



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEM TASARIMI: SOMALİ ÖRNEĞİ

Abdullahi Mohamed Isak

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos -2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Abdullahi Mohamed Isak

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEM TASARIMI: SOMALİ ÖRNEĞİ

Abdullahi Mohamed Isak

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2021, 108 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN
Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Doç. Dr. Mustafa YAĞCI**

Bir ülkenin kalkınmasında tarım ve enerji dikkate alınması gereken en önemli iki faktördür. Güney Somali'de tarımsal sulama, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Bu tip sistemler daimi yüksek yakıt maliyeti ve günlük bakım istekler. Somali'de Jubba ve Shabelle adı verilen iki nehir vardır. Sulama çoğunlukla bu iki nehir boyunca uygulanmaktadır. Nehirden oldukça uzak olan çiftçiler ise, mahsullerini yetiştirmek için yılda sadece iki yağışlı mevsime bırakmak zorunda kalmaktadırlar. Fakat bazen bu mevsimler de yeterli miktarda yağışlı geçmez ve kuraklık oluşmaktadır. Bu çalışma, Somali'de tarımsal sulama için güneş enerjili su pompalama sisteminin tasarımına ve ekonomik değerlendirmesine odaklanmıştır. Güney Somali'de bulunan bir muz çiftliği vaka çalışması olarak alınmıştır. Saha kabaca 5,25 kWh/m² yatay günlük güneş radyasyonu almaktadır. CropWat programı kullanılarak bölgede yetiştirilen bazı ürünlerin sulama suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. Şeker kamışı, mango ve muz en çok su tüketen ürünler olurken, sorgum, fasulye ve karpuz en az su tüketen ürünler olarak belirlendi. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin iki konfigürasyonu: AC ve DC, PVsyst programı kullanılarak tasarlanmış ve simüle edilmiştir. AC pompalama durumunda simüle edilen sonuçlara göre, gerekli olan 82 m³/gün su miktarını pompalamak için her biri 285 Wp'lik 6 güneş paneli kullanılırken, DC sistemde aynı miktarda su üretmek için sadece 4 güneş paneli kullanarak daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Ekonomik açıdan, fotovoltik su pompalama sistemlerinin iki konfigürasyonu dizel su pompalama ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Karşılaştırma yapmak için kurulum maliyetleri, yaşam döngüsü maliyeti ve pompalanan suyun m³ maliyeti kullanılmıştır. DC su pompalama durumunda öngörülen sistem ömür boyu üretimine göre, eşdeğer su maliyeti metreküp başına 0,16 \$ iken ve AC su pompalaması durumunda metreküp başına 0,22 \$ hesaplanmıştır. Her iki güneş enerjili su pompalama sistemi de dizel su pompalama sisteminden metreküp başına 0,68 \$ daha uygun maliyete sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, fotovoltik teknolojisinin kullanılması, tarımsal üretkenliği ve gıda üretimini önemli ölçüde artırabileceği, çiftçilerin yaşam standartlarını yükseltebileceği ve ülkenin ekonomik büyümesine katkıda bulunabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AC ve DC güneş enerjili su pompalama, Ekonomik analiz, Bitki su ihtiyacı, Somali, PVsyst ve CropWat programı

ABSTRACT

MS THESIS

SOLAR WATER PUMPING SYSTEM DESIGN: THE CASE OF SOMALIA

Abdullahi Mohamed Isak

**The Graduate School of Natural and Applied Science of
Necmettin Erbakan University
The Degree of Master of Science
in Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Asst.Prof.Dr. Ali Osman ÖZKAN

2021, 108 Pages

Jury

**Asst.Prof.Dr. Ali Osman ÖZKAN
Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Assoc. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI**

Agriculture and energy are the two most important factors to be considered for the development of a country. The Juba and Shabelle rivers are mostly used for irrigation. Farmers along these two rivers use conventional energy sources. These types of systems require a constant high fuel cost and daily maintenance. Farmers far from the river, on the other hand, have to leave only two rainy seasons a year to grow their crops. However, sometimes these seasons fail to rain, and drought occurs throughout the growing season. This thesis was focused on designing and economic evaluation of the photovoltaic water pumping system for agricultural irrigation in Somalia. A banana farm located in southern Somalia was taken as a case study. The site receives roughly 5.25 Kwh/m² of horizontal daily solar radiation. Using the CROPWAT program, the irrigation water requirement of some crops cultivated in the region was calculated. Sugarcane, mango, and banana were the most water-consuming crops, while sorghum, beans, and watermelon were determined as the least water-consuming crops. Two configurations of photovoltaic water pumping systems: AC and DC, were designed and simulated using PVSYST software. According to the simulated results in the case of AC pumping, 6 solar panels each of 285wp are used to pump the amount of water required which is 82m³/day, while, the DC system used only 4 panels to produce the same amount of water with higher efficiency. In terms of economics, the two configurations of Photovoltaic Water Pumping systems were evaluated by comparing them with Diesel Water Pumping systems. Capital costs (CC), life cycle cost (LCC), and m³ cost of pumped water were all used to do the comparison. The equivalent cost of water in the DC system is 0.16 \$/m³, and in the AC system is 0.22 \$/m³, based on expected system lifetime power generation. Both cases of photovoltaic pumping systems are more profitable than diesel water pumping system, in which the equivalent cost of water is 0.68 \$/m³. As a result, utilizing solar photovoltaic technology could significantly boost agricultural productivity and food production, thereby raising farmers' living standards and contributing to the country's economic growth.

Keywords: AC and DC Solar water pumping, Economic analysis, Crop water requirement, Somalia, PVSyst and CropWat programme

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, sonsuz rehberlik, destek, teşvik, tartışma ve düzeltme, yorum, eleştiri ve önerileri veren, bütün desteklerinden dolayı başta saygıdeğer danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman Özkan olmak üzere, Elektrik- Elektronik Mühendisliği bölümündeki tüm öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Abdullahi Mohamed Isak

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problem bildirimini	2
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin önemi.....	3
1.4 Tez Özeti	4
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
3. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ.....	17
3.1. PV Güç Sistemi Bileşenleri	18
3.1.1 PV dizisi.....	19
3.1.2 Kontrolör ve invertör	20
3.1.3 PV batarya.....	20
3.2 Tarımda Güneş Enerjisi Uygulamaları	21
3.2.1 PV elektrik sistemleri.....	21
3.2.2 Güneş enerjisi ile ısıtma sistemleri	22
3.2.3 Güneş enerjili sulamanın fizibilitesi	22
3.3 Somali’de PV Teknolojisi ve Sulama Sistemleri.....	23
3.3.1 Somali’de PV teknolojisi	23
3.3.2 Somali’de sulama.....	26
4. TASARIM VE METODOLOJİ	31
4.1 AC Su Pompalama Sistemi.....	31
4.1.1 PV panel dizisi	32
4.1.2 İnvvertör.....	35
4.1.3 AC pompalar.....	36
4.1.4 Su depolama ile pil depolaması	36
4.2 DC Su Pompalama Sistemi.....	37
4.2.1 DC pompa türleri	38
4.3 DC ve AC Su Pompalama Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	39
4.4 Dizel ve Güneş Enerjilerinin Avantaj ve Dezavantajları	40
4.5 Su Pompalama Konfigürasyonlarının Tasarımı.....	41
4.5.1 Su kaynağı.....	41
4.5.2 Sulama suyu ihtiyacının hesaplanması	42
4.5.3 Su deposu tasarımı	49
4.5.4 Motor-pompa seçimi.....	49

4.5.5 Pompa kontrolörü ve invertör	52
4.5.6 Afgooye'nin güneş ışınımı potansiyeli	52
4.5.7 PV modül seçimi.....	55
4.6 PVsyst Programı	59
5. SİSTEM SİMÜLASYONU VE SONUÇLARI.....	60
5.1 PVsyst için Giriş Parametresi	60
5.1.1 Coğrafi ve meteorolojik veriler.....	60
5.1.2 Düzlem yönlendirme.....	61
5.1.3 Günlük su ihtiyacı.....	62
5.2 DC Su Pompalama Sisteminin Simülasyon Sonuçları	63
5.3 AC Su Pompalama Sisteminin Simülasyon Sonuçları	68
6. SİSTEMİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ	72
6.1 Ekonomik Analiz	72
6.1.1 Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi	72
6.1.2 Dizel jeneratörlü su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi...	75
6.1.3 Sistemin yaşam döngüsü maliyet analizi	75
6.2 Çevre Analizi	79
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
7.1. Sonuçlar	81
7.2 Gelecek Araştırmalara Öneriler	83
KAYNAKLAR	85
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ	108

KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
CO ₂	Karbon dioksit
CWR	Crop water requirement (Mahsul su ihtiyacı)
DC	Doğru akım
DWP	Diesel water pumping (dizel su pompalama)
ET	Evapotranspirasyon
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
IWR	Irrigation water requirement (Sulama suyu ihtiyacı)
kW	KiloWatt
kWh	KiloWatt- saat
MPPT	Maximum Power Point Tracking (maksimum güç noktası izleme)
NIWR	Net irrigation water requirement (Net sulama ihtiyacı)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PVWP	Photovoltaic water pumping (Fotovoltaik su pompalama)
SM	Sermaye Maliyetleri
STC	Standart Test Koşulları
\$	Amerikan Doları
W _p	Watt tepe gücü
WPWP	Wind power water pumping (Rüzgâr enerjisi su pompalama)

1. GİRİŞ

Bir ülkenin kalkınması için tarım ve enerji dikkate alınması gereken en önemli iki faktördür. Günümüzde dünyanın enerji talebi arttıkça yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de artmaktadır. Güneş enerjisi en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Fotovoltaik (Photovoltaic: PV) sistemler kullanılarak elde edilen güneş enerjisi, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Günümüzde PV sistemler pil şarjı, yüzme havuzu ısıtma sistemleri, uydu güç sistemleri, acil durum iletişim uygulamaları ve su pompalama gibi kentsel bölgelerden uzak alanlarda kullanılmaktadır (Murat, 2017).

Geçmişten günümüze kadar minimum güç sarf ederek su pompalayabilmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları insan ve hayvan gücü, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve fosil yakıtlar gibi oldukça farklı güç kaynakları sayılabilir (Taşkaya, 2015).

PV panelinin maliyetinin aşırı düşmesi nedeniyle güneş enerjili su pompalama sistemleri son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Güneş enerjili bir pompa, PV paneller tarafından üretilen elektrikle çalışan bir pompadır. Güneş enerjili pompaların çalışma sistemi, daha düşük işletme ve bakım maliyetleri nedeniyle daha ekonomiktir ve içten yanmalı motorla çalışan pompalardan daha az çevresel etkiye sahiptir.

PV gücü, sürdürülebilir güç kaynakları arasında en verimli uygulamalardan biridir. PV sulama sistemleri dünyanın birçok yerinde ekonomik ve teknik olarak uygulanabilir. Son yıllarda, sulama için güneş enerjisinin kullanılması dikkate değer bir büyüme göstermiş ve PV panellerin maliyeti düşmeye devam ettikçe, bu eğilimin daha da artacağı tahmin edilmektedir. Küçük ve büyük ölçekli güneş enerjili sulama projeleri özellikle gelişmekte olan ülkelerde başarıyla yürütülmektedir (Raza, 2014).

Sulama ürün verimini; bitki, toprak, kullanılan sulama yöntemi, iklim ve üretim koşullarına bağlı olarak 1 ile 5 kat arasında artırabilmektedir. Çizelge 1.1'de sulama işleminin faydaları verilmiştir. Ancak, gereğinden fazla uygulanan sulama ise verimi azalttığı gibi; topraklarda drenaj, tuzluluk ve çoraklık (sodyumluluk) sorununa neden olabilmektedir (Köksal, 2012).

Çizelge 1.1. Sulamanın faydaları (Köksal, 2012)

Amaç	Fayda / Sonuç
Tarımsal üretimi artırmak	Ulusal geliri artırmak
	İşsizliği azaltarak yeni iş olanakları yaratmak
	Yaşam seviyesini artırmak
Toprak ve çevre için olumlu etkiler Geliştirmek	Toprakta bazı olumsuzluklara karşı yıkama yapmak
	Tuzlu ve sodyumlu toprakları ıslah etmek
	Bitkileri dondan korumak
Kuraklığın neden olabileceği olumsuzlukları azaltmak	Gıda kıtlığına karşı önlem almak
	Önemli ve pahalı ürün kayıplarını azaltmak

1.1 Problem bildirimini

Somali'nin birçok bölgesi yüksek potansiyelde güneş enerjisine sahip olmasına rağmen enerji sıkıntısı çekmektedir. Bu durum hem güvenlik hem yeterli bilgi ve teknoloji yetersizliği hem de finans eksikliklerinden kaynaklanmaktadır. Somali'nin merkezi hükümeti 1991'de devrildiğinde, ülkenin enerji sektörü de yıkıldı. Çoğu bölge karanlıkta kalırken özel sektöre ait dizel jeneratörlerle enerji sağlanmaya çalışıldı. Somali, dünyadaki en az enerji tüketen ülkeler arasındadır ve elektrik fiyatı da bölgede ve dünyada en yüksek düzeydedir. Nüfusun sadece yaklaşık % 15'i elektrik enerjisini kullanmaktadır. Kentsel bölgelerde yaşayan nüfusun yaklaşık % 35'i elektriğe sahipken, kırsal alanlarda bu oran ancak % 3,5'tir (Zakaria, 2018) (USAID, 2018).

Somali ekonomisinin en önemli kaynaklarından biri tarımdır. Güney Somali'de tarımsal sulama, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Bu tip sistemler daimî yüksek yakıt maliyeti ve günlük bakım isterler. Somali'de Jubba ve Shabelle adı verilen iki nehir vardır. Sulama çoğunlukla bu iki nehir boyunca uygulanmaktadır. Nehirden oldukça uzak olan çiftçiler ise, mahsullerini yetiştirmek için yılda sadece iki yağışlı mevsime bırakmak zorunda

kalmaktadırlar. Fakat bazen bu mevsimler de yeterli miktarda yağışlı geçmez ve kuraklık oluşmaktadır.

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri ise günlük bakım gerektirmediği gibi arzu edilen herhangi bir yerde, bol güneş olması şartı ile kurulabilirler (Pelin, 2013). Sulama işlemi genellikle yer altı su kaynaklarına sondaj yöntemiyle ulaşılarak yapılır. Açılan kuyuya sarkıtılan sulama pompaları vasıtasıyla su yer altından veya kuyudan çekilerek sulama kanallarına ulaştırılır. Tarımsal sulamada güneş enerjisi sistemi mevcut olan AC pompanın off-grid sistem ile beslenmesi ya da akü ve invertör kullanımı gerektirmeyen DC güneş enerjili pompa sistemi kurulması şeklinde iki farklı tasarımla kullanılabilir (UNDP, 2015).

1.2 Tezin Amacı

Güneş enerjili su pompalama sistemleri, şehir elektriğinden uzak bölgelerde sulama amacıyla güneş enerjisinden etkin şekilde faydalanmaktadır. İyi bir güneş enerjili su pompalama sistemi, iş gereksinimlerine uyacak şekilde tasarlanmış ve boyutlandırılmış sistemdir. Sistemin performansını veya gereksiz maliyet riskini önlemek için araştırma ve teknik tasarım gerektiren çeşitli uygulamalar ve çeşitli tasarımlar mevcuttur.

Yapılacak olan bu çalışmada, güney Somali bölgesinde iki farklı güneş enerjili su pompalama sistem tasarımı simülasyon programlarıyla incelenecek ve karşılaştırılacak, tasarımların birbirlerine göre üstünlükleri araştırılacaktır. Ayrıca yaygın olarak kullanılan konvansiyonel (jeneratör ile yapılan sulama) sistemle karşılaştırılarak maliyet analizi yapılmıştır.

1.3 Tezin önemi

Dünya, yakıt kullanımını durdurarak veya en aza indirerek, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını geliştirmeyi amaçlamaktadır. Somali'de tarım, ikinci en önemli ekonomik sektördür. Somali'nin yaklaşık 15 milyon nüfusu vardır ve bunların yaklaşık % 60'ı tarım ve hayvancılıkla uğraşmaktadır ve kırsal bölgelerde yaşamaktadır. Ayrıca, Somali topraklarının % 70'i tarıma elverişlidir (World Bank., 2018). Tasarlanacak bu sistem birçok çiftlikte uygulanırsa:

- Gaz enerjisini güneş enerjisiyle değiştirecek ve yağışlı mevsimlere bağımlı olan çiftçi sayısını azaltacak.
- Somali halkını daha az maliyetli ve çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerjiyi kullanmaya teşvik edecek.
- Tarım alanını ve mahsul verimini artıracak.
- İşsizliği azaltarak yeni iş imkânları yaratacak
- Yaşam seviyesini artıracak, kuraklık riskini azaltacak ve ekonomiyi canlandırarak.

Bu çalışma aynı zamanda Somalili çiftçilerin yenilenebilir enerji teknolojilerini, özellikle sulama için güneş enerjili su pompalarını nasıl kullanabilecekleri konusunda bilgi edinmelerine yardımcı olacaktır. Son olarak, bu tez gelecekteki araştırmacıların Somali'de sulama için su pompalama sistemlerinin güç kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanımı hakkında bilgi edinmelerine yardımcı olacaktır.

1.4 Tez Özeti

Bu tez, Somali'de bitki sulama sistemi ve güneş enerjili su pompalama sisteminin tasarımı ve analizi hakkında temel bilgiler sağlamaktadır. Tez yedi bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm; giriş, problem bildirimi, tezin amacı, tezin önemi ve tez özetinden oluşmaktadır.

İkinci bölüm; güneş enerjili su pompalama sistemi hakkında genel bilgiler ve güneş enerjili su pompalama sistemi literatür taramasından oluşmaktadır.

Üçüncü bölümde; güneş enerjili su pompalama sistemleri, PV güç sistem bileşenleri, tarımda güneş enerjisi uygulamaları ve güneş enerjili sulamanın fizibilitesi, Somali'nin PV teknolojisi ve Somali'de sulama sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde; güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ve sulama sistem bileşenlerinin ayrıntılı açıklaması, tasarımı ve boyutlandırması ve su ihtiyacının karşılanması belirtilmiştir. Sulama suyu ihtiyacını hesaplamak için Cropwat yazılımı hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde; tasarlanan sistemi simüle etmek ve gerekli suyu pompalayıp pompalayamadığını kontrol etmek için PVsyst programı hakkında bilgilerden bahsedilmiştir.

Altıncı bölüm; güneş enerjili su pompalama teknolojilerinin ve dizel su pompalama sistemlerinin ekonomik analizini gerçekleştirmek için yapılan varsayımlar açıklanmış ve CO₂ emisyonlarının değerlendirilmesiyle ilgili hususlardan bahsedilmiştir.

Yedinci bölüm olan son bölümde; tez çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar, bir önceki bölümde elde edilen sonuçlara ve tartışmalara dayanılarak yapılmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalara yön vermek için önerilerde bulunulmuştur.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Su pompalama işlemi, PV için en basit ve en uygun kullanımlardan biridir. PV güçle çalışan pompalama sistemleri, mahsul sulamadan evsel kullanıma kadar çok çeşitli su ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu sistemlerin çoğu, güneş olmadığında kullanılmak üzere su depolama, pil ihtiyacını ortadan kaldırma, basitliği artırma ve genel sistem maliyetlerini azaltma avantajına sahiptir. Bu nedenle, birçok insan güneş enerjili su pompalama sistemi kurmayı düşünmekte ancak maliyeti nedeniyle bunu ertelemektedir. Ancak 10 yıllık bir periyotta yapılan giderleri görüntülemek, gerçek maliyet hakkında daha iyi bir fikir verecektir. Kurulum maliyetlerini (işçilik dâhil), yakıt maliyetlerini ve 10 yıllık bakım maliyetlerini karşılaştırarak, güneş enerjisinin ekonomik bir seçim olduğunu görebilmek mümkündür. Güneş enerjisiyle çalışan bir pompalama sistemi genellikle başlangıçta dizel ile çalışan jeneratörden daha pahalıdır, ancak yine de çok daha az bakım ve işçilik gerektirmektedir (Nasir, 2016).

Literatürde, güneş enerjili sulamanın yenilenebilir enerjinin ilgi çekici bir uygulaması olarak kabul edilebileceğini vurgulayan birçok çalışma vardır. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları verilmiştir.

Hammad ve Ebaid (2015), çeşitli sistem boyutlarında PV panel pompalama ve dizel motorlu pompalamanın ekonomik ve finansal değerlendirmesini Ürdün için yaptılar. 15 kWh'ye kadar günlük sulama enerji talebini karşılamak için güneş enerjili sulamanın ekonomik olarak uygun olduğu sonucuna varmak için hidrolik talep, ışık şiddeti, pompalama yüksekliği, faiz oranı, PV maliyeti ve yakıt maliyeti faktörlerini dikkate aldılar. Sonuç olarak, PV panel ve dizel pompalamanın eşdeğer sistem boyutları için % 0 ila % 20 faiz oranlarının, PV panelinin dizel pompalamadan daha ekonomik uygulanabilirlik olduğunu gösterdiler.

Hossain ve arkadaşları (2015), Bangladeş'te güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemlerinin hem teknik hem de ekonomik fizibilitesini ayrıntılı olarak ele aldılar ve dizel motorlu şebekeye bağlı sulama sistemlerinin geleneksel sulama yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak analizini gösterdiler. Bu analizde teknik fizibilite için dikkate alınan ana faktörler konum, güneş ışığı ve bir güneş sulama pompası için gereken maksimum güçtür. Oysa güneş enerjili sulama sistemlerinin ekonomik fizibilitesi için PV, dizel ve şebeke sulama sistemlerinin yaşam döngüsü maliyeti, karbon vergisi ve yenilenebilir enerji için mali teşvikler gibi hususlar dikkate alındı. Sonuç olarak, güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemlerinin teknik olarak uygulanabilir olduğunu ve PV

panellerinin montajı için yeterli alan olduğu sürece PV pompalamayı kullanmak için hiçbir teknik kısıtlamanın olmadığı sonucuna varmışlardır. Oysa artan dizel ve şebeke elektriği maliyetiyle ilgili faktörler, güneş enerjili sulama sistemlerinin geleneksel sulama yöntemlerine kıyasla ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Elektrik iletim hatlarının uzatılmasının maliyetini ve geleneksel sulama sistemlerinin yüksek bakım maliyetini göz önünde bulundurarak, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin uzak yerlerde sulama yapmanın uygun maliyetli bir yol olduğunu göstermişlerdir.

Brian ve Clark (2009), optimum güneş enerjili su pompalama sisteminin seçilmesi üzerine bir inceleme sundular. Güneş enerjili su pompalama ile rüzgâr enerjisi pompalama gibi Amerika Birleşik Devletleri'nin farklı yerlerinde bulunan en iyi yenilenebilir enerji su pompalama yöntemlerini değerlendirmek için karşılaştırma analizi yöntemlerini kullandılar. Sonuç olarak, sulamanın 1,5 kW'tan daha az pik güç gerektirdiğini gösterdi. Güneş enerjili su pompalama sisteminin rüzgâr enerjisine göre daha uygun bir seçim olduğunu belirtmişler ve bunun nedenini de, kurulumunun kolay ve işletiminin daha az bakım gerektirmesine bağlamışlardır.

Ghoneim (2006), Kuveyt ikliminde güneş enerjili su pompalama sisteminin performans analizlerini gösterdi. Sistem verimliliğini artırmak için PV panel dizisi, DC motor, santrifüj pompa, depolama tankı ve maksimum güç noktası izleyiciden oluştuğunu düşünüyordu. Bu yazıda, pompalanan suyun Kuveyt'in ücra bir bölgesinde 300 kişinin evsel ihtiyaçlarını karşılaması istenmektedir. Amorf silikon güneş pili modüllerinin maksimum güç noktası izleyicisi ile PV dizisinin performansını belirlemek için bir bilgisayar simülasyon programı geliştirilmiştir. PV dizisi oryantasyonunun boyutu ve pompa motorunun hidrolik sistemi özellikleri, optimum performans elde etmek için değişiklik gösterdi. Yaşam döngüsü maliyet yöntemi, optimize edilmiş PV ile çalışan su pompalama sistemlerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için uygulanır. Bu belge sayesinde, PV ile çalışan su pompalama sisteminin maliyetinin, PV modüllerinin mevcut fiyatları üzerinden geleneksel yakıt sisteminin maliyetinden daha ucuz olduğu bulunmuştur.

Syafawati (2010), Malezya'da yaptığı çalışmada, meyve bahçeleri için solar PV pompa tabanlı bir damlama sisteminin tasarımını geliştirdi. Bu çalışmada, PV pompasını kurak bölgelerde meyve bahçeleri yetiştirmek için tasarlanan ve geliştirilen işletilen damla sulama sistemine odakladılar ve damlatıcılardaki ışınım ve basınç telafisindeki değişiklikler nedeniyle pompanın boyutu, su gereksinimleri ve pompanın

basıncındaki günlük değişim gibi tasarım parametrelerini dikkate aldılar. Sistem, 900Wp PV dizisine sahip bir PV pompası ve mikro filtreli 800W DC motorlu pompa mono blok, ana, alt Şebeke ve test edilen sahadaki her tesiste üç adet açılabilir düşük basınç dengeleyici damlatıcıdan oluŐmaktaydı. Sistem, gözlenen emisyon homojenliğinin % 92-94'ü olan 70-100 kPa basınç aralığında 3,8 l/sa deşarj ile 2 saat içinde 1 ha alanı sulayabilmekteydi. Bu sistem, PV pompası ve damlama sisteminin performansına bağlı olarak yaklaşık 5 hektarlık bir meyve bahçesi alanı için çaba gösterebiliyordu. Genel olarak bakıldığında, bu projenin faydası, böyle bir sistemle nar bahçeleri yetiştirmek için uygun olduğunu deęerlendirilmiŐ ve sistem kurak bölgenin geliŐimi için uygun teknolojiler olarak kabul edilmiştir.

Shamim Reza ve Sarkar (2015), uzak yerlerdeki güneş enerjili su pompalama sistemlerinin teknik ve ekonomik analizini değerlendirdiler. Sonuç olarak, güneş enerjili pompalamanın Şebeke elektriğine erişilemeyen uzak yerlerde ideal bir çözümlü olduğunu gösterdiler ve buna ek olarak, su kaynaklarına erişim, uzak bölgelerdeki çiftçilerin sosyo-ekonomik ve yaşam koşullarını önemli ölçüde iyileŐtirebileceęini vurguladılar.

Wadhankar ve Charjan (2019), maksimum güç noktası izleme tekniğini (maximum power peak tracking: MPPT) kullanan bir güneş enerjili pompalama sisteminin optimizasyon çalışmasını sundu. Optimizasyon, PV jeneratörünün açık devre voltajının ve bir güneş radyasyonu segmentinin eklenmesi olan yeni referans voltaj kriterine dayanmaktadır. Bu teknik, bir Buck-Boost dönüŐtürücünün optimum doğrama oranını sağlamak için geliştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen teknik, kolay doğrudan bir bağlantı veya karmaşık bir MPPT tekniği kullanmak yerine PV jeneratör çıkış gücünü optimize etmek için güneş enerjili su pompalama sisteminde deneyimlenmiŐtir. Çalışma, güneş enerjili pompalama sistemleri için MPPT tekniğinin verimliliği artırdığını gösterdi. Buck-Boost DC/DC dönüştürücüler ve ayrı olarak uyarılmıŐ DC motorun, PV jeneratörüne iyi bir eşleşme sağladığı görülmüştür. Açık devre voltajının yüzdesine dayalı değişken referanslı MPPT, sonuçları için gerçek MPPT'ye yaklaşık olsa da önerilen optimizasyon tekniği, optimum güç yerine maksimum güce ulaŐmak için onu sonlu bir hassasiyete taŐıdığı görüldü. DC/DC dönüştürücü için kısıtıcı oranı değerleri, kolay, hızlı ve yüksek hassasiyetle elde edildi. Simülasyonlarda ayrıca üretilen toplam enerji ve günlük pompalanan toplam su hacmi açısından MPPT'siz sistemle karŐılaŐtırmalar da yapıldı. Sonuçlar, MPPT'nin, MPPT'siz sisteme kıyasla güneş enerjili su pompalama sisteminin verimliliğini ve performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir.

Abdolzadeh ve arkadaşları (2011), PV panel hücrelerinin ön tarafına su püskürterek bir güneş enerjili su pompalama sisteminin etkinliğini artırmayı hedeflediler. Deneysel sonuçlar, PV panel hücrelerine su püskürtülmesi nedeniyle geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında hücrelerin gücünün arttığını gösterdi. PV gücünü kullanmak ve güneş enerjili su pompalama sistem verimliliğini artırmak için, panel sıcaklığını ve hücre yansımaları olabildiğince düşük tutmak gerekir. PV panel dizilerinin artan sıcaklığından kaynaklanan verimlilik kaybı, gün boyunca hücrelerin ürettiği ısıyı emen hücreler boyunca ön yüzeyden su spreyine ısı çıkarılmasıyla azaltılabileceğini gösterdi. PV panel hücrelerinin üzerine su püskürtmenin, modüllerin maksimum güç üretim sıcaklığında yakın bir şekilde çalıştığı durumlarda, motor pompasının hücre gücünün çoğunu alabildiğini, sistemin ve alt sistem verimliliğini büyük ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir.

Mokeddem ve arkadaşları 2011, direkt akuple güneş enerjili su pompalama sistemini 1996 yılında Cezayir Bilim ve Teknoloji Üniversitesi kampüsünde kurdular. Kurulan sistemle 4 aylık veri topladılar. Kurulan sistem, 1,4 kW tepe gücüne sahip PV panel dizisi, çok amaçlı santrifüj pompa ve DC motordan oluşuyordu. PV panel dizisi, her modülün 51 Watt güç oranına sahip olduğu modüllerden oluşuyordu. İki PV modülü dizisi paralel olarak bağlanmış ve her dizide seri olarak bağlanan 15 modül bulunmaktaydı. Şekil 2.1’de kurulan sistem gösterilmiştir. DC motor pompası doğrudan PV dizisine bağlandı. Bu güneş enerjili su pompalama sistemi, suyu depolamak için iki eşit kapasitede depolama tankı kullanıldı ve enerji depolaması için pil kullanılmadı. Su depolama tanklarına sahip doğrudan bağlantılı PV pompaları, enerji depolaması için pillerle donatılmış PV sulama sistemlerine benzemektedir. Doğrudan bağlı güneş enerjili pompaların avantajları, tasarım açısından daha basit ve düşük maliyetli olmaları ancak pille donatılmış olan sulama sistemlerinden daha az verimli olmaları sayılabilir. Güneş enerjili su pompalamasında pillerin kullanılması, motor-pompa grubunun verimliliğini artırmakta, pompa ve motorun daha düşük ışınlama ile daha az yükte çalışmasından kaçınarak optimum koşullarında çalışmasını sağlamaktadır (Raza, 2014). Deneysel veriler bir EPROM veri toplama sistemi kullanılarak alındı ve kaydedildi. Ortam sıcaklığı, su çıkışındaki basınç, ilgili cihazların voltajı ve akımı, debi ve güneş ışığı gibi verileri elde etmek için çeşitli sensörler kullanıldı. PV dizisindeki global ya da dağılım radyasyonunu ölçmek için PV modülleri ile aynı eğim açısına sahip bir piranometre monte edildi. Sistem 15 yıldan fazla bir süredir çalışıyor olsa da testler yapıldı ve Aralık ayından Mart ayına kadar olan 4 aylık sürede veriler alındı ve

kaydedildi. Elde edilen verilere dayanarak, iki farklı statik kafa konfigürasyonu altında ilgili cihazların özelliklerini incelemek için PV modülleri ve motor-pompa grubu için I-V eğrileri elde edildi (Raza, 2014).



