



CİBUTİ İKLİM ŞARTLARINDA PV SİSTEM İLE POMPA ÇALIŞTIRILMASININ MODELLENMESİ

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Idil YOUSOUF SOUGUEH

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Metin KAYA**

**CİBUTİ İKLİM ŞARTLARINDA PV SİSTEM İLE POMPA
ÇALIŞTIRILMASININ MODELLENMESİ**

İdil YOUSOUF SOUGUEH

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Metin KAYA

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Aralık 2022

Idil YOUSOUF SOUGUEH tarafından hazırlanan “CİBUTİ İKLİM ŞARTLARINDA PV SİSTEM İLE POMPA ÇALIŞTIRILMASININ MODELLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr.Metin KAYA

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/12/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Idil YOUSOUF SOUGUEH

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CİBUTİ İKLİM ŞARTLARINDA PV SİSTEM İLE POMPA ÇALIŞTIRILMASININ MODELLENMESİ

İdil YOUSOUF SOUGUEH

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Metin KAYA

Aralık 2022, 49 sayfa

Yenilenebilir enerjiler, tükenmeyen veya diğer bir ifadeyle kendini sürekli yenileyebilen ve insanlığın ihtiyaç duyduğu enerji talebini hızla karşılayabilen enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisinden yararlanılarak çeşitli enerji üretmek mümkündür. Bunlardan bir tanesinde fotovoltaik sistemler (PV) kullanarak elektrik üretimidir. Üretilen elektriği yaşamımızın her anında kullanabiliriz.

Tez çalışmamızda PV sistemlerin tasarımı için geliştirilmiş olan farklı simülasyon programları kullanarak Cibuti de PV sistem ile Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilip, pompa sisteminde kullanılması amaçlanmıştır. Simülasyon programlarının geliştirilmesiyle birlikte, PV sistemlerinin performansını değerlendirmek ve çalışma şartlarını simüle ederek sistem tasarımı ve kurulum masraflarını önceden öngörebilmek yatırımcılar için büyük önem kazanmıştır.

Bu tezde, PV*SOL, PVGIS ve PVSYST simülasyon programları kullanılarak, aynı güce sahip (260Wp'lik) şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri analiz edilmiştir. Çalışmada Poly-Si PV modül tipi kullanılarak sistem analizleri yapılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin performansını tahmin etmek için birçok model/hesaplama yöntemi vardır. Bu yazılımlarda aynı sistem için üç yazılımın (PV*SOL, PVGIS ve PVSYST) elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı programların analizlerinden elde edilen sonuçlarda; pompa sisteminin enerji tüketim değeri 20kWh, PV modül 260Wp polikristal olarak belirlendi ve programlar bu değere göre çalıştırıldı.

PV*SOL programından elde edilen sonuçlar; 24 adet polikristal modül kullanımı belirlendi. PV*SOL yazılımının fotovoltaik (PV) sistem için %62,2 verimle yılda 10.278 kWh elektrik enerjisi ürettiği ve sistemin performans oranının (PR) %76,6 olduğu analiz sonuçlarından elde edildi. PVSYST yazılımında, 20 adet polikristal modül belirlendi. PVSYST yazılımının simülasyonu ile yıllık ortalama enerji ihtiyacının 7718 kWh olduğu ve panelin sağladığı enerjinin 7854.8 kWh olduğu ve performans oranının (PR) %65,2 olduğu program çıktısından elde edilmiştir. PVGIS yazılımının simülasyonu; polikristal panelli bir off-grid PV sistemi için tahmini üretim sonuçlarını vermektedir. PVGIS simülasyonu sonuçları ile dolu ve boş akü günlerinin yüzde değeri hesaplanmaktadır. Bu simülasyon programında panellerin modül değerleri verilmemiştir. Karşılaştırma sonuçları, yazılımın tahmin doğruluğunun makul değerlerde olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, Fotovoltaik (PV), Pompa, PV Programlar.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MODELING OF PUMP OPERATION WITH PV SYSTEM IN CLIMATIC CONDITIONS OF DJIBOUTI

İdil YOUSOUF SOUGUEH

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Metin KAYA

December 2022, 49 pages

Renewable energies are energy sources that are inexhaustible or in other words, that can be constantly renewed and can quickly meet humanity's energy needs. It is possible to produce various types of energy by using solar energy. One of them is electricity generation using photovoltaic systems (PV). We can use the electricity generated in every moment of our lives.

In our thesis, it is aimed to produce electrical energy from solar energy with PV system in Djibouti by using different simulation programs developed for the design of PV systems and use it in the pump system. With the development of simulation programs, it becomes very important for investors to evaluate the performance of photovoltaic systems and predict system design and installation costs by simulating operating conditions.

In this work, an off-grid photovoltaic solar energy systems with the same power (260Wp) is analyzed using the simulation programs PV*SOL, PVGIS and PVSYST. In this study, the system analysis was performed using the PV module type Poly-Si. There are many models/calculation methods to predict the performance of photovoltaic systems. In these softwares, results of three software (PV*SOL, PVGIS and PVSYST) for the same system are compared. In the results obtained from the analysis of different programs; the energy consumption value of the pump system was determined as 20kWh and the PV module as 260Wp polycrystalline and the programs were run according to this value.

Results of PV*SOL program; 24 polycrystalline modules identified. The results of the analysis showed that the PV*SOL software could generate 10,278 kWh of electricity per year with a photovoltaic (PV) system efficiency of 62.2% and a system performance ratio (PR) of 76.6%. In the PVSYST software, 20 polycrystalline modules were determined. With the simulation of the PVSYST software, it has been obtained from the program output that the annual average energy need is 7718 kWh, the energy provided by the panel is 7854.8 kWh and the performance ratio (PR) is 65.2%. Simulation based on PVGIS software; it provides estimated production results for off-grid photovoltaic systems with polysilicon modules. Estimate the percentage of full and empty battery days using PVGIS simulation results. Panel modulus values are not specified in this simulation. The comparison results show that the estimation accuracy of the software is within the range of reasonable values.

Keywords : Renewable energy, Photovoltaic (PV), Pump, PV Programs.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Metin KAYA'a ve eğitim hayatım boyunca yetişmemde katkılarıyla olan bütün hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca tezimi tamamlamak için moral ve motivasyonumu üst seviyede tutmamı sağlayan başta babam Youssouf Sougueh ve annem Mariam Yonis olmak üzere ailemin tüm fertlerine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ivi
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATUR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	10
FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	10
3.1. FOTOVOLTAİK SİSTEM ÇEŞİTLERİ.....	10
3.1.1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik (Off- Grid) Sistemler	11
3.1.2. Şebeke Bağlı Fotovoltaik (On-Grid) Sistemler	12
3.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN BİLEŞENLERİ	12
3.2.1. PV Paneller	13
3.2.1.1. Monokristal (Tek Kristalli) Güneş Paneli.....	14
3.2.1.2. Polikristal (Çok Kristalli) Güneş Paneli	15
3.2.1.3. Amorf Silisyum Güneş Paneli	16
3.2.2. Şarj Regulatorü	16
3.2.3. İnverter.....	16
3.2.4. Akü	17

BÖLÜM 4	19
FOTOVOLTAİK SİSTEM SİMÜLASYON PROGRAMLARI.....	19
4.1. PV*SOL SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ.....	19
4.2. PVGIS SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ.....	21
4.3. PVSYST SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ	22
4.3.1. Proje Tasarımı.....	24
4.3.2. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem Tasarımı	24
4.3.3. Fotovoltaik (PV) Pompalama	25
4.3.4. Kurulum Yeri.....	26
4.3.4.1. Meteorolojik Verileri	27
4.3.4.2. PV Panellerin Yönlendirmeleri.....	28
4.3.4.3. Elektrik İhtiyaçlarının Belirlenmeleri	29
4.3.4.4. Akü Grubu Boyutlandırma	30
BÖLÜM 5	34
SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR.....	34
5.1. PV*SOL YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI	35
5.2. PVGIS YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI	35
5.3. PVSYST YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI	38
5.3.1. Sistem Parametreleri (Pil İle Bağımsız Sistem).....	38
5.3.2. PV Dizi Karakteristikleri	38
5.3.3. Akü Takım Özellikleri.....	38
5.3.4. Yük Profili	38
5.3.5. Performans Oranı.....	39
5.3.6. Normalize Üretim	40
5.3.7. Enerji Dengesi	40
5.3.8. PVSYST Yazılım Pompa Sonuçları	41
BÖLÜM 6	43
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
6.1. SONUÇLAR	43
6.2 ÖNERİLER:	44

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Şebekeden bağımsız sistem (off grid sistem).....	11
Şekil 3.2. Şebekeye bağlı sistem (on grid sistem).....	12
Şekil 3.3. Fotovoltaik sistemin (PV) bileşenleri	13
Şekil 3.4. Fotovoltaik hücre, panel ve diziler.....	14
Şekil 3.5. Fotovoltaik hücre iç yapısı.....	14
Şekil 3.6. Monokristal hücre ve panel.....	15
Şekil 3.7. Polikristal hücre ve paneli.....	15
Şekil 3.8. Amorf panel.	16
Şekil 3.9. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler için inverterler (off grid).	17
Şekil 3.10. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem inverterleri (on grid) ve tam sinus.....	17
Şekil 3.11. Solar jel akü.	18
Şekil 3.12. Lityum iyon akü.	18
Şekil 3.13. Derin döngülü kurşun asit akü.	18
Şekil 4.1. PVSOL programında Cibuti bölge seçimi.	20
Şekil 4.2. 3D Tasarım sayfası.	20
Şekil 4.3. PVGIS simülasyon programının ara yüzü (Cibuti).....	21
Şekil 4.4. PVGIS simülasyon programının ara yüzü (Obock).	22
Şekil 4.5. PVSYST programı giriş arayüz sayfası.	23
Şekil 4.6. PVSYST programı proje tasarımı.	24
Şekil 4.7. Şebekeden bağımsız.....	25
Şekil 4.8. Pompalama	25
Şekil 4.9. Cibuti bölgesi coğrafi konumu.....	26
Şekil 4.10. Cibuti bölgesinin coğrafi koordinat.	26
Şekil 4.11. Meteorolojik veriler.	27
Şekil 4.12. Bölge seçimi.	27
Şekil 4.13. Ufuk çizgisi diyagramı.....	28
Şekil 4.14. Yönlendirme.	29
Şekil 4.15. Elektrik ihtiyaçlarının hesaplanması.....	30
Şekil 4.16. Akü boyutlandırılması.	31
Şekil 4.17. PV modül seçim ekranı.....	31

Sayfa

Şekil 4.18. Controller seçim ekranı görüntüsü.....	32
Şekil 4.19. PVSYST programının tarafından belirlenen seri ve dizi sayıları.	32
Şekil 5.1. PVSOL sonuçlar penceresi.	35
Şekil 5.2. Cibuti'deki PVGIS programının sonuçları.	36
Şekil 5.3. Obock'daki PVGIS program sonuçları.	37
Şekil 5.4. Yük profili.....	39
Şekil 5.5. Performans oranı.	39
Şekil 5.6. Noramalize Üretim.....	40
Şekil 5.7. Yıl boyu kayıplar diyagramı.	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Çalışma koşulları.	33
Çizelge 5.1. Enerji dengesi.	40
Çizelge 5.2. Pompa sonuçları.....	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

"E	: Boylam
"N	: Enlem
V	: Volt
Voc	: Açık Devre Gerilimi
Vmpp	: Nominal Gerilimi
Impp	: Nominal Akım
Isc	: Kısa Devre Akımı
kWh	: Kilowatt Saat
Wp	: Watt peak (Pik noktası)
Ah	: AmperSaat
A	: Amper

KISALTMALAR

PV	: Fotovoltaik
PV*SOL	: Fotovoltaik Sistemler Simülasyon Yazılım
PVGIS	: Fotovoltaik Coğrafik Bilgi Sistemi
PVSYST	: PV Simülasyon Programı
3D	: Üç Boyutlu
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takipçi
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
PR	: Performans oranı
Lf	: Kayıp faktörü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyada nüfusun artmasıyla birlikte enerji talebide hızla artmaktadır. Enerji talebindeki artışı karşılayabilmek için yenilenebilir enerjiler, özellikle güneş enerjisi kullanımı giderek artmaktadır. Dünya, içerisinde yer aldığı samanyolu galeksisin de güneşten yeterli miktarda enerji almakta ve canlılar yaşamlarını sürdürmektedirler. Güneş enerjisi, kullanılan güneş enerjisi dönüştürme teknolojisine bağlı olarak ısı ve güç üretebilmektedir [1].

Fosil yakıt rezervlerinin azalması, çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi hayati nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda önem kazanmıştır. Fosil yakıtlara alternatif olarak vazgeçilmez bir enerji kaynağı olduğu için yenilenebilir enerji sektörü bugünün ve geleceğin en hızlı büyüyen sektörüdür. Güneş enerjisinin yaygınlaşma potansiyeli, kullanım kolaylığı, temizliği, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksektir [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, çevre dostu olması ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajları vardır. Dünyada bilinen en büyük enerji kaynağı güneştir. Güneş panelleri, güneş enerjisinden elektrik üreten teknolojilerin başında gelmektedir.

Fotovoltaik (PV), güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek kullanmanın en kolay yoludur. Güneş ışığını fotoelektrik etki ile elektriğe dönüştürmek için kullanılan enerji dönüşüm cihazlarına güneş pilleri veya fotovoltaik hücreler denir. Solar Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş ışınımını elektriğe dönüştürmek için birçok hücreden modüller ve modüllerin birleştirilmesiyle paneller oluşturulmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin kurulumunda, sistemin kurulduğu coğrafi yeri, bu yerin güneşleme değerleri, kullanılacak fotovoltaik paneli ve invertörün özellikleri gibi birçok hususun dikkate alınması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. PV sistem kurulumundan önce, sistemin yerleştireceği ortam koşullarında maksimum enerji üretimi hangi koşullar altında gerçekleşeceğini modellenerek bir ön çalışma yapılarak belirlenmesi de oldukça önemlidir [3].

PV sistemlerin çalışma prensibi Şebeke bağlantılı on grid sistem ve şebeke bağlantılı olmayan sistemlere ise off grid sistemler olarak adlandırılır. Bu sistemler çok maliyetli olduğu için şebeke bağlantısı olmayan yayla evleri, çiftlikleri, sulama motorları gibi yerlerde şebekeden bağımsız sistemler tercih edilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemi tipik olarak bir PV panel, batarya, invertör, şarj kontrolörü ve kablo bileşenlerinden oluşmaktadır. Şebekeye bağlı (on-grid) sistemlerde ise ya kendi enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak için ya da hem kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamak hemde üretilen fazla enerjiyi şebekeye vermek için oluşturulmaktadır [4].

PV sistemlerin birlikte kullanıldığı yöntemlerden biri de güneş enerjili su pompası uygulamalarıdır. Doğru akım ile çalışan pompalar, fotovoltaik güneş panellerinde (PV) üretilen doğru akım ile çalıştırılabilir; bu durumda sistem, bir veya daha fazla fotovoltaik güneş paneli ve kullanılan motora bağlı olarak DC/DC veya DC/AC dönüştürücülü pompadan oluşur. Fotovoltaik paneller, güneş altında doğrudan pompa kontrol cihazına güç sağlayan bir elektrik akımı üretir. Bu en basit, en güvenilir ve ekonomik çalışma modudur. Geliştirilen simülasyonu programları kullanarak, bu araştırmaları yapmak ve gerçekçi bir sistemin tasarlamak mümkün ve kolaydır.

