

**FOTOVOLTAİK TASARIMLARIN TEKNİK,
EKONOMİK VE ÇEVRESEL
AÇILARDAN ANALİZİ:
TEKİRDAĞ BAĞCILIK ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ ÜZÜM SUYU
İŞLEME TESİS ÇATISI ÖRNEĞİ
Merve EREMKERE
Yüksek Lisans Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ**

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK TASARIMLARIN TEKNİK, EKONOMİK VE
ÇEVRESEL AÇILARDAN ANALİZİ: TEKİRDAĞ BAĞCILIK
ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ ÜZÜM SUYU İŞLEME TESİS ÇATISI
ÖRNEĞİ**

Merve EREMKERE

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Türkan AKTAŞ danıŐmanlıęında, Merve EREMKERE tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve evresel Açılardan Analizi: Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü zm Suyu İŞleme Tesis çatısı rneği” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Juri BaŐkanı : Prof. Dr. Birol KAYİŐOęLU

İmza :

ye : Prof. Dr. Türkan AKTAŞ (Danışman)

İmza :

ye : Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdür

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK TASARIMLARIN TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL AÇILARDAN ANALİZİ: TEKİRDAĞ BAĞCILIK ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ ÜZÜM SUYU İŞLEME TESİS ÇATISI ÖRNEĞİ

Merve EREMKERE

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

Çevreye verdiği zararlar ve tükenir olmalarından dolayı fosil enerji kaynaklarının tüketimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması için kapsamlı bir şekilde eyleme geçilmesi gerekmektedir. Özellikle tarımsal üretim yapan tesislerde enerji yük talebinin fazla olması, atıl durumda kalan çatı alanları için FV panellerle elektrik üretimi için iyi bir seçenektir. Bu çalışmada; Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi çatı alanı için teorik, saha ve teknik güneş enerji potansiyeli belirlenmiş, yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturularak FV panel kullanımı ile üretilebilecek elektrik enerjisi ve azaltılacak karbon emisyonu miktarları 2 farklı yazılım (PVsyst ve RETScreen) ve 6 farklı tasarım ile simüle edilmiştir. Tesisin elektrik talebinin FV modüllerle karşılanabilirliği değerlendirilmiştir. Tesiste, üzüm suyunun üretildiği Eylül, Ekim ve Kasım aylarında tüketilen enerji miktarı aylık ortalama 4059,822 kWh olarak bulunmuş, 1 litre üzüm suyu üretimi için özgül enerji tüketimi (SET) değeri 0,61 kWh olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, panel açısı 20^0 , azimut açısının 0^0 kabul edildiğinde, teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m^2 bulunmuştur. Tek kristal silisyum (mono-si), çoklu kristal silisyum (poly-si) ve amorf silisyum (a-si) sistem tasarımları için sırasıyla performans oranları; %85,15-%84,39-%80,40 olarak, yıllık elektrik üretimi değerleri ise 1219-1280-1291 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık 23,1 MWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda (mono-si) $10,9 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$; 22,4 MWh elektrik üretimi ile (poly-si) $10,5 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$; 10,3 MWh elektrik üretimi ile (a-si) ise $4,9 \text{ tCO}_2/\text{yıl}$ sera gazı azaltımı sağlanabileceği görülmüştür. Özellikle üzüm suyu üretimi yapılan dönemlerde tesisin elektrik ihtiyacının bir bölümünün çatısına kurulacak FV modüllerle karşılanabileceği görülmüştür. İnce film amorf silisyum panel tipinin kullanıldığı sistem tasarımlarının kWp başına maliyeti düşük olmasına rağmen uygulama yapılan tesisin çatı alanının kısıtlı olması

nedeniyle uygun olmadığı görülmüştür. Tek kristal silisyum ve çoklu kristal silisyum yapıdaki FV sistem tasarımları mali ve verim açısından yaklaşık çıktılar sunmuştur.

Anahtar kelimeler: PVsyst, RETScreen, fotovoltaik sistem tasarımı, enerji fizibilitesi, sera gazı emisyonu

2019, 62 Sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS OF TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PHOTOVOLTAIC DESIGNS: A CASE STUDY ON TEKIRDAG VITICULTURE RESEARCH INSTITUTE GRAPE JUICE PROCESSING BUILDING ROOF

Merve EREMKERE

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

Extensive action is needed to disseminate renewable energy sources rather than consumption of fossil energy sources due to their environmental damage and exhaustion. The high demand for energy load, especially in agricultural production facilities, is a good option for electricity generation with PV panels for dormant roof areas. In this study; theoretical, field and technical solar energy potential determined, annual electricity consumption data set was created and the amount of electricity and carbon emission that can be produced by using PV panels was simulated in 6 different designs with 2 different software (PVsyst and RETScreen) for the roof area of Tekirdağ Vineyard Research Institute Grape Products Processing Plant. The affordability with PV modules of electricity demand of the facility is evaluated. The amount of energy consumed in the plant in September, October and November, when grape juice was produced, was found to be 4059,822 kWh per month and the specific energy consumption (SET) value for 1 liter of grape juice production was calculated as 0.61 kWh. Consequently; when the panel angle is accepted as 20° and the azimuth angle is accepted as 0° , the technical solar energy potential was found to be 1543 kWh / m² annually. Performance ratios for mono-si, poli-si and a-si system designs are calculated as %85,15-%84,39-%80,40 respectively, annual electricity generation per kilowatt is calculated as 1219-1280-1291 kWh / kWp / year. 10.9 tCO₂ / year greenhouse gas reduction can be supplied in case of 23.1 MWh of electricity production per year (mono-si); 10.5 tCO₂ / year with 22.4 MWh of electricity production (poly-si); 10.3 MWh electricity generation (a-si) with 4.9 tCO₂ / year. Particularly during the periods of grape juice production, it has been seen that a part of the plant's electricity needs can be met

with PV modules to be installed on the roof. Thin film a-si type systems are used, although the cost per kWp is low, it is found to be unsuitable due to the limited roof area of the applied plant. PV system designs with mono-si and poli-si silicon structure provide approximate outputs in terms of financial and efficiency.

Keywords: PVsyst, RETScreen, photovoltaic system design, energy feasibility, greenhouse gas emission

2019, 62 Pages

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | iii |
| İÇİNDEKİLER | v |
| ÇİZELGE DİZİNİ | vii |
| ŞEKİL DİZİNİ | viii |
| KISALTMALAR | ix |
| ÖNSÖZ | xi |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1.Dünya Enerji Görünümü | 1 |
| 1.2.Dünya’da Elektrik Üretimi | 3 |
| 1.3.Türkiye’de Enerji Görünümü | 3 |
| 1.4.Güneş Enerjisi ve Potansiyeli | 4 |
| 1.5.Güneş Pilleri | 5 |
| 1.5.1.Monokristal güneş pilleri..... | 6 |
| 1.5.2.Polikristal güneş pilleri..... | 6 |
| 1.5.3.İnce film güneş pilleri..... | 7 |
| 1.5.4.Amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri | 7 |
| 1.5.5.Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri | 8 |
| 1.6.FV Sistem Bileşenleri..... | 8 |
| 1.6.1.Şarj kontrol cihazı..... | 8 |
| 1.6.2.Batarya (Akü) | 8 |
| 1.6.3.İnvertör | 9 |
| 1.7.FV Tasarımların Analizlerini Gerçekleştirmek Amacıyla Kullanılan Yazılımlar..... | 9 |
| 1.8.Tezin Amacı | 10 |
| 2.LİTERATÜR TARAMASI | 12 |
| 3.MATERYAL ve YÖNTEM | 17 |
| 3.1.Materyal..... | 17 |
| 3.1.1.Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi..... | 17 |
| 3.1.2.Meteorolojik veriler..... | 21 |
| 3.1.3.PhotoVoltaic Systems (PVsyst) yazılımı..... | 23 |
| 3.1.4.Renewable Energy Technology Screen (RETSscreen) yazılımı..... | 24 |
| 3.2.Yöntem | 25 |
| 3.2.1.Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi..... | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2.Elektrik tüketimi ve SET değeri hesabı | 26 |
| 3.2.3.Programların kullanımı..... | 27 |
| 3.2.3.1.PVsyst programının kullanımı..... | 28 |
| 3.2.3.2.RETSscreen programının kullanımı..... | 30 |
| 4.BULGULAR ve TARTIŞMA | 33 |
| 4.1.Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Analizi | 33 |
| 4.2.PVsyst Programı Analiz Sonuçları | 34 |
| 4.2.1.Optimum panel açısının belirlenmesi | 34 |
| 4.2.2.Şebeke bağlantılı sistem tasarımlarına ilişkin sonuçlar | 36 |
| 4.2.2.1. Tek kristal silisyum FV Panel için PVsyst sistem tasarımı | 37 |
| 4.2.2.2. Çoklu kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı..... | 40 |
| 4.2.2.3 İnce amorf silisyum FV Panel için sistem tasarımı | 43 |
| 4.3.RETSscreen Programı Analiz Sonuçları | 48 |
| 4.3.1.Tek kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı | 48 |
| 4.3.2.Çoklu kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı..... | 50 |
| 4.3.3.Amorf silisyum FV Panel için sistem tasarımı | 52 |
| 5.SONUÇ ve ÖNERİLER | 56 |
| 6.KAYNAKLAR..... | 59 |
| ÖZGEÇMİŞ | 62 |

ÇİZELGE DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 1.1. Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranları (Anonim 2017)..... | 3 |
| Çizelge 1.2. Kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretimi (GWh) (Anonim 2017)..... | 4 |
| Çizelge 1.3. Yaygın olarak kullanılan bazı tasarım programları..... | 10 |
| Çizelge 3.1. Tekirdağ ilinin meteorolojik verileri (2000-2018) (MGM 2019) | 21 |
| Çizelge 3.2. PVsyst ile yapılan analizlerde kullanılan panel özellikleri | 24 |
| Çizelge 3.3. RETScreen ile yapılan analizlerde kullanılan panellerin özellikleri | 25 |
| Çizelge 4.1. Üzüm suyu işleme tesisi, cihazlar ve enerji tüketimleri..... | 33 |
| Çizelge 4.2. PVsyst programı ile açı seçimi | 34 |
| Çizelge 4.3. Tek kristal silisyum için sistem çıktıları..... | 38 |
| Çizelge 4.4. Şebeke bağlantılı tek kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri | 39 |
| Çizelge 4.5. Çoklu kristal silisyum için sistem çıktıları | 41 |
| Çizelge 4.6. Şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri | 42 |
| Çizelge 4.7. Amorf silisyum ince film için sistem çıktıları..... | 44 |
| Çizelge 4.8. Şebeke bağlantılı ince film amorf silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri | 45 |
| Çizelge 4.9. PVsyst çıktılarına göre şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemlerinin karşılaştırılması | 47 |
| Çizelge 4.10. Tek kristal silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri..... | 48 |
| Çizelge 4.11. Tek kristal silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları.... | 49 |
| Çizelge 4.12. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Mono-si) | 49 |
| Çizelge 4.13. Çoklu kristal silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri | 50 |
| Çizelge 4.14. Çoklu kristal silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları | 51 |
| Çizelge 4.15. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Poly-si) | 52 |
| Çizelge 4.16. Amorf silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri | 53 |
| Çizelge 4.17. Amorf silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları | 53 |
| Çizelge 4.18. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (A-si)..... | 54 |
| Çizelge 4.19. RETScreen çıktılarına göre şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemlerinin karşılaştırılması | 55 |
| Çizelge 5.1. PVsyst ve RETScreen yazılımlarının karşılaştırması..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları (Anonim 2017) | 1 |
| Şekil 1.2. 2016-2040 Yılları arasında yeni politikalar senaryosu dikkate alındığında kaynaklara göre enerji arzı altyapısı için yatırımlar (Anonim 2017) | 2 |
| Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi atlası (GEPA 2018) | 5 |
| Şekil 1.4. Monokristal panel görünümü | 6 |
| Şekil 1.5. Polikristal panel görünümü | 7 |
| Şekil 1.6. İnce film güneş pili | 7 |
| Şekil 1.7. Şarj kontrol cihazı | 8 |
| Şekil 1.8. Batarya | 9 |
| Şekil 1.9. İnvörtör | 9 |
| Şekil 3.1. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü ve üzüm işleme tesisinin uydu görüntüsü | 18 |
| Şekil 3.2. Üzüm ürünleri işleme tesisi bina genel görünümü (AutoCAD) | 19 |
| Şekil 3.3. Üzüm suyu işleme tesisinin genel görünümü | 19 |
| Şekil 3.4. Üzüm suyu tesisi yerleşim planı | 20 |
| Şekil 3.5. Üzüm suyu üretim aşamaları (Morris ve Brady 2004) | 20 |
| Şekil 3.6. Tekirdağ ili güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA 2019) | 22 |
| Şekil 3.7. Süleymanpaşa global radyasyon değeri (kWh/m ² gün) (GEPA 2019) | 22 |
| Şekil 3.8. Süleymanpaşa güneşlenme süreleri (saat) (GEPA 2019) | 22 |
| Şekil 3.9. PVsyst başlangıç arayüzü | 23 |
| Şekil 3.10. RETScreen başlangıç arayüzü | 25 |
| Şekil 3.11. PVsyst'e yeni coğrafi mevkii (TekirdağBağcılık) girilmesi | 29 |
| Şekil 3.12. Bağcılık Araştırma Enstitüsü meteorolojik veriler (Meteonorm 7.2) | 30 |
| Şekil 3.13. RETScreen'e coğrafi konum tanımlamasının yapılması (TekirdağBağcılık) | 31 |
| Şekil 3.14. RETScreen'e meteorolojik verilerin girilmesi | 31 |
| Şekil 4.1. Yaz mevsimi için optimum fotovoltaik panel açısının belirlenmesi | 35 |
| Şekil 4.2. Tüm bir yıl için optimum fotovoltaik panel açısının belirlenmesi | 35 |
| Şekil 4.3. Şebeke bağlantılı sistem şeması (PVsyst) | 36 |
| Şekil 4.4. 20 kW güç üretebilmek için tek kristalli silisyum FV sistem donanımı | 37 |
| Şekil 4.5. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (tek kristal silisyum) | 38 |
| Şekil 4.6. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı tek kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması | 40 |
| Şekil 4.7. 20 kW güç üretebilmek için çoklu kristalli silisyum FV sistem donanımı | 41 |
| Şekil 4.8. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (çoklu kristal silisyum) | 42 |
| Şekil 4.9. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması | 43 |
| Şekil 4.10. 8 kW güç üretebilmek için ince film amorf silisyum yapıli FV sistem donanımı | 44 |
| Şekil 4.11. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (ince film amorf silisyum) | 45 |
| Şekil 4.12. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması | 46 |
| Şekil 4.13. Tek kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği | 50 |
| Şekil 4.14. Çoklu kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği | 52 |
| Şekil 4.15. Amorf silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği | 54 |

KISALTMALAR

| | |
|-------------------------|---|
| AB | :Avrupa Birliği |
| AC | :Alternatif akım |
| A-si | :Amorf silisyum |
| CdS | :Kadmiyum Sülfür |
| CdTe | : Kadmiyum tellür (cadmium tellur) |
| CO ₂ | :Karbondioksit |
| DC | :Doğru akım |
| FV | :Fotovoltaik |
| GaAs | :Galyum Arsenik |
| GEPA | :Güneş enerjisi potansiyel atlası |
| GES | :Güneş enerji santrali |
| GSYİH | :Gayrisafi yurt içi hasıla |
| GWh | :Gigawatt saat |
| kWh | :Kilovat saat |
| kWh/kWp | :Tepe kilovat başına kilovat saat |
| kWh/kWp/gün | :Bir günde tepe kilovat başına düşen kilovat saat |
| kWh/kWp/yıl | :Bir yılda tepe kilovat başına düşen kilovat saat |
| kWh/m ² /ay | :Bir ayda bir metrekareye düşen kilovat saat enerji |
| kWh/m ² /gün | :Bir günde bir metrekareye düşen kilovat saat enerji |
| kWh/m ² /yıl | :Bir yılda bir metrekareye düşen kilovat saat enerji |
| kWp | :Tepe kilovat |
| MGM | :Meteoroloji Genel Müdürlüğü |
| MW | :Megawatt |
| NO _x | :Azot oksitler |
| NREL | :Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratories) |
| OECD | : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü bazen de İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (Organisation for Economic Co-operation and Development) |
| PR | :Performans oranı (performance ratio) |
| RES | :Rüzgar enerji santrali |
| SET | :Spesifik (özgül) enerji tüketimi |
| STK | :Standart test koşulları |
| Si | :Silisyum |

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| SO ₂ | :Kükürtdioksit |
| tCO ₂ | : Ton karbondioksit |
| TE | : Temiz enerji |
| TEP | :Ton eşdeğer petrol |
| UEA | :Uluslararası Enerji Ajansı |
| W/m ² | :Metrekareye düşen vat saat güç |
| YEGM | :Yemilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü |
| YEK | :Yenilenebilir enerji kaynakları |

ÖNSÖZ

Artan enerji tüketimi ve doğal kaynakların azalması, fosil yakıtlara olan bağımlılığın artması ve bu bağımlılıkla ilişkili olumsuz çevresel etkiler, ekolojik sistem için bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Özellikle güneşin sonsuz enerji kaynağı olmasından dolayı güneş enerjisi uygulamalarının geliştirilmesi enerji talebinin karşılanması açısından önemlidir.

Fotovoltaik sistem tasarımları yapılırken hatayı en aza indirmek amacıyla çeşitli modelleme ve simülasyon yazılımları geliştirilmiştir. Simülasyon programları ile yapılan maliyet ve amortisman hesaplamaları, kullanıcıya yatırım yapmadan önce referans oluşturmakta, kullanıcıya enerji talebi ve sistem güvenilirliği esaslarına göre en uygun tasarımın yapılması konusunda yol gösterici olmaktadır. Önerilen tasarımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından bu tür ön çalışmalar önemli ve gereklidir.

Tez çalışması kapsamında, fotovoltaik sistem tasarımı ve tarımsal üretim yapan tesislerde güneş enerjisinin kullanımı amacıyla; seçilen tesis için teknik, ekonomik ve çevresel açıdan analizler yapılmıştır.

Yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, tez çalışmasını yöneten, eleştiri ve önerileriyle bana yol gösteren değerli danışmanım Prof. Dr. Türkan AKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren hocalarımdan Sayın Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU'na, tez çalışmam boyunca gerekli bilgilere ulaşmamda yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Levent TAŞERİ ve Ersin KARACABEY'e, teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme en içten sevgilerimi sunarım.

Temmuz 2019

Merve EREMKERE

(Biyosistem Mühendisi)

1. GİRİŞ

Dünyadaki çevresel problemlerin temelinde karbon kaynaklı fosil yakıtların kullanılması sorunu yatmaktadır. İklim değişikliğinin yanında diğer çevresel problemlerin önüne geçebilmek için, mücadele sürecinde yenilenebilir enerjiler en önemli kaynaklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Yerli ve ark. 2013). Türkiye'nin enerji talebi her yıl yaklaşık %9 oranında artmaktadır. Bu enerjinin karşılanması için daha fazla fosil yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat fosil yakıt kaynaklarının sınırlı ve yakın bir zamanda tükenecek olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde ise yenilenebilir enerji dünya üzerindeki birincil enerjinin yalnızca %11'ni oluşturmaktadır ve 2070'e kadar bu oranın %60'a çıkarılması ön görülmektedir (Hossain ve Badr 2007).

1.1. Dünya Enerji Görünümü

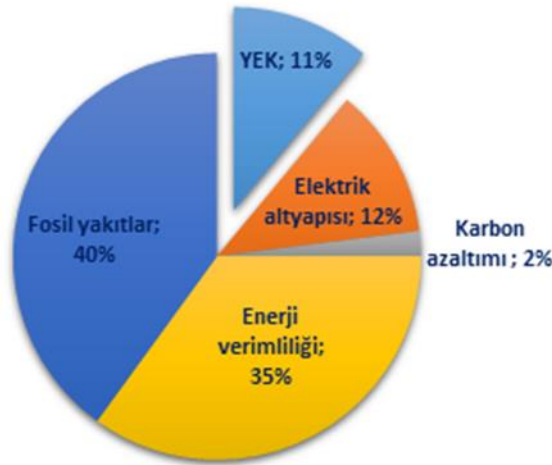
Nüfus ve gelir artışı dünyadaki birincil enerji tüketiminin artmasına neden olan başlıca etkenlerdir. Nüfus artışının gelişmekte olan sanayi ve kentleşmelere bağlı olarak küresel enerji talep artışına önemli miktarda etki edeceği öngörülmektedir (Anonim 2017). TC. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bulunan Strateji Geliştirme Başkanlığı'nın hazırladığı Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü raporunda OECD dışı ülkelerin oluşturacağı enerji talep artışının olası etkisi Şekil 1.1'de verilmiştir. Şekilde nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları görülmektedir (Anonim 2017).



Şekil 1.1. Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları (Anonim 2017)

Enerji kullanımı insanlık refah düzeyi açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilmekte ve gelişen teknolojiye paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Toplum davranışlarındaki değişimin de etkisiyle önümüzdeki 25 yıl içinde enerji talebinin yaklaşık %35 artması beklenmektedir. Dünya enerji konseyinin 2018 BP Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporu'na göre, yenilenebilir enerji, birincil enerjideki %40'luk artış ile, en hızlı büyüyen enerji kaynağını oluşturmaktadır. Toplam talepte yenilenebilir enerjinin payının hidrolik ve biyokütle ile birlikte 2000 yılında % 0.12 iken 2030 yılında % 0.14'e çıkması beklenmektedir. Petrol ve diğer sıvı yakıtlara olan talep artmakta ancak artış oranı son yıllarda giderek azalmakta ve durağanlaşmaktadır. Rapora göre, karbon emisyonları artmaya devam etmekte ve bu durum eyleme geçilmesi gerektiğine işaret etmektedir (Anonim 2018a).

Artan enerji talebi ve çevresel etkiler üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımının artırılması gerektiğini gözler önüne sermektedir. Böylece enerjide dışa bağımlılık da azalmakta ve nakil gereksinimi olmadan, dünyanın her yerinden ulaşılabilir enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması, çevreyi kirletmemesi, insanlığın ihtiyaçlarını karşılayabilmesi gibi birçok avantajı olmasına karşın hala yaygın kullanımı olduğu söylenemez. UEA (Uluslararası Enerji Ajansı) verilerine göre tüm dünyada enerji sektörüne 2016-2040 yılları arasında 66,5 trilyon dolar yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir (Şekil 1.2). Bu yatırımın %11'inin güneş, rüzgar, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olacağı öngörülmektedir (Anonim 2017).



Şekil 1.2. 2016-2040 Yılları arasında yeni politikalar senaryosu dikkate alındığında kaynaklara göre enerji arzı altyapısı için yatırımlar (Anonim 2017)

1.2. Dünya’da Elektrik Üretimi

Her geçen gün elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı artmaktadır. Dünya’da elektrik üretimi için en yaygın kullanılan kaynağın kömür olduğu hemen arkasından ise yenilenebilir enerji kaynaklarının geldiği görülmektedir. Eurelectric (Elektrik Sanayicileri Birliği) tarafından yayınlanan verilere göre 2015 yılında AB’de elektriğin %29’u yenilenebilir enerji kaynaklarından %56’sı ise düşük karbon kaynaklarından üretilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan ve Almanya’da kömür, Rusya’da doğal gaz, Fransa’da nükleer enerji ve Kanada’da yenilenebilir enerji elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır (Anonim 2017).

Çizelge 1.1’de 2017 yılında bazı ülkelerin kaynak bazında üretilen elektrik miktarı oranları verilmiştir. Kanada ürettiği elektriğin yaklaşık %63’ünü yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamıştır.

Çizelge 1.1. Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranları (Anonim 2017)

| ÜLKE | Kömür (%) | Petrol (%) | Doğal Gaz (%) | Nükleer (%) | Yenilenebilir Enerji (%) | Diğer (%) |
|-----------|-----------|------------|---------------|-------------|--------------------------|-----------|
| Fransa | 2,1 | 0,3 | 2,3 | 77,6 | 17,5 | 0,2 |
| Almanya | 45,4 | 0,9 | 9,9 | 15,5 | 28,0 | 0,3 |
| ABD | 39,5 | 0,9 | 26,8 | 19,1 | 13,6 | 0,1 |
| Kanada | 9,9 | 1,2 | 9,3 | 16,4 | 62,8 | 0,0 |
| Çin | 72,5 | 0,2 | 2,0 | 2,3 | 23,0 | 0,0 |
| Hindistan | 75,1 | 1,8 | 4,9 | 2,8 | 15,5 | 0,0 |
| Rusya | 14,9 | 1,0 | 50,1 | 17,0 | 17,0 | 0,0 |
| Dünya | 40,6 | 4,3 | 21,6 | 10,6 | 22,9 | 0,1 |

1.3. Türkiye’de Enerji Görünümü

Türkiye’nin artan enerji talebini karşılamada dışa bağımlılık oranının ve bundan kaynaklı risklerin çok yüksek düzeyde olduğu bilinmektedir. Ekonomik, sosyal göstergelerle birlikte sera gazı emisyonu göstergelerine bakıldığında Türkiye ekonomisi, gelişmiş ülkelere kıyasla, “enerji yoğun” ve “karbon yoğun” olarak değerlendirilmektedir (Mangan ve Oral 2014). Bu değerlendirmeler, ülkemiz için enerji etkin yaklaşımların önemini ve fosil kaynaklı enerji tüketiminin azaltılması gerektiğini göstermektedir.