Şekil 2.1 Cezayir Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'ndeki 1,4 kW'lık PV dizisi ve güneşte güneşlenme sensörü (Raza, 2014)

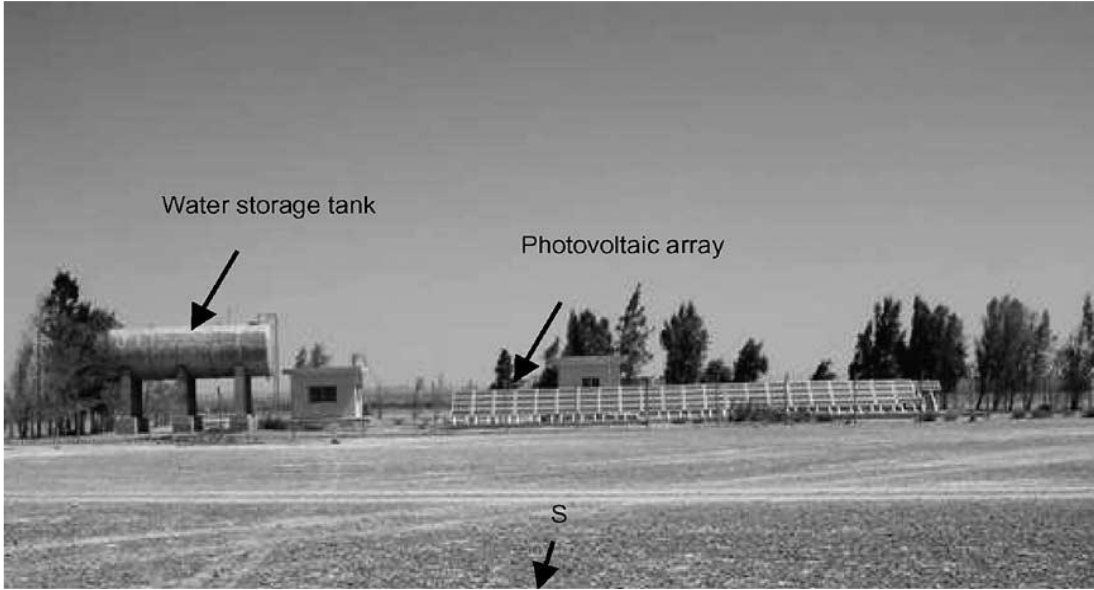
Işık şiddetinin PV dizisi üzerindeki etkileri de çeşitli seviyelerde güneşe maruz kalma altında incelenmiştir. Başlangıçta, sıcaklığın PV hücrelerinin devre akımının kısa devre üzerindeki etkisi dikkate alınmamış, ancak daha sonra bu etki çalışmaya dâhil edilmiştir. Deneysel dönemde toplanan veriler, özellikle bulut örtüsüne ve mevsimsel değişime dayanan çeşitli güneş ışıması aralıkları arasında dalgalandı. Güneşe maruz kalma ve ortam sıcaklığı, çalışmaya dâhil edilen hava ile ilgili iki faktördü. Ancak testler sırasında rüzgâr hızı dikkate alınmadı. Sonuçta, güneş enerjili su pompalamanın, pompayı etkinleştirmek için 1 Amper akım gerektirdiğini gösterdi, bu da 160 W/m^2 ışıma karşılık geliyordu. Aktivasyon veya uyarma akımı, motor-pompa grubunun dönmeye başladığı akımdır. Pompa çalışmaya başladığında, çalıştırma noktasına ulaşılan kadar voltaj artarken aktivasyon akımının düşmeye devam ettiğini gösterdiler (Mokeddem ve ark., 2011).

Çalışma noktası deney periyodu boyunca dalgalandı ve çeşitli parlaklık seviyelerinde farklıydı. 11 metre ve 0,6 metrelik statik başlıklar için akış hızı ve pompalama giriş gücü arasındaki ilişki, pompanın her bir kafa için sırasıyla minimum 288 Watt ve 56 Watt gerektirdiğini gösterdi. Ayrıca, motor-pompa grubu 11 m ve 0,6 m'lik statik yükseklikler için sırasıyla maksimum % 30 ve % 12 verimlilik elde etti. Daha düşük statik başlıklarda, motorun dönüş hızı nominal çalışma aralığı içindeydi,

ancak daha yüksek statik başlıklarda motor nominal çalışma hızının dışında çalıştı. Çalışma, motor-pompa grubunun genel verimliliği üzerinde motorun pompadan daha büyük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Raza, 2014). Doğrudan bağlı PV pompalarının daha basit çalışması nedeniyle, bu tür sistemlerin birçok avantajı vardır. Her şeyden önce pillerin ilk maliyeti ortadan kalkar. İkinci olarak, yardımcı elektronikler için minimum gereksinim vardır veya hiç yoktur. Bu tür bir PV pompalama sisteminin daha düşük debili uygulamalar için çok uygun maliyetli ve güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.

Odeh ve ark., 2006, TRNSYS simülasyon programında güneş enerjili su pompalama sistemleri için bir simülasyon prototipi geliştirdi. Bu model, Ürdün, Ritem'de kurulu olan güneş enerjili su pompalama sisteminin saha verileriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Kurulan sistem, 4,5 kWp tepe gücünde 90 PV modülü, doğrudan santrifüj pompaya bağlı 2,2 kW motor gücü, 3,5 kVA DC/AC invertör ve şekilde gösterildiği gibi depolama için 55 m³ su tankı kullanıldı. Şekil 2.2'de Ritem bölgesindeki güneş enerjili su pompalama sistemi gösterilmiştir. Ayrıca veri toplamak için Nes Modas veri toplama ünitesi kullanıldı. Veriler her 2 saniyede bir toplandı ve bir yıl boyunca her saat işlendi, kullanılan verilere PV panel dizisinin DC akımı ve voltajı, dinamik yük, akış hızı ve PV modüllerindeki güneşe maruz kalma süresi dâhil edildi. Simülasyon modeli Ritem için hava durumu verileri sağlandı ve kurulu cihazların ve PV panel dizi kapasitesi, motor-pompa düzeneği, pompa kafası, su deposu ve DC-AC invertör gibi bileşenlerin gerçek özelliklerini kullandı.

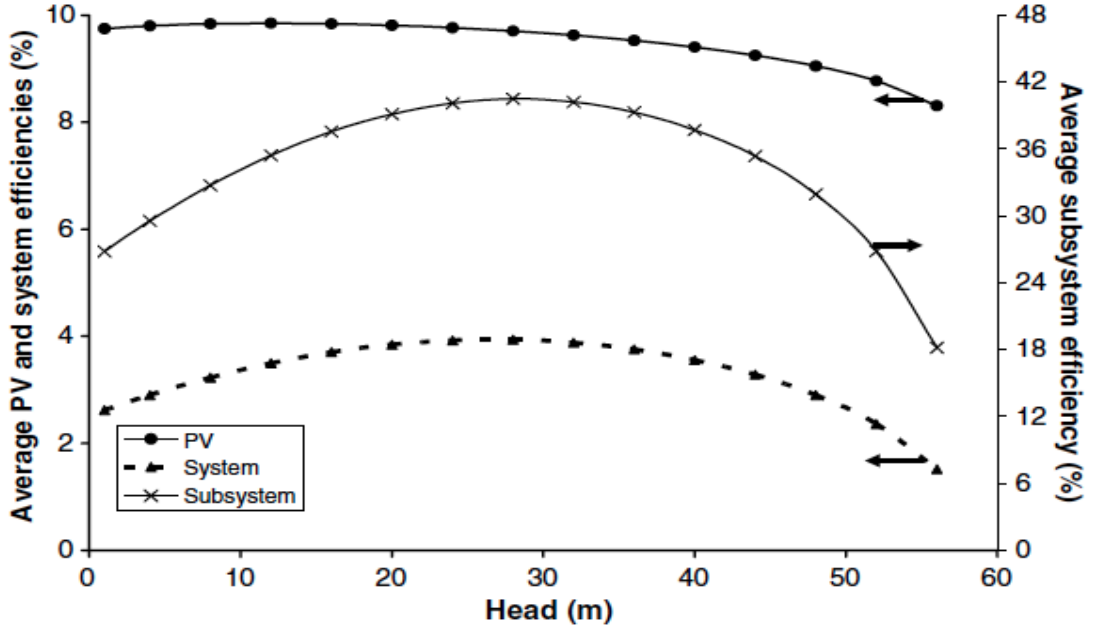
Güneşe maruz kalmanın, PV panel dizisinin boyutunun ve pompalama yüksekliğinin güneş enerjili su pompalama sisteminin genel performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için simülasyonlar yapıldı. Simüle edilen sonuçlar, gerçekleşen verilerden daha yüksekti. Gölgeleme, toz birikimi, PV pompası uyumsuzluğu ve spektral kayıpların bazı gerçek zamanlı dış faktörleri hesaba katılmadı ve bu da güneş enerjili su pompalama sisteminin performansının fazla tahmin edilmesine neden oldu. Gerçek alanda ölçülen veriler, pompalanan yıllık su hacminin simüle edilen çıktılardan % 2,6 daha düşük olduğunu gösterdi. Oysa PV panel dizisi tarafından üretilen fiili toplam yıllık güç, simülasyon verilerinden % 5,7 daha düşüktü.



Şekil 2.2 Ürdün, Ritem’deki 4,5 kW PV Su Pompalama Sistemi (Odeh ve ark., 2006)

PV panel dizisinin boyutunun sistemin genel performansı için kritik olduğu ve sistemin genel verimliliğini büyük ölçüde etkilediği sonucuna varıldı. Daha büyük bir PV panel dizi boyutu, pompanın gerektirdiğinden daha fazla güç ürettiğinden ve dolayısıyla fazla güç kullanılmadığından sistemin verimliliğini düşürdü. PV panel dizi boyutunda, pompanın gerektirdiğinden daha küçük bir artış, m³ başına pompalanan su maliyeti üzerinde önemsiz bir etkiye sahipti. Bununla birlikte, PV panel dizi boyutundaki küçük bir azalma, pompalanan suyun maliyetini % 94’e varan oranlarda büyük ölçüde artırdı. Etkili bir güneş enerjili su pompalama sistemi tasarlamak için, PV panel dizisi ve pompa arasındaki uyumsuzluğu önlemek için uygun bir güneşlenme noktası belirlenmelidir. Tasarım güneşlenme noktası, pompanın nominal hızında çalıştığı bir güneş ışınımı seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, PV panel dizisinin boyutu, belirli bir konumda tasarım güneşlenme noktasının üzerindeki ortalama güneş ışınma süresi ve bir günde gereken pompalama saati sayısı belirlenerek optimize edilebilir. Pompalama işleminin birçok saati boyunca güneş ışınmasının tasarım güneşlenme noktasından daha düşük olduğu yerlerde, pompayı çalıştırmak için gereken gücü elde etmek için PV panel dizisinin boyutunun artırılması gerekir.

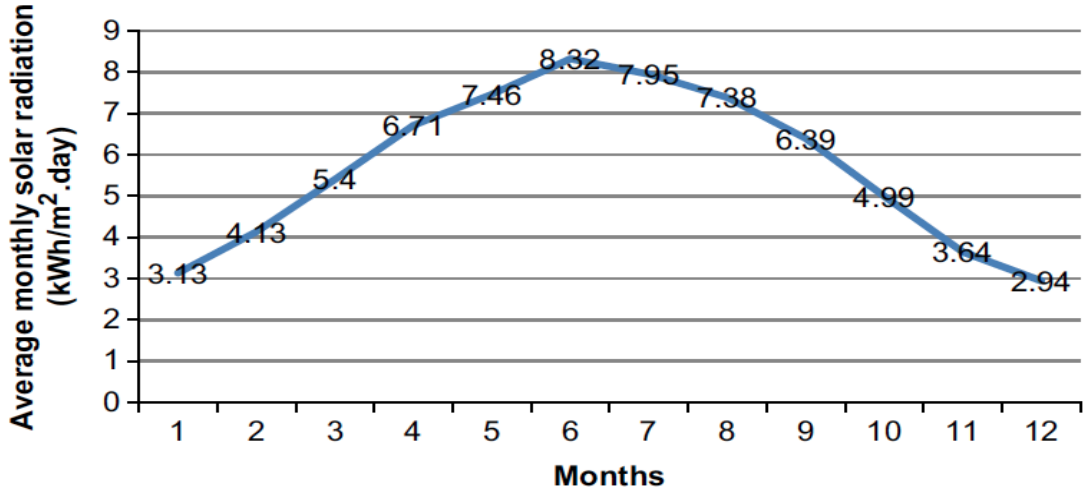
Pompalama kafasının genel sistem, alt sistem ve PV panel dizisinin verimliliği üzerindeki etkisi çeşitli statik başlıklar için elde edilmiştir. PV panel dizisi, DC/AC dönüştürücü ve motor-pompa düzeneği, bu simülasyon çalışmasında bir alt sistemin bileşenleri olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.3’te, farklı statik kafalar için PV panel dizisi, genel sistem ve alt sistem için optimum verimlilikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Farklı statik yükler için sistem, alt sistem ve PV verimliliği (Odeh ve ark., 2006)

PV panel dizisi 12 m'lik statik basınçta maksimum verimlilikte çalışırken, genel sistem ve alt sistem 28 m'lik statik basınçta maksimum verimlilikte çalışıyordu. Şekil 2.3'den görüleceği gibi, genel sistemin verimliliğinin % 2 ila % 4 aralığında düşük olduğu görülebilir (Odeh ve ark., 2006).

Al-Smairan, (2012), yaptığı çalışmada; uzak bölgeler için güneş enerjili su pompalama sistemleri ile dizel motorlu su pompalama sistemlerini karşılaştırmıştır. Ürdün'ün Mafraq şehrinde bulunan Yenilenebilir Enerji Araştırma Merkezinde 1989 yılında kurulan güneş enerjili pompalama sistemlerinde araştırmasını yaptı. Buradaki sistem, evcil hayvanlara su sağlamak için Bedevilerin kullandığı Badia bölgesinde bulunmaktaydı. Saha konumuyla yarı kurak bir iklim bölgesinde yer almakta ve günlük ortalama $5,3 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ güneş radyasyonu ile ülkedeki en yüksek güneş radyasyonunu almaktaydı. Bu bölgenin ortalama aylık güneş radyasyon değerleri, Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Çalışmada güneş enerjili su pompalama sisteminin, günlük $45 \text{ m}^3/\text{gün}$ su ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. 174 m derinliğe sahip bir yeraltı suyu kuyusundan su pompalanmıştır ancak pompa yüksekliği 105 m'dir. Hidrolik ve iklimsel verilere göre, pompanın ihtiyaç duyduğu toplam enerji, $12,875 \text{ kWh/gün}$ ve $5,02 \text{ kWp}$ PV panel dizi boyutu gerektiriyordu. Panellerde ısı ve toz birikiminden kaynaklanan kayıpları telafi etmek için PV panel dizi boyutunun $5,02$ 'den $5,94 \text{ kW}$ 'a çıkarılmıştır.



Şekil 2.4 Badia için ortalama güneş radyasyon değerleri (Al-Smairan, 2012)

Genel sistem, güneye bakan şekilde 108 PV panel dizisinden, 3 fazlı 5,5 kW dalgıç AC pompa ve 7,5 kVA'lık invertörden oluşuyordu. Sistem Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi pompalanan suyu depolamak için her biri 55 m³ kapasiteli iki su deposu kullanıldı. Su depolarının boyutu, 2 ila 3 gün ihtiyaç duyulan su miktarını karşılamak için tasarlanmıştır.



Şekil 2.5 Badia, Ürdün'deki 5,5 kW güneş enerjili su pompalama sistemi (Al-Smairan, 2012)

Karşılaştırma yapmak için; 10 kW'lık bir dizel motorun, güneş enerjili su pompalama sistemine eşdeğer miktarda su pompaladığı kabul edildi. Dizel motor, günde 45 m³ su pompalamak için 6 saat boyunca 25 litre yakıt harcamaktaydı. Hem güneş enerjili su pompalama hem de dizel pompalama sistemi için güncel değerlerde

maliyet analizinde yapılmıştır. Sonuç olarak, dizel ve güneş enerjili su pompalama sistemlerinin m³ başına pompalama maliyetinin sırasıyla 0,58 \$ ve 0,20 \$ olduğunu gösterdiler. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin, şebeke hatlarının bulunmadığı uzak yerler ve bölgeler için dizel pompalara göre uygun maliyetli olduğunu gösterdiler (Al-Smairan, 2012).

Sarı (2019), PVsyst yazılımı kullanarak örnek bir güneş enerjili su pompalama sistemini tasarlamış ve konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılmasını yapmıştır. Nevşehir ili Gülşehir ilçesinde yer alan ve ceviz üretimi için kullanılan 3000 m²'lik alan proje alanı olarak seçilmiştir. Tasarlanan güneş enerjili su pompalama sisteminin kurulum maliyeti ile mevcut konvansiyonel yakıtlı sistemin ekonomik karşılaştırması yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre örnek alınan işletmede güneş enerjili su pompalama sistemi kurulması halinde ekonomik olarak 6 yıl içerisinde güneş enerjili su pompalama sistemi daha avantajlı hale gelmektedir. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinde kullanılan PV modüller 25 yıl boyunca kullanılabilir. Buna karşılık dizel jeneratörlerin ömürleri PV panellere göre daha az olmakla birlikte çalışmaları sırasında gürültüye sebep olurlar. Ayrıca egzoz gazları salınımı nedeniyle çevreye zarar verilir. Dizel yakıt fiyatlarının çok yüksek seviyelerde olduğu, elektrik fiyatlarının gün geçtikçe arttığı, temiz ve güvenilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin sulamada kullanılmasının konvansiyonel sistemlere göre çok daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Saleem (2012), Filistin'de güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemlerinin hem teknik hem de ekonomik fizibilitesini ayrıntılı olarak ele aldı ve dizel motorlu şebekeye bağlı sulama sistemlerinin geleneksel sulama yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak analizini gösterdi. Bu çalışmada güneş enerjili su pompalama sistemleri için üç konfigürasyon incelenmiştir; depolama pilli AC güneş enerjili su pompalama, depolama tanklı AC güneş enerjili su pompalama ve DC doğrudan güneş enerjili su pompalama. Güneş enerjili su pompalama sisteminin tüm konfigürasyonları için kWh başına hesaplanan maliyet 0,2- 0,5 \$ aralığındayken, dizel jeneratör için kWh başına ortalama hesaplanan maliyet 0,46 \$ ve elektrik şebekesinin genişletilmesi için 0,18 \$ olduğunu gösterdi. PV sistemi kullanılarak pompalanan suyun maliyeti, metreküp başına 0,01 ile 0,19 \$ arasındayken, dizel jeneratörle pompalanan metreküp başına 1,07 \$ ve elektrik şebekesinin genişletilmesiyle 0,031 \$ olduğunu gösterdi.

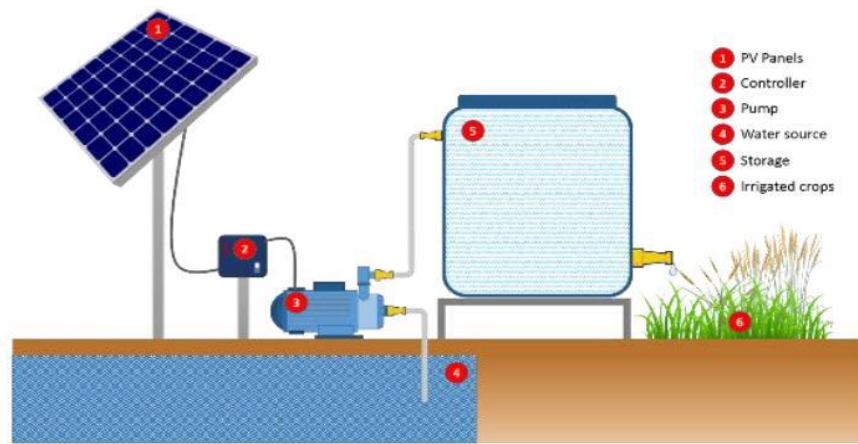
Buraya kadar belirtilen literatürlerde, çeşitli boyutlarda güneş enerjili su pompalama sistemleri incelenmiştir. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin çoğunun kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde 15 yıldan fazla bir süredir başarıyla

çalıştığı görülebilir. PV panel gücü, çöl bölgelerindeki su pompalama uygulamaları için uygun bir seçenektir. Şebeke hatlarına erişilemezlik ve artan yakıt maliyeti, güneş enerjili su pompalama sistemlerini uzak yerlerde çekici ve ekonomik olarak uygulanabilir kılmaktadır. Bu bölümde incelenen tüm güneş enerjili su pompalama sistemleri, yüksek pompalama kapasiteleri için yüksek maliyetlerinden dolayı enerji depolamak için pil kullanmamıştır. Aküler yerine, sulama gerektiğinde suyu depolamak ve dağıtmak için yükseltilmiş depolama tankları kullanılmıştır.



3. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ

Şebeke dışı alanlarda su pompalamak için kullanılan ana teknolojik alternatifler PV, dizel ve rüzgârla çalışan su pompalama sistemleridir. Belirtilen bu üç sistem, şebekeden bağımsız olan uzak alanlarda içme, hayvancılık ve tarımsal alanlara su sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarımsal sulamada kullanılan güneş enerjili su pompalama sistemi tipik olarak beş ana bileşenden oluşur. Bunlar; PV panel dizisi, güç kontrol ünitesi, pompalama sistemi, depolama ünitesi ve sulama sistemidir. Birden çok sistem düzeni yapılandırması mevcuttur ve güvenilirlik, performans ve ekonomik yönlere bağlı olarak çeşitli teknik bileşen seçenekleri mevcuttur (Campana, 2015). PV modülleri, sabit bir diziyeye veya bir güneş izleme sistemine kurulabilir. Sabit PV dizilerinin kurulum maliyeti ucuz ve bakım gerektirmemesine rağmen güneş izleme sistemi pahalıdır ve hareketli bileşenlere sahip olduğundan bakım gerektirir, ancak sabit sisteme göre % 30-40 daha fazla güneş ışımaya sahiptir (Yagci, 2017). Kontrolör ister DC ister AC olsun pompa motor tipine bağlıdır. İlk durumda, AC pompa PV dizisine, PV modülleri tarafından üretilen DC gücü pompa motorunu çalıştırmak için kullanılan AC gücüne dönüştüren bir DC/AC çevirici aracılığıyla sağlanır. DC pompa seçilirse, bağlantı bir DC/DC dönüştürücü ile düzenlenir. Piyasada bulunan denetleyicilerin çoğu, aynı zamanda, PV dizisi tarafından üretilen maksimum gücün çıkarılmasına izin veren bir maksimum güç noktası izleyicisi (maximum power point tracker: MPPT) ile donatılmıştır. Denetleyici, tipik olarak küçük uygulamalar için tasarlanan doğrudan bağlı güneş enerjili su pompalama sistemlerinde de ihmal edilebilir (Campana, 2015). Şekil 3.1’de tipik olarak şebekeden bağımsız yüzey güneş enerjili pompalama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Tipik olarak şebekeden bağımsız yüzey güneş enerjili su pompalama sistemi (UNDP, 2015)

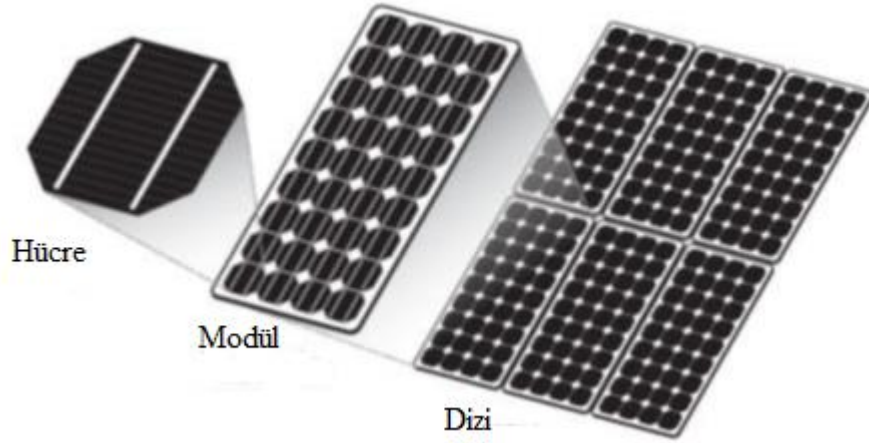
Çoğu durumda, su depolama üniteleri, sulama suyu ihtiyacı ve pompalanan su senkronize olduğundan güneş enerjili sulama sistemlerinde yoktur. Bununla birlikte, su kaynağının geçici olarak depolanmasına ihtiyaç duyulursa, konfigürasyona bir depolama sistemi dâhil edilebilir. Depolama sisteminin bir batarya bankası olması durumunda, bir şarj kontrolörü, PV modülü ile batarya ve güç düzenleme birimi arasında ara yüz oluşturur. Sulama amaçlı en basit ve en güvenilir sistem düzeni, sulama sistemi ile pompa arasında bir filtreleme ünitesi aracılığıyla doğrudan bir bağlantı içermesidir. Ürün sulama, mikro damla, yağmurlama ve karık sulama gibi çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Mikro sulama, yağmurlama ve karık sulamaya kıyasla en yüksek verimlilik düzeyine (% 90'a kadar) sahiptir. Bu nedenle özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu alanlarda su tasarruf tekniği olarak tercih edilmektedir. Spesifik yatırım maliyetinin diğer sulama tekniklerinden daha yüksek olduğu aşikardır ve bu nedenle planlama sürecinde fayda-maliyet oranı analizi yapılmalıdır (Campana, 2015).

3.1. PV Güç Sistemi Bileşenleri

PV'nin tarihi, Fransız fizikçi Edmund Becquerel'in, elektrolitik bir çözelti içinde bir metal elektrotu aydınlattığı zaman ilk PV etkiyi keşfettiği 1839 yılına kadar dayanmaktadır. Bu tarihten 37 yıl sonra İngiliz fizikçi William Adams, öğrencisi Richard Day ile birlikte bir PV malzeme olan selenyum keşfetmiş ve kısa süre sonra kameranın pozlama ölçerlerinde yaygın olarak kullanılan % 1~2 verimlilikte katı hücreler yapmıştır. 1954'te, % 6'lık bir verimlilikle ilk nesil yarı iletken silikon tabanlı PV hücreleri elde etmiş ve uzay uygulamalarında kullanılması benimsenmiştir. Günümüzde PV hücrelerinin üretimi, verimliliği hızla artırmaya ve maliyeti düşürmeye başlayan 80'lerin sonundaki teknolojik ilerlemeden bu yana üstel bir büyüme eğrisi izlemektedir (Wadhankar ve Charjan, 2019).

Güneş enerjisinin elektriğe dönüşümü, PV adı verilen yarı iletken bir cihazda gerçekleşir. PV, belirli miktarda elektrik gücü sağlayan bir birimdir. Çalışmaları için belirli bir voltaj veya akım gerektiren pratik cihazlar için solar elektriği kullanmak için, bir dizi güneş hücresinin, aynı zamanda bir PV modülü olarak da adlandırılan bir güneş paneli oluşturmak üzere birbirine bağlanması gerekir. PV modülleri sistemin kalbidir ve genellikle güç jeneratörleri olarak adlandırılır. Güneş enerjisinin büyük ölçekli üretimi için, güneş panelleri bir PV dizisine bağlanır. Montaj yapısı ve bağlantı telleri, PV

sisteminin diğer bileşenleridir (Nasir, 2016). Şekil 3.2’de güneş panel hücre şekli, modülünü ve dizisini göstermektedir.



Şekil 3.2 Güneş paneli hücre şekli, modülü ve dizisi (Afrouzi, 2013)

Sulama sistemine güç üretmek, depolamak ve sağlamak için kullanılan tipik bir PV sistemi, bir PV panel dizisi, bir kontrolör, invertör, pil depolama ve kontrol ünitelerinden oluşur. Bu sistemin başlıca avantajları, çevre dostu olmaları, düşük bakım gerektirmeleri, uzun ömürlü olması, yakıt gereksinimine ihtiyaç duymaması (dolayısıyla işletim maliyeti yoktur) ve kolay kurulum sayılabilir. Bununla birlikte, teknolojinin düşük verimliliğe ve yüksek başlangıç maliyetine sahip olması, kontrolörler ve piller kullanıldığında gerekli olan karmaşık elektronik donanıma sahip olması dezavantajları arasında gösterilebilir (Hafiz, 2013).

3.1.1 PV dizisi

Bir PV dizisi, belirli bir ışınma seviyesi altında sırasıyla belirli bir voltaj ve akım üretmek için seri ve/veya paralel olarak birbirine bağlanan PV hücrelerinden yapılmış bir veya daha fazla PV modülünden oluşur. Modülün her hücresinde, güneş ışığına maruz kaldığında DC akım üreten iki veya daha fazla yarı iletken malzeme tabakası bulunur. Bu katmanlar ya kristalden ya da ince filmden yapılır. Kristal genellikle silikondan yapılırken, ince film metalden yapılır ve bu amaçla birkaç metal kullanılır (Hafiz, 2013). Kristalin modüller, enerji üretimi açısından ince filme (% 7 ila % 11) kıyasla daha verimlidir (% 16 ila % 19) (E.A. Kiseleva et al, 2018). Ayrıca, üç tür kristal modülü vardır. Bunlar; amorf, polikristal ve mono-kristal. Mono kristal paneller en verimli olanıdır, amorf silikon paneller ise en az verimli olanlarıdır (Hafiz, 2013).

3.1.2 Kontrolör ve invertör

Güneş enerjili su pompalama sisteminin önemli bölümlerden biri de kontrolör kısmıdır. Kontrolörler; güç kaynağını akü şarj cihazına sınırlamak, pompalama performansını iyileştirmek için voltajı ve akımı ayarlamak ve PV modüllerinin pompaya bağlantısını kesmek gibi farklı işleri gerçekleştirmek için anahtarların otomatik olarak kesilmesine izin vermek gibi birden çok görevi gerçekleştirebilir. Ayrıca, kuyu veya tanktaki su seviyesi pompalama girişinin altında olduğunda motorun kuru çalışmasını önler ve tank dolduğunda pompayı kapatır (Nasir, 2016). Karmaşık elektroniğe sahip olması ve farklı çevre koşullarında çalışması gerektiğinden, sistemini en savunmasız bileşeni olarak kabul edilir. Güç girişini kontrol etmek için güneş enerjili su pompalamada üç tip kontrolör kullanılabilir. Bunlar maksimum güç noktası modu, sabit voltaj izleme modu ve voltaj/frekans modülasyonu modu sayılabilir (Hafiz, 2013).