Bu çalışmada; Off-grid fotovoltaik sistemler, elektriğin olmadığı kırsal alanlarda elektrik ihtiyacını karşılamak için sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bunun için Cibuti şehir merkezinin coğrafi konumu PV*SOL, PVGIS ve PVSYST programlarında işlenerek ve bölgenin meteorolojik verileri simülasyon aracına entegre edilerek bir veri tabanı oluşturuldu.

Çalışmamın amacı, fotovoltaik (PV) sistemlerinin performansını analiz etmek ve ardından PV*SOL, PVGIS ve PVSYST programları ile bir fotovoltaik (PV) panelin tasarımını daha hassas bir şekilde incelemektir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır: Birinci bölüm olan giriş bölümü, İkinci bölümde, literatür çalışması olarak makaleler, tezler ve kitaplardan yararlanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda özet şeklinde içeriklerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde fotovoltaik sistem hakkında genel bilgiler içermektedir. Dördüncü bölümde fotovoltaik sistemin simülasyon programlarının kullanılması ile ilgili açıklamalar bulunmaktadır. Beşinci bölümde, PV sisteminde elde edilen simülasyonun sonuçları ve tartışmaları temsil edilmektedir.

BÖLÜM 2

LİTERATUR ÇALIŞMASI

Gamze KANDİRMİŞ (2017); yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında “Isı pompası destekli güneş enerjili bir su ısıtma sisteminin TRNSYS programı ile simülasyonu”, yıl boyunca enerji tüketimi ve sistem maliyetleri gözden geçirilmiş ve yıllık performanslar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin sonucunda HP_SDHW sisteminin EDHW sistemine göre %70, geleneksel SDHW sistemine göre ise %38 daha az elektrik tükettiği sonucuna varmıştır [5].

S.J.Sterling ve ark (2012); çalışmalarında, dolaylı tip Çift tanklı güneş enerjisi destekli ısı pompası “i-SAHP” sisteminin performansını TRNSYS yazılım kullanılarak simüle etmişlerdir. Çalışma sonuçlarının objektif bir şekilde kıyaslanabilmesi için tüm sistemler yalnızca kullanma sıcak suyu ısıtması için değerlendirilmiş ve tüm sistemlerden elde edilen sıcak su aynı sıcaklık, miktarda ve yük profiline ayarlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda ısı pompası destekli sistemin, diğer iki temel sistemden daha az elektrik enerjisi kullandığını belirtmişlerdir [6].

Al-Zahrani ve ark. (2012); tropikal iklimde bir konutun veya ofisin ısıtılması ve soğutulmasını sağlamak amacıyla sıcak su ve soğuk su depolama sistemlerine entegre edilmiş bir ısı pompası sisteminin TRNSYS aracılığıyla simülasyonu ve analizleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın amacı ısı pompasının ürettiği atık ısıdan faydalanarak enerji verimliliğini artırmaktır. TRNSYS simülasyon modeli ısı pompasının gece çalışması, gündüz çalışması ve tüm gün çalışması olmak üzere üç farklı çalışma modu için tasarlanmıştır. Isı pompası, biri ısının ısı pompası tarafından alındığı soğuk su deposu, diğeri ise ısı pompası tarafından ısının tahliye edildiği sıcak su deposu olmak üzere iki ayrı su deposu ile entegre çalışmaktadır. Soğuk su deposu konutu/ofisi soğutmak, soğuk su sağlamak, sıcak su deposu ise banyo yapmak, bulaşık yıkamak gibi günlük aktiviteler için sıcak su sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Analiz sonucunda, iki depolama tankı boyutlandırılması ve iki tankının arasındaki ısı transferinin dengelenmesi depolama tanklarında uygun sıcaklıkların korunmasında önemli tasarım faktörleri olduğu tespit etmişlerdir [7].

R. Chargui ve ark (2014) Çalışmalarında, TRNSYS üzerinden oluşturdukları model ile Tunus iklim koşullarında bir evi ısıtmak için çift kaynaklı bir ısı pompası sisteminin kullanımını incelemişlerdir. Yapılan modelleme ile güneş radyasyonunun evin tüm yönleri üzerindeki etkilerine de bakmışlardır. Kış aylarında bir konut sistemine ısı pompası sistemi bağlanmış ve güneş radyasyonunun sistem üzerine etkilerini incelemişlerdir. Isı pompası uygulanan konuttaki tanktan çıkan suyun debisinin artmasının sistemi olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Bu artışın tanktaki sıcaklıkta azalma, ısı pompasının performansında düşüş ve elektrik tüketiminde artış gibi sonuçları olduğunu göstermişlerdir. Sonuçlar, sistemin Akdeniz ve Tunus bölgesinde konut inşaatı veya seraları ısıtmak için tatmin edici bir şekilde kullanılabilceğini göstermişlerdir [8].

Richard Thygesen ve ark (2013); Bu çalışmada ekonomi ve enerji açısından üç farklı sistem simüle ederek ve analiz edilmişlerdir; bir PV sistemi ve ısı pompası (alternatif 1), bir ısı pompası ve güneş enerjisi termal sistemi (alternatif 2) ve bir ısı pompası, bir PV sistemi ve bir güneş enerjisi termal sistemi (alternatif 3). Sonuç olarak bir ısı pompası ile birlikte bir PV sisteminin, bir ısı pompası ile birlikte bir güneş enerjisi termal sistemine üstün bir alternatif olduğu sonucunu çıkarmışlardır [9].

Bruno Wittmer ve ark. (2015); Şebekeye bağlı PV kurulumların verilerini izleme, bir PV tesisinin işletimini ve performansını takip etmek için yapılan uygulamalara örnek bir çalışma yapmışlardır. Ana arıza modlarının bu verilerin analizinden tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, ölçülen izleme verilerinin ayrıntılı simülasyon sonuçlarıyla birleştirilmesi, daha ayrıntılı ortaya çıkarılmasında yararlı olabilecek ek bilgiler sağlamışlardır. Bu bağlamda ölçülen verileri simülasyon sonuçlarıyla mukayese etmişlerdir. Bu tür bir analize izin veren bir araç şu anda PVSYST yazılımında uygulanmaktadır ve izleme verilerini simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırma yetenekleri genişletilmektedir [10].

Kandasamy ve ark. (2013), şebeke bağlantılı bir güneş PV sisteminin simülasyonu yapmışlar ve performansı PVSYST programı kullanılarak değerlendirmişlerdir. Performans oranını ve çeşitli güç kayıplarını hesaplamışlardır. Sonuçlardan, 1 MW'lık bir güneş fotovoltaik (PV) elektrik santrali kurmanın fizibilitesi, Tamil Nadu'nun güney bölgesinde seçilen yerlerin güneş enerjisi üretimi ve yaşam döngüsü maliyetleri karşılaştırarak tartışmışlardır[11].

Karki ve ark. (2012), çalışmalarında, güneş panellerinin hücre performansının, mevcut enerjiyi kullanmak için uygulanan coğrafi konuma ve uygulanan teknolojiye bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Makalede, Katmandu ve Berlin'in şebeke bağlantılı PV sistemlerinin PVSYST kullanılarak karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Şebeke bağlantılı PV dizileri tarafından üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı ve sistemlerde meydana gelen farklı kayıplar analiz edilerek sonuçlar grafiksel olarak sunmuşlardır [12].

Cem Haydaroglu ve ark. (2016), çalışmalarında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde bulunan 250 KWp kurulu güce sahip fotovoltaik güneş enerjisi santralının PVSYST V6.39 programı ile simülasyonunu yapmışlar ve performansını analiz ederek IEC 61724'te belirtilen performans kriterlerini karşılayıp karşılamadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca santralin Aralık 2015 ile Nisan 2016 tarihleri arasındaki üretim değerleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [13].

Mustafa Engin Başoğlu ve ark. (2014), çalışmasında, monokristal, polikristal ve kadmiyum tellür tipi güneş panellerinden oluşan üç farklı fotovoltaik güç sistemini IEC 61724'e göre performanslarını incelemişlerdir. Tüm fotovoltaik sistemlerin performansları, belirlenen aylar için karşılaştırmışlar ve ince film güneş paneller diğer panellere göre daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir[14].

Sekuçoğlu (2012), yaptığı çalışmasında fotovoltaik sistemi, rüzgar sistemi ve hibrit sistemlerden elektrik enerjisinin üretimini incelemiş, sistemler tasarlanmış, ekonomik olarak karşılaştırmış ve analiz etmiştir. Sistemlerin tasarımlarını yapmak ve her sistemin teknik-ekonomik parametrelerini belirlemek için PVSYST ve HOMER programları kullanmıştır. Çalışma bölgeleri olarak Belen, Karaman, Kırklareli, Konya,

Gelibolu ve Sinop seçilmiştir. Sistemler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak değerlendirilmiştir. Şebekeden bağımsız hibrit sistemlerin diğer iki sisteme göre daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan şebekeye bağlı sistemlerin şebekeden bağımsız sistemlere göre daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir [15].

Rüştü Eke ve ark (2012), çalışmasında, iki adet çift eksen takipli fotovoltaik (PV) sistemin bir yıllık işletimden sonraki performans sonuçlarını analiz etmişlerdir. Çalışmada, 2009 yılın Ekim ayında Muğla Üniversitesi 'ne yerleştirilen aynı modüllere ve inverterlere sahip birbirinin aynısı olan iki adet 7,9 kWp PV sistemi kurmuşlardır. PV sistemlerin ölçüm verileri ile simüle edilerek elde edilen enerji değerleri arasındaki fark %5'ten az olmuştur. Çalışmada, fotovoltaik sistem ilk olarak 28° sabit eğim açısında tutulmuştur. Daha sonra çift eksenli güneş takip sistemi ile güneşin iki açılı (azimut ve solar altitude açılı) takip sistemi ile kontrol edilerek gerekli ölçümler alınmıştır. Sonuç olarak çift eksenli güneş takip sisteminde, sabit sisteme göre %30,79 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği hesaplanmıştır [16].

Irwan ve ark. (2015); makalede, PVSYST yazılımı kullanılarak şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sisteminin değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, şebekeden bağımsız bir sistem geliştirmeye ek olarak, senelik enerji üretimi tahmin etmek için bir simülasyon yazılımı kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Yazarlar tüm sistemdeki toplam enerji akışını hesaplamışlardır. PVSYST yazılımı ile tüm yıl boyunca yüke bağlı olarak sağlanan tahmini enerji ihtiyacının belirlenebildiğini göstermişlerdir [17].

Keskin (2012), çalışmasında PVSYST programını kullanmıştır. Programda farklı özelliklere sahip fotovoltaik paneller seçilmiş ve Türkiye'nin yedi bölgesinden birer il seçilerek şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji depolama sistemlerinin simülasyonları ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Programı şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem modellenmesinde kullanımı, seçilen yedi şehir ve üç farklı fotovoltaik teknoloji ile gerçekleştirilen sistem tasarımı ve modelleme aşamaları detaylı olarak anlatılmış ve modelleme sonuçları irdelenmiştir [18].

Axaopouloset ve ark. (2014) çalışmalarında gün geçtikçe güneş enerjisi sistemlerine yatırım yapan daha fazla ticari ve bireysel kullanıcıları sayesinde fotovoltaik kullanımının arttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, TRNSYS, Archelios, Polysun, PVSYST, PV*SOL ve PVGIS'in hesaplama doğruluğunu, bir şebekeye bağlantılı 19.8 kWp fotovoltaik kurulum tarafından üretilen elektrik enerjisi verilerini kıyaslayarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, yazılım paketlerinin, PV modüllere gelen ışınımı tahmin etmede ortalama sonuçlar verdiğini, ancak sistem kurulumu tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarının önemli olduğunu göstermişlerdir [19].

Mustafa Ceylan (2018), bu çalışmasında, PV*SOL programı kullanarak, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nde bulunan Enerji Enstitüsü binaları için bina çatılarına uygun şekilde yerleştirilecek, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem tasarlamış ve simülasyonu gerçekleştirmiştir. Simülasyon sonucunda fotovoltaik sistemin senelik 88.642 kWh elektrik enerjisi üreteceği ve bunun enstitünün yıllık elektrik tüketiminin %25'ini karşılayacağı hesaplanmıştır. Tasarlamış olduğu sistemin performans verimini %72,3 olarak ve enerjinin birim maliyetinin de 0,95 TL/kWh olduğu hesaplamıştır [20].

Ekici ve Gülten, yaptıkları çalışmalarında Elâzığ ilindeki bir binanın çatısına kurulacak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemi değerlendirmişlerdir. Bölgenin aylık ortalama ve yaygın güneş radyasyonu değerlerini hesaplamak için MATLAB programı kullanmışlardır. Üretilen elektriği hesaplamak için PVSYST 6.2.6 paket programı kullanmışlardır ve PVSYST programını ile panel eğim açısının değerleri tanımlamışlardır [21].

Nirwan ve Thakur; yaptıkları çalışmalarında PEC Teknoloji Üniversitesi bünyesinde bulunan 1 MW'lık şebeke bağlantılı güneş enerjisi santralini incelemişler ve PVSYST programını kullanarak performansı değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, ortalama küresel yatay ışınım 5,26 kWh/m²/gün ve yıllık ortalama sıcaklık değeri 20,9°C almışlardır. Çalışma, tesisin kurulduğu eğim açısındaki performansın değerlendirilmesini ve ufuk değerlendirmeleri olan ve olmayan saha için optimum eğimle karşılaştırmayı içermektedir [22].

Ceylan ve Taşdelen (2018), yaptıkları çalışmalarında, PVSOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS PV simülasyon programları kullanılarak iklim verilerinin, yük taleplerinin ve temel sistem bileşenlerinin simülasyonu amaçlanmış ve 1.0 mW kurulu güneş sisteminin bileşenlerinin simülasyonu yapılmıştır. Santralden elde edilen elektrik üretim verileri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Simülasyon verilerinin gerçek verilerle tutarlılığı analiz edilmiştir [23].

Psomopoulos ve ark. (2015), makalede Yunanistan'da 9,6 kW, 105,6 kW GES tipi güneş enerjisi santralleri ve 98,4 kW iki açılı güneş takip cihazının 24 aylık üretim verilerini PVGIS, PVWatts ve RetScreen programlarından elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır [24].

Misrak Girma ve ark (2015) ; bu çalışmalarında, Etiyopya kırsalında üç farklı bölgede bir fotovoltaik güneş enerjili su pompalama sisteminin fizibilitesini araştırmak için PVSYST 5.56 yazılımı kullanılmıştır. Bu üç bölgede farklı sonuçlar elde etmişlerdir. PV sistemi, günde kişi başına 15 litre su tüketimi ile sırasıyla Siadberand Wayu, Wolmera ve Enderta sitelerinde 700, 467 ve 433 kırsal topluluk için günde ortalama 10,5, 7 ve 6,5 m³/gün sağlayabilir. Kuyudan pompalanan suyun gücü ne kadar yüksekse pompanın veriminin o kadar düşük olduğu tespit edilmişlerdir [25].