2016 yılı sonunda ülkemizde 273,4 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Elektrik tüketimi artış hızı ise son 15 yılda ortalama %5,4 seviyelerinde gerçekleşmiş ve 2002 yılında 132,6 milyar kWh olan elektrik tüketimimiz 2016 yılında yaklaşık 2 katına çıkarak 278,3 milyar kWh’e ulaşmıştır (Anonim 2017).

Çizelge 1.2’de 2002-2016 yılları arasında gerçekleşen kaynak bazında Türkiye elektrik

enerjisi üretimi verilmiştir. 2002 yılında rüzgar, jeotermal ve güneş enerjisinden toplam 153 GWh elektrik üretimi yapılırken bu değer 2016 yılında 21.230 GWh'e çıktığı görülmektedir. Bu da ülke genelinde hidrolik enerji üretimi dahil olmak üzere üretilen elektriğin %32'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleştiğini göstermektedir.

Çizelge 1.2. Kaynak bazında Türkiye elektrik enerjisi üretimi (GWh) (Anonim 2017)

| YIL | Termik | Hidrolik | Rüzgar + Güneş + Jeotermal | Toplam | Artış (%) |
|------|---------|----------|----------------------------------|---------|-----------|
| 2002 | 95.563 | 33.684 | 153 | 129.400 | 5,4 |
| 2003 | 150.101 | 35.330 | 150 | 140.581 | 8,6 |
| 2004 | 104.464 | 46.084 | 151 | 150.698 | 7,2 |
| 2005 | 122.242 | 39.561 | 153 | 161.956 | 7,5 |
| 2006 | 131.835 | 44.244 | 221 | 176.300 | 8,9 |
| 2007 | 155.196 | 35.851 | 511 | 191.558 | 8,7 |
| 2008 | 164.139 | 33.270 | 1.009 | 198.418 | 3,6 |
| 2009 | 156.923 | 35.958 | 1.931 | 194.813 | -1,8 |
| 2010 | 155.828 | 51.796 | 3.585 | 211.208 | 8,4 |
| 2011 | 171.638 | 52.339 | 5.418 | 229.395 | 8,6 |
| 2012 | 174.872 | 57.865 | 6.760 | 239.497 | 4,4 |
| 2013 | 171.812 | 59.420 | 8.921 | 240.154 | 0,3 |
| 2014 | 200.417 | 40.645 | 10.901 | 251.963 | 4,9 |
| 2015 | 179.366 | 67.146 | 15.527 | 261.783 | 3,9 |
| 2016 | 184.889 | 67.268 | 21.230 | 273.387 | 4,4 |

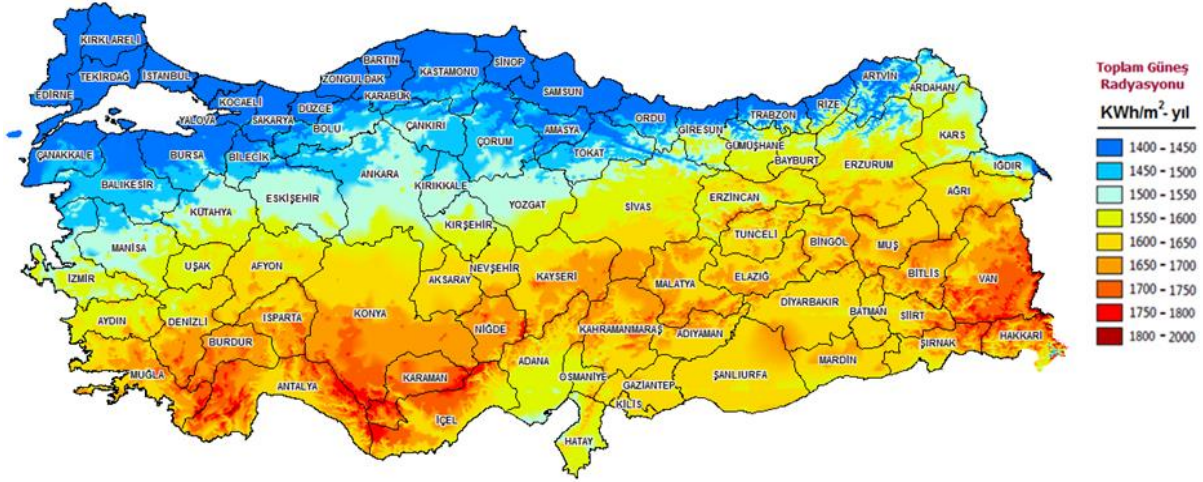
1.4. Güneş Enerjisi ve Potansiyeli

Gün geçtikçe artan nüfus ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle enerji tüketimi artmakta ve enerji talebinin karşılanması için elektrik üretiminde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların tükenir olması ve çevreye zarar vermesi gibi temel sebepler, üretimde alternatif kaynak arayışlarına neden olmaktadır. Böylelikle güneş enerjisi, alternatif üretim kaynağı arayışlarını üzerine çekmiş, büyük bir yatırım alanı haline gelmiştir.

Güneşten Dünya üzerine yıllık olarak 1.9×10^{14} TEP (ton eşdeğeri petrol) karşılığı 1.5×10^{18} kWh'lik bir enerji gelmektedir ve bu tutar, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 15-16 bin katıdır (Yalçın 2010). Fakat bu değer kullanılabilir seviyeye inene kadar bu potansiyel çevre ve verim faktörleri tarafından kayıplara uğratılmaktadır. Bu çevresel etkenlerden ilki atmosfer zayıflamalarıdır. Atmosferde %6'lık yansıma %16'lık sönmüleme kayıpları meydana gelmekte ve yeryüzüne ulaşan ışınım şiddeti saate bağlı olarak 1370 W/m^2 'den 1100 W/m^2 seviyelerine düşmektedir (Kıyanççek 2013). Bir diğer etken ise bulutluluktur. Bulutlu günlerde $50\text{-}200 \text{ W/m}^2$ olan güneş ışınım şiddeti bulutsuz günlerde 1100 W/m^2 'ye kadar çıkmaktadır. Ayrıca artan hava kirliliği güneş ışınlarının

yeryüzüne ulaşmasında %4'e kadar azalmaya neden olmuştur (Liepert 2006).

Ülkemiz coğrafik konumu nedeniyle birçok ülkeye göre güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı konumdadır. Şekil 1.3'de Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası verilmiştir. Ülkemizde en fazla güneş enerjisi alan bölge Güney Doğu Anadolu Bölgesi olmasına karşın diğer bölgelerimizde de güneş enerjisi potansiyeli azımsanmayacak seviyelerdedir.



Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi atlası (GEPA 2018)

Türkiye'de güneş enerjisi alanında yapılan çalışmalar gün geçtikçe artsa da hala bazı mali ve teknolojik engellerin aşılması gerekmektedir. 2018 temmuz ayı sonunda ülkemizde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi 4337 GWh kurulu güç ise 4617 MW'a ulaşmıştır (Anonim 2018b).

1.5. Güneş Pilleri

Güneş enerjisinden elektrik üretiminin artması ve kullanımının yaygınlaştırılması ancak teknolojik gelişmeler ile sağlanabilir. Bu nedenle, kullanılan güneş pillerinin verimliliği artırılmalıdır. Güneş pillerinde güneş enerjisinin taşıyıcı ve yayıcıları olan tanecikli fotonlar, fotovoltaiik hücre üzerine düşünce elektrik enerjisine dönüşürler.

Fotovoltaik olayında; güneş ışığı yarı iletken madde üzerine düştüğünde ışının enerjisi madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları hareket ettirir. İletkenler üzerindeki elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketi sayesinde oluşur. Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları engeller (direnç-yük) üzerinde bırakarak iş yaparlar (Arslan 2018). Birden fazla güneş pilini seri veya paralel bağlayarak güç çıkışı artırılarak fotovoltaiik modüller oluşturulabilir.

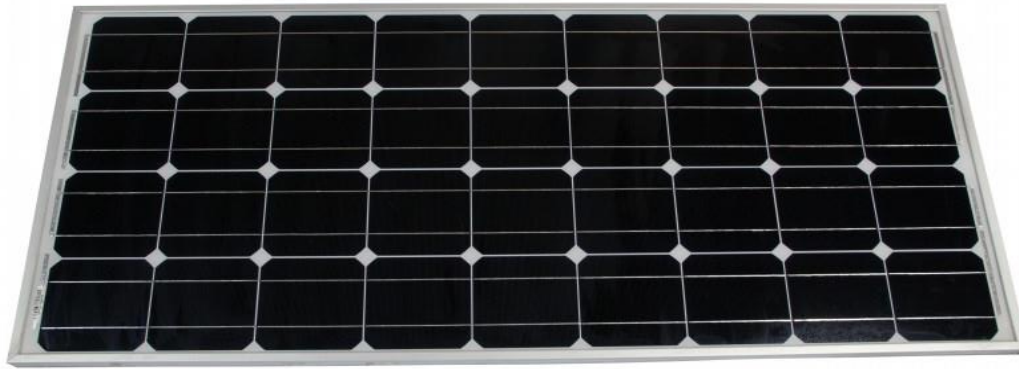
Güneş pili üretiminde, kadmiyum tellür (CdTe), galyum arsenik (GaAs), kadmiyum sülfür (CdS) gibi birçok materyal kullanılsa da en yaygın kullanılan madde silisyum (Si)'dir. Uygulamada en yaygın kullanılanlar güneş pilleri şu şekildedir;

- a. Monokristal Güneş Pilleri
- b. Polikristal Güneş Pilleri
- c. İnce Film Güneş Pilleri
- d. Amorf Silisyum (a-Si) Güneş Pilleri
- e. Kadmiyum Tellür (CdTe) Güneş Pilleri

Monokristal, polikristal ve amorf silisyum yapıları paneller en çok kullanılan tiplerdir ve verimleri sırasıyla; %15-21, %12-19, %5-15 olarak verilebilir.

1.5.1. Monokristal güneş pilleri

Silisyum maddesi elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre koruyabilmesinden dolayı güneş pili yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Arslan, 2018). Bu tip güneş pillerinin verimlerinin yüksek olmasına karşın üretim maliyetlerinin de yüksek olması diğer tip pillere yönelimi arttırmıştır. Şekil 1.4'de monokristal güneş paneli görülmektedir.



Şekil 1.4. Monokristal panel görünümü

1.5.2. Polikristal güneş pilleri

Poli-kristal silisyum üretimde kullanılan yöntem mono-kristal silisyum yöntemine benzemektedir (Karakan ve Oğuz 2015). Elektriksel, optik ve yapısal özellikleri monokristal pillerle aynıdır fakat üretim teknolojisi nedeniyle elde edilebilecek verimlilik monokristal ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha kolaydır ve üretim maliyeti oldukça düşüktür. Maliyeti düşük olduğu için piyasada daha çok bulunmakta ve yatırımcılar tarafından daha çok tercih edilmektedir (Arslan 2018). Şekil 1.5'te polikristal

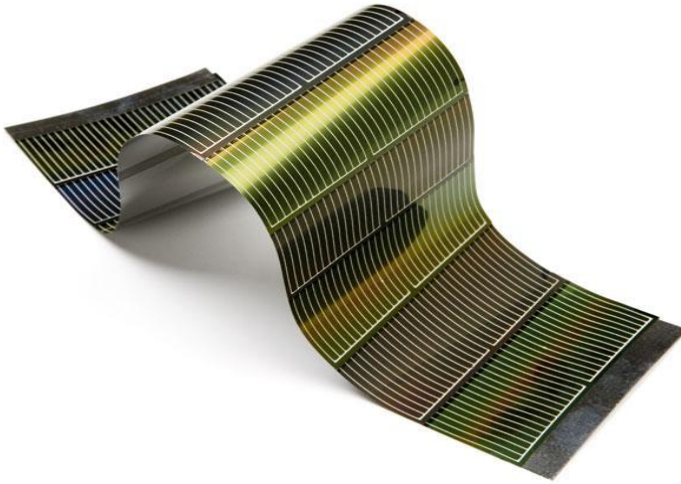
güneş panelin görünümü verilmiştir.



Şekil 1.5. Polikristal panel görünümü

1.5.3. İnce film güneş pilleri

İnce Film güneş pilleri yapımında, ışınları soğurma özelliği üstün olan malzemeler daha ince bir tabaka halinde kullanılır (Şekil 1.6). Örneğin; Amorf Silisyum güneş pillerinin emilim katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile emilebilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu emebilmek için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir (Erkul 2010). İnce film güneş panellerinin verimlilikleri ve fiyatları diğer panellere göre düşüktür.



Şekil 1.6. İnce film güneş pili

1.5.4. Amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri

Verimlilikleri kristal silisyum pillerden daha düşük olmasına karşın; üretiminin basit

olması, daha az malzeme kullanılarak üretilmesi, kolay biçimde birleştirilerek yüksek gerilim elde edilmesi gibi birçok avantajı vardır (Boz 2011). Verimlilikleri düşük olduğundan enerji ihtiyacının fazla olmadığı yerlerde kullanılırlar.

1.5.5. Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri

Kadmiyum tellürün güneş ışınını emme katsayısı yüksek olup ideal bant genişliğine sahiptir. Güneş hücresi verimi %15'ten fazladır ve bu hücreler ile yapılan güneş paneli modülleri ise %9'dan daha fazla verime sahiptir (Küpeli 2005). Kadmiyum tellür diğer ince film güneş pili teknolojilerine kıyasla daha kolay depolama ve daha geniş ölçekli üretime daha uygundur (Arslan 2018).

1.6. FV Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistemlerin güneş pilleri dışındaki diğer önemli bileşenleri; şarj kontrol cihazı, batarya (akü) ve invertör olarak sıralanabilir.

1.6.1. Şarj kontrol cihazı

Güneş panelinden gelen voltaj ve akımı düzenleyen cihazlara şarj kontrol cihazı denmektedir. Akü devresinin yüksek voltaja maruz kalmasını veya fazla şarj olarak zarar görmesini engeller. Akünün sabit bir voltajla şarj olması ve tam dolu olduğunda şarj akımını kesmek olsa da şarj kontrol cihazı birçok farklı işleve sahiptir. Bir fotovoltaik sistemde şarj kontrol cihazının bulunması güvenlik açısından zaruridir. Çünkü, panellerin ürettiği ihtiyaç fazlası voltaj direkt olarak aküye beslendiğinde akü ömrü azalmakta akünün patlama ve yanma riski oluşmaktadır (Anonim 2019b). Şekil 1.7'de bir şarj kontrol cihazı görülmektedir.



Şekil 1.7. Şarj kontrol cihazı

1.6.2. Batarya (Akü)

Güneş enerjisiyle üretilen enerjiyi depolayan ihtiyaç halinde bunu elektrik enerjisi olarak veren cihazlardır (Şekil 1.8). Bakım maliyetleri düşük kullanımı kolay cihazlardır. Kullanım ömrü ortam ısısı, şarj dayanıklılığı gibi etkenlere bağlıdır. Aşınmaya, kristalleşmeye

ve kısa devrelere karşı hassaslardır.



Şekil 1.8. Batarya

1.6.3. İnvörtör

Doğru akımı alternatif akıma, alternatif akımı doğru akıma dönüştüren cihazlardır (Şekil 1.9). Güç dönüştürücü ve evirici olarak da bilinen invörtörlerin amacı tasarruf sağlamaktır. İstenen güç, gerilim ve frekansta akım elde edilmesini sağlar böylece mekanik parça hatalarını azaltarak bu parçaların bakım ve tamir masraflarını azaltır. Ayrıca reaktif enerjiyi azaltarak tasarruf yapılmasını sağlar (Anonim 2019c).



Şekil 1.9. İnvörtör

1.7. FV Tasarımların Analizlerini Gerçekleştirmek Amacıyla Kullanılan Yazılımlar

Güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı her geçen gün artsa da, tüm enerji üretim yöntemleri içindeki payı oldukça düşüktür. Bunun temel sebebi maliyet olsa da kullanıcıların ön yargıları da bir diğer önemli etkidir. Kullanıcılar maliyet ve geri ödeme süresinin çok uzun

olacağını düşünmektedir. Bu aşamada imalatçıya, kurulacak sistemin analizi ve kullanıcıya bu analizin doğru aktarılması konusunda büyük sorumluluk düşmektedir.

FV sistemlerinin binalara uygulanması aşamasında gölgelenme sorunları, panellerin optimum olmayan yönelimleri vb. sorunlar elektrik enerjisi üretiminde kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple yatırımlar öncesinde üretim verimliliğinin artırılması için modelleme ve simülasyon programlarının kullanılması önemli ve gereklidir (Maturi ve ark. 2010).

Birçok firma ve kuruluş yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı noktasında hatayı en aza indirmek amacıyla çeşitli modelleme ve simülasyon yazılımları geliştirmiştir. Bu programlar sayesinde yenilenebilir enerji hesaplamalarını etkileyen iklim, malzeme bilgisi, coğrafi etkiler gibi birçok farklı faktör tek program üzerinde toplanarak kompakt bir hale getirilmiş, tasarımcının hesaplamaları tek ekran üzerinden ve daha rahat yapması sağlanmıştır (Kıyanççek 2013). Simülasyon programları ile yapılan maliyet ve amortisman hesaplamaları, kullanıcıya yatırım yapmadan önce referans oluşturmakta, kullanıcıya enerji talebi ve sistem güvenilirliği esaslarına göre en uygun tasarımın yapılması konusunda yol gösterici olmaktadır. Önerilen tasarımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından bu tür ön çalışmalar önemli ve gereklidir.

Çizelge 1.3’de günümüzde yaygın olarak kullanılan simülasyon programlarından birkaçı ve bunların genel özellikleri verilmiştir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin tümünün tasarımlarını yapabilen programların yanında tümüyle fotovoltaik sistem tasarımı yapabilen programlar da mevcuttur.

Çizelge 1.3. Yaygın olarak kullanılan bazı tasarım programları

| | | |
|---|--|--|
| PVSyst <ul style="list-style-type: none"> • Ücretli • Boyutlandırma • Veri analizi • Malzeme seçimi • Meteorolojik hesap • simülasyon | RETScreen <ul style="list-style-type: none"> • Ücretsiz • Enerji analizi • Maliyet analizi • Emisyon analizi • Finansal analiz • Risk analizi | PVSOL <ul style="list-style-type: none"> • Ücretli • Simülasyon • Boyutlandırma • Sistem verimliliği • Gölgeleme analizleri |
| TRNYS <ul style="list-style-type: none"> • Ücretsiz (Eğitim sürümü) • Sistem potansiyeli • Simülasyon • Malzeme seçimi • Tasarım ve boyutlandırma | HOMER <ul style="list-style-type: none"> • Ücretli ve ücretsiz sürümler • Maliyet analizi • Enerji kaynağı durumu • Teknik analiz | PV Design Pro <ul style="list-style-type: none"> • Ücretli • Enerji maliyet analizi • Dikey ışınma bilgileri • Güç bilgileri • Panel verimliliği |

1.8. Tezin Amacı

Enerji, günümüzde dünyadaki ekonomik ve siyasi gidişatı belirleyen en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir ve vazgeçilmez bir kaynak konumundadır. Fosil yakıtlara olan

bağlılık olumsuz çevresel etkileri beraberinde getirmiş ve ekolojik çevreye geniş ölçüde zarar vermiştir. NREL (2017) raporunda, fotovoltaik ile elektrik üretiminin fosil yakıt kullanılmadığından sera gazı üretmediği ve hiçbir kirlilik yaratmadığını vurgulamıştır. Enerjinin doğru ve verimli kullanımının yanı sıra sera gazının neden olduğu iklim değişikliğinin azaltılması amacıyla özellikle sınırsız kaynak olan güneş enerjisi ile fotovoltaik pillerden elektrik üretiminin desteklenmesi gerekmektedir.

Tarımsal üretimde enerji girdisinin fazla olması ve enerji arzının sürekli artması işletmeler için büyük bir mali kalem oluşturmaktadır. Tarımsal üretim yapan tesislerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile sera gazı azaltımı amacıyla tasarımların yapılması, uygulanması ve devlet tarafından üreticinin bu konuda desteklenmesi oldukça önemlidir.

Bu tezde; tarımsal üretim yapan işletmeler için temiz enerjinin kullanımı yönünde hedef kitleye ulaşmak, güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması için önerilerde bulunmak ve gelecekte bölgeye uygulanması planlanacak fotovoltaik tasarımlar için veri seti oluşturmak amaçlanmaktadır. Seçilen tesis binası için güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, güneş enerjisinden yararlanabilme olanaklarının araştırılması, ve elektrik tüketiminin güneş enerjisi kullanılarak karşılanabilme düzeyinin ortaya koyulması tezin asıl amacıdır. Bu amaç doğrultusunda, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin bulunduğu konumda elde edilen olan mevsimsel güneşlenme verileri dikkate alınarak RETScreen ve PVSyst programları kullanılarak enerji ve mali analiz yapılmış, ve bu tesis binasının çatısında uygulanabilecek bir güneş enerji sisteminin fizibilitesi farklı tasarımlarla değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Işık (2007) yaptığı çalışma ile güneş enerjisinden faydalanma yollarını araştırmış ve bir konutun sıcak su ihtiyacının karşılanması ve güneş enerjisinden elde edilebilecek sıcak su ile kalorifer kazanından sağlanabilecek enerji tasarrufunu araştırmıştır. Simülasyon yapmak için T*SOL Pro 4.4'ü kullanan Işık, kurulacak sistemin dokuz yılda kendini amorti ettiği sonucuna ulaşmıştır.

Akbulut ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada RETScreen programını kullanarak Türkiye şartlarına uygun RES projelerinin ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Türkiye'deki mevzuat ve ekonomik koşullar dikkate alınarak yapılması düşünülen 1-10 MW kapasiteli RES projelerinin fizibiliteleri ve kümülatif nakit akışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda 5 MW üzerindeki RES projelerinin ülke şartlarında daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Yalçın (2010) yaptığı çalışma kapsamında PVsyst programını kullanmış, Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin teorik, saha ve teknik güneş enerjisi potansiyelini belirlemiş, saatlik detayda yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturmuş ve elektrik tüketiminin 2 farklı işletim tipinde ve 3 farklı fotovoltaik yapıda simülasyonunu yaparak fotovoltaik güç elektriği sistemleriyle karşılanma durumunu değerlendirmiştir. Yıllık toplam teorik güneş enerjisi potansiyeli 2918 kWh/m² olan tarımsal işletmede yatayda tam güneşe bakan ve dikeyde 15 derece açıyla yerleştirilen fotovoltaik panellerle kurulacak bir güneş elektriği üretim sisteminin teknik güneş enerjisi potansiyelini 1891 kWh/m²/yıl bulmuştur. Çalışma sonucunda şebeke bağlantılı ince film amorf silisyum FV modül kullanan FV sistemlerin, tarımsal işletme tüketim davranışlarına ve çevre şartlarına en uygun donanım olduğu sonucuna varmıştır.

Girgin (2011) yüksek lisans tezi kapsamında, Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücünde 36 farklı fotovoltaik sistemin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, uygulamada kullanılan altı farklı fotovoltaik panel çeşidi, üç montaj yapısı tipi ve iki farklı evirici modeli için enerji üretimi incelemesi gerçekleştirmiş, enerji üretimi incelemesi için PVsyst programını modelleme amaçlı kullanmıştır. Sonuç olarak, enerji ve ekonomik analizleri gerçekleştirilen sistemleri karşılaştırılmış, mühendislik ve ekonomik açıdan fotovoltaik panelli güneş enerji sistemlerinin birbirlerine göre durumlarını varyasyonel olarak değerlendirmiştir.

Chikh ve ark. (2011), uygulama bölgelerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla FV panel ve batarya kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiş ve PVSSST 1.0 adında bir simülasyon ve boyutlandırma programı geliştirmişlerdir.

Doğan ve ark. (2012) çalışmalarında RETScreen yazılımını kullanmış ve Hatay

yöresinde tesis edilecek 1-5-10 MW güçlerindeki 3 adet RES için maliyet analizi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, ekonomik açıdan minimum 2 MW ve üzeri kapasiteli RES yatırımlarının banka faiz geliri baz alındığında tercih edilebilir olduğunu saptamışlardır.