Maksimum güç noktası modunda, PV panelin ürettiği voltaj ve akım, belirli koşullarda maksimum gücü üretmek için ayarlanır. Sabit voltaj izleme modunda, PV panel dizisi maksimum güç noktası dikkate alınmadan sabit bir voltajda çalıştırılır (Raza, 2014). Voltaj/frekans modülasyonu modunda, sabit bir voltaj/frekansı korumak için PV panel dizisinin voltajı çıkış frekansı değerine göre kontrolör tarafından ayarlanır. DC akım PV panel dizisi tarafından üretilirken, pompaya bağlı birçok motor AC akım gerektirir; bu nedenle, invertörler akımı DC'den AC'ye dönüştürmek için kullanılır (NSW Farmers, 2015). İntertörün neden olduğu güç kayıpları % 10 ile % 20 arasında değişebilir (Hafiz, 2013).

3.1.3 PV batarya

Bataryanın amacı, PV dizisi pompalama ünitesinin ihtiyacından daha fazla güç ürettiğinde gücü depolamaktır. PV uygulamalarında iki tip batarya kullanılır: kurşun asit bataryalar ve nikel-demir bataryalar. Nikel-demir bataryalar yüksek oranda kendi kendine deşarj olmalarından dolayı tercih edilmez. Kurşun asitli bir akünün şarj edilmesi ve boşaltılması, şarj kontrolörü tarafından düzenlenir. Yıllar içinde bir bataryanın performansını değerlendirmek için çeşitli prosedürler tanımlanmıştır (Hafiz, 2013). Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri için bataryalar genellikle tavsiye edilmez, çünkü bunlar sistemin genel verimliliğini azaltır ve bakım ve maliyetini artırır.

Elektriği bataryalarda depolamak yerine, genellikle 3 ila 10 günlük su depolaması kurmak daha basit ve daha ekonomiktir (UNDP, 2015).

3.2 Tarımda Güneş Enerjisi Uygulamaları

Tarım, birçok ülke için önemli bir ekonominin ölçüsüdür. Enerji, tarımsal kalkınmada temel bir rol oynar. Tarım sektörünün büyük bir kısmı sulama ve ulaşım amacıyla geleneksel enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji teknolojileri, tarımda uygun maliyetle etkin bir şekilde kullanılabilir, kendi kendine yeterliliği sağlar ve kirliliği azaltır. Fosil yakıtların artan maliyetleri ve şebeke elektriğinin erişilemez veya pahalı olduğu uzak yerler gibi faktörler göz önüne alındığında, güneş enerjisi karlı bir çözüm olabilir (Basalike, 2015).

3.2.1 PV elektrik sistemleri

Güneş enerjili sulama sistemleri özellikle uzak alan tarımsal uygulamalarında çekici olabilir. Havalarda kuru ve sıcaklıklar yüksek olduğunda daha fazla sulama suyu ihtiyacı ortaya çıkar. Sıcaklıklar genellikle güneşin en parlak bir şekilde geldiği zamanlarda en yüksektir. Bu durum, güneş enerjisinin en yüksek düzeyde olduğu zamanlarda enerjiye en çok ihtiyaç duyulduğu için, güneş enerjili sulamayı tarımsal sulama için ideal kılar. Dolayısıyla güneş enerjili sulama için güç talebi ve güç kaynağı arasında doğal bir eşleşme var gibi görünmektedir (Raza, 2014).

PV, güneşten gelen ışık enerjisini elektriğe dönüştürmek için güneş panelleri kullanır. Bu sistemler su pompalama, binalar için elektrifikasyon, alan aydınlatması, kapı açıcılar, elektrikli çitler vb. çeşitli tarımsal uygulamalarda kullanılabilir. Su pompalama temel bir tarımsal ihtiyaçtır. Güneş enerjili pompalama sistemi, bir gölden, nehirden, göletten, yer altı kaynağından, yağmur suyu toplama cihazından veya bazı depolama rezervuarlarından su pompalamak amacıyla elektrik üretmek için PV panelleri kullanır. Güneş enerjili sistemler, dizel motorlu jeneratörlere kıyasla sermaye maliyeti açısından daha yüksektir. Ancak dayanıklıdırlar ve uzun süre dayanırlar. Bu tür sistemlerle ilişkili en büyük maliyet başlangıç kurulum maliyetidir ancak güneş panelleri 20 yıl veya daha uzun süre kullanılabilir (Raza, 2014). Tarımda PV gücünün kullanılması, uzak bir yere yeni enerji iletim hatlarına yatırım yapmak yerine, şebekeden bağımsız bir tarım uygulaması için özellikle etkili bir seçim olabilir. Güneşin

gerekli elektrik gücü için uygun olmadığı zamanlarda, az miktarda pil depolaması bu sorunu çözecektir. Uzak tarımsal yerlere elektrik güç hatlarının döşenmesi ihtiyacını ortadan kaldırmak, parasal denklemi şebeke elektriği yerine güneş enerjisi lehine çevirebilir (Basalike, 2015).

3.2.2 Güneş enerjisi ile ısıtma sistemleri

Güneş termal enerjisi, su ısıtma, alan ısıtma, güneş enerjisiyle pişirme, mahsul kurutma ve pasif sera ısıtması gibi çeşitli tarım uygulamalarında kullanılabilir. Bazı tarımsal uygulamalarda, hayvancılık için uygun olan belirli bir sıcaklık seviyesini veya istenen bir su sıcaklığını korumak gerekir. Güneş enerjili ısıtma sistemleri, güneşten gelen termal radyasyonu yakalamak için genellikle düz plaka paneller veya kollektörler kullanılır. Isı, panelin tüplerinde bulunan ve paneldeki tüplerden akan suyu ısıtan bir çalışma sıvısı tarafından emilir. Sıcak su sağlamak için sirküle edilebilir veya gelen temiz havayı önceden ısıtmak için gerekli havalandırma konumlarında ısı eşanjörleri kullanılarak alan ısıtma için kullanılabilir. Yer ve su ısıtma, tarım işinde önemli miktarda enerji tüketimini gerektirir. Binalar ve su için uygun şekilde tasarlanmış güneş enerjili ısıtıcılar enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, güneş termal enerjisi mahsulleri kurutmak için de kullanılabilir ve tarımda kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Ürünlerin açık havaya maruz kalması ve kötü hava koşulları, kemirgenler ve toz nedeniyle zarar görebileceği için, mahsullerin geleneksel güneş enerjisiyle kurutulması bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, geleneksel olmayan koruyucu muhafazalara sahip güneş kurutucular, mahsulleri kalitelerini koruyarak ve daha hızlı işleyerek korumak için kullanılabilir (Raza, 2014).

3.2.3 Güneş enerjili sulamanın fizibilitesi

Küçük ölçekli güneş enerjili sulama sistemleri, şebeke elektriğine erişilemeyen uzak konumların çoğunda uygun maliyetli bir şekilde çalışmaktadır. Bir güneş enerjili sulama sisteminin fizibilitesi, tesisin coğrafi konumu ile ilgili olarak güneş ışınlarının kullanılabilirliği, mahsul türü, hava koşulları, kullanılan sulama yöntemlerinin türü ve yeraltı suyu derinliği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Pompalama için gereken güç, tarlayı sulamak için gereken günlük akış hızına ve suya erişilen yere göre belirlenir. Güneş

enerjisiyle çalışan bir sulama sisteminin ekonomik fizibilitesi ayrıca kullanılan sulama yöntemine de bağlıdır (Hafiz, 2013).

Kuyu derinliği, düşük güneş ışığı alan yerler ve mahsullerin ihtiyaç duyduğu daha yüksek günlük su akış hızları ile güneş enerjisi dizi boyutunu artırır. Bu tür koşullar PV sistemin sermaye maliyetini artırır. Düşük güneş ışığına sahip yerler, güneş enerjili sulama sisteminin daha düşük geri dönüş oranına sahiptir ve geri ödeme süresini uzatır. Daha yüksek pompalama gereksinimleri olan günlük 5 kWh/m² güneş ışığına maruz kalan bölgelerde, PV panel dizisi boyutu için toplam alanın % 2,5'i gereklidir. Günlük güneşlenme 7 kWh/m² daha yüksek olursa, PV panel dizisi boyutu toplam alanın % 1,5'ini gerektirir. Ayrıca, damla ve merkez eksenli sulama yöntemleri, toplam güneş paneli dizisi boyutunu azaltmada yardımcı olur. Mikro veya damla sulama yöntemleri, sulama için daha az su kullanır ve suyu korumada etkilidir. Damla sulama, doğrudan mahsulün köklerine su sağlar ve mahsul verimini % 100 artırabilir ve mahsulün türüne bağlı olarak su tüketimini % 40 - 80 oranında azaltabilir (Raza, 2014).

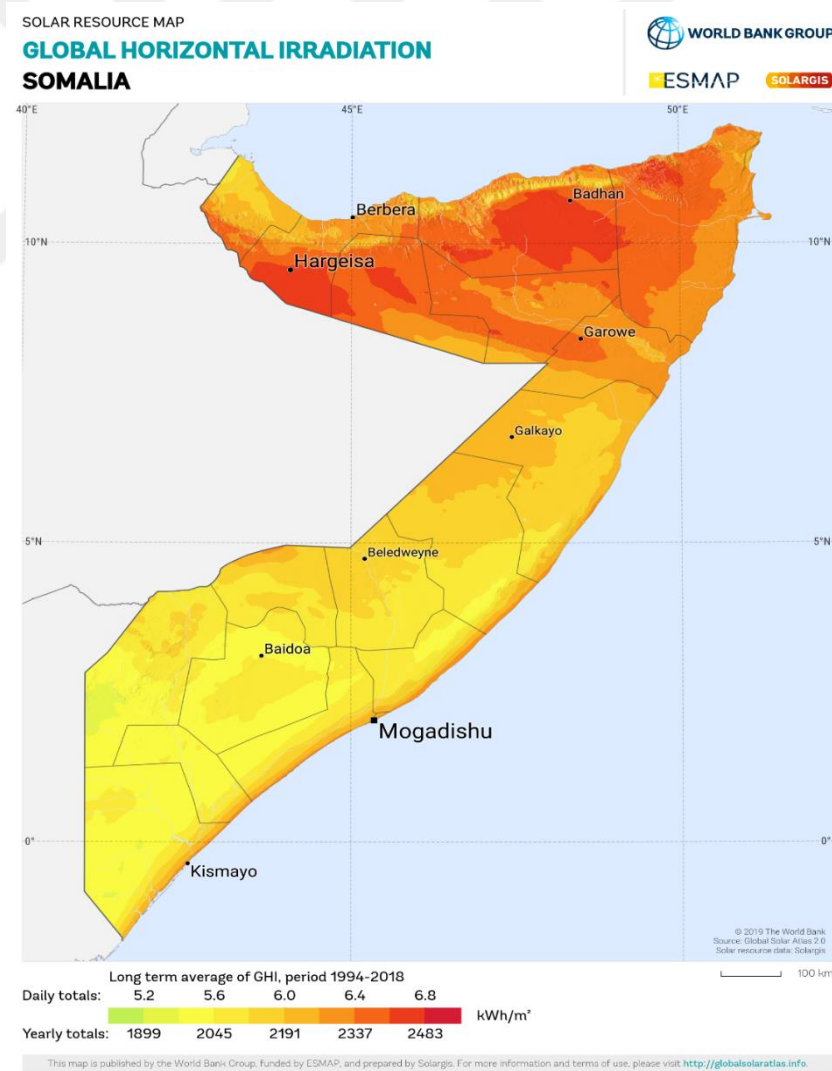
Uzaktan konumlandırılmış güneş enerjili sulama sistemlerinin bir rakibi, uzaktan yerleştirilmiş dizel motorlu sulama sistemleridir. PV ile çalışan bir pompalama sisteminin sermaye maliyeti, dizel ile çalışan bir pompalama sisteminin sermaye maliyetine kıyasla çok yüksektir. Bununla birlikte, dizel yakıtının uzak bir yere getirmenin maliyeti pahalı olacağından, bir güneş enerjili pompalama sisteminin yaşam döngüsü maliyeti dizel motorlu bir sistemden daha azdır. Dizel ile çalışan bir pompalama sisteminin işletme maliyeti, güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin yaşam döngüsü maliyetinin 20 katı kadar yüksek olabilir. Bu, güneş enerjili su pompalamanın uzak tarımsal bölgelerde ekonomik olarak mümkün olduğunu göstermektedir (Raza, 2014).

3.3 Somali'de PV Teknolojisi ve Sulama Sistemleri

3.3.1 Somali'de PV teknolojisi

Coğrafi konumu ve iklimsel özellikleri nedeniyle, tüm Somali bölgelerinde güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları açısından önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Ancak şimdiye kadar hem güvenlik hem de finansman sorunları nedeniyle çok küçük, güneş ve rüzgâr enerjisi ile sınırlı denemeler yapılmıştır. Teknik personel eksikliği, erişilebilir bilgi eksikliği, mevcut üretimin küçük

ölçeği ve ilkel dağıtım sistemleri, Somali'nin çoğunda elektrik üretimi için yenilenebilir enerjilerin acil pratik uygulamasını daha da sınırlandırmıştır. Güneş enerjisi potansiyeli, yılda 310'dan fazla güneşli gün ile 5-7 kWh/m²/gün arasında değişmektedir, Ortalama güneşlenme süresi 2900-3100 saat/yıl (6-8,5 saat/gün) arasında tahmin edilmektedir. (African Development Bank, 2015). Güneş radyasyonu kuzeyde Mart ve Mayıs aylarında; Orta Somali'de Şubat ve Mart aylarında ve güneyde ise Ocak-Nisan aylarında en yüksektir. Güneş radyasyonu, ülkenin güney kesimlerinde 286 W/m²'den kuzey kısımlarda 330 W/m²'ye kadar değişmektedir. Yatay yüzeyde alınan ortalama günlük güneş enerjisi yaklaşık 5-7 kWh/m²'dir. FAO prosedürlerini uygulayarak (FAO 2011) nispi güneş ışığı süresinden hesaplanan, ülkenin bazı bölgelerindeki günlük ortalama toplam güneş radyasyonu, dünyadaki en yüksek olanlardan birini göstermektedir (Federal Republic Of Somalia, 2013). Şekil 3.3'de Somali'nin global ışıma değerleri gösterilmiştir.



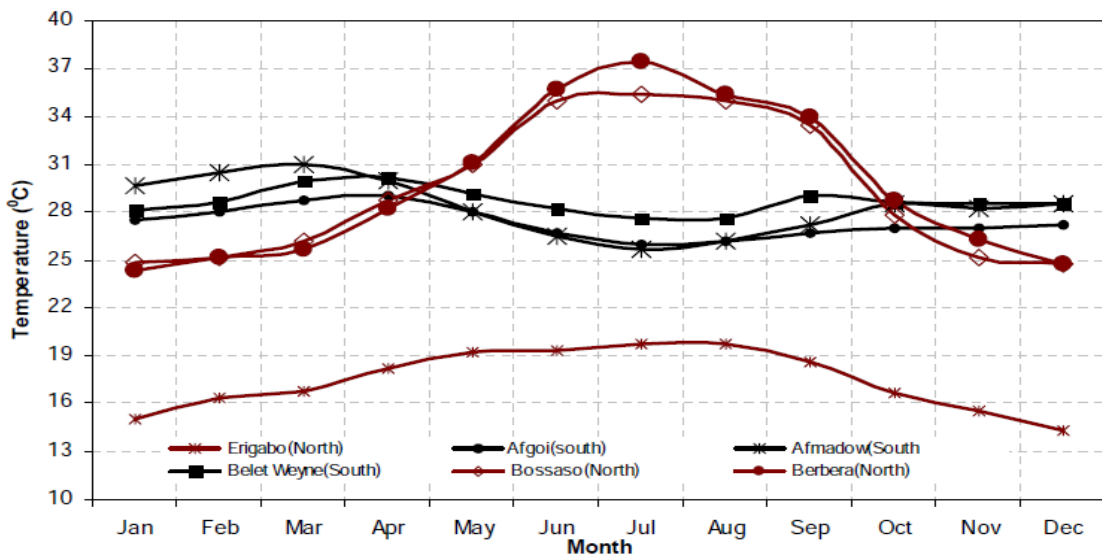
Şekil 3.3 Somali'nin global ışıma değerleri (<https://solargis.com/>).

Aşağıda verilen Çizelge 3.1’de, bir yıl boyunca Somali üzerindeki güneş radyasyon (W/m^2) miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Somali üzerindeki bir yıllık güneş radyasyon miktarı (W/m^2) (Somali Federal Cumhuriyeti, 2013)

	Ock	Şub	Mrt	Nıs	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Ekm	Ksm	Ara	Ort
KUZEY	245	305	320	322	325	296	265	303	271	269	262	249	286
ORTA	296	348	303	284	263	261	320	301	278	258	280	274	289
GÜNEY	497	520	469	404	277	232	199	260	283	250	259	297	329

Somali’nin yıllık sıcaklık ortalaması $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’dir ve bu da PV panellerinin işletim ömrüne katkıda bulunur. Şekil 3.4’de Somali’de seçilen bazı istasyonlardaki sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Belirtilen tüm bu faktörler, Somali’yi güneş teknolojilerinin daha geniş bir şekilde uygulanması için en uygun bir yer haline getirmektedir (Muchiri, 2007). Somali, 2,163 milyon MWh/yıl’lık bir toplam güç potansiyeli ile 5 ila 7 $kWh/m^2/gün$ arasında ortalama güneş radyasyonu almaktadır (Zakaria, 2018).



Şekil 3.4 Somali’de bazı seçilmiş istasyonlardaki sıcaklık dağılımı (Muchiri, 2007)

Bununla birlikte, Somali'de güneş enerjisi kullanımı, bilgi eksikliği ve son kullanım cihazlarına erişim ve ayrıca uygun üretim ve son kullanım ekipmanlarının satın alınmasını engelleyen fakirlik nedeniyle oldukça sınırlı kalmıştır. Norveç Nordik Uluslararası Destek Vakfı (NIS) Mogadişu Şehrine 700 güneş enerjili lamba bağışlamıştır. Mogadişu Konseyi'ne Türk hükümeti ve diğer bağışçı kuruluşlar tarafından tahmini 3300 güneş enerjili lamba da bağışlanmıştır. Mogadişu'ya elektrik sağlayan baskın özel kurum olan Benadir Electric Company'nin (BECO), yakında 5 MW üretecek güneş enerjisi ekipmanı kurması ve diğer 10 MW (iki saha için) için güneş ekipmanlarının yakın gelecekte Mogadişu'ya ulaşması beklenmektedir. (Federal Government of Somalia, 2015)

Enerji üretimini destekleyen çok sayıda yeni yedek jeneratörlerde (dizel) güneş enerjisi ekipmanıyla birlikte gelecektir (Federal Government of Somalia, 2015)

Mogadişu'da BECO tarafından mevcut elektrik üretimi, ağırlıklı olarak dizel jeneratörlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, 15 MW güneş enerjisinin devreye girmesi, sera gazı salınımını 75.000 CO₂ kadar önleyecektir (Federal Government of Somalia, 2015) Avrupa Birliği (AB), Adventist Geliştirme ve Yardım Ajansı (ADRA) ile iş birliği içinde, Somaliland, Puntland ve Güney Orta Somali'de 100000 haneye sürdürülebilir ve uygun fiyatlı güneş enerjisi hizmeti sağlamayı amaçlayan 3 yıllık "Somali Enerji Dönüşümü (SET) Projesi"ni başlatmış ve bunun da düşük karbonlu bir kalkınmaya da katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir (Federal Government of Somalia, 2015).

Güneş enerjisi, Somali bölgesinde benzer şekilde bol miktarda bulunur ve aynı zamanda ülke genelinde uygulanabilir bir seçenek olarak durmaktadır ve bu kaynağı kullanmak için gereken sermaye ve teknik beceri rüzgârdan çok daha düşük olduğundan kırsal alanlarda bireysel işletmeler ve tesisler için giderek daha popüler bir seçenektir. Orta kıyı ve kuzeyde daha kuvvetli olan rüzgârın aksine, en çok güneş ışınımı kuzeye Puntland ve Somaliland'e gelmektedir. Güneş teknolojilerinin kullanımı Somali'nin her yerinde uygundur (Zakaria, 2018).

3.3.2 Somali'de sulama

Somali'de sulama potansiyeli 240000 hektardır. 1991 yılında iç savaşın patlak vermesinden bu yana sulama sektörü büyük değişikliklere uğramış, büyük ölçekli

sulama sistemlerinin çoğu tahrip edilmiştir. Geriye kalan altyapıların çoğu bakım eksikliğinden dolayı kullanılmamakta ve eskiden sulanan alanların çoğu artık yağmurla beslenen tarım ve otlama alanı olarak kullanılmaktadır. Özellikle Orta Shabelle ve Galgaduud bölgelerinde yağmurla beslenen tarımda bir genişleme olmuştur (FAO, 2005). Büyük ölçekli ticari sulama, sömürge döneminde (1880-1960) tanıtılmış ve savaş öncesi tarımda önemli bir rol oynamıştır. Muzlar, meyve ağaçları ve limon başlıca sulanan ürünlerden bazılarıdır. Esas olarak devlete ait çiftlikler tarafından üretilen diğer ürünler şeker kamışı, pamuk ve pirinçtir. Özel sektöre ve devlete ait çiftliklerin çoğu 1990 yılında çöktü, ancak birkaç özel çiftlik, susam, yerfıstığı ve pirinç gibi mahsullere dönüştü ve çeşitlendi. Bununla birlikte, bu çiftliklerin teknik üretim, mekanizasyon ve verimlilik seviyesi düşük kalmaktadır. Çözülmemiş arazi sorunları da gelecekteki kalkınmanın önündeki en büyük engellerden biridir (World Bank ve FAO, 2018).

Sulu tarım esas olarak Juba ve Shabelle nehirleri boyunca uygulanmaktadır. Üst kesimlerinde her iki nehir de derin nehir yataklarına sahiptir ve sulama için pompalara ihtiyaç vardır. Alt kısımlarda nehirler, özellikle Shabelle boyunca yerçekimi beslemeli sulamaya izin verecek şekilde toplanmıştır. Pompalar, düşük deşarj dönemlerinde bunu karşılayabilenler tarafından kullanılır. Juba ve Shabelle havzasında bulunan üç yaygın küçük ölçekli sulama türü vardır (FAO, 2005).

- I. Nakit ürünlerin (kar elde etmek için) küçük ölçekli pompa beslemeli yüzey sulanması. Bireysel aileler veya küçük gruplar genellikle nehrin yakınında 0,5-5 ha sulama yaparlar;
- II. 5-10 ha sulama yapan küçük ölçekli çiftçi kümeleri ile temel ve nakit mahsullerin küçük ölçekli yerçekimi beslemeli yüzey sulanması. Mısır en yaygın olanıdır, ardından susam, meyve veya sebze gelir;
- III. Temel mahsullerin taşkın ve sel durgunluğunun sulanması. Püskürtmeli sulama Deschek sulama olarak adlandırılır ve aynı zamanda nehir kıyısı çiftlikleri (nehirden 5-100 m uzaklıkta) olarak adlandırılan nehir kıyısı boyunca bulunan alanları da içerir. İki yılda bir yaşanan seller çekilmeye başladığında, çiftçiler, özellikle Juba'nın orta ve alt kısımları boyunca, çöküntülere ve kuru nehir kollarına mısır ekilmektedir. Sel durgunluğu tarımı nehrinden 500 m'den 30 km'ye kadar uygulanmaktadır. Ürünler hasat edilmeden önce seller geri dönebileceğinden sistem oldukça risklidir. Alanlar, nehir boyunca insan yapımı açıklıklar yoluyla veya pompalama yoluyla su girişleri kullanılarak set veya setin üstünden su basılıyor, böylece kontrolsüz sulama kontrollü hale getiriliyor.

Taşkın sulama veya taşkın durgunluğu olarak adlandırılan kısım için ayrı değerler yoktur (FAO, 2005).

Sulanan tarım sistemleri hem geçim hem de pazarlar için mısır, susam, meyveler (muz, limon ve diğer turunçgiller, guava, mango, papaya, karpuz ve hurma) ve sebze üretmek için kullanılan küçük ve orta ölçekli yerçekimi ve pompalı sulamaya dayanmaktadır. Susam ve kuru limon şu anda ihraç edilen tek üründür (World Bank ve FAO, 2018). Genellikle sebze mahsulleri için tohum tüccarları tarafından sağlanan tohumlar ve çiftçilerin tahıl mahsulleri için kendi tohum birikimleri dışında, çiftçiler çok az girdi kullanmaktadır. Düşük girdi seviyeleri, nem stresi, zayıf tarım teknikleri, zararlı böcekler ve hastalıklar neredeyse mevcut olmayan bir uzatma ve araştırma hizmeti ile birlikte zayıf tohum kalitesi nedeniyle çoğu mahsulün verimi çok düşüktür.

Shabelle nehri havzasında, mahsul ekimi çoğunlukla aşağı ve orta Shabelle'ye bitişik taşkın ovalarında yapılmaktadır. Pompalar kullanılsa da çoğunlukla yerçekimi ile sulama yapılmaktadır. Aşağı Shabelle, iç savaştan önce muz, mısır ve susam için en verimli bölgeydi. Savaş sonrası ana sulama sistemleri artık çalışmamaktadır (World Bank and FAO, 2018). Şekil 3.5'de Afgooye bölgesinde kaynak olarak Shabelle nehrini kullanan dizel su pompalama sistemi gösterilmiştir. Bu tür sistemler sürekli yüksek yakıt maliyetleri ve günlük bakım gerektirmektedir.



Şekil 3.5 Afgooye bölgesindeki Shabelle nehrini kullanan dizel su pompalama sistemi

Somali'de pek çok çiftçi, ürünlerini yetiştirmek için yılda sadece iki yağmurlu mevsime bağlıdır. Yağmurla beslenen tarım sistemleri, temel olarak kırsal hanelerin

4. TASARIM VE METODOLOJİ

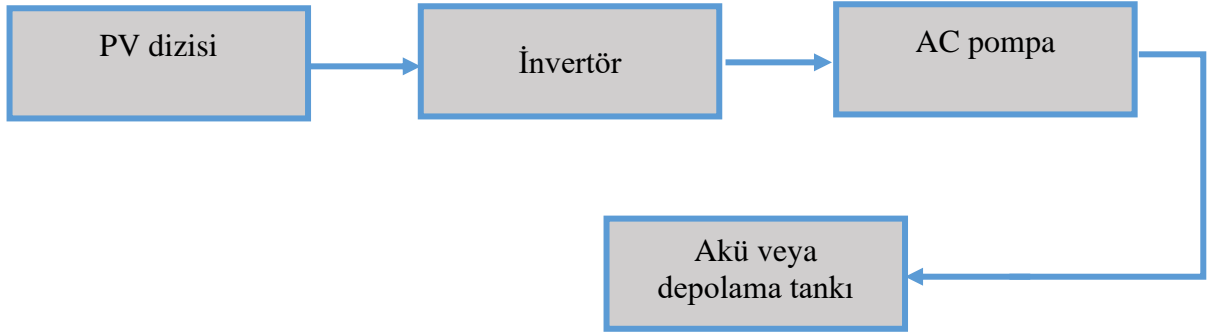
İyi bir güneş enerjili su pompalama sistemi, iş gereksinimlerine uyacak şekilde tasarlanmış ve boyutlandırılmış olmalıdır. Güneş enerjili pompalama sistem bileşenleri gerçekten pahalı olduğundan ve sistem kurulum maliyetini minimuma indirmek için çaba gösterilmesi gerekir. Düşük maliyetli bir sistem tasarlamak, optimize etmek, simüle etmek ve araştırma sorularına cevap vermek için, çalışmayı gerçekleştirmeden önce bilinmesi gereken bazı önemli girdi parametreleri vardır. Bu parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz: İnceleme altındaki bölgenin güneş ışınım miktarı, mahsulleri sulamak için gerekli su kaynağını ve miktarı. Su kaynağı yüzey suyu veya yer altı suyu olabilir. Yeraltı suyu durumunda, suyun derin kuyudan depolama tankına veya doğrudan kullanım noktasına pompalanacağı toplam yük miktarı önemlidir (Basalike, 2015). Ayrıca, tasarım aşamasında, sistemi tasarlayanların sistemin off-grid sistem mi yoksa on-grid sistem mi olacağına, depolamalı mı yoksa depolamasız mı olacağına ve eğer depolamalı olacaksa, depolamanın pillerde mi yoksa yükseltilmiş su depolarında mı olacağına karar vermeleri gerekir. Aynı zamanda kullanılan pompanın tipine ve uygulamanın AC veya DC güç kullanarak dalgıç pompa mı yoksa yüzey pompası mı gerektirdiğine karar vermeleri gerekir. Bunların hepsi, önerilen çözümün sistem performansını ve fizibilitesini etkileyen faktörlerdir (UNDP, 2015).

Bu tez çalışmasında güney Somali bölgesinde, güneş enerjili su pompalama sistemleri için iki farklı konfigürasyon tasarlanacak ve karşılaştırılacaktır. İki farklı konfigürasyon ise depolama tanklı AC güneş enerjili su pompalama sistemi ve depolama tanklı DC güneş enerjili su pompalama sistemi olacaktır. Her iki konfigürasyona sahip güneş enerjili su pompalama sistemlerinin tasarımı ve simülasyonu, PVsyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilecektir. Tasarlanan sistemlerin kurulum maliyeti, mevcut konvansiyonel yakıt sisteminin tasarım prensipleri ve maliyet analizi ile karşılaştırılacaktır. Çalışma Somali'nin aşağı Şabel eyaletinde yer alan Afgooye adlı bölgesi örnek olay olarak alınmıştır.

4.1 AC Su Pompalama Sistemi

Güneş enerjili su pompalama sistemleri, DC veya AC olabilir. AC güneş enerjili su pompalama sistemleri, bir AC pompa, PV panel dizisi, kontrol ünitesi, pil bankası veya depolama tankı ve pompayı çalıştırmak için PV panel dizisinden üretilen DC

gücünü AC'ye dönüştüren bir invertörden oluşur. Şekil 4.1 AC güneş enerjili su pompalama sisteminin blok şemasını göstermektedir.



Şekil 4.1 AC güneş enerjili su pompalama sisteminin blok şeması

4.1.1 PV panel dizisi

Genel olarak, güneş enerjisini DC güce dönüştüren ve güneş enerjisini ısıya dönüştüren iki tür güneş sistemi vardır. Her iki türün de tarımsal ortamlarda birçok uygulaması vardır, bu da hayatı kolaylaştırır ve operasyonun üretkenliğini artırmaya yardımcı olur. Birincisi, PV paneli olarak adlandırılan güneş tarafından üretilen elektrik enerjisidir. PV panel hücreleri, güneş ışığını elektriğe dönüştürebilen yarı iletken malzemelerden yapılmış hücrelerdir. PV hücresi, biri pozitif, diğeri negatif olan en az iki katman içerir; güneş ışığı hücrelere çarptığında, ışıktan gelen bazı fotonlar, negatif katmandan pozitif olana yarı iletken tarafından serbest bırakan elektronlar tarafından emilir; elektronların bu hareketi, DC bir elektrik akımı üretir (Saleem, 2012).

