2020). 36
Şekil 1.33. Güneş sistemlerinde kullanılan kablolar 37
Şekil 1.34. Çatı tipi sistem örneği (Köroğlu ve ark., 2010) 38
Şekil 1.35. Arazi tipi sistem örneği (Şenlik, 2017) 39
Şekil 3.1.Cizre bölgesine ait enlem ve boylam verileri (PVsyst, 2021) 45
Şekil 3.2. Cizre bölgesinin lokasyon haritası (Elçi, 2019) 46
Şekil 3.3.Santral alanı tapu bilgileri (TKGM, 2020) 47
Şekil 3.4.Türkiye deprem bölgeleri haritası 48
Şekil 3.5.Türkiye güneşlilik haritası (Gepa, 2020) 49
Şekil 3.6.Türkiye global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Gepa, 2020). 50
Şekil 3.7. Şırnak İlinin radyasyon değerleri (Gepa, 2020). 51
Şekil 3.8.Şırnak global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Gepa, 2020). 51
Şekil 3.9.Cizre için radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri (Gepa, 2020) 52
Şekil 3.10. PVsyst programının önyüz şekli 53
Şekil 3.11. Sistem 3D görünüşü 55

Şekil 3.12. Sistem aks bilgileri. 57
Şekil 3.13. Sistem XZ aksı görünüşü. 58
Şekil 3.14. Sistem YZ aksı görünüşü. 59
Şekil 3.15. 3D eleman kesitlerinin görünümü 59
Şekil 3.16. 3D eleman düğüm noktası numaralarının görünümü 60
Şekil 3.17. 3D eleman çubuk numaralarının görünümü 60
Şekil 3.18. YZ Aksı Eleman ve Düğüm Noktası Numaralarının Görünümü 61
Şekil 3. 19. Panel yüklemesi. değerler kg/m'dir 64
Şekil 3. 20. Kar yüklemesi değerler kg/m'dir 65
Şekil 3. 21. Rüzgar Yüklemesi (+X). Değerler kg/m'dir. 66
Şekil 3. 22. Rüzgar Yüklemesi (-X). Değerler kg/m'dir. 67
Şekil 3. 23. Rüzgar yüklemesi (+Y). Değerler kg/m'dir 67
Şekil 3. 24. Rüzgar Yüklemesi (-Y). Değerler kg/m'dir 68
Şekil 3. 25. Sıcaklık etkisi 70
Şekil 3. 26. Şırnak ili deprem haritası 70
Şekil 4. 1. Cizre bölgesinin 15 yıllık ortalama aylık ışınım, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerleri 73
Şekil 4. 2. Bir yıl boyunca Cizre bölgesine düşen güneş ışınım değerleri 74
Şekil 4. 3. Cizre bölgesine yerleştirilecek panellerin eğim ve azimut açı değerleri 75
Şekil 4. 4. Her bir güneş enerji sistemi için enerji miktarı 77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. Cizre, Şırnak, Siirt, Hakkâri istasyonlarına ait sıcaklık değerleri (DMİ 2019) 43
Çizelge 3. 2. Cizre bölgesine ait nisbi nem (%) ve ortalama yağış (mm) değerleri 47
Çizelge 3. 3. Cizre aylık ve yıllık radyasyon değerleri (KWh/m^2) (Gepa, 2020).....52
Çizelge 3. 4. Konsrüksiyon profil detayları.....55
Çizelge 3. 5. Tasarım parametreleri 56
Çizelge 3. 6. Yüklerin etki hesabı 63
Çizelge 3. 7. Toprak etkisi tanımları 69
Çizelge 3. 8. Statik ve dinamik yük tanımları 71
Çizelge 3. 9. Yük kombinasyonları 72
Çizelge 4. 1. Sekiz farklı sistem için panel sayısı, gerekli alan ve enerji üretimi değerleri 76
Çizelge 4. 2. Farklı güneş enerji sistemlerinin kapasite faktörlerinin karşılaştırılması 78

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, Cizre bölgesinde kurulması planlanan 1 MW gücündeki bir Güneş Enerjisi Santralinin (GES) üreteceği enerjinin değerlendirilmesi, ekonomik analizinin incelenmesi ve taşıyıcı konstrüksiyon yük analizlerinin yapılmasıdır. Bu çalışma çerçevesinde farklı güneş panelleri ve bunların karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında bir güneş enerjisi santralinde kullanılabilecek donanımlar ve bölgenin yapısı ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Santral alanının depremselliği, jeolojik ve topografik parametreleri dikkate alınarak statik ve dinamik yük analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada Cizre bölgesi seçilmesinin en önemli nedenlerinden biri, bu bölge üzerine literatür çalışmalarının çok az olması ve özellikle güneş enerjisi sistemleri üzerine ayrıntılı bir çalışmanın olmamasıdır. Cizre bölge olarak çok fazla güneş radyasyonuna maruz kalan ve güneşlenme süresinin uzun olduğu yerlerin başında gelmektedir (Gepa, 2020).

Çalışma kapsamında, santralde üretilen enerjinin doğrudan şebekeye satılması varsayılmıştır. Bu şekilde komplike bir sistem olan batarya sistemi kullanılmayacak ve ekonomik olarak daha uygun bir sistem kurulmuş olacak. Buna ek olarak, yatırım maliyetinin düşmesi sonucunda daha kısa bir sürede sistemin kendini amorti etmesi sağlanacaktır. Cizre bölgesine elektrik merkezi bir sistemden ulaşamadığından yıl boyunca, özellikle kış aylarında kesintiler yaşanabilmektedir. Ayrıca artan nüfus enerji ihtiyacını daha da arttırmakta ve bu durum ek kaynaklara ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Cizre'nin güneş radyasyonu açısından zengin bir coğrafya olması ve uzun güneşlenme saatlerinden dolayı burada yapılacak bireysel güneş sistemi yada güneş santralleri ile enerjiyi merkezi bir sistem haline getirebilecek potansiyeldedir. Burada kurulacak güneş enerji sistemlerine teşvikler, fosil yakıt tüketimini azaltacağı gibi CO_2 yayılımını da düşürecektir.

1.2. Genel Bilgi

1.2.1. Dünya enerji durumu

Sanayi devrimi, dünya tarihinde büyük değişim gerçekleştirdi. Makinalaşma ile birlikte enerji talebi arttı ve ülkelerin daha fazla fosil kaynakları tüketmesine ve bunun sonucunda fosil yakıt kaynaklarının hızlı bir şekilde azalmasına sebep olmaktadır. Fosil kaynaklar günümüze kadar üretilen elektrik enerjisinin temel kaynağı olmuştur. Fosil kaynaklarının tüketimi sonucu yayılan gazlar atmosfere zarar vermekte ve bu da birçok önemli yıkıcı soruna sebep olmaktadır. Fosil yakıtların tüketimi sonucu meydana gelen bu yıkıcı sorunlar beraberinde yeni alternatif enerji kaynaklarına olan eğilimi arttırmış, çevre dostu, temiz alternatif enerji kaynaklarının arayışına girilmiştir. Temiz, çevreci, tükenmez ve bedava olan yenilenebilir enerji kaynakları en iyi alternatif olarak durmaktadır. Bu özelliklerinin yanında, özellikle fosil kaynakları bulunmayan ve enerji ihtiyacını dışarıya bağımlı olarak sağlayan ülkeler için yenilenebilir enerji kaynakları ayrı bir önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemlilerinden biri güneş enerjisidir. Özellikle bedava ve sürekli olması cazibesini arttırmaktadır.

Fotovoltaik güneş sistemleri güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve süreklilik arz eden benzersiz sistemlerdir. Bu sistemler geniş alanlardan küçük ev sistemlerine kadar yaygın uygulama alanlalarına sahiptirler. Güneş enerji sistemleri elektik üretiminde fosil yakıtlara alternatif olabilecek çevre dostu ve süreklilik arz eden sistemlerdir. Son yıllarda güneş enerji sistemleri çok rağbet görmekte ve bedava elektrik enerjisi olarak kullanımı dünya genelinde sürekli artmaktadır.

Dünya enerji tüketimi gün geçtikçe artan nüfus ve mevcut nüfusun daha çok enerjiye ihtiyaç duyması ile artmaktadır. Dünya enerji tüketimi yıllık yaklaşık olarak 378 EJ (Exajoules) civarındadır. Bunun yaklaşık %89'u (337 EJ) fosil kaynaklar ve nükleer enerji kaynaklarından karşılanırken, geri kalan %11'i (41 EJ) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (REN21, 2020). REN21'de yayınlanan rapora göre enerji ihtiyacının 2050'lere doğru 2019'daki enerji tüketiminin yaklaşık iki katı kadar olacağı tahmin edilmektedir. Enerji ihtiyacınının artışındaki büyük

oranın kendi içinde başlı başına bir sorun olmasının yanında, bu enerjinin karşılanması için kullanılacak ve hali hazırda kullanılan fosil yakıtlardan yayılan zararlı gazlar esas önemli sorundur. Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre, petrol rezervlerinin gelecek 50-150 yıl arasında oldukça azalacağı, aynı şekilde doğalgaz rezervlerinin 200-500 ve kömür rezervlerinin de 200-2000 yıl arasında tükeneceği tahmin edilmektedir (BP, 2014). Ancak fosil kaynaklarının üretim işlemlerinin ve talep edilen noktalara ulaştırılmasının maliyetli olmasından kaynaklı sorunlar sebebiyle, alternatif enerji türlerine bir yönelim meydana gelmiştir. Ayrıca olayın boyutunun sadece kaynak azalması ile sınırlı olmadığı, aynı zamanda atmosfere yayılan CO_2'nin atmosferde fazla birikimi ve bu birikimin yarattığı küresel ısınma, ısınmanın sonucunda meydana gelen geri dönülmez doğa olayları, buzullarda erime, deniz seviyelerinin yükselmesi, hava şartlarının değişmesi gibi küresel sorunlar da önemli faktörler olarak durmaktadır. Fazla tüketimin meydana getirdiği fazla arzın ve bunun sonucunda oluşan kaynağa ulaşımın zorlaşması sebebiyle fosil yakıtlarda sürekli bir maliyet artışı meydana gelmektedir. Bütün bu ve benzer sebeplerden dolayı gelecek enerji senaryoları sürekli yenilenebilir enerji odaklı olmaktadırlar. Özellikle 2050 sonrası senaryoların merkezinde yenilenebilir enerji yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları çeşitlilik bakımından geniş bir alana sahiptirler. Bunlar nükleer, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, dalga, jeotermal ve güneş enerjisidir. Bu enerji türleri arasında günümüzde öncü olan nükleer güç santralleridir. Bu santraller elektrik üretiminde önde gelen kaynaklardan oldukları gibi, üretim sırasında atmosfere sıfıra yakın CO_2 yaymaktadırlar. Bu avantajlarına karşın, üretim sonrası ortaya çıkan atıkları çok riskli ve ciddi sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, nükleer yakıt rezervlerinin ne kadar sürdürülebilir olduğu da tam olarak bilinememektedir (BP, 2014). Bir diğer önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik ise düşük maliyetli, birçok alanda bulunabilir ve doğal bir olay döngüsü içindedir. Fakat en önemli sorunu enerji ihtiyacını karşılamadaki sınırlılığıdır. Dünyada sahip olduğu potansiyelin %71'inden fazlası okyanuslarda yer almasının yanında net kullanılabilir potansiyelinin ne kadar olduğu tam bilinmemektedir (IEA, 2012). Rüzgar enerjisinin 2050'de bugünkü enerjiye katkı için öngörülen 10-20

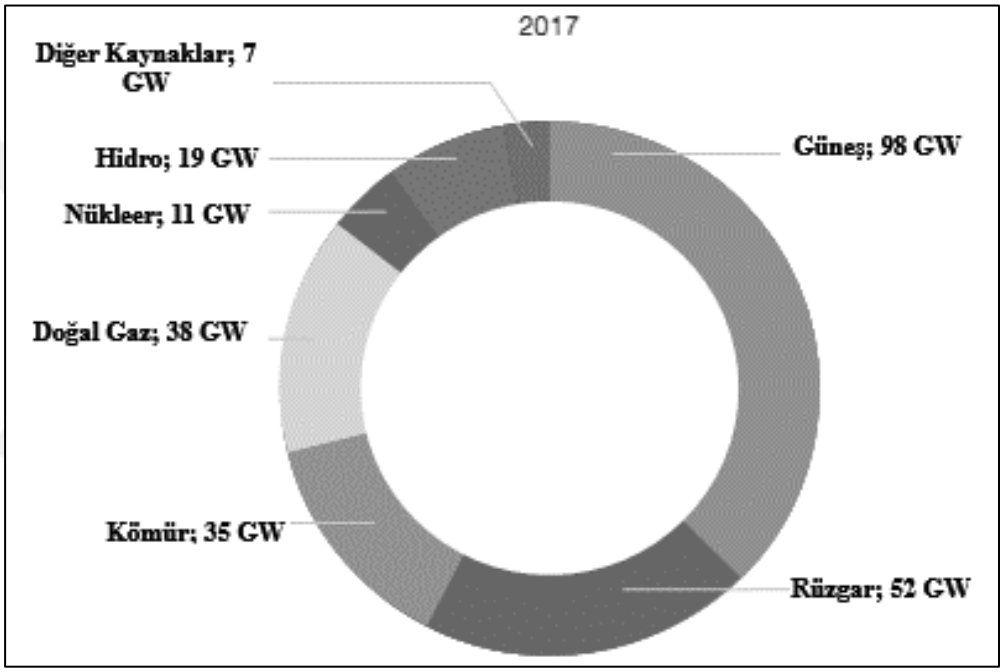
TW'lık etki ile enerji ihtiyacını karşılamada sınırlı olacağı tahmin edilmektedir. Rüzgar enerjisinin, gelecekte en fazla kullanılacak olan enerji türlerinin başında yer alacağı tahmin edilmektedir. Geleneksel enerji türleriyle önemli bir rekabete girebilecek olan önemli yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Ancak 2050'de öngörülen toplam tüketime katkısının ne kadar olabileceği ve toplam potansiyelinin ne kadar değerlendirilebileceği tam olarak tahmin edilememektedir. Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütlenin eldeki verilere göre alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının imkansız olduğu bilinmektedir (REN21, 2019).

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir. Sınırsız bir kaynağa sahip olmasının dışında, elektrik üretimi sırasında çevreye yaydığı çok sınırlı CO_2 ile gelecekte oluşabilecek sera gazı yayılımının önüne geçebileceği ön görülmektedir. Ayrıca güneş radrasyon ışınlarının dünya yüzeyine düşen miktarı ortalama olarak yaklaşık 175.000 TW civarındadır. Sadece karasal kısma düşen radyasyon miktarının 600 TW olduğu bilinmektedir (Lewis, 2005). Karasal bölgelere düşen güneş radyasyonunun sadece %10 bile kullanılabilir duruma gelse, buradan 60 TW'lık bir enerji elde edilecektir, bu oran 2050'de öngörülen enerji ihtiyacından fazlasını oluşturmaktadır. Kısaca yenilenebilir enerji türleri içinde gelecekte ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılayabilecek en önemli kaynak güneş enerjisidir. 2050'ye kadar ihtiyaç olabilecek 10-20 TW'lık enerji güneşten sağlanabilecektir. Sonuç olarak, güneş enerjisi gelecekte talep edilecek olan enerji miktarını tek başına karşılayabilecek yegâne yenilenebilir enerji kaynağıdır (IEA, 2014).

1.2.2. Güneş enerjisinin mevcut durumu ve geleceği

Güneş enerjisi, kaynağı sürekli olan ve tamamen temiz bir enerji türüdür. Fosil yakıtların atmosfere yaydığı CO_2 gaz emisyonunun aksine bir gaz yayınımı göstermez. Güneş enerjisinin sürekli bir kaynak olması ve gaz yayınımının olmaması, dünyada güneş enerjisi kullanımını sürekli arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş dünyada en fazla ilgi gören kaynaklardan biridir. Güneş panelleri dünyada en hızlı gelişen teknolojiler arasındadır. Güneş enerjisi

2017 yılında dünyada en çok yatırım yapılan enerji kaynaklarının başında yer almaktadır. Diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında güneş enerjisine yapılan yatırım toplam enerji türleri içinde %12,1'dir. 2017'de yapılan yatırımlar sonrası elde edilen toplam kurulu güç güneş enerjisinde 98 GW iken, rüzgârda 52 GW, kömürde 35 GW, doğal gazda 38 GW olmuştur (Şekil 1.1.). Fosil yakıtlardan olan kömür ve doğal gazın toplamından daha fazla yatırım güneş enerjisine yapılmıştır. Daha 2007'de toplam kurulu güç 9,2 GW iken, bugün güneş enerjisinin toplam kurulu gücü 400 GW'ın üzerine çıkmıştır (Global, 2018).

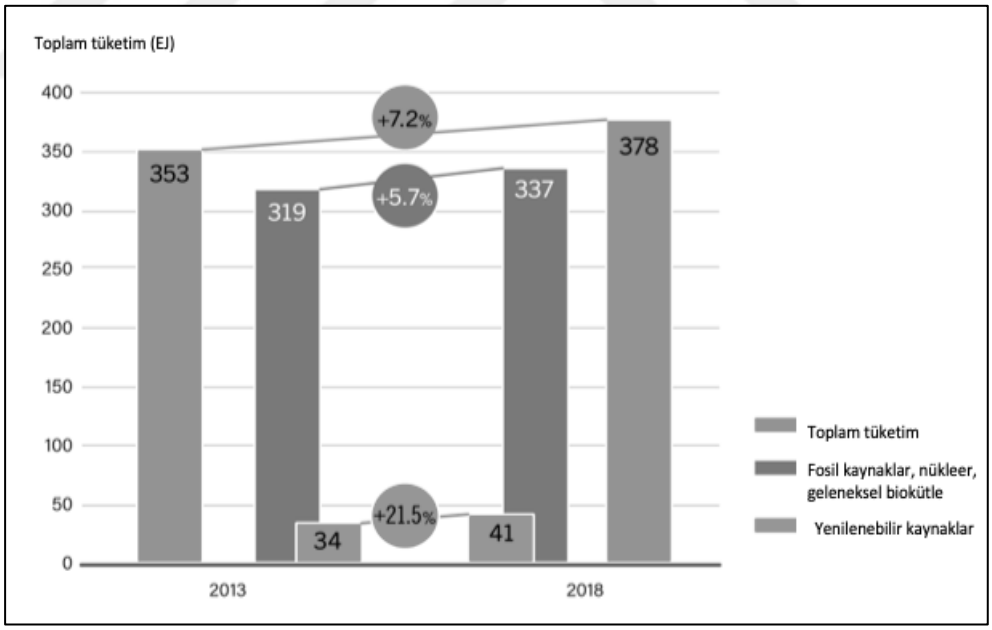


Şekil 1.1. 2017'de mevcut enerji sistemlerine eklenen net enerji güç sistemleri (Global, 2018).

REN21'in 2020'de yayınlanan raporuna göre 2018'de tüketilen toplam enerjinin %11'ini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Şekil 1.2.'de de görüldüğü gibi 2013 yılından 2018 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artış yaklaşık olarak %9,6 civarındadır. Rapora göre 2018 yılında güneş enerjisinden üretilen elektriğe ulaşan kişi sayısı 171 milyon civarındadır. 2018 yılında elektriğe ulaşamayan toplam kişi sayısı 860 milyona (Dünya nüfusunun %11'ini oluşturmaktadır) kadar inmiştir. Bunun yaklaşık %70'ini Afrika ülkeleri oluşturmaktadır.

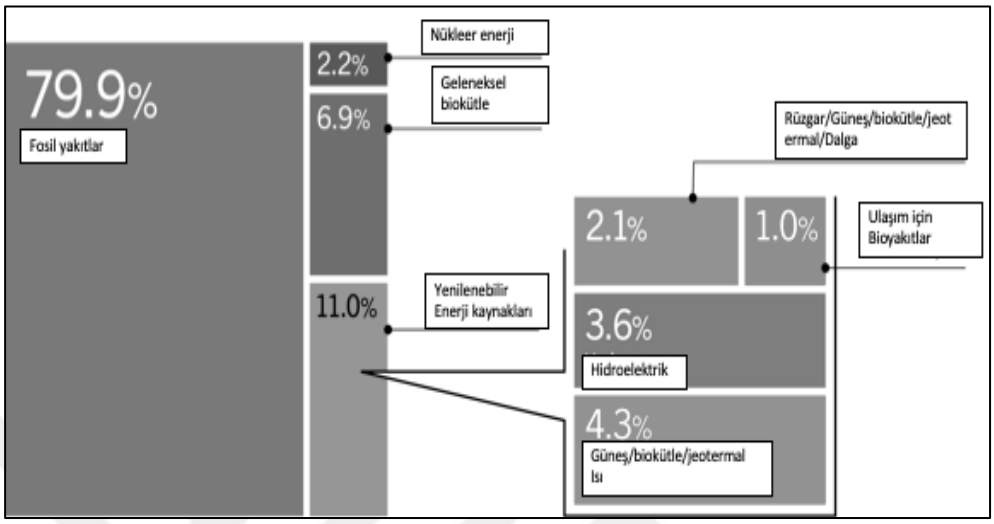
Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımın artmasıyla birlikte, enerjiye ulaşım da artmaktadır. Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi yenilenebilir enerjideki artış 2013 yılından 2018 yılına yaklaşık 7,3 Exajoule (EJ) kadar artmıştır, bu da yıllık yaklaşık olarak %4 civarında artışa denk gelmektedir. Dünyada toplam enerji artışı aynı yıllar arasında 25,3 EJ civarındadır, bu da yaklaşık olarak yıllık %1,4 artışa karşılık gelmektedir. Bu artışlar gösteriyor ki 2013-2018 yılları arasında yenilenebilir enerji artışı toplam artışa göre %29 civarındadır (REN21, 2020).

Uluslararası enerji ajansının 2014'te çıkardığı rapora göre 2050'ye kadar olan analizlerinde dünyadaki toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %16'sı fotovoltaik sistemlerden, %11'i konsantre güneş panellerinden sağlanacak, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının katkıları ile, 2050 deki toplam elektrik enejisinin %79'u yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılanacaktır. Bu çalışmada ayrıca 2050'ye kadar atmosfere yayılabilecek olan CO_2 gazının her yıl 6 milyar ton daha az olacağı öngörülmektedir (IEA, 2014).



Şekil 1.2. 2013-2018 yılları arasında dünyadaki toplam enerji tüketimi (REN21, 2020).

Temiz enerji kaynaklarına yönelimin artması ile beraber iklim krizlerinin önüne geçilebilecektir. Şekil 1.3.'de 2018 yılında dünya geneli tüketilen enerji türleri oransal olarak gösterilmektedir.

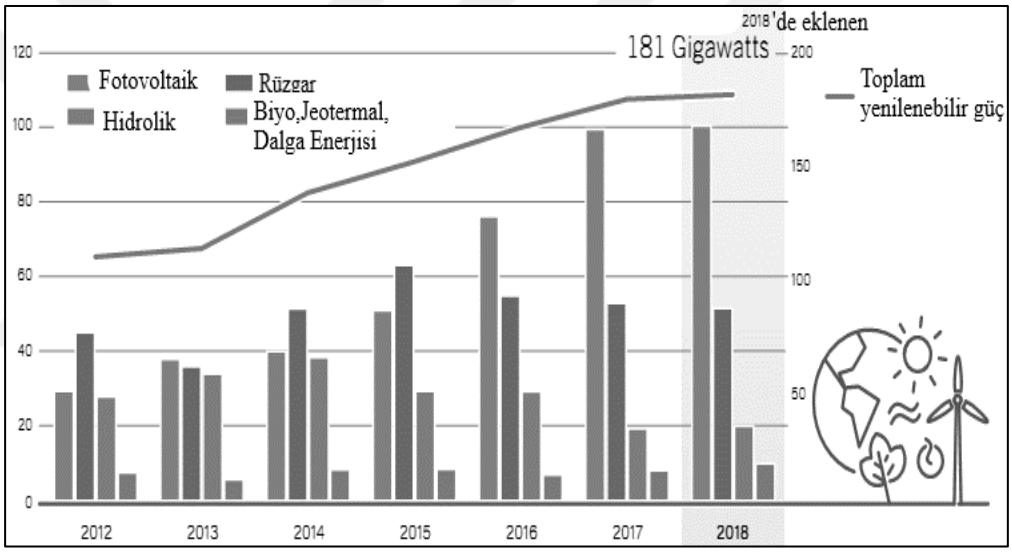


Şekil 1.3. 2018 yılında tüketilen toplam enerjinin dağılımı (REN21, 2020).

1.2.3. Dünyadaki mevcut güneş santrallerinin durumu

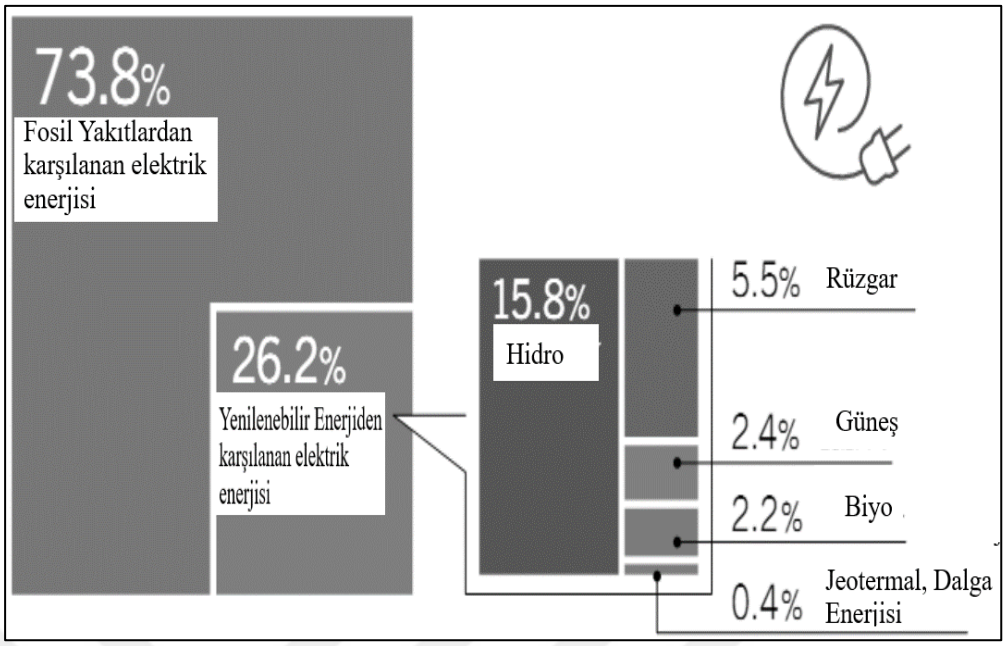
Dünya üzerinde yenilenebilir enerjiye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu alana ilgi hem özel sektör hem de devlet tarafından yoğun olarak devam etmekte ve bu alanda yatırımlar gün geçtikçe katlanarak devam etmektedir. Sadece 2018 yılında yenilenebilir enerji alanında 181 GW'lık kurulumlar gerçekleştirilmiştir. Bu oran 2017'de yapılan toplam kurulumun %8'den daha fazlasına denk gelmektedir. Şekil 1,4'de 2012-2018 yılları arasında yıllık eklenen toplam yenilenebilir enerji kapasitesi gösterilmektedir. Dünya genelinde toplam kurulu yenilenebilir enerji güç kapasitesi 2,378 GW'tır (REN21, 2020). Şekil 1.4.'de de görüldüğü gibi dünya genelinde üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanırken (%74), geri kalan önemli bir bölümü (%26) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerjinin en önemli kısmı hidro enerji santrallerinden karşılanırken, rüzgar, güneş ve biyo da önemli katkılar sağlamaktadır (Dunnett ve ark., 2020).

Şekil 1.4.'deki verilere baktığımızda son yıllarda en fazla katkı fotovoltaik güç sistemleri tarafından sağlanmaktadır. Sadece 2018 yılında eklenen toplam yenilenebilir enerjinin 100 GW'lık kısmı fotovoltaik güç sistemlerinden gelmektedir. Fotovoltaik güç sistemleri, yenilenebilir enerji alanında öncü rol oynamaktadır, 2018'de yenilenebilir enerji alanında eklenen toplam gücün yaklaşık %55'ini oluşturmaktadır (REN21, 2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam tüketilen elektrik enerjisine katkısı her yıl daha da artıp devam etmektedir. Dünyada yenilenebilir enerjisinin %60'a yakını hala hidrolik enerji güç sistemlerinden karşılanırken, rüzgar toplam yenilenebilir enerjinin %21'ini güneş %9'luk kısmını, biyo ise %8'ini oluşturmaktadır (Energy, 2020).



Şekil 1.4. 2012-2018 yılları arasındaki yıllık eklenen yenilenebilir güç kapasitesi (Energy, 2020).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji alanında 2018 yılının sonuna kadar 90'ın üzerinde ülkede 1 GW'tan fazla kurulum gerçekleştirildi. Bu ülkelerden 30'dan fazlası 10 GW ve üzerinde kapasiteye sahip olmuş oldu. Bu ülkelerden en fazla yatırım yapanların başında Çin, Amerika ve Almanya gelmektedir.



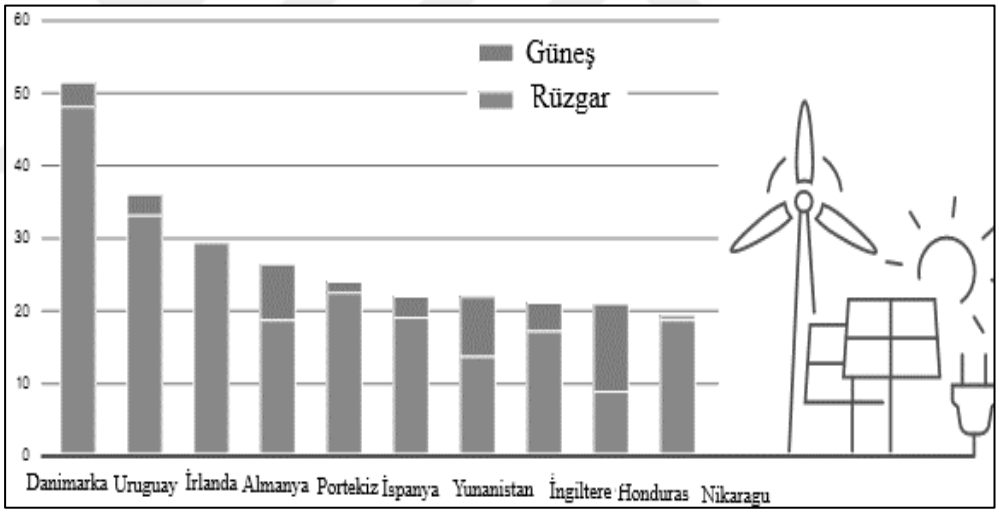
Şekil 1.5. Dünyada elektrik enerji kullanımının, enerji kaynaklarına göre dağılımı (Energy, 2020).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji alanında yapılan yatırımlar, CO_2 yayılımında çok önemli düşüşleri beraberinde getirmektedir. Gelişen sanayi ile birlikte her yıl milyarlarca ton CO_2 atmosfere yayılmakta ve önemli iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kapasitesinin artması ve bunun sonucunda CO_2 yayılımının kaynağı olan fosil yakıtların kullanımının düşüşü iklim şartları açısından çok önemli sonuçları da beraberinde getirmektedir. Avrupa genelinde 2018'de CO_2 yayılımı önceki yıllara göre %5'lik bir düşüş göstermektedir. Bunun en önemli sebebi artan yenilenebilir enerji kullanımıdır (Energyewende, 2020). Amerikan Birleşik Devletleri'nde 2005-2018 yılları arasında CO_2 salınımı %30 civarında azalma göstermiştir. ABD'de sanayi üretiminin düşüşü, mevcut enerji sistemlerinde verimlilik artışı ve yenilenebilir enerji üretiminin artışı bunun en önemli nedenlerinin başında gelmektedir (EIA, 2020).