Yerli ve ark. (2013) çalışmalarında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maslak Yerleşkesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasasına istinaden lisans alma zorunluluğu olmayan 500 kW kurulu güce sahip bir fotovoltaik tesisin ön fizibilite çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, HOMER ve RETScreen enerji model yazılımları kullanmış ve karşılaştırmaya dayalı yorumlar yapmışlardır. Analizler sonucunda fotovoltaik sistem verimliliğinin % 17'lere ulaştığı görülmüştür.

Mangan ve Oral (2014) TOKİ (Toplu Konut İdaresi) tarafından inşa edilmiş bir konut projesinin, Türkiye'nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgelerine yönelik enerji simülasyonlarını yapmış, mevcut enerji tüketimlerinin ve CO₂ salınımının azaltılması için senaryolar geliştirmişlerdir. Enerji simülasyonları, Design Builder simülasyon programı ve PV*SOL Expert programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada enerji simülasyon programı aracılığı ile elde edilen hesaplama sonuçları tartışılarak, enerji etkin yaklaşıma dayalı ileriye dönük yapılacak çalışmalara ışık tutulması hedeflemiştir.

Büyükerzen ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada Konya'nın mevsimsel güneşlenme verilerini dikkate alınarak RETScreen programı ile enerji analizi ve mali analiz yapmış, Konya Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde uygulanabilecek bir güneş enerjisi santralinin fizibilitesini iki farklı senaryo ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada 900 kW kurulu güçlü PV sistemi tasarlanmıştır. İki farklı senaryo oluşturulan çalışmada, ilk olarak sera gazı emisyon azaltım desteğinin olmadığı durum değerlendirilmiş ve sistemin geri ödeme süresi 5.1 yıl olarak bulunmuştur. İkinci senaryoda ise sera gazı emisyon azaltım desteği 15\$/ tCO₂ olarak kabul edilmiş ve sistemin geri ödeme süresinin 4.8 yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu sistem ile Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nin yıllık elektrik ihtiyacının ortalama %16'sının karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Gültuna (2015), Gürsu Bursa Bölgesinde bulunan fotovoltaik güç santralinin teknoekonomik ve çevresel optimizasyonuna yönelik bir simülasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen simülasyon programında elde edilen sonuçları, RetScreen yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak doğrulamış ve elektrik üretimi ve karbon salım miktarında azalma yönünde 1,8 %, amortisman süresinde ise artış yönünde 2,7 % sapma olduğu tespit etmiştir. Sonuç olarak, Polikristalin tipi PV panellerin 25° eğim açısıyla yerleştirilmesinin uygun olduğu tüketim talebinden %80 fazla oranda elektrik üretimi yapılabilecek bir santral kurulmasının teknoekonomik ve çevresel açıdan optimum çözüm

olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi senaryo için amortisman suresinin mevcut durumda 10,4 yıl olduğu, geliştirilen simülasyonda 6,7 yıl, RetScreen simülasyonunda ise 5,9 yıl olduğu bulunmuştur.

Kckoze ve Kaya (2016) alışmalarında, Erzincan ili için 50 kW kurulu gücünde bir güneş enerji santralinin maliyet analizini yapmışlardır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanıp, sistem analizinde PVSyst programı kullanılmıştır. Erzincan iline ait işınım değerleri PVSyst programına aktarılarak yapılan hesaplamalar sonucunda Erzincan ili için kurulması planlanan 50 kW kurulu gücündeki bir güneş enerji santralinin yıllık üreteceği elektrik enerji değerinin 70.500 kWh ve sistemin toplam yatırım maliyetinin ise 76.641 \$ olduğu tespit edilmiştir. Elektrik kullanım senaryosuna göre fotovoltatik santralin ilk yatırım maliyetini karşılama suresinin ise 8,2 yıl olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinden yararlanma da Erzincan ilinin yatırım yapmak için çok elverişli bir bölge olduğunu göstermiştir.

Haydaroğlu ve Gümüş (2016) yaptıkları çalışmada, PVSyst programını kullanarak 250 kWp'lik Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santrali'nin simülasyon ve performans analizlerini yapmışlardır. Simülasyon ile santralin IEC 61724 standardında belirtilen performans kriterlerine uygun olarak performansı analiz edilmiş ve santralin Aralık 2015 ile Nisan 2016 dönemi arasındaki üretim değerleri simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Mutluay (2016) yaptığı çalışmada, FV tasarımına ait simülasyon programları arasından PVSyst programını seçmiş ve program vasıtasıyla Fırat Üniversitesi İletişim Fakültesi Kampüsü önündeki 20 dönümlük arazinin güneş tarlası olarak kullanılabilirliğini teyit etmiştir. Alanda 1 MW'lık fotovoltatik sistem tasarımı için panellerin yönelimleri, ekipmanların yerleştirilmesi, gölgelenme analizi, enerji kayıpları ve enerji verimliliği elde edilmiş ve maliyet analizi yapılarak geri ödeme suresi hesaplanmıştır.

Kahraman ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada bir endüstriyel işletmenin elektrik ihtiyaının FV panellerle karşılanması ve kapalı alanlarının ısıtma-soğutma sistemlerinin incelenmesiyle belirlenen alanlara tavandan radyant uygulamasının yapılması amacıyla binanın mevcut çatısına yerleştirilen FV sistem tarafından üretilebilecek yıllık elektrik miktarını analitik olarak MATLAB algoritması ile hesaplamış ve PVSOL programı kullanılarak kontrol etmişlerdir. Bulunan yük değerlerini DesignBuilder programı ile doğrulayan çalışmacılar, kurulacak 508,8 kWp'lik santralde fotovoltatik sistem tarafından üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarını 792,47 MWh olarak hesaplamışlardır. Böylece işletmenin enerji tüketiminin yaklaşık %33'ünün karşılanacağı belirlenmiş ve geri ödeme suresi 9 yıl olarak bulunmuştur.

Aydın ve unkaş (2018) yaptıkları çalışmada RETScreen yazılımını kullanarak Artvin

Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yasası çerçevesinde lisans alma zorunluluğu bulunmayan 400 kWp güneş enerji sistemi ve 100 kWp rüzgâr enerji sistemini kapsayan bir tesisin fizibilite çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda ayrı ayrı rüzgâr ve güneş enerjileri ile hibrit sistemler incelenerek en uygun ve en kısa sürede mali geri dönüş yapabilen 500 kW'lık hibrit sistem önerilmiştir.

Bingöl ve Özkaya (2018) yaptıkları çalışmada fotovoltaik modülleri farklı şekillerde bağlamış ve gölgelenme etkisini araştırmışlardır. MATLAB/simulink programını kullanarak oluşturulan 6 adet FV modülle çeşitli senaryolarda simülasyonlar oluşturulmuş ve en iyi performansı çapraz bağlantının sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tutaşı (2018) yüksek lisans tezi kapsamında sıcak su ve elektriğe beraber ihtiyaç duyan tüketiciler için FV ve termal sistemlerin ayrı ayrı veya bütünleşik kullanımı için sistem tasarımı yapıp, simülasyon ile üretim değerlerini hesaplamak amacıyla çeşitli analizler yaparak Türkiye'ye uygulanabilirliğini analiz etmiştir. PVsyst yazılımını kullanılarak yapılan çalışma sonucunda fotovoltaik/termal (FV/T) bütünleşik melez sistemlerin, ayrık melez termal ve fotovoltaik sistemlere göre kısıtlı alanda daha yüksek getiri sağladığını belirlemiştir. Ayrıca FV/T sistemlerin kurulabileceği en uygun lokasyonların, farklı getirilere ağırlık verilmesine bağlı olarak, Mersin'in Mut, Silifke ve Gülnar ilçeleri ile Van'ın Merkez ilçesi olduğunu belirlemiştir.

Demiryürek (2018), PVsyst V6.67-TRIAL programı ile şebekeye bağlı FV sistemin tasarımını yapmış, böylece gerçek üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırmayı amaçlamıştır. Araştırmacı, 200 kWp kurulu güce sahip, Lebit Enerji güneş santraline ait bilgileri, PVsyst V6.67-TRIAL programına aktarmış ve simüle etmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen rapor ile sisteme ait kayıplar (termal kaybı, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, inverter kaybı vb.) analiz edilmiş ve yapılan analizde, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık % 0.56'lık bir fark olduğu görülmüştür.

Bilgili (2018), çalışmasında tarımsal üretimde, enerji girdilerinin önemli ve sürekli artan bir maliyet oluşturduğunu vurgulamıştır. Çalışmasında, Çukurova koşullarında modern süt sığırcılığı işletmelerinde elektrik enerjisinin fotovoltaikler ile karşılanması ve karbondioksit azaltımı için PV-Çatı sistemleri tasarımı geliştirmiştir. Bilgili, 5 farklı panel konumlandırma ve 8 farklı eğim açısına göre 40 ayrı modül oluşturmuş, istatistiksel analiz sonucu ve optimum koşullar için şebeke elektriğine alternatif olarak tasarlanan PV-Çatı sistemini, tekno-ekonomik yönden belirlemiştir. Çalışmada, 330 kw'lık kurulu fotovoltaik güç, 2 154 m²'lik panelden elde edilmiş, sistemin geri ödeme süresi 6 yıl ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak hesaplanmıştır.

Arslan (2018) tez çalışması kapsamında; monokristal ve polikristal panellerin Tekirdağ şartlarında verimliliklerini incelemiştir. Gelen ışınım miktarı, akım, gerilim, panelin ürettiği güç parametreleri üzerinden verimleri karşılaştırmıştır. Çalışmada; Tekirdağ ve Batı Marmara bölgesi için en uygun panel tipini belirlemek ve böylece yatırımcılara bilimsel veri sunmak ayrıca uygulamalı ve karşılaştırmalı deney düzeneği yardımıyla verim kayıpları ve gereksiz yatırımların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma ile monokristal panelin Tekirdağ iklimi şartlarında verim ortalaması %15, polikristal panelin ise Tekirdağ iklimi şartlarında verimi % 14,9 olarak ölçülmüştür.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi için elektrik üretiminin ve fotovoltaik tasarımların gerçekleştirilebilmesi için bazı parametreler değerlendirilmiş ve işletmenin enerji kullanımı tespit edilerek fotovoltaik tasarım esasları için değerlendirme yapılmıştır. Bunun için meteorolojik değişkenler kullanılmış ve bölgenin güneş enerjisi potansiyeli saptanmıştır.

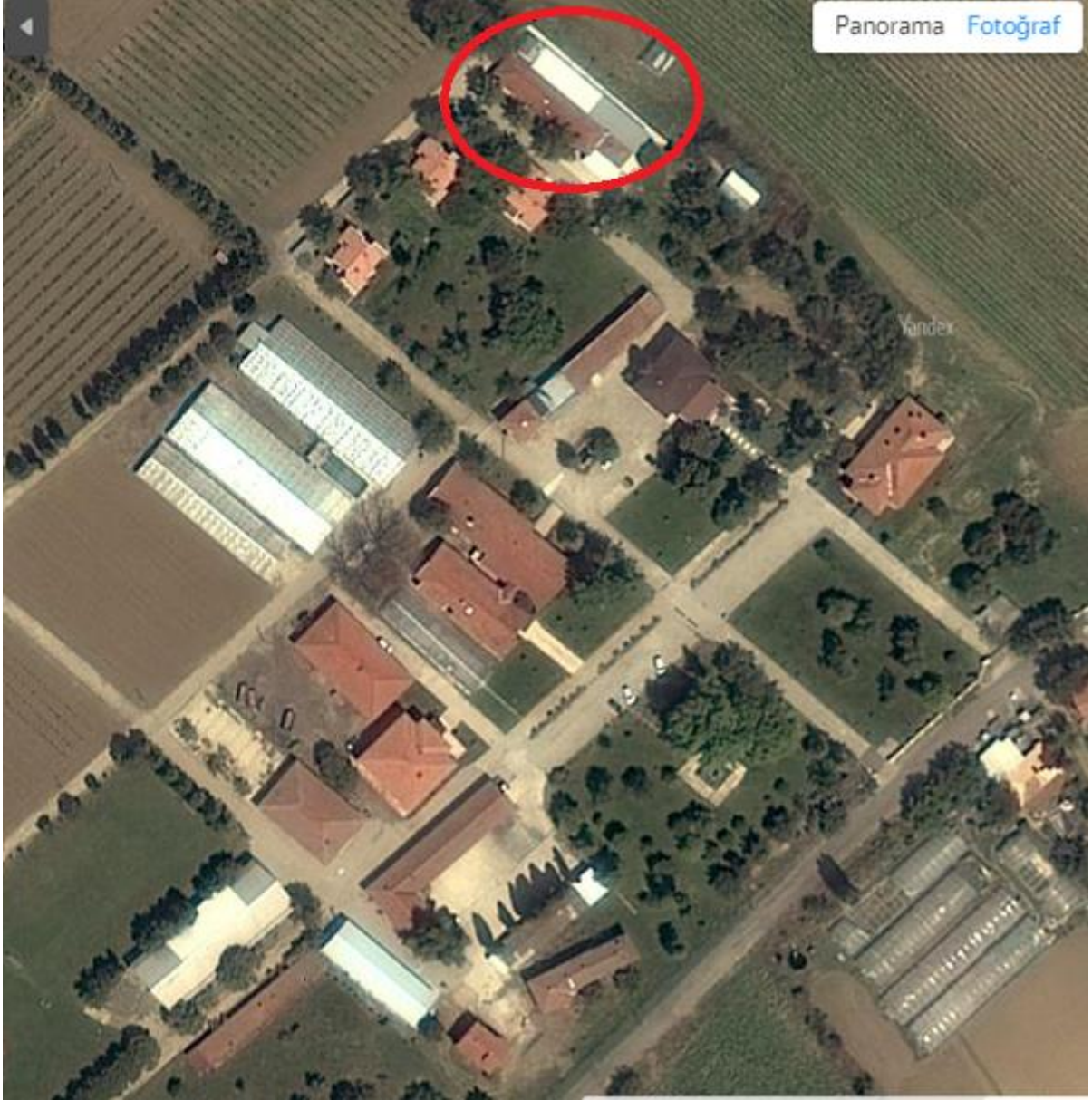
3.1.1. Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi

Bu çalışma T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi'nde yürütülmüştür. Şekil 3.1'de Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsünün uydu fotoğrafından genel görünümü ve Enstitü içinde Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin konumu görülmektedir. Enstitü 40°58'23"N enlem ve 27°28'34"E boylamında yer almaktadır ve rakımı (deniz seviyesinden yüksekliği) 23 metredir. +2 saat diliminde bulunmaktadır.

Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü, 1930 yılında floksera zararlısı nedeniyle yok olan bölge bağlarını, bu zararlıya karşı dayanıklı Asma Amerikan Asma Anaçları üzerinde yeniden tesisine imkan sağlamak üzere, köklü Amerikan Asma Anacı üreterek bağ yetiştiricilerine vermek ve yöre bağcılığının gelişmesine hizmet etmek amacıyla kurulmuştur (Anonim 2018c).

1958 yılından itibaren üretim faaliyetlerine ilave olarak projeli araştırma çalışmalarına da başlamıştır. Bağcılıkta araştırma ve üretim çalışmalarını sürdüren Kurum 1979 yılında projeler kapsamında yer alan diğer kuruluşlarla işbirliği halinde sorunların çözümüne yönelik faaliyetlere başlamıştır. Halen Bağcılık Araştırma Enstitüsü adı altında bir konu kuruluşu olarak çalışmakta ve bağcılığın her aşamasındaki sorunlarına çözümler bulmak üzere araştırma, üretim ve eğitim çalışmalarını sürdürmektedir (Anonim 2018c).

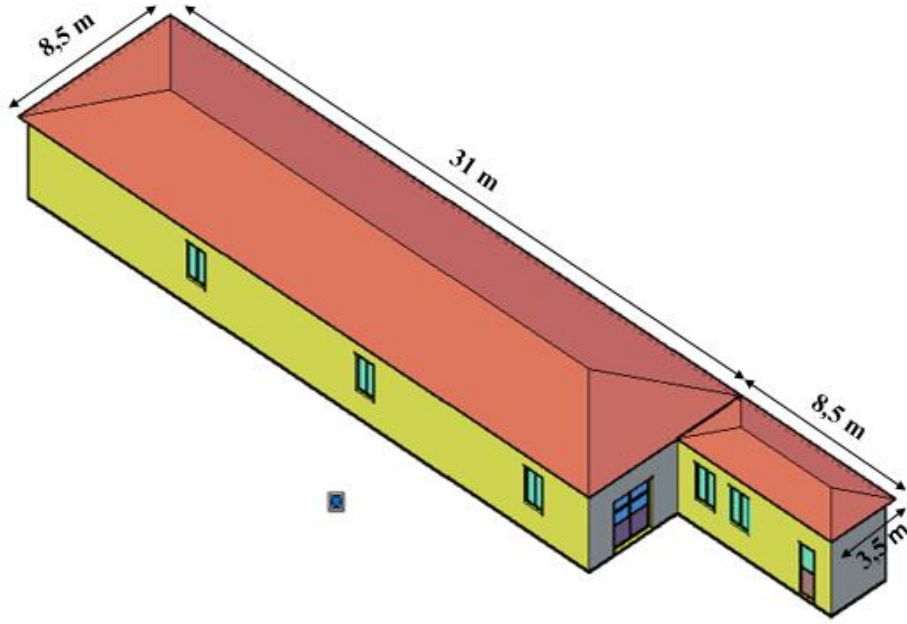
Enstitünün bölgesel görev alanı; Tekirdağ, Kırklareli, Edirne, Çanakkale, Bursa, Yalova, Sakarya, İstanbul, Bilecik, Balıkesir ve Kocaeli'dir. Bağcılık, meyvecilik, bitki sağlığı, toprak ve su kaynakları başlıca çalışma konularıdır (Anonim 2018c).



Şekil 3.1. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü ve üzüm işleme tesisinin uydu görüntüsü

Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinde üzüm suyu ve pekmez konusunda pilot bazda üretimler yapılabilmektedir. Tesis, üzüm hasat döneminde 50 ton yaş üzüm işleyebilme kapasitesine sahip olup, bu konuda yatırım yapmayı düşünen girişimcilere iyi bir örnek teşkil etmektedir. Tesiste üzüm çeşitlerini değerlendirmenin yanı sıra bu işin yaygınlaştırılması amacıyla da çalışmalar yürütülmektedir (Gülcü ve Taşeri 2012).

Çalışma kapsamında fizibilite analizinin yapılacağı Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi bitişik iki binadan oluşmaktadır. Tesisin AutoCAD (2019 deneme versiyonu) kullanılarak çizilmiş olan 3 boyutlu görünümü (3B) Şekil 3.2’de verilmiştir. Binanın toplam çatı alanı yaklaşık 290 m², çatı eğimi 15⁰’dir.

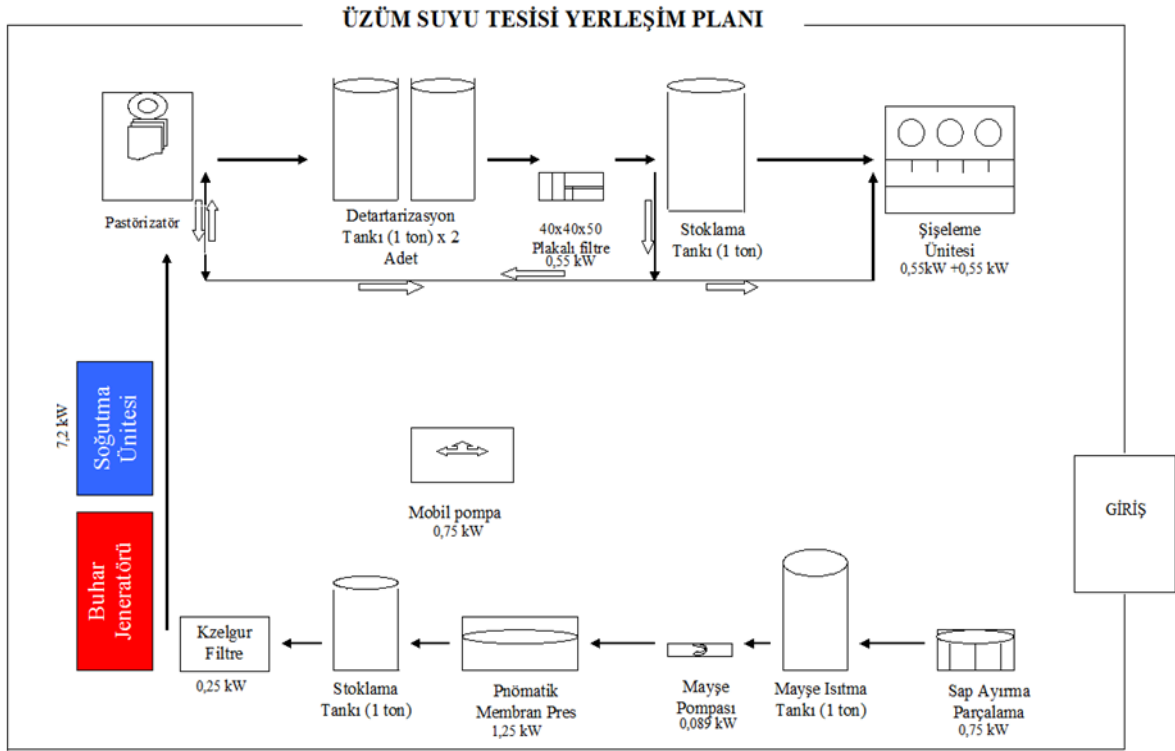


Şekil 3.2. Üzüm ürünleri işleme tesisi bina genel görünümü

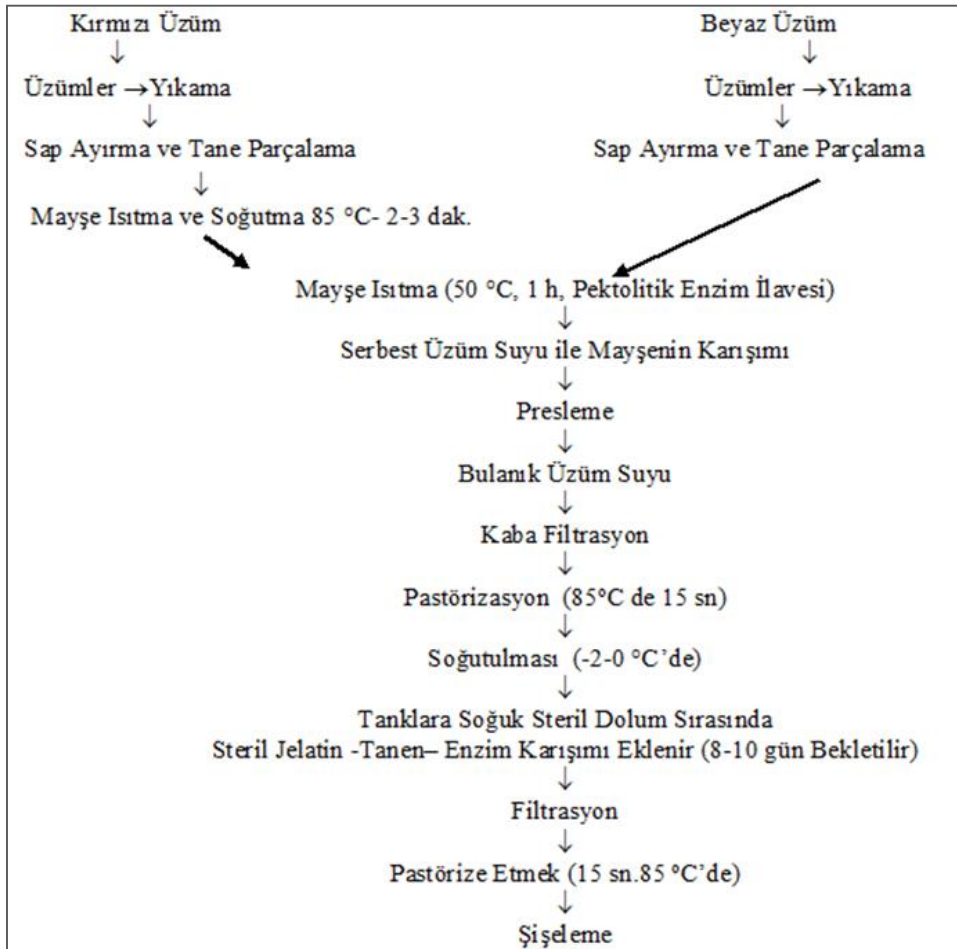
Üzüm suyu tesisinin genel görünümü Şekil 3.3’de görülmektedir. Enstitü’den alınan tesisin yerleşim planı ve tesiste belirtilen işlemler için kullanılan pompa veya elektrik motorlarının enerji tüketim değerleri (etiket değerleri) ise şematik olarak Şekil 3.4’de verilmiştir. Enstitü’den alınan bilgilere göre 2018 yılında tesiste üretilen üzüm suyu miktarı yaklaşık 20 ton’dur. Şekil 3.5’de üzüm suyu üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.3. Üzüm suyu işleme tesisinin genel görünümü



Şekil 3.4. Üzüm suyu tesisi yerleşim planı



Şekil 3.5. Üzüm suyu üretim aşamaları (Morris ve Brady 2004)

3.1.2. Meteorolojik veriler

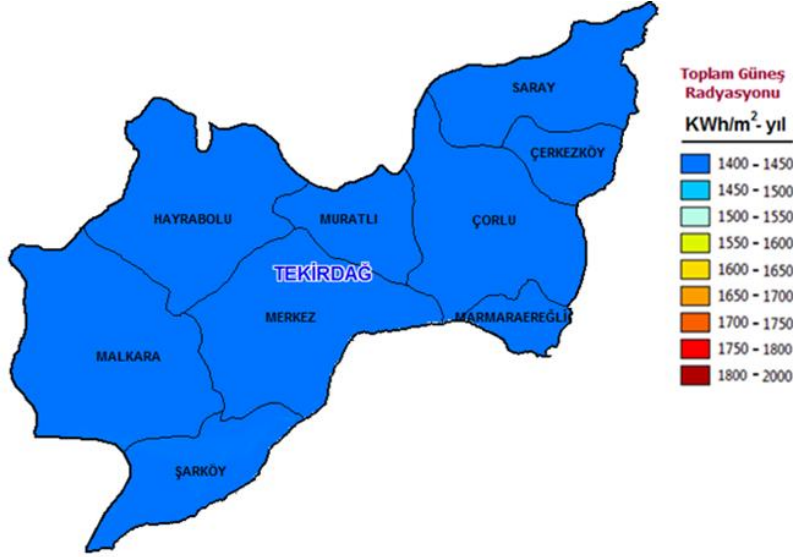
Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi güneş ışınması, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bulutluluk, hava kapalılığı gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Bu değişkenler ayrıca fotovoltaik güneş enerjisi üretim tesislerinin ana teknolojisi olan FV hücre performansını da fazlasıyla etkilemektedir.