Bir modül, istenen voltaj ve akımı üretmek için seri veya seri / paralel olarak cam veya şeffaf plastik kaplı PV hücrelerinin bir araya getirilmesi işlemidir ve çoğu hücre yaklaşık olarak 0.5 Volt üretir; bu nedenle 36 hücreli bir modül tipik olarak standart koşullar altında 18 Voltluk bir çalışma voltajına ve 12 Voltluk bir nominal voltaja sahip olacaktır (Saleem, 2012). Üreticiler normalde, en yüksek güç koşullarında PV panellerinden voltaj ve akım çıkışını derecelendirir. En yüksek güç ($\text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Amper}$), $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ güneş ışınımı (güneş ışığı miktarı) ve genellikle $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (77 F) olan belirli bir sıcaklıkta PV panelinden sağlanan maksimum güçtür. 60 Watt'lık 12 Volt'luk bir PV panelinin tipik özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Bir PV panel tarafından üretilen DC akım miktarı, panele çarpan ışık yoğunluğuna göre üretilen voltajdan çok

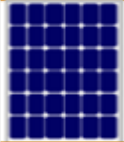
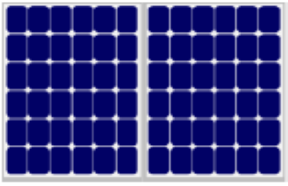

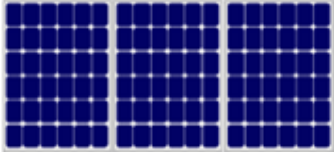
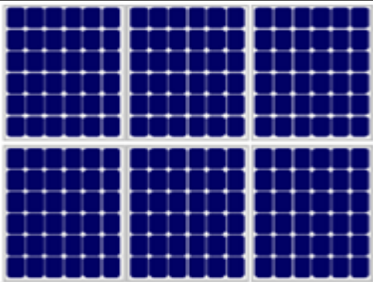
daha hassastır. Kabaca ifade edecek olursak, ışık yoğunluğunu yarıya indirirsek, DC akım çıkışı yarıya iner, ancak voltaj çıkışı biraz azalır (Abu-Aligah, 2011).

Çizelge 4.1 60 Watt'lık 12 Volt'luk bir PV panelin tipik özellikleri

Maksimum güç	60 Watt
Maksimum güç voltajı	16,9 Volt
Maksimum güç akımı	3,55 Amper

Ayrı ayrı PV panelleri, pompayı çalıştırmak için gereken gerekli voltajı veya akımı elde etmek için seri veya paralel olarak bağlanabilir. Çizelge 4.2'de paralel ve seri olarak üretilen PV panel modül bağlantıları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Paralel ve seri olarak üretilen PV panel modül bağlantıları

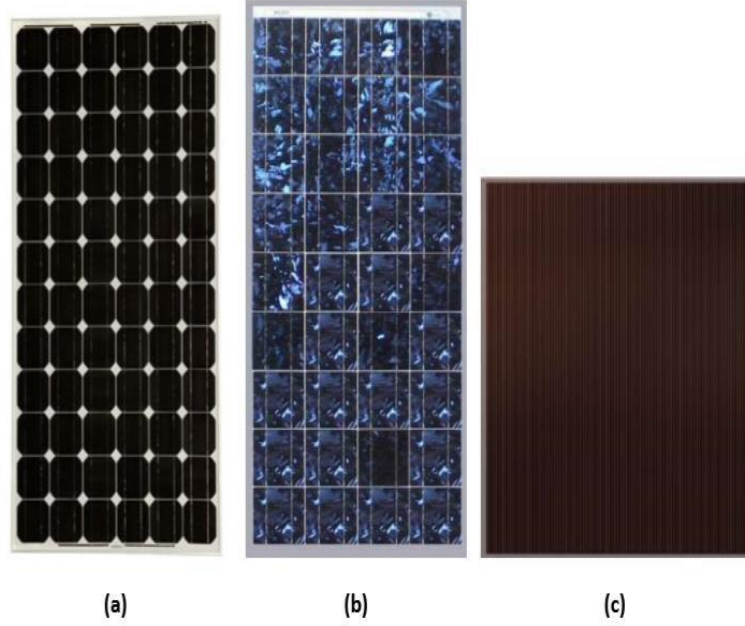
Panel bağlantısı	Bağlantıları	Voltaj	Akım
	Hiçbiri	16,9	3,55
	Seri	33,8	3,55
	Paralel	16,9	7,1
	Seri	50,7	3,55
	Seri ve paralel	50,7	7,1

Seri olarak bağlanan panellerden voltaj çıkışı, panellerden gelen tüm voltajların toplamıdır. Çizelge 4.2’de görüleceği gibi, seri olarak bağlanan 12 voltluk PV panellerinin ikisinden maksimum voltaj çıkışı 33,8 voltur. Bu nedenle, 24 voltluk bir DC pompa, seri olarak bağlanmış minimum iki adet 12 voltluk panel gerektirir. Seri olarak bağlanan bu aynı panellerden gelen akım çıkışı, tek bir panelden 3,55 Amper olan akım çıkışına eşittir. Paralel olarak bağlanan panellerden voltaj ve akım çıkışı, seri kablolu panellerin tam tersidir. Paralel olarak bağlanan paneller için akım çıkışı, panellerden gelen tüm akımların toplamıdır ve voltaj, ayrı ayrı her bir panelden gelen gerilim çıkışına eşittir (Abu-Aligah, 2011).

PV hücreleri, çeşitli farklı malzemelerden üretilebilir. Bu farklılığa rağmen, hepsi güneş enerjisini toplamak ve onu faydalı elektriğe dönüştürmek gibi aynı görevi yerine getirirler. Güneş paneli yapımı için kullanılan en yaygın malzeme, yarı iletken özelliklere sahip olan kristalin silikondur. Tam bir PV diziyi oluşturmak için bu güneş pillerinden yüzlercesi gereklidir. Sert düz çerçeveli modüller şu anda en yaygın olanıdır ve bunların çoğu silikondan oluşmaktadır. Silikon hücreler, tek kristalli (mono-kristal), çoklu kristal (poli-kristal) veya amorf (ince film silikon) atomik yapılara sahiptir. Güneş modüllerinde kullanılan diğer hücre malzemeleri kadmiyum tellürid ve bakır indiyum diseleniddir. Bazı modüller, bu malzemelerin kombinasyonları kullanılarak üretilmektedir. Örneğin tek kristalli silikonun bir substratı üzerine yerleştirilmiş ince bir amorf silikon filmidir (Saad, 2015). Şekil 4.2’de PV panel türleri (monokristal, polikristal, ince film) gösterilmiştir.

Şekil 4.2.a’da gösterilen monokristal silikon hücreler, 3 PV panel içinde en yüksek olan (% 20) verimliliğe sahiptir. Monokristal silikon yapıdan üretilen yüksek saflıkta silikon çubuklar (külçeler) bir dökümden ekstrakte edildikten sonra ince dilimler (gofretler) halinde kesilerek PV hücrelerine dönüştürülen bir tür PV hücre malzemesidir (E.A. Kiseleva ve diğerleri, 2018). Polikristal hücrelerin üretimi, monokristallerle karşılaştırıldığında daha ekonomik ve daha verimlidir, bu da güneş pilinin daha düşük bir verime sahip olmasını sağlar. Monokristalli silikonun aksine, silikon bloklar halinde dökülür. Sertleştiğinde, Şekil 4.2.b’de gösterildiği gibi bordür kusurlarının meydana geldiği farklı boyutlarda kristal yapılar oluşur. Bu kusurlar, laboratuvar verimliliğini % 18 ila % 23 ve üretim aralığını % 14 ila % 17 oranında azaltır. İnce film amorf PV paneller (Şekil 4.2.c) önemli oranlarda kullanılmaya başlanmış ve ince film PV paneller potansiyel olarak c-Si gofret tabanlı güneş pillerinden daha düşük maliyetli elektrik üretimi sağlayabilir (Saad, 2015). Amorf silikon modülleri, kristal silikon modüllerden daha düşük verimliliklere sahiptir ancak

verimlilikteki gelişmeler devam etmektedir. Bulutlu havalarda, tüm amorf silikon modülleri, kristal silikondan daha iyi performans gösterme eğilimindedir.



Şekil 4.2 PV panel türleri (a) monokristal silikon, (b) polikristal silikon (c) ince film (Debojyoti Sen, 2016)

Çizelge 4.3'te ticari olarak kullanılan PV panel türlerinin en tipik özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3 Ticari olarak kullanılan PV panel türlerinin en tipik özelliklerinin karşılaştırılması
(<https://www.8msolar.com/types-of-solar-panels>)

Hücre Türü	Verimlilik Aralığı	Yorumlar
Monokristal silikon	% 14-20	En yüksek fiyat, sıcaklıktan etkilenir
Polikristal silikon	% 12-17	Orta fiyat, sıcaklıktan etkilenir
Amorf silikon	% 7-11	Orta ila düşük fiyat, sıcaklıktan etkilenmez

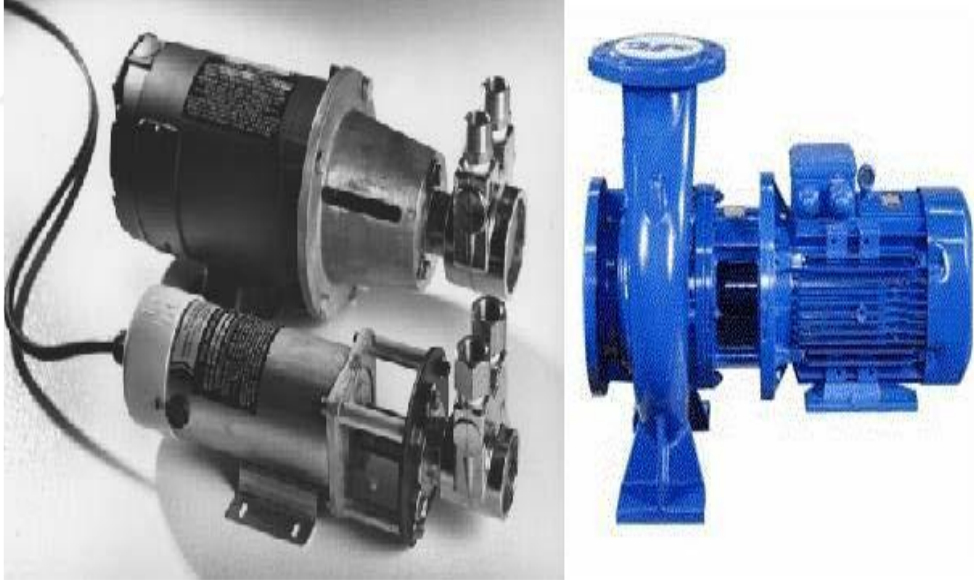
4.1.2 İnvörtör

DC akım PV panel dizisi tarafından üretilirken, pompaya bağlı birçok motor AC akım gerektirir; bu nedenle, invertörler akımı DC'den AC'ye dönüştürmek için kullanılır.

İnvertörlerin neden olduğu güç kayıpları % 10 ile % 20 arasında değişebilir (Hafız, 2013).

4.1.3 AC pompalar

Geleneksel AC pompaların çoğu, suyu harekete geçiren bir santrifüj pervane kullanır. Çok kademeli bir santrifüj pompa, bir dizi istiflenmiş çark ve bölme sahiptir. Düşük güçte çalışırken, santrifüj pompaların pompaladığı su miktarı önemli ölçüde düşer. Bu da santrifüj pompaların güneş enerjisi uygulamalarında kullanımını biraz sınırlandırmakta ancak günümüzde verimli santrifüj pompalar kullanılmaktadır. Güneş enerjili su pompalama sistem tasarımcılarının birçoğu, suyu bir hazneye getiren ve daha sonra bir piston veya helisel vida kullanarak dışarı iten pozitif deplasmanlı pompalar kullanma yaklaşımını benimsemiştir. Bu tip pompalar genellikle diğer pompa türlerinden daha yavaş pompalar ancak düşük güç şartlarında iyi performans gösterirler ve yüksek kaldırma gücü elde edebilirler (Saleem, 2012). Şekil 4.3'te yaygın olarak kullanılan AC pompa çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yaygın olarak kullanılan AC pompa çeşitleri (Sarı, 2019)

4.1.4 Su depolama ile pil depolaması

Güneş enerjisi sadece gündüz vakitlerinde olması ve bazen de yoğun kış günlerinde bulunmamasından dolayı bazı uygulamalar için depolama gerektirebilir. Prensip olarak, piller elektrik için en yaygın kullanılan depolama yöntemidir ancak

maliyetinin yüksek olması ve bakım gerektirmesi nedeniyle büyük bir yük oluşturmaktadır. Bu nedenle, birçok güneş enerjili su pompalama uygulamasının yerine su depolamanın kullanılması tercih edilmektedir. Burada yeterli güneş enerjisi mevcut olduğunda su pompalanır ve gerektiğinde su çekilebilecek şekilde yükseltilmiş bir tankta depolanır.

Sistem uygun şekilde boyutlandırıldığında su depolaması oldukça pratiktir. Güneşli günlerde, sistem günlük ihtiyaçtan daha fazla suyu temin eder, çünkü pompalama işlemi ücretsizdir. Suyu biriktirmek için, iklim koşullarına ve su tüketim modellerine bağlı olarak yeterli depolama hacmini sağlayacak boyutta olması gereken su tanklarında depolanabilir. Bu sisteme doğrudan tahrik sistemi denir (UNDP, 2015).

4.2 DC Su Pompalama Sistemi

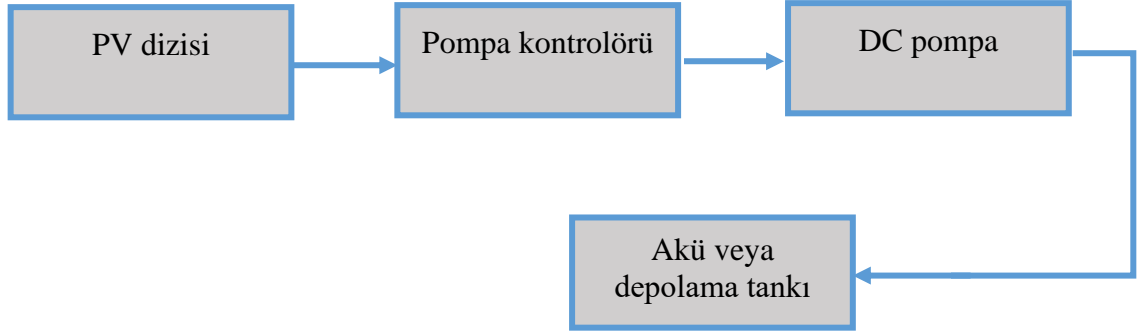
DC güneş enerjili su pompalama sistemleri en basit şekliyle, su pompasını çalıştıran küçük DC motora doğrudan bağlanan PV panellere sahiptir. Bu sistemler, PV panellerin çıkışıyla eşleştirilebilmesi için santrifüj pompalar kullanır. PV panel dizileri DC gücü sağladığından bir DC motor seçimi gerekmektedir. Güneş enerjili su pompaları, bir PV dizisi tarafından sağlanan DC akımı kullanacak şekilde tasarlanmıştır, ancak bazı yeni sürümlerinde değişken frekanslı bir AC motor ve bunların doğrudan PV modülleri tarafından çalıştırılmasını sağlayan 3 fazlı bir AC pompa kontrolörü kullanılır (Saleem, 2012).

Güneş enerjili DC su pompalama sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Saleem, 2012):

- 12 V-200 V arası bir DC voltaj aralığında çalışan bir DC pompası.
- DC pompayı çalıştırmak için gerekli voltaj ve akımı elde etmek için seri ve paralel kombinasyon halinde bağlanmış PV panellerinden oluşan bir PV panel dizisi. Güneş enerjisi dizisinin gücü, pompanın tasarımına uygun şekilde olmalıdır.
- Bir kontrol ünitesi, su bittiği zaman pompayı koruma devresi, otomatik sıfırlama, ters polarite ve aşırı yük koruması gibi pompanın izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlar. Kontrol ünitesi ayrıca debiyi düşürmek için pompa hızını ayarlama özelliğine sahiptir ve PV panelinden maksimum enerjiyi elde etmek için entegre bir MPPT'ye sahiptir.

- Güneşin az olduğu günlerde ve geceleri pompaya yedek güç sağlamak için pil yuvası veya depolama tankı.

Şekil 4.4’de DC güneş enerjili su pompalama sisteminin blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.4 DC güneş enerjili su pompalama sisteminin blok şeması

4.2.1 DC pompa türleri

Yüzey pompaları ve dalgıç pompalar olmak üzere iki tip DC pompa vardır. Tüm yüzey pompaları santrifüjlüdür, dalgıç pompalar ise hem santrifüj hem de helis rotorlu pompalar olabilir. İki DC pompa türü arasındaki karşılaştırma Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Santrifüj ve helis rotorlu pompaların karşılaştırılması (Saleem, 2012).

Özellikler	Santrifüj	Helisel Rotor
Uygun DC gerilimleri	12 V- 375 V	12 V- 375 V
Maksimum toplam dinamik kafa	170 m	350 m
Maksimum akış hızı	70 m ³ / saat	4 m ³ / saat
Maksimum daldırma	250 m	Sınırsız

Şekil 4.5’te sarmal rotor ve fırçasız motor kullanan bazı dalgıç pompaları gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Helisel rotor ve fırçasız motor kullanan dalgıç pompa (Saleem, 2012)

4.3 DC ve AC Su Pompalama Sistemlerinin Karşılaştırılması

Uygulama tipi ve koşullar, DC veya AC olsun, kullanılacak pompanın tipini belirler. DC motorlar güç kaynağı ile uyumludur ve AC motorlara göre daha yüksek verimliliğe sahiptir ancak başlangıç maliyetleri daha yüksektir. Genel olarak DC su pompaları, geleneksel AC pompaların üçte biri ile yarısı kadar enerji kullanır. Düşük radyasyon seviyelerinde daha iyi bir çıkış performansı gerektiğinde AC motor, DC motora kıyasla performans kapasitesini aşar (Saleem, 2012).

Genel olarak, AC güçle çalışan sistem ekonomik bir kaynaktır ve yakındaki elektrik şebekesinden AC güç sağlandığında minimum bakım gerektirir. PV ile çalışan pompalama sistemlerinde AC motorlar, invertör gerektirdiklerinden yüksek güç uygulamalarıyla sınırlıdır ve bu da ek maliyetler gerektirmekte, genel sistemin verimliliğini düşürdüğünden bir miktar enerji kaybına neden olacaktır.

Bulut örtüsü veya çevre kirliliği sırasında DC motor tamamen durur. Bu pompaların verimliliği tipik bir gün boyunca büyük ölçüde değişeceğinden, doğrusal akım yükseltici veya MPPT gibi bir elektronik eşleştirme cihazı kullanmak, PV panel dizisini pompa ile daha iyi eşleştirerek veya bir motor seçerek pompa sistemi verimliliğini ve akışını artıracaktır. Özellikle güneş ışınımının az olduğu zamanlarda, güneş enerjili su pompalama sırasında maksimum su miktarını sağlamada oldukça

etkilidir. Çizelge 4.5'te DC ve AC güneş enerjili su pompalama sistemleri arasındaki karşılaştırma gösterilmiştir (Saleem, 2012).

Çizelge 4.5 DC ve AC su pompalama sistemlerinin karşılaştırılması (Saleem, 2012)

	DC Güneş Pompası	AC Güneş Pompası
Güç çıkışı	5 kW'a kadar	150 W-55 kW arası
Uygulamalar	Bahçe çeşmesi, peyzaj	Çevre düzenlemesinden sulamaya, özellikle büyük ölçekli tarım arazisi sulama, çöl kontrolü vb.
Fiyat	Nispeten düşük fiyatlı (biraz daha az güneş paneli gerektirir)	İnvertör gerektirdiği için pahalı
Uyumluluk	Düşük uyumluluk (sadece seçilen kontrolör seçilen motoru çalıştırır)	Yüksek uyumluluk (invertör farklı türde AC motor ve pompa ile çalışır)

4.4 Dizel ve Güneş Enerjilerinin Avantaj ve Dezavantajları

Su pompalama işleminin tarihi uzun yıllara dayanır. İnsan gücü, hayvan gücü, rüzgâr ve güneş enerjisi, dizel jeneratör v.b gibi birçok farklı enerji kaynakları kullanılarak su pompalama için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. PV panellerin ürettiği elektrik temiz ve gürültüsüzdür. Çünkü güneş ışığı dışında yakıt kullanmazlar. PV panel sistemlerinin çevreye herhangi bir zararlı etkisi de yoktur. Doğal kaynakları tüketmez, hayvan ve insan sağlığına zarar vermez. (Nasir, 2016).

Güneş enerjisi, yerel olarak mevcut yenilenebilir bir kaynaktır. Ülkenin diğer bölgelerinden veya dünyanın farklı bir yerinden ithal edilmesine gerek yoktur, Nakliye olmadığı için çevresel etkileri yoktur ve ithal edilen petrole olan bağımlılığı azaltır. Ayrıca fosil yakıtların tersine, elektrik üretmek için güneş enerjisi kullanıldığından kaynakları tüketmez. Çizelge 4.6'da PV ve dizel jeneratörlü su pompalama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Saleem, 2012).

Çizelge 4.6 PV ve dizel jeneratörlü su pompalama sisteminin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması

Sistem tipi	Avantajları	Dezavantajları
PV ile çalışan sistem	Düşük bakım maliyeti Güvenilir uzun ömür Yakıt ve etkisi yok Kurulumu, taşınması veya genişletilmesi kolay Düşük yinelenen maliyetler Sistem modülerdir Gürültü yok Suya daha çok ihtiyaç duyulan güneşli havalarda en iyi şekilde üretim	Nispeten yüksek başlangıç maliyeti Bulutlu havalarda düşük üretim
Dizel jeneratörlü sistem	Orta derecede sermaye maliyetleri Kurulumu kolay Taşınabilir Kullanımı kolay	Bakım ve değiştirme ihtiyacı Saha ziyaretleri gerekli Gürültü ve çevre kirliliği Yakıtı pahalı

4.5 Su Pompalama Konfigürasyonlarının Tasarımı

Optimum bir su pompalama sistemi konfigürasyonu tasarlamak için, su ihtiyacı talebini ve hangi suyun pompalanması gerektiğini, kaynağın kapasitesini ve su derinliğini bilmek gerekir. Buna ek olarak, mevcut pompaların özellikleri, pompalama mevsimi ve zamanı; belirlenen alandaki güneş radyasyonu miktarı hakkında daha fazla bilgiye sahip olunmalıdır.

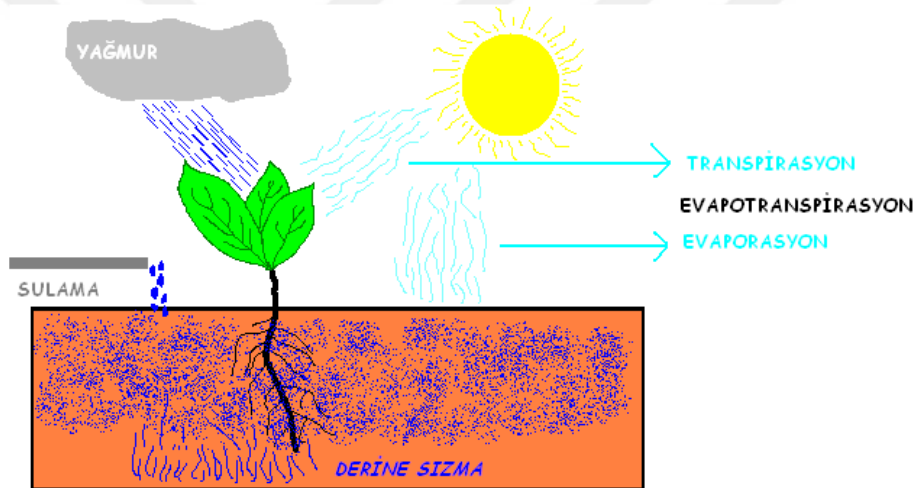
AC veya DC enerji kaynaklarının kullanımına ve depolama tankı kullanımına dayalı olarak, bu çalışmada güneş enerjili su pompalama sistemi için iki konfigürasyon incelenmiştir. Bunlar depolama tanklı AC konfigürasyon ve DC konfigürasyon.

4.5.1 Su kaynağı

Su sisteminin konfigürasyonu, öncelikle kullanılan su kaynağı türünün yanı sıra yerel topografya ve dağıtım noktasının konumu ile tanımlanacaktır. Planlanan sistem için su kaynağı Shabelle nehridir. Nehir, yıl boyunca planlanan sistemi beslemek için yeterli akışa ve su kalitesine sahiptir.

4.5.2 Sulama suyu ihtiyacının hesaplanması

Sulama sisteminin optimal boyutlandırma probleminde öncelikle ihtiyaç duyulan su miktarı belirlenmelidir. Değişkenlik gösteriyorsa, en yüksek miktarı karşılayacak şekilde sistemi boyutlandırmaya dikkat edilmelidir (Olcan, 2015). Bitkilerin su ihtiyacı, mahsulün türüne, zamana ve mahsulün mevsimine ve büyümesine bağlı olarak değişir. Toprağın türü ve iklim parametreleri dikkate alınması gereken diğer faktörlerdir. Bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden olan buharlaşma ile bitki yapraklarından olan terleme miktarlarının toplamıdır. Su ihtiyacı, ideal yetiştirme koşullarındaki evapotranspirasyonla (ET) ifade edilmekte ve derinliği *mm* birimiyle gösterilmektedir. Bitki su tüketimi, günlük, aylık ve mevsimlik zaman boyutları için belirlenir. (Düzenli, 2010). Şekil 4.6'da bitkinin kazandığı ve kaybettiği su miktarı gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Bitkinin kazandığı ve kaybettiği su miktarı (Düzenli, 2010)

FAO (Food and Agriculture Organization: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) grubunun 1971 yılında Lübnan ve 1972 yılında Roma'da yapılan toplantılarında geliştirilen bitki su ihtiyaçları hesaplamaları kullanılmaktadır. Yayımlanan kılavuzlara göre bitki su ihtiyacı şu şekilde tanımlanmıştır. Kısıtlama olmaksızın geniş alanlarda yetişebilen ve büyüme ortamında tam üreme potansiyeline sahip olan bir sağlıklı bir bitkinin, ET (ET_{crop}) ile kaybettiği su ihtiyacının karşılandığı su derinliğidir (Olcan, 2015). ET hesabında yaygın olarak Eşitlik 4.1'de gösterilen ifade tanımlanmaktadır.

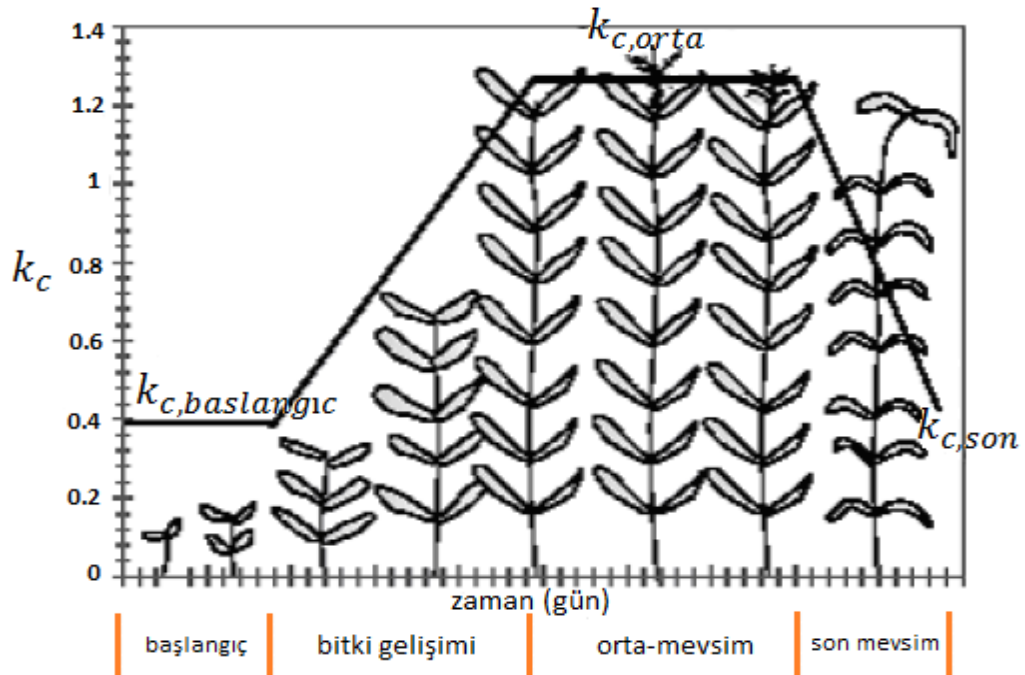
$$ET_{crop} = k_c * ET_0 \quad (4.1)$$

Burada k_c bitki katsayısı ve ET_0 referans bitki su tüketimidir.

Birden fazla bitki içerdiğinde ise Eşitlik 4.2 ile i . bitki için büyüme mevsimine ait su ihtiyacı hesaplanmaktadır.

$$CWR_i = ET_i = \sum_{t=0}^m (k_{ct} * ET_{0t}) \quad (4.2)$$

Bitki katsayısı (k_c), bitki özelliklerinin etkisini açıklar. Bitkinin gelişme aşamasına (ekim zamanı), mevsime (süre) ve hava koşullarına bağlı olarak değişir. Büyüme mevsimleri genellikle dört kategoriye ayrılır; başlangıç, büyüme, orta mevsim ve son mevsim (Olcan, 2015). Şekil 4.7’de örnek olarak farklı büyüme mevsimleri boyunca bir bitki katsayısının eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Bitki katsayısının büyüme mevsimlerine göre değerleri (Olcan, 2015)

Net sulama ihtiyacının hesaplanması (NIWR): Bitkinin su tüketimi ile sulama ihtiyacı farklı terimlerdir. Bitki su tüketimi $CWR = f$ (hava durumu, bitki) şeklinde ifade edilmektedir. Ancak sulama ihtiyacı $IWR = f$ (hava durumu, bitki, toprak, yağış, sulama yöntemi, su derinliği) ile birçok değişkene bağlı olmaktadır. Normalde CWR değeri IWR'den daha az olmaktadır (Olcan, 2015).

Net sulama suyu ihtiyacı, mahsulün büyümesi için gerekli su miktarıdır. Brüt sulama suyu ihtiyacı ise, su kayıpları dikkate alındığında gerçekte uygulanacak su miktarıdır. Net sulama miktarının hesabı için kayıplar ile kazançların farkı alınır; ve bu da Eşitlik 4.3'te gösterilmiştir. Bitkinin su tüketimi kayıp olarak ele alınır. Kazançlar ise etkin yağış, yeraltında biriken su ve toprakta depolanan su miktarıdır.

$$NIWR = ET_{crop} - (\text{etkin yağış} + \text{yeraltı suyu} + \text{depolanan toprak suyu}) \quad (4.3)$$

Tüm yağışlar etkin olmayabilir, yüzeydeki fazlalık, dibe süzülme ve buharlaşma sebepleriyle kayıplar yaşanabilir. Bu nedenle bitkinin aldığı etkin yağışlar dikkate alınmalıdır. Bu değer ise ET/yağış oranı yöntemiyle tahmin edilmektedir (Olcan, 2015). Etkin yağış için geliştirilen basit denklem Eşitlik 4.4'deki gibidir. Bu denklem eğimi maksimum % 4-5 olan alanlarda uygulanabilmektedir (Olcan, 2015).

$$P_e = \begin{cases} 0,8P - 25, & \text{eğer } P > 75 \text{ mm/ay} \\ 0,6P - 10, & \text{eğer } P < 75 \text{ mm/ay} \end{cases} \quad (4.4)$$

Burada; P yağış miktarını, P_e ise etkin yağışı göstermektedir.