Dünyada yenilenebilir enerji konusunda bir dönüm noktası yaşanmaktadır. Birçok ülke elektrik enerjisinin çok önemli bölümünü yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmektedirler. Bu oran günden güne artmakla beraber, diğer ülkeleri ve hükümetlerini de teşvik etmektedir. Örneğin Avustralya elektriğinin %20'sini yenilenebilir enerjiden karşılamaktadır. Kosta Rika uyguladığı 300 günlük

bir programla elektriğinin %100'ünü yenilenebilir enerjiden karşıladı (Maissch, 2020). ABD'de 2008-2018 arasında elektrik enerjisine yenilenebilir enerji katkısı iki katı kadar artış gösterdi. Portekiz elektrik enerjisinin %50 sini yenilenebilir enerjiden karşılamaktadır (Marcy, 2019). İngiltere elektrik enerjisinin yaklaşık %20 kadarını sadece rüzgâr enerjisinden sağlamaktadır (REN21, 2019). Avrupa genelinde elektrik üretiminin %15'i doğrudan güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarından karşılanmaktadır.

Güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarından enerji elde etmek 2018 yılının sonunda birçok ülkede çok önemli oranlara ulaşmıştır. Danimarka sadece bu iki enerji kaynağını kullanarak elektrik enerji üretiminin yaklaşık %51'ini karşılamaktadır. Bunun yanında Uruguay %36, İrlanda %29, Almanya %26 ve Portekiz %24 gibi oranlarda elektrik enerji üretimini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır (Şekil 1.6.) (REN21, 2019).



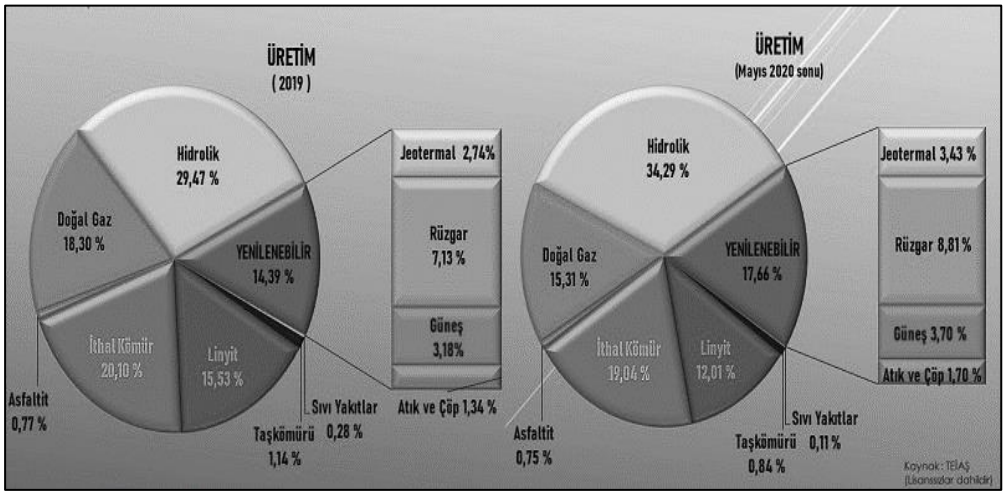
Şekil 1.6. Güneş ve rüzgâr enerji ile elektrik elde edilmesine en fazla katkı yapan ilk 10 ülke, 2018 (REN21, 2019).

1.2.4. Türkiyedeki mevcut güneş santrallerinin durumu

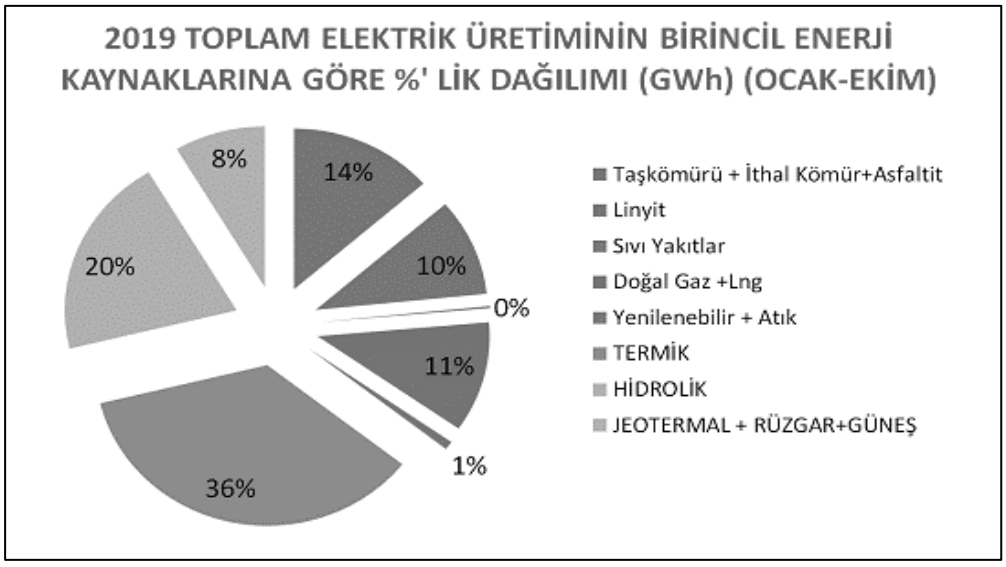
Türkiye coğrafik konumundan ve jeopolitik yapısından dolayı, yenilenebilir enerji potansiyeli açısından diğer Avrupa ülkelerine göre çok daha avantajlı bir konuma sahiptir. Özellikle hidrolik, güneş, rüzgâr ve jeotermal kaynakları açısından oldukça zengindir. Mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının küçük bir oranını

kullansa da Türkiye, büyük bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahip ve bu potansiyelin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Türkiye'de de dünyaya paralel olarak kamuoyu algısı ile beraber yenilenebilir enerjiye olan ilgi ve yatırımlar kayda değer bir seviyeye gelmiştir. TEİAŞ'ın 2019'daki verilerine göre Türkiye'de yenilenebilir enerji, toplam elektrik üretiminin %44'ünü karşılamaktadır. Şekil 1.7.'de görüldüğü gibi, Türkiye elektrik enerjisi toplamının önemli bir kısmını fosil yakıtlardan elde etmekte, ancak tüketilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık yarısını yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. TEİAŞ'ın 2020 mayıs ayı sonrasında yayınladığı raporun verilerine göre üretilen toplam elektriğin %51'i yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Şekil 1.7.). Bu grafiğe göre, yenilenebilir kaynaklar ile üretilen enerji ilk kez fosil yakıtlarından elde edilen enerji miktarını geçmiştir (Kurban, 2020). Bu oran 2018 yılındaki verilerin çok üstündedir. TEİAŞ'ın 2018'deki raporuna göre toplam yenilenebilir enerji katkısı %29 civarında olmuştur. Bu orandaki farkın fazla olması, korona virüsü sebebiyle sanayide tüketilen elektrik enerjisindeki düşüşten kaynaklanmaktadır. Özellikle 2020 mayıs ayı verileri bunun açık bir kanıtıdır (Kurban, 2020).



Şekil 1.7. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim grafiği, 2020 (Kurban, 2020)

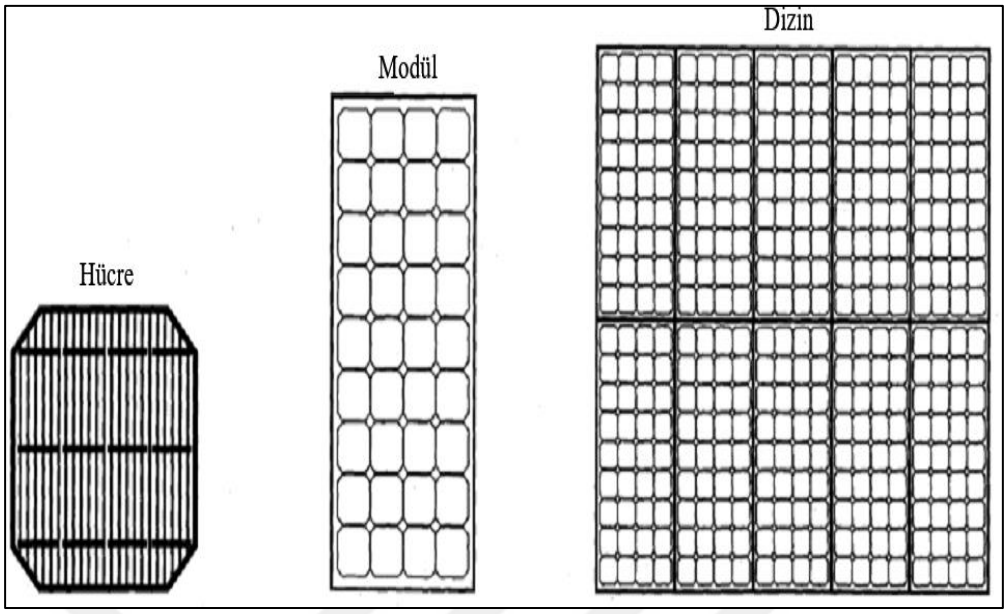


Şekil 1.8.Türkiye elektrik enerji üretim istatistikleri, 2019 (Kurban, 2020)

1.2.5 Fotovoltaik güneş panellerinin özellikleri

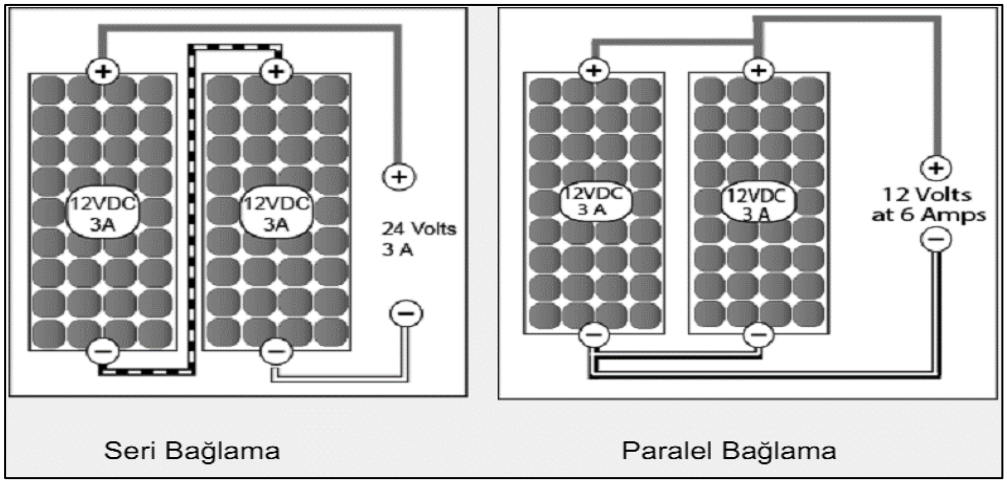
Güneş panelleri genel olarak yüzeylerine gelen güneş ışınlarını yani fotonları doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bunu da yarıiletken maddeler ile gerçekleştirirler. Güneş panellerinin yüzeyleri farklı şekillere sahiptir; kare, daire veya dikdörtgen şeklinde. Güneş panelleri farklı boyutlara sahiptirler. Bir güneş paneli temel olarak hücreden, bu hücrelerin oluşturduğu bir modül ve son olarak da modüllerin bir araya gelmesiyle elde edilen dizinden oluşmaktadır (Şekil 1.9.).

Güneş panelleri fotovoltaik etki prensibine dayanarak çalışır. Burada ana kaynak güneş ışınlarıdır. Ayrıca güneş hücreleri uzun ömürlüdürler ve üretim maliyeti dışındaki maliyetleri ekonomik seviyededir.



Şekil 1.9. Bir güneş panelinin yapısı (Çelebi, 2002)

Güneş hücreleri seri ve parallel olarak bağlanabilmektedirler (Şekil 1.10). Bu şekilde bağlanarak güç çıkışları arttırılabilmektedir. Genel olarak talebe göre seri veya paralel bağlama gerçekleştirilir. Güneş panellerinde birkaç Watt'lık sistemlerden GW'lık dev sistemlere kadar sistemler oluşturulabilmektedir.



Şekil 1.10. Bir güneş panelinin seri ve paralel bağlanması

1.2.6. Fotovoltaik güneş panellerinin tarihçesi

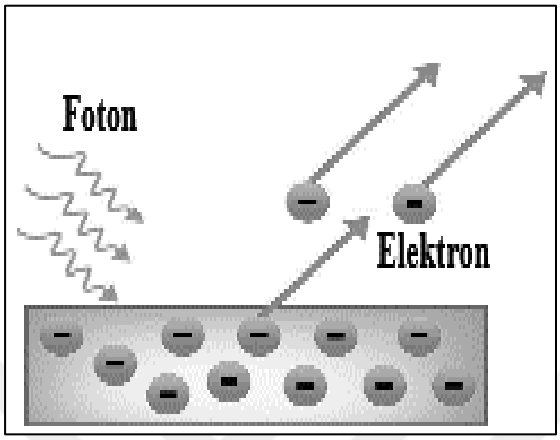
Güneş enerjisi kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Ancak güneş enerjisinden elektrik enerji eldesi ilk kez Fransız fizikçi Becquerel tarafından ortaya çıkarılmıştır. 1839 da Becquerel bir deney seti kurmuş, deney setinin içindeki elektrolite elektrotlar daldırmış ve bunlar arasındaki elektrik gerilimini hesaplamıştır. Burada elektrolit üzerine düşen ışık sonucu bir fotovoltaik etki meydana gelmiştir (Becquerel, 2019). Bundan yaklaşık yüzyıl sonra bu alandaki en önemli çalışmalardan biri Bell laboratuvarındaki 3 bilim insanı tarafından yapılmıştır. Bu laboratuvarda, silikon güneş hücresinin örneği yapılmış ve yaklaşık olarak %6 'lık bir verim elde edilmiştir. Burada yapılan ilk panel sonrasında bu panellerin ticarileşebileceği algısı böylece oluşmuştur (Razykov, 2011).

Güneş panellerinin geliştirilmesi ve uygulamaları konusuna ilgi 1973 yılında artmıştır. Özellikle bu dönemde oluşan petrol krizi sonrası yeni enerji kaynaklarına eğilim artmıştır. Bu tarihten itibaren güneş enerjisine yoğun bir ilgi gösterilmiş ve yeni birçok çalışma sonucunda verimli, uygulanabilir güneş hücreleri üretilmiştir. Özellikle ABD, Avrupa ve Japonya'da bu alana çok önemli bütçeler ayrılmış, birçok önemli silikon bazlı verimli güneş hücresi elde edilmiş ve ticari olarak üretilmişlerdir. Bu alana olan ilgiden dolayı yarıiletken güneş hücreleri arasında da önemli bir rekabet başlamış ve silikon bazlı yerıiletken güneş hücrelerine alternatif yeni ince film teknolojileri geliştirilmiştir (U.S. Department of Energy, 2019).

1.2.7. Fotovoltaik güneş panellerinin çalışma prensibi

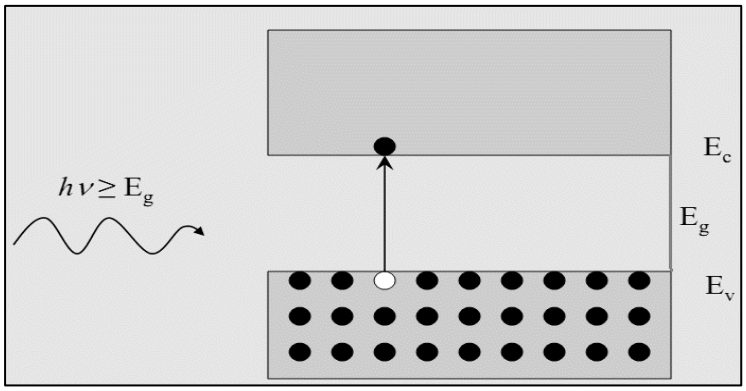
Bir güneş hücresinin çalışma prensibi fotovoltaik etkinin temellerine dayanır. Bu etki, iki farklı malzemenin kavşaklarındaki (bağlama noktaları) farklı potansiyellerinden kaynaklanan bir üretimdir. Bu üretim ya da oluşum elektromanyetik radyasyon sonucunda oluşur. Elektromanyetik radyasyona maruz kalan malzemede bir üretim meydana gelir. Fotovoltaik etki aslında fotoelektrik etki ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Fotoelektrik olay, bir metal yüzeye çarpan elektromanyetik radyasyon ya da fotonun (malzemenin sahip olduğu eşik değerinden daha yüksek bir frekansa sahiptir) bu yüzeydeki elektronlar tarafından absorbe edilip,

elektronların bu metal yüzeyinden ayrılması olayıdır (Şekil 1.11.). Kısaca foton ile elektron koparma olayına denir. Burada elektron tarafından absorbe edilen enerjiye foton enerjisi denir ve E=h*v ile gösterilir. E foton enerjisini, v frekansı ve h Planck sabitini ifade eder. Fotoelektrik etki üç temel prosese dayanır (Wheaton, 2009).



Şekil 1.11. Fotoelektik Olay (Ashish, 2019)

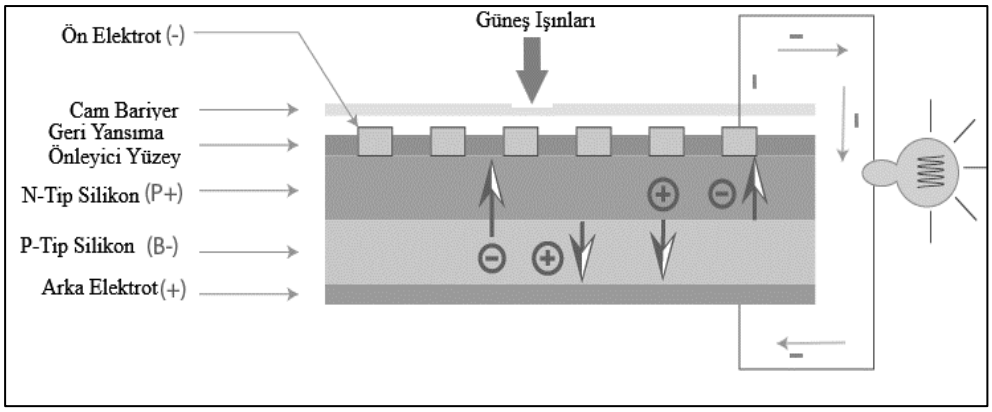
Birinci proses, malzemelerin bağlanma noktalarında meydana gelen foton absorbsiyonu sonucu oluşan yük taşıyıcıları üretimidir. Bu işlemde malzeme tarafından absorbe edilen fotonun enerjisi, malzemedeki bir elektronu temel enerji seviyesinden (E_i) daha yüksekteki bir enerji seviyesine (E_f) ekzite etmesi işlemine dayanır. Burada foton enerjisi ancak $hv=E_f-E_i$ olması durumunda elektron tarafından absorbe edilir. İdeal bir yarıiletkende elektronlar temel enerji seviyesi olan valans bandından, daha yüksek seviyedeki iletkenlik bandına geçerler. Bu iki enerji bandı arasında ise bir elektron geçişi olmaz bu ara duruma izin verilmeyen bant aralığı denir. Bu farka bantboşluğu denir. Bantboşluğu E_G ile gösterilir ve $E_G= E_c-E_v$ şeklinde ifade edilir (Şekil 1.12.). Eğer bir fotonun enerjisi malzemenin bant aralığından daha küçük ise foton absorbe edilmez ve bu foton malzeme içinde etkileşime girmeden dolaşır.



Şekil 1.12. Yarı iletken bir malzemedeki eşik enerjisi (Eg) gösterimi (PVeducation, 2020)

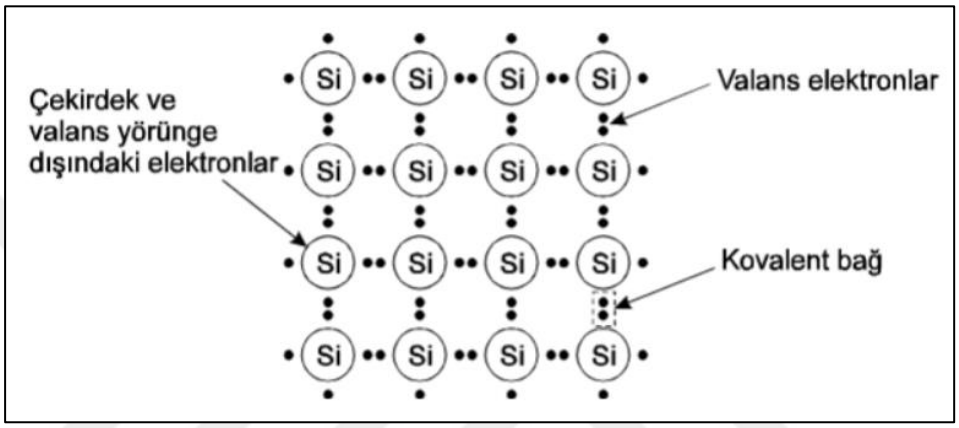
1.2.8. P-N bağlanma oluşumu (Kavşaklar)

Bir güneş hücresinin çalışma prensibi temel olarak malzeme üzerine gelen güneş ışınını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Güneş hücresi üzerine düşen bu ışınlar (fotonlar) hem bir akım hem de voltaj üretirler. Bu işlemde; seçilen malzeme gerekli niteliklere sahip olmalıdır. Seçilen malzemenin uygun niteliklere sahip olması durumunda, gelen güneş ışığını absorbe eder ve absorbe edilen bu fotonlar elektronları daha yüksek bir enerji seviyesine yükseltirler. Böylece bu yüksek enerjili elektronlar, güneş hücresine bağlanan bir dış devreye geçer ve akım meydana gelir. Bu akım aynı zamanda bir voltaj da üretir. Voltaj olarak enerjilerini dış akıma veren elektronlar devreyi tamamlayarak güneş hücresine tekrar dönerler (Şekil 1.13.). Güneş hücrelerinde genel olarak yarıiletken malzemeler ve organik-inorganik malzemeler kullanılır. Bu malzemelerin p-n bağlantı noktaları üzerinden sistemleri işler.



Şekil 1.13. Bir Güneş Hücresi (Urper ve Yavuz, 2014)

Silisyum (Si) bazlı güneş hücreleri klasik olarak bilinen ve en çok kullanılan güneş hücreleridir. Si atomlarının dış yörüngelerinde 4 tane valans elektron bulunmaktadır. Bu elektronlar en yakın Si atomları ile elektronları kovalent bağ dediğimiz bir bağ ile paylaşırlar (Şekil 1.14.). Eğer Si atomlarının bu bağlamaları gerçekleştirirken herhangi bir yabancı atom bulunmuyorsa bu Si atomları kristal bir yapıya sahiptir. Bu kristal yapılara yani yabancı bir atomun olmadığı bu duruma has yarıiletken denir.

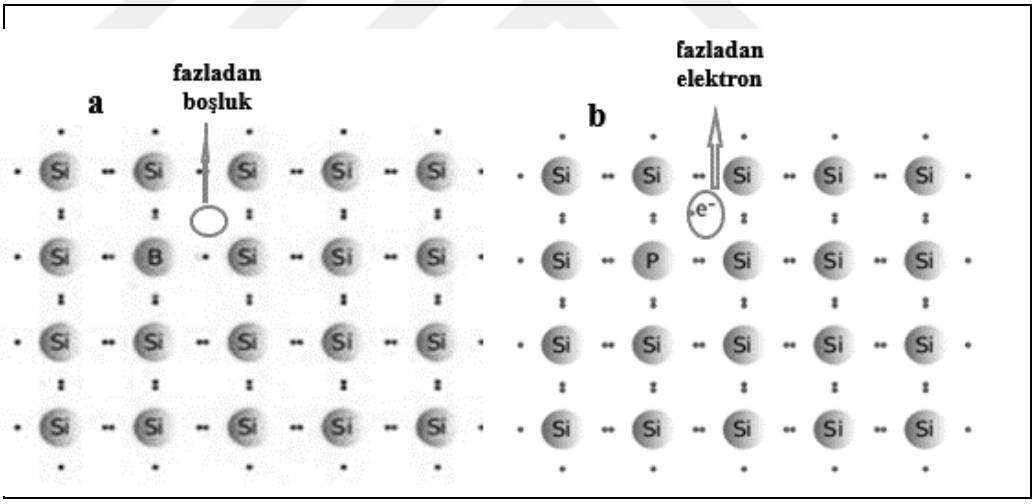


Şekil 1.14. Silisyum atomunun kristal yapısı (Özgöçmen, 2007)

Komşu Si atomları arasında oluşan kovalent bağlar, elekronların serbest hareket etmelerinin önünde bir engeldir. Bu elektronlar arasındaki bağlar ısıl uyarılma ile koparılabilir. Isıl uyarılma sonucu kopan bağlardaki elekronlar kristal yapı içinde serbestçe dolaşırlar. Yapıda dolaşan bu serbest elektronlara bir elektrik alan uygulandığında, rastgele serbest gezen bu elektronlar uygulanan elektrik alana zıt yönde yani negatif bölgeden pozitif bölgeye doğru hareket eder ve bu hareketi sonucunda bir elektrik akımı yaratır. Bir yarıiletken malzemede milyonlarca elektronun bir yerden bir yere, yani negatif uçtan pozitif uca doğru hareket etmeleri sonucu oluşturdukları bu sürüklenme olayına akım denir (Özgöçmen, 2007).

Bir Si kristalinde elektrik akımını arttırmak için dışardan yabancı atomlar ile katkılama yapılır. Bu yabancı atomlar katkılandıklarında Si atomunda fazladan bir elektron ve boşluk dediğimiz alanlar oluşur. Genelde katkılama için periyodik çizelgedeki III-V grup elementleri en uygunu olarak tercih edilir. III. Grup

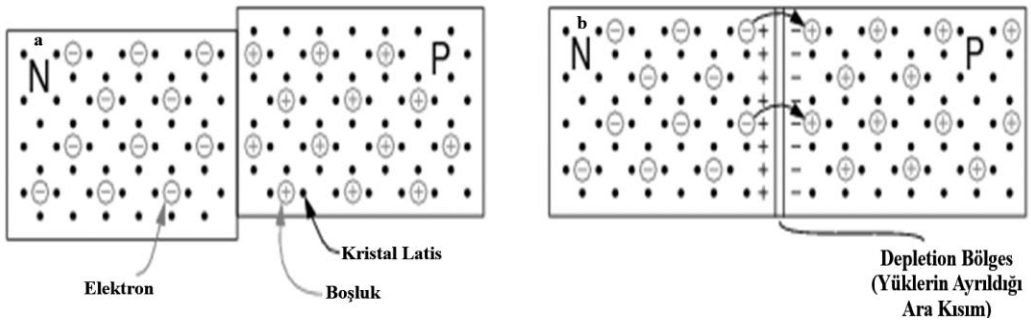
atomlarının katkılaması ile (Boron-B) Si atomu üzerindeki fazla bir elektron herhangi bir şekilde etkileşmez ve dördüncü bir elektrona ihtiyaç duyulur. İşte bu dördüncü yani Si atomunun fazla olan elektronunu dengeleyecek alan boş kalır ve bu yüzden buna boşluk denir (Şekil 1.15). Bu boşluk kısmı aslında pozitif bir yük olarak algılanır ve bundan dolayı bu olaya P tipi katkılama denilir (Şekil 1.15). Diğer taraftan V. Grup elementi olan ve son yörüngesinde 5 tane valans elektronu bulunduran Fosfor (P) atomu katkılanır. Bu durumda Si 4 valans elektronu ile bağ oluştururken, kalan fazla elektron kristal yapı içinde serbestçe dolaşır. Bu fazla olan ya da artan elektron bir negatif yük taşıyıcısı olduğundan bu olaya n (negatif) tipi katkılama denilir. Böylece serbest gezen bu fosfor elektronları çok az bir ısıl işlemle P atomundan ayrılarak diğer uçtaki boronun olduğu boşluğa doğru hareketlenir ve bir akım meydana getirirler. Özet olarak burada B atomları alıcı görevi görürken, P atomları da verici görevi üstlenirler. Böylece iki tip malzeme elde etmiş oluruz (Urper ve Yavuz, 2014).



Şekil 1.15. Si kristal yapısına yabancı atom katkılanması a) Boron katkılama (p-tipi), b) Fosfor katkılama (n-tipi) (Urper ve Yavuz, 2014)

Si yarıiletken malzemesinin farklı bölgelerinin katkılanması sonucu yeni bir malzeme karşımıza çıkar. Fosfor katkıladığımız bölgede fazladan elektron olacağından burası n tipi bölgesi olacak, diğer tarafı da Boron ile katkıladığımız için burası da fazladan boşluk yani pozitifler olacağından burası p tipi bölgesi olacaktır (Şekil 1.16.). Bu iki bölge Şekil 1.16.'daki gibi birbirine yaklaştırılmadan önce

aralarında herhangi bir etkileşim yoktur. Elektron ve boşluklar bulundukları bölgede etkindirler. Ancak iki bölge Şekil 1.16.'daki gibi birbirlerine yaklaştırıldığında birbirine yakın uçlarda bir difüzyon meydana gelir. Burada birbirlerine en yakın uçtaki elektronlar, yani n tarafındakiler p tarafına geçerler bu olay dengeleme olana kadar devam eder. Burada elektronlar difüzyon dediğimiz yüksek yoğunluklu bölgeden daha düşük yoğunluktaki bölgeye geçerler. Dengeye geldiğinde, yani elektron-boşluk sayısı ara kısımda dengelendiğinde bu bölge nötr bir durum alır. İşte bu aradaki soyut farklılığa deplesyon bölgesi denir. Yani bu bölgede artık serbest elektron-boşluk hareketliliği yoktur bu yüzden burası tükenmiş (deplete) bölge olarak geçer. Burada p-n arasında elektronların aşması gerektiği bir potansiyel bariyer meydana gelir. Bu bariyer geri kalan elektronların (n bölgesindeki) p bölgesine geçişini durdurur. Aynı şekilde boşlukların da n bölgesine geçmesini durdurur. Burada elektronların büyük bir kısmı n bölgesinden p bölgesine geçemezler, elektronlar yeterli enerjiye sahip olamadıklarından kendi bölgelerinde, yani n bölgesinde serbestçe dolanmaya devam ederler.



Şekil 1.16. Bir p-n yarıiletken bağlantısının gösterim a) p-n bölgeler birleşmeden önce, b) p-n bölgeler birleştirildekten sonra (Urper ve Yavuz, 2014)

1.2.9. Fotovoltaik hücre tipleri

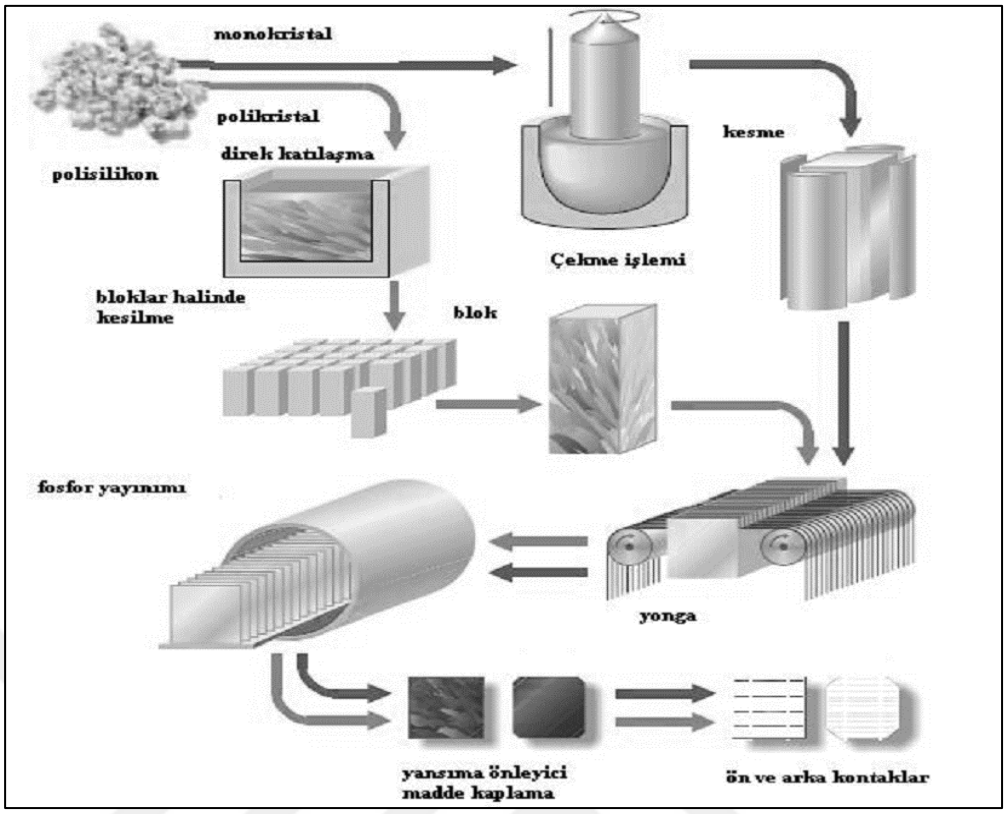
Güneş hücreleri genel olarak 1. nesil olan silikon bazlı güneş hücreleri, 2. nesil ince filmler ve 3. nesil organik-inorganik güneş hücreleri olarak sınıflandırılırlar. Günümüz güneş panelleri pazarının %90'dan fazlasını silikon bazlı 1. nesil güneş panelleri oluşturmaktadır. Birinci nesil güneş hücrelerinin üretim yöntemlerindeki zorluğu ve ham madde sorunu bilim çevrelerini ve yatırımcıları yeni arayışlara yönlendirmiş böylece 2. nesil güneş pilleri olan ince filmler gün geçtikçe hem üretim

yöntemleri hem de maliyet açısından daha uygun olmaları sebebiyle pazarda kendilerine daha çok yer bulabilmektedirler (Solarbuzz, 2019).