Rakhi Sharma ve ark (2020); Bu makalede, PV sistem tasarımının optimizasyonu, simülasyon yazılım aracı PVSYST 5.52 ile gerçekleştirilmiştir. PVSYST yazılımı ile sistem simülasyonunun sonucu, %82,50 sistem verimliliği elde edilmiş ve tasarım sürecinde seçilen çeşitli tasarım parametrelerinin doğruluğunu kanıtlanmıştır [26].

J. Vishnupriyan ve ark (2022); Bu makale, güneş enerjili su pompalama sistem teknolojilerinde eğim açısı değişiminin etkisini tartışmaktadır. PVSYST simülasyon programı, iklim koşullarına ve güneş ışığına göre eğim açısını değiştirebilen fotovoltaik güneş sisteminin performansına değerlerine sahiptir. Bu simülasyon, eğim açısının değişiminin sistemin performansı üzerindeki etkisini dikkate alacaktır. Bu yazılımda 8, 15, 30 ve 45 olmak üzere dört farklı eğim açısı dikkate alınmıştır [27].

BÖLÜM 3

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler, elektrik enerjisi üreten ve çevre dostu bir yöntemdir. Fotovoltaik enerji, genellikle kristal silisyum bazlı hücreler aracılığıyla güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesinden kaynaklanır. Genel olarak bir fotovoltaik sistem, bir dizi fotovoltaik modülden, bir şarj regülatöründen, bir veya daha fazla pilden ve bir invertörden oluşur. İki fotovoltaik sistem vardır (şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistem).

Tanım olarak, "fotovoltaik" kelimesi, ışık anlamına gelen Yunanca "foto" ve elektriğin keşfine çok katkıda bulunan İtalyan fizikçi Alessandro Volta'nın (1754 -1827) adından gelen "voltaik" kelimesinden gelir, kelimenin tam anlamı, fotovoltaik; hafif elektrik demektir [28].

Dolayısıyla, farklı tipte güneş pilleri (veya fotovoltaik piller) vardır ve her hücre tipinin kendi performansı ve kendi maliyeti vardır. Bununla birlikte, türleri ne olursa olsun, verimleri oldukça düşüktür: emdikleri enerjinin %8 ila %23'ü elektriğe dönüşmektedir [29].

3.1. FOTOVOLTAİK SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Güneş fotovoltaik güç sistemlerinin en çok bilinen çeşitleri, şebekeye bağlı olmayan ve şebekeye bağlı güneş fotovoltaik güç sistemleridir. Birincisi, genellikle uzak bölgelerde bulunan, güç dağıtım sisteminden bağımsız sistemlerdir. Ayrıca, fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri yalnızca güneş panellerinden oluşmazlar. Sistem tipine bağlı olarak güneş panelleri ile inverter, akü ve şarj kontrolörü gibi diğer önemli cihazlardan oluşmaktadır [30].

3.1.1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik (Off- Grid) Sistemler

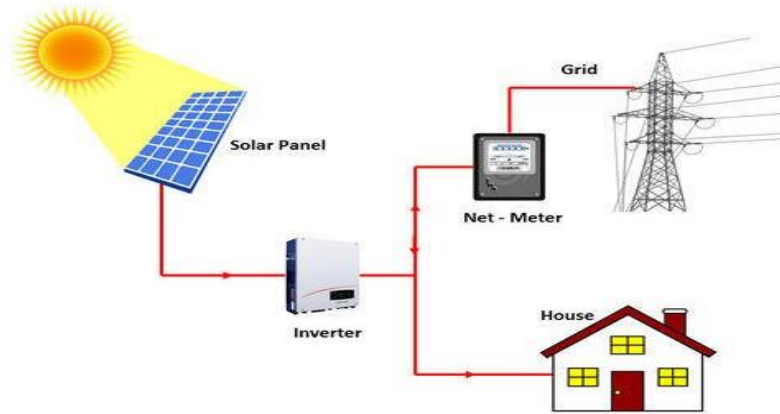
Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, şebekenin olmadığı alanlarda enerji ihtiyacına göre tasarlanıp devreye alınan sistemlerdir. Şebekeden bağımsız bir PV sistem, güneşten gelen enerjiyi pillere (akü) depolayarak, güneş enerjisinin olmadığı gün ve gecelerde kullanmak üzere tasarlanan sistemlerdir. Derin döngülü kurşun asit piller genellikle fotovoltaik paneller tarafından üretilen güneş enerjisini depolamak ve daha sonra enerji gerektiğinde enerjiyi boşaltmak için kullanılır. Derin döngülü piller yalnızca şarj edilebilir değildir, aynı zamanda neredeyse çok düşük bir şarj kadar tekrar tekrar deşarj edilmek üzere tasarlanmıştır. Güneş panelleri ve piller arasında bir şarj kontrolörü bağlanır. Şarj kontrolörü otomatik olarak çalışır ve güneş panellerinden gelen maksimum gücün pilleri aşırı şarj etmeden veya zarar vermeden şarj etmeye yönlendirilmesini sağlar. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem, güneş paneli, invertör, şarj kontrolörü ve pilden oluşmaktadır. Off-grid fotovoltaik sistemde güneş panellerinin ürettiği elektrik şarj kontrolörü tarafından düzenlenerek pillerde depolanır ve pillerde doğru akım olarak depolanan bu elektrik inverter vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülür [31]. Şekil 3.1’de Şebekeden bağımsız sistemin şematik görünümü verilmektedir.



Şekil 3.1. Şebekeden bağımsız sistem (off grid sistem) [32].

3.1.2. Şebeke Bağlı Fotovoltaik (On-Grid) Sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemi, elektrik şebekesine bağlı bir elektrik üretim sistemidir. Bu fotovoltaik sistem güneş paneli (PV), inverter ve şebekeye bağlantıyı sağlayacak ekipmanları içermektedir. Genellikle şebekeye bağlı sistem pil yedeğine ihtiyaç duymaz, çünkü sistem üretmiş olduğu enerji ihtiyaç duyulan enerjiden daha fazla olduğunda otomatik olarak bağlı olduğu şebekeye aktaracaktır. Şebekeye bağlı bir PV sisteminde, PV dizisi, bir akümülatör olmadan doğrudan şebekeye bağlı eviriciye bağlanır. Sistemde üretilen doğru akım inverter vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülerek doğrudan şebekeye aktarılabilir. Bu sistemin avantajlarından biri aküye gerek olmamasıdır [33]. Şekil 3.2’de Şebekeye bağlı sistem şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Şebekeye bağlı sistem (on grid sistem).

3.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN BİLEŞENLERİ

Fotovoltaik (PV) sistemler, tasarım kriterlerine göre farklı elemanların biraraya getirilmesi, kullanım amacına göre farklı tasarımların yapılmasıyla oluşturulmaktadır. Fotovoltaik sistem, Şekil 3.3’te gösterildiği gibi bir fotovoltaik panel, bir şarj kontrol cihazı, bir invertör, bir pilden ve elektrik tüketiminden (pompa) oluşmaktadır [34].

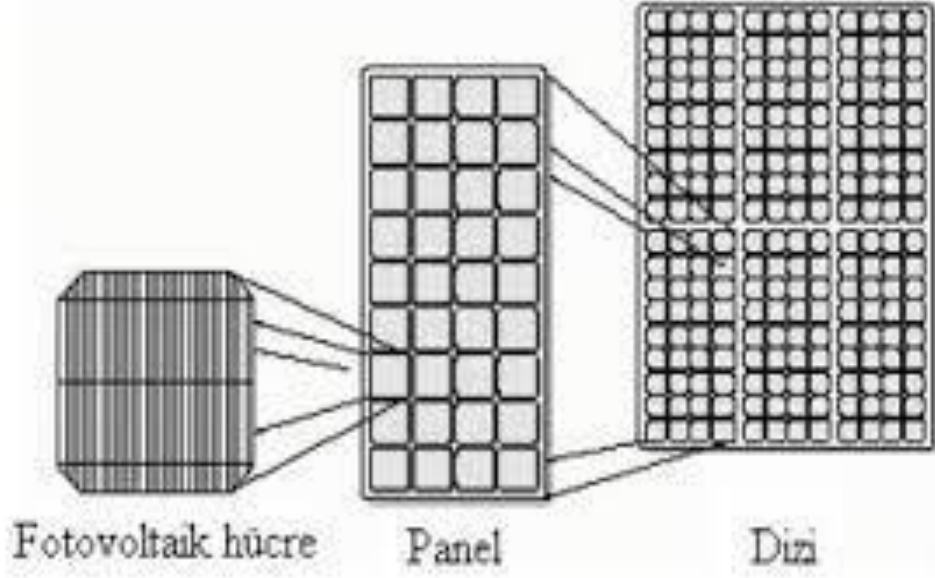


Şekil 3.3. Fotovoltaik sistemin (PV) bileşenleri [34].

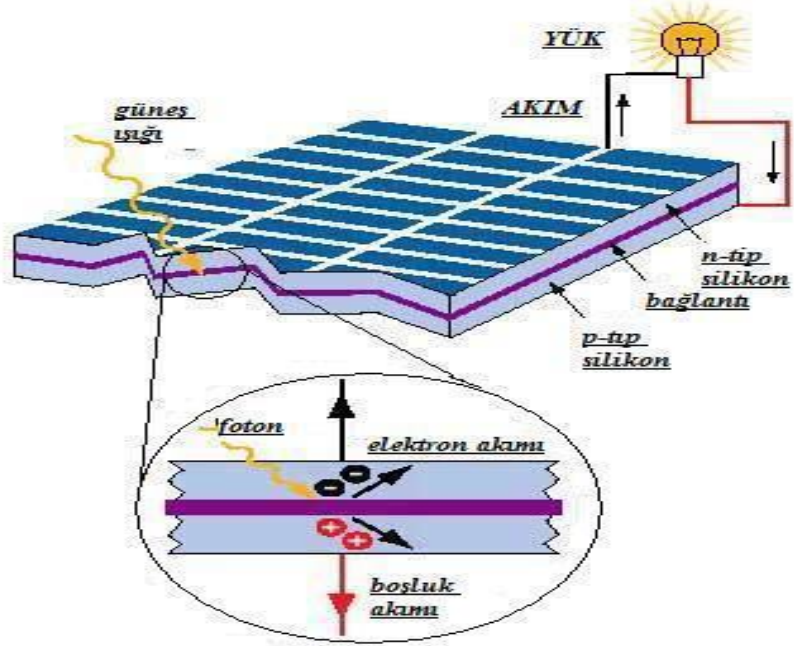
3.2.1. PV Paneller

Fotovoltaik güneş paneli, içerdiği fotovoltaik hücreler aracılığıyla güneş ışınlarını doğrudan sürekli elektrik enerjisine dönüştürür. Fotovoltaik hücreler kendi başlarına yüksek miktarda enerji üretilmezler. Bu nedenle bunları birbirleriyle paralel veya seri bağlayarak fotovoltaik panel adı verilen yapıları oluştururlar. Elde edilen fotovoltaik panellerin tasarım maliyetleri ve verimleri, yapılarındaki fotovoltaik hücrelerin tipine göre değişmektedir [35]. Şekil 3.4'te Fotovoltaik hücre, panel ve diziler gösterilmektedir [36]. Fotovoltaik hücreler, enerjinin (burada ışık enerjisinin) etkisi altında elektronlarını serbest bırakabilen yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Fotonlar şeklinde güneş ışığı fotovoltaik hücrenin üzerine düştüğünde yarı iletken malzeme tarafından emilir. Fotovoltaik hücreler, bir p-n tabakası oluşturmak için p ve n tipi silikon bazlı yarı iletkenlerden yapılmıştır. Bir p-tipi silikon tabakasının üzerine n-tipi bir silikon tabakası yerleştirdiğimizde, iki malzemenin birleştiği yerde bir bariyer oluşur ve hiçbir elektron bariyeri geçemez, bu bağlantı noktasıdır. Şekil 3.5'te Fotovoltaik hücre iç yapısı gösterilmiştir[37].

Piyasada üç tip güneş paneli bulunmaktadır. Piyasada yaygın olarak kullanılan güneş panelleri monokristal, polikristal ve amorf güneş panelleridir. Bunlardan farklı pek çok güneş paneli çeşitleri de mevcuttur.



Şekil 3.4. Fotovoltaik hücre, panel ve diziler [36].

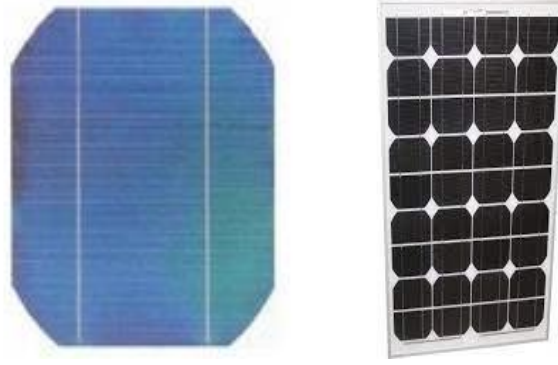


Şekil 3.5. Fotovoltaik hücre iç yapısı [37].

3.2.1.1. Monokristal (Tek Kristalli) Güneş Paneli

Monokristal paneller homojen bir görünüme sahiptir ve daha koyudur. Diffüz güneş radyasyonunu daha iyi yakalarlar. Enerji verimliliği polikristal panellerden daha iyidir. Monokristal panelin verimliliği %16 ile %24 arasındadır.

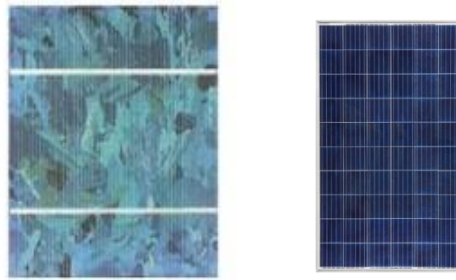
Monokristal güneş panelleri, polikristal panellere göre daha yüksek verimlidir. Bu da daha fazla elektrik enerjisi üretmenin mümkün olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir taraftan monokristal paneller daha pahalıdır. Şekile 3.6’da monokristal hücre ve panel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.6. Monokristal hücre ve panel.

3.2.1.2. Polikristal (Çok Kristalli) Güneş Paneli

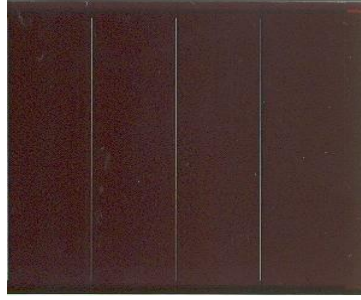
Polikristal güneş panelleri de silikondan yapılmaktadır. Tek bir silikon kristali yerine, güneş pilleri oluşturmak için birden fazla silikon parçası birleştirilir. Silikon birkaç kristalden oluştuğu için bu panellere polikristal denmektedir. Güneş pili birçok kristalden oluştuğu için elektronların hareket etmek için daha az alanı vardır. Bu nedenle, polikristal paneller, monokristal muadillerinden daha az verimlidir. Bu, verimliliği daha düşük olmasına rağmen monokristal silikondan daha iyi bir sıcaklık katsayısına sahip olması, dünya pazarının yaklaşık%57,0'sini kapsamaktadır. Bu da piyasalarda daha fazla kullanıldığı anlamına gelmektedir. Ayrıca monokristal ile karşılaştırıldığında daha ucuzdur. Şekile 3.7’de polikristalin hücre ve panel yapısı verilmiştir.



Şekil 3.7. Polikristal hücre ve paneli.