4.5.2.1 FAO Penman-Monteith yöntemi

Penman-Monteith ampirik yöntemi, meteorolojik verileri (sıcaklık, nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi) kullanarak referans evapotranspirasyon hesabı yapmaktadır. Eşitlik 4.5 ile ET_0 (mm/gün) bulunmaktadır (Olcan, 2015).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (4.5)$$

Burada; ET_0 ; referans evapotranspirasyonu (mm/gün), R_n ; bitki yüzeyindeki net radyasyonu (MJ/m².gün), G ; zemin ısı değişim yoğunluğunu (MJ/ m².gün), T ; 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığını (°C), u_2 ; 2 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızını (m/s), e_s ; doymuş buhar basıncını (kPa), e_a ; mevcut buhar basıncını (kPa), $e_s - e_a$; doymuş buhar basınç açığını (kPa), Δ ; buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa/°C), γ ise psikrometrik sabiti (kPa/°C) göstermektedir.

4.5.2.2 CropWat yazılımı

Geliştirilmiş olan Penman-Monteith yöntemiyle bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak ve sulama takvimini oluşturmak için FAO'nun toprak ve su kaynaklarını geliştirme bölümü tarafından CropWat adlı bilgisayar programı hazırlanmıştır ve ücretsiz olarak FAO'nun internet sayfasından dağıtılmaktadır. CropWat programı, referans evapotranspirasyonu, bitki su ihtiyacını, bitki sulama suyu ihtiyacını hesaplamak, çeşitli işletme koşullarında sulama programı geliştirmek ve yağış ile kuraklığın üretimdeki etkilerini hesaba katmak için geliştirilmiştir. Bitki su ihtiyacı ve sulama suyu miktarı, iklim ve bitki verileri ile hesaplanmaktadır. Standart bitki verileri programda bulunmaktadır. Yerel farklılıklara göre bu veriler değiştirilebilir. İklim verileri ise ClmWat adlı veri tabanı ile sağlanmaktadır. FAO tarafından geliştirilen ClmWat'ta 144 ülkeden 3262 meteoroloji istasyonunun iklim bilgileri CropWat programında kullanılmaya hazır bir şekilde bulunmakta ve internetten ücretsiz olarak elde edilmektedir (Jahed, 2018).

ClmWat programı, aşağıda belirtilen 7 iklim parametresinin uzun vadeli aylık ortalama değerlerini kullanır; bunlar:

- °C cinsinden ortalama günlük maksimum sıcaklık
- °C cinsinden ortalama günlük minimum sıcaklık
- % cinsinden ortalama bağıl nem
- km/gün cinsinden ortalama rüzgâr hızı
- Günde ortalama güneşli saatler
- MJ/m²/gün cinsinden ortalama güneş radyasyonu
- mm/ay cinsinden aylık yağış
- mm/ay cinsinden aylık etkili yağış
- mm / gün cinsinden Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan referans evapotranspirasyon.

Bu tez çalışmasında, Güney Somali'de bulunan Afgooye adlı bir bölge örnek olay incelemesi olarak alınmıştır. CropWat programı kullanarak günlük tüketilen su miktarı açısından en az ve en çok su tüketen bitkiler belirlenmiş ve bölgedeki yaygın olan bitkilerin sulama suyu ihtiyaçları hesaplanmıştır. Daha sonra iki konfigürasyon (AC ve DC) güneş enerjili su pompalama sistemleri, muz için günlük su ihtiyacının değerine göre tasarlanmıştır.

Bitkisel su ihtiyacı ve sulama ihtiyaçlarının hesaplamaları, Afgooye'nin yerel iklim, mahsul, toprak ve coğrafi verilerinin girdileri ile yapılır. Afgooye için CropWat programı tarafından hesaplanan aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar ($^{\circ}\text{C}$), hava nemi (%), rüzgâr hızı (km/d), günlük güneşlenme (saat), aylık ortalama radyasyon ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$), referans evapotranspirasyon ($\text{mm}/\text{gün}$) değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Afgooye'nin aylık yerel iklim ve coğrafi veriler için CropWat programı değerleri

Rakım: 83m		Enlem: 2.13°N			Boylam: 45.13°E		
Ay	Min ($^{\circ}\text{C}$)	Mak ($^{\circ}\text{C}$)	Bağlı Nem (%)	Rüzgâr Hızı(km/d)	Güneşlenme Süresi (saat)	Radyasyon ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$)	ET ₀ (mm/gün)
Ocak	21.6	33.5	65	346	7.9	20.6	6.04
Şubat	21.8	34.1	70	363	9.2	23.5	6.28
Mart	23.0	35	69	328	9.0	23.6	6.47
Nisan	23.5	34.3	71	216	7.5	20.8	5.37
Mayıs	23.1	32.8	76	216	6.4	18.3	4.61
Haziran	22.6	31.2	79	259	6.2	17.3	4.22
Temmuz	21.5	30.5	75	259	7.9	20.1	4.71
Ağustos	21.5	31.1	75	268	8.1	21.2	4.95
Eylül	21.7	32.0	71	268	8.5	22.5	5.50
Ekim	22	32.2	72	242	7.5	20.8	5.18
Kasım	21.8	32.3	67	181	6.8	19.0	4.78
Aralık	21.6	33.0	66	277	6.6	18.4	5.32
Ortalama	22.1	32.7	71	269	7.6	20.5	5.29

Veri girişinin ikinci adımı, yağış miktarıdır. Etkili yağışın hesaplanması için CropWat programında çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Jahed, 2018). Bu çalışmada Eşitlik 4.4'de verilen ABD Toprak Koruma Servisi (United States Soil Conservation Service- USSCS) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle hesaplanan Afgooye bölgesindeki yağış ve etkili yağış değerleri Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Afgooye bölgesindeki yağış ve etkili yağış değerleri

Ay	Yağış (mm)	Etkili Yağış (mm)
Ocak	2.0	2.0
Şubat	2.0	2.0
Mart	10.0	9.8
Nisan	91.0	77.8
Mayıs	94.0	79.9
Haziran	64.0	57.4
Temmuz	58.0	52.6
Ağustos	26.0	24.9
Eylül	15.0	14.6
Ekim	62.0	55.8
Kasım	121.0	97.6
Aralık	39.0	36.6
Toplam	584.0	511.1

Afgooye bölgesinde mısır, sorgum(darı), börülce, susam, domates, meyveler (muz, limon ve diğer turunçgiller, guava, mango, papaya, karpuz ve hurma) ve sebze gibi tarım ürünlerinin ekimi yaygındır. Dolayısıyla bu bölgede en az ve en çok sulama suyu ihtiyacı olan bitkileri belirlemek için CropWat programı kullanarak tek tek bu ürünlerin net sulama suyu ihtiyacı, (mahsulün büyümesi için gerekli su miktarıdır) ve brüt sulama suyu ihtiyacı, (su kayıpları dikkate alındığında gerçekte uygulanacak su miktarıdır) miktarlarının hesaplanması yapılmıştır ve Çizelge 4.9'da net sulama ihtiyacı ve brüt sulama ihtiyacı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9 Afgooye bölgesinde yaygın olan bitkilerin net sulama ihtiyacı ve brüt sulama ihtiyacı değerleri

Bitki	Net sulama ihtiyacı (mm)	Brüt sulama ihtiyacı (mm)
Mısır	470	671.4
Sorgum(darı)	413.2	590.3
Börülce	456.2	651.7
Patates	518.7	741.0
Domates	465.9	665.5
Muz	1043.3	1490.5
Mango	1054.7	1506.7
Şeker kamışı	1152.7	1646.7
Yerfıstığı	486.6	695.1
Karpuz	404.8	578.6
Buğday	691.6	987.9
Sebze	481.2	687.4

Çizelge 4.9'daki değerlere göre Afgooye bölgesinde bir hektarlık alanda şeker kamışı yıllık net sulama ihtiyacı 1152.7 mm/yıl/ha ve brüt sulama ihtiyacı 1646.7 mm/yıl/ha suyu tüketerek en fazla sulama suyu ihtiyacı olan tarım bitkisi olarak seçilmiştir. Karpuz da yıllık net sulama ihtiyacı 404.8 mm/yıl/ha ve brüt sulama ihtiyacı 578.6 mm/yıl/ha su tüketimi ile en az su tüketen bitki olarak seçilmiştir.

Bu örnek olay incelemesi için iki konfigürasyon (AC ve DC) güneş enerjili su pompalama sistemleri, muz için günlük su ihtiyacının değerine göre tasarlanmıştır. Muz için CropWat programı tarafından hesaplanan ve simüle edilen muzun brüt sulama ihtiyacı 1490.5 mm/yıl/ha'dır

1 mm/gün, 10 m³/gün/ha karşılık gelir, bu nedenle:

$$IWR = \frac{1490.5 \text{ mm}}{365 \text{ days}} \times \frac{10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{1 \text{ mm}} = 41 \text{ m}^3 / \text{gün} / \text{ha}$$

CropWat yazılımı kullanılarak iki hektarlık muz çiftliği için günlük sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi: 2 x 41 m³ / gün = 82 m³ / gün. Bu nedenle sistem günlük 82 m³ su miktarı karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

4.5.3 Su deposu tasarımı

Sistem uygun şekilde boyutlandırıldığında su depolaması çok pratiktir. Güneş enerjisi bedava olduğundan, güneşli günlerde sistem günlük ihtiyaçlar için yeterli su miktarını sağlar ve bu miktar su da iklim koşullarına ve su tüketimine bağlı olarak yeterli kapasiteyi sağlamak için boyutlandırılması gereken bir depoda saklanabilir. Depolama hacmi ve kapasite gereksinimleri, uygulamaya ve su talebinin modeline bağlıdır ancak prensipte tank, günlük ortalama talebin 3 katı olan bir kapasiteyle boyutlandırılır. Bazı uygulamalarda depolama hacmi günlük su ihtiyacının 10 katı kapasiteye ulaşabilir (UNDP, 2015).

Bu örnek olay incelemesinde depolama tankı dört günlük bir kapasiteye göre tasarlandı veya boyutlandırıldı, bu nedenle:

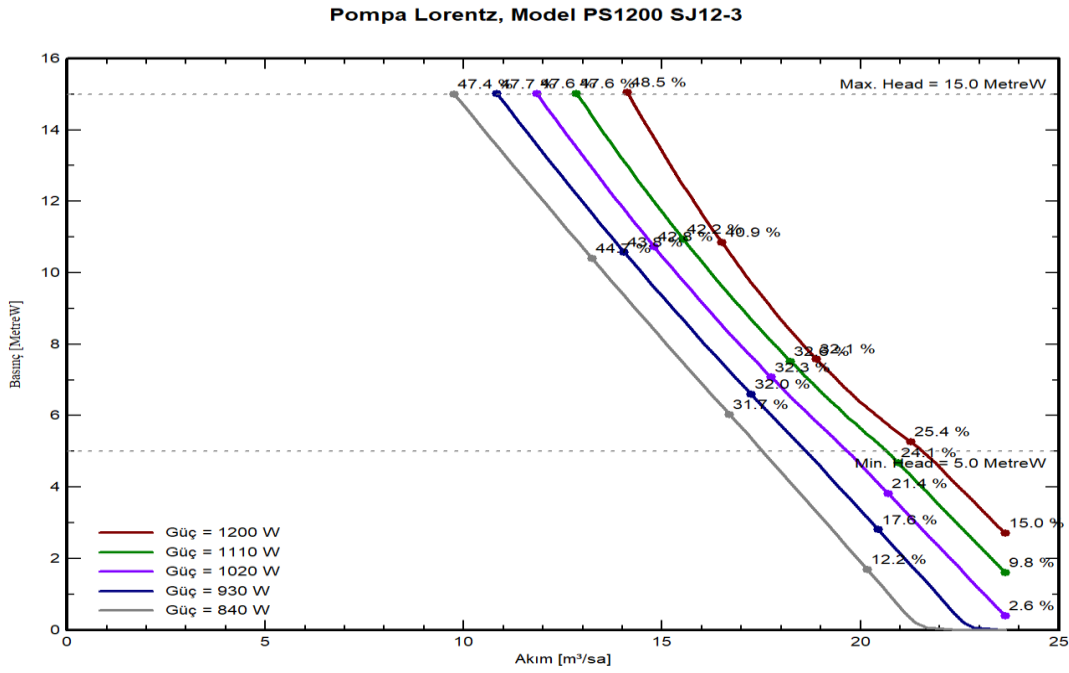
$$\text{Su depolama hacmi} = 82 \text{ m}^3 / \text{gün} * 4 \text{ gün} = 328 \text{ m}^3 \text{ tür.}$$

4.5.4 Motor-pompa seçimi

Bir motor ve su pompası genellikle birlikte modellenen motor-pompa ünitesini oluşturur. Elektrik motorları, elektriği mekanik enerjiye dönüştürerek su pompasını çalıştırmak için gereken mekanik gücü sağlar. DC motorların (fırçalı ve fırçasız sabit mıknatıslı, değişken hızlı sürücü) ve AC motorların (senkron ve asenkron) çeşitli türleri vardır (Olcan, 2015). Çeşitli tip ve boyutlarda PV pompaları mevcuttur. Pompa çeşitleri çalışma prensibine göre santrifüj ve pozitif deplasmanlı (diyafram, piston veya sarmal rotor) olarak ikiye ayrılabilir. Ayrıca uygulama özelliklerine göre dalgıç pompa, yüzey pompası ve yüzer pompa çeşitleri mevcuttur.

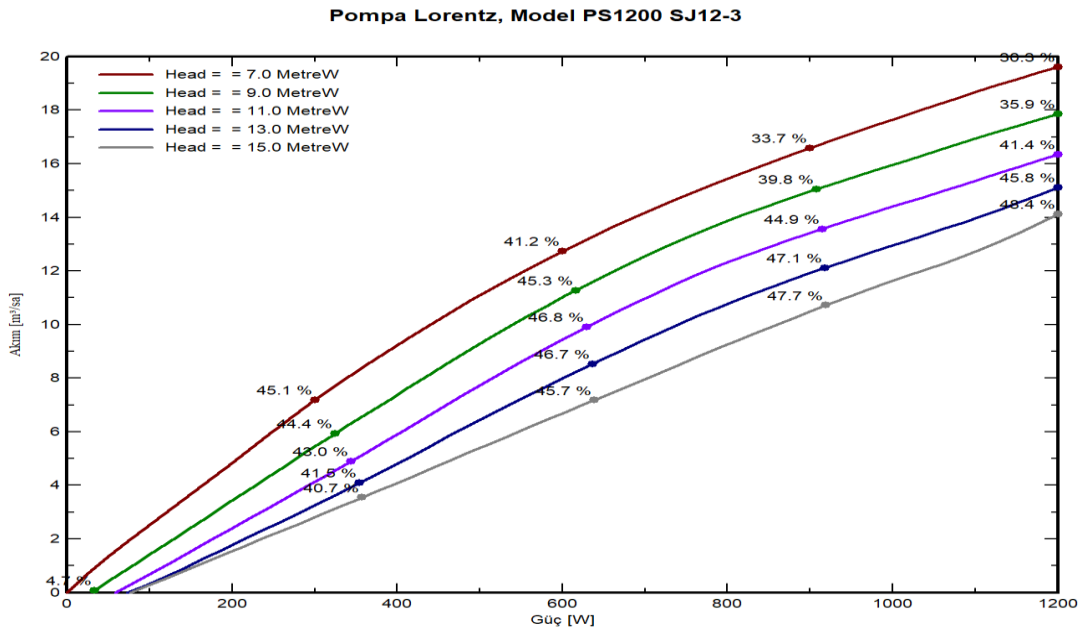
DC Pompa: Pompa tipi, boyutu ve kapasitesi, uygulamaya ve gereksinimlerine bağlıdır. Ayrıca pompa seçimi, günlük su pompalama oranı (Q) ve hidrolik yüksekliğe (H) bağlıdır. Bu tasarım için ($Q = 82 \text{ m}^3 / \text{gün}$, $H = 15 \text{ m}$). Burada nominal çalışma koşulu ve maliyeti için seçilen pompa PVsyst programının veri tabanında bulunan Lorentz_PS1200_SJ12_3.PMP belirlenmiştir. DC fırçasız motorla donatılmış ve özellikle uzak yerlerde su dağıtımı için bağımsız su dağıtım sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış, basınç yükseltici tipte santrifüjlü çok kademeli bir pompadır. Maksimum 15 MetreW dinamik kafa ile ($21.59 - 14.12 \text{ m}^3 / \text{sa}$) akış hızlarına sahiptir. Nominal maksimum güç tüketimi 1200 W'tır. DC gerilim ile çalışır (96 V). Akış hızı ve

basma yüksekliği (metre W), Şekil 4.8’de seçilen DC pompanın debi ve basma yüksekliği (metreW) karakteristik eğrisi gösterilmiştir.



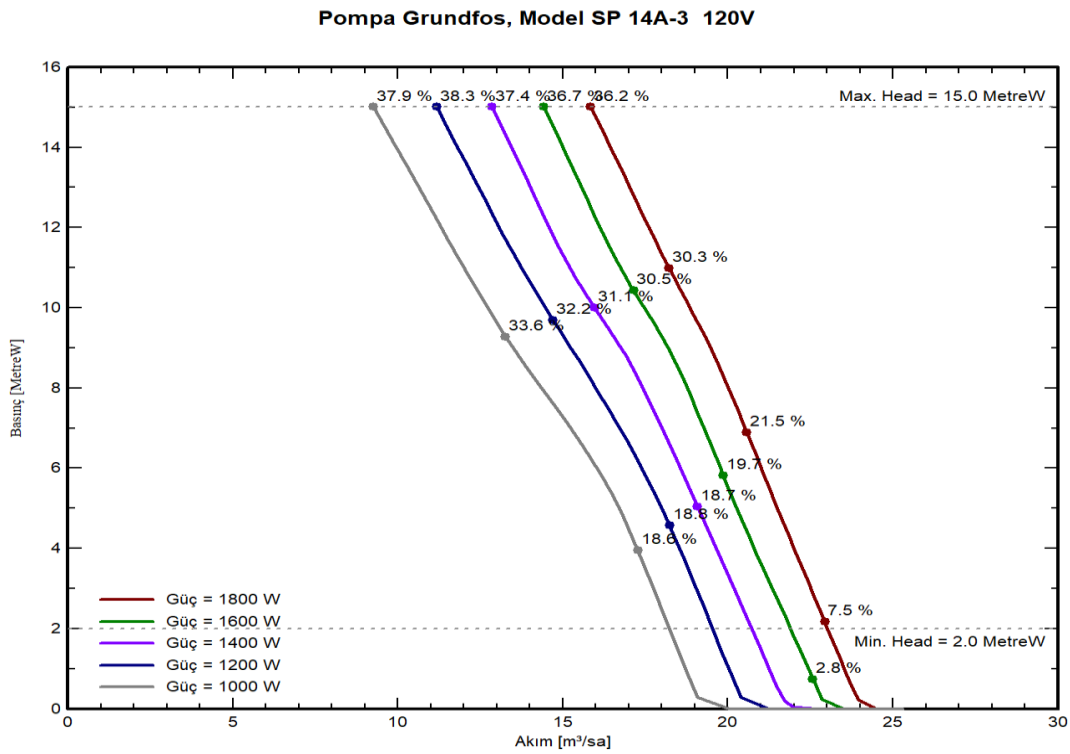
Şekil 4.8 Seçilen DC pompanın debi ve basma yüksekliği (metreW) karakteristik eğrisi

Bu pompanın gerekli tepe gücü ve akış hızı karakteristik eğri özellikleri de Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



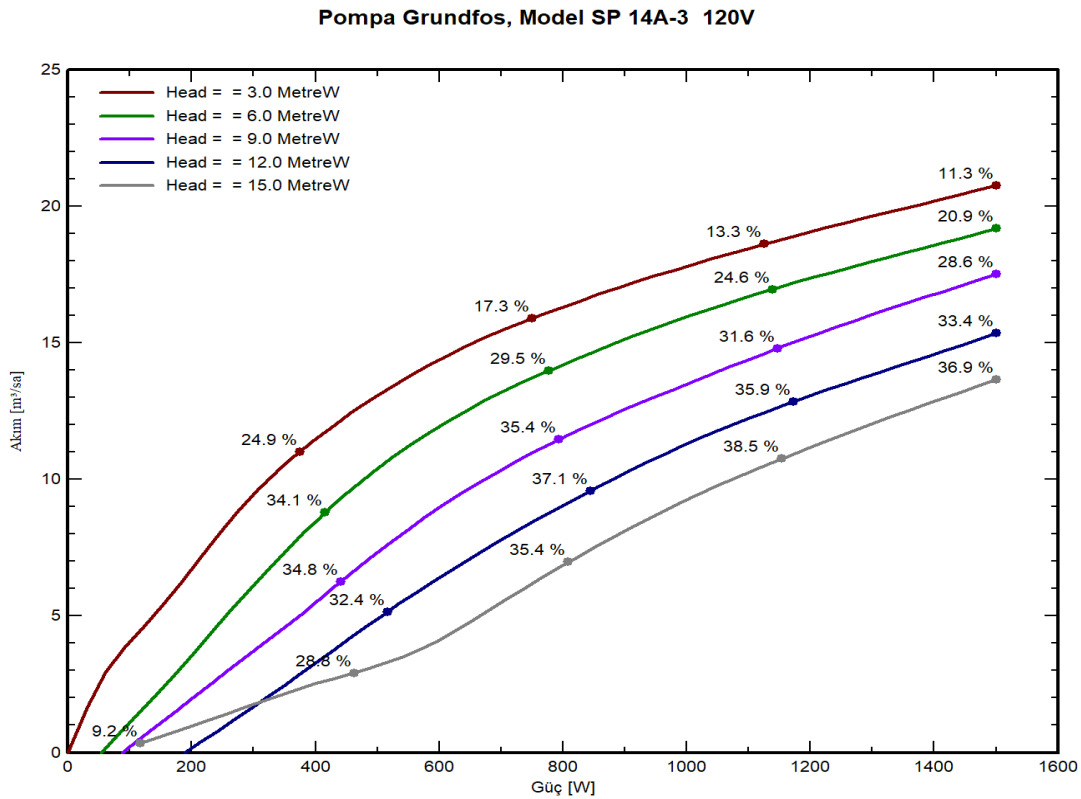
Şekil 4.9 Seçilen DC pompanın tepe gücü ve akış hızı karakteristik eğrisi

AC pompa: AC su pompalama durumunda, seçilen pompa aynı şekilde PVsyst programının veri tabanında bulunan Grundfos_SP14A_3_120.PMP'dir. 3 fazlı AC motora sahip olan AC santrifüjli çok kademeli bir pompadır. 15 m'ye kadar kafa içinde çalışabilen bu pompa seçilmiştir. Pompa seçiminde kullanılan parametreler sırasıyla debi ve maksimum basma yüksekliği olan $21.32 \text{ m}^3 / \text{sa}$ ve 15 metreW'dir. Nominal maksimum güç tüketimi 1500 W'dır. 120 V AC gerilimle çalışır. Pompa, invertör çıkışından pompa girişi olarak bir AC gücü almalıdır. Şekil 4.10'da seçilen AC pompanın debi ve basma yüksekliği (metreW) özellikleri eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Seçilen AC pompanın debi ve basma yüksekliği (metreW) özellikleri eğrisi

Seçilen pompanın gerekli tepe gücü ve akış hızı karakteristik özellikleri eğrisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Seçilen AC pompanın tepe güç ve akış hızı karakteristik eğrisi

4.5.5 Pompa kontrolörü ve invertör

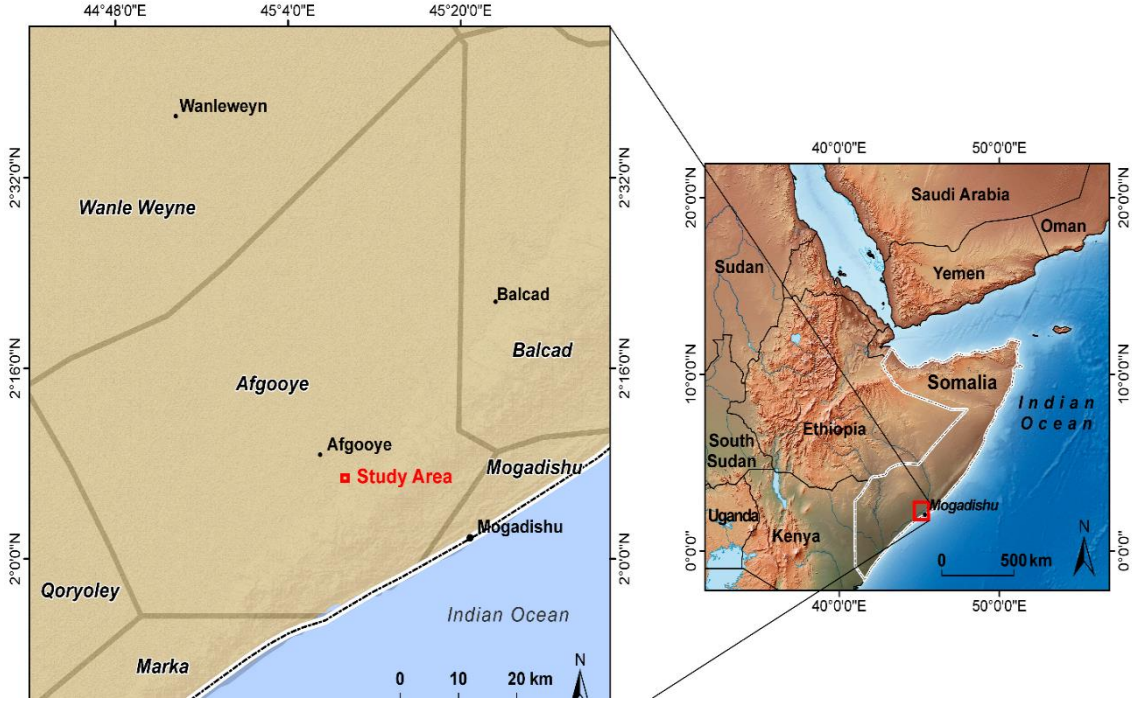
PV panelinden üretilen güç miktarı güneş radyasyonuna bağlı olduğu için, bir kontrolörün pompanın belirlenmiş minimum çalışma gücünü karşılayacak yeterli güç olana kadar pompayı kapatması gerekmektedir. Eğer paneller çok fazla güç üretirse, kontrolör pompanın gücünü sınırlayabilmekte ve maksimum hızından fazla çalışmasını engelleyebilmektedir (Olcan, 2015). Ayrıca kontrol sisteminin olması önceden planlanmış sulama programının yapılmasını mümkün kılmaktadır.

İnvertör bir güç çevirici olarak, panelin veya pilin ürettiği DC akımı AC akıma dönüştürmektedir. AC akım birçok cihaz ve motor için gereklidir. Ayrıca şebekeye bağlı sistemlerin her zaman invertör kullanması şarttır. Şebekeden bağımsız sistemler de off-grid invertör olarak bilinir ve örneğin 12, 24 veya 48 V olan DC voltajını, 230 V olan AC 50 Hz voltaja çevirebilmektedir (Olcan, 2015).