Tekirdağ iline ait meteorolojik veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Tekirdağ ilinde sıcak ve ılıman iklim görülmektedir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Tekirdağ ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 15,1 °C yıllık ortalama yağış miktarı 545,8 mm’dir.

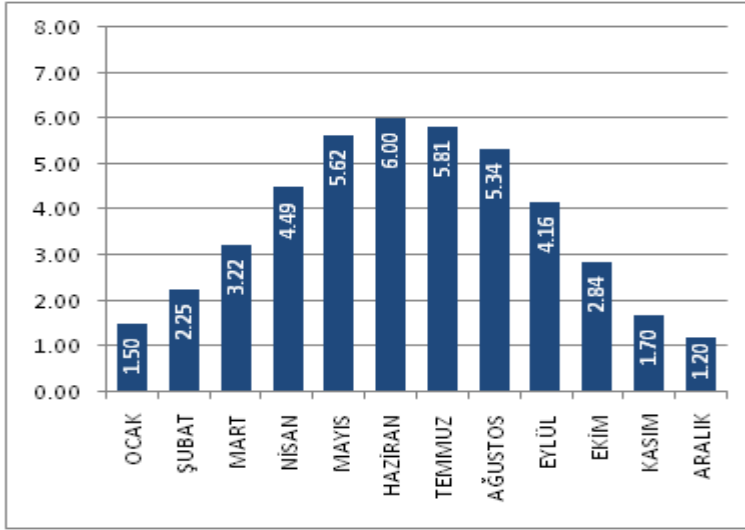
Çizelge 3.1. Tekirdağ ilinin meteorolojik verileri (2000-2018) (MGM 2019)

| Ay | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Ortalama |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Ortalama sıcaklık (°C) | 5,6 | 6,6 | 9,1 | 12,7 | 17,6 | 22,0 | 24,8 | 25,3 | 21,2 | 16,4 | 12,0 | 7,4 | 15,1 |
| En yüksek sıcaklık (°C) | 8,4 | 9,5 | 12,4 | 16,5 | 21,7 | 26,3 | 29,2 | 29,6 | 25,3 | 19,8 | 15,2 | 10,1 | 18,7 |
| En düşük sıcaklık (°C) | 2,9 | 3,6 | 5,8 | 8,9 | 13,5 | 17,7 | 20,3 | 21,1 | 17,2 | 12,9 | 9,0 | 4,7 | 11,5 |
| Yağış miktarı (mm) | 50,5 | 55,3 | 42,1 | 38,5 | 28,2 | 42,2 | 23,1 | 9,4 | 42,8 | 83,9 | 61,2 | 68,5 | 545,8 |
| Rüzgar hızı (km/h) | 9,5 | 9,8 | 9,4 | 8,0 | 8,2 | 8,7 | 9,8 | 10,8 | 9,5 | 9,3 | 9,0 | 9,4 | 9,3 |

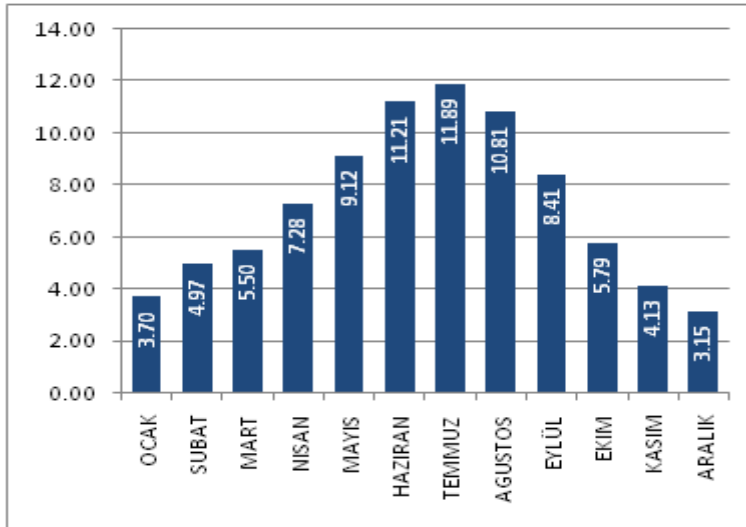
Tekirdağ ilinin güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 3.6 ’da verilmiştir. Merkez ilçe olan ve çalışmanın yürütüldüğü T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü’nün içerisinde bulunduğu Süleymanpaşa ilçesinde global radyasyon değeri (kWh/m² gün) ve güneşlenme sürelerinin (saat) aylara göre dağılımı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir. Süleymanpaşa ilçesinde ortalama güneşlenme radyasyonu 3,68 kWh/m²gün, ortalama güneşlenme süresi 7,16 h/gün’dür.



Şekil 3.6. Tekirdağ ili güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA 2019)



Şekil 3.7. Süleymanpaşa global radyasyon değeri (kWh/m² gün) (GEPA 2019)

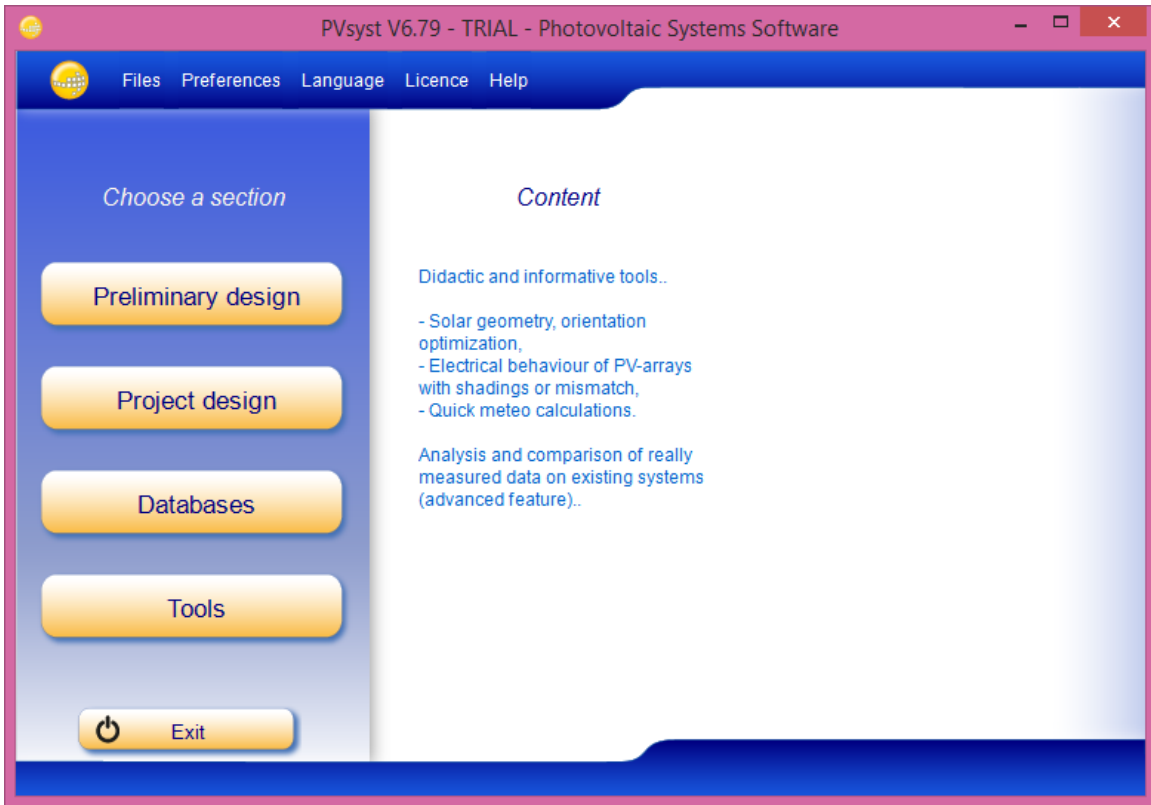


Şekil 3.8. Süleymanpaşa güneşlenme süreleri (saat) (GEPA 2019)

3.1.3. PhotoVoltaic Systems (PVsyst) yazılımı

PVsyst İsviçre'deki Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir simülasyon programıdır. PVsyst yazılımı ile PV sistemleri için boyutlandırma, simülasyon ve veri analizi yapılabilmektedir. Yazılım ile şebekeye entegre sistemlerin modellenmesi yapılabildiği gibi şebekeden bağlantısız sistemlerin de modellenmesi yapılabilmektedir (Anonim 2018d).

PVsyst simülasyon programı, fotovoltaik sistem simülasyonu için sunduğu araçlar ile detaylı analiz yapabilme olanağıyla FV simülasyon programları içerisinde, Dünya'da geçerli olan ve verdiği sonuçların güvenilirliği bakımından kredi imkanı sunabilmesi açısından öne çıkmaktadır. Şekil 3.9'da PVsyst programının başlangıç arayüzü görülmektedir.



Şekil 3.9. PVsyst başlangıç arayüzü

PVsyst yazılımı hesaplamalarını gerçekleştirirken, yazılımın kütüphanesinden elde edilebilecek birçok detayı göz önüne almaktadır. Bu detaylar arasında;

- Meteorolojik veriler
- Bölge kirlilik oranları (Kum fırtınası, çamur yağmuru vb.)
- Ayrıntılı güneş ışınım değerleri
- Gölgeleme analizleri
- Yer yansımaya oranları (Albedo)

- Yerleşim planları
- Güneş paneli yönü ve açısı
- Güneş panelinin özellikleri
- Güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları
- Eviricilerin özellikleri
- Kablo mesafeleri
- Bağlantı noktası sayısı
- Şebeke özellikleri

gibi detaylar yer almaktadır (Girgin 2011).

PVsys, üç aşamada değerlendirilebilir. Bunlar; taslak tasarımı, proje tasarımı ve veri analizi şeklindedir. Ayrıca şebeke bağlantılı fotovoltaik elektrik üretim sistem tasarımı, bağımsız fotovoltaik elektrik üretim sistem tasarımı yanı sıra güneş enerjili pompaj sistemleri için analizler gerçekleştirilebilmektedir. PVsys ile yapılan analizlerde kullanılan panellerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. PVsys ile yapılan analizlerde kullanılan panel özellikleri

| Panel tipi | Tek kristal | Çok kristal | İnce film asi |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| Panel marka | Canadian Solar Inc. | Canadian Solar Inc. | Xunlight Corporation |
| Panel gücü (Wp) | 325 | 325 | 315 |
| Panel verimi (STK) | %19,17 | %16,39 | %6,92 |
| Max. Voltaj (V) | 26 | 32 | 51 |
| Açık devre Voltajı (V_{mpp} 60 °C) | 26,4 | 32,6 | 53,8 |
| Açık devre Voltajı (V_{oc} -10 °C) | 40,9 | 50,3 | 88,7 |

3.1.4. Renewable Energy Technology Screen (RETScreen) yazılımı

RETScreen Temiz Enerji Proje Analiz Yazılımı, Kanada Hükümeti CANMET Enerji Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji biçimlerinin üretim miktarlarını, çevreye etkilerini, teknik ve ekonomik uygulanabilirliklerini değerlendirmek üzere kullanıma sunulmuştur (Anonim 2018e).

RETScreen, potansiyel temiz enerji projelerinin teknik ve finansal uygulanabilirliğini hızlı bir şekilde belirleme, değerlendirme ve optimize etme konusunda araştırmacılara değerlendirme imkanı sunmaktadır. Kurulumdan önce araştırmacılara tesisin gerçek / gerçeğe en yakın performansını kolayca ölçme ve doğrulamasını sağlar ve ek enerji tasarrufu / üretim fırsatları bulmalarına yardımcı olur. Excel tabanlı bir yazılım olan RETScreen araştırmacılara potansiyel yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve kojenerasyon projelerinde teknik ve finansal sürdürülebilirliğin çabuk ve düşük masrafla belirlenmesine yardımcı olur (Anonim 2018e).

Programa projelenmenin yapılacağı tesis tipine göre çeşitli veriler girilmektedir.

RETScreen iklim veri bankasında enlem, boylam, rakım değerleri, aylara göre hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, atmosferik basınç, rüzgar hızı, yer sıcaklığı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçları değerleri görülebilmektedir. RETScreen ile NASA ve Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmış iklim verilerine ulaşılabilmektedir (Akbulut ve ark. 2009). Şekil 3.10’da RETScreen programının başlangıç arayüz görüntüsü verilmiştir. RETScreen ile yapılan analizlerde kullanılan panellerin özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.10. RETScreen başlangıç arayüzü

Çizelge 3.3. RETScreen ile yapılan analizlerde kullanılan panellerin özellikleri

| Panel tipi | Mono-si | Poly-si | A-si |
|--|--------------------------|--------------------------|---------|
| Panel marka | Hyundai Heavy Industries | Hyundai Heavy Industries | Q-Cells |
| Panel gücü (Wp) | 315 | 300 | 125 |
| Panel verimi (%) | 16,23 | 15,49 | 7,03 |
| Çerçeve alanı (m ²) | 1,939 | 1,936 | 1,778 |
| Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (°C) | 45 | 45 | 45 |
| Çeşitli kayıplar | % 15 | % 15 | % 15 |

3.2. Yöntem

Bu bölümde, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü, Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi çatı alanının, güneş enerjisinden yararlanma olanakları

kapsamında sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, tesisin elektrik tüketim davranışları ve tüketimin güneş enerjisi ile karşılanabilirliğini araştırırken kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

3.2.1. Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı yapılırken, güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanabilmek için güneş kolektörleri güneşe karşı doğru açıda yerleştirilmelidir. Bu şekilde daha fazla güneş ışınımının güneş kolektörü yüzeyine dik gelmesi sağlanmaktadır. Güneş geliş açıları, bölgenin coğrafik yapısına ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimlerin etkisini en aza indirmek için güneş kolektörü optimum açıyla yerleştirilmelidir (Çağlar 2018). Azimut açısı FV panellerin güneşe olan yönelmesini ifade eder ve panel yüzeyine düşen ışınımı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Türkiye’de güneşe yönlendirilmiş paneller için azimut açısının 0° olduğu kabul edilmektedir (Yalçın 2010, Girgin 2011, Küçükgoze ve Kaya 2016, Yıldırım ve Aktacir 2019).

Bu çalışmada azimut açısı 0° kabul edilerek işlemler gerçekleştirilmiş ve PVsyst programına azimut açısı girilerek optimum panel eğim açısı belirlenmiştir. Tasarımların yapılacağı tesisin coğrafi konumu, enlem ve boylam değerleri PVsyst ve RETScreen programlarına girildikten sonra; yataya gelen küresel güneş ışınması, panele gelen toplam ışınma, etkili ışınma, günlük güneş radyasyonu değerleri çıktı olarak alınmıştır.

Fotovoltaik bir tasarım yapılırken güneş ışınması verileri girdi olarak kullanılır. Güneş ışınmasının yanında fotovoltaik paneller için albedo etkisi de göz önüne alınmalıdır. Albedo, bir yüzeyin kısa dalga boyu radyasyonunu (görülebilir ışık) yansıtabilme özelliği olarak tanımlanır, 0-1 arasında değer alır (Özek 2009). Albedo değeri çeşitli unsurlardan etkilenmekte olsa da literatür taramaları yapıldığında ve genel olarak 0,30-0,36 arasında değerler ile ifade edildiği görülmüştür (Kenar ve Ketenoğlu 2009, Yalçın 2010). Tasarımlar yapılırken albedo değeri 0,30 alınmıştır.

3.2.2. Elektrik tüketimi ve SET değeri hesabı

Çalışma kapsamında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü’nün elektrik tüketimleri incelenmiştir.

Elektrik enerjisi kullanımı günümüzde ısıtıcılardan, pompalara, aydınlatmadan, elektrik motorlarına geniş bir yelpazedeki alet/ekipman tarafından kullanılmaktadır. Bunların tümüne birden “elektrik tüketicisi”ler denilmektedir (Yalçın 2010). Bu doğrultuda çalışmanın yapılacağı

Enstitü'nün 2018 yılı elektrik faturaları incelenmiş, Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin çalıştığı 3 aylık dönemdeki (Eylül, Ekim ve Kasım ayları) tüketim miktarları değerlendirilmiştir.

Tesis binasında bulunan ve üzüm suyu işleme prosesinde kullanılan cihazların tükettiği enerji miktarları etiket değerlerinden okunarak, tesisin SET değeri hesaplanmıştır. özgül enerji tüketimi (SET), birim ürün başına kullanılan enerjiyi ifade etmektedir. SET değerinin büyümesi kötü performansa, enerji tüketiminin artmasına ve/veya enerjinin verimsiz kullanımına işaret eder (Altan 2017).

SET değeri hesabı aşağıdaki formüle göre yapılmıştır (Altan 2017).

$$SET = \frac{ET}{\dot{U}M}$$

Burada;

ET : Sistemin elektrik enerjisi tüketimi (kWh)

$\dot{U}M$: Üretim miktarı (litre)

3.2.3. Programların kullanımı

Fotovoltaik modüller ilke olarak benzerlik gösterebilir de yapısal özellikler ve üretim şekli olarak farklılık göstermektedirler. Uygulamada en çok kullanılan modüller; monokristal silisyum, polikristal silisyum ve ince film – amorf silisyum güneş pilleri şeklindedir. Bu nedenle bu üç güneş pilinin kullanıldığı tasarımlar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Üzüm ürünleri işleme tesisinin güneş enerjisi potansiyeli ve elektrik enerjisi tüketim seyri belirlenmiştir. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi potansiyeli ile talep edilen elektrik enerjisi ihtiyacının tamamının veya bir kısmının karşılanabilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla tesisin bulunduğu konumda elde edilen olan mevsimsel güneşlenme verileri dikkate alınarak RETScreen ve PVSyst programları kullanılarak enerji ve mali analiz yapılmış, ve bu tesis binasının çatısında uygulanabilecek bir güneş enerji sisteminin fizibilitesi farklı tasarımlarla değerlendirilmiştir. Binanın mimari projesi dikkate alınarak güneş panellerinin yerleştirilebileceği güney cephe çatı alanları hesaplanarak, kullanılacak olan panel adedi ve konumlandırılmaları belirlenmiştir. Seçilen panellerin ve eviricilerin bilgileri, eğim açısı, azimut açısı ve konum bilgileri RETScreen ve PVSyst programlarına girilerek sistemin teknik, enerji, çevresel ve mali analizleri yapılmış, oluşturulan tablo ve grafikler yorumlanmıştır. Ayrıca FV sisteminin farklı bileşenleri bir araya getirilerek, sistemin performansı ile uygunluğu analiz edilmiş, sera gazı emisyon azaltım miktarları saptanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, montaj pozisyonu, FV teknolojileri dikkate alınarak, şebeke bağlantılı, merkezi invertörlü, sabit açılı, ülkemizde de en fazla kullanılan teknolojilere sahip (tek kristalli silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum ince film) üç ayrı FV yapıda sistemin tasarımı yapılarak birbirleriyle kıyaslanmıştır. İki ayrı program kullanılmış sonuç kısmında çalışma çıktıları karşılaştırılmıştır, böylece tüm şartlar aynı olmak kaydıyla, farklı montaj ve teknik özelliklere sahip olarak tasarlanmış FV yapılarından hangisinin söz konusu bina için uygun olduğu belirlenmiştir.

3.2.3.1. PVsyst programının kullanımı

Tasarımların yapıldığı programlardan ilki Cenevre Üniversitesi Enerji Grubu Çevre Bilimleri Enstitüsü (Institute for the Science of the Environment Group of Energy, University of Geneva) tarafından geliştirilen PVsyst paket programıdır. PVsyst paket programı ile elde edilen elektriksel değerler, performans ve verimlilik değerleri gerçek değerler ile karşılaştırıldığında $\pm\%5$ 'lik bir fark ortaya çıkmaktadır.

Tasarımlar yapılırken, çatı alanının elverdiği ölçüde üretilebilecek maksimum güç dikkate alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Panel yüzeyine gelen güneş ışınması miktarı üretilecek güç miktarını belirleyen en önemli unsurdur bu nedenle optimum panel eğim açısının doğru seçilmelidir. Ayrıca, açılal dönüşüm faktörünün en yüksek, sistem kayıplarının ise en düşük olduğu panel eğiminin seçilmesi sistem verimini arttırmaktadır. Açılal dönüşüm faktörü panel yüzeyine gelen güneş ışınımının yataya gelen güneş ışınımına oranı olarak ifade edilmektedir (Yalçın 2010).

Panel, evirici ve diğer sistem unsurları seçilirken dikkat edilmesi gereken ayrıntılar vardır, bu ayrıntıların yanlış seçilmesi sistem çıktısında büyük teknik ve ekonomik kayıplara neden olabilir. Evirici girişine bağlanan tüm modül dizileri aynı özelliklere sahip homojen diziler olmalı ve yönelimleri aynı açıda olmalıdır (Anonim 2018d).

Bu çalışmada, PVsyst programının ücretsiz 30 günlük deneme sürümü kullanılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. PVsyst programı ile şebeke bağlantılı merkezi eviricili sabit açılı, en yüksek enerji tüketilen mevsim esas alınmış; tek kristalli silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum ince filminden oluşan fotovoltaik sistem tasarımları yapılmıştır.

Yazılıma ilk olarak coğrafi konum tanımlanmıştır. Tasarımın yapılacağı yerin enlem ve boylam değerleri, rakımı ve zaman dilimi sisteme girilmiştir (Şekil 3.11). PVsyst Meteororm 7.2'den aldığı meteorolojik verileri kullanmaktadır. Bağcılık Araştırma Enstitüsü için elde

edilen meteorolojik değerler Şekil 3.12’de verilmiştir. Yazılıma coğrafi konum belirlendikten sonra, albedo değeri tüm aylar için 0,30 olarak tanımlanmıştır.