1.2.9.1. Silikon bazlı güneş hücreleri

Birinci nesil güneş hücreleri olarak da bilinen silikon bazlı güneş hücrelerinin ham maddesi silisyumdur. Silisyum atomu sahip olduğu elektriksel, optik ve karakteristik yapısıyla öne çıkmış, böylece bu alanda en çok kullanılan malzeme olmuştur. Günümüzde hala pazarın en büyük payına sahiptir. Ancak en önemli sorunu saf kristal üretiminde maliyetin çok yüksek olmasıdır. Saf kristal üretimi çok yüksek maliyetler içerdiği gibi, çok zorlu bir prosestir. Silisyum doğada bolca bulunmaktadır. Ancak saf halde bulunmaz, kum formunda veya oksijenle kuvars biçiminde bulunmaktadır.

Güneş hücresi üretimi için kullanılan silisyum için, öncelikle kumun silisyumdan ayrıştırılması için yüksek bir ısıl işlem gerekmektedir. Bu ısıl işlem yaklaşık olarak 1800-1900 derecede gerçekleşir. Bu işlemden sonra %98 oranında saf silisyum elde edilir. Ancak kalan %2 kirlilik hala uygulamalar için büyük problemlere sebep olmaktadır. Böylece %98 saflıktaki silisyum kimyasal saflaştırma işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler sonucunda hala kalan çok düşük oranda bir kirlilik vardır. Bu kirlilik de Siemens işlemiyle uzaklaştırılır. Saflaştırma aşamalarından sonra, polikristal ve monokristal olmak üzere silisyum çubukları elde edilir (Şekil 1.17.). Bu çubuklar ingot dediğimiz sistemle küçük ince hücreler halinde kesilerek silisyum güneş hücreleri oluşturulur (Solaracademy, 2019).



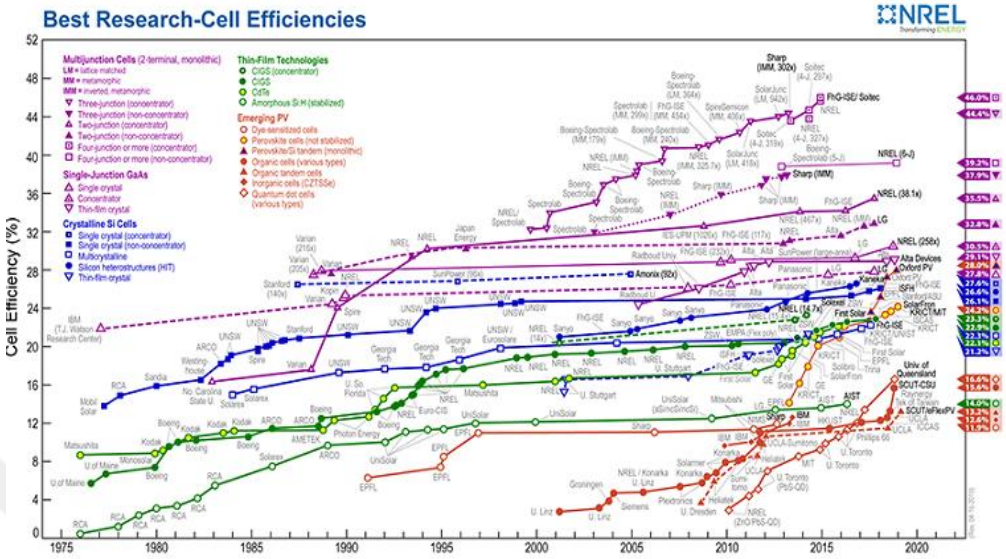
Şekil 1.17. Silikon bazlı güneş hücresi üretim işlemleri (Girgin, 2011)

1.2.9.1.1. Monokristal güneş hücreleri

Birinci nesil güneş hücrelerinden olan monokristal güneş hücreleri en çok kullanılan güneş hücrelerinin başında gelir. Günümüzde en yüksek verimliliğe sahip güneş hücreleridir. Gelişen teknoloji ve yapılan araştırmalar sonucunda verimlilikleri son yıllarda yaklaşık olarak %26,6 civarına kadar çıkarılmıştır (NREL, 2019).

Geleneksel silikon bazlı hücrelerde Czochralski (CZ) işlemi uygulanarak üretim gerçekleşir. Şekil 1.18.'de de görüldüğü gibi silikon güneş hücrelerinin verimlilikleri son 20 yılda yıllık %0,3 olarak artış göstermiştir. Silikon güneş hücreleri ince dilimler halinde ve plakalar şeklinde kesildikten sonra, ön ve arka kontakt noktaları ile birleştirilir. Bu şekilde hücrenin temel elektrik akışı sağlanmış olur. Daha sonra hücrenin üzerine düşen güneş ışınlarının geri yansımasını önleyici malzeme ile kaplama gerçekleştirilir. Bu şekilde hücre tamamlanmış olur. Güneş hücre modüllerinin verimlilikleri yaklaşık olarak 25 yıllık garanti süreci içinde en fazla %20 civarında düşmektedir. Genel olarak 30 yıl sonunda verimleri %30

civarında düştüğünden, güneş panellerine biçilen ömür 30 yıl olmaktadır (Razykov, 2011)



Şekil 1.18. Güneş Hücrelerinin Verimlilik Sonuçları (NREL, 2019).

1.2.9.1.2. Polikristal güneş hücreleri

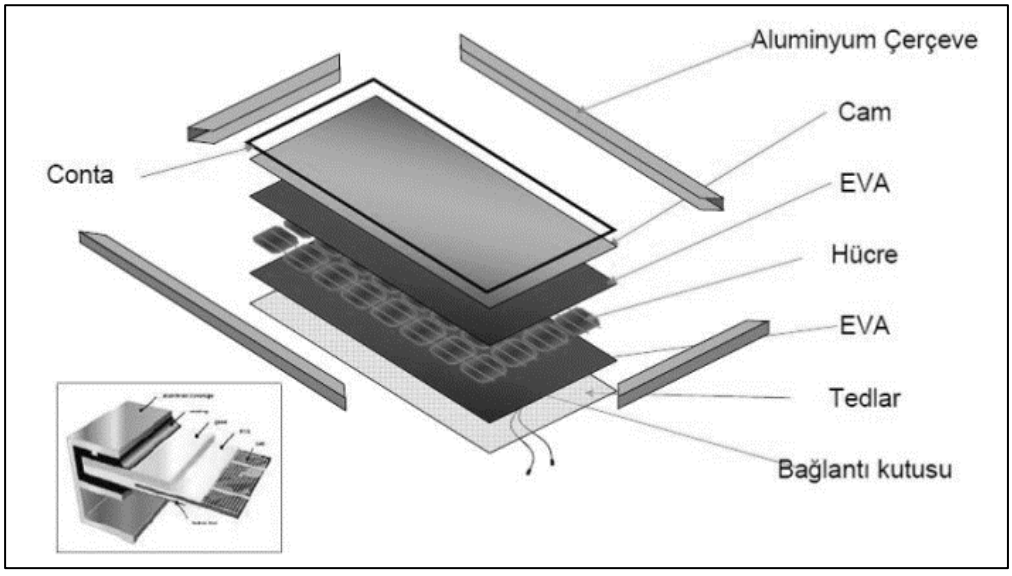
Polikristal ya da çok kristalli güneş hücreleri, monokristal silikon hücrelerinden sonra pazarda en çok kullanılan diğer birinci nesil güneş hücreleridir. Verimleri monokristal hücrelere oldukça yakındır. Üretim işlemleri monokristaller kadar hassas olmadığından maliyetleri daha düşüktür ancak işlemleri aynıdır. Maliyetlerinden dolayı monokristal güneş hücrelerine önemli bir alternatif olarak pazarda yerini almaktadır. Bu güneş hücrelerinin daha az verimli olmasının sebebi kristal dizilimlerinin monokristallere göre daha düzensiz olmasıdır. Şekil 1.18.'de de görüldüğü gibi günümüzde verimleri yaklaşık olarak %22,9 civarındadır.

Güneş hücreleri oluşumu sonrasında, mono ve poli kristal güneş hücreleri birbirlerine seri veya paralel bağlanarak bir panel haline getirilirler. Oluşan panel, hücre sayısına göre farklı büyüklükte olabilir. Burada istenilen akım ve voltaj eldesi için hem hücre sayısı hem de bağlanma şekli önemlidir. İstenilen bir güç eldesi için

panel ve bağlanma şekli belirlenir, daha sonra bulunan bölgenin coğrafik özelliklerine bakılarak panel yerleştirilir.

Güneş hücrelerinin birbirine bağlanarak bir panele dönüştürülmesi için bir işlem gereklidir. Öncelikle hücreler birbirlerine otomatik bir sistem yardımıyla belli bir düzen içinde lehimlenir.

Daha sonra cam üzerine serilmiş olan etilen vinil asetat (EVA) üzerine yerleştirilir. EVA polimer malzemesidir ve hücreleri dışardan gelebilecek etkenlere karşı korur. EVA'nın üstüne arka kılıf olarak da bilinen TEDLAR yapıştırılır. TEDLAR güneş hücrelerini sıcaklık nem gibi birçok dış etkene karşı korur. Bu şekilde cam, EVA ve arka kılıf ile sarılan güneş hücreleri laminatörler içerisinde belli işlemlere tabi tutulmak için bekletilir. Bu işlemler yüksek sıcaklık ve basınçtır. Yüksek basınç ve sıcaklık sonrası hücreler koruyucu malzemeler ile sarılır. Bağlantı kutusu by-pass diyotlarını içermektedir. Daha sonra bu kutu panele montajlanır. Bu yerleştirmeden sonra aluminyum çerçeve ile panel çerçevelenir (Şekil 1.19.). Bu işlemler tamamlandıktan sonra panel güç üretmek için hazır hale gelmiş olur (Girgin, 2011).



Şekil 1.19. Güneş Panelinin Yapısı (Girgin, 2011)

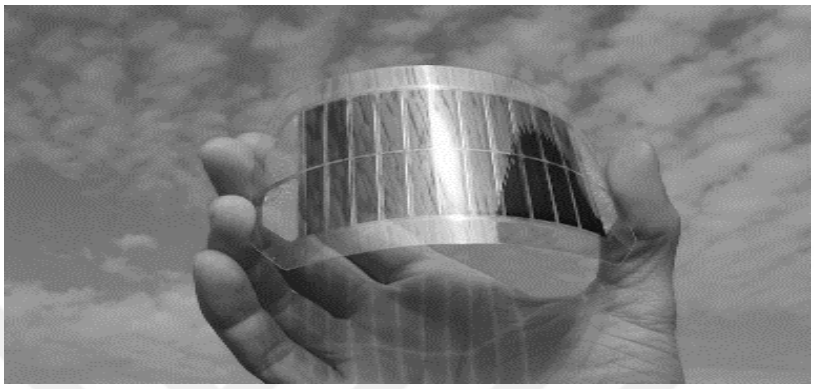
1.2.9.2. İnce film güneş hücreleri

İnce film güneş hücreleri teknolojisi ilk olarak 1970'lerde geliştirilmiştir. Bu teknoloji sürekli gelişme göstermekte ve pazarda kendine yer edinmektedir. Kristal bazlı güneş hücrelerine göre üretim maliyeti daha az fakat verimlilikleri biraz daha düşüktür. Ancak son yıllarda yapılan yoğun çalışmalar ile verimleri oldukça geliştirilmiş ve gelecekte pazarda silikon bazlı güneş panellerine rakip olacağı öngörülmektedir (Britannica 2019). İnce filmler geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Sahip oldukları bant aralıklarına göre farklı atomlar olarak birleşebiliyorlar. En çok bilinen ince filmler CdTe (kadmiyum Tellur), CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenid), a-Si (Amorf Silisyum) ve GaAs (Galyum Arsenid)'dır. Kadmiyum Tellür en çok kullanılan ince film güneş hücrelerinden biridir. Sahip olduğu kendine has optik ve elektriksel özellikleri ile bilimsel çalışmalarda öne çıkmış bir malzemedir. Şekil 1.19.'da da görüldüğü gibi verimleri %22,9 civarındadır. Gelişen teknoloji ve bu alandaki yoğun çalışmalar sonucunda verimliliklerinin daha da yukarı seviyelere çıkarılacağı öngörülmektedir. Bakır indiyum galyum arsenid bir diğer önemli ince film güneş hücresidir. CIGS güneş hücrelerinin verimleri son 40 yılda %4 ten %23,3 oranlarına çıkmıştır. Galyum Arsenid ince filmleri çok yüksek verimlere sahip olmalarının yanında üretim maliyetleri en yüksek olan ince filmlerin başında yer alır. Sahip oldukları yüksek maliyetten dolayı daha çok uzay çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Amorf Si ise en eski ince film teknolojisidir. Bu ince filmler kristal olmayan silikon yapılı malzemeden yapılmaktadır. Kristal olmadıklarından dolayı verimleri düşüktür ancak üretim maliyetleri, mono-poli kristal hücrelere göre oldukça düşüktür. İnce filmler arasında en düşük üretim maliyetine sahip yarıiletkendir. Ancak bunun yanında verimleri de diğer yarıiletkenlere göre oldukça düşüktür. Şu anki verimleri %14 civarındadır (Britannica, 2019).

1.2.9.3. Üçüncü nesil güneş hücreleri

Üçüncü nesil güneş pilleri olarak da bilinen ve daha çok iletken polimerlerin yer aldığı bu güneş hücreleri üretim ve maliyet açısından oldukça uygundur. Çok düşük verimlerinden dolayı (Şekil 1.20.) büyük sahalarda enerji üretiminde kullanımları uygun değildir. Ancak sahip oldukları esnek ve saydam yapıları ve

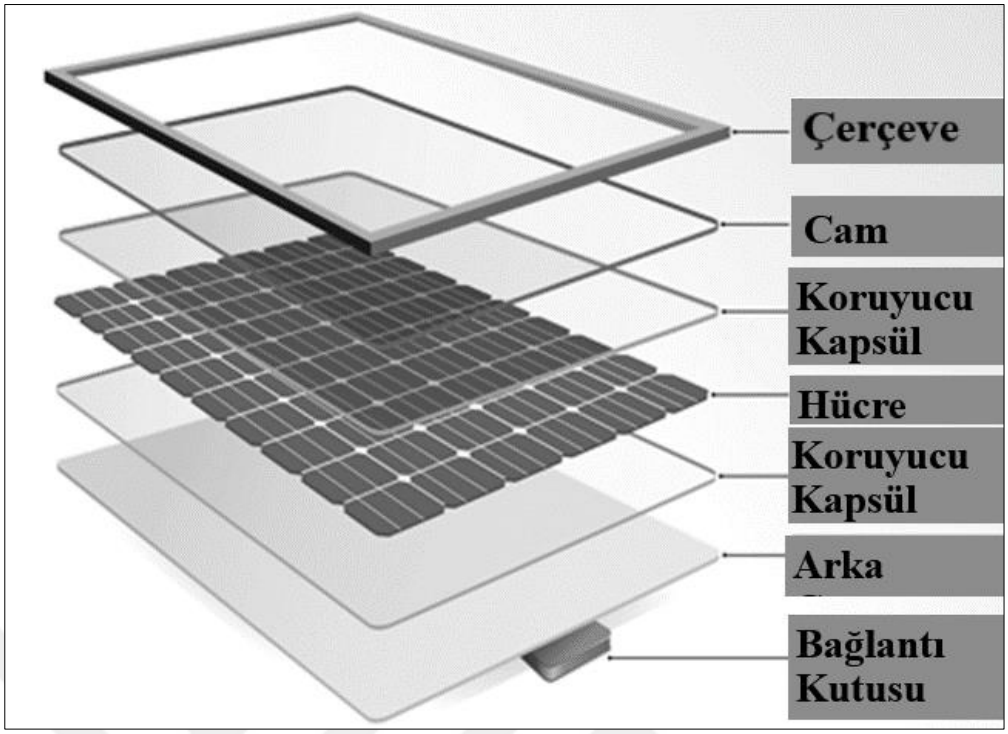
kolay uygulanabilir olmalarından dolayı özellikle esnek tabanlı sistemlerde kullanımı öngörülmektedir. Ayrıca entegrasyonu kolay sistemlerdir. Bu pillerin gelecekte küçük ve portatif sistemlerde kullanılabilir bir düzeye ulaşacağı öngörülmektedir. Günümüzde hala yoğun olarak üzerinde çalışmalalar yürütülmekte ve özellikle verimlerinin arttırılması üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir (Brabec, 2004).



Şekil 1.20. Üçüncü Nesil Güneş Hücresi (Brabec, 2004)

1.2.10. Güneş enerji sistemlerinde enerji üretimi

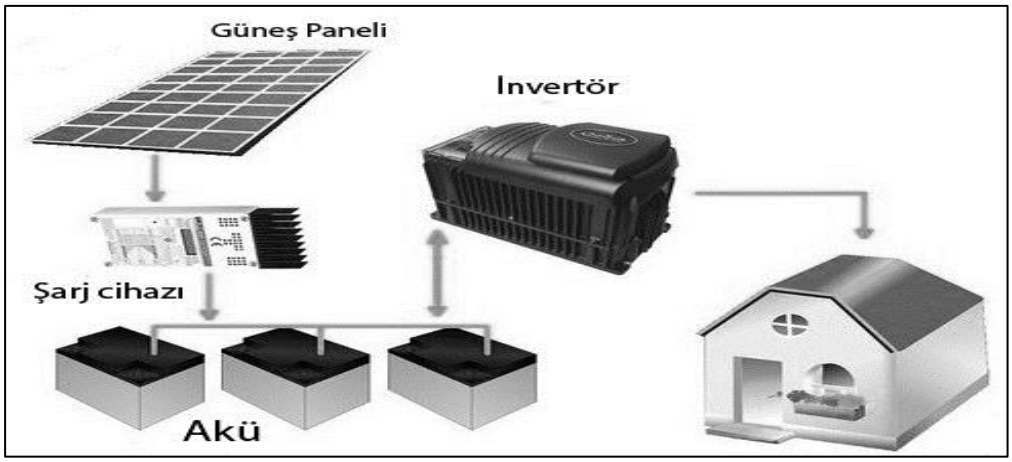
Sonsuz bir enerji kaynağı olan güneş, fotovoltaik sistemlerde enerji üretimi için ana bileşendir. Güneş sonsuz ve bedava bir kaynaktır. Güneş enerji sistemleri, enerji kaynakları arasında çevreye en az zarar verenlerin başında yer alır. Güneş enerjisinden doğrudan enerji üretimi için faydalanamadığımızdan, belli sistemlere ihtiyaç duyarız. Bu sistemler aracılığıyla, güneşten gelen radyasyon enerjisi belli fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanıma uygun hale getirilir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ana sistem panellerdir (Şekil 1.21.). Paneller üzerine düşen ışığı belli fiziksel kurallar çerçevesinde elektrik enerjisine dönüştürerek, akülere ya da doğrudan şebeke sistemine aktarır. Güneş enerji üretiminde iki farklı sistem kullanılmaktadır. Bu sistemler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemlerdir. Bu sistemlerin her biri kendi içinde coğrafik koşullar da dikkate alınarak değerlendirilir.



Şekil 1.21. Güneş paneli örneği (Auctions, 2020).

1.2.11. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız sistemler, güneşten gelen radyasyon enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek, bir yük kontrolür aracılığıyla akülere depolanmak üzere aktarır. Bu akülerde depolanan enerji daha sonra bir evirici tarafından yani panellerin ürettiği doğrudan akımı alternatif akıma dönüştürerek ev içindeki sistemlerde kullanılmak üzere ev şebekesine aktarır. Panellerin ürettiği enerji doğru akım şeklindedir. Ancak ev ve işyeri sistemleri alternatif akıma göre tasarlanmıştır. Bu yüzden panellerden gelen enerjiyi doğrudan evin şebekesine aktaramayız, öncesinde bir evirici yardımıyla ev sistemlerinde kullanılan alternatif akıma dönüştürmeliyiz. Alternatif akıma dönüştürülen elektrik enerjisi, buradan ev şebekesine aktarılarak ev sistemlerinde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde panel dışında, şarj kontrolür, akü ve eviriciler temel olarak kullanılan donanımlardır (Şekil 1.22.).

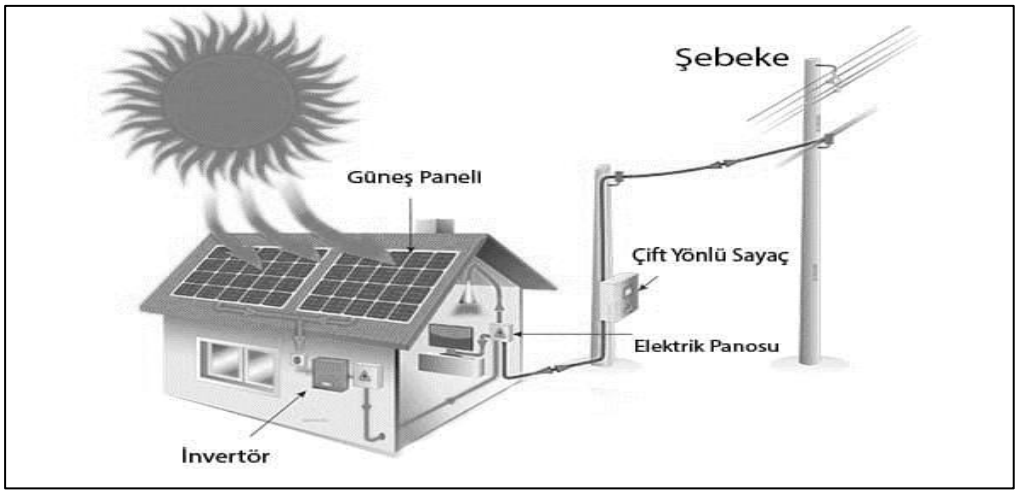


Şekil 1.22. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem (Elektrikde, 2020).

Şebekeden bağımsız sistemler genel olarak elektrik şebekesinin zor ulaştığı ya da olmadığı bölgelerde ağırlıklı olarak kullanılır. Bu sistemlerde gün boyu üretilen enerji akülere oradan da ev şebekesine aktarılır. Gündüz fazladan üretilen enerji akülerde depolanarak gece ev şebekesine aktarılır ve böylece bir devamlılık sağlanmış olur. Şebekeden bağımsız sistemlerin en büyük dez avantajı akü maliyetleri ve kayıplardır. Şebekeye bağlı sistemlerde akülere ihtiyaç duyulmadığından bir akü maliyeti olmaz. Aynı zamanda aküler şarj-deşarj olurken kayıplar yaşanır, şebekeden bağımsız sistemlerde bu kayıplar gözlenmez.

1.2.12. Şebeke bağlantılı sistemler

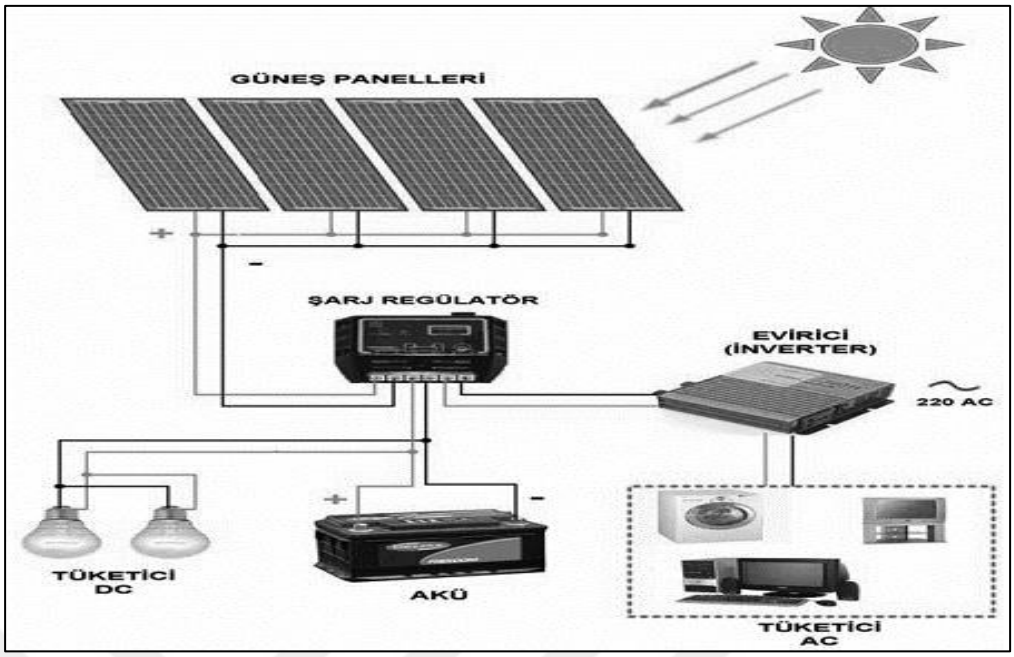
Şebeke bağlantılı sistemler, panellerden üretilen enerji evin ihtiyacını giderirken artan enerjiyi hiçbir depolama ihtiyacı duymadan doğrudan elektrik şebekesine aktarır. Bu sistemlerde, üretilen enerji fazlası şebekeye aktarıldığı gibi, elektrik ihtiyacı durumunda şebekeden elektrik çekilir. Şebekeye bağlı sistemlerde, panellerden üretilen doğru akım enerjisi alternatif akıma dönüştürülerek şebekeye aktarılır, aktarılan elektrik enerjisi elektrik sayacına bağlı olan şebeke besleme sayacı tarafından ölçülür. Şebeke besleme sayacı çift yönlü olarak çalışabilmektedir. Bu sayacın görevi, merkezi şebekeye aktarılan ve merkezi şebekeden alınan enerjiyi hesaplamaktır (Şekil 1.23.). Bu sistemlerin en büyük dezavantajı, şebeke elektriği kesildiğinde sistemin de elektrik kesintisini yaşamasıdır. Sistemde elektrik depolayacak batarya sistemi olmadığından bu sorunla karşılaşılmaktadır.



Şekil 1.23. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem (Elektrikde, 2020)

1.2.13. Fotovoltaik sistem donanımları

Güneş enerji sistemlerinde, güneş panellerine ek olarak birçok farklı donanım kullanılmaktadır. Güneş panelleri gelen enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Ancak üretilen enerji aktarımının sağlıklı olması için akım dönüşümünün düzgün bir şekilde yapılması kritik önem taşımaktadır. Dönüşüm işlemlerinin gerçekleşmesinde birçok donanım kullanılmaktadır. Bu donanımlar her bir durum için farklı bir role sahiptir. Bu donanımlar sayesinde, sistem daha güvenilir bir yapıya sahip olur, daha kolay veri izlemesi gerçekleştirilir ve merkezi-uzaktan daha çabuk müdahale edilebilir bir şekilde kontrol sağlanabilir (Leblebicioglu, 2017).

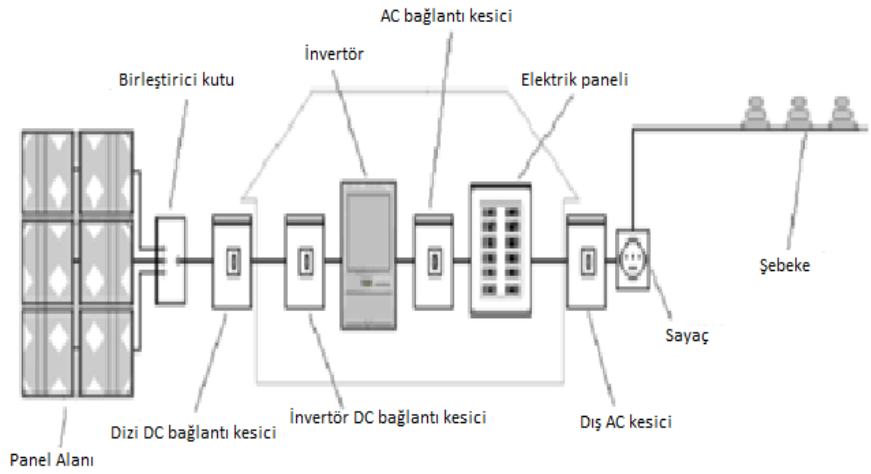


Şekil 1.24. Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar (Leblebicioglu, 2017)

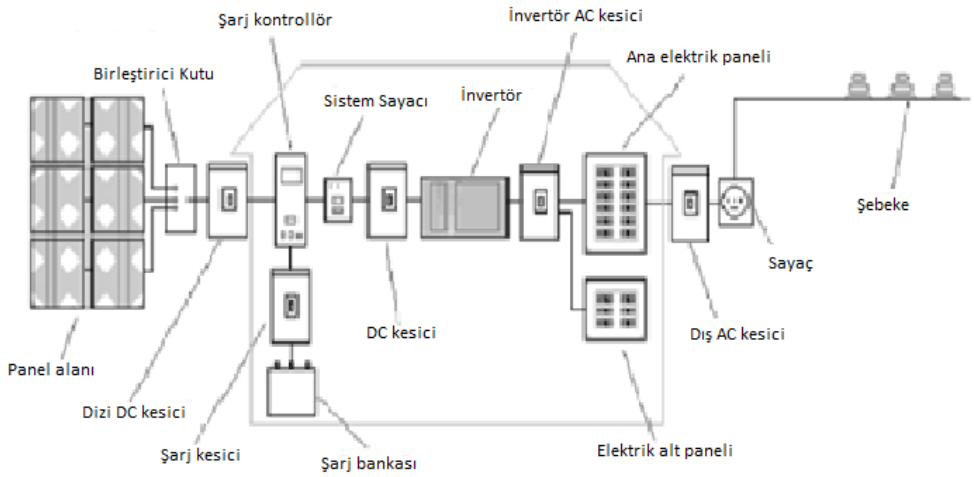
Günümüzde güneş panellerinden üretilen enerji, bataryalar aracılığıyla depolanabilmekte ya da doğrudan sistemlere aktarılabilmektedir. Şebeke bağlantılı sistemler günümüzde maliyet-performans açısından daha çok ön plana çıkmaktadır. Şebeke bağlantılı sistemler kendi içinde Alternatif Akımlı (AA) batarya kullanmayan sistemler (Şekil 1.25.) ve yapısında batarya kullanan sistemler (Şekil 1.26.) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bataryasız sistemler daha basit, güvenilir ve düşük maliyetlidir. Ancak bu sistemler tamamen şebeke odaklı sistemlerdir, yani şebeke enerjisi kesildiğinde bu sistemlerin de enerjisi kesilir ve hiçbir şekilde enerji aktarımı gerçekleşmez. Diğer bataryalı sistemlerde ise şebekedeki elektrik kesilmesi sistemi hiçbir şekilde etkilemez ve çalışmaya devam eder. Bataryalı sistemlerin önemli dezavantajları ise;

- Batarya dolumu ve tüketimi sırasında %10 civarında bir enerji kaybı olmaktadır.
- Bataryalı sistemler daha komplike elektronik sistemlerdir, ayrıca kurulum, bakım ve işletme maliyetleri daha yüksektir.