4.5.6 Afgooye'nin güneş ışınımı potansiyeli

Bu tez çalışmasındaki örnek olay, Afgooye'de bulunan bir çiftliktir. Afgooye,

Somali'nin aşağı Shabelle bölgesinde bir kasabadır. Başkent Mogadişu'nun 30 km kuzeyindedir. Shabelle nehri şehrin ortasından geğer. Konumu, deniz seviyesinden 83 m yükseklikte 2.1381 kuzey enlemi ve 45.1312 doğu boylamındadır. Afgooye bölgesinin haritası Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



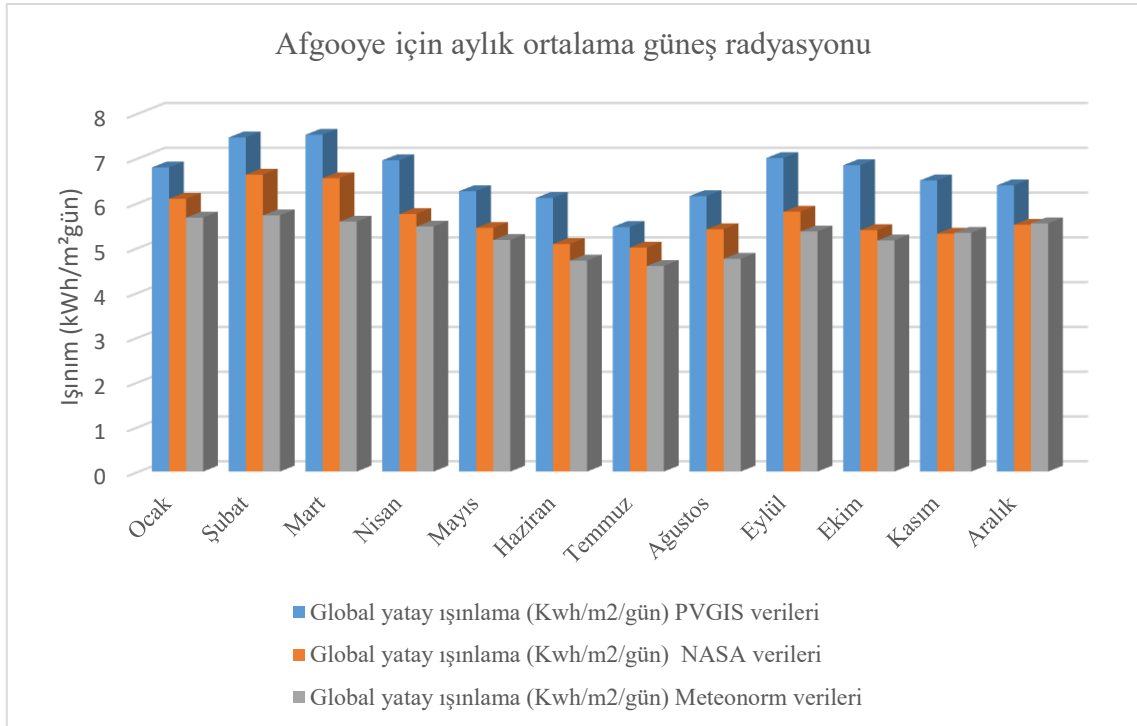
Şekil 4.12 Afgooye bölgesi haritası

Bu bölgenin seğilmesinin arkasında yatan nedenler arasında yüksek güneş potansiyeli, muazzam tarımsal faaliyetler ve bol su kaynaklarına sahip olması sayılabilir. Seçilen sahadaki ortalama aylık güneş radyasyonu hakkındaki bilgiler, PVSyst yazılımı kullanarak bulunmuştur. PVSyst yazılımında 3 farklı veri tabanı bulunmaktadır. Bunlar; PVGIS (Fotovoltaik Coğrafı Bilgi Sistemi), Meteonorm ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'dır. Afgooye için aylık ortalama güneş radyasyonu ve sıcaklık değerleri izelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Afgooye bölgesi aylık ortalama güneş radyasyonu ve sıcaklık değerleri

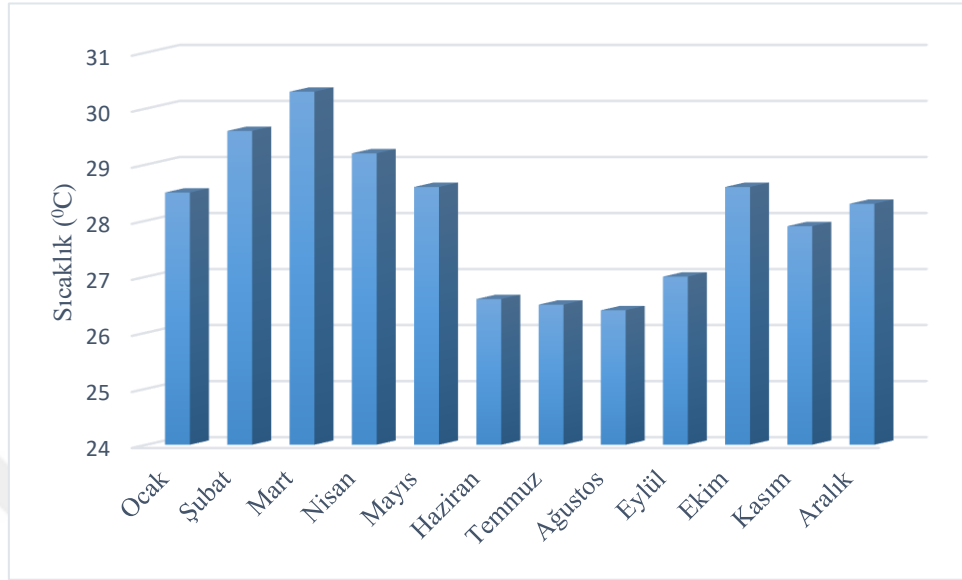
Aylar	Global yatay ışım (kWh/m ² /gün)			Sıcaklık (°C)
	PVGIS verileri	NASA verileri	Meteonorm verileri	
Ocak	6.79	6.09	5,67	28.5
Şubat	7.46	6.63	5,72	29.6
Mart	7.52	6.55	5,58	30.3
Nisan	6.95	5.75	5,47	29.2
Mayıs	6.26	5.44	5,17	28.6
Haziran	6.11	5.08	4,71	26.6
Temmuz	5.46	5.00	4,59	26.5
Ağustos	6.15	5.41	4,75	26.4
Eylül	7.00	5.80	5,36	27.0
Ekim	6.84	5.39	5,16	28.6
Kasım	6.50	5,31	5,33	27.9
Aralık	6.39	5,51	5,54	28.3
Ortalama	6.61	5,66	5,25	28.1

Çizelgeyi net bir şekilde görebilmek için, Şekil 4,13'te Afgooye'nin aylık ortalama güneş radyasyonunun PVGIS, NASA ve Meteonorm verileri grafiksel olarak gösterilmiştir



Şekil 4.13 Afgooye bölgesi aylık güneş radyasyonu potansiyeli

Ayrıca, Afgooye bölgesinin aylık ortalama sıcaklığının grafik bir görüntüsü de Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Afgooye bölgesi aylık ortalama sıcaklık değerleri

Meteonorm, daha sağlam bir meteorolojik veri kaynağı olarak kabul edilir ve global yatay ışınım ile ilişkili belirsizliğin diğer iki veri kaynağından daha az olduğu kabul edilir (Arup, 2015). Bu nedenle burada, Meteonorm verileri projenin simülasyonu için kullanılmıştır. Meteonorm verilerine göre saha, en az ışınım olan ayda günlük ortalama $4.59 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'den en iyi güneş ışınımına sahip aylarda $5.72 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'ye ve yıllık ortalama $5.25 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{gün}$ 'e kadar değişen iyi güneş radyasyonu seviyelerine sahiptir.

4.5.7 PV modül seçimi

Sistemin dizi kapasitesi; pompanın gücüne, invertör verimine ve sistemdeki sıcaklık, modül eskimesi, güneş radyasyonu değişimi, kir ve kablo kayıplarından kaynaklanan tüm kayıpları dikkate alan bir faktör olan verimlilik faktörüne bağlıdır. PV jeneratör seçimi, üreticilerin performansı tarafından sunulan ve bir alandan diğerine farklı olan PV boyutlandırma sistemlerinin planlarına dayanmaktadır. Önerilen sistemler için hem AC su pompalama hem de DC su pompalamada, Generic_Poly_285W.PAN PV modülleri seçilmiştir. Doğrudan veya invertör donanımlı

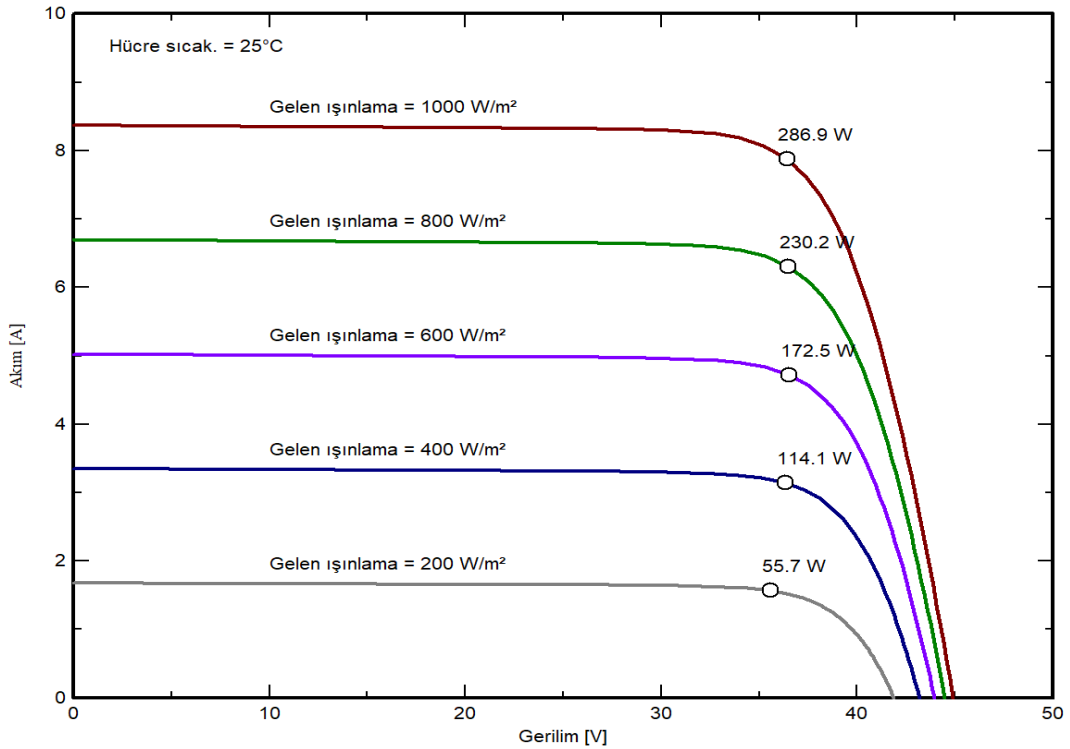
bir sistemde DC yükleri çalıştıran güvenilir PV güç sağlar. Seçilen PV modülün elektriksel özellikleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Seçilen PV modülün elektriksel özellikleri

Generic_Poly_285W.PAN PV modülünün elektriksel özellikleri	
Maksimum güç (Pmax)	285 W
Hücre sayısı	72
Açık devre voltajı (Voc)	44.90 V
Kısa devre akımı (Isc)	8.37 A
Pmax'ta Gerilim (Vmp)	36.4 V
Pmax'ta akım (Imp)	7.88 A
Modül verimliliği	% 14.78
Modül alanı	1.940 m ²

Generic_Poly_285W.PAN PV modülünde, grafiklere eklenen veri noktaları, üreticinin PVsyst'teki veri sayfasında yayınlanan I-V eğrilerinden alınır. Şekil 4.15'te PV modül karakteristik eğrisi gösterilmiştir.

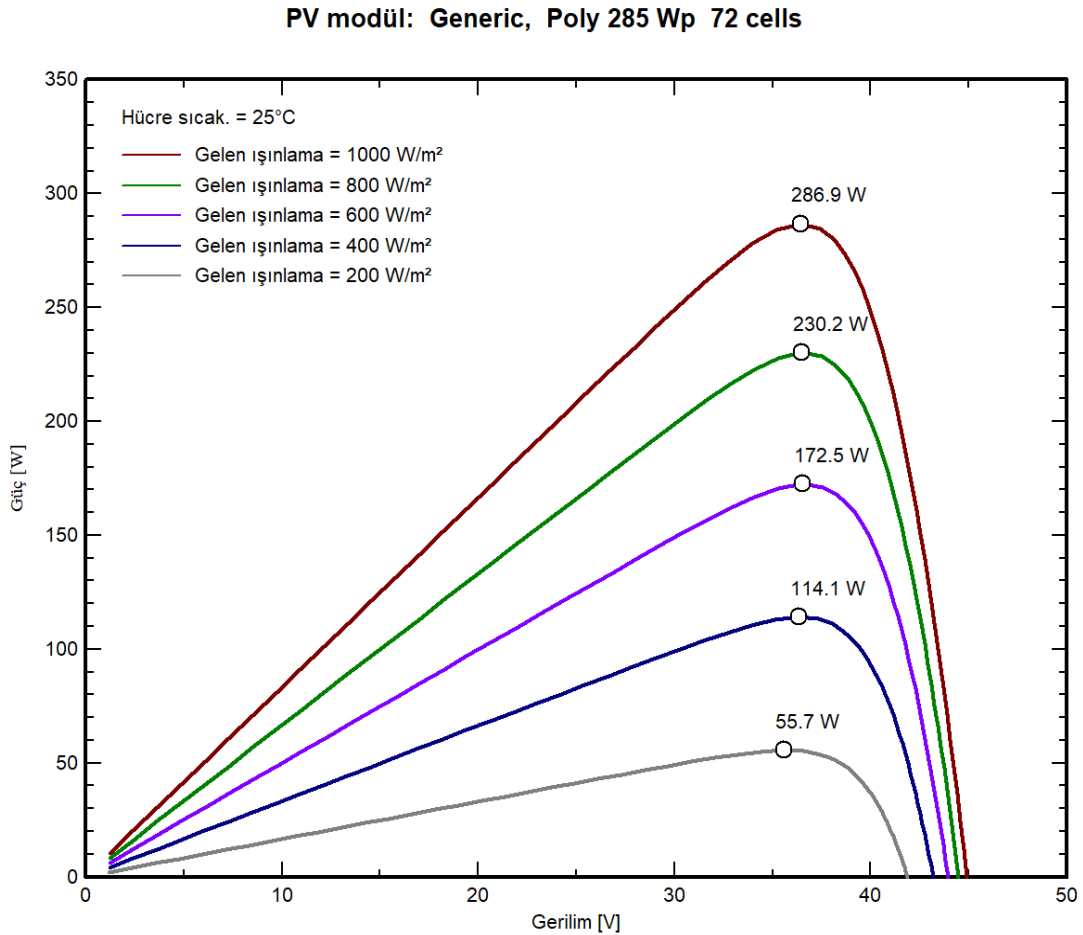
PV modül: Generic, Poly 285 Wp 72 cells



Şekil 4.15 Seçilen PV modülün çeşitli güneş radyasyonlarında I -V özellikleri

I-V eğrisi, PV modülünün voltaj - akım ilişkisini gösterir. Grafik, güneş radyasyonuna bağlı olduğundan, güneş radyasyonundaki değişim, çıkış voltajında ve güçte değişiklikler meydana getirir. Gösterilen Şekil 4.15’de farklı güneş radyasyonlarına sahip modülün I-V eğrisi (güneş radyasyonları 200 W/m^2 ’den 1000 W/m^2 ’ye kadar değişmektedir) görülmektedir.

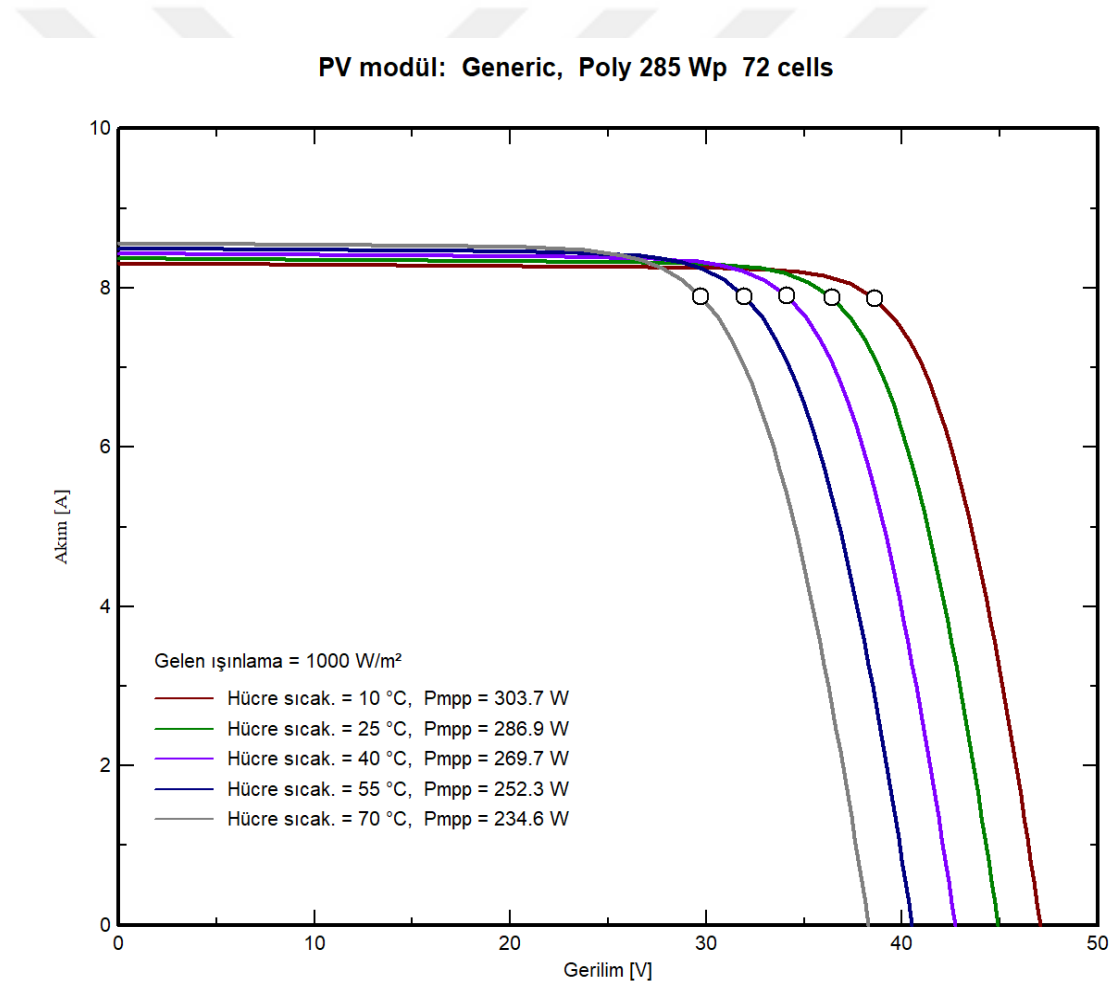
Diğer elektriksel özellikler de üreticinin PVsyst’teki veri sayfasından alınmıştır. P-V eğrisi PV modülünün güç ve voltaj ilişkisini gösterir. P-V grafiğinde voltaj ve farklı radyasyona karşılık gelen güç değerleri verilir. Buradan da, farklı radyasyon seviyelerinde maksimum güç çıkışını bilmemize yardımcı olur. Şekil 4.16’da seçilen PV modülün güç-voltaj karakteristik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Farklı güneş radyasyonlarında seçilen PV modülün güç-voltaj özellikleri

PV panel üretici firmaları kataloglarında laboratuvar ortamlarında gerçekleştirdikleri testler sonucu Standart Test Koşulları (STC) olarak adlandırılan 1000 W/m^2 güneş ışınım şiddeti, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hücre sıcaklığı ve A.M. 1,5 hava kütle oranı

şartlarındaki panelin elektriksel değerlerini vermektedirler. STC dışındaki değişimlerde PV panelin elektriksel değerleri bilinmemektedir. Değişen atmosferik şartlarda da PV panelin elektriksel değerlerinin bilinmesi gereklidir (Karafi, 2016). Panel sıcaklığının artması, panel akımını çok az miktarda arttırırken panel voltajını orantılı bir şekilde düşürmektedir. Gerilimdeki düşme oranı, akımın artış oranına göre daha fazla olduğundan bu duruma bağlı olarak panel gücü de düşmektedir. Fotovoltaik panellerde verimliliği etkileyen iki önemli faktör olan soğutma ve zenit açısı ayarı birlikte uygulandığında, panel verimlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (H.B. Demir and A.O. ÖZKAN, 2019). Şekil 4.17’de seçilen PV modülün çeşitli sıcaklıklardaki I-V karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Seçilen PV modülün çeşitli sıcaklıklardaki I-V karakteristikleri

4.6 PVsyst Programı

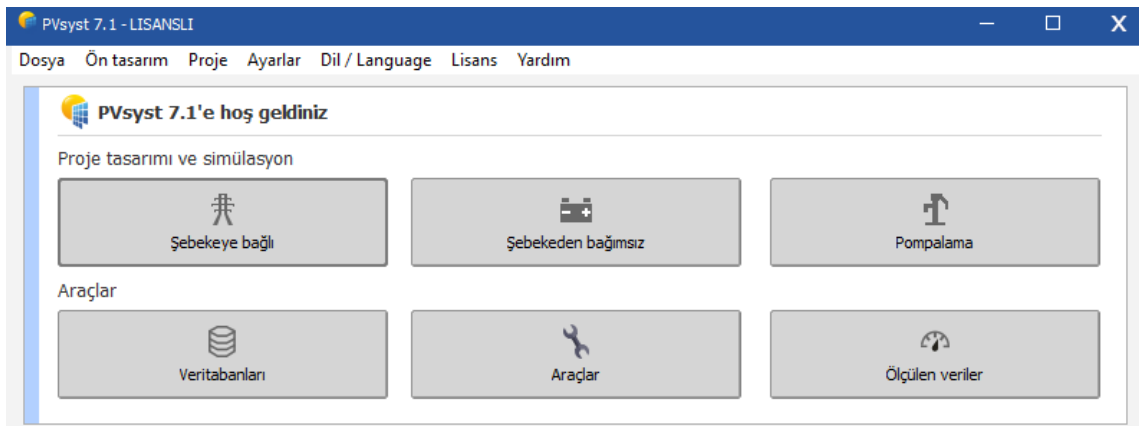
PVsyst programı, komple PV sistemlerinin incelenmesi, boyutlandırılması ve veri analizi için bir bilgisayar yazılım paketidir. Şebekeye bağlı, bağımsız, pompalama ve DC-şebeke (toplu taşıma) PV sistemleriyle ilgilenir ve kapsamlı meteoroloji ve PV sistem bileşenleri veritabanlarının yanı sıra genel güneş enerjisi araçlarını içerir.

Bu yazılım mimarların, mühendislerin, araştırmacıların ihtiyaçlarına yöneliktir. Ayrıca eğitim öğretim için de çok yararlıdır (https://www.pvsyst.com/help/general_descr.htm)

PVsyst programı, eksiksiz bir araç setiyle eksiksiz ve hassas PV sistem çalışmasına odaklanır:

- Ön tasarım: Bir projenin ön boyutlandırma adımı.
- Proje Tasarımı ve simülasyon: Ayrıntılı saatlik simülasyonlar kullanılarak kapsamlı sistem tasarımı.
- Meteorolojik Veritabanları: Coğrafi sitelerin oluşturulması ve yönetimi, sentetik saatlik veri dosyasının oluşturulması, saatlik meteorolojik verilerin görselleştirilmesi, meteorolojik verilerin karşılaştırılması, önceden tanımlanmış çeşitli kaynaklardan veya özel dosyalardan meteorolojik verilerin içe aktarılması.
- Araçlar: Hava durumu verilerinin veya güneş geometrisi parametrelerinin tablolarını ve grafiklerini, açık bir gün modeli altında ışımayı, kısmi gölgelemeler veya modül uyumsuzluğu altında PV-dizi davranışı, yönlendirme veya voltaj için araçları optimize etme v.b.

Şekil 4.18'de PVsyst programı ana ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.18 PVsyst programı ana ekran görüntüsü

5. SİSTEM SİMÜLASYONU VE SONUÇLARI

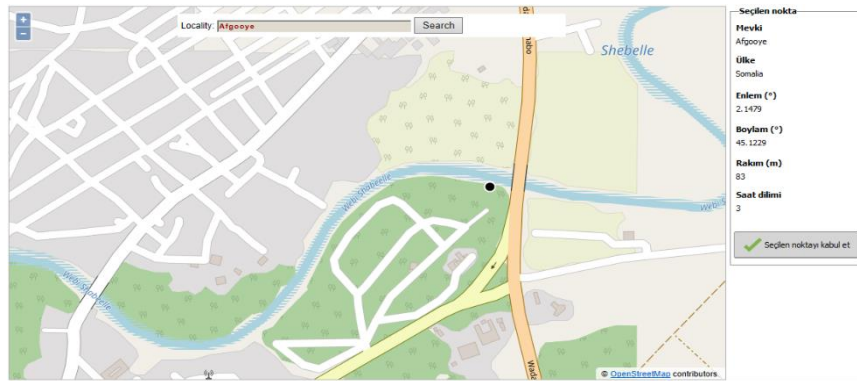
Sistem simülasyonu, alternatif koşulların ve hareket tarzlarının nihai gerçek etkilerini göstermek için kullanılır. Simülasyon, gerçek sistem devreye alınmadığında, erişilebilir olmadığında veya devreye girmesi tehlikeli veya kabul edilemez olabileceğinde veya tasarlanıp henüz inşa edilmediğinde veya basitçe mevcut olmadığında da kullanılır (Nasir, 2016). Tüm bileşenleri ve alt sistemi tasarladıktan ve boyutlandırdıktan sonra, tüm sistem PVsyst yardımıyla simüle edilir. PVsyst, PV sistemlerini tasarlamak ve simüle etmek için en kapsamlı programlardan biri olarak kabul edilir. Diğer programların çoğunun aksine, aynı zamanda güneş enerjili su pompalama uygulamaları için araçlar da içerir.

PVsyst programında, tank depolamalı bir güneş enerjili su pompalama sistemini tasarlamak ve simüle etmek için birincil girdi parametreleri şunlardır: Projenin gerçekleştirileceği yer, bitki suyu gereksinimi ve mevcut güneş enerjisini en uygun şekilde elektrik enerjisine dönüştürmek için PV modüllerinin monte edilmesi gereken eğim açısı.

5.1 PVsyst için Giriş Parametresi

5.1.1 Coğrafi ve meteorolojik veriler

Meteorolojik veriler, bir projenin değerlendirilmesinin başlangıç noktasıdır. Metronom 7.1'den yazılım aracılığıyla toplanan meteoroloji verilerinde kullanılan konum Afgooye, Somali'dir. Aşağıdaki coğrafi koordinat değerlerine sahiptir. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi 2.1479 enlem, 45.1229 boylam ve 83 m yüksekliğe sahiptir



Şekil 5.1 Proje konumu

Coğrafi koordinat parametreleri, PVSyst yazılımında, aylık global yatay ışınım, ortam sıcaklığının aylık ortalamaları dahil olmak üzere minimum meteorolojik verileri elde etmek için kullanılır. Dosya ayrıca isteğe bağlı verileri, aylık diffüz yatay ışınımı ve aylık ortalama rüzgâr hızını da içerebilir. Çizelge 5.1’de PVSyst yazılımında kullanılan Afgooye bölgesi için iklim verilerini göstermektedir.

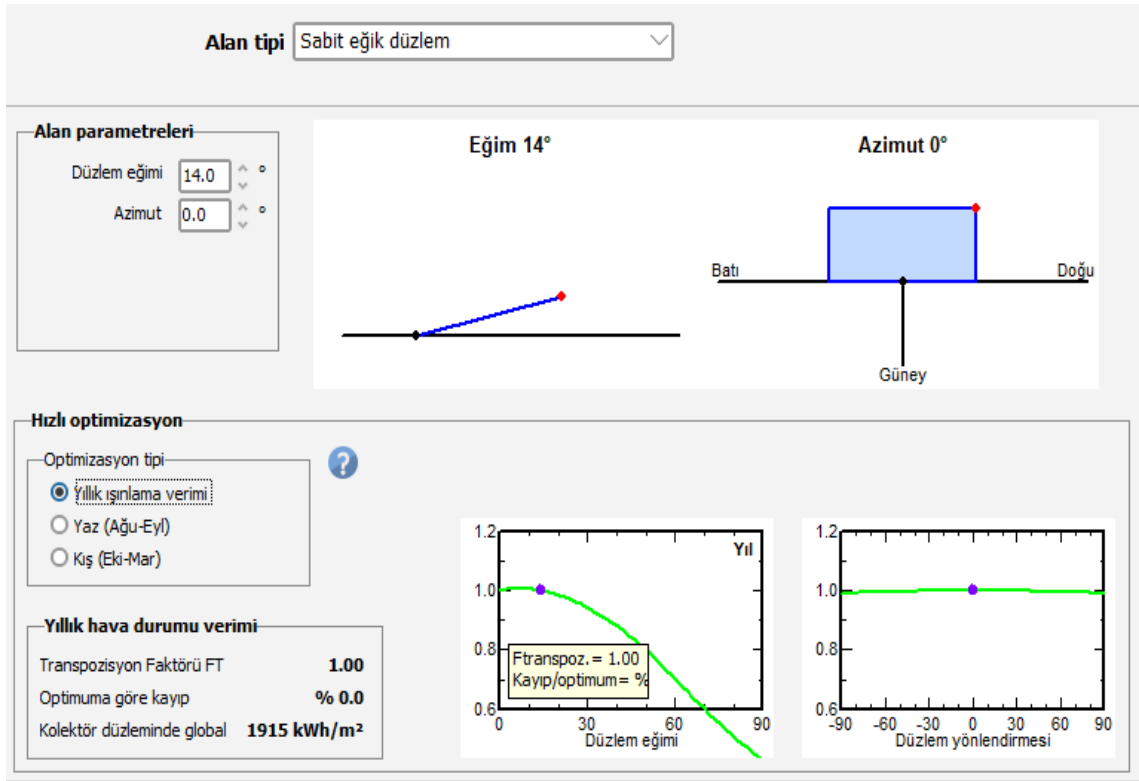
Çizelge 5.1 PVSyst yazılımında kullanılan Afgooye bölgesi için iklim verileri

	Global yatay ışınlama	Yatay difüz ışınlama	Sıcaklık	Rüzgar hızı
	kWh/m ² /gün	kWh/m ² /gün	°C	m/s
Ocak	5.67	2.45	28.6	1.70
Şubat	5.73	2.57	29.7	2.10
Mart	5.58	2.55	30.4	2.71
Nisan	5.47	2.53	29.3	3.20
Mayıs	5.17	2.50	28.6	4.10
Haziran	4.71	2.56	26.6	4.79
Temmuz	4.59	2.49	26.5	4.80
Ağustos	4.75	2.70	26.4	4.90
Eylül	5.36	2.38	27.0	4.50
Ekim	5.16	2.48	28.6	3.81
Kasım	5.33	2.49	27.9	1.89
Aralık	5.54	2.44	28.3	1.40
Yıl	5.25	2.51	28.2	3.3

5.1.2 Düzlem yönlendirme

Modülün güneş yönüne göre yönelimi, modül yüzeyine düşen güneş ışığının yoğunluğunu belirler. Bunu açıklamak için iki ana parametre tanımlanmıştır. Birinci parametre eğim açısı ve ikinci parametre ise azimut açısıdır.

Optimum dizi yönü, sahanın enlemine, hâkim hava koşullarına ve karşılanacak yüklere bağlı olacaktır. Şekil 5.2 sistemden en yüksek verimi elde etmek için tanımlanmış sistem özelliklerini göstermektedir.



Şekil 5.2 PV sistemi yönelimi

PVsyst'nin önerilerine göre, PV sistemi yönelimi 14° eğimli ve güneye doğru 0° doğrultulu yüzey, maksimum yıllık verim sağlamakta ve optimuma göre kayıp % 0 olmaktadır.

5.1.3 Günlük su ihtiyacı

Sulama için gerekli su miktarı birçok faktöre bağlıdır. Mahsul türü, sulama suyu ihtiyacını belirleyen önemli faktörlerden biridir. Ayrıca sulanacak tarlanın büyüklüğü de su ihtiyacını etkileyen bir diğer parametredir. CropWat yazılımı kullanılarak günlük sulama suyu ihtiyacı Bölüm 4.5.2'de belirlenmişti. Buna göre günlük su ihtiyacı 82 m^3 'tür.

Tüm bu girdiler bilindikten sonra, tasarım aşağıda açıklandığı gibi adım adım yapılır.

- Kullanıcının yıl boyunca sabit olabilen veya mevsimsel veya aylık değişkenlik gösteren su ihtiyaçlarının tanımı
- Depolama tankının özellikleri
- Kuyu veya nehrin dinamik davranışı

- PV sistem
- Motorlu pompa cihazı
- Güç düzenleme yöntemi

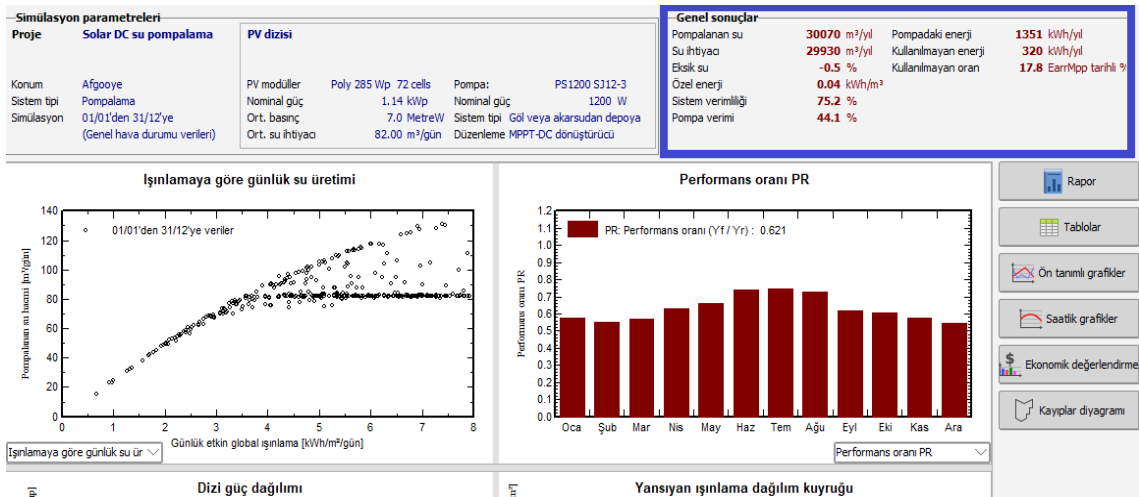
Bu çalışmada, güneş enerjili su pompalama sisteminin iki konfigürasyonunu simüle etmek için PVsyst 7.1 yazılımı kullanılmıştır. PV pompalama sisteminin tasarım ve simülasyon sürecinde, PV panellerinin serbest ufuk ile gölgelenmediği varsayılmış ve simülasyonlar mümkün olan maksimum yıllık su talebine göre gerçekleştirilmiştir. Pompalar ve PV panelleri, mümkün olan maksimum yıllık talepleri karşılamak için PVsyst yazılım veri tabanından seçilmiştir.