3.2.1.3. Amorf Silisyum Güneş Paneli

Amorf silikon, ışığı kristal silikondan daha verimli bir şekilde emer. Düşük verimliliğe sahiptirler, ancak yalnızca çok küçük kalınlıklarda silikon gerektirirler ve düşük maliyetlidirler. Güneş enerjili hesap makinaları veya güneş enerjisi ile çalışan saatler gibi küçük tüketici ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Şekile 3.8’de amorf panel verilmiştir.



Şekil 3.8. Amorf panel.

3.2.2. Şarj Regulatorü

Şarj kontrol cihazı fotovoltaik panel ile batarya (Pil) arasına bağlıdır. Şarj regülatörünün görevi güneş panellerinden bataryaya gelen voltajı ve akımı kontrol etmektir, böylece bataryaları aşırı şarj ve derin deşarja karşı korumaktadır. Pilin ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu için işlevi önemlidir. Şu anda piyasada iki ana tip şarj kontrol cihazı bulunmaktadır; bunlar PWM ve MPPT [38].

3.2.3. İnverter

İnvertörler, fotovoltaik panellerden gelen doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlardır. Bu cihazlar fotovoltaik panel santrallerinin en önemli unsurlarından biridir. İnverterler genellikle maksimum gücü kullanılan yazılımda ayarlar. Ayrıca invertörler sayesinde üretim verileride ilişkilendirilir ve gerektiğinde uzaktan incelenebilir. Aynı zamanda hem AC hem de DC taraflar için aşırı akım koruması ve aşırı gerilim koruması sağlarlar.

Kullandıkları sisteme göre şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olmak üzere iki farklı tipte inverter vardır. Modifiye sinüs ve tam sinüs modeller güneş sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 3.9 ve 3.10’da sırasıyla bu inverterler gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler için inverterler (off grid) [39].



Şekil 3.10. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem inverterleri (on grid) ve tam sinüs [40].

3.2.4. Akü

Aküler, elektrik enerjisini kimyasal enerji şeklinde depolayan ve böylece elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Güneş enerjinde kullanılan aküler, güneş ışınlarının en güçlü olduğu saatlerde fotovoltaik güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisini depolamak için kullanılır. Bu şekilde elde edilen enerji gece veya bulutlu günlerde kullanılabilir.

Aküler güneş enerjisi sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır, jel, lityum iyon ve bazı derin döngülü kurşun-asit pil çeşitleri bulunmaktadır. Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13'te çeşitleri verilmiştir.



Şekil 3.11. Solar jel akü.



Şekil 3.12. Lityum iyon akü.



Şekil 3.13. Derin döngülü kurşun asit akü.

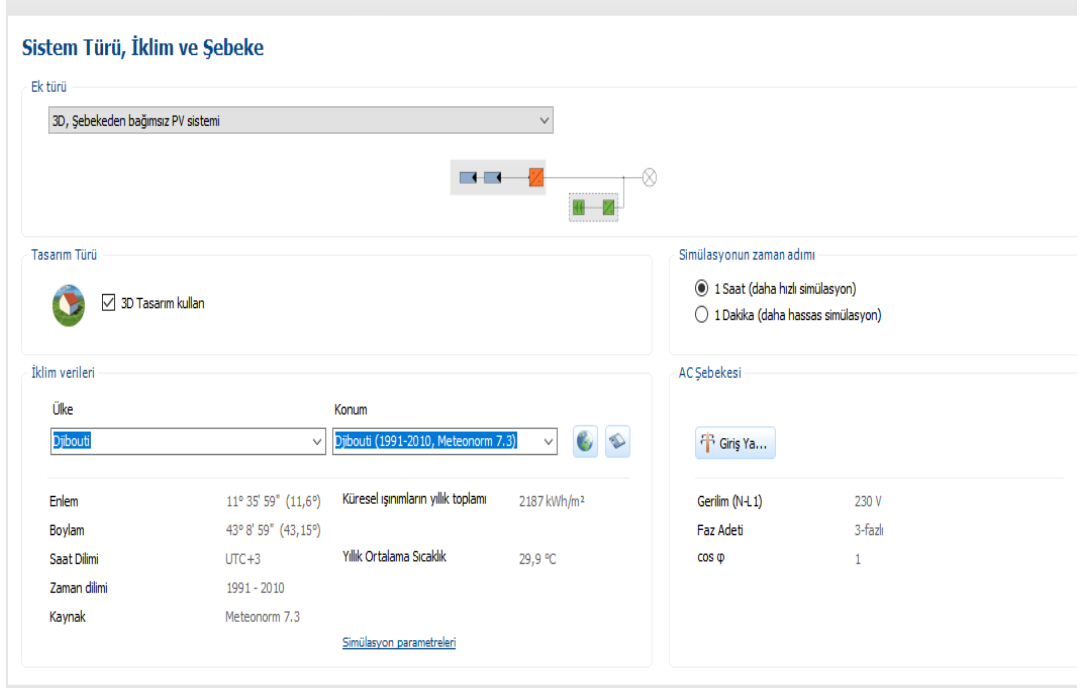
BÖLÜM 4

FOTOVOLTAİK SİSTEM SİMÜLASYON PROGRAMLARI

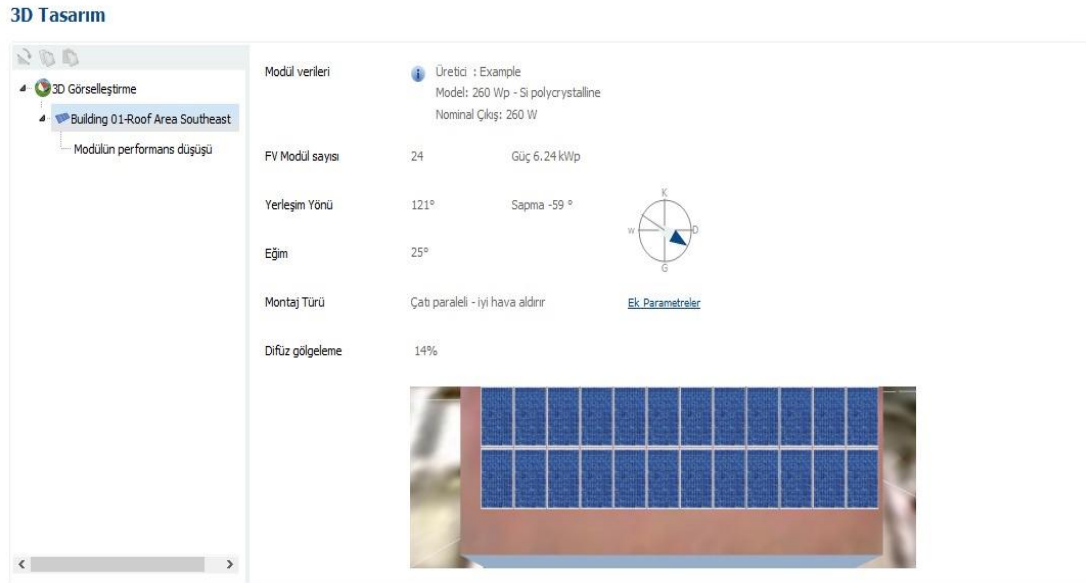
4.1. PV*SOL SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ

Bu çalışmada; PV*SOL 2022 premium yazılımı, PV sisteminin performans tahminini analiz etmek için kullanıldı. PV*SOL, Valentin-Software tarafından fotovoltaik sistemlerin tasarımı ve simülasyonu için geliştirilmiş bir programdır. PV*SOL programında sistem türleri seçilir (on-grid PV sistemi ve off-grid PV sistemi), ardından 3D tasarım bölümü seçilir. 3D tasarım bölümünden Cibuti bölgesi seçilir ve PV*SOL MeteoSyn modülü 1991-2010 arasındaki iklim verilerini Cibuti bölgesi için görüntüler. PV*SOL yazılımı giriş arayüzü dokuz bölümden oluşur ve 3D görselleştirme bölümü bunlardan bir tanesidir. 3D görselleştirme bölümünde 3D navigasyon kısmında bulunmaktadır. Bu menü, arazi görünümü, nesne görünümü, modül ekleme, modül montajı, modül konfigürasyonu ve kablolar planı seçenekleri ile 6 kısımdan oluşur. PV sistemde kullanılacak modüllerin seçimi, modül sayısı, modüllerin konumlandırılması, inverter modül sayısının konfigürasyonu ve kabloların yerleşimi bu uygulama ile verilmektedir. Bu yazılımda pompa sisteminin enerji tüketimi 20kWh ayarlandı.

PV*SOL programının simülasyonu farklı pencerelerde gösterildi. 3D tasarım bölümünde Sistem türü, iklim ve Şebeke penceresi görüntülenir. Daha sonra enerji tüketimi penceresi açıldı ve pompa sistemi ayarlandı. 3D tasarım penceresinde google haritadan Cibuti haritası seçildi. Haritada belirlenen çatı üzerine 260Wp polikristal fotovoltaik panellerin yerleşimi gerçekleştirildi. Seçtiğimiz çatıya 24 adet modül yerleştirildi. Şekil 4.1, 4.2’de gösterildiği gibi.



Şekil 4.1. PVSOL programında Cibuti bölge seçimi.



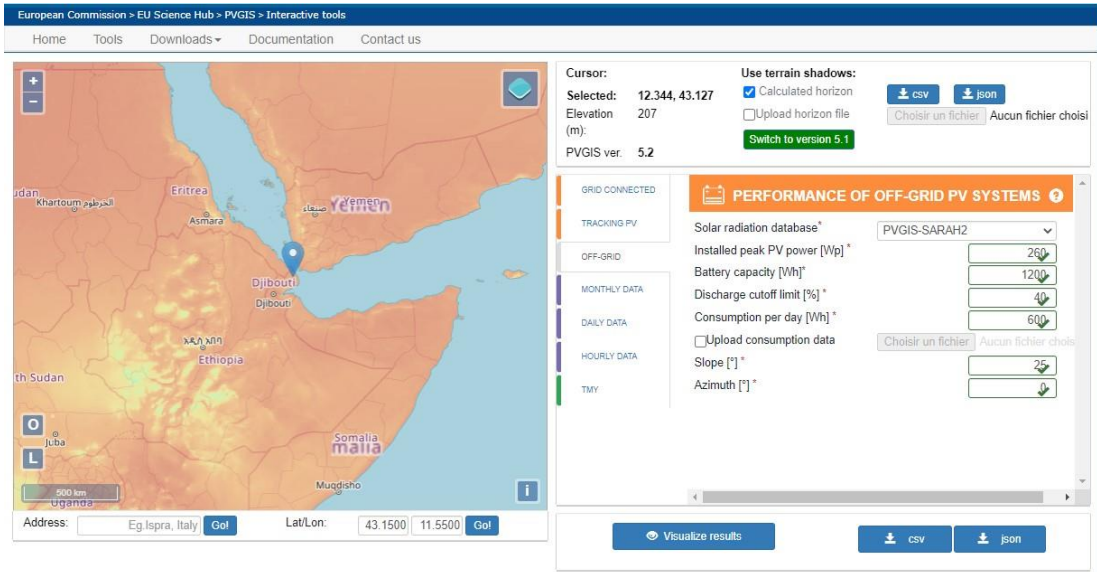
Şekil 4.2. 3D Tasarım sayfası.

PV*SOL simülasyon programında elde edilen sonuçlar bölüm 5.1. verilmiştir.

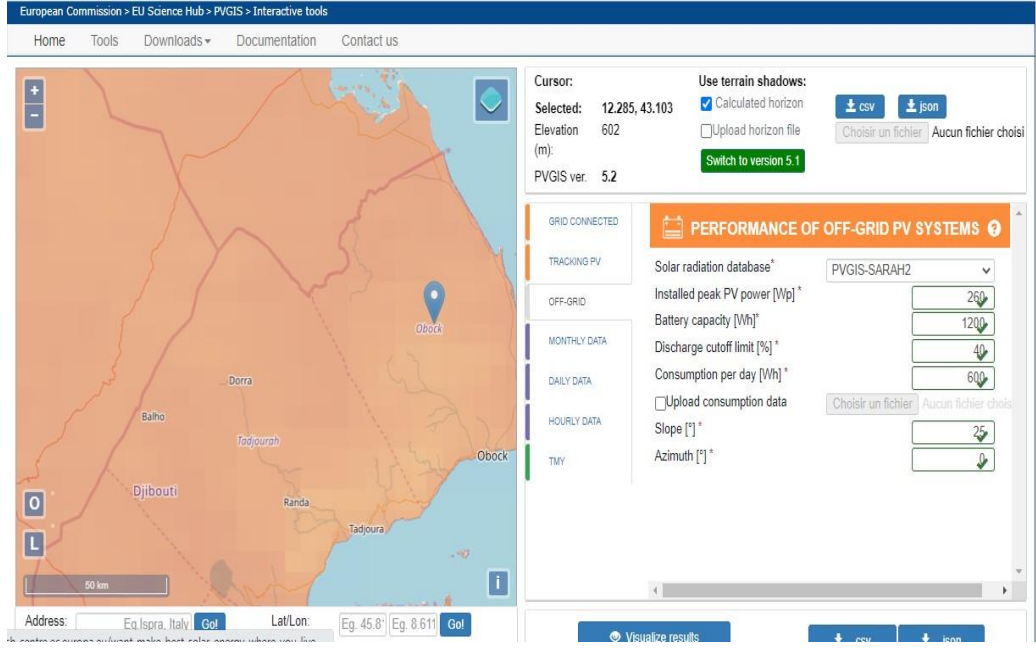
4.2. PVGIS SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ

PVGIS (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi), güneş radyasyon haritalarına dayalı olarak Avrupa, Afrika ve Asya'daki fotovoltaik sistemlerin ve tesislerin güneş enerjisi üretim değerlerini hesaplamak için kullanılan ücretsiz bir çevrimiçi simülasyon yazılımıdır. Bu çalışmada; Cibuti için PVGIS interaktif haritalama uygulamasında veri tabanı seçilerek veri girişi tabanlı yazılım kullanılmıştır.

Bu uygulama, harita üzerinde istenilen enlem ve boylam ayarları belirlenerek kullanıcı tarafından kullanılabilir. Bu yazılımda PVGIS ayrıca PV modülünün eğim açısı ve azimut açısının kullanılmasına da izin vermektedir. Simülasyon sonuçları, kullanıcının ihtiyaçlarına göre, yani grafik temsiller, Çizelge sütunları, Excel sayfaları ve pdf formatları gibi farklı olası şekillerde de görselleştirilebilir. Şekil 4.3 ve 4.4'te PVGIS simülasyon programının ara yüzü verilmiştir.



Şekil 4.3. PVGIS simülasyon programının ara yüzü (Cibuti).



Şekil 4.4. PVGIS simülasyon programının ara yüzü (Obock).

PVGIS simülasyon programında elde edilen sonuçlar bölüm 5.2. tartışmalar kısmında verilmiştir.

4.3. PVSYST SİMÜLASYON PROGRAM İLE PV SİSTEM ANALİZİ

Bu çalışmada; Fotovoltaik sistemleri analiz etmek ve tasarlamak için kullanılan programlardan birisi de PVSYST yazılımıdır. PVSYST yazılımı, bir fotovoltaik panel sisteminin yanı sıra şebekeye bağlı sistem veya şebekeden bağımsız bir sistem de dahil olmak üzere güneş enerjisi pompalama sistemini incelemek ve oluşturmak için kullanılmıştır.