- Bataryaların belli bir ömürleri vardır ve değişim gerektirir. Ayrıca bu değişimler gerçekleşirken sisteme zarar vermeden ve sistemi durdurmadan yapılması gerekmektedir. Bataryaların maliyetli olması, sistemin de genel maliyetini yükseltmektedir.



Şekil 1.25. Şebeke bağlantılı bataryasız AA fotovoltaik sistem örneği



Şekil 1.26. Şebeke bağlantılı bataryalı AA fotovoltaik sistem örneği

Basit bir şebeke-bağlantılı bataryalı ve bataryasız PV sisteminde aşağıdaki bileşenler kullanılmaktadır:

- Fotovoltaik modül
- Dizili iskeletler
- Topraklama Ekipmanları
- Toplama Kutusu
- Dalga Koruyucu
- Evirici
- Sayaçlar- sistem sayacı ve kilowatt-saat sayacı
- Bağlantı Kesiciler
- Batarya kutusu, kablo ve ev yapısını içinde bulunduracak
- Yük denetleyici
- Batarya bağlantısı kesimi

Dizili iskeletler genel olarak çatılardaki sistemlerde kullanılan ve beton sistemlerde de uygulanan panelin üzerinde sabitlendiği çelik sistemlerdir. Bu sistemlerin önemli bir yanı panellerin birbirlerini gölgelemeyecek şekilde dizilimleridir. Çatı montaj sistemlerinde genellikle Pvler sabit dizili bir şekilde monte edilirler ve çatının pozisyonuna göre paralel bir şekilde dizilirler. Böylece yapının estetiği de bozulmamış olur. Ayrıca yükseklik kotunun çatı ile çok farklı olmaması gerekir, bu şekilde PV'ler rüzgâr dalgalarından fazla etkilenmemiş olur. Sabit sistemlerin dışında güneş açısına göre değişen montaj sistemleri de bulunmaktadır. Bu hareketli yapılar ekonomik olarak biraz daha maliyetli olmalarına karşı daha çok güneş enerjisini doğrudan absorbe edebilmektedirler. Bu sistemlerin sabit sistemlere göre enerji üretimine katkısı %25-40 civarında olabilmektedir.

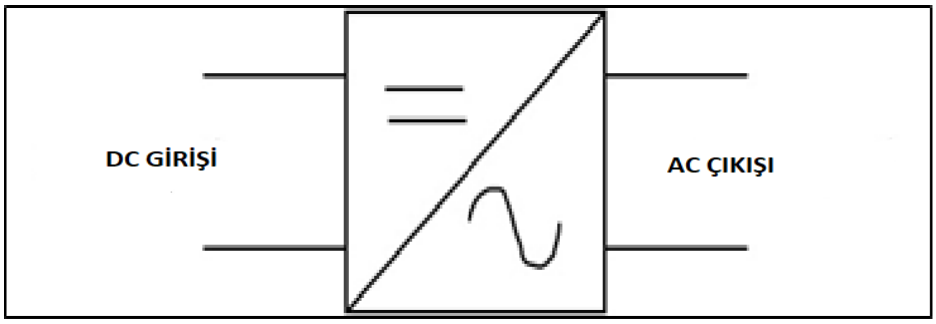
Topraklama sistemi, PV sitemlerinin güvenilirliği için çok kritik öneme sahiptir. Topraklama PV'den yere doğru oluşurken, burada sistem dışardan gelebilecek ani yıldırım çarpması veya ekipmanlardan kaynaklanan bir düzensizlik sonucu oluşabilecek sorunlardan korunmuş olur. Topraklama ayrıca voltajı stabil tutar ve genel bir referans noktası olmasını sağlar.

Toplama kutusu çatıda Pvlerin yakınında olan, herbir PV den gelen bağlantının toplandığı yerdir. Burada toplanan bağlantılar, belli bir ağ şeklinde toparlanıp iki kablolu bir ağ ile iletilir. Tipik bir toplama kutusu herbir bağlantı için sigorta ve şalter içerir, bu şekilde oluşabilecek en ufak bir sorunda sorunlu bağlantı devre dışı kalır. Dalga koruyucu, dışardan gelebilecek dalgalara karşı özellikle sistemi koruma görevi görür. Dışardan gelebilecek dalgalara karşı sistemi korumaya alır ve zararı minimize eder.

1.2.14. Eviriciler

Bütün panel sistemlerinde eviricilere ihtiyaç duyulur. Evirici, genel olarak güneş enerji dönüşümlerinin en önemli görevlerini üstlenir ve dört temel görevi vardır:

- Pv'den gelen doğru akımı alternatif akıma çevirme
- Gelen alternatif akım frekans ve gerilimini düzenleme
- Voltaj dalgalarını düzenleme
- Alternatif akım dalgalarının yayılımını uygulamaya göre düzenleyerek, dalganın yayılma yönü ve biçimini şebeke-bağlantısına göre ayarlar (Şekil 1.27.).



Şekil 1.27. Evirici gösterimi

Bu dört temel görev için dizayn edilen eviriciler seçilirken, şebeke ile etkileşimi, karakteristik özellikleri, gerekli nitelikleri taşıması, yapılış malzemesi, yüksek verimlilik, iyi frekans ve gerilim düzenleme en önemli ayırt edici özellikleridir. Ayrıca uzun ömürlü olması, çıkış gücünü maksimize edebilme

yeteneği diğer önemli özelliklerindendir. Eviricilerin ömürleri genel olarak 5-10 yıl arasında değişebilmektedir (Reviews, 2020)..

Genel olarak şebeke bağlantılı sistemlerde iki tip evirici bulunmaktadır. Bunlar; dizi tipi evirici ve micro evirici'lerdir. Dizi tipi eviriciler, genellikle büyük ölçekli olanlardır, bunlar sert ve sağlam zeminler üzerine oturtulurlar ve sistemin şebekesine yakın kurulumları yapılır. Dış ortam dizi tipi eviricileri, mesken ve daha büyük alanlarda sistemlere farklı şekilde monte edilirler. Bu eviriciler elektrik şebeke durumuna bağlı olarak genellikle bir veya iki tip dizi evirici bağlanarak doğru akımı alternatif akıma dönüştürürler. Dizi tipi eviriciler, ki bunlar şebekeye bağlı olan eviriciler, bağımsız tip eviricilerden (off-grid sistemlerde kullanılan) farklıdırlar (Şekil 1.28.).



Şekil 1.28. Dizi tipi evirici (Leblebicioglu, 2017)

Mikro eviriciler, dizi tipi eviricilerden daha küçük güçtedirler. Bunlar genel olarak her bir modüle bağlı veya iki modüle bağlı bir evirici şeklinde sisteme monte edilirler. Mikro eviriciler herbir modülden gelen doğru akımı alternatif akıma dönüştürerek bağlanma durumuna göre ev veya sistem şebekesine aktarırlar (Şekil 1.29.).



Şekil 1.29. Mikro evirici

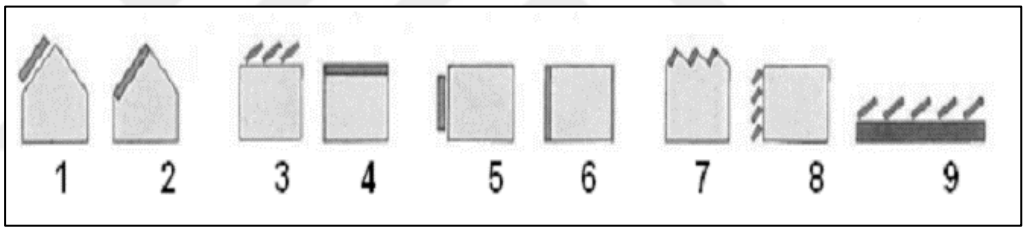
Eviriciler merkezi tip ve dizi tipi olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Merkezi tip eviriciler, dizi tipi eviricilere göre çok daha geniş aralıkta bir çalışma işlevine sahiptirler ve genel olarak farklı çalışma gücünde değişmektedirler.



Şekil 1.30. Merkezi tip evirici örneği

1.2.15. Solar konstrüksiyon

Solar konstrüksiyonlar, güneş paneli ve eviriciden sonra gelen en önemli donanımdır. Güneş panellerinin geniş bir kurulum alanı olduğundan; binalar, araziler ve sanayi tesisleri gibi çok farklı konstrüksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Konstrüksiyonlar bulunduğu bölgenin coğrafik şartları ele alınarak dizayn edilip yerleştirilir. Belli bir eğim açısına göre yerleştirilen konstrüksiyonlar, güneşten maksimum şekilde radyasyon alabilecek açıda yerleştirilir ve paneller bu şekilde üzerlerine montajlanır. Şekil 1.31.'de de görüldüğü gibi bir konstrüksiyon çok farklı şekillerde yerleştirilebilir. Bu yerleşimler bulunduğu binanın çatı biçimi ve cephesi ele alınarak, belli mühendislik hesaplamalar sonucunda tasarlanır. Bir diğer yerleştirme biçimi olan araziler için de aynı durum geçerlidir. Arazilere yerleştirilen paneller için de arazi yapısı, arazinin alanı, kullanım durumu ve cephesi hesaba katılarak belli hesaplamalar sonrası paneller yerleştirilir (Jackson, 2008).



Şekil 1.31. Güneş panellerinin farklı montajlanma biçimleri (Girgin, 2011)

Güneş panellerinde konstrüksiyonlar, yerleştirilecek alana göre dizayn edilip hazırlanır. Hazırlanan konstrüksiyonlar bölgenin iklimi, yerleştirilecek zemin gibi şartları ele alınarak statik ve dinamik bütün tahkikler yapıldıktan sonra dizayn edilir (Şekil 1.32.).



Şekil 1.32. Güneş konstrüksiyon örneği (DAO, 2020).

Panel konstrüksiyonu bulunduğu bölgenin enlem ve boylamına göre yerleştirilir. Genellikle konstrüksiyon güneşin geliş açısına göre belli bir açıda yerleştirilir. Bu açılar 20°-45° arasında değişmektedir. Bu açılar verimi çok etkilediğinden, açı hesaplamaları çok dikkatli yapılmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde Cizre bölgesinin bulunduğu coğrafik alan ve bu alana gelen güneş ışınlarının bulundukları enlem-boylam açıları dikkate alınarak yapı konstrüksiyonunun yerleştirme açıları hesaplanacaktır.

1.2.16. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan kablolar

Güneş sistemlerinde seçilen kablolar, elde edilen enerjinin minimum kayıpla aktarımını sağlayan donanımlardır. Panellerden üretilen elektrik enerjisini taşıma ve aktarma görevi gören bu donanımlar, güneş ışınlarından ve sıcaklıktan etkilenirler. Bu etkilenmeler sonucunda önemli kayıplar meydana gelebilmektedir. Bir güneş enerji panelinin ortalama çalışma ömrü 25-30 yıl civarında olduğundan, kullanılacak kablolarında buna göre seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca kabloların bu uzun yıllar boyunca yıpranmalarının minimum olması için, kullanılacak malzemeler özenle seçilmelidir (Group, 2020). Seçilecek kabloların, sıcaklık ve ışıktan en az

etkilenmeleri ve DC'yi taşıyabilecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Özellikle sıcaklığın çok etkilediği bu kabloların, bölgesel farklılıklardan kaynaklı sıcaklıklara karşı dayanıklı olmaları önem arz etmektedir. Genel olarak bu kablolar -40C-+120C arasındaki sıcaklıklara dayanabilmelidirler (Şekil 1.33.).



Şekil 1.33. Güneş sistemlerinde kullanılan kablolar

1.2.17. Güneş panellerinde montaj yapılar

Fotovoltaik sistemler yapı bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu yapı bileşenleri ayrı ayrı ve uygun bir şekilde belli bir dengede olmalıdırlar. Panellerin kurulumu sırasında montajlama sistemine özen gösterilmelidir. Özellikle kullanılacak alan çok dikkatli seçilmelidir. Ayrıca panelin yük dengesine özen gösterilmeli ve yerinden çıkmayacak şekilde monte edilmelidir. Panelin devrilme ve kaymalara karşı meydana gelebilecek durumlara karşı dikkatli davranılmalı, gerekli analizler yapılmalıdır. Konstrüksiyon sisteminin kesitleri ve bağlantı elemanları statik ve dinamik yük durumlarına göre seçilmelidir. Panel montajlama sistemi genel olarak çatı üstü ve arazi tipi olarak ikiye ayrılmaktadır.

1.2.17.1. Çatı üstü montaj sistemi

Bu montaj sisteminde panellerin bakacağı cephenin ve sistemin bir bütün olarak uygulanacak yüke karşı statik açıdan dayanımının iyi hesaplanması gerekmektedir. Bu sistemlerde hem arazidan tasarruf sağlanır, hem de çatı alanı verimli bir şekilde değerlendirilmiş olur. Çatı sistemlerinde kullanılan ekiplar; çatı konstrüksiyonu, kablolama, kablo kanalları ve panodur.

Çatı sistemlerinde kullanılacak olan konstrüksiyon sayısı, taşıyı olarak kullanılacak profil ve diğer elemanlar (sabitleyici) çatının yük kaldırma durumu ve geometrik yapısına göre ayarlanmalıdır. Ayrıca bu ağırlıkların yanında, kar ve rüzgar yükleri de tespit edilip hesaba katılmalıdır. Kısaca panel sistemi bileşenlerinin kurulumu yapılmadan önce, yük hesaplamaları en uygun şekilde ehil kişiler (inşaat mühendisleri) tarafından yapılmalıdır. Dahası bina altyapısının ek yükleri de hesaba katarak, kurulacak sisteme dayanıklı olduğunu uzmanlar aracılığıyla belgelemek gerekmektedir.

PV system uygulamalarında farklı çatı tipleriyle karşılaşmak mümkündür. Evlerin düz ve eğimli çatıları farklı uygulamalar gerektirmektedir. Her bir çatı sisteminin analizi, eğim açısına ve cephesine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle planlama öncesi çatı analizi gerçekleştirilmeli ve en uygun model tasarlanıp, ekipman ağırlıkları ve uygulanacak panel sayısı buna göre belirlenmelidir.



Şekil 1.34. Çatı tipi sistem örneği (Köroğlu ve ark., 2010)

1.2.17.2. Arazi montaj sistemi

Güneş santral uygulamaları için arazi seçimi, santralin kurulum, işletme ve elektrik üretim süreçlerinin hepsini etkilemektedir. Arazi seçiminde enerji verimliliği en önemli etkendir. Bunun yanında, çevresel etki değerlendirmesi ve yasal

düzenlemeler diğer önemli kriterlerdir. Seçilecek arazinin güneş enerjisi potansiyeli, yıllık ortalama güneşlenme süresi, güneşlenme süresince maruz kaldığı ışık spektrumu (mordan-kızılötesi ışınlara kadar) verimlilik açısından analiz edilmesi gereken en önemli kriterlerdir. Ayrıca bölgenin yerel iklim şartları, arazinin mevcut durumu, yapısı, yerel şebeke sistemine olan bağlantısı, enerji tüketim bölgesine olan uzaklığı, jeolojik yapısı diğer önemli kriterlerdir.



Şekil 1.35. Arazi tipi sistem örneği (Şenlik, 2017)

1.2.18. Güneş enerjisi santrali mevzuat süreci

Güneş enerjisi yatırımı dünyada sürekli artma eğilimi göstermektedir. Ülkeler, bireyleri ve yatırımcıları güneş enerjisi sistemlerine teşvik etmek için farklı alternatifler geliştirmektedirler. Günümüzde Avrupa ülkelerinin önemli kısmı elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerji konusunda hem bireysel anlamda hemde işletme anlamında sürekli yeni mevzuat değişiklikleri yapılmaktadır. Günümüzde küçük ölçekli işletmeler veya çatı türü enerji sistemleri için lisanssız elektrik üretimi ve büyük ölçekli yatırımlar için lisanslı elektrik üretimi adı altında iki çeşit elektrik enerjisi üretimi mevcuttur. Lisanssız Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) kurulu gücü 2019 yılında Resmi gazetede yayınlanan Cumhurbaşkanlığı'nın 1044 nolu kararı ile 1 MW'lık kurulu güçten 5 MW'lık kurulu güce çıkarılmıştır (Gazete, 2020). Enerji

Planlaması ve Denetleme Kurulunun (EPDK) belirlediği çerçeveler ile lisanslı ve lisansız bütün işletmeler aynı hükümlere tabidirler. Lisanssız yatırım yapacak işletme ya da kişiler belirli aşamalardan geçerler. Öncelikle elektrik aboneliğinin yapılması gerekmektedir, sonrasında saha seçiminin uygunluk değerlendirmesi yapılmalıdır. Son olarak da proje onayı için TEDAŞ'a ve dağıtım şirketine başvurulmalıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda dünya geneli güneş enerjisi konusunda yoğun çalışmalar bulunmaktadır (Sukhatme ve Nayak, 2017; Kabir ve ark., 2018; Camacho ve Berenguel, 2012; Timilsina ve ark., 2012; Hernandez ve ark., 2014; Kannan ve Vakeesan, 2016; Turhan ve Çetiner, 2012; Özcan ve Ercan, 2020; Boztepe, 2017; Kabul ve Duran, 2014; Girgin, 2011; Chu ve ark., 2011). Güneş enerjisi sistemlerinin yeni teknolojilerle geliştirilmesi, tüm dünyada artan enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik önemli çözümlerden biri olarak görülmekte ve bu konuda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

Güneş enerjisi teknolojileri alanındaki hızlı büyüme, düşük güneş pili verimlilikleri, ekonomik olarak yüksek maliyetler (örneğin, yüksek ön ödeme maliyetleri ve finansman mekanizmalarının eksikliği) gibi çeşitli teknik engellerle karşı karşıyadır. Bunun yanında kurumsal engeller (örneğin, yetersiz altyapı ve vasıflı insan gücü eksikliği) ayrıca başka bir engel olarak mevcuttur. Kabir ve ark. (2018), güneş enerjisi teknolojilerinin yararlarını ve zararlarını araştırmış ve fayda-zarar mukayesi yapmışlardır. Sonuç olarak dünya enerji sorunu için önemli bir çözüm olduğu ve zararlarının çok minimal seviyede kaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada güneş enerjisi araştırmaları ve uygulamaları ile ilgili yeni yolların açılmasına yardımcı olmak için güneş enerjisi araştırmalarının geleceği için bir yol haritası tartışılmış ve pratik öneriler irdelenmiştir.

Türkiye'de de son yıllarda güneş enerjisine karşı bir ilgi ve çalışma mevcuttur. Varınca ve Gönüllü (2006), Öncelikle Türkiye'yi ele alıp güneş enerjisi potansiyelini incelemişler. Yaptıkları çalışmada, bu potansiyelin kullanım durumunu, yöntemi ve yaygınlığı irdelenmiş. Çalışmada özellikle güneş enerjisinin önemi vurgulanmış ve Türkiye'deki mevcut durumunun yetersizliğine vurgu yapılmıştır. Çalışmada Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli vurgulanmış ve mevcut kullanımına değinilmiştir. Çalışmada sonuç olarak Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin iyi olmasına rağmen potansiyelin yeterince yaygın ve etkin kullanılamadığı tespit

edilmiştir. Devletin güneş enerjisi alanında bir teşvik uygulamamış olması ve kurumlar arası koordinasyon eksikliği bu durumun sebebi olarak gösterilmiştir.

Cizre bölgesinde güneş enerjisi değerlendirmesi açısından herhangi bir literatür çalışması bulunmamaktadır. Bölgeye yakın sayılan Diyarbakır'da Haydaroğlu ve Gümüş (2016), tarafından yapılan çalışmada Dicle Üniversitesi' nde kurulmuş güneş enerji santralinin (250 kWp'lik) simülayonunda PVsyst V6.39 simülasyon programı kullanılmıştır. Ayrıca IEC 61724 standardındaki performans kriterlerine göre performansı analiz edilmiştir. Ayrıca santralin Aralık 2015 ve Nisan 2016 arasındaki simülasyon sonuçları ile üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında Aralık ayında gerçek üretim değerlerinin, simülasyon sonuçlarından yüzde %29,91 daha fazla olduğu görülmüştür. Ocak ayında ise tersi durum görülmüş ve simülasyon sonuçları gerçek üretim değerlerinden %13,58 fazla çıkmıştır. Diğer tüm aylar da ise simülasyon sonuçlarının gerçek üretim değerlerinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Ocak ayı dışında uygulamadaki enerji üretiminin simülasyon değerlerine göre fazla olmasının sebebi santral kurulumunun ilk yılında olması sebebiyle maksimum panel verimliliğine sahip olması, simülasyonunda ise panellerin ortalama veriminin esas alınması ile açıklanabilir. Bunun dışında, Pvsyst programı uzun dönem meteorolojik verileri kullanmaktadır. Kurulan santral ilk yılında olduğu için sadece bir yıllık meteorolojik olaylar sonuçlar üzerinde etkili olmuştur. Daha sağlıklı bir karşılaştırmayı ancak birkaç yıllık sonuçların ortalamasının Pvsyst değerleri ile karşılaştırılması ile elde edebiliriz.

Her ne kadar bölge ile ilgili güneş enerjisi değerlendirmesine dair az literatür çalışması olsa da dünya geneli birçok referans araştırma mevcuttur. Fakat bu çalışmalarda enerji değerlendirmeleriyle beraber panel taşıyıcı sistem ile ilgili bir analiz bulunmamaktadır. Bu çalışmada özellikle panel taşıyıcı sistemlerinin statik ve dinamik yük analizleri yapılıp uygun konstrüksiyon tasarımı seçilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Seçilen santral alanının özellikleri

Güneş enerjisi için seçilen Cizre, yaz aylarında sıcak ve kurak bir iklime sahipken, kışları yağışlı ve ılık bir iklimi mevcuttur. Yaz aylarında sıcaklık 50°C' ye kadar ulaşabilirken, kış aylarında 6°C gibi bir değere düşebilmektedir (Timuçin, 1990). Çizelge 3.1.'de Şırnak ve çevre illere ait sıcaklık değerleri verilmiştir. Ayrıca yaz aylarında çok az bir bulutluluk oranı görüldüğünden, güneş radyasyonuna maruz kalma oranı da yüksek olmaktadır (Erinç, 1996).

Çizelge 3. 1. Cizre, Şırnak, Siirt, Hakkâri istasyonlarına ait sıcaklık değerleri (DMİ 2019)

Sıcaklık (°C)	İSTASYON	Süre (Yıl)	AYLAR												Yıllık Ortalama
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık	CİZRE Rakım ; 400m	31	6,5	8,3	12,3	17,4	23,6	30,5	34,4	33,2	28,3	21,2	13,5	8,5	19,5
	ŞIRNAK Rakım; 1350m	19	2,1	3,1	6,6	11,4	16,7	22,4	27	27,4	22,8	16,1	9	3,9	14
	SİİRT Rakım ; 895m	31	2,9	4,1	8,2	14	19,3	25,8	30,5	29,8	25	17,8	10,1	4,8	16
	HAKKARİ Rakım; 1727m	30	-4,5	-3,2	1,7	8,3	14,2	20,3	25	24,8	20,3	13	5,1	-1,5	10,3
Ortalama Yüksek Sıcaklık	CİZRE	31	11,5	13,3	17,7	23,4	17,5	30,2	42	41,3	24,2	37	20	13,4	26,4
	ŞIRNAK	19	6,3	7,2	11	16	16,4	21,8	33,2	33,3	24,2	28,7	13,5	8	19
	SİİRT	31	6,8	8,7	13,4	19,4	20,8	25,1	37,1	36,8	27,9	32,3	15,3	8,7	21,7
	HAKKARİ	31	0,5	0,9	6	12,9	18	19	30,8	30,8	24	26,5	9,5	2,3	15,2
Ortalama Düşük Sıcaklık	CİZRE	31	3,3	4,2	7,5	11,8	16,4	21,5	24,8	23,6	19,7	14,7	8,8	5	13,4
	ŞIRNAK	19	-0,9	-0,1	2,9	7,3	12,4	17,7	21,8	22,5	18,2	11,8	5,5	0,9	10
	SİİRT	31	-0,2	0,5	4,1	9,3	13,6	19,1	23,5	23,1	18,8	12,7	6,3	1,9	11,1
	HAKKARİ	31	-8	-6,9	-2,3	4	9,1	14,1	18,4	18,1	13,9	7,7	0,8	-4,8	5,3
En Yüksek Sıcaklık	CİZRE	31	21,4	24	29,2	34	40,5	44,7	48,6	47,2	44,6	39,9	30,4	25,3	48,6
	ŞIRNAK	19	16,2	17	21	28,6	29,8	35,3	39,7	40,3	36,8	30,2	22,6	19	40,3
	SİİRT	31	15	20,6	24,4	30,3	35,2	39,2	44,4	42,3	39,9	36,6	25,5	21,3	44,4
	HAKKARİ	31	11,8	11,7	19,7	25	28,4	33	36,7	37	33,8	29,3	20,8	15,8	37
En Düşük Sıcaklık	CİZRE	31	-6,3	-9,3	-4,8	2	6,9	13	18	15,7	12,9	4,8	-1,5	-8,3	-9,3
	ŞIRNAK	19	-12,2	-13,2	-11,2	-4,7	0,8	5,4	10	10	8,9	-0,5	-4,8	10,8	-13,2
	SİİRT	31	-14,8	-13,5	-13,3	3,8	2	10	14	14,4	8,7	1,3	-4,3	14,4	-14,8
	HAKKARİ	31	-21	-22,7	-19	-8,1	-0,4	5,4	11,8	9,7	4,3	-3,1	-15	21,3	-22,7

3.1.2. Santral alanı hakkında genel bilgiler

Her ne kadar şuan Şırnak ili sınırları içindeki bir ilçe olarak bilinse de, Cizre; tarihsel, sosyolojik, kültürel, ilmi, sanatsal, ekonomik, siyasi ve daha birçok alanda, tarihi çok eskiye dayanan antik bir kenttir. Öyle ki Cizre tarihi ile ilgili yazılmış tüm kaynaklar bu şehri Tufana bağlar.

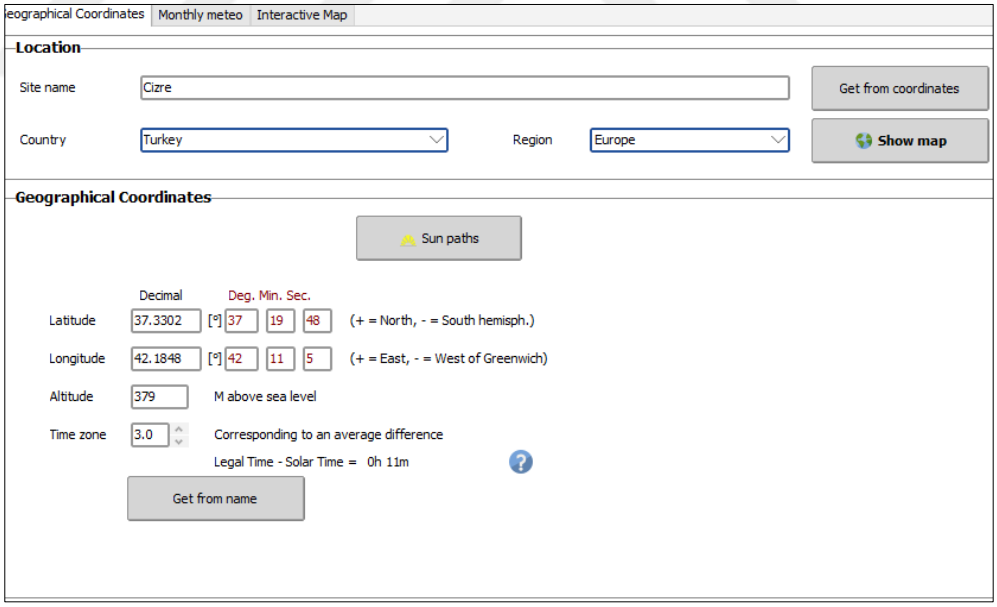
Vico (1984), Yeni Bilim adlı eserinde tarihi Tufan ile başlatmaktadır. Şayet Vico'nun bu tespitini temel teşkil edecek şekilde alırsak, bu da demek oluyor ki Cizre tarihin başlangıcından bu yana insanlığın beşiği sayılacak bir yurt ve merkezdir.

Aynı şekilde Evliya Çelebî de Seyahatnamesinde Cizre şehrinin tarihine dikkat çekerek şunu der: "İbn-i Umer'in Ceziresi beyanında, yani ataların atasının şehri, tarihi yapı ve büyük yurt, Cudi vilayeti" (Dankoff ve ark., 2005).

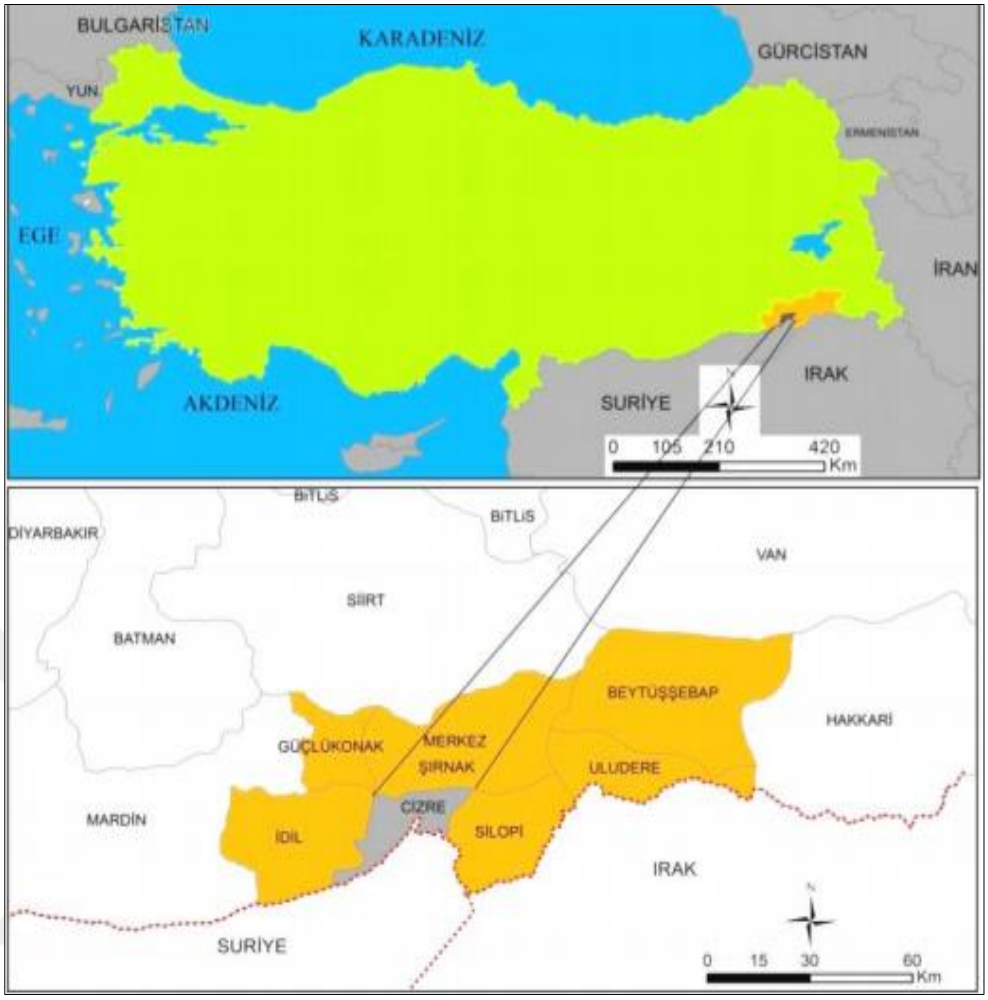
Dicle Nehri Havzası içerisinde yer alan Cizre bölge tarihi bir geçmişe sahip olmasının yanında önemli bir ticaret yoluna da tarih boyunca sahip olmuştur (Karademir, 2019). Tarihi olarak önemli bir geçmişe sahip olmasının yanı sıra, verimli Dicle Havzasında olmasından kaynaklı çok önemli coğrafik bir konuma da sahiptir. Cizre'nin özgün yönetim yapısından kaynaklanan öncü rolü de vardır. XIV. yy'nin başlarında Azizan Beyliği, Moğolların hakimiyetine son vermiştir ve Cizre'yi Azizan Emirliği'nin başkenti yapmıştır. Cizre bölgesi XIV. yüzyıldan başlayıp XIX. yüzyıla kadar yer yer problemler yaşansa da genel olarak Azizan emirlerinin yönetiminde kalmıştır. Cizre bu dönemde başkent olarak tüm bölge için yönetimi, ilmi kurumları, toplumsal heterojenliği, ekonomik altyapısı ve imarı sayesinde adeta bir cazibe merkezi olmuştur (Polat, 2013). Elbette siyasi geçmişi daha detaylı ele alınabilir. Edebiyattan pozitif ilimlere, müzikten entelektüel çalışmalara değin birçok alanda bölgede öncü bir rol oynamıştır. Bunların tarihsel bir dayanağının olduğunu tarihteki yazılı kaynaklardan da ediniyoruz. Cizre tarihi ile ilgili, meşhur Seyyah Evliya Çelebi Seyahatnamesinde Cizre şehrinin tarihselliği, coğrafyası ve mimari yapıların yanı sıra güçlü yönetim anlayışından da bahsetmektedir(Dankoff ve ark., 2005).