Aşağıdaki bölümde, muz çiftliği için su gereksinimlerini karşılamak üzere hem DC pompa hem de AC pompa ile tasarlanmış güneş enerjili su pompalama sistemlerinin saha özellikleri ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

5.2 DC Su Pompalama Sisteminin Simülasyon Sonuçları

Sulama suyu gereksinimleri ile su temini arasındaki eşleşmeyi ölçmek için dinamik simülasyonlar yapılmıştır. DC ile çalışan pompalama sistemi için ana sonuçların özeti Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre, muz plantasyonu için yıllık su talebi 29930 m³ iken, pompalama sistemi yaklaşık 30070 m³ tedarik edebiliyor ve bu da yaklaşık % 0,5'lik bir eksik su (ihtiyaç duyulduğu halde sağlanamayan su) vermektedir. Eksik su şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\text{Eksik Su (\%)} = \left(\frac{29930 - 30070}{30070} \right) \times 100 = -0.4655 \approx -0.5\%$$



Şekil 5.3 DC su pompalama sistemi için ana sonuç özeti

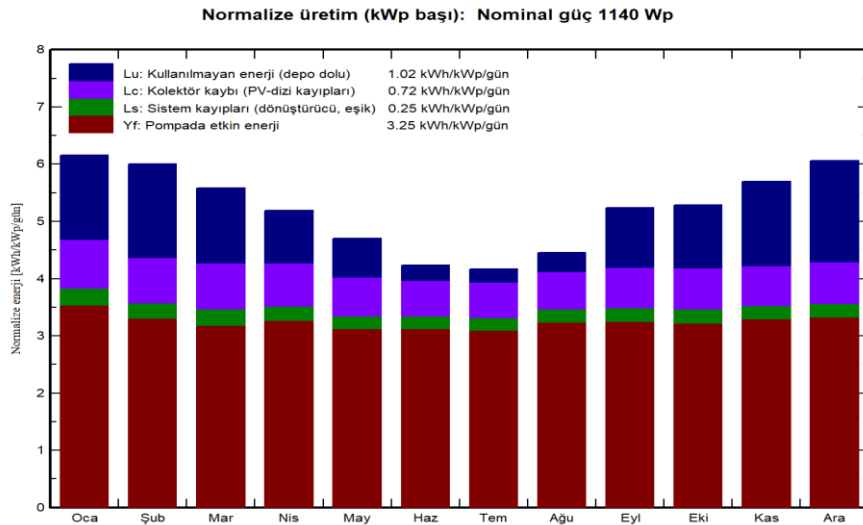
Çizelge 5.2 diğer verilerin yanı sıra pompalanan ve eksik suyun aylık dağılımını göstermektedir. Buradaki önemli husus, muz ağaçlarına kritik minimum etkili su tedarikinin olduğu ayı belirlemektir.

Çizelge 5.2: DC su pompalama sisteminde pompalanan ve eksik suyun aylık dağılımı

**Afgooye için DC su pompalama
Bilanço ve genel sonuçlar**

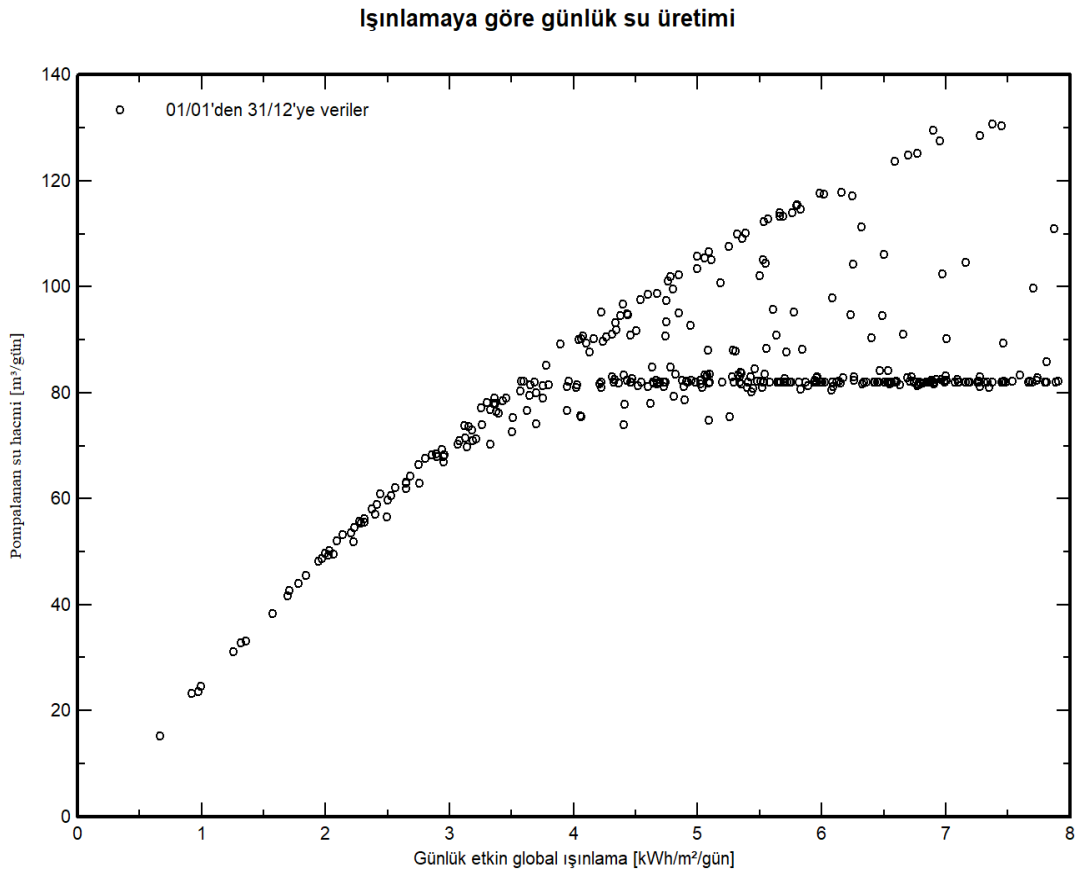
	GlobEff kWh/m ²	EArrMPP kWh	E_PmpOp kWh	ETkFull kWh	H_Pump MetreW	WPumped m ³ /gün	W_Used m ³ /gün	W_Miss m ³ /gün
Ocak	186.5	177.9	124.9	39.50	7.236	86.62	82.00	0.000
Şubat	163.9	155.9	105.5	38.44	7.221	81.98	82.00	0.000
Mart	168.4	159.7	112.3	33.84	7.199	79.86	82.00	0.000
Nisan	150.7	146.1	111.8	24.21	7.183	83.16	82.00	0.000
Mayıs	140.2	138.1	110.3	18.78	7.172	80.82	82.00	0.000
Haziran	121.7	121.8	106.9	7.16	7.149	82.53	82.00	0.000
Temmuz	124.0	124.0	109.5	6.44	7.157	81.42	82.00	0.000
Ağustos	133.1	132.4	114.6	9.46	7.169	84.23	82.00	0.000
Eylül	152.3	148.5	111.2	27.27	7.191	81.96	82.00	0.000
Ekim	159.3	153.8	113.7	28.93	7.188	81.56	82.00	0.000
Kasım	166.5	161.6	112.7	38.31	7.209	82.46	82.00	0.000
Aralık	183.6	176.9	117.4	47.66	7.236	82.00	82.00	0.000
Yıl	1850.3	1796.7	1350.7	319.99	7.190	82.38	82.00	0.000

Bitkiye etkili su temini, yağmur suyu ve sulama sistemi tarafından sağlanan suyun bir kombinasyonudur. Şekil 5.4, önerilen güneş enerjili su pompalama sisteminin enerji dengesini göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, kullanılmayan enerji düşüktür ve sistem ve toplama kayıpları daha düşük görünmektedir. Bunun nedeni, sistemin yıl içinde mümkün olan maksimum su üretim hacmine göre tasarlanmasıdır.



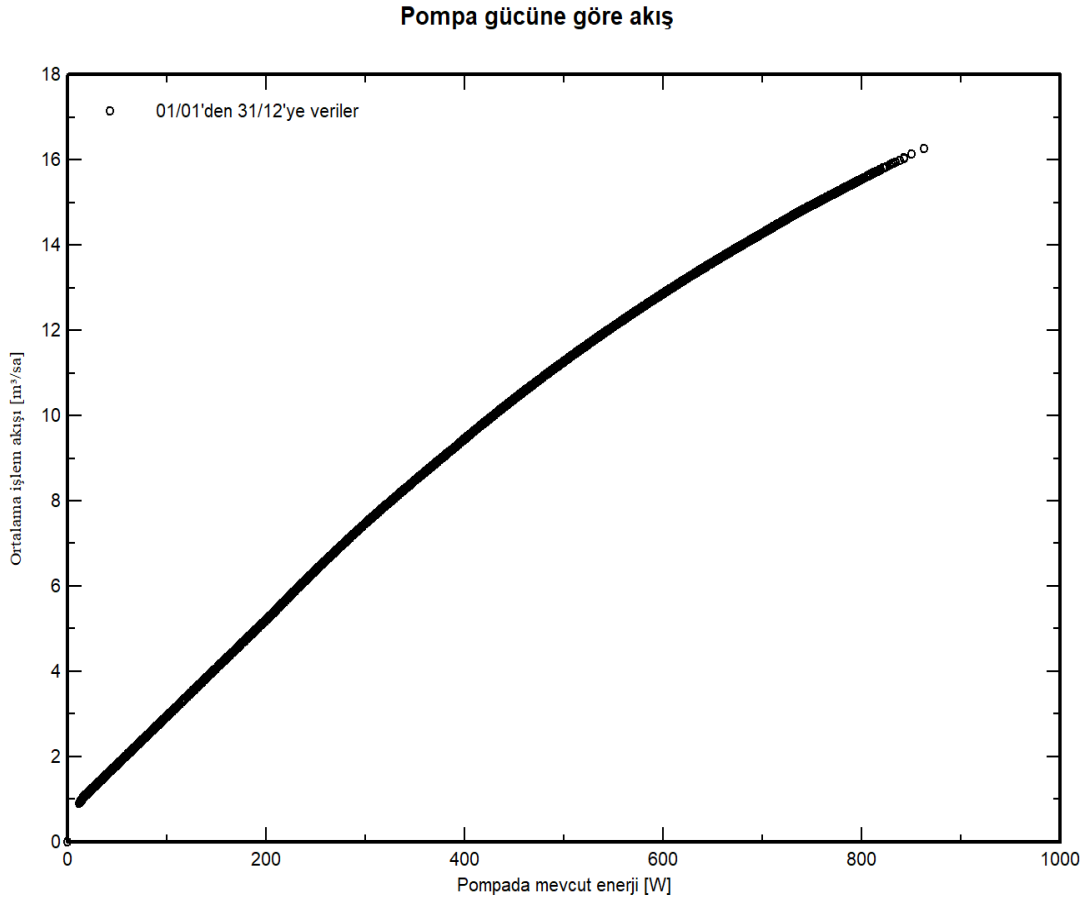
Şekil 5.4 DC su pompalama sisteminin enerji dengesini

Aşağıda verilen Şekil 5.5'te DC konfigürasyon için PVsyst programı tarafından üretilen simüle edilmiş veriler gösterilmiştir. Güneş ışınlarının değişen hareketine bağlı olarak, baştan sona sağlıklı bir ortalama değer gözlense de yanıtta farklılıklar olduğu görülebilir. Simülasyon süreci aylık, günlük veya saatlik bazda çalışır. Meteo dosyasını seçtikten sonra, bunları “Grafikler” ve “Tablolar” olarak görselleştirme imkânına sahip olursunuz. Her ikisi de saatlik, günlük veya aylık değerler olabilir. Şekil 5.6 simüle edilmiş hava durumuna göre günlük su üretiminin ve ışınımın sonucunu göstermektedir.



Şekil 5.5 Mevcut ışımaya karşı günlük su üretimi

Şekil 5.6 akış hızı ile pompadaki mevcut enerji arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir. Ek olarak, bu şekil pompanın boyutunun mevcut güce nasıl bağlı olduğunu gösterir. Pompadaki mevcut güç veya pompanın boyutu değişirse akış hızları da değişir. Bu nedenle, otomatik kontrol ve gözlem algoritmasına sahip MPPT denetleyicisi, pompadaki mevcut güce göre pompanın boyutunu ayarlama büyük rol oynar.



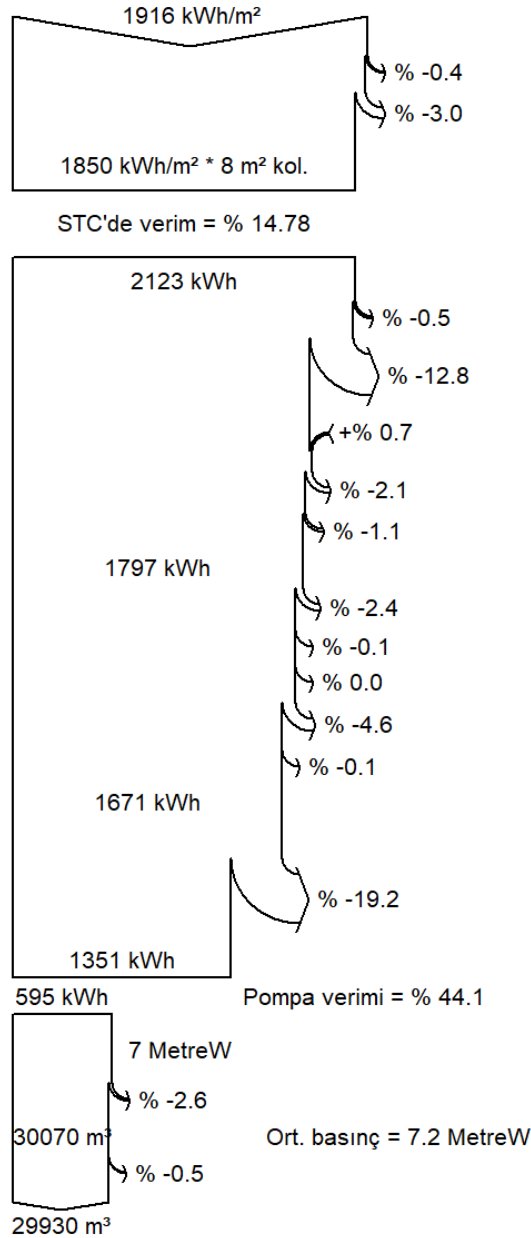
Şekil 5.6 Simüle edilmiş suyun akış miktarı ve pompanın güç karakteristik grafiği

DC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı Şekil 5.7'de verilmiştir. Sistem kaybı diyagramı Şekil 5.7'de gösterildiği gibi, güneş radyasyonundan su üretimine kadar tüm büyük ve küçük kayıpları göstermektedir. Kayıp diyagramı, ana kayıp kaynaklarını belirleyerek bir PV sistemi tasarımının kalitesine göre hızlı ve öngörü sağlayan bir bakış açısı sağlar. DC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı, belirli kayıpların mevsimsel etkilerini değerlendirmek için yıl boyunca veya her ay için ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Şekil 5.7'de gösterilen sistem kayıp diyagramı, yatay düzlemdeki ortalama yıllık güneş radyasyonunun $1916 \text{ kWh} / \text{m}^2$ olduğunu göstermektedir. Kolektör düzleminde efektif ışığa $1850 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'dir. Daha sonra PV panel hücresi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. PV dönüşümünden sonra, dizi nominal enerjisi 2123 kWh 'dir. PV dizisinin verimliliği, STC koşulunda % 14.78'dir. Elde edilen dizi sanal enerji 1797 kWh 'dir. Elektrik kaybından sonra çıkıştaki mevcut enerji 1671 kWh 'dir. Pompada kullanılan işletme elektrik enerjisi 1351 kWh ve hidrolik enerji 595 kWh 'dir. Yıllık

pompalanan su miktarı 30070 m³'tür. Kullanıcının su ihtiyacından daha fazladır. Bu nedenle, tasarlanan sistem iki hektar muz çiftliğinin sulanmasını sağlar.

"Afgooye için DC su pompalama" için kayıplar diyagramı - yıl



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Dizi nominal enerjisi (STC veriminde)

Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan dönüştürücü kaybı (verim)

Dönüştürücü kaybı, güç sınırı

Dönüştürücü kaybı, aşırı gerilim

Dönüştürücü kaybı, gerilim sınırı

Pompa üretim eşiği altındaki enerji

Elektrik kayıplar (dönüştürücü, alt sınırla)

Kullanılmayan enerji (depo dolu)

Pompa çalışma gücü

Pompadaki hidrolik enerji

Gerekli statik basınç (akışsız)

Sürtünme kaybı

Pompalanan su hacmi

Aralığın başlangıcında/sonunda depolanan :

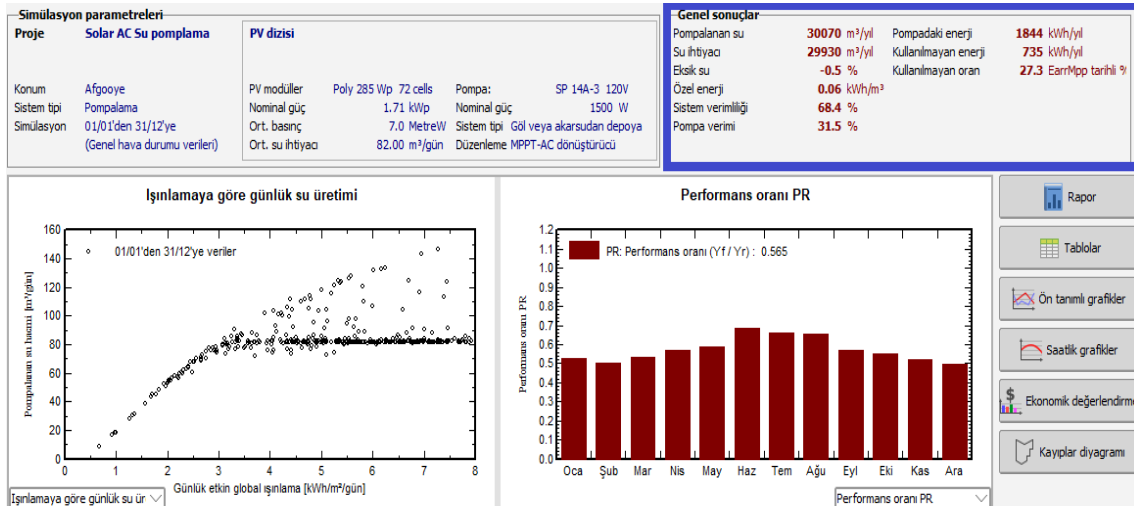
Su ihtiyacı

Şekil 5.7 DC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı

5.3 AC Su Pompalama Sisteminin Simülasyon Sonuçları

PVsyst programı, AC su pompalama olan güneş enerjili su pompalama sisteminin başka bir konfigürasyonunu simüle etmek için de kullanılmıştır. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin her iki konfigürasyonunu tasarlamak ve simüle etmek için birincil girdi parametreleri (coğrafi ve meteorolojik veriler, kullanıcının su ihtiyaçlarının tanımı, depolama tankının karakterizasyonu, nehrin dinamik davranışı, düzlem oryantasyonu ve PV panel sistemi) aynıdır. Fakat ilk konfigürasyonda DC pompa ve DC / DC dönüştürücü kullanılırken, AC su pompalamasında AC pompa ve DC / AC inverter kullanılır. AC motor ile su pompalamada, DC'yi 3 fazlı AC sistemine dönüştürmek için dönüştürücü çıkışını güçlendirmek için bir DC / AC çevirici bağlanır.

Ayrıca, AC su pompalama durumunda, sulama suyu gereksinimi ile su temini arasındaki eşleşmeyi ölçmek için dinamik simülasyonlar gerçekleştirildi. AC su pompalama sistemi için ana sonuçların özeti Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre, muz plantasyonu için yıllık su talebi 29930 m³ iken, pompalama sistemi ile yaklaşık 30070 m³ tedarik edebiliyor ve bu da yaklaşık % 0,5'lük bir eksik su (ihtiyaç duyulduğu halde sağlanamayan su) vermektedir. Bulunan bu sonuç, DC su pompalamada bulunan sonuçla aynıdır.



Şekil 5.8 AC su pompalama sistemi için ana sonuç özeti

Çizelge 5.3'te diğer verilerin yanı sıra, pomplanan suyun ve eksik suyun aylık dağılımını göstermektedir. Ayrıca AC su pompalamasında muz ağaçlarına kritik minimum etkili su tedarikinin olduğu ayı belirlemektir.

Çizelge 5.3 AC su pompalama sisteminde pompalanan ve eksik suyun aylık dağılımı

**AC Su pompalama
Bilanço ve genel sonuçlar**

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	MetreW	m ³ /gün	m ³ /gün	m ³ /gün
Ocak	186.5	266.8	172.1	84.62	7.084	86.60	82.00	0.000
Şubat	163.9	233.8	145.0	79.99	7.077	81.97	82.00	0.000
Mart	168.4	239.5	157.6	71.89	7.070	81.25	82.00	0.000
Nisan	150.7	219.1	152.6	56.66	7.067	82.72	82.00	0.000
Mayıs	140.2	207.1	147.3	49.79	7.064	79.63	82.00	0.000
Haziran	121.7	182.8	148.9	23.81	7.061	84.40	82.00	0.000
Temmuz	124.0	186.0	145.5	30.97	7.056	80.10	82.00	0.000
Ağustos	133.1	198.7	154.4	34.77	7.060	83.96	82.00	0.000
Eylül	152.3	222.7	153.5	59.53	7.068	82.00	82.00	0.000
Ekim	159.3	230.7	155.3	65.91	7.065	81.81	82.00	0.000
Kasım	166.5	242.4	152.5	80.68	7.073	82.20	82.00	0.000
Aralık	183.6	265.4	159.2	96.18	7.083	82.00	82.00	0.000
Yıl	1850.3	2695.0	1843.9	734.80	7.068	82.38	82.00	0.000

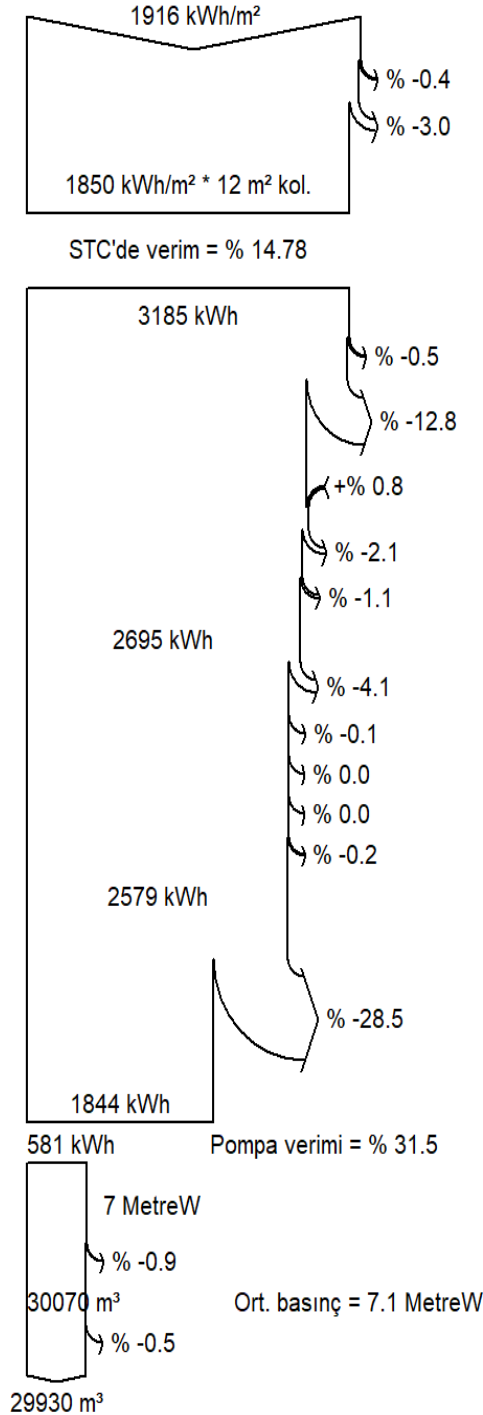
Ayrıca, AC su pompalama durumunda, bitkiye etkili su temini, yağmur suyu ve sulama sistemi tarafından sağlanan suyun bir kombinasyonudur.

AC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekil 5.9'da verilen kayıp diyagramında global yatay ışıma, kolektöre isabet eden etkin ışıma, dizi nominal enerjisi, elektriksel kayıplar, pompa çalışma gücü, pompalanan su hacmi ve su miktarı dahil olmak üzere tüm büyük ve küçük kayıplar bulunmaktadır. Kayıp diyagramı, sistemin ana kayıp kaynaklarını belirleyerek bir güneş enerjili su pompalama sistem tasarımının kalitesini hızlı ve öngörü sağlayan bir bakış açısı sağlar. AC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı, belirli kayıpların mevsimsel etkilerini değerlendirmek için yıl boyunca veya her ay için ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Şekil 5.9'a bakıldığında; DC su pompalamada olduğu gibi yatay düzlemdeki ortalama yıllık güneş radyasyonu 1916 kWh/m², kolektör düzlemindeki etkili ışıma miktarı 1850 kWh/m², PV panelinden sonra dizi nominal enerjisi 3185 kWh'dir. PV dizisinin verimliliği STC koşulunda % 14.78, elde edilen dizi enerjisi 2695 kWh, elektriksel kayıplarından sonra çıkıştaki mevcut enerji 2579 kWh, pompada kullanılan işletme elektrik enerjisi 1844 kWh, hidrolik enerji 581 kWh ve yıllık pompalanan su miktarı ise 30070 m³'tür. Bu miktarda kullanıcının su ihtiyacından daha fazladır. AC su

pompalamada tasarlanan sistem, DC su pompalamada olduğu gibi iki hektarlık bir muz çiftliğinin sulanmasını sağlamaktadır.

"AC Su pomplama" için kayıplar diyagramı - yıl



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Dizi nominal enerjisi (STC veriminde)

Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan dönüştürücü kaybı (verim)

Dönüştürücü kaybı, güç sınırı

Dönüştürücü kaybı, aşırı gerilim

Dönüştürücü kaybı, gerilim sınırı

Pompa üretim eşiği altındaki enerji

Elektrik kayıplar (dönüştürücü, alt sınırla

Kullanılmayan enerji (depo dolu)

Pompa çalışma gücü

Pompadaki hidrolik enerji

Gerekli statik basınç (akışsız)

Sürtünme kaybı

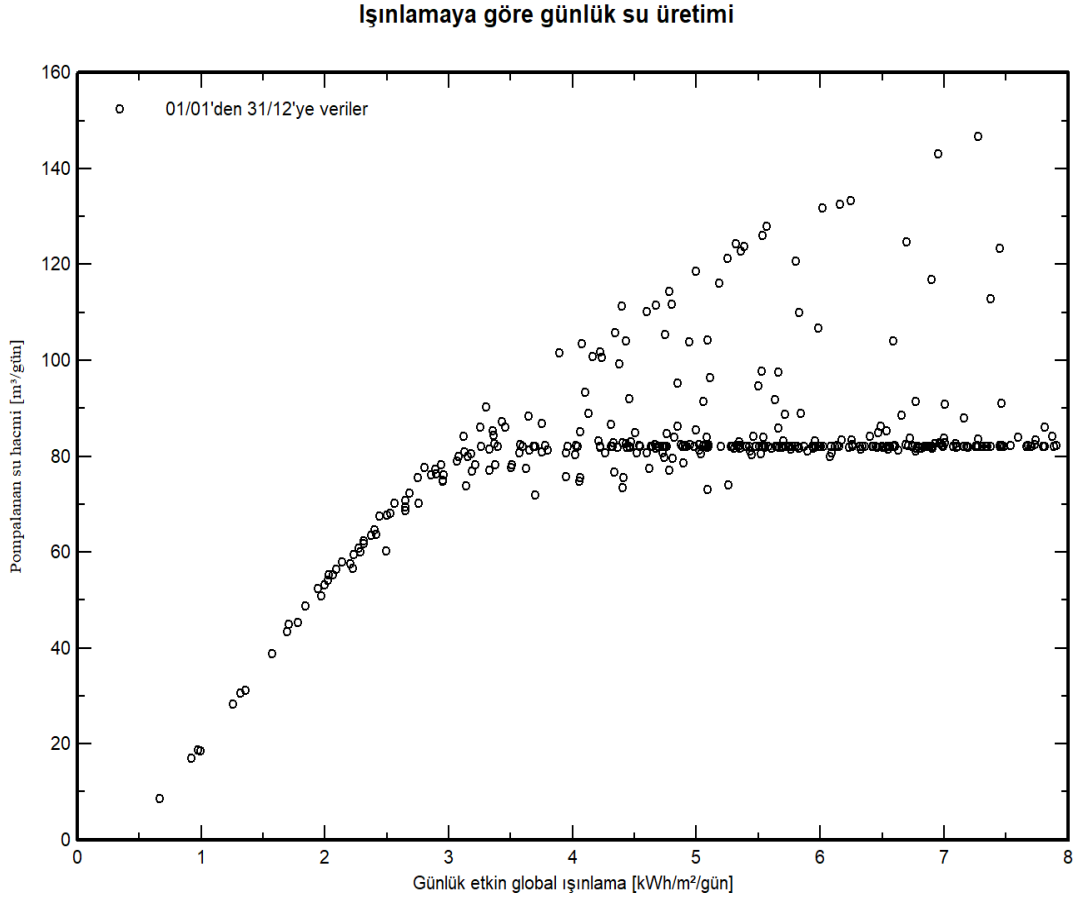
Pompalanan su hacmi

Aralığın başlangıcında/sonunda depolanan :

Su ihtiyacı

Şekil 5.9 AC güneş enerjili su pompalama sisteminin kayıp diyagramı

Şekil 5.10'da AC güneş enerjili su pompalama sistemi için simüle edilmiş hava durumuna dayalı olarak ışımaya göre günlük su üretimini göstermektedir.



Şekil 5.10 Mevcut ışımaya göre günlük su üretimi

6. SİSTEMİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ

Her proje tasarımı için, uygulanabilir olup olmadığına karar vermek için ekonomik değerlendirmesinin de yapılması gerekir. Bu bölümde DC ve AC güneş enerjili su pompalama sistemleri arasında maliyet karşılaştırmaları yapıldı ve güneş enerjili su pompalama sistemlerinin her iki konfigürasyonu için ekonomik değerlendirmesi dizel jeneratörlü su pompalama sistemiyle karşılaştırıldı. Karşılaştırmaya, ilk sermaye maliyetleri (SM), yaşam döngüsü maliyeti (YDM) ve pompalanan suyun m³ maliyeti dâhil edilmiştir. Tasarlanan sistem sadece ekonomik açıdan değil çevresel açıdan da karşılaştırıldı. Dizel jeneratörlü su pompalama sistemleri yerine kullanılan güneş enerjili su pompalama sistemlerinin çevresel etkileri CO₂ emisyonu azaltımı kullanılarak değerlendirildi.