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, programın “ön tasarım”, “projet tasarımı”, “veritabanları” ve “araçlar” olmak üzere dört temel bölümüne ulaşabilmektedir.



Şekil 4.51. PVSYST programı giriş arayüz sayfası.

Ön Tasarım Kısmı: Ön boyutlandırma bölümünde, bir projenin kaba ve hızlı değerlendirilmesi için kullanılır. Bu bölüm, Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem, şebekeye bağlı sistem ve pompalar gibi bir PV sistemini modellemek için çeşitli yollar sunmaktadır.

Proje Tasarımı: Proje bölümü, fotovoltaik sistem projesi üzerindeki tüm çalışmaların farklı sistem simülasyon testlerinin gerçekleştirebildiği ve karşılaştırıldığı program yazılımını kullanan ana bölümdür. Bu bölümde planın yönelimi, meteorolojik verilerin seçimin, sistemin tasarımı, olası gölgeleme çalışmaları, kayıpların belirlenmesi ve detaylı ekonomik değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Pompalama: Fotovoltaik pompa sistemleri genellikle bir pompa, bir fotovoltaik alan, bir invertör ve bir kontrolör gibi bileşenlerden oluşur. Pompa sistemlerinde suyun depolanması için rezervuarlar tasarlanır. PV sistemlerinde ise elektrik enerjisinin depolanması için aküler tasarlanır. Tasarımları gerçekleştirilen depo ve aküler PV sistemlerin simülasyonunda kullanılır.

Veritabanları: Fotovoltaik sistem için iklim verilerinin, hava durumu veri tabanının ve bileşen veri tabanının tanımlanabileceği kısımdır.

Araçlar: Güneş enerjisi santrali simülasyon görüntülerinin ek araçlarının oluşturabileceği araçlar bölümüdür.

4.3.1. Proje Tasarımı

Bu bölümde projenin tasarımı anlatılacaktır. Şebekeye bağlı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) üretim sistemleri ve pompa elektrik tüketim olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Proje tasarımı Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



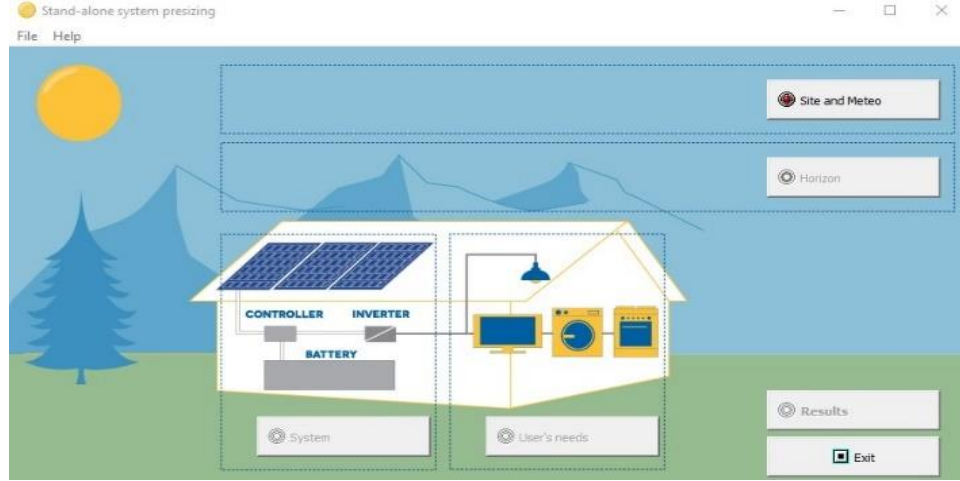
Şekil 4.6. PVSYST programı proje tasarımı.

Simülasyona geçmeden önce programa belirli tanımlamalar yapılmalıdır. Şebekeden bağımsız bir sistem tasarlayın; PVSYST simülasyon programının ana ekranında, şebekeden bağımsız sistemin parçası seçilmelidir.

4.3.2. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem Tasarımı

PVSYST programı ile şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemin konfigürasyonu aşağıda kısaca verilmiştir.

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sisteminin tasarlamak istenilirse; Şekil 4.6’da “Şebekeden Bağımsız” sekmesi seçildiğinde Şekil 4.7. ‘e geçiş yapılır.



Şekil 4.7. Şebekeden bağımsız.

4.3.3. Fotovoltaik (PV) Pompalama

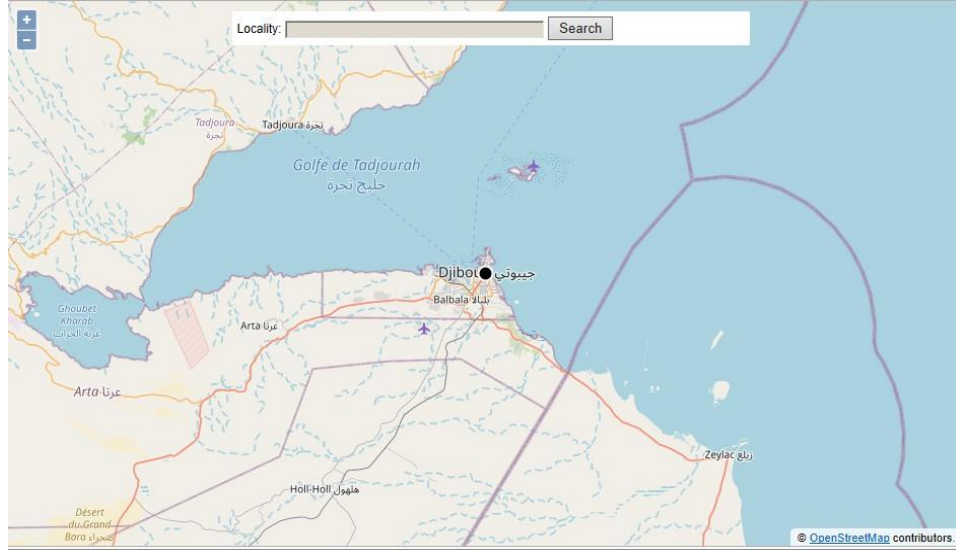
PVSYST simülasyon programının ana ekranında, pompalama seçilir ve sonra Şekil 4.8'deki pencere açılır. Fotovoltaik pompalama sistemi bileşenlerden oluşur. Bu tür sistemler genellikle bir pompa, bir fotovoltaik alan, bir inverter ve bir kontrolörden meydana gelir. Fotovoltaik (PV) pompalama sistemi, elektrik şebekesinin bulunmadığı yerlerde su temini için ideal bir çözümdür.



Şekil 4.8. Pompalama.

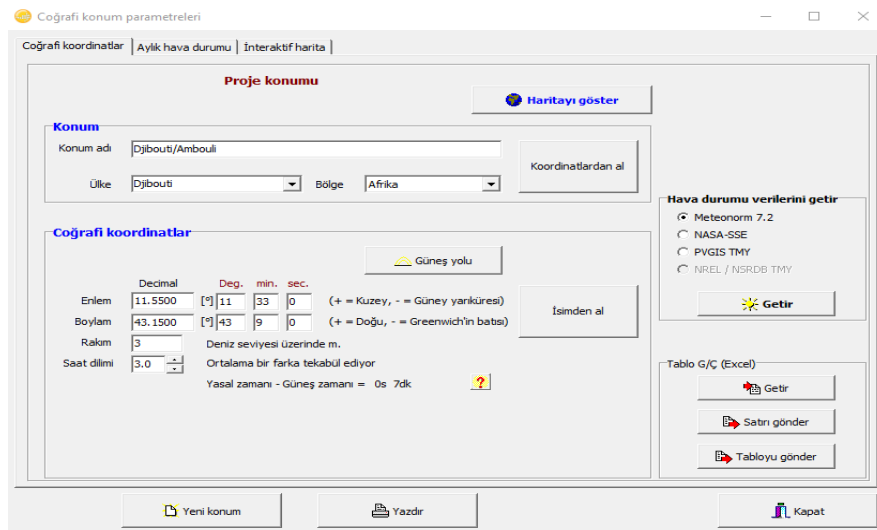
4.3.4. Kurulum Yeri

Programın bu kısmında Cibuti bölgesi için coğrafi ve meteorolojik veriler PVSYST yazılımına entegre edildi. Şekil 4.9’da yazılımdan alınan Cibuti bölgesinin coğrafi konumu görülmektedir.



Şekil 4.9. Cibuti bölgesi coğrafi konumu.

PVSYST programında Cibuti için kurulumun gerçekleştirileceği coğrafi koordinatlar girilir veya program üzerinden bölge seçilir. Bu bölge için gerekli datalar program sekmesinden getir denildiğinde bir sonraki ekranda ortaya çıkar.

A screenshot of the 'Coğrafi konum parametreleri' (Geographical location parameters) window. The window has a title bar with a yellow icon and the text 'Coğrafi konum parametreleri'. Below the title bar, there are three tabs: 'Coğrafi koordinatlar', 'Aylık hava durumu', and 'İnteraktif harita'. The 'Coğrafi koordinatlar' tab is active. The window is divided into several sections. The top section is titled 'Proje konumu' and contains a 'Haritayı göster' button. Below this is the 'Konum' section, which has a text input field for 'Konum adı' containing 'Djibouti/Ambouli', a dropdown menu for 'Ülke' set to 'Djibouti', and a dropdown menu for 'Bölge' set to 'Afrika'. There is also a 'Koordinatlardan al' button. The 'Coğrafi koordinatlar' section has a 'Güneş yolu' button and a table for entering coordinates. The table has columns for 'Enlem', 'Boylam', 'Rakım', and 'Saat dilimi'. The 'Enlem' row has a 'Decimal' column with the value '11.5500' and a 'Deg. min. sec.' column with values '[°] 11 33 0'. The 'Boylam' row has a 'Decimal' column with the value '43.1500' and a 'Deg. min. sec.' column with values '[°] 43 9 0'. The 'Rakım' row has a value of '3' and a unit 'Deniz seviyesi üzerinde m.'. The 'Saat dilimi' row has a value of '3.0' and a unit 'Ortalama bir farka tekelül ediyor'. Below the table, there is a note: 'Yasal zamanı - Güneş zamanı = 0s 7dk'. To the right of the table is an 'İsinden al' button. On the far right, there is a 'Hava durumu verilerini getir' section with radio buttons for 'Meteonorm 7.2', 'NASA-SSE', 'PVGIS TMY', and 'NREL / NSRDB TMY'. There is a 'Getir' button below these options. At the bottom of the window, there are three buttons: 'Yeni konum', 'Yazdır', and 'Kapat'.

Şekil 4.10. Cibuti bölgesinin coğrafi koordinat.

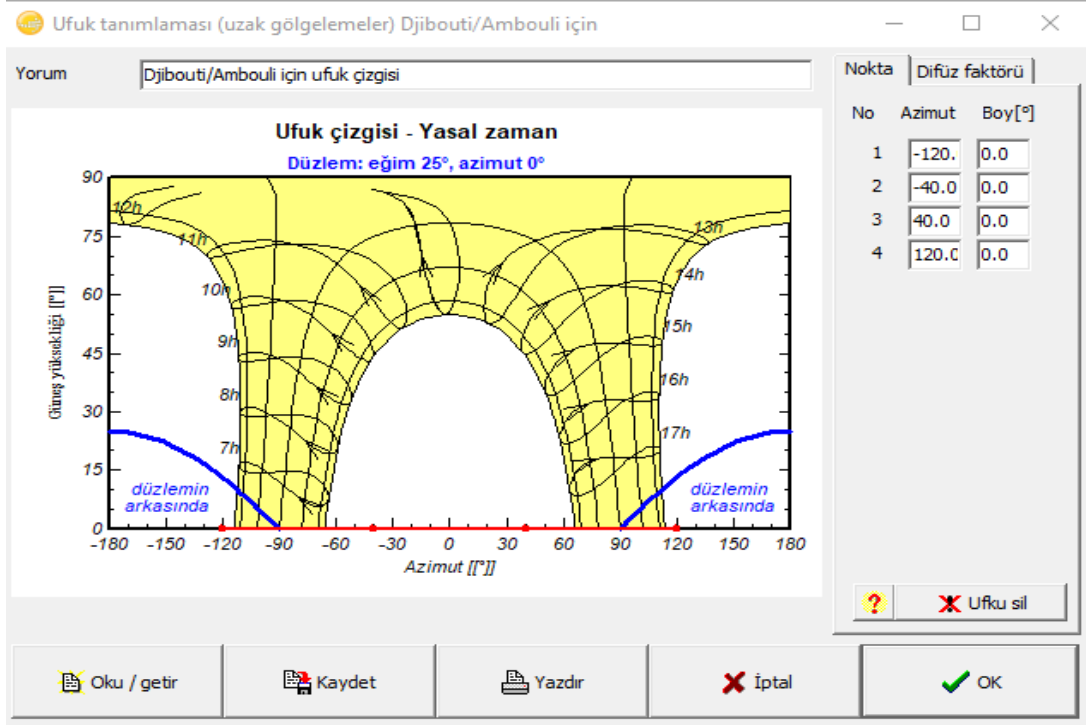
4.3.4.1. Meteorolojik Verileri

Şekil 4.11. Meteorolojik veriler.

Daha sonra Şekil 4.7’de 'Site ve Hava Durumu' butonuna tıklanarak Şekil 4.12’de gösterilen pencereye açılır. Bu pencerede “open site” butonuna tıklanarak, fotovoltaik sistemin tasarlanacağı yer seçilir. Yer seçimi gerçekleştirildikten sonra “ok” butonuna tıklanıldığında ana pencereye geri döner.

Şekil 4.12. Bölge seçimi.