Bilim ve sanat alanında da oldukça önemli bir merkez olduğunu İsmail Ebul İz el-Cezeri ve Molla Cezeri (Melayê Cizîrî) gibi şahsiyetlerden biliyoruz. Kızıl Medrese (Medresa Sor) birçok büyük edebiyatçının yetiştiği ve insanlık tarihine birçok önemli eser bıraktığı bir eğitim yuvasıdır. Yine Mir Celadet Ali Bedirxan'ın dil ve kültür çalışmaları önemli edebi eserler olarak varlığını sürdürmektedir. Ahmed-i Hani (Ahmedê Xanê)'nin Mem û Zîn eseri dünya edebiyat tarihinde önemli bir şaheser olarak yer almaktadır. Şehrin tarihi dokusundan bugüne kalan eser ve kalıntılar da bize şehirle ilgili bilgi veren yazılı eserlerin söylediklerini doğruluyor (Yaşın, 2011).

Cizre, 37.19 kuzey enlemleri, 42.11 doğu boylamları kuşağındadır (Şekil 3.1.). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Dicle Bölümünde yer alan Cizre, batısında İdil, kuzeyinde Şırnak il merkezi, kuzeybatısında Güçlükonak, doğusunda Silopi, Duhok, Zaho, güneyinde ise Derik ve Kamişlo yer almaktadır (Şekil 3.2.). Rakımı ortalama olarak 400 m, yüzölçümü ise 460 km^2'dir.



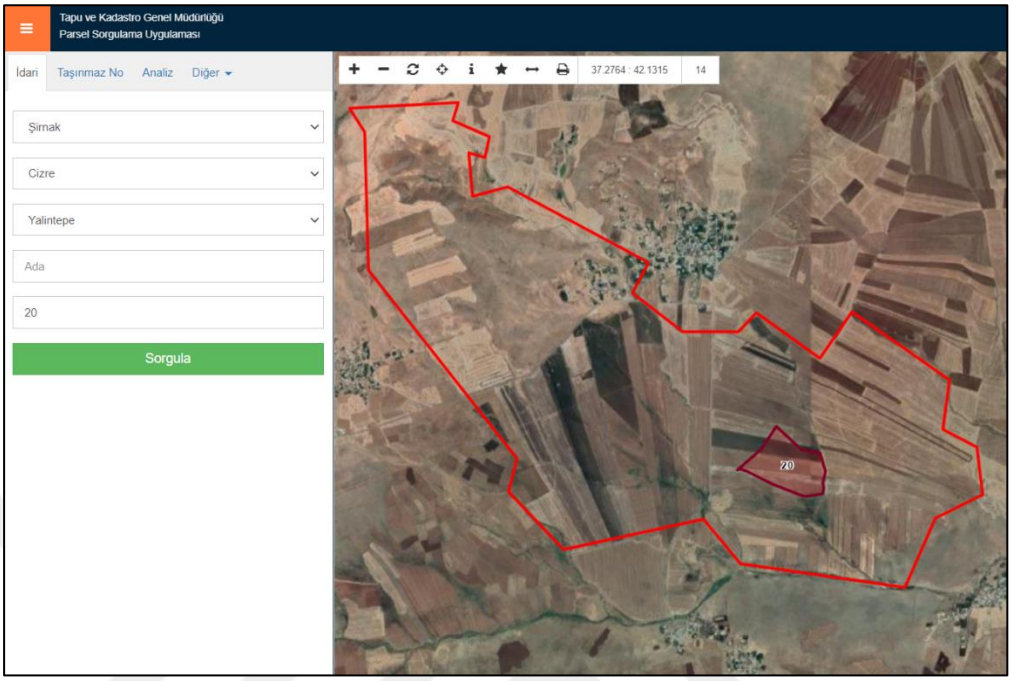
Şekil 3.1.Cizre bölgesine ait enlem ve boylam verileri (PVsyst, 2021)



Şekil 3.2. Cizre bölgesinin lokasyon haritası (Elçi, 2019)

Cizre iklimsel olarak genelde yazları civar ova coğrafyası gibi sıcak ve kurak, kış mevsimleri ise ılık ve yağmurlu bir iklim yapısına sahiptir. Tipik bir Güneydoğu Anadolu Step iklimini yaşamaktadır. Ayrıca Akdeniz Yağış Rejimi de burada hissedilebilmektedir. Cizre'de yıllık ortalama yağış oranı 673 mm'dir. Mutlak nem az ve şiddetli buharlaşma görülmektedir. Dört mevsimin yaşandığı Cizre'de yıllık yağışın çoğunluğu kış aylarında (%53,7) görülür. Yaz döneminde ise kuraklık daha çok belirgindir ve yaz aylarında yağış oranı oldukça düşüktür (%0,8). Cizre bölgesinde yıllık ortalama nisbi nem değerleri %50 civarındadır (Çizelge 3.2.) (DMİ, 2019).

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü parsel sorgulama uygulamasından santralin kurulması tasarlanan yerin tapu bilgileri Şekil 3.3. de görülmektedir.



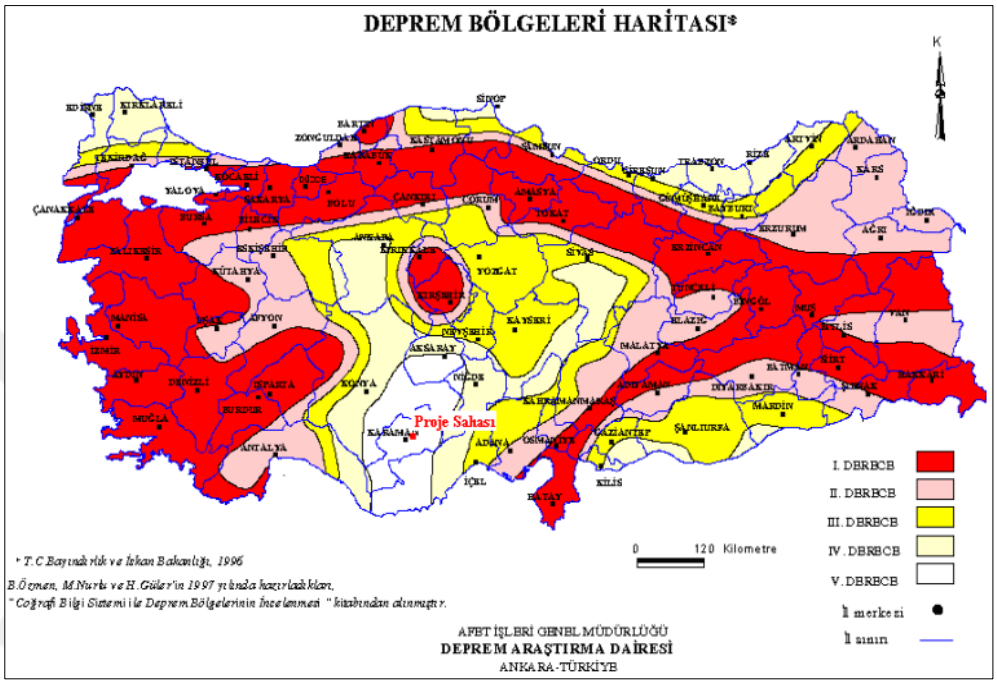
Şekil 3.3.Santral alanı tapu bilgileri (TKGM, 2020)

Cizre istasyonundan 30 yıl boyunca alınan verilerden ortalama yağış değerleri ve nisbi nem yüzdelikleri Çizelge 3.2. deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3. 2. Cizre bölgesine ait nisbi nem (%) ve ortalama yağış (mm) değerleri

İSTASYON	Süre	Yağış	AYLAR												Yıllık
	(Yıl)	N.Nem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
CİZRE Rakım: 400m		mm	112,6	121	108	66	30,2	5	0,4	0,1	1,1	25	69,7	127	673
	30	%	70	66	62	59	47	31	27	28	32	47	63	71	50

Cizre ve çevresi, en önemli deprem fay hatlarından biri olan Güneydoğu Anadolu fay hattı üzerindedir. Cizre'de geçen bu fay Cizre fayı olarak da bilinmektedir. Morfolojik olarak kıvrımlı bir yapıya sahiptir(MTA Enstitüsü, 2012). Cizre, Türkiye'deki deprem istatistiklerine göre ikinci dereceden deprem bölgesinde yer almaktadır (Özmen, 1997).



Şekil 3.4.Türkiye deprem bölgeleri haritası

3.1.3. Santral alanının güneş enerji potansiyeli

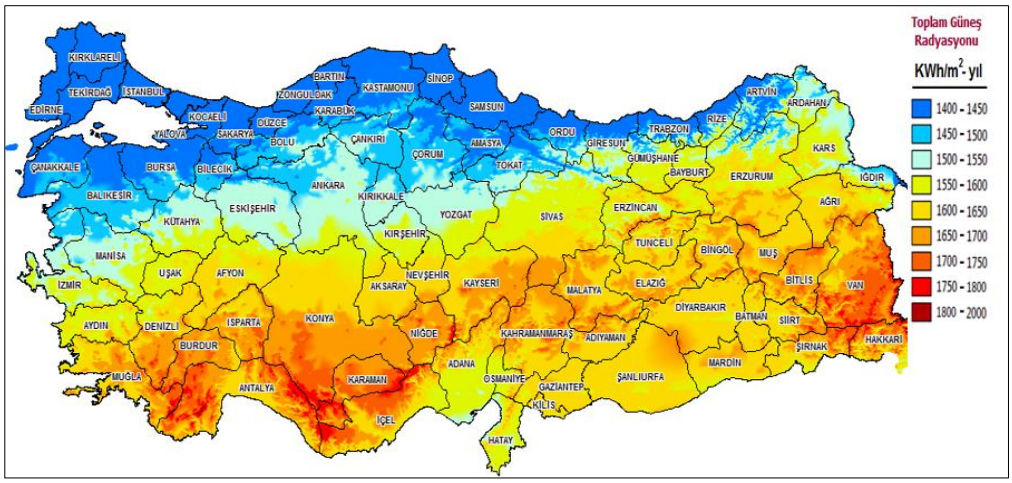
Cizre bölge olarak Türkiye sınırları içinde yüksek güneş radyasyonuna maruz kalan bölgelerin başında gelmektedir. Yazların kurak, bulutsuz olması ve uzun güneşlenme saatleri güneş sistemleri için en ideal durumdur. Ayrıca güneş enerjisi santrali kurulumunda kapasite faktörü önemli bir etkendir. Kapasite faktörünün yüksek olması kurulacak sistemlerden elde edilecek enerji miktarını da artırmaktadır. Kapasite Faktörü (KF), Denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu faktör bize santralin verimlilik değerini gösterecektir. Kapasite faktörü yıllık sağlanan enerji miktarı ile santralin nominal gücü arasındaki ilişkiyi belirler.

$$KF = \frac{\text{Üretilen Enerji Miktarı}}{p_n * 8760} \qquad (3.1.)$$

Burada P_n santralin nominal gücünü ifade eder. Çalışmamızda bu denklem aracılığıyla kapasite faktörü de hesaplanacaktır.

Bir güneş enerjisi santralinin kurulmasından önce yapılacak fizibilite çalışmaları sonucunda ölçüm istasyonlarından elde edilecek güneşlilik verileri ve güneşlenme süresi, santral kurulumu için en önemli verilerin başında gelmektedir. Ölçümlerin birden fazla istasyondan alınması hata payını daha da düşürecektir. Bu yüzden fizibilite çalışmalarında birden fazla istasyondan verilerin alınması sağlıklı sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

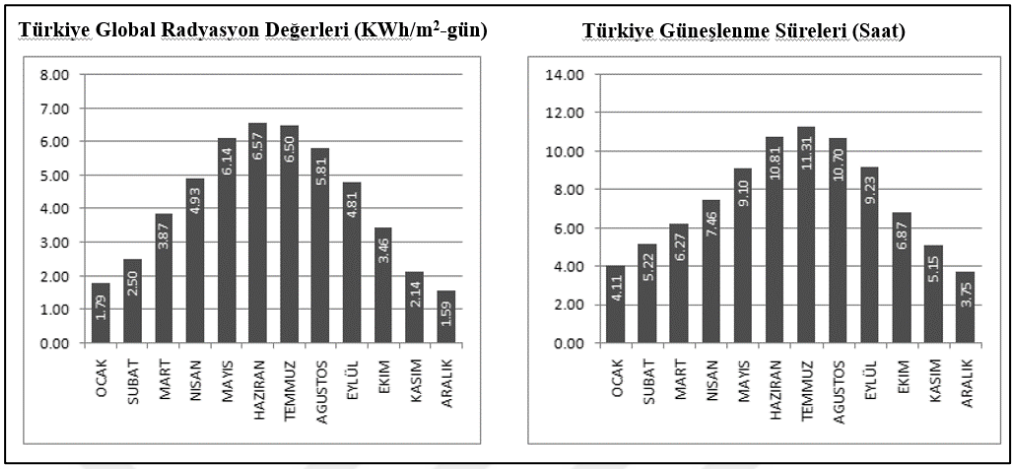
Şekil 3.5.'de de görüldüğü gibi Türkiye güneşlilik haritası Avrupa standartlarının üzerindedir. Türkiye güneş yoğunluğu açısından oldukça zengin bir ülkedir. Şekil 3.5.'deki verilere bakıldığında Türkiye 1.400-2000 KWh/m^2 aralığında güneşlenme potansiyeline sahiptir. Özellikle Güneydoğu ve Doğu Anadolu Bölgesi yüksek oranda güneşlilik ve güneşlenme saatine sahiptir. Bu bölgelerde global radyasyon değerleri 1900 KWh/m^2 değerlerini göstermektedir. Bu da Türkiye ortalamasının çok üstündedir.



Şekil 3.5.Türkiye güneşlilik haritası (Gepa, 2020)

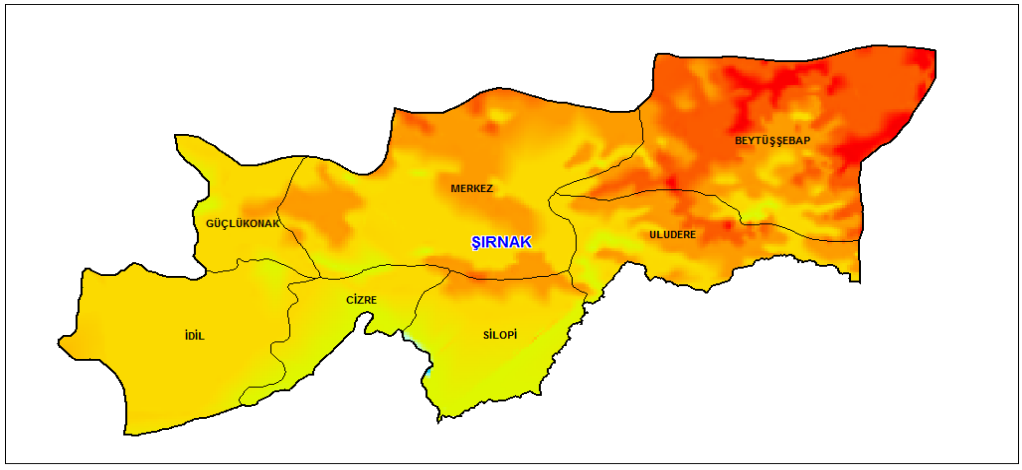
Global radyasyon değerlerinin yanında, güneşlenme süresi de oldukça önemli bir faktördür. Türkiye için güneşlenme süresi oldukça yüksektir. Şekil 3.6.'da aylık ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir. Bu değerlerin gösterdiği üzere güneşlenme

süreleri oldukça yüksektir. Ayrıca yine şekil 3.6.'da güneşlenme sürelerine göre günlük ortalama m^2 başına düşen radyasyon değerleri aylık olarak verilmiştir.

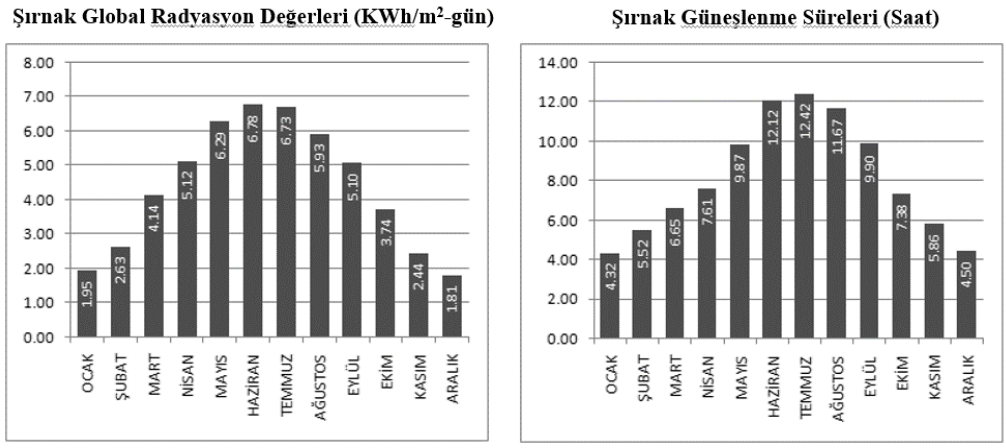


Şekil 3.6.Türkiye global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Gepa, 2020).

Tez çalışmasında incelenecek olan Şırnak iline bağlı Cizre ilçesi için GEPA verileri baz alınarak radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri analiz edildi. Şekil 3.7.'da Şırnak radyasyon haritası mevcuttur. Şırnak bölge olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alsa da aslında Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin geçiş kısmında yer almaktadır. Şırnak merkezinin bir kısmı ve Uludere, Beytüşşebap ilçeleri Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alırken, Cizre, Silopi, Güçlükonak ve İdil Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Şırnak yüksek radyasyon değerlerine sahip bir bölgedir. Global radyasyon değerleri 1600-1900 KWh/m^2-gün arasında değişmektedir. Yüksek oranda radyasyon değerlerinin yanında, güneşlenme süreleri de Türkiye ortalama değerlerinin üstündedir. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi Şırnak ilinin güneşlenme süreleri ve bu sürelere bağlı olarak global radyasyon değerleri verilmiştir.

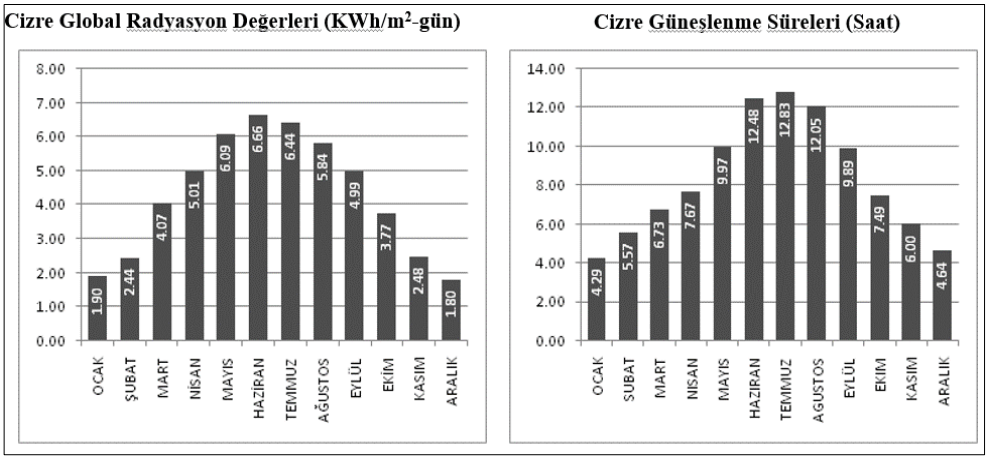


Şekil 3.7. Şırnak İlinin radyasyon değerleri (Gepa, 2020).



Şekil 3.8.Şırnak global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Gepa, 2020).

Şekil 3.7.'deki haritaya göre Güneş Enerjisi Santrali (GES) alanı için belirlenen Cizre, Türkiye'deki en fazla güneş radyasyonuna maruz kalan bölgelerden biridir. Şekil 3.9.'da belirtilen güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şırnak ortalamasının biraz üstündedir. Türkiye'deki ortalama değerlerin de üzerinde olan bu veriler kurulacak GES için ideal verilerdir. PVGIS veri tabanı üzerinden Cizre ilçesi için alınan aylık ve yıllık radyasyon değerleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir. Cizre bölgesinde yıllık ortalama 1861,1 KWh/m^2 gibi yüksek bir oranda güneş ışınları yeryüzüne düşmektedir.



Şekil 3.9.Cizre için radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri (Gepa, 2020).

Çizelge 3. 3. Cizre aylık ve yıllık radyasyon değerleri (KWh/m^2) (Gepa, 2020).

Ay	Global Radyasyon
Ocak	57,1
Şubat	92,6
Mart	136,0
Nisan	176,2
Mayıs	214,2
Haziran	226,0
Temmuz	255,7
Ağustos	227,2
Eylül	187,7
Ekim	131,3
Kasım	83,3
Aralık	73,9
Yıllık	**1861,1**

3.2. Yöntem

3.2.1. Santral alanında kurulacak tesis

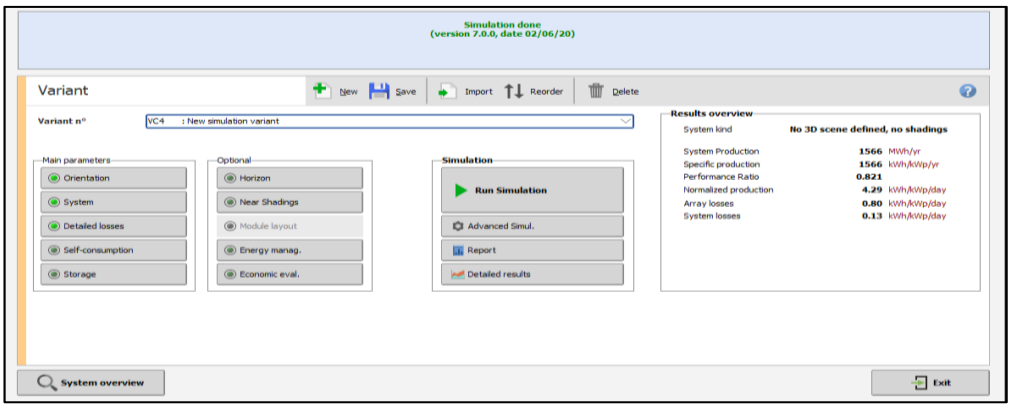
Bu çalışmanın amacı doğrultusunda Cizre bölgesinde kurulması tasarlanan 1 MW güç kapasiteli bir Güneş Enerjisi Santralinin (GES) enerji üretim değerlendirmesi yapılacaktır. Bu hesaplamalar yapılırken, dünyada yaygın olarak kullanılan PVsyst yazılımı kullanılıp enerji hesaplaması yapılacaktır. PVsyst yazılımına ek olarak meteorolojik veriler PVGIS programı aracılığıyla elde edilip kullanılacaktır. Bunun dışında panel taşıyıcı sistemi için statik ve dinamik yük analizleri ve gerekli tahkikler yapılacaktır. Bu analizler için bir inşaat mühendisliği programı olan SAP2000 kullanılacaktır.

3.2.2. PVsyst

Pvsyst ilk olarak Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen bir simülasyon ve modelleme sistemidir. 1992 yılında fotovoltaik sistemlerin incelenmesi ve simülasyonu için PVsyst yazılımını geliştirilmeye başlandı. Bu program sayesinde simülasyon, analiz ve boyutlandırma gibi işlemler yapılabilmektedir. Bu program mimarların, mühendislerin ve araştırmacıların kullanması için dizayn edilmiştir. Bu programda, yapılacak olan proje ile ilgili bütün bir sistemi analiz edebilecek kapasite bulunmaktadır.

Bu program sayesinde kurulacak olan güneş enerji sisteminin şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız bütün bir tasarımı yapılabilir. Bu tasarımın güneşin geliş açısı, gölgeleme ve güneşlenme süreleri de hesaplanarak sistemin veri analizi yapılabilir. PVsyst simülasyon programının kütüphanesinde bölgenin kirlilik oranları, yerin yansıma değerleri, meteorolojik datalar, güneş ışınım değerleri, (Albedo), gölgelenme analiz değerleri, güneş panel özellikleri, yönleri ve açıları, yerleşim planları, şebeke özellikleri, bağlantı nokta sayısı, evirici özellikleri, kablo ölçüleri gibi özellikler yer almaktadır (PVsyst, 2020).

Yapılacak bu çalışma kapsamında PVsyst programı aracılığıyla birden fazla grup çalışması gerçekleştirilecek ve elde edilecek veriler sonucunda ekonomik-verimlilik açısından en uygun sistem gösterilecektir.



Şekil 3.10. PVsyst programının önyüz şekli

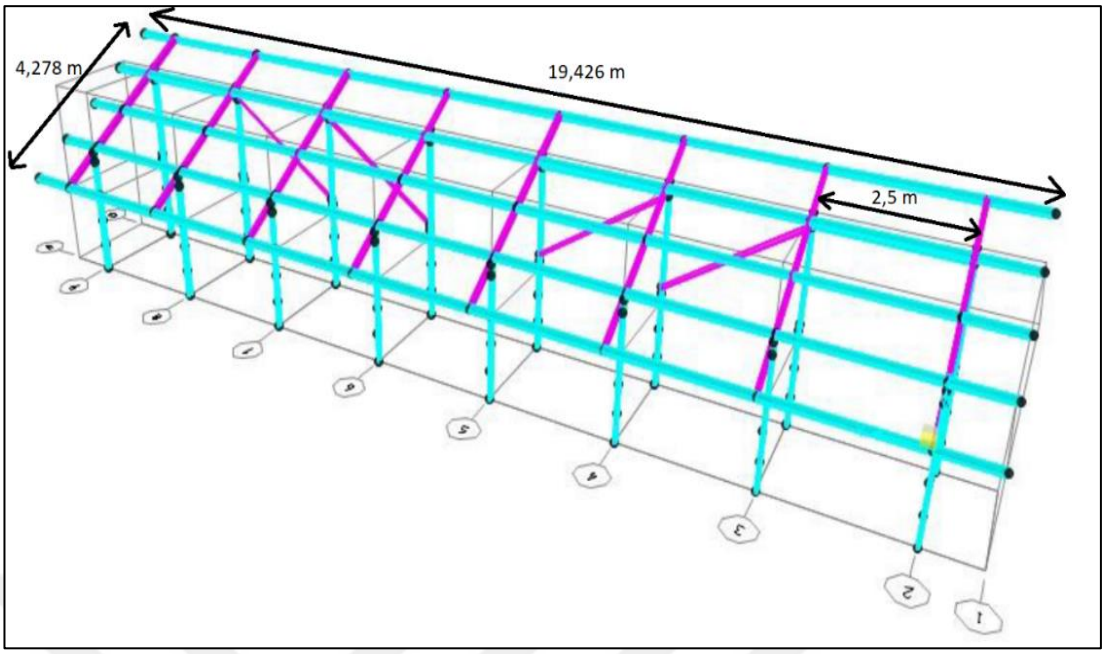
3.2.3. SAP2000

Yapısal analiz programı anlamına gelen “Structural Analysis Program” ın kısaltılmasıyla elde edilen SAP2000, birçok yapı sisteminin analiz ve tasarımı için kullanılan bir mühendislik programıdır. SAP2000 ile iki boyutlu, üç boyutlu, basit geometri, kompleks geometri olmak üzere bir çok yapı sistemi modellenebilir, analizi çıkartılabilir ve optimize edilebilir. Modelleme ortamı nesne tabanlı olduğu için mühendislik süreçlerini hızlandırır. Bu program ile rahatlıkla yapının doğrusal olmayan ve dinamik analizleri yapılabilir. Dinamik analizlerinin yapılması sayesinde tasarımın sağlamlığı ve dayanıklılığı da test edilmiş olur.

3.2.4. Yapı bilgileri

Yapılacak olan güneş enerji santrali çelik konstrüksiyon projesi birbirinden bağımsız çerçeve sistemlerinden oluşmaktadır. Çalışma prensibi olarak ankastre sistem diye nitelendirebileceğimiz bu yapı çerçeve taşıyıcılar üzerindeki panelleri ve diğer etkileri karşılayacak şekilde tasarlanmış elemanlardan oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 30 derece olarak ayarlanmış üst kiriş taşıyıcılar güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanabilecek ve olumsuz kış şartlarında kar yükünü bertaraf edebilecek fonksiyonlara sahiptir. Aks mesafesi 2 m, kolon yüksekliği 2,062 m'dir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi kiriş uzunluğu 4,278 m, aşık boyu 19,426 m ve aşıklar için aks mesafesi 2,5 m'dir. Cizre merkez rakımı ortalama 400 m'dir.

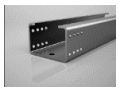
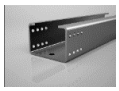
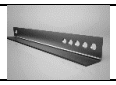
Bir sehpada toplam 48 adet panel bulunmaktadır. Panellerin enerji üretim kapasitesine bağlı olarak 1 MW’lık santral için yaklaşık 3240 panel gerekmektedir. Bu da 68 bağımsız sehpa demektir. Konstrüksiyon birbirinden bağımsız olduğu için her birinin statik ve dinamik tasarımı kendi içinde olacaktır.



Şekil 3.11. Sistem 3D görünüşü

Taşıyıcı sistem tasarım ve imalatı için kullanılacak profillere ait bilgiler Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Yapıda C, OMG ve L profilleri kullanılacaktır. Bu profillere ait kesit detayları Çizelge 3.4.'de profil detayları sütununda sıralanmıştır.