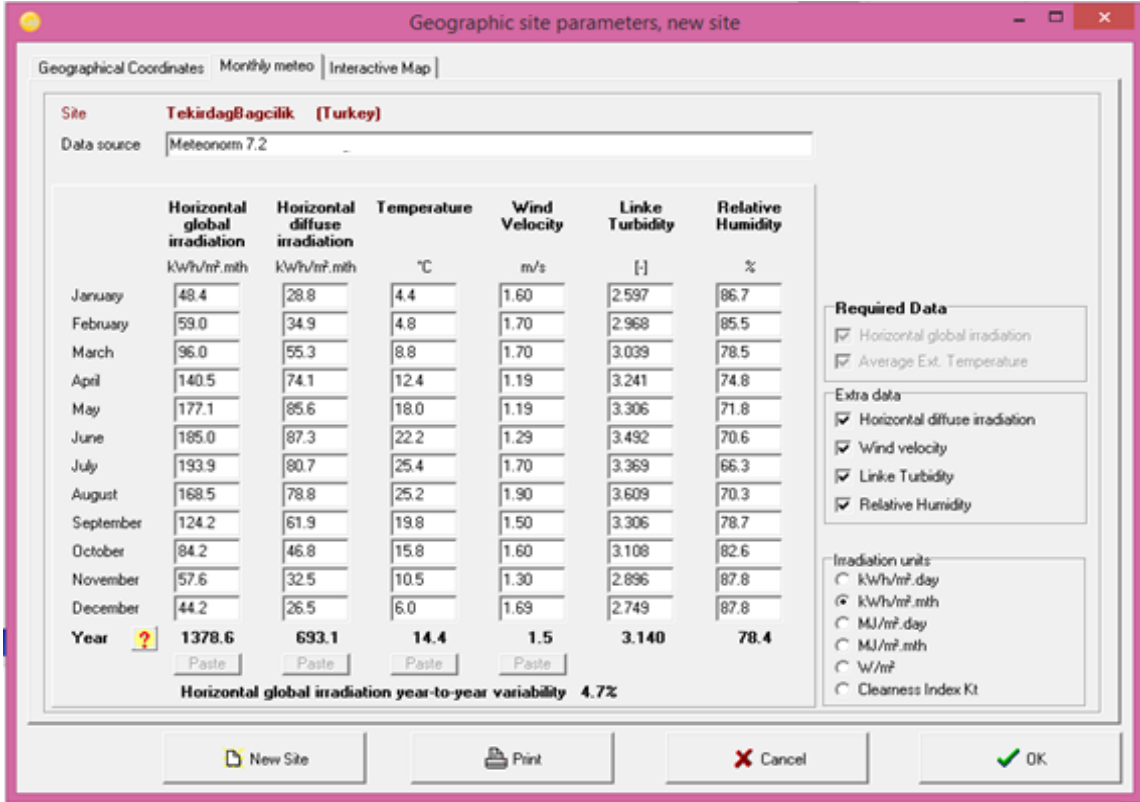
Coğrafi bilgisi ve azimut açısı girilen programdan optimum panel açısı hesaplanmıştır. Belirlenen optimum panel açısı, coğrafik veriler ve istenen panel tipine göre tasarımlar gerekleŐtirilmiŐ, invertör seçimi yapılmıştır. Simlayon analizleri gerekleŐtirilmiŐ ve çıktılar değerlendirilmiştir.

The screenshot shows the 'Geographic site parameters, new site' dialog box in PVsyst software. The dialog is divided into several sections:

- Location:** Site name: TekirdagBagcilik; Country: Turkey; Region: Europe. A 'Get from coordinates' button is present.
- Geographical Coordinates:** Latitude: 40.9720 (Decimal) / 40 58 19 (Deg. min. sec.); Longitude: 27.4759 (Decimal) / 27 28 33 (Deg. min. sec.); Altitude: 23 M above sea level; Time zone: 2.0. A 'Sun paths' button is present.
- Meteo data Import:** Radio buttons for Meteonom 7.2 (selected), NASA-SSE, PVGIS TMY, and NREL / NSRDB TMY. An 'Import' button is present.
- Tabular I/O (Excel):** Buttons for Import, Export line, and Export table.

The bottom of the dialog has buttons for 'New Site', 'Print', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 3.11. PVsyst’e yeni coğrafi mevkii (TekirdagBagcilik) girilmesi



Şekil 3.12. Bağcılık Araştırma Enstitüsü meteorolojik veriler (Meteonorm 7.2)

3.2.3.2. RETScreen programının kullanımı

Tasarımların yapıldığı ikinci program Kanada Hükümeti CANMET Enerji Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilen RETScreen'dir. Bu program ile de şebeke bağlantılı merkezi eviricili sabit açılı, en yüksek enerji tüketilen mevsimin esas alındığı; tek kristalli silisyum, çoklu kristal silisyum ve amorf silisyum ince filminden oluşan fotovoltaik sistem tasarımı yapılmış, çevresel etki ve finansal açıdan birbirleriyle karşılaştırılmıştır. RETScreen ile oluşturulan tasarımlarda sera gazı emisyon azaltım desteği ve Temiz Enerji (TE) Üretim Geliri desteğinin olduğu durumlar değerlendirilmiştir.

Yazılıma ilk olarak PVsyst yazılımında olduğu gibi coğrafi konum tanımlanmıştır. Tasarımın yapıldığı yerin enlem ve boylam değerleri, rakımı ve zaman dilimi sisteme girilmiştir. Şekil 3.13'de yazılımdan alınan, Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nün uydu fotoğrafı görülmektedir. RETScreen, NASA'dan aldığı meteorolojik verileri kullanmaktadır, fakat kullanıcı tanımlı veri girişi de yapılabilmektedir. MGM'den alınan hava sıcaklığı, yağış ve GEPA'dan alınan günlük güneş radyasyonu değerleri programa girilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. RETScreen'e coğrafi konum tanımlamasının yapılması (TekirdağBağcılık)

| | Birim | Klim veri yeri | Tesisin bulunduğu yer | Kaynak |
|---------------------------|-------|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| Enlem | | 41,0 | 41,0 | |
| Boylam | | 27,5 | 27,5 | |
| İklim bölgesi | | 4A - Kağık - Nemli | | Yer+NASA |
| Rakım | M | 3 | 23 | Yer - Kullanıcı tanımlı |
| Isıtma tasarım sıcaklığı | °C | -2,7 | | Yer |
| Soğutma tasarım sıcaklığı | °C | 28,6 | | Yer |
| Yer sıcaklığı amplitüdü | °C | 21,2 | | NASA |

| Ay | Hava sıcaklığı | Bağıl nem | Yağış | Günlük güneş radyasyonu - yatay | Atmosferik basınç | Rüzgar hızı | Yer sıcaklığı | Isıtma derece-gün 18 °C | Soğutma derece-gün 10 °C |
|---------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| | °C | % | mm | kWh/M ² /g | kPa | M/s | °C | °C-g | °C-g |
| Ocak | 5,6 | 83,1% | 50,50 | 1,50 | 99,6 | 2,6 | 4,3 | 397 | 0 |
| Şubat | 6,6 | 80,7% | 55,30 | 2,25 | 99,4 | 2,8 | 5,3 | 364 | 0 |
| Mart | 9,1 | 80,5% | 42,10 | 3,22 | 99,3 | 2,7 | 9,2 | 335 | 0 |
| Nisan | 12,7 | 79,2% | 38,50 | 4,49 | 99,0 | 2,2 | 14,9 | 186 | 54 |
| Mayıs | 17,6 | 77,5% | 28,20 | 5,62 | 99,0 | 2,2 | 21,0 | 50 | 198 |
| Haziran | 22,0 | 75,2% | 42,20 | 6,00 | 98,9 | 2,2 | 26,2 | 0 | 330 |
| Temmuz | 24,8 | 71,8% | 23,10 | 5,81 | 98,9 | 2,6 | 28,9 | 0 | 422 |
| Ağustos | 25,3 | 73,1% | 9,40 | 5,34 | 98,9 | 2,8 | 28,5 | 0 | 425 |
| Eylül | 21,2 | 76,0% | 42,80 | 4,16 | 99,2 | 2,5 | 24,7 | 0 | 306 |
| Ekim | 16,4 | 80,2% | 83,90 | 2,84 | 99,5 | 2,6 | 18,1 | 78 | 171 |
| Kasım | 12,0 | 83,3% | 61,20 | 1,70 | 99,5 | 2,6 | 10,7 | 231 | 9 |
| Aralık | 7,4 | 84,0% | 68,50 | 1,20 | 99,6 | 2,8 | 5,6 | 350 | 0 |
| Yıllık | 15,1 | 78,7% | 545,70 | 3,68 | 99,2 | 2,5 | 16,5 | 1.990 | 1.914 |
| Kaynak | Kullanıcı tanımlı | Yer | Kullanıcı tanımlı | Kullanıcı tanımlı | NASA | Yer | NASA | Yer | Yer |

Şekil 3.14. RETScreen'e meteorolojik verilerin girilmesi

Coğrafi veriler girildikten sonra tesis tipi ve tesis gücü tanımlanmıştır. Çevresel analiz yapılarak, planlanan tesisin kurulması durumunda çevreye salınımının önüne geçilebileceği CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Enerji, maliyet ve finansman analizler gerçekleştirilerek veriler analiz edilmiş ve rapor halinde alınmıştır.

RETScreen'de finansman analizleri yapılırken aşağıdaki kabuller kullanılmıştır;

- Türkiye'de devlet 0.133 \$/kWh'ten enerji alım garantisi vermektedir.
- 01.01.2019 tarihinde 1 dolar 5,38 TL'dir.
- Sistem tasarımı yapılırken kümülatif enflasyon oranı %20 alınmıştır.
- Elektrik ihracat eskalasyon oranı %2,
- İskonto ve yeniden yatırım oranları %9,
- Sera gazı azaltma kredi oranı 15 \$/tCO₂,
- Temiz Enerji (TE) kredi oranı 0,007\$/kWh,
- TE Üretim Kredi Eskalasyon Oranı % 2 'dir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Analizi

Çalışmanın yapıldığı tesisin 2018 yılı elektrik faturaları incelendiğinde, enstitü toplamında yıllık 188 168,96 kWh elektrik enerjisi tüketildiği görülmüştür. Üzüm suyu işleme tesisinin çalışmadığı aylarda elektrik enerjisi tüketimi aylık ortalama 14 665,79 kWh iken üzüm suyu işleme tesisinin çalıştığı eylül, ekim ve kasım aylarında ise tüketimin arttığı görülmüştür. Faturalar incelendiğinde tesisin çalıştığı aylarda elektrik tüketiminin aylık ortalama 4 059,822 kWh arttığı, bu tesis binasına kurulacak panellerle tesisin çalıştığı aylarda binanın, tesisin çalışmadığı aylarda ise enstitünün geri kalan birimlerinde üretilen elektriğin kullanılabilceği öngörülmektedir.

Üzüm suyu işleme tesisindeki cihazların enerji tüketimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Soğutma ünitesi, pres, pastörizatör, meyşe pompası, pres aktarma pompasının üretim süresince sürekli çalıştığı diğer cihazların ise proses işlemi sırasında çalıştırıldığı bilinmektedir. Tesiste gün içerisinde 1,4 ton üzüm işlenerek 1 ton üzüm suyu üretilmektedir. Tesiste günlük ortalama elektrik tüketimi 67,66 kWh olarak hesaplanmıştır. Tesisin çalıştığı aylardaki elektrik tüketimi dikkate alındığında SET değeri 1 litre üzüm suyu için yaklaşık 0,61 kWh olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Üzüm suyu işleme tesisi, cihazlar ve enerji tüketimleri

| CİHAZLAR | ENERJİ TÜKETİMLERİ (kW) |
|--|--------------------------------|
| Evaporatör vakum pompası | 4,3 - 6,6 |
| Filtreye aktarma pompası | 0,25 |
| Soğutma tankı karıştırıcısı | 0,75 – 0,85 |
| Şişeleme | 0,55 |
| Şişe kapama makinası | 0,55 |
| Presten makineye aktarma pompası | 1,1 – 1,25 |
| Meyşe aktarma pompası | 0,089 |
| Evaporatör karıştırıcı pompa | 0,55 |
| Pres balonu şişirme cihazı | 0,55-0,63 |
| Pres kompresör | 0,7 |
| Yıkama makinası bantlı konveyör motoru | 0,75 |
| Soğutma kulesi su pompası | $1 * 10^{-3}$ |
| Soğutma ünitesi (2 adet) | 7,2 |
| Brülör | 0,55 |
| Aydınlatma (11 adet, floresan) | $18 * 10^{-3}$ |

4.2. PVsyst Programı Analiz Sonuçları

4.2.1. Optimum panel açısının belirlenmesi

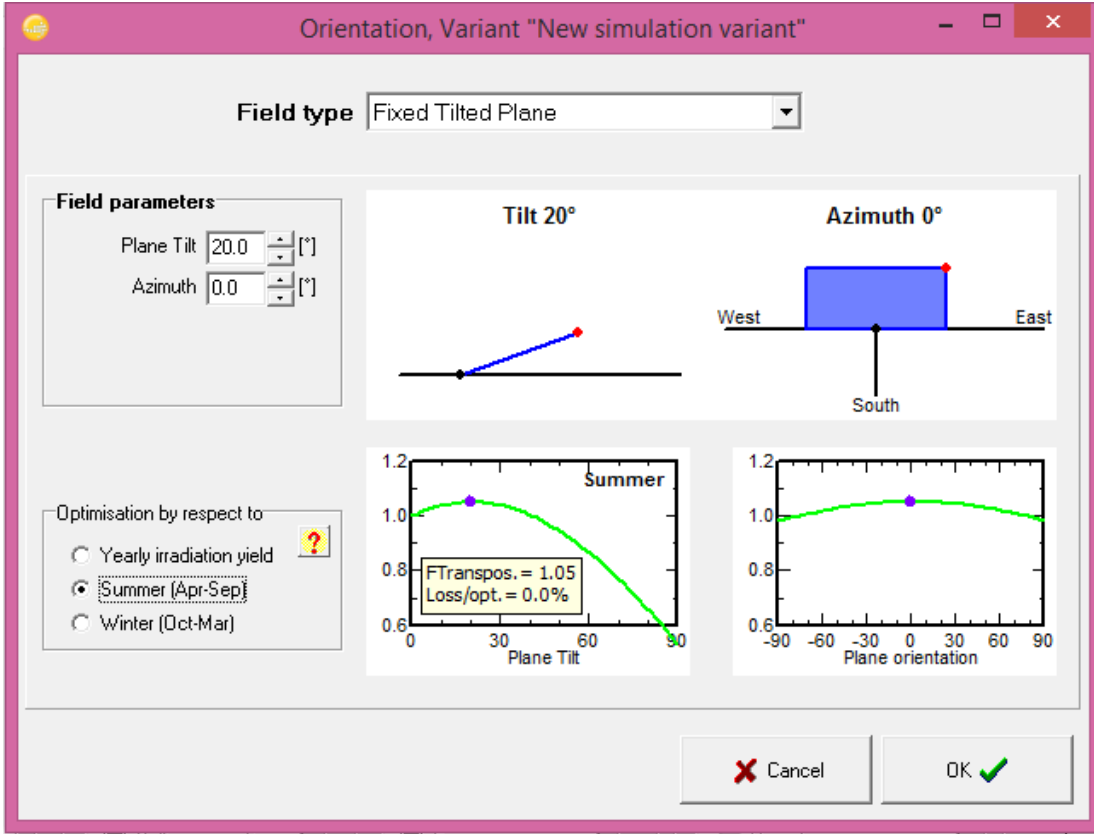
Tesis faturaları incelendiğinde; elektrik enerjisi yükünü karşılamak amacıyla uygulanacak bir FV sistemin, tüketimin en çok olduğu yaz dönemi baz alınarak tasarlanmasının daha uygun olduğu görülmektedir. Gerek çalışmanın yapıldığı Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi'nin üretim seyrinin yaz aylarına denk gelmesi gerekse güneşin gün ve yıl içerisindeki gökyüzünde kalış süresinin yaz aylarında kışa göre uzun olması nedeniyle yaz dönemine göre fotovoltaik panel açısı seçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 4.2'de PVsyst yazılımı ile yapılan optimum panel açısı seçimi için FV eğimlere göre açısız dönüşüm faktörü, kayıplar ve yüzey ışıması değerleri verilmiştir. Yapılan analizlere göre; bölgede, yaz döneminde açısız değişim faktörünün (transition factor) en yüksek, kayıpların en düşük olduğu fotovoltaik panel açısı 20 derece optimum olarak bulunmuştur, bu koşullarda açısız dönüşüm faktörü 1.05, kayıpları % 0.0'dır (Şekil 4.1). Yıllık dönem için 32 derecelik, 1.14 dönüşüm faktörü, % 0.0 kayıpları olan optimum panel açısı uygunken (Şekil 4.2), kış döneminde dönüşüm faktörü 1.49, kayıpları % 0.0 olan 52 derecelik panel açısının uygun olduğu görülmüştür.

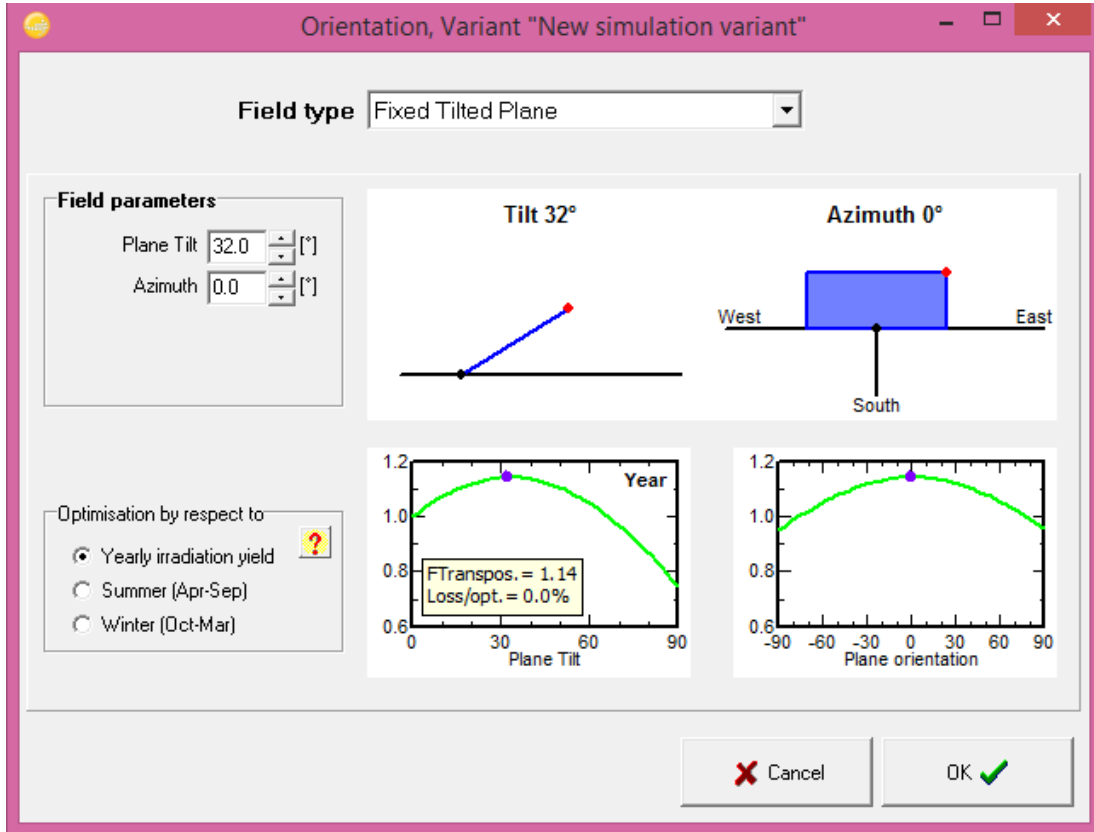
Çizelge 4.2. PVsyst programı ile açı seçimi

| FV eğimi (°) | Dönem | Açısız dönüşüm faktörü, Ft | Optimum eğime göre kayıp, % | Yüzey ışıması kWh/m ² |
|--------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 52 | Yıl (Ocak-Aralık) | 1,09 | -4,4 | 1509 |
| | Yaz (Nisan-Eylül) | 0,93 | -10,9 | 921 |
| | Kış (Ekim-Mart) | 1,49 | 0,0 | 588 |
| 32 | Yıl (Ocak-Aralık) | 1,14 | 0,0 | 1575 |
| | Yaz (Nisan-Eylül) | 1,03 | -1,1 | 1022 |
| | Kış (Ekim-Mart) | 1,40 | -5,8 | 552 |
| 20 | Yıl (Ocak-Aralık) | 1,14 | -1,8 | 1543 |
| | Yaz (Nisan-Eylül) | 1,05 | 0,0 | 1039 |
| | Kış (Ekim-Mart) | 1,29 | -13,7 | 505 |

Panel açısının 20 ° kabul edildiği sistem için teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m² bulunmuştur. Yalçın, yaptığı çalışmada optimum panel açısını 15° hesaplamış ve çalışma bölgesi için bu değeri yıllık 1891 kWh/m², Haydaroğlu ve Gümüş çalışma bölgeleri için 1668 kWh/m², Küçükgoze ve Kaya ise Erzincan ili için 1481 kWh/m² olarak bulmuştur (Yalçın 2010, Haydaroğlu ve Gümüş 2016, Küçükgoze ve Kaya 2016).



Şekil 4.1. Yaz mevsimi için optimum fotovoltaik panel açısının belirlenmesi

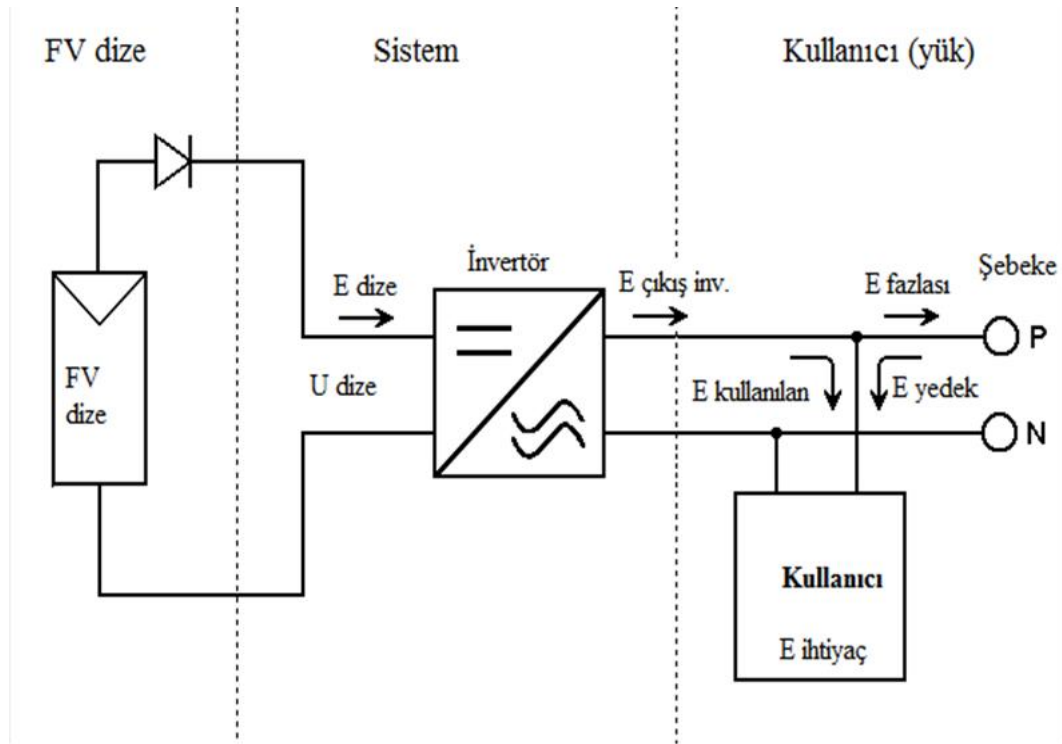


Şekil 4.2. Tüm bir yıl için optimum fotovoltaik panel açısının belirlenmesi

4.2.2. Şebeke bağlantılı sistem tasarımlarına ilişkin sonuçlar

Güneş enerjisinden üretilen elektriğin, üretildiği anda ve üretildiği yerde hiçbir ilave depolama (akü-batarya vb.) ara birimi olmadan şebekeyi beslediği ve anında kullanıldığı sistemler Şebeke Bağlı (On-Grid) Sistemler olarak adlandırılmaktadır (Anonim 2019a). Bu tür sistemlerde elektrik yüklerini karşılayabilmek için FV sistem kendi üretimini kullanır ve üretimine paralel olarak şehir şebekesinden destek alır veya üretim fazlası durumunda şehir şebekesine elektrik satabilir.

Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin ürettiği enerji, sistemi oluşturan bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, sistem konfigürasyonu, sistemin coğrafi konumu, kurulum noktasının etrafında bulunan yapılar ve işletim sırasında gerçekleşebilecek arızalar gibi birçok faktöre bağlıdır (Tutaşı 2018). Tasarım yapılırken kurulacak olan panel açılarının sabit mi yoksa hareketli mi olacağı da karar verilecek bir diğer önemli husustur. Şekil 4.3'de şebeke bağlantılı bir sistem için PVsyst programı ile oluşturulan sistem şeması görülmektedir.



Şekil 4.3. Şebeke bağlantılı sistem şeması (PVsyst)

Çalışma kapsamında şebeke bağlantılı sistem için bölüm 4.2.2.1, 4.2.2.2 ve 4.2.2.3'de açıklandığı gibi üç ayrı tip FV modül denenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bölgenin coğrafik yapısı, çatı alanı, elektrik enerjisi talebi ve verimlilik yüzdesi esas alınarak sistem tasarımı için en uygun modül tipi seçilmiştir.