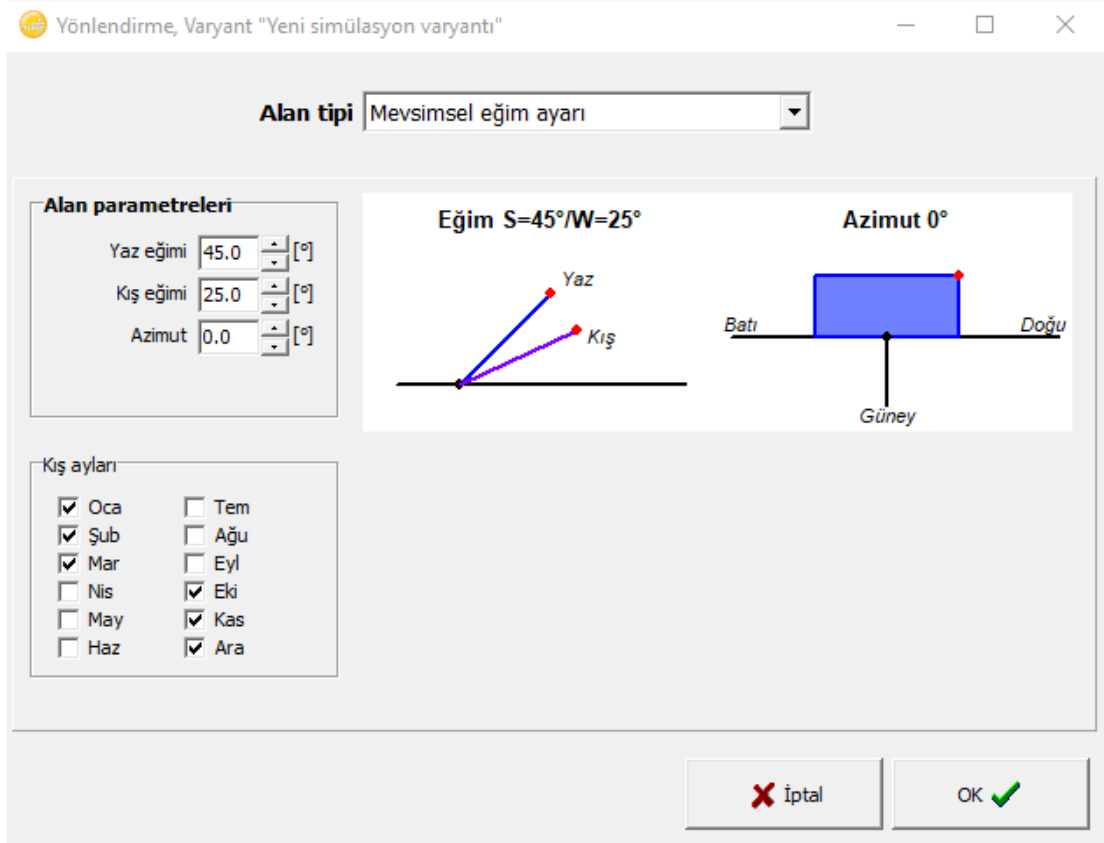
Simulasyon projesinde fotovoltaik sistem seçilerek 'horizon' butonuna basıldığında Şekil 4.13'te verilen pencereye ulaşılır. Fotovoltaik panel, güneşin doğuşundan batışına kadar izlemiş olduğu yola göre en iyi yönlendirme için optimize edilmiştir. Cibuti bölgesi için maksimum güneş radyasyonuna Şekil 4.13'te gösterdiği gibi eğim açısının 25° ve azimut açısının 0° olduğu durumlarda ulaşılabilir.



Şekil 4.13. Ufuk çizgisi diyagramı.

4.3.4.2. PV Panellerin Yönlendirmeleri

Yönlendirme butonuna basıldığında Şekil 4.14'te verilen pencere açılır. Bu açılan pencerede, Güneş panelinin yönü, eğim açısı ve azimut açısına karar verilir. Çeşitli alan türleri mevcuttur. Güneş yolu ve coğrafi konum nedeniyle yaz eğimini 45 derece ve kış eğimini 25 derece ve yükseklik olmadığı için azimut 0 derece olarak program penceresinden gözlemlenmiştir. Bu, yaz ve kış aylarında güneş ışınımından minimum kayıp miktarını sağlamak için seçilmektedir. Cibuti'de kış Ekim ayından Mart ayına kadar sürdüğü için kışın eğim açısı 25 derece ve Nisan'dan Eylül ayına kadar yaz şartları için 45 derece tutulacaktır. Böylelikle yaz ve kış şartları için güneş enerjisinden maksimum ışınım miktarının elde edilmesi sağlanmış olacaktır.



Şekil 4.14. Yönlendirme.

4.3.4.3. Elektrik İhtiyaçlarının Belirlenmeleri

"Şebekeden Bağımsız" modda, PVSYS programında, tahmini tüketim için kullanılacak olan tüketiciler seçildiğinde günlük ve aylık enerji ihtiyacının hesaplandığı bir pencere açılır. Şekil 4.15'te seçim kriterlerinin olduğu pencere görülmektedir.

Seçilen elektrik tüketim tipine göre konutlarda kullanılan aletler, türleri, güç tüketimi ve kullanım süreleri farklılık göstermektedir. PVSYS, ortalama günlük ve aylık elektrik tüketim miktarını tahminini olarak vermektedir. Çalışmanın bir parçası olarak Şekil 4.15'ten elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Günlük elektrik tüketimi: 21144Wh/gün
- Aylık elektrik tüketimi: 634,3 kWh/ay

Daily use of Energy, Variant "Yeni simülasyon varyantı"

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
5	Lamps (LED or fluo)	25 W/lamp	8.0 h/day	OK	1000 Wh
0	TV / PC / Mobile	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Domestic appliances	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	0.0 h/day		0 Wh
1	pump	10000. W aver.	2.0 h/day	OK	20000 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		6 W tot	24 h/day		144 Wh
Total daily energy					21144 Wh/day
Total monthly energy					634.3 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by

Year Seasons Months

Week-end or Weekly use

Use only during

7 days in a week

Model

Load Save

Other profile Cancel OK

Şekil 4.15. Elektrik ihtiyaçlarının hesaplanması.

4.3.4.4. Akü Grubu Boyutlandırma

Akü (Pil) grubunun boyutlandırılması için Sistem butonuna tıklanır. Bu uygulamada enerji depolamak için kurşun asit jel aküler seçilmiştir. Böylece Şekil 4.16'a göre, 24 V'luk bir doğru akım (DC) voltajı ve dört günlük bir kullanım süresi seçilir. Böylece bir fotovoltaik sistem için gerekli olan akü sayısı belirlenmiş olur. Yapmış olduğumuz sistem değerlerine göre, akü sayısı 52 pildir (26 paralel ve 2 seri). Güneşin az olduğu veya hiç olmadığı günlerde yeterli elektrik enerjisi sağlamak için akü bankasının toplam kapasitesi 4160 Ah olarak belirlenmiştir.

Şebekeden bağımsız sistem tanımlama, Varyant: "Yeni simülasyon varyantı", Variant: "Yeni simülasyon var..."

Belirlenen kullanıcı ihtiyaçları | Ön boyutlandırma önerileri | Sistem özeti

Ort. günlük ihtiyaç: 21.1 kWh/gün | Kabul edilebilir PLOL'u giriniz: 5.0 % | Akü (kullanıcı) voltajı: 24 V

Gereki özerkliği giriniz: 4.0 gün | Önerilen kapasite: 4146 Ah

Önerilen PV gücü: 5092 Wp (nom.)

Depolama | PV dizisi | Yedek | Basit şema

Yöntem

Ön boyutlandırma önerileri aylık hava durumu ve kullanıcının ihtiyaç tanımına dayanır.

- Ön boyutlandırma: İstenilen ön boyutlandırma koşullarını tanımlayın (LOL, performans, akü voltajı)
- Depolama: Akü paketini tanımlayın (varsayılan onay kutuları ön boyutlandırmaya yaklaşıp)
- PV alan tasarımı: PV dizisini (PV modülü) ve kontrol modunu tasarlayın. Evrensel bir kontrolör ile başlamanız önerilir.
- Yedek: Muhtemel bir yedek jeneratör tanımlayınız

Akü setini tanımlayınız

Akü sıralama: voltaj (seçili) | kapasite | üretici

Generic | 12 V | 160 Ah | Pb Sealed Gel | Solar 12V / 160 Ah | Since 2000 | Aç

Kurşun-asit

2 akü seri | 26 akü paralel

Öğe sayısı: 312

İlk aşınma durumu (devir sayısı): 100.0 %

İlk aşınma durumu (statik): 100.0 %

Akü takımı gerilimi: 24 V

Global kapasite: 4160 Ah

Depolanan enerji (%80 DOD): 79.9 kWh

Toplam ağırlık: 3858 kg

%80 DOD'de devir sayısı: 1300

Akü ömrü boyunca toplam depolanan enerji: 111 MWh

Akü işlem sıcaklığı

Sıcaklık modu: Sabit (İlman lokal)

Belirlenmiş sıcaklık: 20 °C

Akü sıcaklığı batarya ömrü için önemlidir. 10 °C'lik bir artış "statik" batarya ömrünü ikiye böler.

İptal | OK

Şekil 4.16. Akü boyutlandırılması.

PVSYST yazılımında, sistemi tasarımı sırasında planlanan güç veya PV modüllerinin yerleştirileceği mevcut değerler üzerinde hesaplamalar yapılabilmektedir. Bu çalışmada standart modül tipi kullanılmıştır. Verilere göre fotovoltaik paneller ve eviriciler seçilmiştir. Sistem butonuna basılarak Şekil 4.17'de gösterildiği gibi, açık pencereden PV panel uygunluğu seçimi yapılır.

Select the PV module

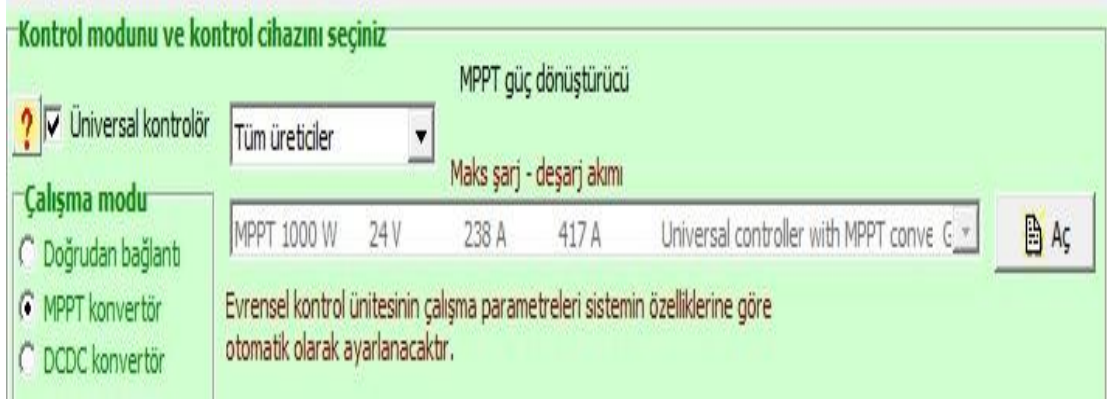
All modules | Sort modules: Power (seçili) | Technology

Solimpeks | 260 Wp 26V | Si-poly | SOLIM 60P260W | Since 2016 | Manufacturer 201 | Open

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 25.9 V
Voc (-10°C) 43.0 V

Şekil 4.17. PV modül seçim ekranı.

Daha sonra "kontrol modu ve kontrol cihazının seçimi" yapılır. Fotovoltaik teknolojisinde en yaygın kullanılan kontrol cihazı MPPT dir. Açılan pencerede (Şekil 4.18'de) uygun kontrol cihazı seçimi gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Controller seçim ekranı görüntüsü.

PV dizi tasarımı (PV array design) kısımda Şekil 4.19'da seri güneş paneli sayısı 1, dizi sayısı 20 olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.19. PVSYSYST programının tarafından belirlenen seri ve dizi sayıları.

Off Grid PV sisteminin çalışma koşulları aşağıdaki Çizelgede verilmektedir.

Çizelge 4.1. Çalışma koşulları.

V_{mpp}(60°C)	26V
V_{mpp}(20°C)	32V
V_{oc}(-10°C)	43V
Plane Irradiance	1000W/m ²
I_{mpp} (STC)	169 A
I_{sc} (STC)	182 A
I_{sc} (at STC)	180 A
Max.operating Power	4.6 KW
Array nominal Power	5.2 KWp

PVSYST yazılımının kullanımı, şebekeden bağımsız fotovoltaik kurulumunun tüm unsurlarını teorik olarak incelememize olanak sağlamaktadır. PV sitemindeki her bir bileşenin elektriksel özelliklerini ve aynı zamanda kurulum maliyetinin belirlenmesine imkan vermektedir. Simülasyonu gerçekleştirilen proje sonuçları bir PDF dosyası olarak sunulmaktadır. PVSYST simülasyon programında elde edilen sonuçlar bölüm 5.3 verilmiştir.

BÖLÜM 5

SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

Tez çalışmasında (PV*SOL, PVSYST ve PVGIS) demo-sürümü simülasyon programlarını kullanarak 30 gün boyunca her programda aynı şartlar oluşturularak simülasyonlar yapılmıştır.

Çalışmada fotovoltaik (PV) sistemlerini bir pompa ile incelemek için farklı programlar kullanıldı ve maliyet analizleri yapıldı.

PV*SOL programı ile yaptığım çalışmada, enerji ihtiyacını karşılamak için şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerjisi sistemi analiz edildi. PV*SOL programından elde edilen sonuçlara göre, 6.24kWp gücünde şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem Meteororm 7.3'te Cibuti şehri seçildi. Bu yazılımda 260Wp güce sahip 24 adet polikristal modül belirlendi. PV*SOL yazılımı kullanılarak invertör, akü evricisi ve aküler seçimleri yapılmıştır. İnverterlerin konfigürasyonunda otomatik olarak kendi veri tabanında verilmektedir. Daha sonra bu yazılımda pompa sisteminin enerji tüketimini 20kWh olarak ayarlandı. Maliyet analizinde değerlendirme süresi 20 yıl üzerinden hesaplanmaktadır.

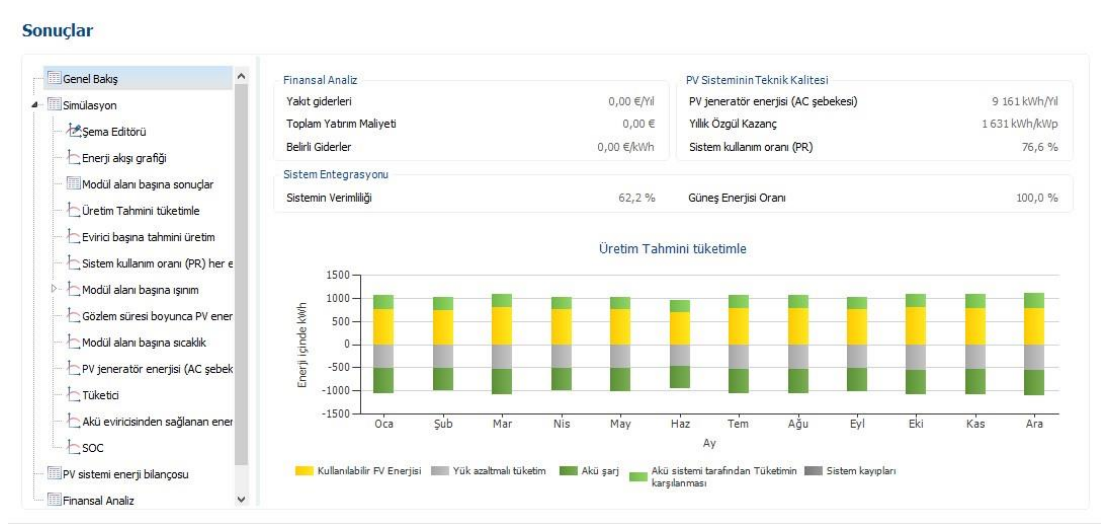
İkinci program PVSYST programıdır, ilk olarak Google Map üzerinden Cibuti şehrinin koordinatları seçildi. PVSYST programının simülasyonundan elde edilen sonuçlara göre 260Wp gücünde 20 adet polikristal modül belirlenmiştir. Bu yazılımda ayrıca pil, invertör ve şarj kontrol cihazı seçildi. Sisteme 20kWh enerji tüketimine sahip pompa eklendi.

Tezimde üçüncü program olarak PVGIS kullanıldı. Bu yazılımda, Cibuti şehri ve veritabanı için haritalama uygulaması seçildi. Daha sonra 260Wp'lik tepe PV gücü girildi. Bu PVGIS yazılımı, PV modülünün eğim açısını ve azimut açısını da

kullanılmasına izin vermektedir. PVGIS'ten elde edilen simülasyon sonuçlarına göre şebekeden bağımsız bir PV sistem için tahmini üretim sonuçlarını vermektedir.