Çizelge 3. 4. Konsrüksiyon profil detayları

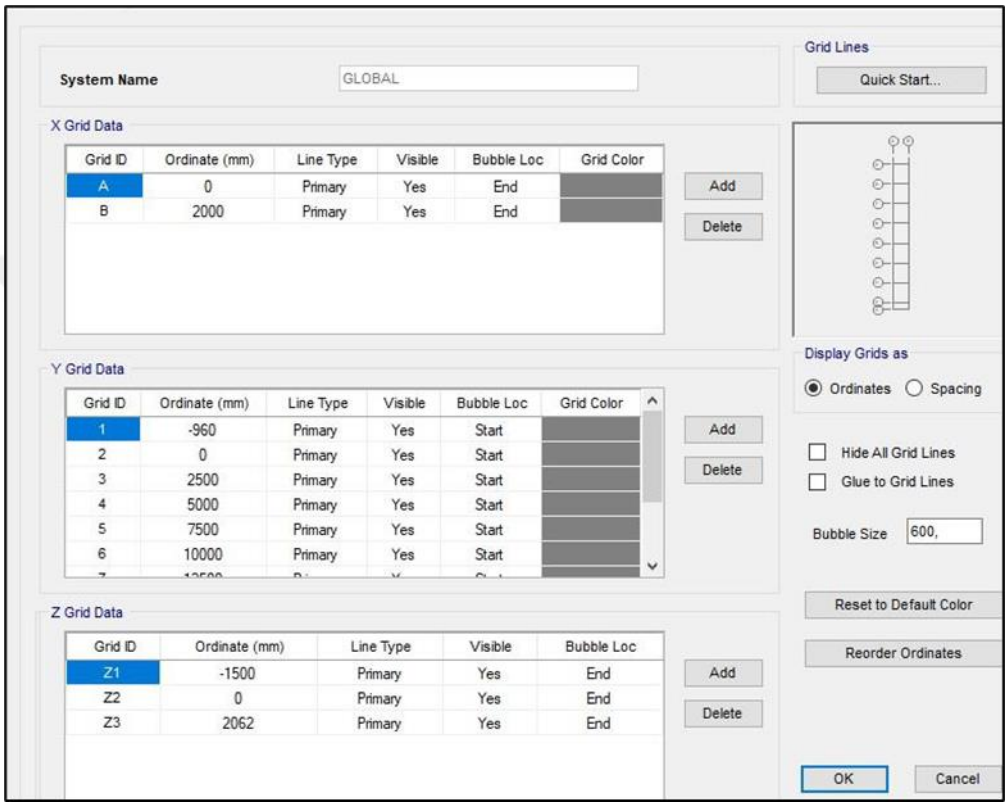
Yapı Elemanı	Profil	Görsel
Kolonlar	C100x50x20x4	
Makaslar	C100x50x20x2	
Aşıklar	OMG 65x65x25x2	
Dik Çapraz	L60x3	
Stabilite	L50x3	

Yapı modellemesi, yönetmelikler ve jeoloji raporu esas alınıp Çizelge 3.5.'deki tasarım parametreleri elde edilmiştir. Türkiye deprem haritasından deprem bölgesi belirlenmiştir. Zemin parametreleri jeoloji raporundan elde edilmiştir. Konstrüksiyonda kullanılan malzeme cinsi de Çizelge 3.5.'de gösterilmiştir. Yapı çatı eğimi ise Pvsyst uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 3. 5. Tasarım parametreleri

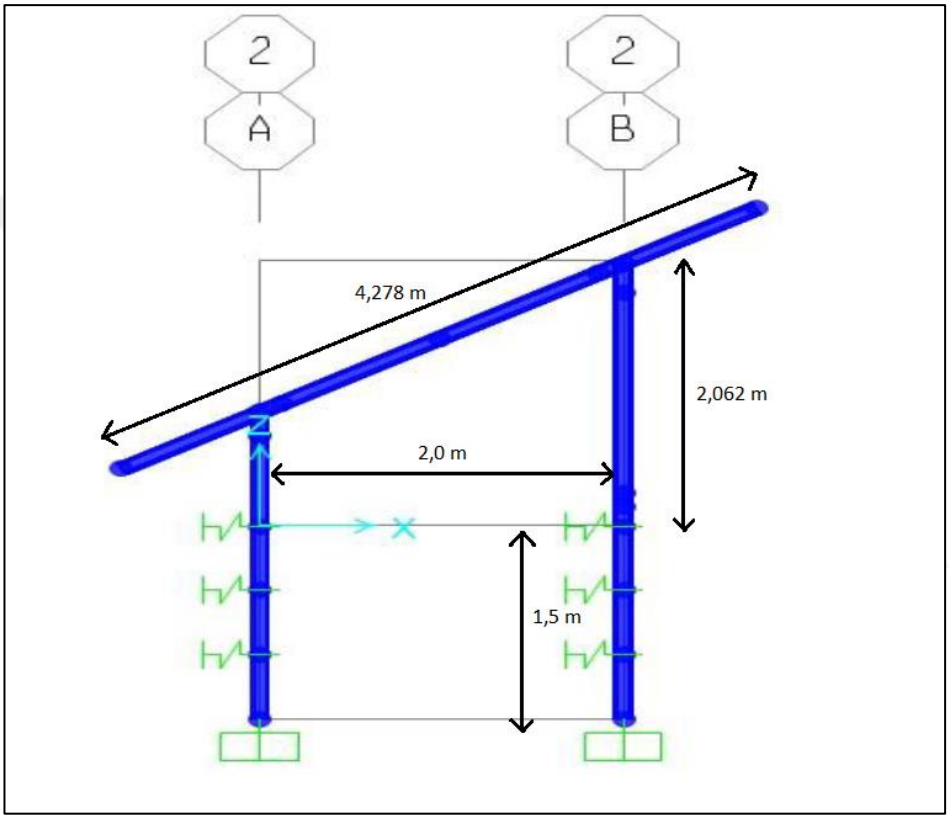
Tasarım Parametresi	**Değer**
Deprem Bölgesi	2.
Etkin Yer İvme Katsayısı (A0)	0,3
Çelik Konstrüksiyon Yapı Önem Katsayısı (I)	1,5
Spektrum İçin Karakteristik Periyod (Ta[sn])	0,15
Spektrum İçin Karakteristik Periyod (Tb[sn])	0,4
Yapının Bulunduğu Mevkinin Zemin Sınıfı (Z)	Z2
Yapının Bulunduğu Mevkinin Zemin Grubu	B
Süneklik Düzeyi Katsayısı (Rx)	4
Süneklik Düzeyi Katsayısı (Ry)	4
Zemin Emniyet Gerilmesi [kg/cm2]	1,7
Zemin Yatak Katsayısı [t/m3]	2000
Kohezyon [kg/cm^2]	0,256
Doğal Birim Hacim Ağırlığı [t/m^3]	1,56
Kayma Modülü [kg/cm^2]	-
İçsel Sürtünme Açısı [◦]	30
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0,3
Çelik Sınıfı	S235
Alüminyum Sınıfı	T6063
Betonarme Sınıfı	-
Sıcaklık Yüklemesi	68
Çatı Eğimi	30

Sistemi iyi tanımlayabilmemiz için aks bilgilerini doğru girmemiz gerekmektedir. Şekil 3.12.'de sisteme aks bilgilerinin girişi görülmektedir. Bütün yapı elemanlarının X,Y ve Z yününde lokasyonlarını gösterecek şekilde aks mesafesi seçilir. Akslar arası ölçü girilince sistemdeki bütün kolon, makas, aşık, dik çapraz ve stabilite elemanlarının ara mesafeleri dikkate alınmalıdır.



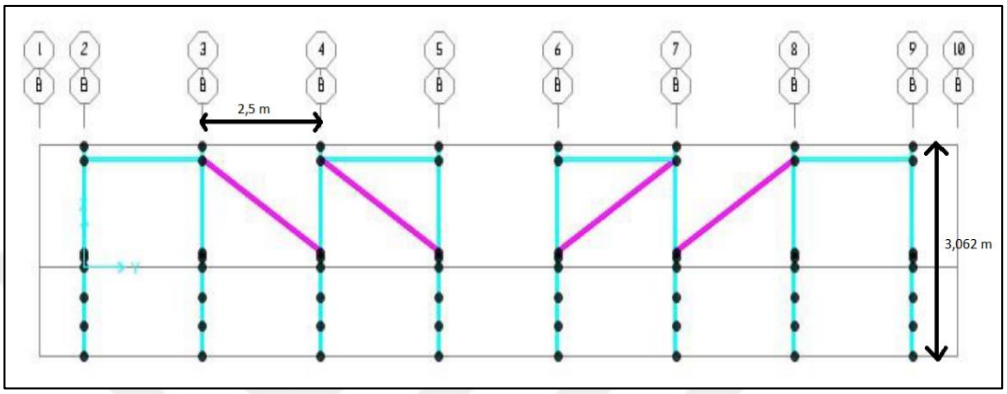
Şekil 3.12. Sistem aks bilgileri.

Sistemin XZ aksı görünüşü Şekil 3.13.'de görülmektedir. XZ Aks görünüş detayında kolon ve makas elemanlarının detay ve ölçüleri mevcuttur. Kolonlar arası ara mesafe 2 m, kolonun gömülü kısmı 1,5 m ve açık kısmı 2,062 m olarak belirlenmiştir. Makas uzunluğu da 4,278 m olarak girilmiştir. Sistem zemine kolonun yere gömülmesi ile sabitlenmiştir. Toprak her bir kolona 3 noktada (spring) etkitilmiştir.



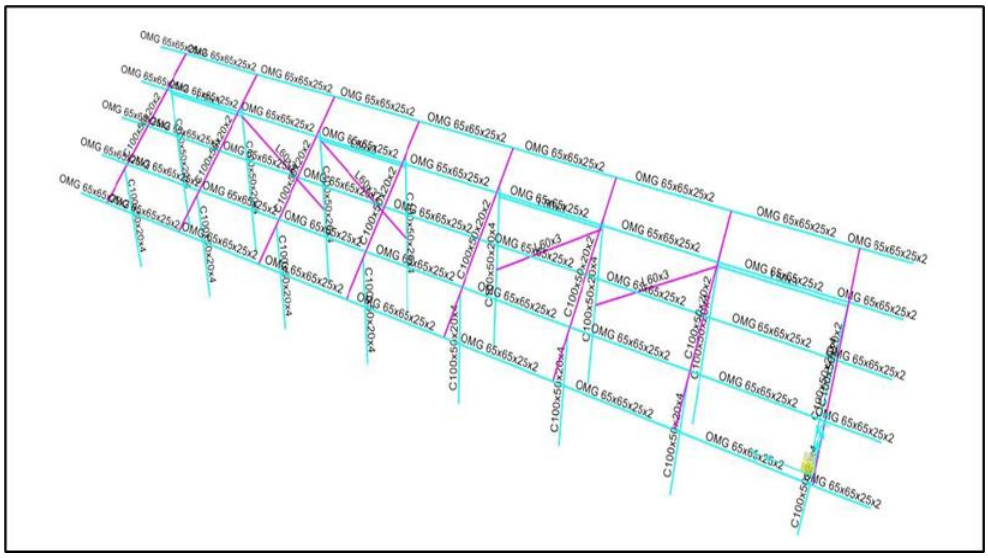
Şekil 3.13. Sistem XZ aksı görünüşü.

Sistemin YZ aksı görünüşü Şekil 3.14.'de görülmektedir. Y düzleminde kolonların ara mesafesi 2,5 m olarak belirlenmiştir. Z düzleminde ise en dip spring noktası ile kolon tepe noktası arası mesafe 3,062 m olarak ölçülmüştür. Görünüşte çapraz elemanlar diyagonal olarak çizilmiştir. 1 ve 10 nolu akslar aşık elemanlarının bitim noktalarını ifade etmektedir.



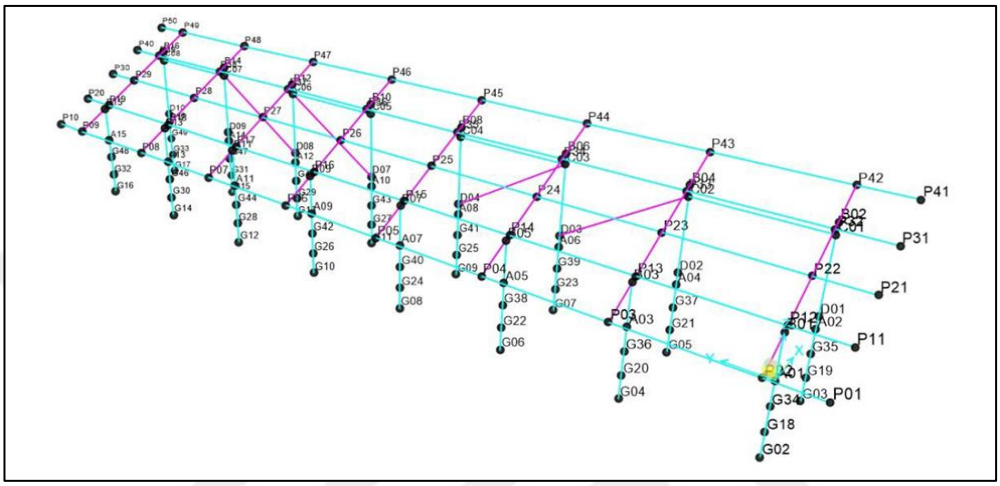
Şekil 3.14. Sistem YZ aksı görünüşü.

Sistemde C, OMG ve L profilleri kullanılmıştır. Fakat bu profiller Şekil 3.15. de görüldüğü üzere farklı kesit alanları ile kullanılmıştır. C100x50x20x4 kolon, C100x50x20x2 makas, OMG65x65x25x2 aşık, L60x3 dik çapraz, L50x3 stabilite olarak kullanılmıştır. Toplamda 2 tip C, 2 tip L ve 1 tip OMG profil vardır.



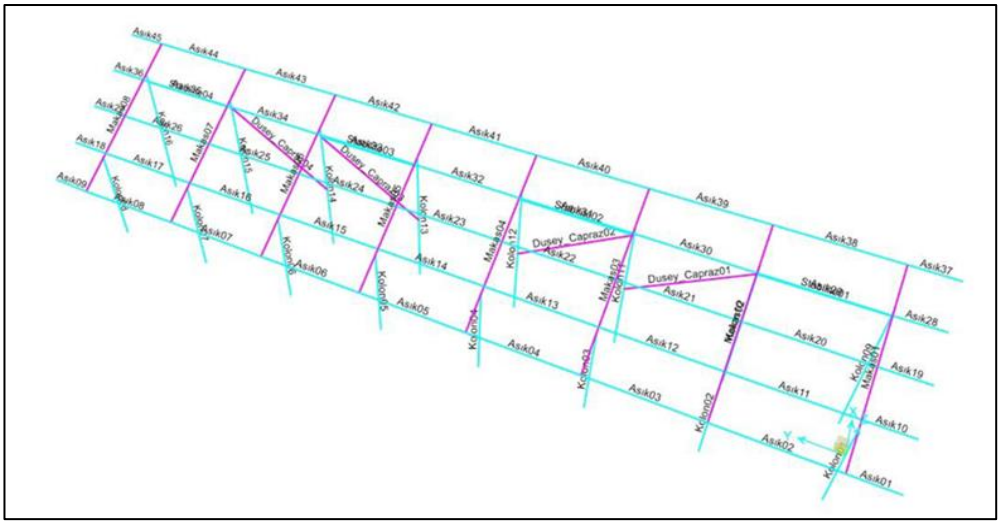
Şekil 3.15. 3D eleman kesitlerinin görünümü

Sistem analizi yapılırken düğüm noktalarının iyi tanımlanmış olmasına dikkat edilir. Kolon, makas, aşık, çapraz ve stabilite elemanlarının birleşim noktaları sisteme düğüm noktası olarak girilir. Şekil 3.16.'da sistemdeki tüm düğüm noktaları görülmektedir. Kolonun 1,5 m'lik kısmı toprak altında gömülüdür. Her bir kolon elemanı için toprak itkisinin 3 noktasal bölgeye etkidiği varsayılır.



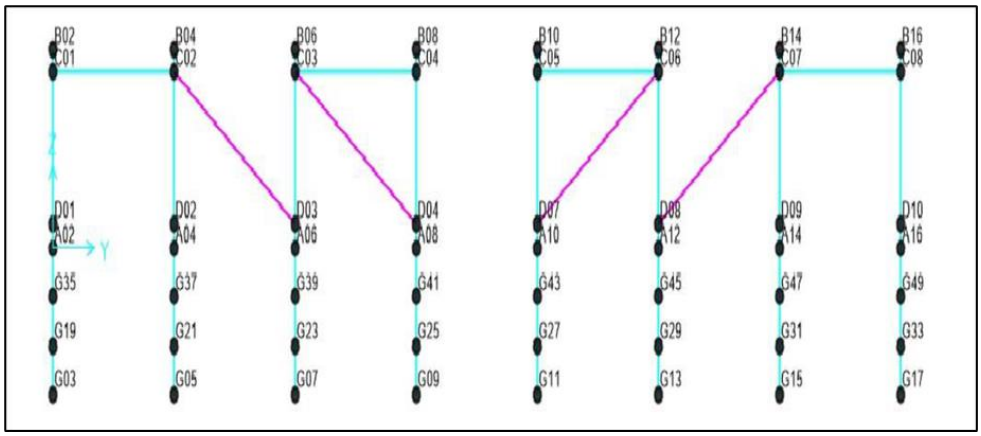
Şekil 3.16. 3D eleman düğüm noktası numaralarının görünümü

Sistemin bütün yapı elemanlarının çubuk numaralarının 3D görünümü Şekil 3.17.'de görünmektedir. Toplam 45 aşık, 16 kolon, 4 çapraz, 8 makas ve 4 stabilite bulunmaktadır.



Şekil 3.17. 3D eleman çubuk numaralarının görünümü

YZ aksı eleman ve düğüm noktası numaralarının görünümünü Şekil 3.18.'de görülmektedir.



Şekil 3.18. YZ Aksı Eleman ve Düğüm Noktası Numaralarının Görünümü

3.2.5. Yük analizi

Yapı, servis ömrü süresinde birçok statik ve dinamik yüke maruz kalacaktır. Sistem, bu yükler karşısında doğacak iç etkileri taşımak zorundadır. Yapı sabit ve hareketli yükler etki etmektedir. Yapı bilgileri ve çalışma alanı dikkate alınarak bu yük değerleri tespit edilip sisteme uygulanmıştır.

3.2.6. Sabit yükler

Yapıda taşıyıcı olan ve olmayan, ağırlığı zamanla değişmeyen elemanlar güneş paneli ve bağlantı elemanlarıdır. Onun için bu iki eleman sabit yük olarak kabul edilmiştir. Güneş paneli ve bağlantı elemanları (plakalar, cıvatalar) ağırlıkları toplamı 11,9 kg/m² dir.

3.2.7. Hareketli yükler

Hareketli yükler, sabit olmayıp etkime durumları ve konumları zamanla değişen yükler şeklinde tanımlanır. Bunlardan en önemlisi yapının fonksiyonundan dolayı taşıması gereken yüktür. Değişik şekillerde ortaya çıkabilirse de, belirlenmesindeki belirsizlikten dolayı genellikle düzgün yayılı olarak kabul edilir. Taşıyıcı elemanlardaki en büyük kesit etkilerinin hesabı için, hareketli yüklerin en elverişsiz durumları gözönüne alınır. Hareketli yük olarak TS-498 (Yapı

Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Hesap Yükleri)'e bakıldığında döşeme yükü öngörülmeyip bu yükler kar yüklerinin içerisinde düşünerek tek bir çatı altında sisteme etki ettirilmiştir (Celep, 2011).

3.2.8. Kar yükü

Santral Şırnak İli'nin Cizre İlçesi mevkiinde olup TS-498'e göre 2. derece zati kar yükü bölgesinde bulunmaktadır; yapının denizden yüksekliği 400 m'dir. Buna göre zati kar yükü 96 kg/ m² olarak belirlenmiştir. Kar yükü hareketli yük olarak esas alınır. Meteorolojik ve coğrafi etkenlere bağlı olarak değişkenlik görterir. Çatı şekline bağlı olarak kar yükü hesap değeri ve kar yükü arasında bir korelasyon vardır. Eğimi 30°'ye kadar olan çatı tipi yapılarda kar yükü hesap değeri, kar yüküne eşit kabul edilir (TS-498, 1997).

3.2.9. Rüzgar yükleri

Yapının cinsine göre C katsayısı 1 alınmıştır. Yapının yüksekliğine göre aşağıdaki değerler bulunmuştur. TS 498'e göre yapı yüksekliği 0m-8m arasında olan sistemlerde rüzgar yükü q=50 kg/m² 'dir (TS-498).

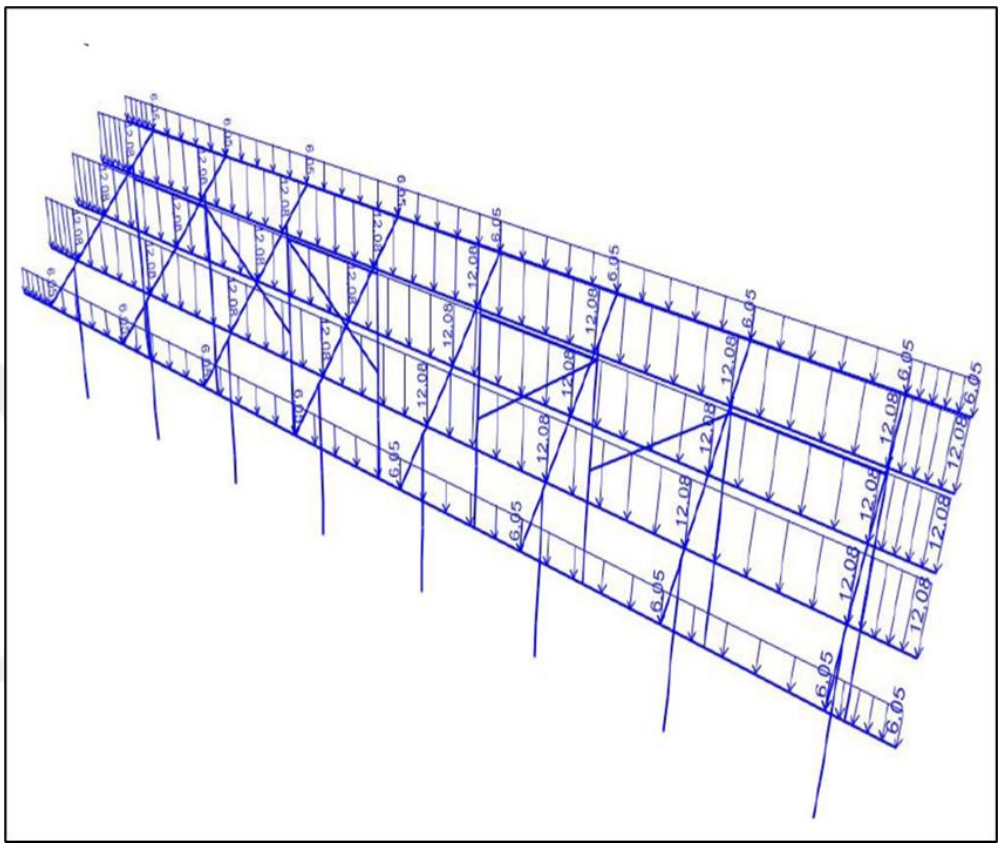
3.2.10. Yüklerin etki hesabı

Yüklerin değerleri tespit edildikten sonra ilgili standartlara göre Çizelge 3.6. ’daki gibi etki ettirilir.

Çizelge 3. 6. Yüklerin etki hesabı

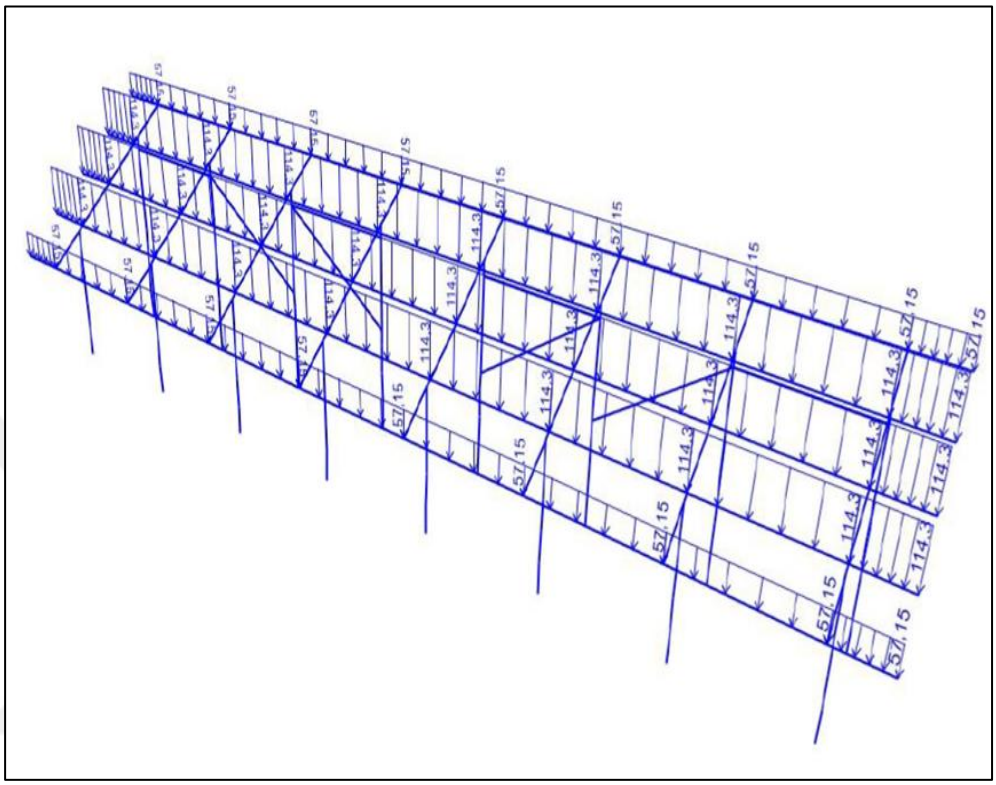
Kaplama yükü	11,4 kg/m²	Orta aşık mesafe	1,01 m
Kar yükü	96 kg/m²	Yan aşık mesafe	0,505 m
Rüzgar yükü	50 kg/m²	Aşık aks mesafesi	2,500 m
Çatı eğimi	25	X yönü kolon yüzey	0,040 m
Sin(a)	0,423	Y yönü kolon yüzey	0,100 m
Cos(a)	0,906	İlave saçak	0,790 m
Kolon yüksekliği	1,960 m		
+ Wx	(1,2 Sin (a)-0,4)*q	5,36 kg/m²	
- Wx	0,4 q	20 kg/m²	
+ Wx kolon etkisi	1,2 q	60 kg/m²	
- Wx kolon etkisi	1,2 q	60 kg/m²	
+ Wy kolon etkisi	1,2 q	60 kg/m²	
- Wy kolon etkisi	1,2 q	60 kg/m²	
Orta aşıklar kaplama yükü	11,37 * 1,01	11,48 kg/m	
Kenar aşıklar kaplama yükü	11,37 * 0,505	5,74 kg/m	
Orta aşıklar kar yükü	96 * 1,01 * Cos (a)	87,88 kg/m	
Kenar aşıklar kar yükü	96 * 0,505 * Cos (a)	43,94 kg/m	
Orta aşıklar +Wx	5,36 * 1,01	5,41 kg/m	
Kenar aşıklar +Wx	5,36 * 0,505	2,71 kg/m	
Orta aşıklar -Wx	5,36 * 2,5	20,2 kg/m	
Kenar aşıklar -Wx	5,36 * 0,04	10,1 kg/m	
Kolon yüzü +Wx	60 * 0,04	2,4 kg/m	
Kolon yüzü -Wx	60 * 0,04	2,4 kg/m	
Kolon yüzü +Wy	60 * 0,1	6 kg/m	
Kolon yüzü -Wy	60 * 0,1	6 kg/m	

Panel elemanların ağırlıkları zamanla değişmediği için sabit yük olarak kabul edilir. Güneş paneli ve bağlantı elemanlarının ortalama ağırlığı 11,9 kg/m² alınmıştır. Bu yükleme sisteme Şekil 3.19.'daki gibi etki etmektedir. Kenar aşıkta 6,06 kg/m², orta aşıkta da 12,08 kg/m² yükleri oluşmaktadır.



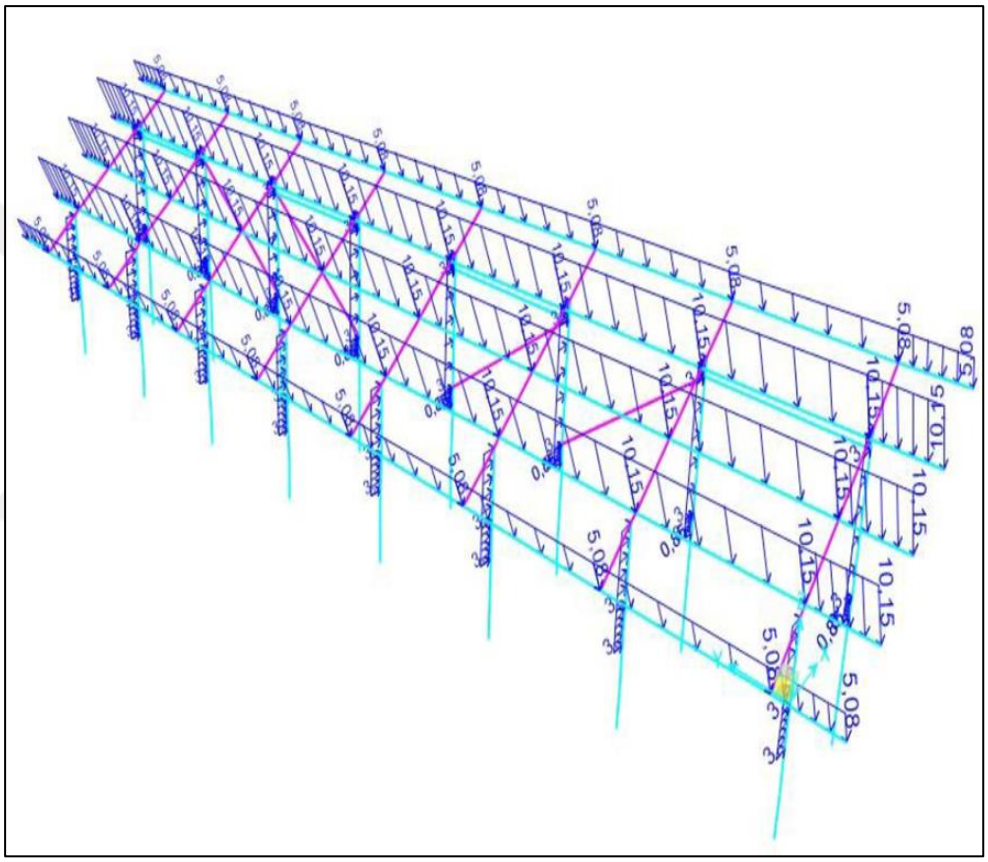
Şekil 3. 19. Panel yüklemesi. değerler kg/m'dir

TS-498'e göre seçilen bölgeye ait kar yükü değerleri sisteme girildiğinde Şekil 3.20.'de gösterilen yük dağılımı oluşmaktadır. Kenar aşıkta 57,15 kg/m, orta aşıkta da 114,3 kg/m yük oluşmaktadır.



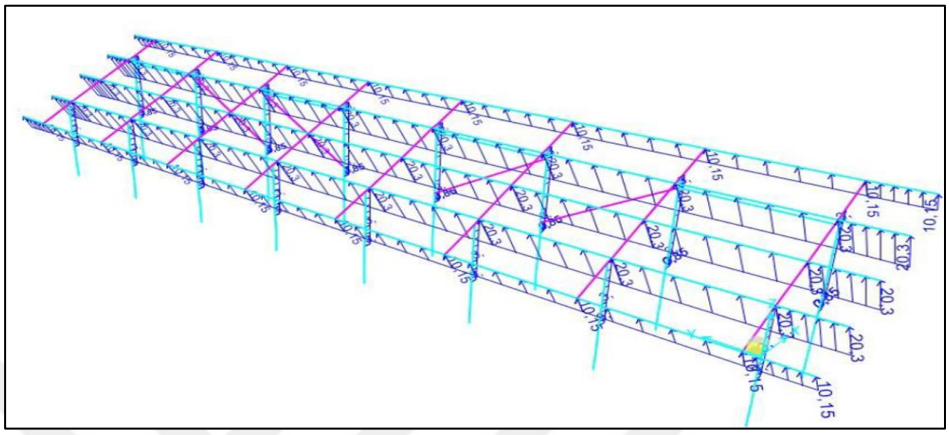
Şekil 3. 20. Kar yüklemesi değerler kg/m'dir

Rüzgar yükü, yapının yüksekliğine ve geometrisine göre değişir. Emme veya basınç olarak yük uygulayabilir. Etkime alanına dik ve yayılı yük olarak etki ettiği kabul edilir. Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi +X yönündeki en yüksek rüzgar yüklemesi orta aşıklarda 10,15 kg/m, en düşük rüzgar yüklemesi ise 5,08 kg/m olarak kenar aşıklarda oluşmaktadır.