4.2.2.1. Tek kristal silisyum FV Panel için PVsyst sistem tasarımı

İlk olarak şebeke bağlantılı tek kristal silisyumlu FV panel tipi için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler yapılırken güney cepheli çatı alanı ($\approx 130 \text{ m}^2$) dikkate alınmış ve tasarım yapılacak panel alanı kısıtlı olduğundan genel olarak 20 kW elektrik üretiminin uygun olacağı görülmüştür.

Sistem tasarımı yapılırken, performans oranının %80'den fazla olması istenir. Önemli olan bir diğer unsur ise 'Pnom ratio' değeridir. Pnom oranı, kurulu FV gücünün sürücünün Pnom'una (ac) göre oranıdır. Bu değer inverteri boyutlandırırken yaygın olarak kullanılan bir göstergedir (Anonim 2018d). Ülkemizde bu değer 1.15 ve daha aşağısında kabul edilir.

Panel eğim açısı 20° , azimut açısı 0° , panel açısı sabit kabul edildiğinde bölge koşullarında 20 kW elektrik üretimi için FV sistem donanımı Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu projeksiyon için 325 Wp gücünde, 26V çıkış gerilimine sahip Canadian Solar Inc. Marka tek kristal silisyum FV modül seçilmiştir.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Simplified Schema

Global system summary

| | | | |
|------------------|--------------------|------------------|-----------|
| Nb. of modules | 63 | Nominal PV Power | 20.5 kWp |
| Module area | 107 m ² | Maximum PV Power | 19.2 kWdc |
| Nb. of inverters | 1 | Nominal AC Power | 20.0 kWac |

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 20°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing

Enter planned power: 20.0 kWp

or available area(modules): 105 m²

Select the PV module

Available Now: All PV modules

Approx. needed modules: 62

Canadian Solar Inc. 325 Wp 26V Si-mono CS1K - 325MS Since 2017 Manufacturer 2018

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 26.4 V

Voc (-10°C) 40.9 V

Select the inverter

Available Now: Output voltage 400 V Tri 50Hz

REFU Elektronik GmbH 20 kW 250 - 850 V TL 50/60 Hz RefuSol 20K (867P) Since 2016

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 250-850 V

Global Inverter's power: 20.0 kWac

Input maximum voltage: 1000 V

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 21

Nbre strings: 3

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.02

Nb. modules: 63

Area: 107 m²

Operating conditions

| | |
|-------------|-------|
| Vmpp (60°C) | 554 V |
| Vmpp (20°C) | 652 V |
| Voc (-10°C) | 858 V |

Plane irradiance: 1031 W/m²

Imp (GMax): 33.1 A

Isc (GMax): 33.9 A

Isc (at STC): 33.9 A

Max. operating power at 1031 W/m² and 50°C: 19.2 kW

Array nom. Power (STC): 20.5 kWp

System overview

Cancel

OK

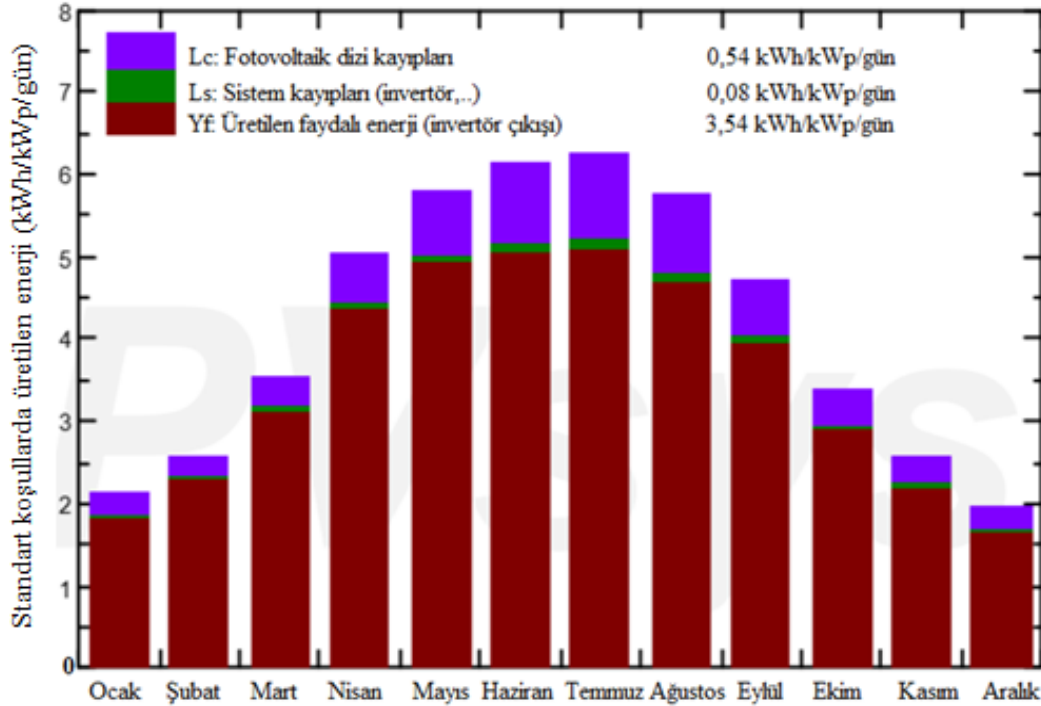
Şekil 4.4. 20 kW güç üretebilmek için tek kristalli silisyum FV sistem donanımı

Seçimler yapıldığında program gerekli panel adedi ve invertör gücünü hesaplamaktadır. Bu çalışmada 20 kW nominal güce sahip tek invertör kullanılmıştır fakat invertörün arızalanması ve sistem çalışmasının aksaması durumu göz önüne alınarak bu sayı arttırılabilir. Örneğin; 10 kW gücünde 2 adet invertör kullanılabilir. Seçimlerimize göre program Çizelge 4.3'deki sonuçları vermiştir.

Çizelge 4.3. Tek kristal silisyum için sistem çıktıları

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Panel adedi | 63 |
| İnvertör adedi | 1 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 107 |
| Maksimum FV gücü (kW) | 19,2 |
| Nominal AC gücü (kW) | 20 |
| Elde edilen yıllık güç (MWh) | 26,43 |
| Performans oranı (ortalama) (%) | 85,15 |
| Pnom oranı | 1,02 |

Şekil 4.5 'de standart koşullarda üretilen faydalı enerji grafiği verilmiştir. kWp başına elektrik üretimi Haziran ve Temmuz aylarında 5,1 kWh/kWp/gün ile en yüksek iken, en düşük değer Aralık ayında ve 1,7 kWh/kWp/gün'dür.



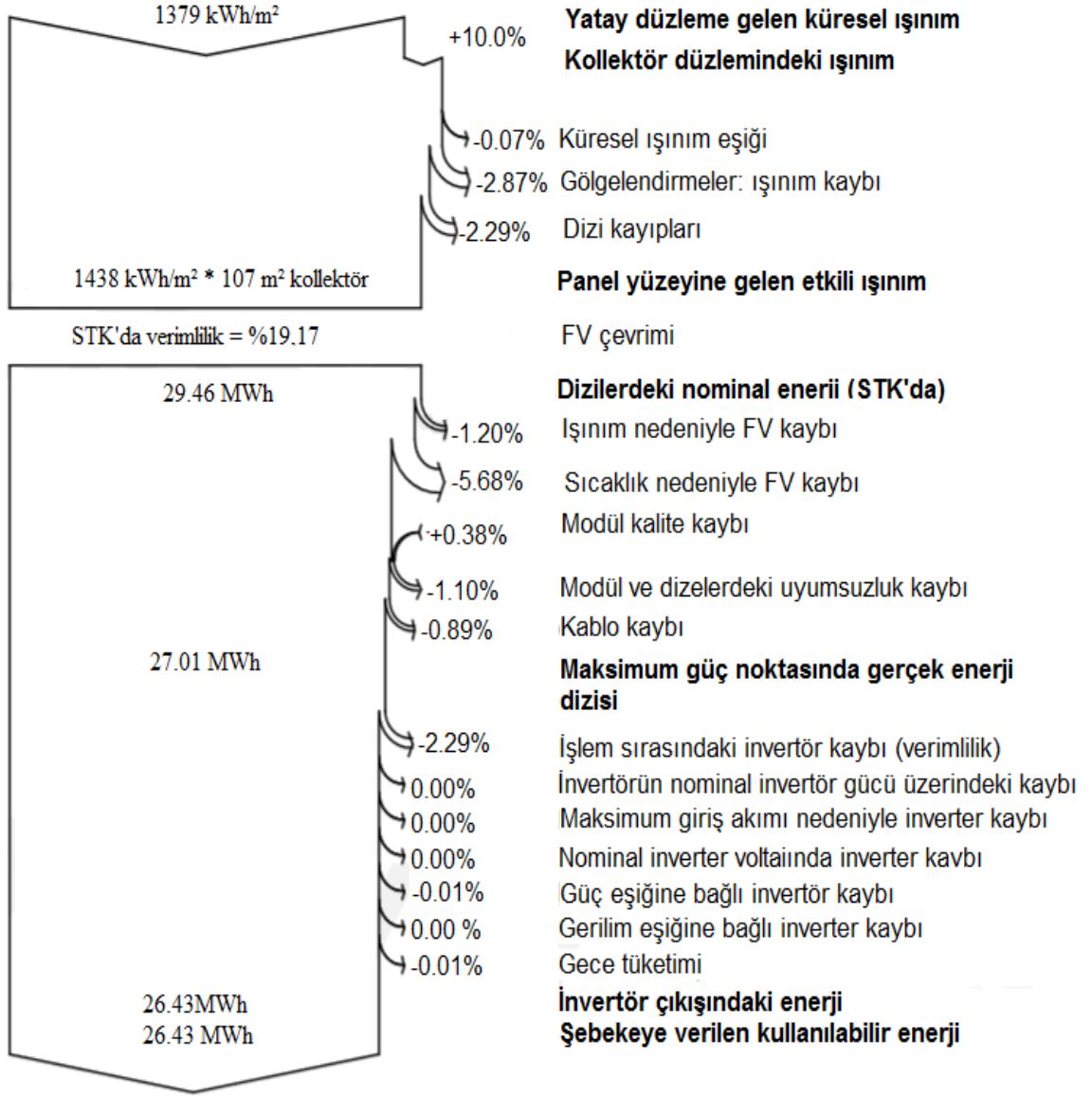
Şekil 4.5. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (tek kristal silisyum)

Projeksiyonun olası sistem çıktıları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Panel üzerine etkileyen ışımaya ile enerji çıktısı verilerinin paralellik gösterdiği görülmektedir. Tek kristal silisyum fotovoltaik sistem için en yüksek enerji çıktısı 3,328 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.4. Şebeke bağlantılı tek kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

| | Yataya küresel güneş ışınması kWh/m ² | Ortam sıcaklığı, °C | Panel gelen toplam ışınma, kWh/m ² | Etkili ışınma (gölgelenme vs.), kWh/m ² | Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh | Şebekeye verilen enerji, MWh | Performans oranı |
|----------------|--|---------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Ocak | 48,4 | 4,41 | 65,4 | 59,3 | 1,200 | 1,173 | 0,875 |
| Şubat | 59,0 | 4,82 | 72,1 | 68,5 | 1,364 | 1,333 | 0,904 |
| Mart | 96,0 | 8,75 | 109,7 | 104,5 | 2,039 | 1,995 | 0,888 |
| Nisan | 140,5 | 12,43 | 150,6 | 143,7 | 2,746 | 2,689 | 0,872 |
| Mayıs | 177,1 | 17,98 | 179,9 | 171,7 | 3,197 | 3,130 | 0,850 |
| Haziran | 185,0 | 22,20 | 183,1 | 174,8 | 3,189 | 3,122 | 0,833 |
| Temmuz | 193,9 | 25,39 | 194,0 | 185,7 | 3,328 | 3,257 | 0,820 |
| Ağustos | 168,5 | 25,22 | 178,1 | 170,4 | 3,064 | 3,000 | 0,823 |
| Eylül | 124,2 | 19,79 | 141,0 | 134,7 | 2,497 | 2,445 | 0,847 |
| Ekim | 84,2 | 15,83 | 104,3 | 99,0 | 1,896 | 1,856 | 0,869 |
| Kasım | 57,6 | 10,47 | 77,0 | 71,2 | 1,396 | 1,365 | 0,866 |
| Aralık | 44,2 | 6,01 | 61,1 | 54,6 | 1,097 | 1,072 | 0,856 |
| Yıllık | 1378,6 | 14,50 | 1516,3 | 1438,0 | 27,013 | 26,435 | 0,851 |

FV tasarımlarında dikkate alınması gereken bir diğer unsur ise sistem kayıplarıdır. Sistem verimlilik oranının ve kullanılabilir elektrik enerjisinin maksimum değerinde tutulması için kayıpların en aza indirgenmesi gerekir. Simülasyon sonucunda tek kristal silisyum sistem tasarımı için elde edilen, detaylı FV panel ve denge bileşenleri kayıpları Şekil 4.6’da verilmiştir. Elde edilen diyagramda tesisin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarı 1379 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik paneller 20°’lik açıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı %10 artmaktadır. Verimlilik standart test koşullarında (STK) % 19,17 olarak bulunmuştur. Tüm kayıplardan sonra santralden yılda 26,43 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.6. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı tek kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

4.2.2.2. Çoklu kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı

Çevresel şartlar ve denge bileşenlerinin değiştirilmediği durumda FV modül yapısı çoklu kristal ile değiştirildiğinde sistem donanımı Şekil 4.7'deki gibi olmaktadır. Yine panel eğimi 20°, azimut açısı 0° kabul edilmiş ve 20 kW elektrik üretimi için sistem tasarımı yapılmıştır. Uygulama yapılması planlanan çatı alanın kısıtlı olması nedeniyle elektrik üretim değeri arttırılamamıştır.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

[Simplified Schema](#)

Global system summary

| | | | |
|------------------|--------------------|------------------|-----------|
| Nb. of modules | 64 | Nominal PV Power | 20.8 kWp |
| Module area | 127 m ² | Maximum PV Power | 19.4 kWdc |
| Nb. of inverters | 1 | Nominal AC Power | 20.0 kWac |

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 20°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing Enter planned power: 20.0 kWp

or available area(modules): 123 m²

[Resize](#)

Select the PV module

Available Now: Filter: All PV modules

Approx. needed modules: 62

| | | | | | | |
|---------------------|------------|---------|--------------------|------------|-------------------|----------------------|
| Canadian Solar Inc. | 325 Wp 32V | Si-poly | CS3U-325P-AG 1500V | Since 2018 | Manufacturer 2018 | Open |
|---------------------|------------|---------|--------------------|------------|-------------------|----------------------|

Sizing voltages: Vmpp (60°C): 32.6 V

Voc (-10°C): 50.3 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now: Output voltage: 400 V Tri 50Hz

| | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------------|----|----------|--------------------|------------|----------------------|
| REFU Elektronik GmbH | 20 kW | 250 - 850 V | TL | 50/60 Hz | RefuSol 20K (867P) | Since 2016 | Open |
|----------------------|-------|-------------|----|----------|--------------------|------------|----------------------|

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 250-850 V

Input maximum voltage: 1000 V

Global Inverter's power: 20.0 kWac

50 Hz

60 Hz

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 16 between 8 and 19

Nbre strings: 4 only possibility 4

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.04 [Show sizing](#)

Nb. modules: 64 Area: 127 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C): 522 V

Vmpp (20°C): 618 V

Voc (-10°C): 805 V

Plane irradiance: 1031 W/m²

Imp (GMax): 35.6 A

Isc (GMax): 36.5 A

Isc (at STC): 36.5 A

Max. operating power at 1031 W/m² and 50°C: 19.4 kW

Array nom. Power (STC): 20.8 kWp

[System overview](#)

[Cancel](#)

[OK](#)

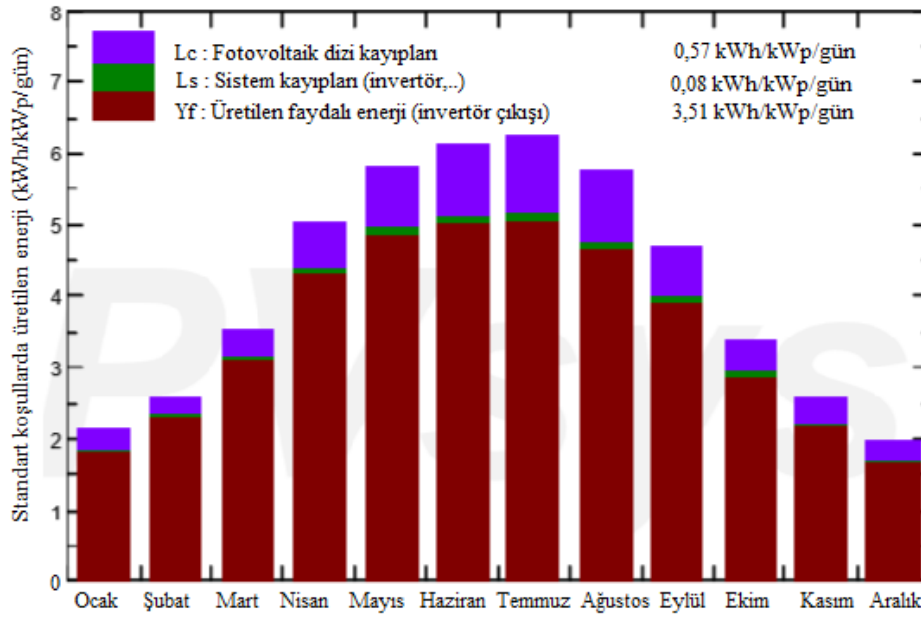
Şekil 4.7. 20 kW güç üretebilmek için çoklu kristalli silisyum FV sistem donanımı

Bu projeksiyon için 325 Wp gücünde, 32V çıkış gerilimine sahip Canadian Solar Inc. Marka çoklu kristal silisyum FV modül seçilmiştir. İnvörtör seçimi değiştirilmemiştir. Seçimlerimize göre çoklu kristal silisyum panel tipi için program sonuçları Çizelge 4.5’de vermiştir.

Çizelge 4.5. Çoklu kristal silisyum için sistem çıktıları

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Panel adedi | 64 |
| İnvörtör adedi | 1 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 127 |
| Maksimum PV gücü (kW) | 19,4 |
| Nominal AC gücü (kW) | 20,8 |
| Elde edilen yıllık güç (MWh) | 26,61 |
| Performans oranı (ortalama) (%) | 84,39 |
| Pnom oranı | 1,04 |

Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin kış aylarında çalışmamasından dolayı yük talebi bu dönemde düşmektedir. Fakat kış aylarında güneş ışımadaki azalma daha büyüktür. Yaz aylarındaki yüksek güneş ışınmasıyla kış aylarına göre daha fazla üretim yapılmaktadır. Şekil 4.8’de standart koşullarda üretilen faydalı enerji grafiği verilmiştir.



Şekil 4.8. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (çoklu kristal silisyum)

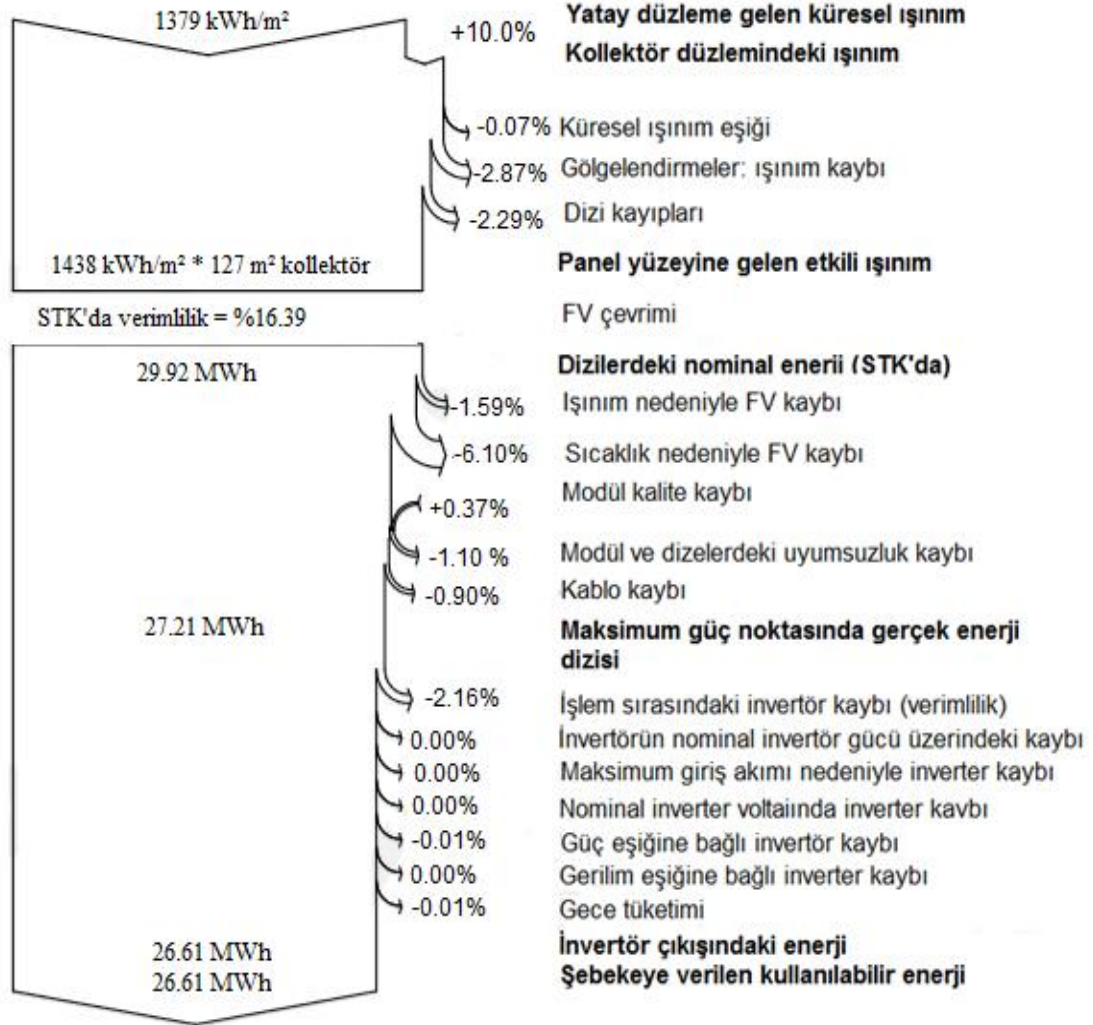
Bu projeksiyon için olası sistem çıktıları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Performans ve Pnom oranları kabul edilen değerler içinde çıkmıştır. Performans oranı yıl içerisinde 0,81 ile 0,89 arasında değişiklik göstermiştir. Şebekeye verilen enerji, en yüksek temmuz ayında ve 3,274 MWh, en düşük ise 1,082 MWh ile Aralık ayındadır.

Çizelge 4.6. Şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

| | Yataya küresel güneş ışınması kWh/m ² | Ortam sıcaklığı, °C | Panel gelen toplam ışınma, kWh/m ² | Etkili ışınma (gölgeleme vs.), kWh/m ² | Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh | Şebekeye verilen enerji, MWh | Performans oranı |
|----------------|--|---------------------|---|---|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Ocak | 48,4 | 4,41 | 65,4 | 59,3 | 1,212 | 1,184 | 0,870 |
| Şubat | 59,0 | 4,82 | 72,1 | 68,5 | 1,376 | 1,345 | 0,898 |
| Mart | 96,0 | 8,75 | 109,7 | 104,5 | 2,056 | 2,011 | 0,881 |
| Nisan | 140,5 | 12,43 | 150,6 | 143,7 | 2,767 | 2,709 | 0,865 |
| Mayıs | 177,1 | 17,98 | 179,9 | 171,7 | 3,219 | 3,150 | 0,842 |
| Haziran | 185,0 | 22,20 | 183,1 | 174,8 | 3,209 | 3,139 | 0,824 |
| Temmuz | 193,9 | 25,39 | 194,0 | 185,7 | 3,347 | 3,274 | 0,811 |
| Ağustos | 168,5 | 25,22 | 178,1 | 170,4 | 3,082 | 3,015 | 0,814 |
| Eylül | 124,2 | 19,79 | 141,0 | 134,7 | 2,514 | 2,460 | 0,839 |
| Ekim | 84,2 | 15,83 | 104,3 | 99,0 | 1,910 | 1,869 | 0,862 |
| Kasım | 57,6 | 10,47 | 77,0 | 71,2 | 1,408 | 1,376 | 0,859 |
| Aralık | 44,2 | 6,01 | 61,1 | 54,6 | 1,108 | 1,082 | 0,851 |
| Yıllık | 1378,6 | 14,50 | 1516,3 | 1438,0 | 27,208 | 26,615 | 0,844 |

Simülasyon sonucunda çoklu kristal silisyum sistem tasarımı için elde edilen, detaylı FV panel ve denge bileşenleri kayıpları Şekil 4.9'da verilmiştir. Çoklu kristal silisyum

projeksiyonu için verimlilik standart test koşullarında (STK) %16,39 olarak bulunmuştur. Tüm kayıplardan sonra santralden yılda 26,61 MWh enerjinin şebekeye verilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.9. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

4.2.2.3 İnce amorf silisyum FV Panel için sistem tasarımı

İnce amorf silisyum FV modüllerin birim alan verimliliği düşük buna karşın kWp başına maliyeti düşüktür. Çevresel şartlar ve denge bileşenlerinin değiştirilmediği, şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemin FV panelleri ince film amorf silisyum yapısına değiştirilerek yeni bir sistem tasarlanmıştır. Uygulama yapılması planlanan çatı alanının kısıtlı olması sebebiyle üretilen güç miktarı azaltılmak zorunda kalınmıştır.