5.1. PV*SOL YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI

PVSOL simülasyon programının sonuçlar kısmı farklı grafik ve Çizelgeler ile birçok değeri program kullanıcılarına sunmaktadır. PV sistemi, PV*SOL yazılımı ile simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre %62,2 verimle çalışan sistem yılda 9161kWh elektrik üretecek ve performans katsayısı %76,6'dır. PV*SOL yazılımının simülasyon sonuçlarını gösterdiği pencere Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. PVSOL sonuçlar penceresi.

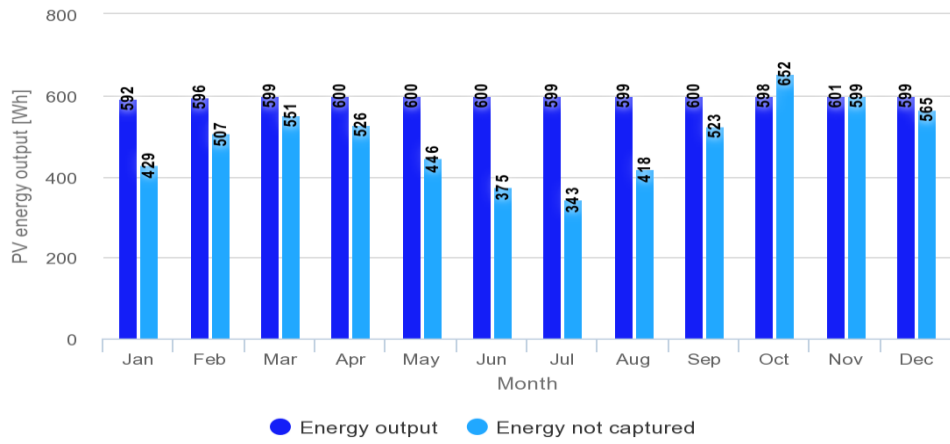
5.2. PVGIS YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI

PVGIS yazılımının sonuçlarından aylara göre fotovoltaik enerji üretimini vermektedir. Bu nedenle, Cibuti Şehrinde Ocak ve Kasım aylarında elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, şebekeden bağımsız PV sisteminin enerji üretimi, 260 Wp tepe gücü ile ayda 592 Wh ve 601 Wh olarak hesaplanmaktadır. Ardından, Obock bölgesinin Ocak ve Kasım aylarında enerji üretimi ayda 588Wh ve 599Wh olarak hesaplandı. Şekil 5.2 ve 5.3'te PVGIS Programının sonuçlar kısmı gösterilmektedir.

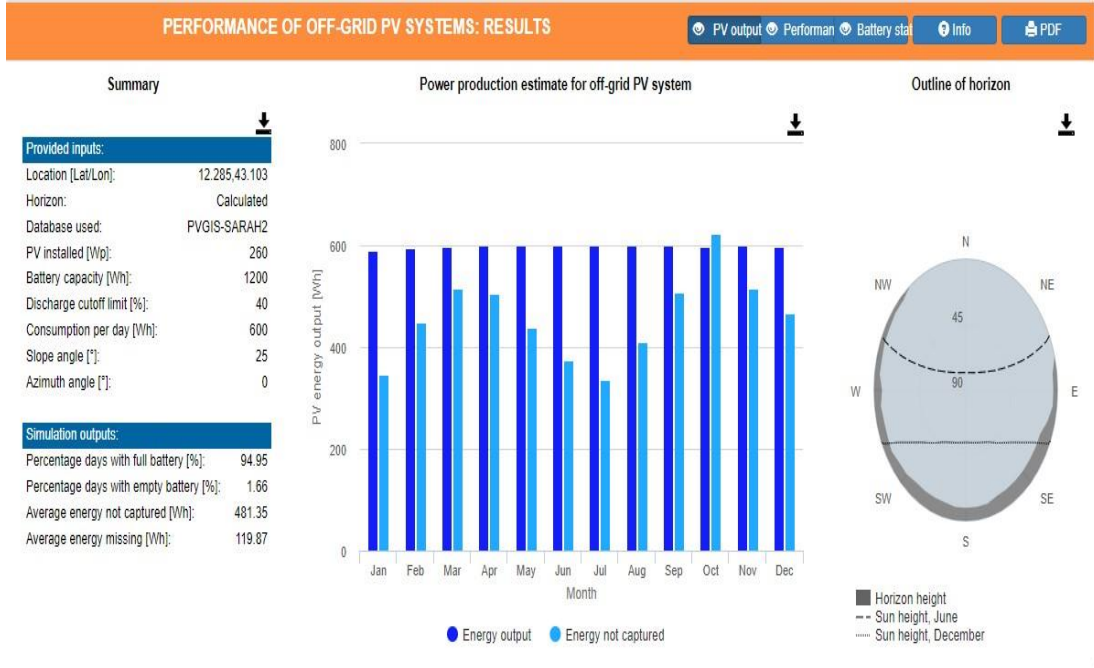


Performance of off-grid PV: PV energy output

(C) PVGIS, 2022

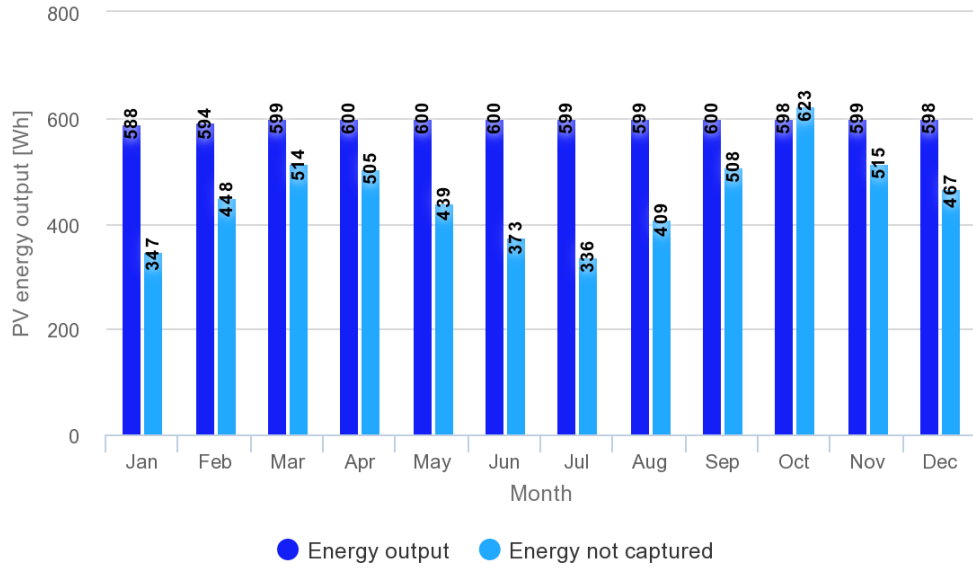


Şekil 5.2. Cibuti'deki PVGIS programının sonuçları.



Performance of off-grid PV: PV energy output

(C) PVGIS, 2022



Şekil 5.3. Obock'daki PVGIS program sonuçları.

5.3. PVSYST YAZILIMINI PV SİSTEMİNİN SONUÇLARI

5.3.1. Sistem Parametreleri (Pil Ile Bağımsız Sistem)

Kollektör düzlemi yönlendirme: Eğim25°, Azimut 0°

Kullanılan modlar : Transpozisyon Perez, diffüz Perez, Meteonom

Kullanıcı ihtiyaçları : Cihazlar tüketimi

Yıl boyunca sabit Ortalama 21.1 kWh/GÜN

5.3.2. PV Dizi Karakteristikleri

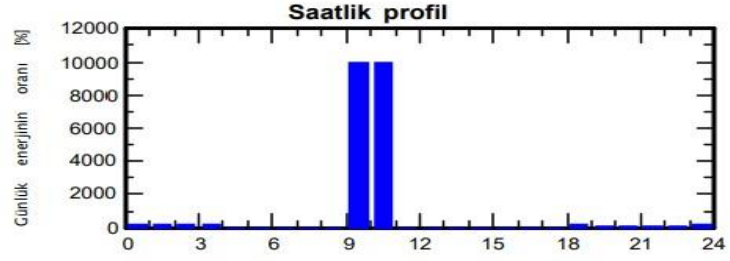
PV modülü	: Si-polyModel	SOLIM 60P260W
PV modül sayısı	: Seri 1 modül	Paralel 20 dizi
Toplam PV modül sayısı	: Modül sayısı 20	Birim gücü 260Wp
Alan global gücü	: Nominal (STC)	5.2kWp
	: işletme şartlarında	4620Wp
Alan çalışma özellikleri(50°C)	Umpp 27V	Impp 169A
Toplam yüzey	Modül yüzeyi 32,5 m ²	Hücre yüzeyi 29,2 m ²

5.3.3. Akü Takım Özellikleri

Akü Bankası Özellikleri	Voltaj 24V	Nominal Kapasite 4160Ah
	Öge sayısı 2 seri x26paralel	

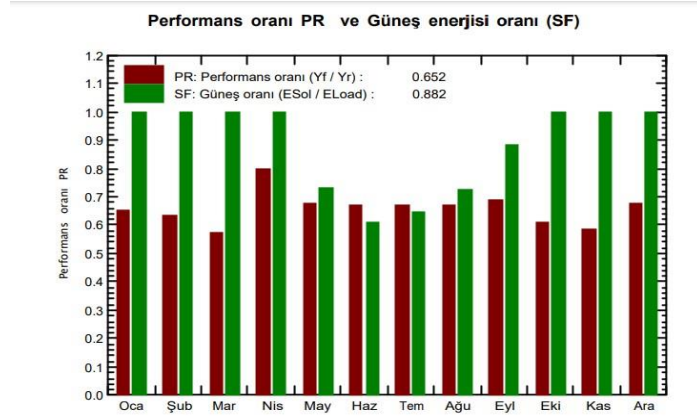
5.3.4. Yük Profili

Kullanıcı ihtiyaçları: Cihazlar tüketimi, yıl boyunca sabit,ortalama 21.1 kWh/gün



Şekil 5.4. Yük profili.

5.3.5. Performans Oranı



Şekil 5.5. Performans oranı.

Şekil 5.5 performans endeksini (Performans Oranı), sistemin gerçek verimliliğinin sistemin nominal verimliliğine oranı ile tanımlanan sistemin genel verimliliğini temsil eder.

$$\text{Performans Oranı PR} = \frac{Y_f}{Y_r}$$

Sistem Performans Oranı (P.R), gerçek ve teorik olarak olası enerji çıktıları arasındaki orandır. Ayrıca, kurulu nominal güç ve gelen enerji ile ilgili olarak sistemin genel verimliliği olarak da tanımlanabilir.

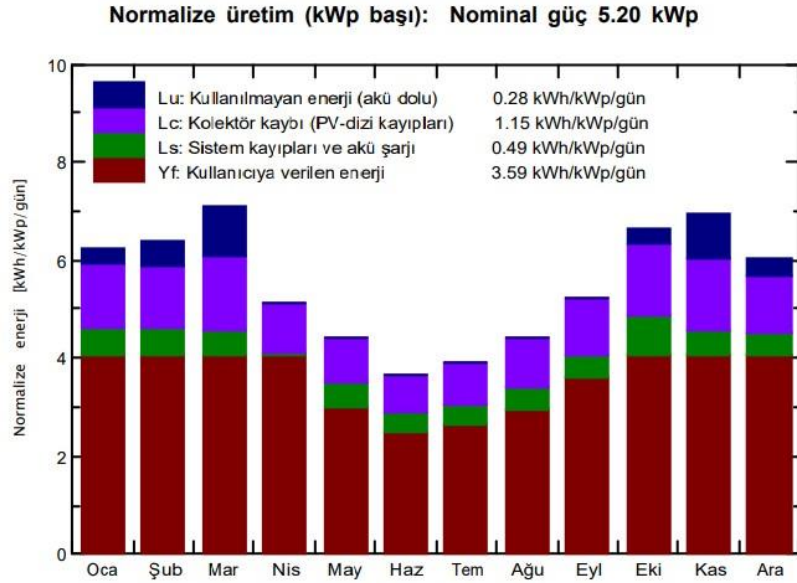
Bu durumda performans endeksi : %65,2

$$L_f = 1 - PR = 1 - 0,652 = 0,348$$

Bu sistemin kayıpları : %34,8

5.3.6. Normalize Üretim

Şekil 5.6'da sistemin tahmini kayıpları gösterilmektedir. Lc, Ls ve Lu kayıpları sırasıyla PV alanına, depolama sistemi kayıplarına ve kullanılmayan enerjiye karşılık gelen kayıplardır.



Şekil 5.6. Normalize Üretim

5.3.7. Enerji Dengesi

Çizelge 5.1. Enerji dengesi.

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Ocak	164.1	189.3	764.1	56.4	0.0	655.5	655.5	1.000
Şubat	160.8	174.8	712.3	74.0	0.0	592.0	592.0	1.000
Mart	213.7	214.1	855.9	163.0	0.0	655.5	655.5	1.000
Nisan	200.2	147.0	606.3	0.0	0.0	634.3	634.3	1.000
Mayıs	210.4	129.4	534.6	0.0	174.8	480.7	655.5	0.733
Haziran	173.2	104.6	432.3	0.0	248.3	386.0	634.3	0.609
Temmuz	189.2	115.5	467.7	0.0	231.0	424.5	655.5	0.648
Ağustos	184.3	130.6	523.8	0.0	181.3	474.1	655.5	0.723
Eylül	181.2	151.0	602.0	0.0	73.9	560.5	634.3	0.884
Ekim	190.0	200.9	793.6	49.4	0.6	654.9	655.5	0.999
Kasım	174.3	203.2	814.9	138.8	0.0	634.3	634.3	1.000
Aralık	153.1	182.4	747.4	56.8	0.0	655.5	655.5	1.000
Yıl	2194.5	1942.8	7854.8	538.2	909.8	6807.7	7717.6	0.882

Açıklama: GlobHor	Global yatay ışınlama	E_Miss	Eksik enerji
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global	E_User	Kullanıcıya sağlanan enerji
E_Avail	Mevcut güneş enerjisi	E_Load	Kullanıcının enerji ihtiyacı
EUnused	Kullanılmayan enerji (akü dolu)	SolFrac	Güneşsel oran (Kullanılan/İhtiyaç)

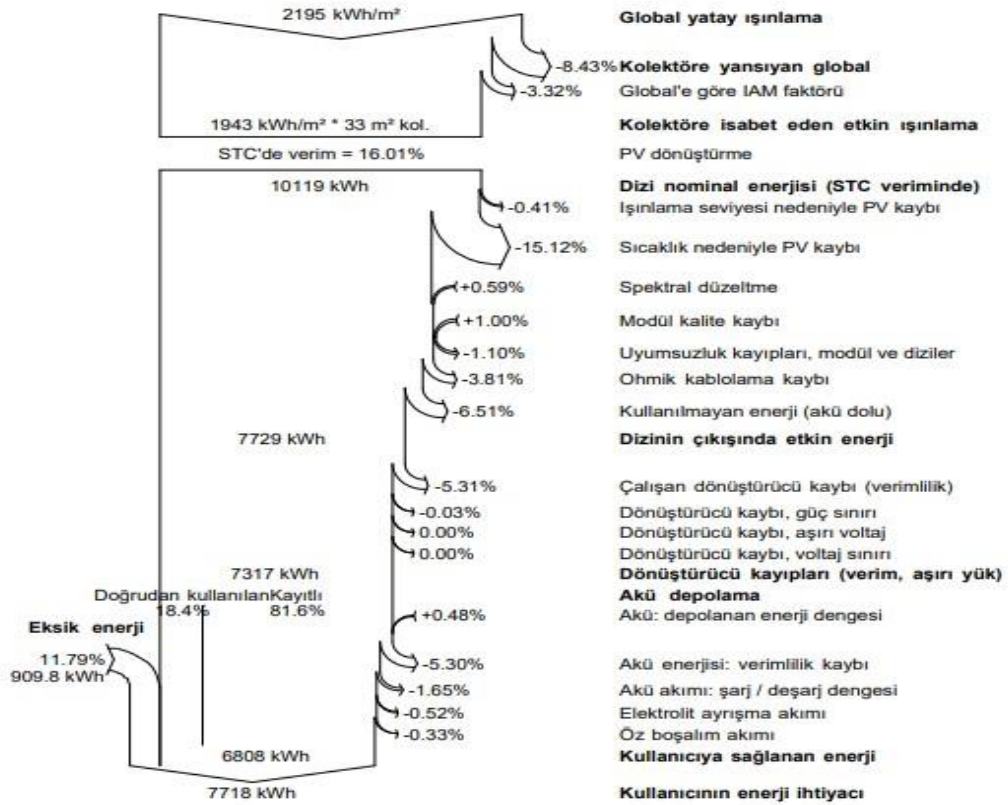
5.3.8. PVSYST Yazılım Pompa Sonuçları

Aşağıdaki pompa sonuçlar kısmını Şekil 4.5'te ki pompalama ikonu tıklandığında elde edilebilmektedir.