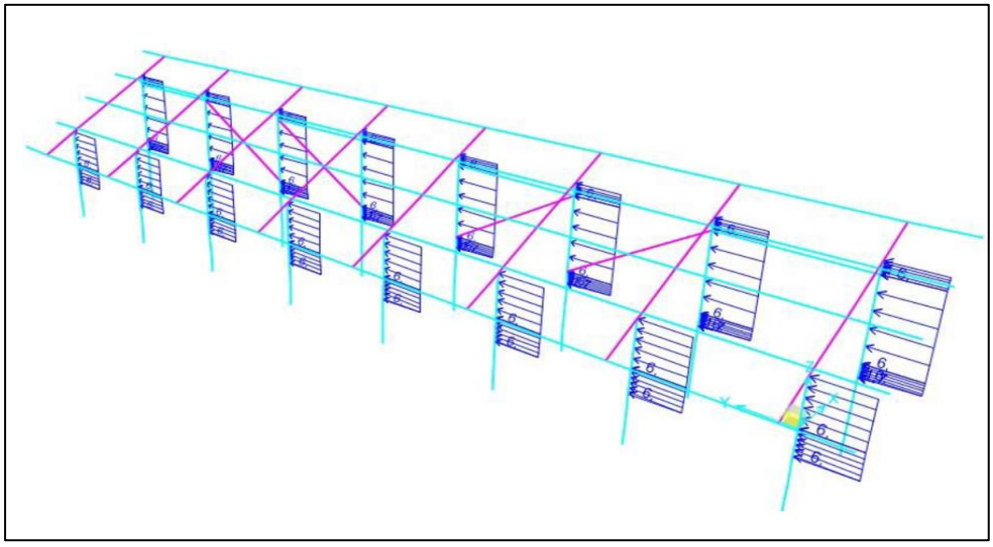
Şekil 3. 21. Rüzgar Yüklemesi (+X). Değerler kg/m'dir.

Rüzgar basıncı yapının zeminden yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. TS498'e göre sisteme etkiyen rüzgar basıncı seçildi. Şekil 3.22.'de –X yönündeki en yüksek rüzgar yükü 20,3 kg/m olarak orta aşıklarda görülmektedir. –X yönündeki en düşük rüzgar yükü ise 10,15 kg/m olarak kenar aşıklarda görülmektedir.



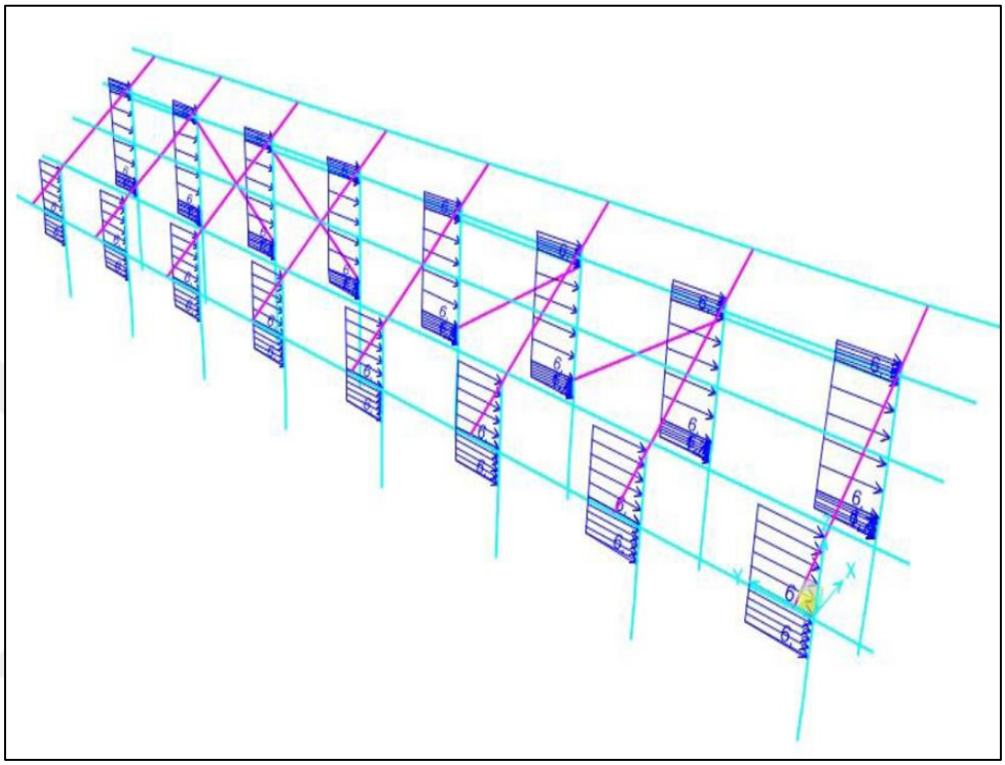
Şekil 3. 22. Rüzgar Yüklemesi (-X). Değerler kg/m'dir.

Sistemin kapalı olmadığı için açık çatı davranışı göstermektedir. Şekil 3.23.'de +Y yönündeki rüzgar yükleri görünmektedir. Tüm kolonlara eşit bir şekilde ve 6 kg/m kuvvet etki etmektedir.



Şekil 3. 23. Rüzgar yüklemesi (+Y). Değerler kg/m'dir

Rüzgar yönü sabit olmadığı için ve sürekli yön değiştirebildiği için sisteme her yönden rüzgarın etkiyebileceği varsayılmalıdır. Bundan dolayı +Y yönünde olduğu gibi Şekil 3.24'de görüldüğü üzere sisteme –Y yönünde de 6 kg/m kuvvet etki etmektedir.



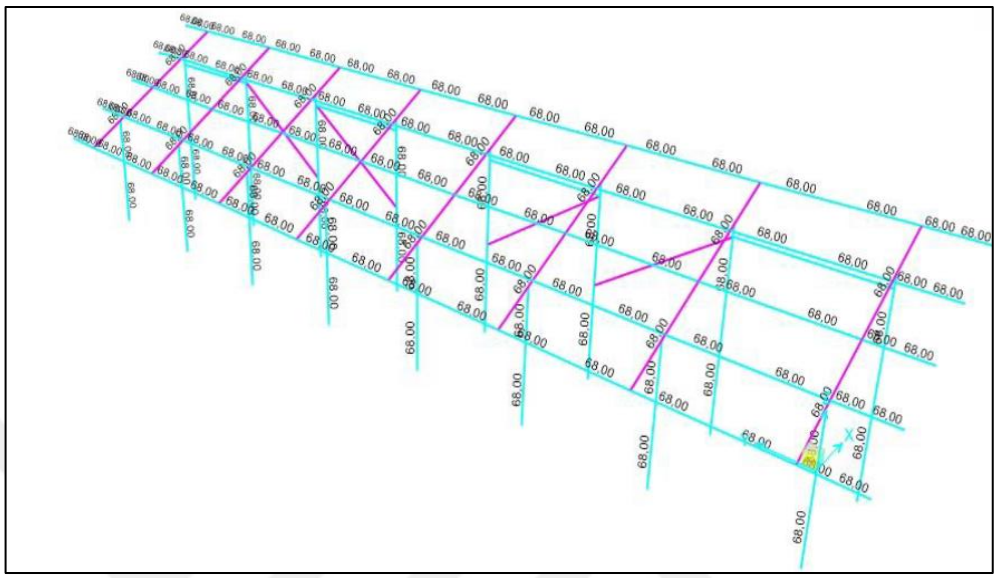
Şekil 3. 24. Rüzgar Yüklemesi (-Y). Değerler kg/m'dir

Kazık hesabı zemin ve kazık malzemesine bağlı olarak değişir. Bunun için öncelikle kazık uç mukavemeti ve kazık çevre sürtünmesinin hesaplanması gerekmektedir. Maksimum mesnet tepkisi, kazık uç alanı, kohezyon, içsel sürtünme açısı, Zemin birim hacim ağırlığı, kazık uzun ölçü, kazık çevresi, kazık toplam boy, kazık gömme boyu, kazık yüzey alanı, ağırlığı kullanılarak kazık toplam taşıma gücü, kazık uç direnci, kazık çevresinde oluşan sürtünme direnci ve zeminden sıyrılmaya karşı koyan kuvvet hesaplanacaktır. Sisteme etkitilecek toprak yay etkisini bulmak için Çizelge 3.7 'deki parametreler kullanılacaktır.

Çizelge 3. 7. Toprak etkisi tanımları

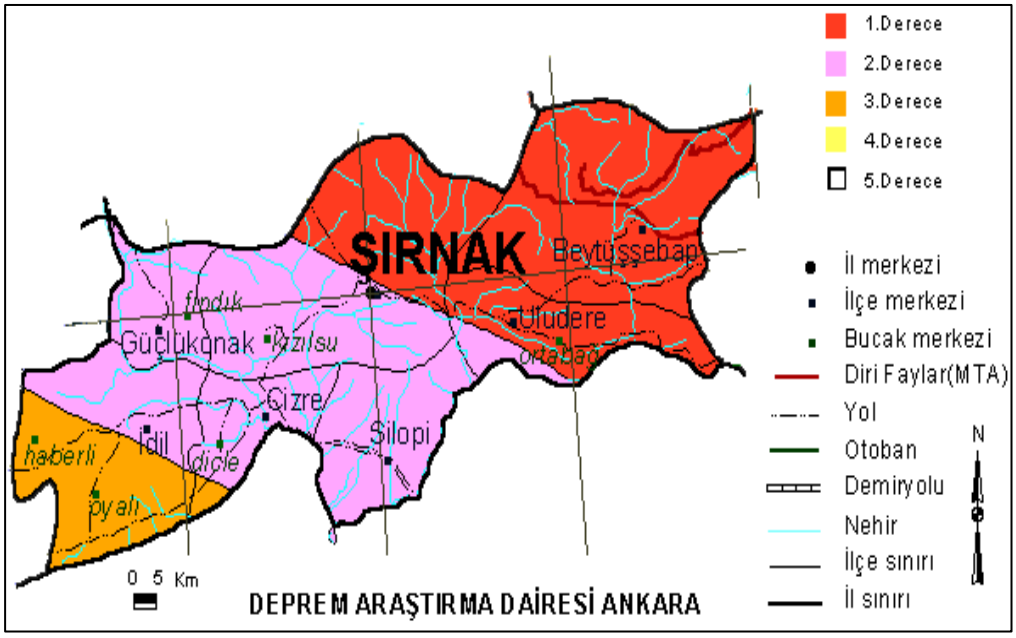
Zemin yatak katsayısı	2000 t/m³
Kolon gömü boyu	1,5 m
Spring adedi	3
Etkili yüzey boyu (EL)	0,50 m
X yönü yüzey	0,05 m
Y yönü yüzey	0,10 m
$f(x) = \frac{k}{3} * EL * x$	16,67 t/m
$f(y) = \frac{k}{3} * EL * y$	33,33 t/m

Sıcaklık arttıkça metallerde elastisite modülünde ve akma mukavemetinde önemli azalmalar oluşur. Bundan dolayı sıcaklık etkisi dikkate alınıp tahkik edilmiştir. Şekil 3.25.'de sıcaklık etkisinin çubuklar üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 3. 25. Sıcaklık etkisi

Türkiye deprem haritasına göre Şekil 3.26'da da görüldüğü üzere Cizre 2. dereceden deprem bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 3. 26. Şırnak ili deprem haritası

TS-498 standardına göre yapıya etki eden yüklerin yükleme durumları Çizelge 3.8.'de verilmiştir. Buna göre sisteme ölü yükler, hareketli yükler, sıcaklık etkisi ile oluşan yükler, rüzgar yükleri ve deprem yükleri etki edecektir.

Çizelge 3. 8. Statik ve dinamik yük tanımları

G	Ölü yükler
Q	Hareketli yükler
T	Sıcaklık etkisiyle oluşan yükler
Wx	X yönü rüzgar yüklemesi
Wy	Y yönü rüzgar yüklemesi
Ex	X yönü deprem etkisi
Ey	Y yönü deprem etkisi

Bu yüklerin TS-498'e göre yük kombinasyonları Çizelge 3.9.'daki gibi hesaplanacaktır.

Çizelge 3. 9. Yük kombinasyonları

Sıra No	Kombinasyon Tanımı
1	G
2	G+Q
3	G+T
4	G+Q+T
5	G+Q+Wx
6	G+Q+Wy
7	G+Q-Wx
8	G+Q-Wy
9	0,9G+Q+Wx
10	0,9G+Q+Wy
11	0,9G+Q-Wx
12	0,9G+Q-Wy
13	G+Q+Ex+0,3Ey
14	G+Q+Ex-0,3Ey
15	G+Q-Ex+0,3Ey
16	G+Q-Ex-0,3Ey
17	G+Q+0,3Ex+Ey
18	G+Q+0,3Ex-Ey
19	G+Q-0,3Ex+Ey
20	G+Q-0,3Ex-Ey
21	0,9G+Q+Ex+0,3Ey
22	0,9G+Q+Ex-0,3Ey
23	0,9G+Q-Ex+0,3Ey
24	0,9G+Q-Ex-0,3Ey
25	0,9G+Q+0,3Ex+Ey
26	0,9G+Q+0,3Ex-Ey
27	0,9G+Q-0,3Ex+Ey
28	0,9G+Q-0,3Ex-Ey
29	Max-Min

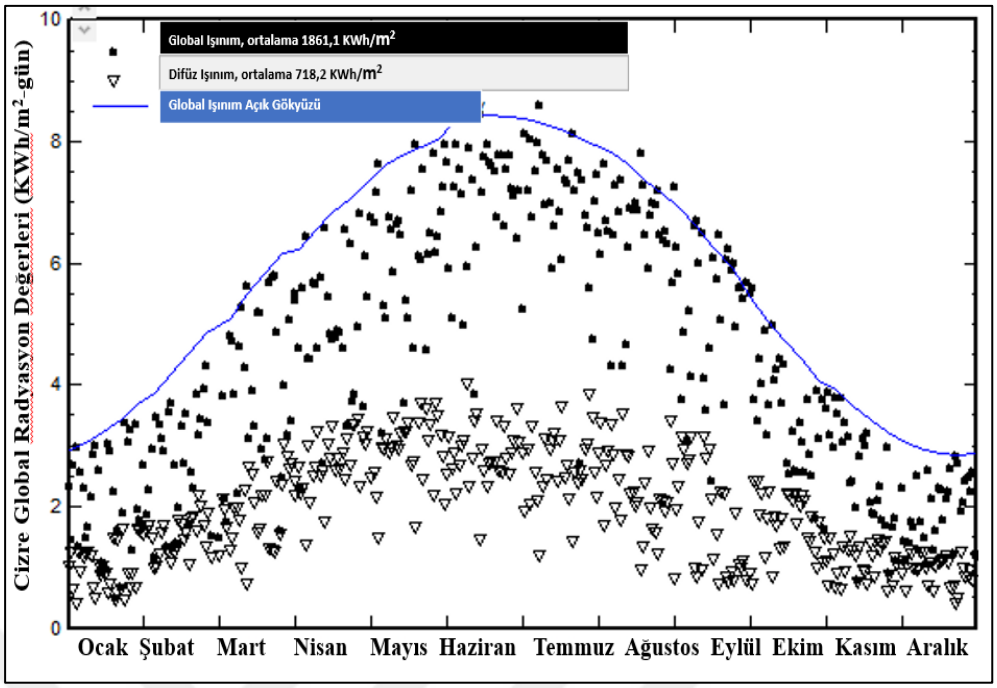
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Sistemlerin Güneş Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması

Bu tez kapsamında PVsyst programı aracılığıyla alınan dataların analizleri ile beraber sistemler arasında bir ekonomik-verimlilik karşılaştırılması yapılmış ve en uygun sonuçlar çalışma kapsamında sunulmuştur. Cizre bölgesi inceleneceğinden, PVGIS programı aracılığıyla alınan Cizre'ye ait 15 yıllık verilerin ortalama aylık m^2 başına düşen güneş ışını, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem oranları Şekil 4.1.'de verilmiştir. Ayrıca bir yıl boyunca Cizre bölgesine düşen güneş ışınım değerlerinin dağılımı grafiksel olarak Şekil 4.2.'de verilmiştir. Özellikle mayıs-eylül ayları arasında Cizre bölgesine düşen güneş ışınım yoğunluğu değerleri oldukça yüksektir. Kurulacak bir güneş enerji sistemi Cizre bölgesinde elektrik üretimi için oldukça uygun sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Yine Cizre bölgesinde nem oranının düşük olması güneşlenme süresi boyunca daha iyi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Nem güneş panellerinin enerji üretimini olumsuz etkilemekte ve verimi düşürmektedir. Ayrıca panellere zarar verebildiğinden uzun seneler paneller nem etkenine maruz kalacağından panelin verimliliğini, nem oranı düşük olan bölgelere göre daha düşük olacak ve panel ömrünü kısaltacaktır.

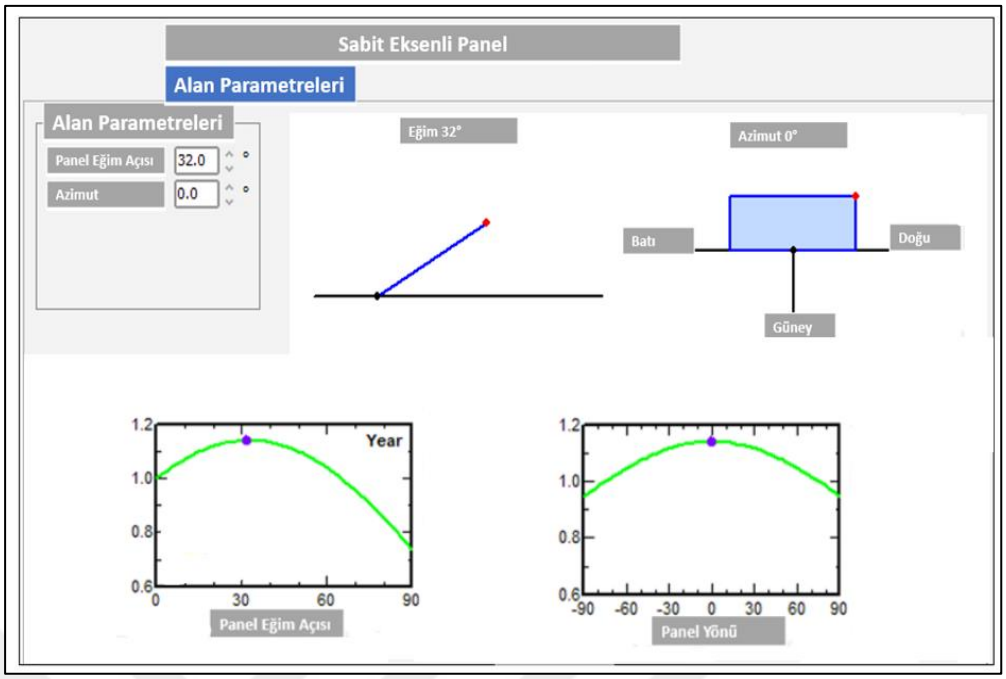
	Global Gelen Işınım	Global Gelen Işınım	Sıcaklık	Rüzgar	Nem
	kWh/m²/mth	kWh/m²/mth	°C	m/s	%
Ocak	57.1	30.9	5.2	2.25	79.9
Şubat	92.6	38.0	6.6	2.48	66.0
Mart	136.0	54.5	11.6	2.07	73.8
Nisan	176.2	67.8	16.3	2.20	61.8
Mayıs	214.2	76.9	23.4	2.35	51.7
Haziran	226.0	72.9	30.2	2.51	36.9
Temmuz	255.7	63.2	32.5	2.32	32.1
Ağustos	227.2	58.7	32.9	1.44	29.9
Eylül	187.7	47.8	27.8	2.28	33.9
Ekim	131.3	43.6	22.4	2.04	47.0
Kasım	83.3	33.5	13.4	1.81	76.2
Aralık	73.9	26.4	7.2	2.18	68.4
Yıllık	**1861.1**	**614.2**	**19.1**	**2.2**	**54.8**

Şekil 4. 1. Cizre bölgesinin 15 yıllık ortalama aylık ışınım, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerleri



Şekil 4. 2. Bir yıl boyunca Cizre bölgesine düşen güneş ışınım değerleri

Cizre bölgesinde yerleştirilecek panel sistemi için panellerin enlem ve boylama göre yerleştirme açılarının belirlenmesi gerektiğinden, PVsyst ve PVGIS uygulamaları sayesinde, Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi paneller yerleştirildi ve panellerin eğim açısı 32° olduğunda minimum kayıplar sağlanmış oldu. Panellerin yönü de azimut açısına göre belirlendiğinden burada en uygun azimut açısı bu bölge için 0° olmasıdır. Burada sabit açılı bir şekilde paneller yerleştirilmiş ve maksimum verim için güneye bakacak şekilde yerleştirilmişlerdir.



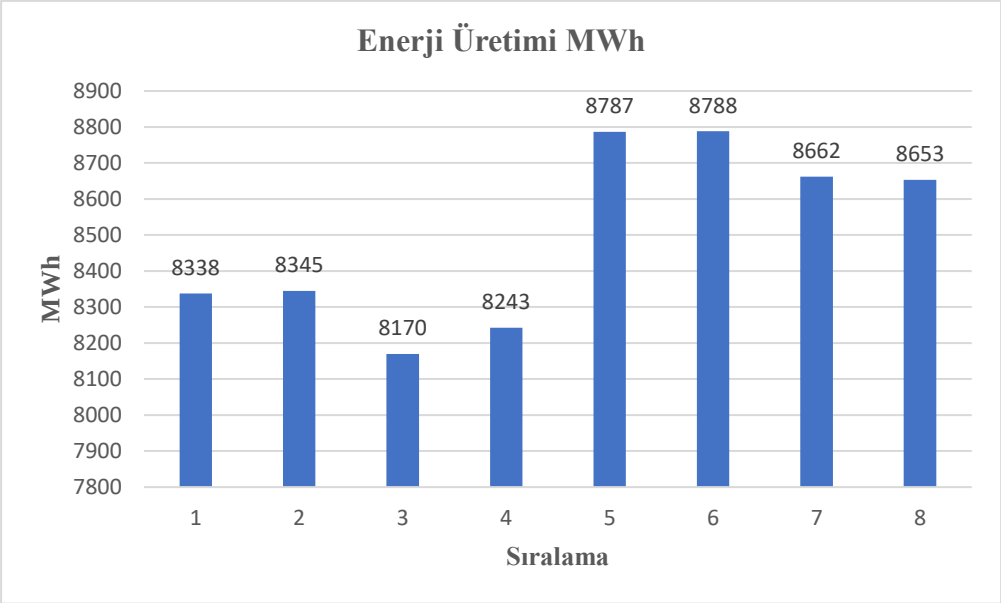
Şekil 4. 3. Cizre bölgesine yerleştirilecek panellerin eğim ve azimut açı değerleri

Bu çalışmada Cizre bölgesine düşen güneş ışınım yoğunluğu, güneşlenme süresi ve kayıplar hesaba katılarak farklı özellik ve enerji değerlerinde 8 farklı mono ve poli kristal panel sistemi seçildi. Bu paneller verimlilik ve boyut açısından farklılık gösterdiğinden her bir sistemin ihtiyaç duyduğu alan da farklılık göstermektedir. Çizelge 4.1.'de analiz edilecek her bir sistem ile ilgili özellikler belirtilmiştir. 5 MW referans alınıp panel sayısı çıkartılmıştır. Sistemde verilen panellerin ömürleri ortalama 30 yıl civarında ve yıllık kayıpları %1 civarındadır. Bütün sistemler için dünyada yaygın olarak kullanılan Fronius firmasına ait aynı özelliklere sahip eviriciler seçilmiştir.

Çizelge 4. 1. Sekiz farklı sistem için panel sayısı, gerekli alan ve enerji üretimi değerleri

No	Güneş Paneli	Evirici	Panel Sayısı	Montaj Yapısı	Gerekli Alan(m^2)	Enerji Üretimi (MWh)
1	Ecosol 200W Monokristal	Fronius	24998	32° Sabit	32833	8338
2	Ecosol 200W Polikristal	Fronius	24998	32° Sabit	32833	8345
3	Bauer Solartecnik 250W Monokristal	Fronius	19998	32° Sabit	32700	8170
4	Bauer Solartecnik 250W Polikristal	Fronius	19998	32° Sabit	32700	8243
5	Canadian Solar Inc. 300W Polikristal	Fronius	16200	32° Sabit	27706	8787
6	IBC Solar 335W Monokristal	Fronius	16674	32° Sabit	28053	8788
7	Luxor 345W Monokristal	Fronius	14497	32° Sabit	28129	8662
8	Luxor 345W Polikristal	Fronius	14497	32° Sabit	28129	8653

Bütün sistemler analiz edilip ayrıntılı bir şekilde incelendikten sonra (Çizelge 4.1.), her bir sistemin kayıpsız bir şekilde ürettiği yıllık enerji miktarı güneşlenme süresi baz alınarak hesaplandı. Her bir sistemin çalışma faktörü (%82) ya da kayıplar %20 civarında olduğundan, enerji üretimi her bir sistem için Şekil 4.4.'deki gibidir.



Şekil 4. 4. Her bir güneş enerji sistemi için enerji miktarı

Bu çalışmada ele alınan her bir sistem kendi içinde farklı bir şekilde hem maliyet hem de verimlilik üzerinden değerlendirilebilir. Özellikle düşük kapasite enerjiye sahip olan panellerin maliyet olarak daha uygun olmalarının yanında, daha fazla arazi alanına ve panel sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. İlk dört sistem buna örnek olarak gösterilebilir. Bu paneller de kendi içlerinde monokristal ve polikristal şeklinde ayrılmaktadır. Maaliyet-verimlilik analizi yapılıp buna alan da dahil olmak üzere en uygun sistemler seçilebilir. Çizelge 4.1.'de de görüldüğü gibi her bir sistem için 32°'lik sabit bir açı belirlendi. Bu, bölge için en ideal olan açıdır. Her bir sistem bu açı değerinde güneşten en fazla verimi alabilmektedir. Her bir güneş sistemi kendi içinde sahip olduğu hücre sayısı ve karakteristik özellik sayesinde farklı enerji üretim değerleri göstermektedir. Bu farklılık alan genişliği, modül sayısı ve maliyete de yansımaktadır. Ayrıca burada kullanılan güneş panelleri ve eviriciler özenle seçilmiş ve piyasada yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Diğer bir önemli nokta, panel seçimi sürecini maliyet analizi-verimlilik açısından değerlendirdiğimizde yüksek güçteki sistemler (250W üzeri) oldukça maliyetli olmalarının yanında en ufak bir sorunda yeni bir panelle değiştirmek daha maliyetli olacaktır. Bu yüzden alan sıkıntısı olmayan durumlarda en uygun sistemler maliyeti düşük olan sistemlerdir.

Bu çalışmamızda genel olarak sabit olan sistemleri ele aldık. Maliyet ve dayanım açısından daha uzun ömürlü ve ucuz olduklarından, hareketli sistemlere göre daha fazla tercih edilebilir. Hareketli, yani güneşin hareketini takip eden sistemler daha maliyetli ve kolay bozulabilmektedirler. Bu sistemler güneşi bütün zaman diliminde takip ettiklerinden, güneşten maksimum seviyede radyasyon alırlar. Bu yüzden verimleri daha yüksek olmaktadır (Girgin, 2011). Hem maliyetleri oldukça yüksek hem de mekanizmaları sabit sistemlere göre daha kolay bozulabilmektedir.

Bölüm 3.1.2.'te belirttiğimiz gibi kapasite faktörü güneş enerji santrallerinin analizinde önemli faktörlerden biridir. Bu parametre ile güneş santralinin verimliliği hesaplanarak santralin kapasitesi hakkında bir sonuca ulaşırız. Denklem 1 kullanılarak bütün sistemlerin kapasite faktörleri Çizelge 4.2.'de belirtilen şekilde hesaplandı. Çizelge 4.2.'de de görüldüğü gibi bütün sistemlerin kapasite faktörleri birbirine çok yakındır. Ancak yine de güneş panellerine göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Kapasite faktörünü etkileyen faktörlerden bir diğer önemlisi de hareketli panel sistemleridir. Kapasite faktörleri hareketli paneller için farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 4. 2. Farklı güneş enerji sistemlerinin kapasite faktörlerinin karşılaştırılması

	Güneş Paneli	Montaj Yapısı	Kapasite Faktörü (%)
1	Ecosol 200W Monokristal	32° Sabit	19,04
2	Ecosol 200W Polikristal	32° Sabit	19,05
3	Bauer Solartecnik 250W Monokristal	32° Sabit	18,65
4	Bauer Solartecnik 250W Polikristal	32° Sabit	18,81
5	Canadian Solar Inc. 300W Polikristal	32° Sabit	20,06
6	IBC Solar. 335W Monokristal	32° Sabit	20,06
7	Luxor 345W Monokristal	32° Sabit	19,78
8	Luxor 345W Polikristal	32° Sabit	19,76

Yapılan çalışma sonucunda karşılaştırılan her 8 sistem enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en verimli olan sistemler beşinci ve altıncı sistemlerdir.

Hem kapasite faktörü hem de kapladıkları alan bakımından ilk dört sistemden daha uygun görünmektedir. Kapasite faktörü paneller için en önemli faktörlerden biri olduğundan ve bu iki sistemin kapasite faktörü yüksek olduğundan bu sistemlerin enerji üretimi daha fazla olacaktır. Yedinci ve sekizinci sistemlerin kapasite faktörleri ilk dört sistemden daha yüksektir. Ancak bu panellerin maliyetleri de daha yüksektir. Sistem seçimi yapılırken maliyet analizi de hesaba katılmalıdır. Yeterli alan olması durumunda en uygun sistem maliyet-verimlilik ekseninde öne çıkan sistemler olacaktır. 5-8. sistemlerde panellerdeki hücre sayılarının yüksek olması ve enerji üretimi açısından ilk dört sistemden daha fazla enerji üretebilen paneller olduğundan maliyetleri daha yüksektir. Kapasite faktörü paneller için önemli faktörlerin başında geldiğinden kapasite faktörü biraz daha yüksek olan 5. ve 6. sistemler daha çok ön plana çıkabilmektedir. Ayrıca 5-8. sistemlerde ön plana çıkan diğer önemli bir avantaj kapladıkları alana göre ürettikleri enerji miktarıdır. Bu paneller ilk dört sisteme göre fark edilebilecek şekilde daha az yer kaplamaktadırlar. Alan kısıtlaması olan durumlarda bu sistemler oldukça ön plana çıkabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında IBC solar hücreler (6. Sistem) hem maliyet hemde verimlilik analizi bakımından en uygunu olduğundan, Cizre bölgesi için bu sistemler tercih edilebilir. Ayrıca maliyet analizi bu güneş panelleri baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.2. Yapı alanının jeolojik değerlendirmesi ile konstrüksiyonun statik - dinamik yük analizi

4.2.1. Santral alanı hakkında jeomorfolojik ve çevresel faktörlerin irdelenmesi

Santral alanı için Jeoloji raporu hazırlanmıştır. Bu rapora göre aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir:

- Çalışma alanı Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şırnak ili Cizre ilçe sınırları içinde yer almaktadır.
- Bölgede Ocak ve Şubat ortalama 1 °C sıcaklık ile en soğuk aylar, en Temmuz ve Ağustos ise 37 °C ortalama sıcaklık ile en sıcak aylardır. Yıllık ortalama sıcaklık 15 °C' dir. Genelde yağmur olan yıllık ortalama yağış ise 371,5 mm'

dir. En çok yağış ortalama 49.85 mm ile Nisan ve Mayıs aylarında, en az yağış 7,5 mm ile Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir.

- Çalışma alanında (çığ, su baskını, sellenme) gibi doğal afet riski bulunmamaktadır. Ayrıca tektonik açıdan heyelan, toprak kayması vb. gibi güncel bir sorun gözükmemektedir.
- Cizre'de yağışlar genelde yağmur şeklinde olup, yağış miktarı Türkiye ortalamasının altındadır. Gün içinde (gece-gündüz) sıcaklık değişimi fazladır. Step görünümlü ve oldukça fakir bir bitki örtüsü vardır.
- Çalışma alanı ve yakın çevresinin eğimi yamaç eğimi batıdan doğuya doğru olup, 0-15 derece olarak ölçülmüştür. Çalışma alanının yakın çevresi eğimi fazla bir arazi bulunmamaktadır. Eğim % 0-15 arasındadır. Çalışma alanının kille kaplı kesimi yer yer düzlük yer yer de eğimli bir yapıya sahiptir. Ortalama eğim %0-15'dir.
- Santral alanındaki jeolojik birimlere bakıldığında tekdüze bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Arsa civarında mevsimsel yağışlara bağlı olarak faaliyete geçen bir dere bulunmamaktadır. Bölgede aşırı bir yağış olmadığı için sel veya herhangi bir doğal afet beklenmemektedir.