Amorf silisyum ince film yapıları FV sistem donanımı Şekil 4.10'da verilmiştir. Pnom oranı kabul edilen değerler içinde çıkmış olmasına karşın performans oranının yıl içerisinde

0,8’den düşük olduğu aylar görülmüştür, yıl içinde performans oranının 0,75 ile 0,83 arasında değiştiği görülmektedir.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

| | | | |
|------------------|--------------------|------------------|----------|
| Nb. of modules | 24 | Nominal PV Power | 7.6 kWp |
| Module area | 110 m ² | Maximum PV Power | 7.4 kWdc |
| Nb. of inverters | 1 | Nominal AC Power | 7.0 kWac |

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Unlimited sheds

Tilt: 20°

Azimuth: 0°

Presizing Help

No sizing

Enter planned power: 8.0 kWp

or available area(modules): 115 m²

Select the PV module

All modules Filter: All PV modules

Approx. needed modules: 25

Xunlight Corporation 315 Wp 51V a-Si:H triple XR36-315 Since 2012 Manufacturer 2012

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 53.8 V

Voc (-10°C) 88.7 V

Select the inverter

All inverters Output voltage 277 V Mono 60Hz

SMA 7.0 kW 250 - 480 V LF Tr 60 Hz Sunw Box 7000 US-12-277 Since 2012

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 250-480 V Global Inverter's power: 7.0 kWac

Input maximum voltage: 600 V

Design the array

Number of modules and strings

Initial degrad: 10 % should be

Mod. in series: 6 between 5 and 6

Nbre strings: 4 only possibility 4

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.08

Nb. modules: 24 Area: 110 m²

Operating conditions

Plane irradiance: 1031 W/m²

Vmpp (60°C): 323 V

Vmpp (20°C): 382 V

Voc (-10°C): 532 V

Impp (GMax): 21.8 A

Isc (GMax): 25.4 A

Isc (at STC): 25.4 A

Max. operating power at 1031 W/m² and 50°C: 7.4 kW

Array nom. Power (STC): 7.6 kWp

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant)

System overview Cancel OK

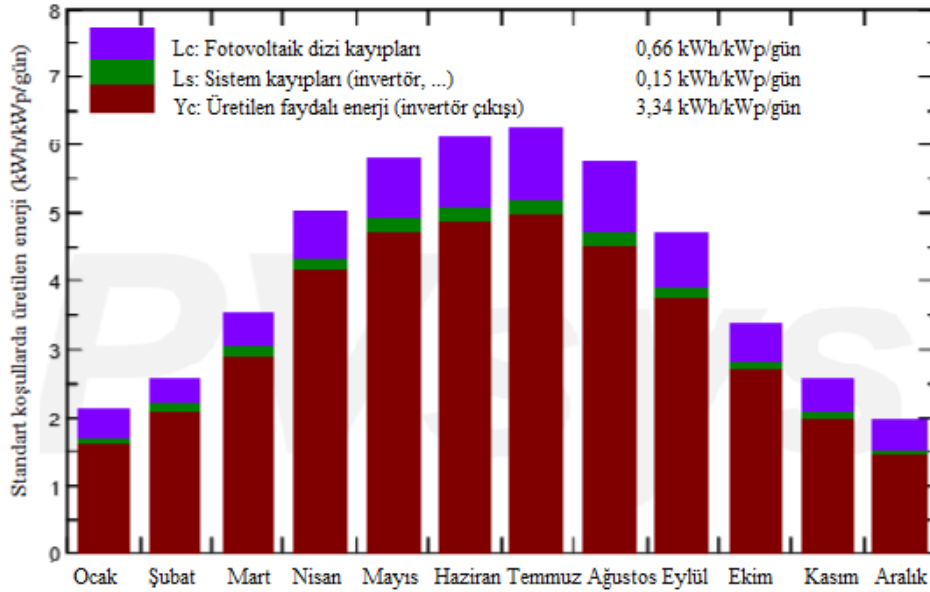
Şekil 4.10. 8 kW güç üretebilmek için ince film amorf silisyum yapıları FV sistem donanımı

Tasarım yapılırken 315 Wp gücünde, 51V çıkış gerilimine sahip Xunlight Corporation Marka ince fil amorf silisyum FV modül seçilmiştir. 7.0 kW nominal güce sahip tek invertör kullanılmıştır. Seçimlerimize göre amorf silisyum ince tabakalı panel tipi için programın verdiği sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Amorf silisyum ince film için sistem çıktıları

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Panel adedi | 24 |
| İnvertör adedi | 1 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 110 |
| Maksimum PV gücü (kW) | 7,4 |
| Nominal AC gücü (kW) | 7,6 |
| Elde edilen yıllık güç (MWh) | 9,22 |
| Performans oranı (ortalama) (%) | 80,40 |
| Pnom oranı | 1,08 |

Sistem ve dize kayıplarının düşük olması istenmektedir. İnce film amorf silisyum FV sistem tasarımı için dize kayıpları 0,66 kWh/kWp/gün, sistem kayıpları ise 0,15 kWh/kWp/gün gün ile diğer FV sistem tasarımlarından yüksek çıkmıştır (Şekil 4.11).



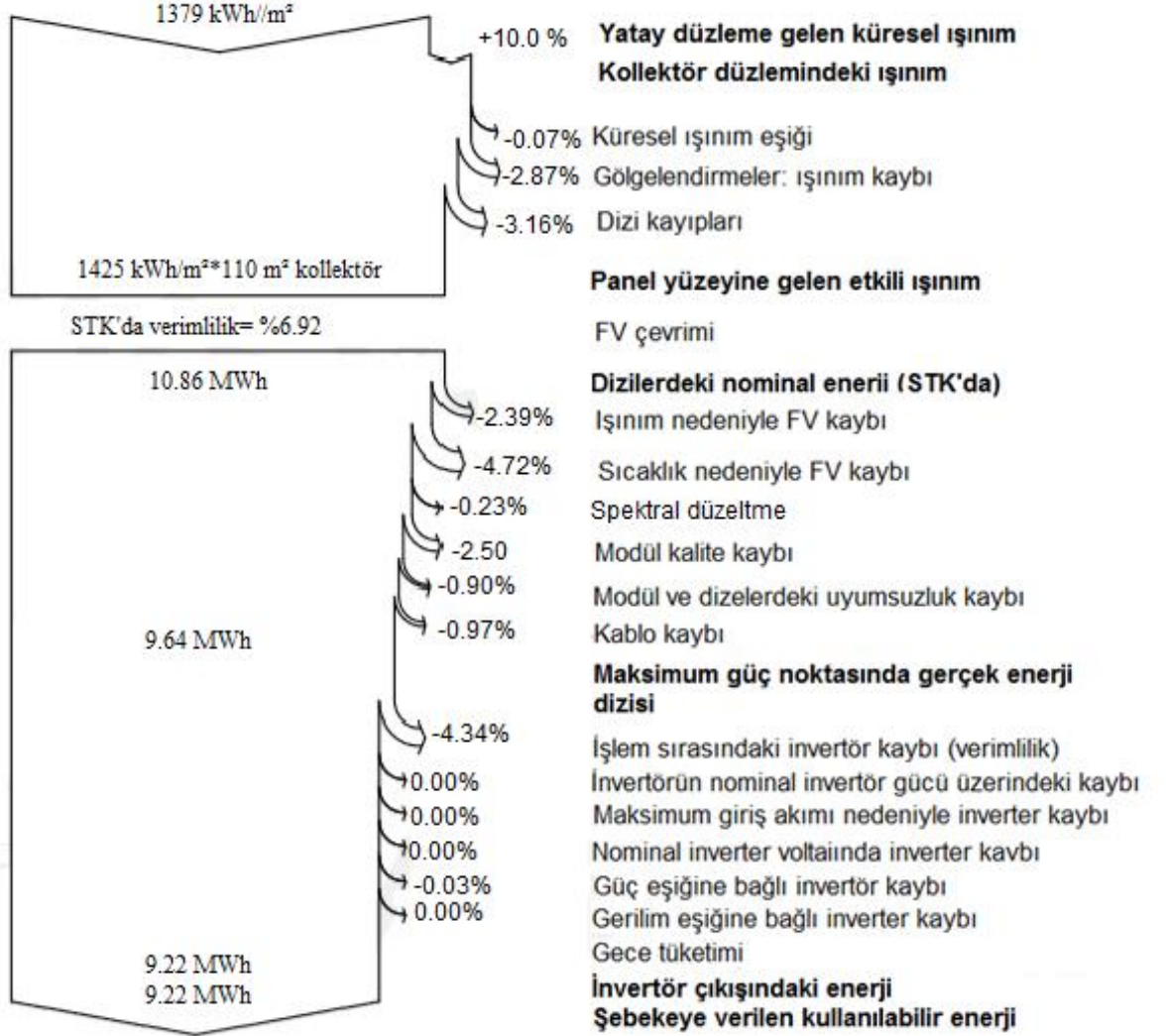
Şekil 4.11. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (ince film amorf silisyum)

Amorf silisyum ince film panel kullanılarak oluşturulan sistemin muhtemel sistem göstergeleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Şebekeye verilen yıllık enerjinin 9,2 MWh olduğu ve diğer projeksiyonlarda da olduğu gibi en yüksek üretimin 1,166 MWh ile Temmuz ayında gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 4.8. Şebeke bağlantılı ince film amorf silisyum sabit açılı FV tasarımının olası sistem göstergeleri

| | Yataya küresel güneş ışınması kWh/m ² | Ortam sıcaklığı, °C | Panel gelen toplam ışınma, kWh/m ² | Etkili ışınma (gölgelenme vs.), kWh/m ² | Dizinin çıkışında etkin enerji, MWh | Şebekeye verilen enerji, MWh | Performans oranı |
|---------|--|---------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------------|------------------|
| Ocak | 48,4 | 4,41 | 65,4 | 58,6 | 0,403 | 0,381 | 0,769 |
| Şubat | 59,0 | 4,82 | 72,1 | 67,8 | 0,473 | 0,449 | 0,824 |
| Mart | 96,0 | 8,75 | 109,7 | 103,6 | 0,721 | 0,688 | 0,829 |
| Nisan | 140,5 | 12,43 | 150,6 | 142,5 | 0,986 | 0,946 | 0,831 |
| Mayıs | 177,1 | 17,98 | 179,9 | 170,2 | 1,158 | 1,110 | 0,816 |
| Haziran | 185,0 | 22,20 | 183,1 | 173,3 | 1,162 | 1,114 | 0,805 |
| Temmuz | 193,9 | 25,39 | 194,0 | 184,3 | 1,216 | 1,166 | 0,795 |
| Ağustos | 168,5 | 25,22 | 178,1 | 169,0 | 1,115 | 1,070 | 0,795 |
| Eylül | 124,2 | 19,79 | 141,0 | 133,6 | 0,897 | 0,860 | 0,807 |
| Ekim | 84,2 | 15,83 | 104,3 | 9,0 | 0,664 | 0,634 | 0,805 |
| Kasım | 57,6 | 10,47 | 77,0 | 70,4 | 0,477 | 0,454 | 0,780 |
| Aralık | 44,2 | 6,01 | 61,1 | 54,0 | 0,367 | 0,346 | 0,749 |
| Yıllık | 1378,6 | 14,50 | 1516,3 | 1425,3 | 9,638 | 9,217 | 0,804 |

İnce film amorf silisyum FV panelli tasarımda kWp başına maliyeti düşük olmasına karşın, alanın yetersiz olması nedeniyle yıl boyunca ve yük talebinin fazla olduğu yaz aylarında üretimin düşük olmaktadır.



Şekil 4.12. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çoklu kristal silisyum yapıda FV sistem kayıp akış şeması

PVsyst programı ile yaz aylarındaki yük talebi dikkate alınarak yapılan sabit açılı fotovoltaiik sistem tasarımları Çizelge 4.9'da karşılaştırılmıştır. Seçilen panel ve invertörler ülke piyasasında bulunabilen veya ikamesine ulaşılabilen tiplerdir. İnce film amorf silisyum FV tasarımının, tek kristal ve çoklu kristal FV panellerine göre daha fazla alan kaplamasından dolayı diğerlerine göre yaklaşık 3 kat daha az elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir. Türkiye'de devlet on yıl boyunca 0,133 \$/kWh'ten enerji alım garantisi vermektedir (Yalçın 2010, Büyükzeren ve ark. 2015, Aydın ve Cunkaş 2018). Üretilen enerjinin şebekeye verilmesiyle sağlanılacak yıllık kazanç tek kristal silisyum için 3516 \$, çoklu kristal silisyum

için 3540 \$, ince film amorf silisyum içinse 1226 \$ bulunmuştur.

Çizelge 4.9. PVsyst çıktılarına göre şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemlerinin karşılaştırılması

| Panel tipi | Tek kristal | Çok kristal | İnce film asi |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| Panel marka | Canadian Solar Inc. | Canadian Solar Inc. | Xunlight Corporation |
| Panel eğim | 20° | 20° | 20° |
| Azimet | 0° | 0° | 0° |
| Panel gücü (Wp) | 325 | 325 | 315 |
| Panel adedi | 63 | 64 | 24 |
| Toplam alan (m²) | 107 | 127 | 110 |
| FV anma gücü (kWp) | 20,5 | 20,8 | 7,6 |
| Maksimum FV gücü (kWp) | 19,2 | 19,4 | 7,4 |
| Nominal AC gücü (kW) | 20 | 20 | 7 |
| En yüksek güç noktası (60°C) (V) | 26,4 | 32,6 | 53,8 |
| Açık devre (-10°C)(V) | 40,9 | 50,3 | 88,7 |
| Modül serisi | 21 | 16 | 6 |
| Dize sayısı | 3 | 4 | 4 |
| Pnom oranı | 1,02 | 1,04 | 1,08 |
| Dize kayıpları (kWh/kWp/gün) | 0,54 | 0,57 | 0,66 |
| Sistem kayıpları(kWh/kWp/gün) | 0,08 | 0,08 | 0,15 |
| Üretilen faydalı enerji (kWh/kWp/gün) | 3,54 | 3,51 | 3,34 |
| Kurulu güç başına elektrik üretimi (kWh/kWp/yıl) | 1291 | 1280 | 1219 |
| İnvertör sayısı | 1 | 1 | 1 |
| İnv, 60°C'de en yüksek güç noktası (V) | 554 | 522 | 323 |
| İnv, 20°C'de en yüksek güç noktası (V) | 652 | 518 | 382 |
| İnv, açık devre (-10°C) | 858 | 805 | 532 |
| Performans oranı (%) | 85,15 | 84,39 | 80,40 |
| Şebekeye verilen enerji (MWh/yıl) | 26,44 | 26,62 | 9,22 |
| Elektrik İhracat Fiyatı \$/MWh | 133 | 133 | 133 |
| Üretilen enerjinin şebekeye verilmesiyle sağlanacak kazanç (\$/yıl) | 3516 | 3540 | 1226 |

Kilowatt başına yıllık elektrik üretimi değerleri 1219-1280-1291kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır ve bu değerler literatürdeki değerlerle uyumludur. Performans oranı değerlerinin %80 üzerinde olması istenir ve yapılan çalışmada bu oranlar %80 ile %85 arasında çıkmıştır, bu değer Yalçın (2010)'ın yaptığı çalışmadaki %83-89, Haydaroğlu ve Gümüş (2016)'ün yaptığı çalışmadaki %83 değerleri ile paralellik göstermiştir.

4.3. RETScreen Programı Analiz Sonuçları

4.3.1. Tek kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı

İlk olarak şebeke bağlantılı tek kristal silisyum FV panel tipi için analizler gerçekleştirilmiştir. Çatı alanı dikkate alınarak sistem tasarımı yapılmıştır. RETScreen programı optimum panel eğim açısı hesabı yapmadığı için daha önceki tasarımlarda yaptığımız gibi panel eğimini 20°, azimut açısı 0°, olarak kabul edilmiştir.

Optimizasyonun yapılması için Hyundai Heavy Industries marka tek kristal silisyum FV modül seçilmiştir. Seçilen panel ve evirici özellikleri ile elde edilen RETScreen verileri Çizelge 4.10'da verilmiştir. FV panel özellikleri yazılımın veritabanından alınmış olup evirici özellikleri sisteme tanımlanmıştır.

Çizelge 4.10. Tek kristal silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri

| Panel | |
|--|---------|
| Tip | Mono-si |
| Maksimum güç (Wp) | 315 |
| Panel verimi (%) | 16,23 |
| Panel adedi | 64 |
| Çerçeve alanı (m ²) | 1,939 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 124 |
| Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (°C) | 45 |
| Çeşitli kayıplar | % 15 |
| İnvertör | |
| Verimlilik (%) | 98 |
| Kapasite (kW) | 20 |
| Çeşitli kayıplar (%) | 1 |
| Özet | |
| Kapasite faktörü (%) | 13,1 |
| İlk maliyetler (\$) | 18.886 |
| İşletme ve bakım maliyetleri (\$) | 225 |
| Şebekeye verilen elektrik (MWh) | 23,1 |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 3.073 |

Meteorolojik veriler ve seçilen panel özellikleri girildikten sonra aylık ve yıllık toplam enerji üretimleri elde edilmiştir. Çizelge 4.11'de elde edilen verilere göre aylık bazdaki en az enerji üretimi 0,817 MWh ile Aralık ayında, en yüksek enerji üretimi ise 2,749 MWh ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir. RETScreen veri sonuçlarına göre bu projeksiyon için yıllık 23,053 MWh elektrik üretilmektedir. Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin çalıştığı Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ise toplamda 4,944 MWh'lik elektrik üretimi gerçekleşmektedir.

Çizelge 4.11. Tek kristal silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları

| Ay | Günlük güneş radyasyonu – yatay kWh/m ² /g | Günlük güneş radyasyonu- eğimli kWh/m ² /g | Şebekeye verilen elektrik MWh |
|---------------|---|---|-------------------------------|
| Ocak | 1,50 | 1,96 | 1,035 |
| Şubat | 2,25 | 2,75 | 1,296 |
| Mart | 3,22 | 3,62 | 1,858 |
| Nisan | 4,49 | 4,74 | 2,301 |
| Mayıs | 5,62 | 5,62 | 2,749 |
| Haziran | 6,00 | 5,87 | 2,724 |
| Temmuz | 5,81 | 5,74 | 2,720 |
| Ağustos | 5,34 | 5,52 | 2,609 |
| Eylül | 4,16 | 4,61 | 2,159 |
| Ekim | 2,84 | 3,40 | 1,696 |
| Kasım | 1,70 | 2,19 | 1,089 |
| Aralık | 1,20 | 1,55 | 0,817 |
| Yıllık | 3,68 | 3,97 | 23,053 |

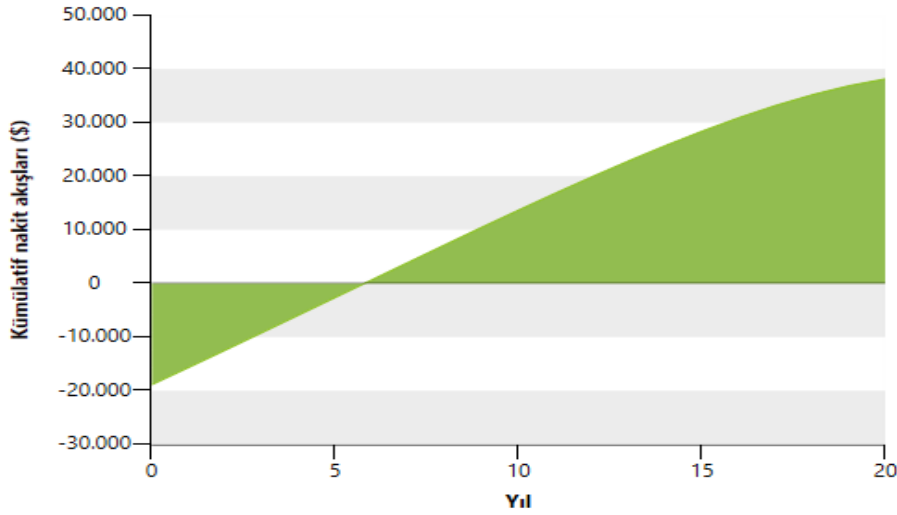
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla gerçekleşen emisyon azaltımı çevreye büyük katkı sağlamaktadır. Çünkü fosil yakıt kullanımı ile çalışan enerji santralleri çevreye NO_x, SO₂, CO₂ gibi sera gazlarının yayılmasına neden olur (Ağai ve ark. 2011). RETScreen ile yapılan analizlere göre FV sistem ile üretilen 23,1 MWh'lık enerji 10,9 tCO₂ salınımının önüne geçmiştir. Bu değer 3,8 ton geri kazanılan atık, 4685,5 tüketilmeyen benzin litresi'ne eşittir.

Tek kristal silisyum FV sistem tasarımı için sistemin maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Çizelge 4.12'de verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,9 yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.12. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Mono-si)

| | |
|---|--------|
| Toplam ilk maliyet (\$) | 18.886 |
| Yıllık ciro | |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 3.076 |
| Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂) | 10,9 |
| Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık | 218 |
| Sera gazı azaltım gerliri (\$) | 164 |
| TE üretimi (MWh) | 23,1 |
| TE üretim geliri (\$) | 162 |
| Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$) | 3.401 |
| Finansal sürdürülebilirlik | |
| Vergi öncesi İGO varlıklar (%) | 15,8 |
| Basit geri ödeme (yıl) | 5,9 |
| Öz sermaye geri ödeme (yıl) | 5,8 |

Analiz sonuçlarına göre FV sistemin mali akış grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir. Enflasyon-eskalasyon oranları, kredi faizi ve ekipman maliyetleri sistem ömrü ve geri ödeme süresi parametreleri dikkate alınarak yapılan analizler en verimli sonuçları vermektedir. Proje için toplam ilk maliyetler 18.886 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,9 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 259.074 \$’dır.