Çizelge 5.2. Pompa sonuçları.

	GlobEff kWh/m ²	EArrMPP kWh	E_PmpOp kWh	ETkFull kWh	H_Pump Hm	WPumped m ³	W_Used m ³	W_Miss m ³
Ocak	189.3	163.7	112.3	40.61	35.01	546.3	551.7	6.34
Şubat	174.8	152.7	104.4	37.23	35.01	513.1	503.0	0.96
Mart	214.1	183.4	111.4	59.17	35.01	557.6	558.0	0.00
Nisan	179.5	156.2	112.1	33.71	35.01	540.3	540.0	0.00
Mayıs	172.6	149.6	119.4	20.47	35.01	557.8	558.0	0.00
Haziran	140.0	122.0	112.5	0.00	35.01	488.6	503.0	37.01
Temmuz	154.1	131.6	120.6	0.81	35.01	536.7	529.4	28.62
Ağustos	161.4	137.0	120.2	6.42	35.01	546.4	541.0	16.95
Eylül	172.8	146.1	108.3	26.61	35.01	516.3	517.5	22.45
Ekim	200.9	171.0	114.3	46.13	35.01	561.2	558.0	0.00
Kasım	203.2	174.0	108.5	55.85	35.01	540.2	540.0	0.00
Aralık	182.4	160.1	114.1	36.44	35.01	556.4	556.4	1.64
Yıl	2145.1	1847.2	1358.1	363.45	35.01	6460.8	6456.0	113.97

Açıklama: GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global H_Pump Pompadaki ortalama toplam basınç
 EArrMPP MPP'de varsayılan dizi enerjisi WPumped Pompalanan su
 E_PmpOp Pompa çalışma enerjisi W_Used Tüketilen su
 ETkFull Kullanılmayan enerji (dolu depo) W_Miss Eksik su



Şekil 5.7. Yıl boyu kayıplar diyagramı.

Diyagram, PV sistem üretimindeki kayıpları özetlemektedir. Bunlara örnekler verilecek olursa; kablolanın ohmik kayıpları, yüzey alanı sıcaklığından kayıplar, modüllerin kalitesinden kayıplar vb..

Gerçekte, PV alan tarafından üretilen enerji 10119kWh olarak hesaplanmakta fakat kullanıcının tüketim kısmından 7718 kWh'ye düşmektedir. Bu aradası farklı sistem kayıplarından oluşmaktadır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Çalışmanın genel amacı, bir fotovoltaik sistem kurulumu kullanarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmektir. Bu çalışmada, tüm elektrikli cihazlarının enerji ihtiyacını ortalama tüketim ile sağlayan şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemin kurulmasına dayanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, PV*SOL, PVGIS ve PVSYST simülasyon programları kullanılarak aynı güce sahip 260 Wp'lik şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri analiz edilmiştir. Daha sonra Cibuti'de kurulu PV panel tarafından yakalanan güneş enerjisini hesaplamak, kurulumu boyutlandırmak ve modellemek için PV*SOL, PVSYST ve PVGIS yazılımı kullanılmıştır.

- Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlarda; PVSYST yazılımının, polikristal panel ile yıllık ortalama enerji ihtiyacının 7718 kWh ve performans oranının (PR) %65,2 olduğunu hesaplanmıştır, sisteme tüketim değeri olarak 20kWh enerji tüketimine sahip pompa eklenmiştir. Pompanın gücü ne kadar yüksek olursa, enerji talebinin değeri o kadar yüksek olur. Kumar ve arkadaşları yaptığı çalışmada, monokristal panel ile yıllık ortalama enerji ihtiyacını 1086,24 kWh ve performans oranını %72,8 olduğu hesaplanmış. Polikristal ile monokristal (PV) sistemleri PVSYST simülasyonu, sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, performans oranında (PR) %7,6 'lık bir fark olduğu görülmektedir.
- Yapılan simülasyon analizlerden elde edilen sonuçlarda; PV*SOL yazılımının, fotovoltaik (PV) sistem 62,2 verimle yıllık 10.278kWh elektrik enerjisi ürettiği hesaplanmış ve sistemin performans oranı(PR) %76,6'dır. Mustafa Ceylan

yaptığı çalışmada, PV*SOL simülasyon programında elde ettiği sonuçlara göre fotovoltaik sistemin yılda 88.642 kWh elektrik enerjisi ürettiği, sistemin performans oranının (PR) %79.8 ve verimin ise %72.3 olduğu hesaplanmıştır. PV sisteminin simülasyonu ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, performans oranında (PR)%3,2 'lük bir fark olduğu görülmektedir.

- PVGIS simülasyon sonuçlarında; Aynı tepe gücüne, aynı pil kapasitesine ve aynı günlük tüketime sahip iki farklı yer seçilmiştir. Bu yazılıma göre, şebekeden bağımsız PV sistemi tarafından sağlanan sonuçları otomatik olarak vermektedir. Bu nedenle, Cibuti Şehrinde Ocak ve Kasım aylarında elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, şebekeden bağımsız PV sisteminin enerji üretimi, 260 Wp tepe gücü ile ayda 592 Wh ve 601 Wh olarak hesaplanmaktadır. Ardından, Obock bölgesinin Ocak ve Kasım aylarında enerji üretimi ayda 588Wh ve 599Wh olarak hesaplanmaktadır.

Tüm bu programları kullandığım ve en kolay analiz sonuçların elde ettiğim program PVSYST programı olmuştur. PVSYST, cihazların değerleri doğru bir şekilde tanımlandığında kolayca sonuçlara ulaşabildiğim simülasyon programıdır.

6.2 ÖNERİLER

- Farklı güçlere sahip bir fotovoltaik sistem tasarım yapılabilir,
- Tezimde off grid tasarımlara yönelik analizleri inceledim. Aynı ekilde on grid sistem tasarımlarında yapılabilir.
- Fotovoltaik sistem tasarımında kullanabileceğimiz başka programlarda var. Benzer çalışmalar için bu programlarda kullanılabilir. Bu programlara örnek vermek gerekirse; T*SOL, TRNSYS, Geo*SOL ve Homer bunlardır.

KAYNAKLAR

1. Mariama Ali Garba, "Performance analysis of photovoltaic-thermal(PV/T)solar systems", *M.Sc. Thesis ,The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Ankara Yıldırım Beyazıt University*, (2020).
2. Ramazan Burak Domurcuk, "The experimental investigation of photovoltaic system", *M. Sc. Thesis ,Aydın Adnan Menderes University Graduate School Of Natural And Applied Sciences Aydın*, Turkey, (2021).
3. Nazmiye Nazli Aksangör, "Ankara şartlarında bir fotovoltaiik sistemin pvsyst programı yardımı ile performans analizi", *Yüksek Lisans Tezi,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2019).
4. Emre Kılınç, "Polikristal yapıli fotovoltaiik panellerin laboratuvar testleri ve fizibilite çalışmaları ile saha uygulaması sonuçlarının karşılaştırılması", *Yüksek Lisans Tezi,Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
5. Gamze Kandirmiş, "Isı pompası destekli güneş enerjili bir su ısıtma sisteminin trnsys programı ile simülasyonu", *Yüksek Lisans Tezi ,Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).
6. Sterling, S. J. and Collins, M. R., "Feasibility analysis of an indirect heat pump assisted solar domestic hot water system", *Applied Energy*, 93: 11–17 (2012).
7. Al-Zahrani, S. M., Tan, F. L., and Choo, F. H., "A TRNSYS simulation case study on utilization of heat pump for both heating and cooling", *Energy Science And Technology*, 3 (2): 84–92 (2012).
8. Chargui, R. and Sammouda, H., "Modeling of a residential house coupled with a dual source heat pump using TRNSYS software", *Energy Conversion And Management*, 81: 384–399 (2014).
9. Thygesen, R. and Karlsson, B., "Economic and energy analysis of three solar assisted heat pump systems in near zero energy buildings", *Energy And Buildings*, 66: 77–87 (2013).
10. Wittmer, B., Mermoud, A., and Schott, T., "Analysis of PV grid installations performance, comparing measured data to simulation results to identify problems in operation and monitoring", *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (September): 14–18 (2015).
11. Kandasamy, C. P., Prabu, P., and Niruba, K., "Solar potential assessment using PVSYS software", *Proceedings Of The 2013 International Conference On Green Computing, Communication And Conservation Of Energy, ICGCE 2013*, 667–672 (2013).

12. Paras Karki , Brijesh Adhikary, K. S., "Comparative study of grid- tied photovoltaic (PV) system in kathmandu and berlin using pvsyst", 196–199 (2012).
13. Cem, H. and Bilal, G., "Dicle üniversitesi güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi", *Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*, (July 2017): (2016).
14. Engin, Mustafa Başoğlu, Abdulvehhap Kazdaloğlu, M .Zeki bilgin , Tarık erfidan, B. çakır, "Farklı güneş panel teknolojilerinin kocaeli ili için performans değerlendirmesi", (November): (2014).
15. Suphi Anıl SEKUÇOĞLU, "Fotovoltaik(PV),rüzgar ve hibrit sistemlerin tasarımı ve ekonomik analizi", *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).
16. Eke, R. and Senturk, A., "Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system", *Solar Energy*, 86 (9): 2665–2672 (2012).
17. Irwan, Y. M., Amelia, A. R., Irwanto, M., Fareq, M., Leow, W. Z., Gomesh, N., and Safwati, I., "Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment Using PVSYST Software", *Energy Procedia, Elsevier B.V.*, 596–603 (2015).
18. Keskin, E., "Türkiye iklim koşullarında fotovoltaik güç sistemlerinin tasarımı ve maliyet analizi", *Yüksek Lisans Tezi,Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).
19. Axaopoulos, P. J., Fylladitakis, E. D., and Gkarakis, K., "Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations", *International Journal Of Energy And Environmental Engineering*, 5 (1): 1–7 (2014).
20. Mustafa Ceylan, "Kampüs binalarında şebekeden bağımsız bir çatı üstü fotovoltaik sistem tasarımı ve benzetimi", *Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, (2018).
21. Ekici Betül Bektaş, G. A., "Elazığı ili için şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin performans anlizi", *2nd International Sustainable Buildings Symposium,Gazi Üniversitesi*, (2015).
22. Nirwan Deepansh, T. T., "Performance evaluation of grid connected solar PV plant using PVsyst", *International Research Journal Of Engineering And Technology*, 04 (05): 1–5 (2017).
23. Ozan Ceylan, K. T., "Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3): 895–903 (2018).

24. Psomopoulos, C. S., Ioannidis, G. C., Kaminaris, S. D., Mardikis, K. D., and Katsikas, N. G., "A Comparative evaluation of photovoltaic electricity production assessment software (PVGIS, PVWatts and Retscreen)", *Environmental Processes*, 2 (January 2014): S175–S189 (2015).
25. Girma, M., Assefa, A., and Molinas, M., "Feasibility study of a solar photovoltaic water pumping system for rural Ethiopia", *AIMS Environmental Science*, 2 (3): 697–717 (2015).
26. Sharma, R., Sharma, S., and Tiwari, S., "Design optimization of solar PV water pumping system", *Materials Today: Proceedings*, 21: 1673–1679 (2020).
27. Vishnupriyan, J., Partheeban, P., Dhanasekaran, A., and Shiva, M., "Analysis of tilt angle variation in solar photovoltaic water pumping system", *Materials Today: Proceedings*, 58: 416–421 (2022).
28. Hamza, B., "Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300kw", *Mémoire De Master Présenté En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master*, 3 (2017).
29. Merabet, H; Silem, M., "Etude de faisabilité d'une installation solaire photovoltaïque autonome par PVSyst pour établissement scolaire", *Université Mohamed Boudiaf-M'Sila*, (2019).
30. Internet: <https://www.greensolar.net/work.org>, .
31. Bhatia, A., "Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems", *Continuing Education And Development, Inc*, (877): 2–125 .
32. Internet: <https://www.adensolar.com/tr/services/off-grid>, .
33. Khamisani, A. A., "Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System (A Case Study of Solar Powered Bus Shelter)", (2018).
34. Internet: <http://conseco.com.tr/ges.html>, .
35. Mehmet Sinan Çınaroğlu, "Kilis 7 Aralık üniversitesinde kurulacak bir ges projesinin PVSyst aracılığı ile tasarım ve analizi", *Yüksek Lisans, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği*, (2021).
36. Kırıcıoğlu, O. and Yıldız, A. B., "Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi", *Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu Ve Sergi Bildirileri*, (2015).
37. İsmail Arslan, "Tekirdağ Koşullarında Polikristal Ve Monokristal Tip PV Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması", *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
38. Yousra.A, Madiha.K, "Conception et réalisation d ' un régulateur de charge par panneaux photovoltaïques", *Memoire de Master, Université Mohammed Seddik Ben Yahia-Jijel*, (2019).

39. Internet: <https://www.muhendisbeyinler.net/fotovoltaik-pv-solar-sistem-ve-elemanlari/>, I. :, "Fotovoltaik (PV) Solar Sistem ve Elemanları - Mühendis Beyinler", .
40. <https://www.pozitifsolarmarket.com/urun/1000-watt-12v-tam-sinus-aku-sarjli-inverter>, I. , .
41. Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., and Suhag, S., "Materials Today : Proceedings Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software : A case study", *Materials Today: Proceedings*, 46: 5322–5328 (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Idil YOUSOUF SOUGUEH ilk, orta ve lise eğitimini Cibuti'de tamamladı. Cibuti Devlet Lisesi Bilimsel Uzmanlık Bölümü'nden mezun oldu. Üniversite Eğitimine 2013 yılında Cibuti Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik-Kimya, Çevre Kimyası bölümünde başladı ve Temmuz 2017 yılında mezun oldu. 2019-2020 yılında Karabük Üniversitesinde Türkçe eğitimi almaya başladı. Şubat 2020 yılı şubat ayında Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.