4.2.2. Temel zemini olarak seçilen birimlerin değerlendirilmesi

İnceleme alanı 0-2 m arası Killi Kumlar (SC) biriminden 2 ile 20 m arası ise yamaç molozu birimi yer almaktadır. Yamaç Molozu, batı kesimlerinde yer alan ve üst kısımlarını oluşturan bazalt birimlerinden kopmuş bloklar ile dere sedimanını oluşturan çakıllı, siltli, kumlu kil biriminden oluşmaktadır. İnceleme alanı Arabistan plakası ile Anadolu plakalarının çarpışma zonu olan Bitlis kenet kuşağının güneyinde, Arabistan plakasının kenar kıvrımları kuşağında yer almaktadır.

Çalışma sahasında yer alan jeolojik formasyonlar ve bu formasyonların düşey-yatay yöndeki dağılımları derinlikleri 20'şer metre olan 3 adet araştırma çukuru ile geçilen birimlerin laboratuvar deney verileri ve makro inceleme sonuçları ile elde edilmiştir. Açılan sondajlardan ve buradaki sismik çalışmalardan zeminin Killi Kumlar (SC) biriminden oluştuğu tespit edilmiştir.

Arsa ve yakın çevresinde bu birimde stabilite yönünden herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Tüm bu veriler ışığında arsa içinde ve çevresinde herhangi bir heyelan, su baskını gibi olumsuzluklar söz konusu olmayacaktır. Ayrıca yapının oturacağı birim Killi Kumlar (SC) birimine karşılık geldiğinden zeminden kaynaklanılabilecek kabarma, çökme, akma ve yayılma gibi normal dışı bir yapı gözlenmemiştir ve taşıma gücü yönünden herhangi bir sorun yaratmayacaktır.

Etüt alanı düzgün bir topografyaya sahip olup eğim değeri %10-15 civarındadır. Etüd alanının homojen yapıda olması, yapılacak olan yapının 2,00 m yüksekliğinde olması 3 lokasyonda araştırma çukuru yapılmış, torba numuneleri alınmıştır. Laboratuarda yapılan elek analiz sonuçlarına göre incelenen parseli oluşturan birimin; Killi Kumlar (SC) birimi oluşturmaktadır.

İnceleme alanında açılan araştırma çukurunda yer altı suyuna rastlanılmamıştır. Dolayısıyla, yer altı suyunun temele etkisi olması söz konusu değildir. Etüt alanı içerisinde oturma, şişme ve sıvılaşma potansiyeli yoktur.

4.2.3. Doğal afet risklerinin değerlendirilmesi

Santral alanı ve çevresi, 18.04.1996 tarihinde çıkartılan Bakanlar Kurulunun 96/8109 sayılı kararı ile Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 2. dereceden tehlikeli deprem bölgesinde ve Anadolu-Arap Plakası bindirme kuşağında yer almaktadır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi birçok aktif deprem fay hattına sahiptir. Yakın tarihte bu bölgede birçok deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerle birlikte birçok şehir yerle bir olmuş ve binlerce insan can vermiştir. Şırnak Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 2. dereceden deprem bölgesine düşmektedir. Fakat Şırnak'ın uludere ve Beytüşşebap ilçeleri 1. derece deprem bölgesi içine düşmektedir. Şırnak'ta ve Cizre'de yakın tarihte büyük bir deprem meydaha gelmemiştir.

4.2.4. Çelik konstrüksiyon sisteminin statik ve dinamik çözümü

Sistem SAP2000 analiz programında 3 boyutlu olarak çubuk elemanlar şeklinde çözülmüştür. Sistem çözümü için TS-500, TS-498, TS-648, TDY2018, AISC, TS EN 1991-1-3 standartları esas alınmıştır.

Sistemin statik ve dinamik analizi için mevcut yükler belirlenmiştir. Yapı öncelikle Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak ikinci deprem bölgesi, her yerel zemin sınıfı için doğrusal analizleri yapılarak boyutlandırılmıştır. Deprem etkileri ise mod birleştirme yöntemiyle sisteme tanıtılmıştır. Yapının deprem performansı kontrol edilirken, deprem yükleri ve yapıya düşey yönde etki eden yükler birlikte etki ettirilir. Yani deprem hesabında dikkat edilen deprem yükleri ve dinamik düşey yükler birleşik etki yapar. Yapı süneklik düzeyi yüksek alınmıştır. Taşıyıcı sistemin lineer olmayan davranışlarından ötürü kaynaklanacak etkileri dikkate almak için yapı davranış katsayısı her iki doğrultu için sisteme tanıtılmıştır.

4.2.5. Sistemin yeterli olduğunu gösteren gerekli kontroller ve statik analiz

Sıcak çelik tasarımı, soğuk çelik tasarımı yapılıp analiz sonuçları kontrol edildi. Kısa kolon elemanı, uzun kolon elemanı, makas elemanı, aşık elemanı, düşey çapraz elemanı için analiz programındaki sonuçlar ile kesitler ve malzeme türü teyit edildi. Ayrıca düğüm noktası birleşim hesapları yapıldı. Bunun dışında sistemin deprem etkisi altındaki yatay öteleme, rüzgar etkisi altında yatay öteleme tahkikleri yapıldı. Aşık elemanı gerilme ve sehim tahkiki yapıldı ve SAP2000 programında maksimum bileşik eğilme 2,16 mm < 10 mm olarak uygunluğu teyid edildi.

Analiz programında kazık hesabı ile mesnet tepkileri, kazık toplam taşıma gücü, kazık uç direnci, kazık çevresinde oluşan sürtünme direnci, zeminden sıyrılmaya karşı koyan kuvvet hesapları yapıldı. Arazide zemin çekme deneyine tabi tutulan çelik kolon profilin zeminden sıyrılarak ayrılmaması için gerekli minimum çekme kuvveti 885 kg olarak hesap edildi.

4.3. Güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi

Çalışma kapsamında hazırlanan Cizre bölgesindeki 1 MW'lık güneş enerji santralinin maliyet analizi için gerekli olan şantiye, lojistik ve gümrük harcamaları, fotovoltaik paneller (IBC solar) için gerekli olan bütçe ortalaması, inverter ve toplama panoları, haberleşme ve takip sistemi, konstrüksüyon sistemi, AG kablo ve yardımcı ekipmanlar, topraklama ve paratoner sistemi, OG köşk, trafo, hücreler, DM, enerji nakil hatları, güvenlik ekipmanları, mühendislik, kurulum ve dökümantasyon, ekstra ürün ve hizmetler (franchise komisyon) giderlerini kapsıyan detaylı finansal analizler oluşturuldu. Piyasadan çeşitli ana kalemler ve ek ekipmanlar için fiyat teklifleri alınıp bir ortalama maliyet çıkartıldı. Bu fiyat tekliflerindeki maliyetler uzun vadeli ve sabit olmayıp değişebilmektedir. Güneş enerji sistemlerinde teknolojik gelişmeye bağlı olarak maliyetler ilk dönemlerine göre düşmektedir. Fakat ham madde ve tedarik zincirlerindeki aksamalara bağlı olarak bu maliyetler artabilir. Bunun dışında panel ve diğer ürün marka ve kalitelerine bağlı olarak maliyetlerde ciddi değişiklikler olabilmektedir. Türkiye henüz güneş hücresi üretimi yapamadığı için yurt dışından ithal edilen hücre ve ek parçalarının montajını yapabilmektedir. Bundan dolayı maliyetler döviz bazlı olup kur dalgalanmalarına bağlı olarak değişebilmektedir.

4.3.1. Şantiye, lojistik ve gümrük harcamaları

Şantiye, lojistik ve gümrük birçok farklı gider kalemini içermektedir. Bunlar; Risk sigortası, kurulumu yapacak olan ekibin harcamaları, lojistik ve diğer harcamalar, konaklama, yemek ve seyahat masrafları, ISG uzmanı ve diğer güvenlik önlemi harcamaları, iş makinesi giderleri, alçak gerilim kablo tranşe kazıları, sarf malzemeler, beton ve kalıp masrafları, güvenlik personeli maliyeti, idari masraflar, banka masrafları, genel yönetim giderleri, gümrük masrafları, nakliye masrafları gibi birçok gideri içermektedir. Bu giderlerin toplam maliyeti 14.700,00$ civarındadır. Yapılan maliyet analizleri yukarıda bahsedilen giderler temel alınıp değerlendirilmiştir.

4.3.2. Fotovoltaik paneller, inverter ve toplama panoları

Çalışma kapsamında kullanıma uygun görülen panellerin ortalama adet sayısı ve fiyat değerleri araştırılıp hesaplandı. Bu çalışma kapsamında ortalama kullanılacak panel adedi 3.240 ve bunların toplam maliyeti yaklaşık olarak 534.540,00$ civarındadır. Ayrıca çalışmada kullanılacak inverter ve toplama panolarının toplam maliyeti 59.000,00$ civarındadır. Bu çalışma için kullanılan inverter adeti 10 , AC toplama kutuları sayısı 4 tanedir.

4.3.3. Haberleşme ve takip sistemi

Haberleşme ve takip sistem bileşenleri değerlendirilmiş ve piyasa araştırması yapılmıştır. Haberleşme ve takip sistemleri için datalogger ve scada sisteminin toplam maliyeti yaklaşık olarak 4.500,00$ civarı hesaplanmıştır.

4.3.4. Konstrüksiyon sistemi

Konsrüksiyon sistemi temin ve montaj olarak değerlendirilir. Zemin sınıfına göre ve diğer tasarım parametrelerine bağlı olarak maliyetler değişebilmektedir. Çalışmamız kapsamında tasarımını yaptığımız ve Cizre'de uygulanması planlanan konstrüksiyon için yaklaşık olarak 97.000,00$ maliyet bulunmuştur.

4.3.5. AG Kablo ve yardımcı ekipmanlar

Solar kablo grubu, Ac kablo grubu, OG kablo grubu, MC4 DC kablo konnektörü, uyarı levhaları ve etiketler, sarf malzemeleri, kablo tavası ve ekipmanları bu gruba girmektedir. Özellikle solar kablo, AC kablo ve OG kablo çeşitlerinin ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş ve ekipmanların 1 MW'lık bir güneş enerji santrali için toplam maliyeti yaklaşık olarak 40.000,00$ civarı olarak hesaplanmıştır.

4.3.6. Mühendislik-kurulum ve dökümantasyon

Mühendislik giderleri saha çalışmasının ve dökümantasyon kısmının genelini kapsamaktadır. Bu giderler kapsamında, elektrik, statik, ENH projelendirmesi ve

elektrik ile mekanik montaj yer almaktadır. Yapılan ekonomik analizi sonucunda mühendislik giderlerinin genel olarak 20.000,00$ civarındadır.

4.3.7. OG Köşk, trafo, hücreler, DM, enerji nakil hattı, topraklama ve paratoner sistemi

Bu çalışma kapsamında incelenen GES için üretilen enerjinin şebekeye entegrasyonu için enerji trafo kurulumu yapılacak ve enerji nakil hatları ile ulusal trafo merkezlerine aktarımı sağlanacaktır. Bunun için gerekli olan ana dağıtım panosu, GES trafo postası, enerji nakil hattı, eşpotansiyel topraklama ağının oluşturulması, paratoner sisteminin kurulması iş kalemlerinin toplam maliyeti 94.000,00$ civarındadır.

4.3.8. Güvenlik ekipmanları

Aydınlatma sistemi, güvenlik kamera sistemi, yangın tüpleri, bekçi evi-konteyner, tel çit sistemi gibi kalemler bu başlıkta hesaplanmıştır. Yapılan fiyat çalışmalarında bu maliyetlerin toplam bedeli 15.000,00$ civarındadır.

Yerel enerji dağıtım şirketleri ile yapılan lisans protokolleri ve mevzuat değişikliklerine bağlı olarak amortisman süresi değişebilmektedir. Bu süre 6-7 yıl olabilmektedir. Fakat kullanılan banka kredi oranları ve mevzuatlarda belirtilen garanti satın alma birim fiyat bedellerine bağlı olarak değişebilmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fotovoltaik (PV) güneş sistemleri gün geçtikçe daha çok uygulanabilir olmakta ve bu sistemlere olan ilgi artmaktadır. Daha önceki yıllarda PV sistemleri oldukça maliyetli ve kurulumları kolay değildi, ancak zaman içinde bu alanda yapılan yoğun çalışmalar ve elde edilen iyi sonuçlarla beraber maliyeti daha düşük, yüksek verimli ve kolay kurulabilir sistemler geliştirildi. Günümüzde güneş panellerinde çeşitlilik oldukça geniş bir durumdadır. Ancak bunlar içinde en verimlileri silisyum bazlı olan monokristal ve polikristal güneş hücreleridir. Bu güneş hücreleri hem daha verimli hem de daha dayanıklıdır. Diğer tür güneş hücreleri de günden güne gelişmekte, ancak hala pazarın %93'lük kısmı silisyum bazlı güneş hücrelerindedir. Günümüzde yenilenebilir enerji dünya elektrik enerjisinin önemli bir kısmını karşılamaktadır. Özellikle Avrupa kıtasında birçok ülke elektrik enerjisinin %50'den fazlasını bu sistemlerden karşılamaktadır. Güneş enerji sistemleri bu önemli gelişimin öncülerinden olmaktadır. Enerji ihtiyacını gidermenin yanında, diğer önemli avantajı doğaya olan katkısıdır. Fosil yakıtlar tüketimi sonucu her yıl milyarlarca ton CO_2 gazı yayılarak atmosferi etkilemekte ve yıkıcı sonuçlara sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri bu yıkıcı sonuçların önüne geçilmesinde çok önemli bir rol oynamakta ve sera gazı etkisini minimize etmektedir.

Cizre ilçesi güneş radyasyonu açısından oldukça yüksek değerlere sahiptir. Cizre'nin güneşlenme süreleri oldukça uzundur. Cizre iklim açısından özellikle yazları yüksek sıcaklık ve düşük nem oranına sahip olmasından dolayı güneş panelleri için çok önemli bir avantaj sağlamaktadır. Düşük nem oranlarından dolayı hem güneş panellerinin servis ömrü uzamakta hem de panellerde enerji kayıpları düşmektedir. Cizre'nin kurak bir iklime sahip olması, düşük nem oranı, havadaki bulutluluk oranının yaz boyunca az olması gelen ışınların yüzeye ulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle sanayi ağırlıklı şehirlerde havadaki toz ve bulutluluk oranı güneş ışınlarının yer yüzüne ulaşmasına engel olmaktadırlar. Cizre genel olarak düz ve geniş bir alana sahiptir. Bu yüzden güneş santrali kurulumu için oldukça uygun ve elverişli bir coğrafyadır.

PVsyst sistemi dünyada yaygın olarak kullanılan bir güneş santrali analiz programıdır. Bu program, bir santralin kurulması, öncesi ve sonrası da dahil olmak üzere bütün gerekli verileri içermektedir. Programın içinde NASA, PVGIS ve METEONORM programlarının sahip olduğu global radyasyon değerleri ve güneşlenme sürelerini barındıran alt programlar mevcuttur. Ayrıca dünyada üretilen bütün güneş panellerini ve eviricilerin bilgilerini barındırmaktadır. Bu program sayesinde mali analiz de yapılabilmektedir. Bundan dolayı bu çalışmamızda PVsyst programını kullarak bu çalışmayı gerçekleştirdik. Çalışmamız boyunca farklı güneş panel sistemlerini kullarak enerji verimlilik farklılıklarını, maliyet analizlerini ve alan değerlendirmesini gerçekleştirerek oluşturulabilecek bir güneş enerjisi santralinin bütün özellikleri incelendi. Çalışmada sabit konstrüksion sistemi kullanıldı. Bu sistemler maliyet-enerji verimliliği açısından en uygun ve dünyada en çok kullanılan sistemlerdir. Ancak güneşin hareketini izleyerek maksimum verim elde edilen hareketli sistemleri kullanarak daha verimli sistemler elde edilebilir. Fakat hareketli sistemlerin en büyük dezavantajı kolay bozulmaları (mekanik olarak) ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Güneş panelleri çok hassas hücrelerden oluştukları için, servis süreleri boyunca oluşacak dış etkilere karşı fiziksel olarak dayanıklı olmaları gerekmektedir. Bunun için de taşıyıcı konstrüksiyonun çok iyi tanımlanmış olması, içte ve dışta oluşacak statik ve dinamik yüklere karşı iyi performans göstermesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında yapılan yük analizi neticesinde kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarının yeterli güvenliğe sahip oldukları görülmüştür..

Yenilenebilir enerji bulunduğumuz yüzyılın en önemli alternatif enerji kaynağı olmaya devam edecektir. Malzeme biliminde yapılacak gelişmeler daha verimli ve daha uzun ömürlü paneller üretilmesini sağlayacaktır. Ayrıca üretimden tüketime kadar olan süreçte malzeme biliminde meydana gelen gelişmeler daha ucuz ve uzun ömürlü malzemelere yol açacak ve bunun sonucunda bu enerji üretiminin maliyeti ve geri ödeme süresi fosil yakıtlara karşı önemli bir karşı güç olabilecektir. Bu durumda hem fosil yakıtlara olan bağımlılık hem de sera gazı yayılımı azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

ARC, 2018. Fotovoltaik Çalışma Prensibi. http://www.arcenerji.com.tr/faliyet?id=7&icerik_id=61 – (Erişim Tarihi: 08.10.2018).

ARICI, E., and KARAZHANOV, S., 2015. "Carbon nanotubes for organic/inorganic hybrid solar cells." *Materials Science in Semiconductor Processing* 41 (2015): 137-149.

ARSLAN, İ. 2018. Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip PV Güneş Panellerinin Verimliliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, NKU Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.

ASHISH. 2019. *What is the photoelectric effect.* https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-explain-photoelectric-effect-einstein-definition-exmaple-applications-threshold-frequency.html.

AUCTIONS, 2020. Solar Panels, Solar Auctions. https://www.solar-auctions.com/en/produkte/solar-photovoltaik-module.

BILGILI, M.E. 2018. Modern süt sığırcılığı işletmelerinde enerji ihtiyacının fotovoltaik güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik bir araştırma, Doktora Tezi, KSU Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.

BOYLE, G. 2004. Renewable Energy Power for Sustainable Future, Oxford Press,Oxford, 452 pp.

BOZTEPE, M., 2017. Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler. IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, 19-20.

BP, 2014. Statistical review of world energy. https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-shows-2014 - (Erişim Tarihi: 08.10.2019).

BP, 2019. Statistical Review of world energy. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/news-and-insights/speeches/bp-stats-review-2019-bob-dudley-speech.pdf - (Erişim Tarihi: 08.10.2019).

BRABEC, C. J.2004. "Organic photovoltaics: technology and market." Solar Energy Materials & Solar Cells 83 (2004): 273-292.

BRITANNICA, 2019. Becquerel.Antoine-Cesar www.britannica.com/EBchecked/topic/58017/Antoine-Cesar-Becquerel.

BULUT, H. 2009. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar. Temiz Enerjiler Teknolojileri Kursu, 9-13 Şubat 2009, Gaziantep. http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Gunes1.pdf -(Erişim Tarihi: 07.04.2018).

BÜYÜKZEREN, R., ALTINTAŞ, H.B., MARTIN, K., KAHRAMAN A. 2015. Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği. EMO Bilimsel Dergi, Cilt 5, Sayı 10, Aralık 2015.

CAMACHO, E. F., & BERENGUEL, M., 2012. Control of solar energy systems. IFAC proceedings volumes, 45(15), 848-855.

CELEP, Z., 2011. Betonarme Yapılar. İhlas Matbaacılık, İstanbul, 865s.

CER, 2020. Clean Energy Reviews. https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb.

CHARFI, W., CHAABANE, M., MHIRI, H., BOURNOT, P. 2018. Performance evaluation of a solar photovoltaic system. Energy Reports, 4(2018): 400–406.

CHU, T. Y., LU, J., BEAUPRE, S., ZHANG, Y., POULIOT, J. R., WAKIM, S., ... & TAO, Y., 2011. Bulk heterojunction solar cells using thieno [3, 4-c] pyrrole-4, 6-dione and dithieno [3, 2-b: 2′, 3′-d] silole copolymer with a power conversion efficiency of 7.3%. Journal of the American Chemical Society, 133(12), 4250-4253.

COSSUA, M., MURGIA, L., LEDDA, L., DELIGIOS, P.A., SIRIGU, A., CHESSA, F., PAZZONA, A. 2014. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. Applied ENERGY, 133(2014): 89–100.

ÇAPIK, M., YILMAZ, A.O., ÇAVUŞOĞLU, İ. 2012. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, Renewable Energy 46(2012): 1-13.

ÇELEBI, G., 2002. Bina Düsey Kabugunda Fotovoltaik Panellerin Kullanim İlkeleri. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 17(17):17-33

ÇIFCI, A., KIRBAŞ, İ., İŞYARLAR, B. 2014. Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşılanması, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (1): 14-17.

DANKOFF, R., KAHRAMAN, S.A., ve DALI, Y., 2005. Evliya Çelebi Seyahatnamesi. Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, c.4, 311s.

DAO, 2020. Solar DAO. Mayıs 2020. https://medium.com/@solar.dao/how-to-build-pv-solar-plant-6c9f6a01020f.

DARGA, A. 2005. Tarım Makineleri İşletmeciliği. BUÜ Ziraat Fakültesi (Yayınlanmamış ders notları), 2005, Bursa.

DINÇER, F. 2011. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. Journal of Engineering Sciences, 14(1): 8-17.

DINÇER, İ. 2002. The role of exergy in energy policy making. Energy Policy, 30(2002): 137–149.

DMİ. *Cizre, Şırnak, siirt ve Hakkari istasyonlarına ait sıcaklık değerleri.* Şırnak: DMİ, 2019.

DUDLEY, B. 2014. BP statistical review of world energy 2014. In World Petroleum Conference, Moscow (Vol. 16).

DUDLEY, B. 2018. BP statistical review of world energy. BP Statistical Review, London, UK, accessed Aug, 6(2018), 00116. AISC [American Institute of Steel Constructions-1998], 1998, USA.

DUNNETT, S., A. SORICHETTA, G. TAYLOR, and EIGENBROD F., 2020.. "Harmonised Global Datasets of Wind and Solar Farm Locations and Power." *Scientific Data*,

EIA, 2020. Today in energy, Energy Iinformation Administration. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37392.

ELAMIM, A., HARTITI, B., HAIBAOUI, A., LFAKIR, A., THEVENIN, P. 2018. Performance evaluation and economical analysis of three photovoltaic systems installed in an institutional building in Errachidia, Morocco. Energy Procedia, 147(2018):121-129.

ELÇI, 2019. B. *Cizre İlçesi'nin Fiziki Coğrafyası.* İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi,

ELEKTRIKDE, 2020. Güneş Panellerinde On Grid ve Off Grid Bağlantı Sistemleri https://www.elektrikde.com/gunes-panellerinde-on-grid-ve-off-grid-baglanti-sistemleri/.

ENERGIEWENDE, 2020. The European Power Sector in 2020, Agora Energiewende. https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2020/.

ENS, 2019. Electricity Generation by Technology, 2014-2018, Danish Energy Agency. our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics, viewed 7 April 2019.

ERINÇ, S., 1996. *Klimatoloji ve Metodları.* İstanbul: Alfa Basım ve Dağıtım,

ESIN, F. 2012. Yaşamamızın kaynağı bir cüce yıldız güneş. Sarmal yayınevi, İstanbul, 316 s.

FERREIRA, A., KUNH, S.S., FAGNANI K.C., DE SOUZA, T.A., TONEZER, C., DOS SANTOS, G.R., COIMBRA-ARAUJO, C.H. 2018. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81(2018): 181-191.

GAZETE, 2020. *Resmi Gazete*. Resmi Gazete. https://www.lexpera.com.tr/resmi-gazete/metin/RG801Y2019N30770S1044.

GENÇOĞLU, M.T., 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(2): 57-64. http://www.solar-academy.com/menuis/Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklarinin-Turkiye-Acisindan-Onemi.005039.pdf -(Erişim tarihi: 12.10.2019).

GEPA, 2020. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, GEPA. http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/.

GIRGIN, M. H., 2011. "Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi." (İstanbul Teknik Üniversitesi)

GMO, 2018. Global Market Outlook For Solar Power, Global Market Outlook. https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf - (Erişim Tarihi:12.10.2018).

GROUP, 2020. *TECSUN Cables*, Prysmian Group https://uk.prysmiangroup.com/products-and-solutions/industries/solar-and-photovoltaics/tecsun-cables.

GSA, 2016. Global Solar Atlas. https://globalsolaratlas.info/?c=32.52532,44.764564,2 –(Erişim Tarihi: 12.09.2018).

HASELHUHN, R., HEMMERLE, C. 2008. Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers. Architects and Engineers Second Edition, Earthscan in the UK and USA 384 pp.

HASSANIEN, R., HASSANIEN, E., LI, M., LIN, W.D. 2016. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. Renewable and Sustainable Energy REVIEWS, 54 (2016): 989–1001.

HAYDAROĞLU, C., & GÜMÜŞ, B,. 2016. Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin

değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 491-500.

HERNANDEZ, R. R., EASTER, S. B., MURPHY-MARISCAL, M. L., MAESTRE, F. T., TAVASSOLI, M., ALLEN, E. B., ... & ALLEN, M. F. 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. Renewable and sustainable energy reviews, 29, 766-779.

HUA, Y., OLIPHANT, M., HU, E.J. 2016. Development of renewable energy in Australia and China: A comparison of policies and status. Renewable Energy, 85: 1044-1051.

IEA, 2012. World Energy Outlook. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2012 - (Erişim Tarihi: 08.10.2019)

IEA, 2012. Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy. https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014 - (Erişim Tarihi: 08.10.2019)

IRENA, 2018a. Capacity and Generation. http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=54 - (Erişim Tarihi:06.10.2018).

IRENA, 2018b. Country Rankings. http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18- (Erişim Tarihi: 06.10.2018).

JACKSON, F., 2008."Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, arc hitects and engineers." By F. jackson, 199-200. London/England,

KABIR, E., KUMAR, P., KUMAR, S., ADELODUN, A. A., & KIM, K. H., 2018. Solar energy: Potential and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 894-900.

KABUL, A., & DURAN, F., 2014. Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 6(1), 31-43.

KANNAN, N., & VAKEESAN, D., 2016. Solar energy for future world:-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1092-1105.

KARADEMIR, D. 201. "Cizre Şehrinin Kuruluş ve Gelişimi." *Journal of Awareness*, 2019: 433-454.

KILIC, F.C,. 2015. *Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri.* 2015.

KÖROĞLU, T., TEKE A., K. Ç. 2010. Bayındır, and Mehmet Tümay. "Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı." *Elektrik Mühendisleri Dergisi*.

KORSAVI, S.S., ZOMORODIAN, Z.S., TAHSILDOOST, M. 2018. Energy and economic performance of roof top PV panels in the hot and dry climate of Iran. Journal of Cleaner Production, 174(2018): 1204-1214.

KURBAN, E., EİAŞ, 2019 Elektrik Üretim İstatistikleri. Haziran 2020. https://www.enerjiportali.com/teias-2019-elektrik-uretim-istatistiklerini-yayimladi/. —. Enerji Portalı. Haziran 2020. https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-mayis-2020/.

LEBLEBICIOGLU, E.2016 *Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Bileşenleri.* 09 17, 20 https://muhendistan.com/fotovoltaik-sistemler-nedir/.

LEWIS, N. S., 2005. Chemical Challenges in Renewable Energy.

Li, C., Zhou, D., Zheng, Y. 2018. Techno-economic comparative study of grid-connected PV power systems in five climate zones, Energy, 165 (2018): 1352- 1369.

MAISSCH, M., *Australia renewables supply reaches 21.2%, rooftops provide record solar contribution.* PV magazine, 2020.

MARCY, C., 2019. *Today in Energy.* https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=38752.

MTA, 2012. *14 Haziran 2012 Silopi Depremi Değerlendirme Notu.* MTA Enstitüsü, Ankara.

MUSSELMAN, K P, and SCHMIDT-MENDE, L., 2011. "Nanostructured inorganic solar cells." *Green* 1 (2011): 7-27.

N.R.E. Laboratuvar, 2019. Transforming Energy. https://www.nrel.gov/

ÖZCAN, Ö., & ERCAN, İ. Z. G. İ. 2020. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 127-140.

ÖZGÖÇMEN, A. " Güneş pilleri kullanarak elektrik üretimi." *Gazi Üniversitesi Yayınları*, 2007.

ÖZMEN, B., GÜLER, H., NURI, M.,. 1996. *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi.* Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,

POLAT, S.,. "XVI. Yüzyılın İkinci Yarısı ve XVII. Yüzyılın İlk Yarısında Osmanlı Devleti'nin Doğu Seferlerind Cizre'nin Yeri." *Dergi Park, Tarih Araştırmaları Dergisi*, 2013: 251.

PVeducation. *Band Gap.* 07 21, 2020. https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/band-gap.

PVsyst. *PVsyst.* Haziran 2020. https://www.pvsyst.com/.

RAZYKOV, T. "Solar photovoltaic electricity: Current status and future." *Solar Energy* 85 (2011): 1580-1608.

RAZYKOV, T. 2011. "Solar photovoltaic electricity: Current status and future." *Solar Energy* 85 (2011): 1580-1608.

REN21, 2019. *The Renewables 2020 Global Status Report.* https://www.eqmagpro.com/wpcontent/uploads/2020/06/gsr_2020_presentation_compressed-1-10.pdf - (Erişim Tarihi: 08.10.2020)

REN21, 2020. *Renewable production supplies 52% of domestic consumption In 2018*. REN21, FRANSA

REN21, 2020. *The Renewables 2020 Global Status Report*. REN21, FRANSA

ŞENLIK, İ., 2017. "Güneş Enerjisi Santrallarının Yer Seçimi." *Elektrik Mühendisliği Dergisi*,

SOLARBUZZ, 2019. <http://www.solarbuzz.com/sbqdata.htm>

SOLARACADEMY, 2019. Be a Solar Expert. https://solaracademy.sma.de/en.html

SUKHATME, S. P., & NAYAK, J. K. 2017. Solar energy. McGraw-Hill Education.

TDY2018 (Türk Deprem Yönetmeliği-2018), 2018, Ankara.

TIMILSINA, G. R., KURDGELASHVILI, L., & NARBEL, P. A. 2012. Solar energy: Markets, economics and policies. Renewable and sustainable energy reviews, 16(1), 449-465.

TIMUÇIN, E. 1990. "Aylık Değişme Oranlarına Göre Türkiye'de Yağış Rejimi Tipleri." *Dergipak*, 1990: 169.

TS EN 1991-1-3 (Yapılar Üzerindeki Etkiler Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri). 2007, Ankara.

TS-498 (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Hesap Yükleri). Kasım 1987, Ankara.

TS500 (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları-Şubat 2000). Şubat 2000, Ankara.

TS648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları). 2016, Ankara.

TURHAN, S., & ÇETINER, İ., 2012. Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13.

URPER, O., and YAVUZ. N., 2014. Tek Duvarlı Karbon Nanotüplerin Organik Güneş Pillerinde Elektrot Malzemesi Olarak Kullanılması. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2014.

U.S. Department of Energy, 2019. The History of Solar. Washington D.C.

U.S. Department of Energy, 2020. *Solar Energy Technologies Office Fiscal Year 2019 Funding* .Washington D.C.

VARINCA, K. B., & GÖNÜLLÜ, M. T., 2006. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23.

VICO, G., 2021. Yeni Bilim. Doğu Batı yayınları, İstanbul, 151s.

WHEATON, B. R., 2009.Photoelectric Effect." In *Compendium of Quantum Physic*, by D. Greenberger, K. Hentchel and F. Weinert, 472-475. Berlin: Springer,

YAŞIN, A., 2011. Tarih, Kültür ve Cizre. Kent Işıkları, İstanbul, 544s.