Şekil 4.13. Tek kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

4.3.2. Çoklu kristal silisyum FV Panel için sistem tasarımı

Çoklu kristal silisyum FV panel tipi için RETScreen programında analizler gerçekleştirilmiştir. Önceki tasarımlarda olduğu gibi çatı alanı dikkate alınarak sistem tasarımı yapılmıştır. Panel eğimini 20°, azimut açısı 0°, olarak kabul edilerek yapılan çalışmada Hyundai Heavy Industries marka çoklu kristal silisyum FV modül seçilmiştir. Seçilen panel ve evirici özellikleri ile elde edilen RETScreen verileri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Çoklu kristal silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri

| Panel | |
|--|---------|
| Tip | Poly-si |
| Maksimum güç (Wp) | 300 |
| Panel verimi (%) | 15,49 |
| Panel adedi | 65 |
| Çerçeve alanı (m ²) | 1,936 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 126 |
| Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (°C) | 45 |
| Çeşitli kayıplar | %15 |
| İnvertör | |
| Verimlilik (%) | 98 |
| Kapasite (kW) | 20 |
| Çeşitli kayıplar (%) | 1 |

| Özet | |
|-----------------------------------|--------|
| Kapasite faktörü (%) | 13,1 |
| İlk maliyetler (\$) | 18.268 |
| İşletme ve bakım maliyetleri (\$) | 217 |
| Şebekeye verilen elektrik (MWh) | 22,4 |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 2.975 |

Çizelge 4.14’de çoklu kristal FV sistem tasarımı için aylık ve yıllık toplam enerji üretimleri verilmiştir. Şebekeye verilen elektrik miktarının meteorolojik nedenlerden dolayı yıl içinde değiştiği görülmektedir. RETScreen verilerine göre aylık bazdaki en yüksek enerji üretimi ise 2,659 MWh ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir ve bu tasarım için yıllık 22,298 MWh elektrik üretilmektedir. Üzüm Ürünleri İşleme Tesisinin çalıştığı Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ise toplamda 4,782 MWh’lık elektrik üretimi gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.14. Çoklu kristal silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları

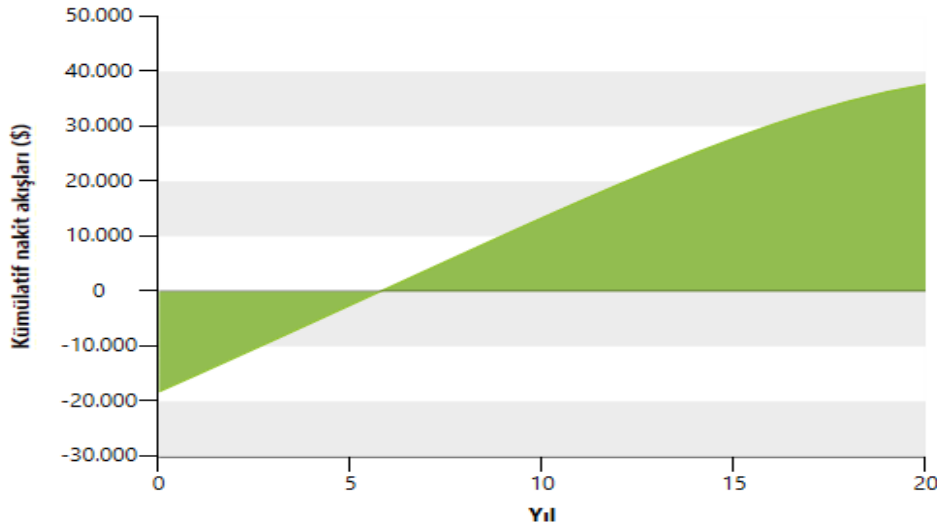
| Ay | Günlük güneş radyasyonu – yatay kWh/m ² /g | Günlük güneş radyasyonu- eğimli kWh/m ² /g | Şebekeye verilen elektrik MWh |
|---------------|---|---|-------------------------------|
| Ocak | 1,50 | 1,96 | 1,01 |
| Şubat | 2,25 | 2,75 | 1,254 |
| Mart | 3,22 | 3,62 | 1,797 |
| Nisan | 4,49 | 4,74 | 2,225 |
| Mayıs | 5,62 | 5,62 | 2,659 |
| Haziran | 6,00 | 5,87 | 2,635 |
| Temmuz | 5,81 | 5,74 | 2,631 |
| Ağustos | 5,34 | 5,52 | 2,524 |
| Eylül | 4,16 | 4,61 | 2,089 |
| Ekim | 2,84 | 3,40 | 1,640 |
| Kasım | 1,70 | 2,19 | 1,053 |
| Aralık | 1,20 | 1,55 | 0,790 |
| Yıllık | 3,68 | 3,97 | 22,298 |

FV sistem ile üretilen 22,3 MWh’lık enerji 10,5 tCO₂ salımının önüne geçebilmektedir. Bu değer 3,6 ton geri kazanılan atık, 4532,1 tüketilmeyen benzin litresine eşittir. Çoklu kristal silisyum FV sistem tasarımı için sistemin maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Çizelge 4.15 ’de verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,9 yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (Poly-si)

| | |
|---|--------------|
| Toplam ilk maliyet (\$) | 18.268 |
| Yıllık ciro | |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 2.975 |
| Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂) | 10,5 |
| Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık | 211 |
| Sera gazı azaltım geliri (\$) | 158 |
| TE üretimi (MWh) | 22,4 |
| TE üretim geliri (\$) | 157 |
| Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$) | 3.290 |
| Finansal sürdürülebilirlik | |
| Vergi öncesi İGO varlıklar (%) | 15,8 |
| Basit geri ödeme (yıl) | 5,9 |
| Öz sermaye geri ödeme (yıl) | 5,8 |

Analiz sonuçlarına göre FV sistemin mali akış grafiği Şekil 4.14’de verilmiştir. Enflasyon-eskalasyon oranları, kredi faizi ve ekipman maliyetleri sistem ömrü ve geri ödeme süresi parametreleri dikkate alınarak yapılan analizler en verimli sonuçları vermektedir. Proje için toplam ilk maliyetler 18.268 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,9 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 255.906 \$’dır.



Şekil 4.14. Çoklu kristal silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

4.3.3. Amorf silisyum FV Panel için sistem tasarımı

Amorf silisyum FV modül verimliliğinin düşük olması nedeniyle tek kristal ve çoklu kristal silisyum modülün ürettiği enerji değerinin sağlanabilmesi için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın yapıldığı çatı alanının kısıtlı olması nedeniyle amorf silisyum FV sistem tasarımı için üretilecek enerji tüketimi düşürülmüştür. Bu tasarım için Q-Cells marka

amorf silisyum panel seçilmiştir. Seçilen panel tipi ve evirici özellikleri ile elde edilen RETScreen verileri Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Amorf silisyum FV sistem donanımı için RETScreen verileri

| Panel | |
|--|-------|
| Tip | A-si |
| Maksimum güç (Wp) | 125 |
| Panel verimi (%) | 7,03 |
| Panel adedi | 70 |
| Çerçeve alanı (m ²) | 1,778 |
| Toplam modül alanı (m ²) | 124 |
| Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (°C) | 45 |
| Çeşitli kayıplar | %15 |
| İnvertör | |
| Verimlilik (%) | 98 |
| Kapasite (kW) | 10 |
| Çeşitli kayıplar (%) | 1 |
| Özet | |
| Kapasite faktörü (%) | 13,5 |
| İlk maliyetler (\$) | 8.197 |
| İşletme ve bakım maliyetleri (\$) | 97,58 |
| Şebekeye verilen elektrik (MWh) | 10,4 |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 1.378 |

Amorf silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık toplam enerji üretimleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Alana gelen günlük güneş radyasyonu miktarı ile şebekeye verilen elektrik miktarının paralellik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.17. Amorf silisyum FV tasarımı için aylık ve yıllık enerji üretim miktarları

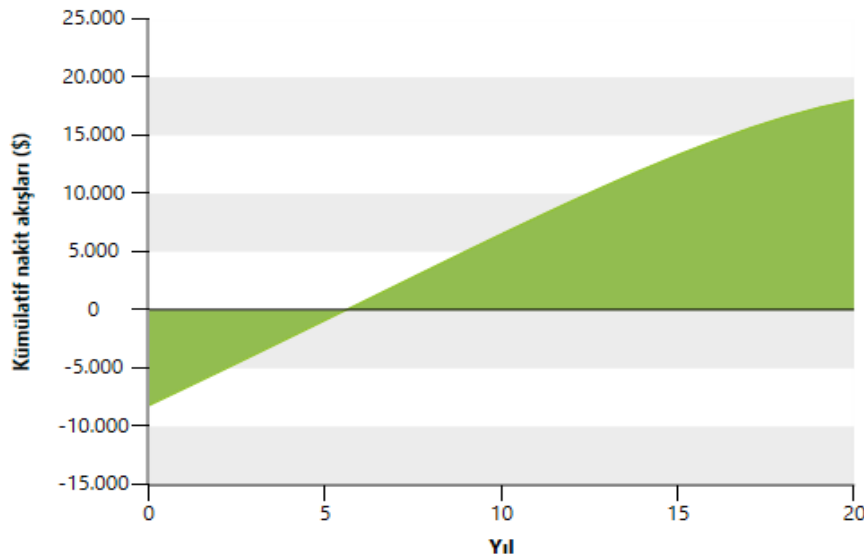
| Ay | Günlük güneş radyasyonu – yatay kWh/m²/g | Günlük güneş radyasyonu- eğimli kWh/m²/g | Şebekeye verilen elektrik MWh |
|---------------|--|--|--------------------------------------|
| Ocak | 1,50 | 1,96 | 0,441 |
| Şubat | 2,25 | 2,75 | 0,557 |
| Mart | 3,22 | 3,62 | 0,809 |
| Nisan | 4,49 | 4,74 | 1,018 |
| Mayıs | 5,62 | 5,62 | 1,240 |
| Haziran | 6,00 | 5,87 | 1,246 |
| Temmuz | 5,81 | 5,74 | 1,255 |
| Ağustos | 5,34 | 5,52 | 1,207 |
| Eylül | 4,16 | 4,61 | 0,982 |
| Ekim | 2,84 | 3,40 | 0,754 |
| Kasım | 1,70 | 2,19 | 0,474 |
| Aralık | 1,20 | 1,55 | 0,349 |
| Yıllık | 3,68 | 3,97 | 10,331 |

Amorf silisyum FV model tasarımı ile yıllık 10,3 MWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu değer yıllık 4,9 tCO₂ sera gazı azaltımı anlamına gelmektedir. Yıllık 4,9 tCO₂ 2099,5 litre tüketilmeyen benzin litresi, 1,7 ton geri kazanılan atığa eşdeğerdir. Bu sistem tasarımı için maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Elektrik ihracat geliri, sera gazı azaltma maliyeti, temiz enerji üretim maliyeti ve maliyet fayda oranı parametreleri de modele eklendiğinde sistemin basit geri ödeme süresi 5,6 yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.18. Maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik (A-si)

| | |
|---|-------|
| Toplam ilk maliyet (\$) | 8.197 |
| Yıllık ciro | |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 1.378 |
| Yıllık sera gazı azaltımı (tCO ₂) | 4,9 |
| Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık | 98 |
| Sera gazı azaltım geliri (\$) | 73,30 |
| TE üretimi (MWh) | 10,4 |
| TE üretim geliri (\$) | 72,54 |
| Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$) | 1.524 |
| Finansal sürdürülebilirlik | |
| Vergi öncesi İGO varlıklar (%) | 16,7 |
| Basit geri ödeme (yıl) | 5,7 |
| Öz sermaye geri ödeme (yıl) | 5,6 |

Analiz sonuçlarına göre amorf silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği Şekil 4.15 'de verilmiştir. Proje için toplam ilk maliyetler 8.197 \$ olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü 20 yıl olarak ön görülen tasarım için kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi 5,7 yıldır, 20 yılın sonunda eldeki net para 126.505 \$'dır.



Şekil 4.15. Amorf silisyum FV sistem tasarımı için mali akış grafiği

RETScreen ile yaz aylarındaki yük talebi dikkate alınarak yapılan (panel eğim açısının 20° kabul edildiği) fotovoltaik sistem tasarımları Çizelge 4.19’da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.19. RETScreen çıktılarına göre şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistemlerinin karşılaştırılması

| Panel tipi | Mono-si | Poly-si | A-si |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------|
| Panel marka | Hyundai Heavy Industries | Hyundai Heavy Industries | Q-Cells |
| Panel eğim | 20° | 20° | 20° |
| Azimet | 0° | 0° | 0° |
| Panel gücü (Wp) | 315 | 300 | 125 |
| Panel verimi (%) | 16,23 | 15,49 | 7,03 |
| Panel adedi | 64 | 65 | 70 |
| Toplam alan (m²) | 124 | 126 | 124 |
| İnvertör sayısı | 1 | 1 | 1 |
| İnvertör kapasitesi | 20 | 20 | 10 |
| Kapasite faktörü (%) | 13,1 | 13,1 | 13,5 |
| İlk maliyetler (\$) | 18.886 | 18.268 | 8.197 |
| Şebekeye verilen elektrik (MWh) | 23,1 | 22,4 | 10,3 |
| Elektrik ihracat fiyatı (\$/MWh) | 133 | 133 | 133 |
| Elektrik ihraç geliri (\$) | 3073 | 2975 | 1378 |
| Yıllık sera gazı azaltımı (tCO₂) | 10,9 | 10,5 | 4,9 |
| Sera gazı azaltım geliri (\$) | 164 | 158 | 73,30 |
| TE üretim geliri (\$) | 162 | 157 | 72,54 |
| Toplam yıllık tasarruf ve gelir (\$) | 3401 | 3290 | 1524 |
| Sistem ömrü (yıl) | 20 | 20 | 20 |
| Sistem basit geri ödeme (yıl) | 5,9 | 5,9 | 5,6 |

Tek kristal silisyum ve çoklu kristal silisyum yapıdaki FV sistem tasarımlarının mali ve verim açısından yaklaşık çıktıları sunmuştur. Arslan (2018) yaptığı çalışmada Tekirdağ ili güneş ışınım miktarları düşünüldüğünde çoklu kristal silisyum panel kullanımının yüksek verimi açısından uygun olduğunu belirtmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarımsal üretim yapan tesislerde enerji yük talebinin fazla olması nedeniyle, özellikle bu tür tesislerde atıl durumda kalan çatılara kurulacak FV paneller ile elektrik üretimi yapılarak tesislerdeki elektrik tüketiminin bir kısmı veya tamamı karşılanabilir. Sistem uygulaması yapılmadan önce paket programlar vasıtasıyla simülasyonların yapılması işletme sahiplerine ekonomik açıdan büyük avantaj sağlayacaktır.

Bu çalışma ile, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi çatı alanı için teorik, saha ve teknik güneş enerji potansiyeli belirlenmiş, yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturularak FV panel kullanımı ile üretilebilecek elektrik enerjisi ve azaltılacak karbon emisyonu miktarları 2 farklı yazılım programı ile simüle edilmiştir. Tesisin elektrik talebinin FV modüllerle karşılanabilirliği değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma ile üretilen yıllık üzüm suyu miktarına bağlı olarak işletmenin enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Faturalar incelendiğinde üzüm suyunun üretildiği Eylül, Ekim ve Kasım aylarında tesiste tüketilen enerji miktarı aylık ortalama 4059,822 kWh olarak bulunmuş ve 1 litre üzüm suyu üretimi için SET değeri 0,61 kWh olarak hesaplanmıştır.

Optimum FV panel açısı, yıllık dönem için 32° , kış dönemi için 52° , yaz dönemi için ise 20° derece en uygun açı değerleri olarak seçilmiştir. Yaz döneminde açısız değişim faktörünün en yüksek (1.05), kayıpların en düşük (%0.0) olduğu FV panel açısı 20° derece seçilmiş, yapılan bütün tasarımlar için bu değer ve azimut açısı (0°) sabit tutulmuştur. Panel açısının 20° kabul edildiği sistem için teknik güneş enerjisi potansiyeli yıllık 1543 kWh/m^2 bulunmuştur.

PVsyst ile yapılan şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistem simülasyonlarında tek kristalli silisyum yapıda performans oranı %85,15, sistem kayıpları 0,08 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1291 kWh/kWp/yıl; çoklu kristal silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %84,39, sistem kayıpları 0,08 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1280 kWh/kWp/yıl; ince film amorf silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %80,40, sistem kayıpları 0,15 kWh/kWp/gün, kurulu güç başına elektrik üretimi 1219 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır.

RETScreen ile yapılan şebeke bağlantılı sabit açılı FV sistem simülasyonlarında tek kristalli silisyum yapıda ilk maliyet 18.886 \$, kapasite faktörü %13,1; çoklu kristal silisyum yapıda ilk maliyet 18.268 \$, kapasite faktörü %13,1; amorf silisyum yapıda ilk yatırım 8.197\$, kapasite faktörü %13,5 olarak hesaplanmıştır. FV sistem tasarımlarının teknoekonomik ömürleri genellikle 20-30 yıl arasında değişmektedir. Bu çalışmada ekonomik ömür 20 yıl olarak öngörülmüş ve sistemlerin geri ödeme süreleri tek kristal silisyum, çoklu kristal silisyum ve

amorf silisyum yapılar için sırasıyla; 5,9 yıl, 5,9 yıl, 5,6 yıl bulunmuştur.

Yıllık 23,1 MWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda (tek kristal silisyum) 10,9 tCO₂/yıl; 22,4 MWh elektrik üretimi ile (çoklu kristal silisyum) 10,5 tCO₂/yıl; 10,3 MWh elektrik üretimi ile ise 4,9 tCO₂/yıl sera gazı azaltımı sağlanabilir. Elde edilen emisyon azaltımı karbon piyasasında satışa sunulurken gelir olarak kullanılabilir, devletten sera gazı azaltım geliri elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan iki program birbiriyle karşılaştırıldığında Çizelge 5.1’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 5.1.PVsyst ve RETScreen yazılımlarının karşılaştırması

| PVsyst | RETScreen |
|--|---|
| Ücretli, bir aylık deneme sürümü vardır, | Ücretsiz izleyici modu vardır, |
| Gölgelenme analizleri yapılabilmektedir, | Gölgelenme analizleri yapamamaktadır, |
| Çevresel analiz çıktısı yoktur, | Çevresel analiz çıktısı vardır, |
| Sistem kayıpları detaylı bir SANKEY diyagramı şeklinde verilmektedir, | Böyle bir özellik yoktur, |
| Optimum panel açısı bölge koşullarına göre hesaplanabilmektedir, | Panel açısı değerini kullanıcı sisteme girmek zorundadır, |
| Program veri tabanından FV panel ve invertör seçimi yapılabilmektedir, | Veri tabanından sadece FV panel seçimi yapılabilmektedir, |
| Bütünüyle FV tasarım yazılımıdır. | FV tasarım yanında diğer YEK sistemleri ve hibrit sistem tasarımı da yapabilmektedir. |

Yapılan çalışma sonucunda ince film amorf silisyum panel tipinin kullanıldığı sistem tasarımlarının kWp başına maliyeti düşük olmasına rağmen uygulama yapılan tesisin çatı alanının kısıtlı olması nedeniyle uygun olmadığı görülmüştür. Tek kristal silisyum ve çoklu kristal silisyum yapıdaki FV sistem tasarımlarının mali ve verim açısından yaklaşık çıktılar sunmuştur.

Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda bazı öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Bu çalışma ile yapılan simülasyon ve analizler dikkate alınarak, T.C. Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü kampüsünde bulunan binaların çatı alanlarının FV sistem tasarımları ile değerlendirilmesi ve Üzüm Ürünleri İşleme Tesisi başta olmak üzere bütün Enstitü için elektrik tüketiminin tamamının veya bir kısmının karşılanması, şarj ünitesi ve batarya maliyetlerinin de hesaplanarak sisteme dahil edilmesi,
- Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik (YEGM 2018) gereği enerji yönetiminin kurulması ve enerji yöneticisinin atanması,

- Enstitü bünyesinde enerji etüdü yapılarak, enerjinin etkin kullanılması, enerji israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması,
- Tekirdağ ili ve Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü bünyesinde diğer yenilenebilir enerji potansiyellerinin (rüzgar, biyokütle) belirlenerek bu sistemlerden yararlanılması ve fosil yakıtların kullanımı ile çevreye verilen zararın azaltılması sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Agai F, Caka N, Komoni V (2011). Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in southeast Europe. International Journal of Advances in Engineering & Technology ,58-68.
- Akbulut U, Doğan BT, Kıncay O (2009). RetScreen Programı Kullanılarak Türkiye şartlarına Uygun RES Projelerinin Ekonomik Analizi. TTMD Dergisi, 59, 27 -32.
- Altan AD (2017). Çiğ Süt Üretim İşletmesinde Enerji Yönetim Sistemi Altyapısının Oluşturulması. Doktora Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Anonim (2017). Türkiye ve Dünya Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Raporu. 15.
- Anonim (2018a). BP Enerji Görünümü. Dünya Enerji Konseyi. <https://www.dunyaenerji.org.tr/bp-enerji-gorunumu-2018/> Erişim Tarihi 25.12.2018
- Anonim (2018b). 2018 Yılı Kasım ayı sonu itibariyle Ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Güç. <http://www.guyad.org/pdf/KasimSonuBirincilKaynaklaraGoreElektrikEnerjisiUretimiKuruluGuc.pdf> Erişim Tarihi 25.12.2018
- Anonim (2018c). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bagcilik> Erişim Tarihi 25.12.2018
- Anonim (2018d). PVsyst. <http://www.pvsyst.com/en/> Erişim Tarihi: 25.12.2018
- Anonim (2018e). RETScreen. <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465> Erişim Tarihi: 25.12.2018
- Anonim (2019a). http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2380 Erişim Tarihi: 06.05.2019
- Anonim (2019b). <https://mundasolar.com> Erişim Tarihi: 11.06.2019
- Anonim (2019c). <https://www.enerjibes.com/> Erişim Tarihi: 11.06.2019
- Arslan İ (2018). Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Aydın EH, Cunkaş M (2018). Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesi Enerji Talebinin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Karşılanması. S.Ü. Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 241-252.
- Bilgili ME (2018). Modern Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Enerji İhtiyacının Fotovoltaik Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Bir Araştırma. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Bingöl O, Özkaya B (2018). Analysis and Comparison of Different PV Array Configurations Under Partial Shading Conditions. Solar Energy Journal, 160, 336–343.
- Boz O (2011). Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Büyükzeren R, Altıntaş HB, Martin K, Kahraman A (2015). Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği. EMO Bilimsel Dergi, 5(10); 41-46.

- Chikh M, Mahrane A, Bouachri F (2011). PVSST 1.0 Sizing and Simulation Tool for PV Systems. Energy Procedia. 6, 75–84.
- Çağlar A (2018). Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 849-854.
- Demiryürek HK (2018). 200kWp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralının Pvsyst İle Tasarımı Ve Üretim Değerleri İle Simulasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Doğan BT, Çolakoğlu A, Kıncay O (2012). RETScreen Analiz Programı ile Hatay’da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 131:22-27.
- Erkul A (2010). Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- GEPA (2019). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi 17.05.2019.
- Girgin MH (2011), Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Gülcü M, Taşeri L (2012). Trakya Yöresinde Üzüm Suyu Üretiminin Geliştirilmesi Üzerine Çalışmalar: Tekirdağ Örneği. International Food, Agriculture And Gastronomy Congress, 15-19 February 2012, Antalya.
- Gültuna KM (2015). Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralının Simülasyonu; Teknoekonomik Ve Çevresel Optimizasyon. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Haydaroğlu C, Gümüş B (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7 (3), 491-500.
- Hossain AK, Badr O (2007). Prospects Of Renewable Energy Utilization For Electricity Generation İn Bangladesh. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11: 1617-49.
- İşık MA (2007). Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtma Sisteminin Van İlinde Sağladığı Enerji Tasarrufunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Kahraman A, Ülger İ, Ongun B, Özcan NY, Bıyık E, Özcan G (2017). Bir Endüstriyel Bina İçin Hibrit Fotovoltaik ve Radyant Tavan Sistemi Tasarımı. 7. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 22-23 eylül 2017, 41-51, Mersin.
- Karakan A, Oğuz Y (2015). Mevcut Yapılara Uygulanan Fotovoltaik Sistemlerin İncelenmesi: Afyonkarahisar Örneği. 2nd Internatiional Sustainable Buildings Symposium, 28-30 May, Ankara.
- Kenar N, Ketenoğlu O (2009). Konya Güneş Kaynaklı Ultraviyole Radyasyonunun Karasal Ekosistemler Üzerine Etkileri. SÜ Fen Fakültesi Fen dergisi, 33, 67-77.
- Kıyançık E (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS² Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Küçükgoze OM, Kaya M (2016). Erzincan İli İçin 50 kW Kurulu Gücünde Bir Güneş Enerji Santralinin Maliyet Analizi. *International Multilingual Academic Journal*. 4 (3).
- Küpeli AÖ (2005). Güneş Pilleri ve Verimleri. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Liepert B (2006). G.Observed Reductions in Surface Solar Radiation in the United States and Worldwide from 1961 to 1990. *Geophysical Research Letters*, 29.
- Mangan SD, Oral GK (2014). Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 143: 37-46.
- Maturi L, Sparber W, Kofler B, Bresciani W (2010). Analysis and Monitoring Results of a BIPV System in Northern Italy. In *Proceedings of the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, and the 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*.
- MGM (2019). Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/> Erişim Tarihi 17.05.2019.
- Morris JR, Brady PL (2004). The Muscadine Experience: Adding Value to Enhance Profits. *Arkansas Agricultural Experiment Station, Research Reports and Research Bulletin*, 45-55.
- Mutluay B (2016). Bir Fotovoltaik Güç Santrali Tasarımının Sistem Simülasyonu Ve Teknoekonomik Fizibilitesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Nrel. (2017). What is the energy payback for PV. <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35489.pdf> Erişim Tarihi 25.12.2018.
- Özek E (2009). Peyzaj mimarisi uygulamalarında güneş enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma ve Yalova-Termal Yolu örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tutaşı CC (2018), Güneş Enerjisinden Isı Ve Elektrik Eldesinin Tekno-Ekonomik Simülasyonu: Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- YEGM (2018). http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx Erişim Tarihi: 22.05.2019
- Yalçın L (2010). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yerli B, Özdemir ET, Kaymak MK, Sezen İ, Efe B, Eftimiyadis K, Şahin AD (2013). Türkiye'de Güneş Enerjisinden Lisanssız Elektrik Üretimi Ve İtü Fizibilite Çalışması. *Conference: 6th Atmospheric Science Symposium*, Nisan 24-26, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Merve EREMKERE, 30.09.1994 tarihinde Van'da doğdu. Lise eğitimini İstanbul Haraççı İMKB Lisesi'nde tamamladı. 2017 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.