6.1 Ekonomik Analiz

Genel olarak herhangi bir sistem tasarımının ve projesinin seçimi birçok faktöre bağlıdır. Dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri de, sistemin kurulum maliyeti ve düzenli çalıştırılması için gereken maliyetlerin belirlenmesidir.

6.1.1 Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi

Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesini yapmadan önce bilinmesi gereken birçok farklı faktörler vardır. Bunlar arasında, sistem ömrü, iskonto oranı ve varsa belirli kalemlerin farklı enflasyon oranları gibi ekonomik faktörleri içerir. Dikkate alınması gereken diğer önemli bir faktör de, teknik özelliğidir ve güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ana bileşenlerinin kullanım ömrüdür. Tüm sistemin yaşam döngüsüne, sistem bileşenlerinin en uzun değiştirme aralığına bakılarak karar verilir. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinde, PV panel sisteminin kullanım ömrü yaklaşık 20-30 yıl olmasına rağmen, pompa ve invertörün kullanım ömrü 5-10 yılda bir değiştirilmesi gerekebilir (Basalike, 2015). Yukarıda belirtilen iki faktör bilindiğinde; komple sistem için sermaye maliyetleri, yedek parça maliyetleri, yıllık bakım ve onarım maliyetleri ve kurulum maliyetleri belirlenebilir.

Güneş enerjili su pompalama sistemleri için ekonomik değerlendirmede kullanılan başlıca varsayımlar aşağıdaki gibidir (Nasir, 2016; Basalike, 2015).

- ✓ PV panellerin çalışma ömrü 20 yıl olarak kabul edildi.
- ✓ AC güneş pompası ve DC güneş pompasının ömrü sırasıyla 8 ve 10 yıl olarak kabul edildi.
- ✓ Her iki PV panel sistemi için bakım maliyetinin, yıllık toplam sermaye maliyetinin % 0,1'i olduğu varsayılmıştır.
- ✓ PV panel sisteminin kurtarma değeri (bir varlığın faydalı ömrünün sonunda satışından sonra elde edeceği tahmini değer), toplam ilk satın alma maliyetinin %15'idir.
- ✓ Dizel motorun kurtarma değerinin, motorun sermaye maliyetinin % 20'si olduğu varsayılmıştır.
- ✓ Yılda 3000 saat güneşli saatlerin olduğu kabul edilmiştir.
- ✓ Sistemin hiçbir parçası çalınmaz kabul edilmiştir.
- ✓ İskonto oranı % 10 olarak kabul edilmiştir.

Güneş enerjili su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi, sistem bileşenlerine ve konfigürasyonuna (DC veya AC), ayrıca üretilen faydalara bağlıdır. Tipik olarak güneş enerjili su pompalama sistemlerinin kurulumunda yer alan teknik seçimler, DC veya AC pompaların, sabit PV panel veya güneş takip dizilerinin ve pil veya su depolama sistemlerinin kullanımıyla ilgilidir. Hem DC hem de AC güneş enerjili su pompalama sistemleri için sermaye ve kurulum maliyetlerinin değerlendirilmesi sırasıyla Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 DC güneş enerjili su pompalama sisteminin tahmini kurulum maliyeti

Bileşenler	Miktar	Birim Fiyatı (\$)	DC Pompalama
Güneş Modülleri 285 Wp	4	171	684
Montaj Braketi	4	30	120
Pompa kontrolörü	1	500	500
Güneş DC pompası	1	1200	1200
Depolama tankı	1	200	200
Diğer malzemeler			500
Kurulum ve nakliye			1000
Toplam			4204

Çizelge 6.2 AC güneş enerjili su pompalama sisteminin tahmini kurulum maliyeti

Bileşenler	Miktar	Birim Fiyatı (\$)	AC Pompalama
Güneş Modülleri 285 Wp	6	171	1026
Montaj Braketi	6	30	180
Çevirici	1	1000	1000
Solar AC pompası	1	800	800
Depolama tankı	1	200	200
Diğer malzeme			600
Kurulum ve nakliye			1200
Toplam			5006

PV panel sistemi, güç üretmek için bir araya getirilmiş birçok modülün birleşimidir. PV panelin ürettiği gücü, kullanıcının ihtiyaç duyduğu güçle eşleştirmek için ek düzenlemelere ihtiyaç vardır. Bileşenler, DC akım pompası kullanıldığında dönüştürücü veya AC akım pompasının kullanılması durumunda sistem dengesi (BOS) olabilir. Bir PV panel sisteminin maliyetinin ne kadar olduğunu bilmek, PV sisteminin derecelendirmesi; üretici, perakendeci ve sistem kurucusu gibi birçok faktöre bağlıdır ancak en önemli faktör PV panel sisteminin boyutudur. Dahası, PV panel sisteminin maliyeti üretilen Wp başına hesaplanır ve boyut ne kadar büyükse, PV panale sisteminin maliyeti de o kadar yüksek olur (Basalike, 2015). Allaham ve ark.'a göre, PV modülünün Wp başına maliyeti, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanımındaki hızlı artış ve pazara giren birçok PV panel üreticisinin olması nedeniyle 1997-2014 yılları arasında 76.6 \$'dan 0.36 \$'a kadar düşürülmüştür. Somali için PV modülünün en yüksek Wp başına maliyeti 0,6 \$'dır (Allaham ve ark., 2015).

Pompa-motorun maliyeti, gerekli su miktarına ve suyun pompalanacağı yüksekliğe bağlıdır. Muz ağacının sulanması için gerekli pompaların uygun miktarda su sağlaması gerekir. Güneş enerjili su pompalama sistem uygulamaları için DC pompaları, AC pompalardan daha pahalıdır, ancak DC pompaların gerektirdiği DC / DC dönüştürücüler, DC / AC dönüştürücülerden daha ucuzdur. Ayrıca AC pompalar, invertör kayıpları nedeniyle DC pompalardan daha fazla güç tüketir.

İki tür depolama kapasitesi, tank ve pil, güneşin olmadığı zamanlarda daha sonra kullanılmak üzere enerjiyi depolamak için güneş enerjili su pompalama sistemlerle birlikte kullanılır. Seçime bağlı olarak tank yer altına veya yer seviyesinden belirli bir yüksekliğe monte edilebilir (Basalike, 2015). Bu tez çalışmasında, sulama için gerekli

olan basınç ihtiyacını karşılamak için yükseltilmiş su depolama tankı olarak alınmıştır. İhtiyaç duyulan tank, esas olarak kullanılacak suyu en az 3 gün süreyle depolayabilmelidir. Tankın maliyeti büyüklüğüne bağlıdır.

6.1.2 Dizel jeneratörlü su pompalama sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi

Karşılaştırma yapmak için dizel jeneratörlü su pompalama sisteminin ekonomik değerlendirmesi yapıldı. Güneş enerjisiyle dizel jeneratörlü su pompalama sistemleri arasındaki finansal karşılaştırmada, ana soru her iki sistemin finansal maliyetlerinin nasıl hesaplanacağıdır. Bir pompalama sisteminin tüm maliyet analizleri, sermaye maliyeti, işletme maliyeti ve bakım ve değiştirme maliyetinden (M & R) oluşan yıllar içinde belirli bir ömür beklentisine sahiptir (Girma, 2015).

Dizel motorlu pompanın ekonomik değerlendirmesinin yapılmasında birçok varsayımlar yapılmıştır (Nasir, 2016). Pompanın günde 5 saat çalıştığı varsayılmış; pompa verimliliği % 60 ve pompa her 10 yılda bir değiştirileceği düşünülmüştür. Güneş enerjili su pompalama sistemleriyle aynı iskonto oranının % 10 olduğu varsayılmıştır. Ayrıca dizel pompanın bakım maliyetinin yıllık sermaye maliyetinin % 10'u olduğu kabul edilmiş ve dizel motorun kurtarma değerinin motorun sermaye maliyetinin % 20'si olduğu varsayılmıştır. Komponentli 3 Hp dizel motor maliyeti 2500 \$ ve 0.6 litre dizel / kW tüketir. Somali'de şu anki güncel dizel yakıt fiyatı 0.5 \$ / litredir.

Yıllık yakıt maliyeti = Özgül yakıt tüketimi * Bir yıldaki toplam çalışma saati * Yakıt oranı
= (0.6 litre/saat) * (5 saat/gün*365 gün/yıl) * (0.5 \$/litre) = 547.5 \$/yıl

Dizel jeneratörün 20 yıllık yakıt tüketim maliyeti =(20 Yıl) * (547.5 \$/yıl) = 10950 \$.

6.1.3 Sistemin yaşam döngüsü maliyet analizi

Yaşam döngüsü maliyet analizi, bir projenin tüm kullanım ömrü boyunca ekonomik performansını değerlendirme sürecidir. Bir pompalama sisteminin tüm maliyetleri, sermaye maliyeti, işletme maliyeti ve bakım ve değiştirme maliyetinden oluşan yıllar içinde belirli bir ömür beklentisine sahiptir ve bu maliyetlerin tümü, yaşam döngüsü maliyetini ifade eder. Yaşam döngüsü maliyet analizi, MS Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü maliyeti aşağıda verilen Eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanabilir:

$$LCC = CC + MC + EC + RC - SC \quad 6.1$$

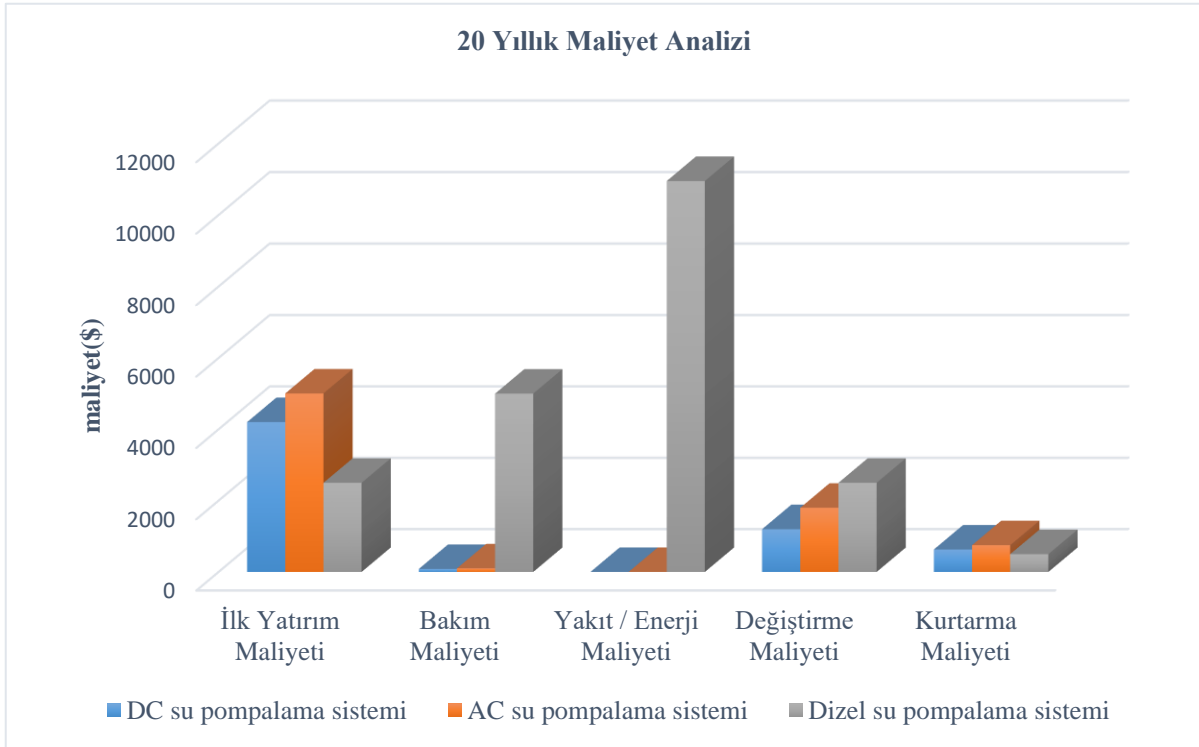
Burada; CC; bir projenin sermaye maliyeti (ekipman, sistem tasarımı, mühendislik ve kurulum için ilk sermaye gideri). MC, bakım maliyeti (yıllık işletme ve bakım maliyetlerinin toplamı). EC; bir sistemin enerji maliyeti (yıllık yakıt maliyetinin toplamı). RC; değiştirme maliyeti (sistemin kullanım ömrü boyunca beklenen tüm bakım-onarım ve ekipman değiştirme maliyetlerinin toplamı). SC; bir sistemin kurtarma değeri.

Her iki sistemin maliyet analizini elde etmek ve optimum bir sonuç için aşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerekir. Çizelge 6.3'te Afgooye bölgesi için yaşam döngüsü maliyet analizi AC güneş enerjili su pompalama, DC güneş enerjili su pompalama ve dizel jeneratörlü su pompalama sistemleri arasında karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 3 farklı sistemin yaşam döngüsü maliyet analizinin karşılaştırılması (Eşitlik 6.1)

Maliyetler (\$)	DC su pompalama sistemi	AC su pompalama sistemi	Dizel su pompalama sistemi
İlk Yatırım Maliyeti	4204	5006	2500
Bakım Maliyeti	84.08	100.12	5000
Yakıt / Enerji Maliyeti	Yok	Yok	10950
Değiştirme Maliyeti	1200	1800	2500
Toplam tutar	5488.08	6906.12	20950
Kurtarma Maliyeti	630.6	750.9	500
Yaşam Döngüsü Maliyeti	4857.48	6155.22	20450

3 farklı sistemin Çizelge 6.3'te verilen yaşam döngüsü maliyet analizlerini sütun grafiğinde görsel olarak Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

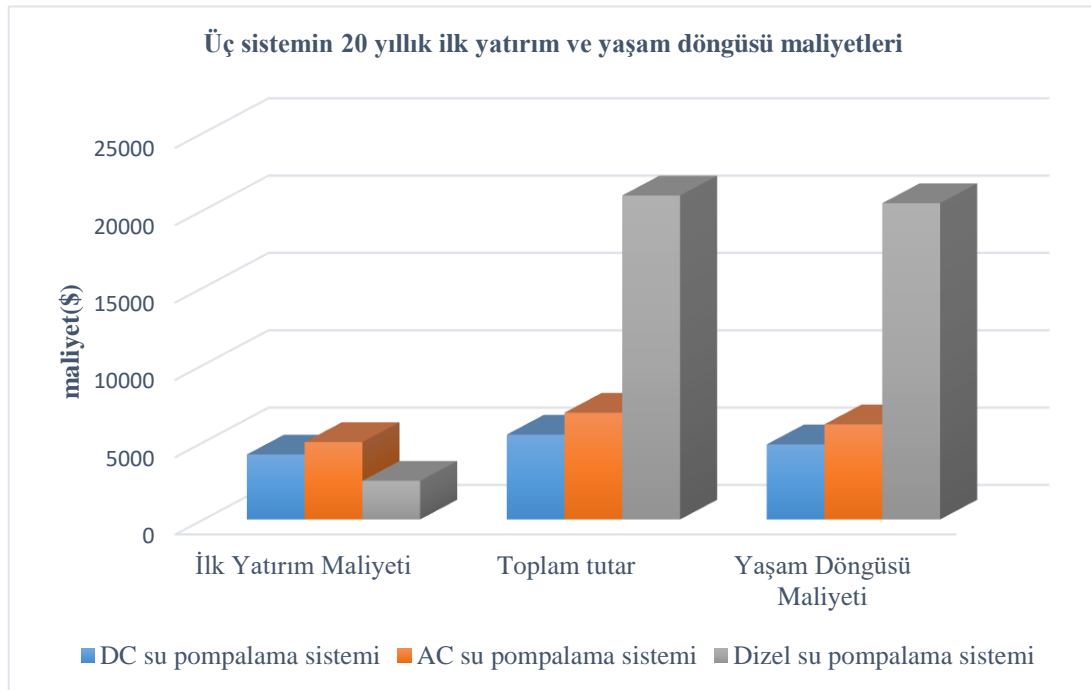


Şekil 6.1: 3 farklı sistemin yaşam döngüsü maliyetlerinin karşılaştırılmasının sütun grafiği olarak gösterilmesi

Şekil 6.1’de gösterildiği gibi hem AC su pompalama hem de DC su pompalama sistemleri dizel jeneratörlü su pompalamasından daha yüksek başlangıç maliyetlerine sahiptir ancak yinelenen maliyetlerinin mevcut maliyetlere göre düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte daha düşük işletme ve bakım maliyetleri gibi uzak alanlarda, daha fazla güvenilirlik ve aynı zamanda PV panel sistemlerinin daha uzun beklenen kullanım ömrü, PV panel sistemlerinin daha yüksek başlangıç maliyetini ekonomik olarak gerekçelendirebilmektedir. Her iki sistemin yaşam döngüsü maliyetlerinin karşılaştırılması da dizel jeneratörlü sistem için işletme ve bakım maliyetinin ve yakıt maliyetinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla güç kaynağının suyu pompalamak için tasarlanmasında herhangi bir sistemin yaşam döngüsü maliyet analizinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bedava bir güç kaynağı olan güneşin dışında yüksek bir fiyata sahip olan mazot bulunmaktadır ve akaryakıt fiyatlarının arttığı düşünülürse verilen bu rakamların artmaya devam edeceği söylenebilir.

Ayrıca Şekil 6.1’deki çubuk (sütun) grafik, dizel jeneratörlü sistemin yakıt maliyetinin, işletim ve bakım maliyetinin, değişirme ve sermaye maliyetleri gibi PV panel sistem maliyetlerine oranla gerçekten yüksek olduğunu göstermektedir. Her 3

sistem için 20 yıllık yaşam döngüsü ve ilk yatırım maliyetleri sütun grafiği şeklinde Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2: 3 sistemin 20 yıllık ilk yatırım ve yaşam döngüsü maliyetleri

Hem AC hem de DC güneş enerjili su pompalama sistemleri için ekonomik analiz PVsyst yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Her iki su pompalama sistemi tarafından pompalanan suyun m³ maliyeti hesaplanmış ve iki konfigürasyon için ekonomik analiz özeti Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4 İki konfigürasyon için PVsyst yazılımı kullanılarak ekonomik değerlendirme analiz özeti

Su ve enerji maliyeti	DC su pompalama sistemi	AC su pompalama sistemi
Toplam kurulum maliyeti	4204.00 \$	5006.00 \$
İşletme maliyetleri	84.08 \$ / yıl	100.12 \$ / yıl
Pompalanan su miktarı	30070 m ³	30070 m ³
Pompalanan suyun maliyeti	0.16 \$ / m ³	0.22 \$ / m ³

DC ve AC güneş enerjili su pompalamalama sisteminin uygulanabilirliğini göstermek için, dizel jeneratörlü su pompalama sistemi tarafından pompalanan suyun

m^3 maliyeti, LCC analizine dayalı olarak yıllık ödeme maliyet yöntemi kullanılarak hesaplanır (Girma, 2015).

$$\text{Pompalanan suyun } m^3 \text{ maliyeti} = \frac{\text{Sistemin yıllık maliyeti}}{\text{Pompalanan toplam su miktarı}}$$

Dizel jeneratörlü su pompalama sisteminin yıllık yaşam döngüsü maliyeti 20450 \$ ve toplam pompalanan su miktarı 30070 m^3 /yıl olarak kabul edildiğinden dizel jeneratörlü su pompalama sistemi için su maliyeti 0.68 \$/ m^3 'tür.

Tasarlanan iki konfigürasyon (DC su pompalama ve AC su pompalama) sistemleri için toplam tahmini maliyet sırasıyla 4204 \$ ve 5006 \$'dır. 20 yıllık tahmini hizmet ömrüne dayalı olarak, DC sistem için tahmini yıllık maliyet 84.08 \$ ve AC sistem için 100.12 \$'dir. DC su pompalama durumunda öngörülen sistem ömür boyu üretimine göre, eşdeğer su maliyeti m^3 başına 0.16 \$ ve AC su pompalaması durumunda m^3 başına 0.22 \$'dir. Her iki su pompalama sistemi dizel su pompalama sisteminden daha uygun maliyetlidir (0.68 \$).

6.2 Çevre Analizi

Küresel ısınmanın temel nedeni, farklı enerji kaynaklarından salınan CO_2 emisyonudur. Yayılan CO_2 miktarı, üretilen enerjiye ve dönüştürme için kullanılan güç teknolojisine bağlıdır. Elektrik için kilovat-saat (kWh) başına salınan CO_2 miktarı, üretim yöntemine bağlıdır; Nükleer enerjide CO_2 emisyonu yoktur veya önemsiz bir miktardır, kömürden üretilen enerji gaza kıyasla çok fazla CO_2 üretmektedir (Saleem, 2012). PV panel teknolojisi CO_2 emisyonu içermez. CO_2 emisyonlarının hesaplanması, sulama amaçlı su pompalamak için kullanılan dizel jeneratörlü su pompalama sistemleri dikkate alınarak yapılmıştır. Dizel jeneratörlü su pompalama sistemlerinde CO_2 emisyon miktarı yıllık olarak elde edilmiştir ve 2597 kg CO_2 emisyonuna eşdeğerdir.

Dizel jeneratörlü su pompalama sistemleri tamamen güneş enerjili su pompalama sistemleriyle değiştirildiğinde salınan CO_2 emisyonları ve bunlara karşılık gelen azalmalar hesaplanmış ve Çizelge 6.5'te özet halinde gösterilmiştir. HOMER programına göre, dizel jeneratörlü sistemler yerine güneş enerjili sistemler kullanıldığında yılda toplam 2597 kg CO_2 emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır. <https://www.worldometers.info>'ya göre, Somali'deki fosil CO_2 emisyonları 2016'da

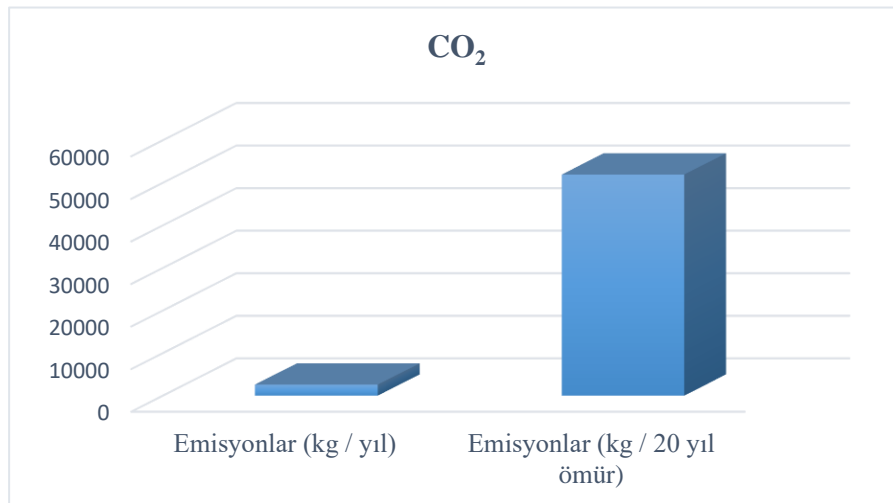
1.268.442 ton idi. Güneş enerjili su pompalama sistemleri kullanılarak tasarruf edilen CO₂ emisyonu miktarı, CO₂ emisyonlarının yıllık olarak azaltılmasına ve hatta birçok çiftçinin sulamada güneş teknolojisini kullanımını benimsemesi daha da fazla katkıda bulunacaktır. Dizel jeneratörlerin PV panellerle değiştirilmesi, yanma süreci nedeniyle özellikle hava kalitesi üzerinde önemli bir çevresel etkiye sahip olacaktır. HOMER, dizel jeneratör motorundan yayılan farklı kirletici maddelerin yıllık emisyon miktarları Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 Dizel jeneratör motorundan yayılan farklı kirletici maddelerin yıllık emisyon değerleri

Kirletici	Emisyonlar (kg / yıl)	Emisyonlar (kg / ömür)
Karbon dioksit	2597	51940
Karbon monoksit	35	700
Yanmamış hidrokarbonlar	1.54	28
Partikül madde	0.210	4.2
Kükürt dioksit	13.7	274
Azot oksitler	32.9	658

Çizelge 6.5'te, dizel jeneratör motorundan salınan CO₂ miktarının çok yüksek olduğunu ve aynı zamanda küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.3'te sistemin yıllık ve 20 yıllık CO₂ emisyon oranları gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Sistemin yıllık ve 20 yıllık CO₂ emisyon oranları

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Somali’de hayvancılık, GSYİH’in yaklaşık % 40’ını ve ihracat gelirlerinin % 50’sinden fazlasını sağlamaktadır. Tarım, ikinci en önemli ekonomik sektördür. Somali’nin tarım sektörü büyük ölçüde yağmurla beslenen tarıma bağımlıdır. Çiftçilerin çoğunluğunun yağmurla beslenen tarıma ve meralara olan bu bağımlılığı, ekonomiyi hava koşullarının değişkenlerine karşı son derece savunmasız hale getirmektedir. Sonuç olarak, bitkinin yetişme süresi boyunca yağmurların başarısız olması ve kuraklık meydana gelmesi, düzenli olarak ciddi gıda kıtlığına ve hayvan kaybına neden olmuştur (Ulusal kaynaklar Bakanlığı, 2013). Bazı çiftçiler maliyetli bir işlem olan sulama ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla nehirden su almak için dizel jeneratörlü motor kullanmaktadır. Güneş enerjili su pompalama sistemi, Somali’deki kırsal ve tarım sektörlerinin sürdürülebilir kalkınmasını desteklemek ve iklim değişikliğinin IWR (bitki sulama ihtiyacı) üzerinde gelecekte öngörülen olumsuz etkileriyle yüzleşmek için yenilenebilir enerji temelli bir çözümdür. Güneş enerjili su pompalama sistemi, özellikle uzak bölgelerdeki çiftçilerin gelirlerini ve dolayısıyla yaşam koşullarını iyileştirmek için kar elde ederken çölleşmeyi önleme kabiliyetine sahiptir.

Bu tez çalışması, Afgooye bölgesindeki bir çiftliği örnek olay olarak Somali’deki güneş enerjili su pompalama sistemlerinin tasarımına ve ekonomik analizine odaklanmıştır. Depolama tankları ile donatılmış AC su pompalama ve DC su pompalama sistemleri gibi iki farklı konfigürasyon tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Tasarlanan iki su pompalama sistemi, günlük 82 m³ su ihtiyacı ile 6 saat içinde iki hektar bir muz alanını sulayabiliyordu. Ürünün su ihtiyacı CropWat yazılımından elde edildi. Kullanılan diğer araç ise, incelenen bölge olan Afgooye’nin (Somali) meteorolojik verilerini belirlemek için PVsyst programı kullanılmıştır. Pompanın enerji gereksinimlerini karşılayacak kadar güneş enerjisinin mevcut olmasından sonra, aynı PVsyst programı, depolama tankıyla bir DC su pompalaması ve AC su pompalaması tasarlamak ve simüle etmek için de kullanılmıştır. PVsyst programında tasarım ve simülasyon sırasında, hem depolama tankı ile donatılmış DC su pompalama hem de AC su pompalama için güneş ışınımı ve enerji fazlalığı elde edilmiş ve PV panelinin sabit eğimli monte edilmesiyle karşılaştırılmıştır.

Ekonomik açıdan yaşam döngüsü maliyetleri ve pompalanan suyun m³ maliyeti, iki konfigürasyon dizel jeneratörlü su pompalama sistemleriyle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Son olarak, dizel jeneratörlü sistemden kaynaklanan CO₂ emisyon değerleri güneş enerjili sistemlerle değiştirildiğinde bunlara karşılık gelen azalmalar belirlenmiş ve tartışılmıştır. Bu yüksek lisans tezinin ana sonuçları aşağıda sunulmuştur:

- ✚ Ürün sulama suyu ihtiyacının ve mevcut güneş kaynaklarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin optimum tasarımı için çok önemlidir. Ayrıca, pompalanan suyun mevcut su kaynakları ve mahsul verimliliği üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi, tasarımın teknik başarısının doğrulanması için çok önemlidir. Güneş enerjili sistemlerin boyutu, sulanacak mahsulün türüne ve su gereksinimlerine göre belirlenir.
- ✚ PV panel modül fiyatlarının düşmesiyle, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin geleneksel şebekeden bağımsız su pompalama teknolojilerinden daha rekabetçi hale gelmiştir.
- ✚ PV panel gücü, Somali'nin hemen hemen tüm bölgelerinde küçük ölçekli sulama için daha güvenilirdir. Bunun nedeni, güneş enerjisinin ürünleri sulamak için su talebiyle aynı fazda olmasıdır. İkinci olarak; Somali, yıl boyunca bol miktarda güneş enerjisi kaynağına sahiptir. Örnek olay bölgesinde yatay günlük ortalama güneş radyasyonu yaklaşık 5.25 kWh/m²'dir ve bu da PV panelinin kullanımı için çok ümit vericidir.
- ✚ CropWat programı kullanarak günlük tüketilen su miktarı açısından en az ve en çok su tüketen bitkiler belirlenmiş ve bölgedeki yaygın olan bitkilerin sulama suyu ihtiyaçları hesaplanmıştır. Şeker kamışı yıllık net sulama ihtiyacı 1152.7 mm/yıl ve brüt sulama ihtiyacı 1646.7 mm/yıl tüketerek en fazla sulama suyu ihtiyacı olan tarım ürünü olarak tespit edilmiştir. Karpuz da yıllık net sulama ihtiyacı 404.8 mm/yıl/ha ve brüt sulama ihtiyacı 578.6 mm/yıl/ha su tüketimi ile en az su tüketen bitki olarak seçilmiştir.
- ✚ Hem DC hem de AC güneş enerjili su pompalama sisteminin tasarımında, günlük 82 m³ su gereksinimi ile 6 saat içinde 2 ha muz alanı sulanabilmektedir.
- ✚ Çalışmanın sonuçları, 20 yıllık DC su pompalama ömrü dikkate alındığında PV sisteminin yaşam döngüsü maliyetinin 4857.48 \$ olduğu tespit edilmiş, güneş enerjili sistemler kullanılarak mahsullerin sulanmasının dizel jeneratörlü motorlara kıyasla faydalı ve uzun vadeli yatırımlar için uygun olduğunu

göstermektedir. Buna ek olarak, AC su pompalama 6155.22 \$, ve dizel jeneratörlü motorun yaşam döngüsü maliyeti ise 20450 \$ olarak bulunmuştur.

- ✚ DC su pompalama durumunda öngörülen sistem ömür boyu üretimine göre, eşdeğer su maliyeti m³ başına 0.16 \$ ve AC su pompalaması durumunda m³ başına 0.22 \$'dır. Her iki güneş enerjili su pompalama sistemi de dizel jeneratörlü su pompalama sisteminden m³ başına 0.68 \$ ile daha uygun maliyetlidir.
- ✚ Tüm maliyet karşılaştırmaları, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin iki farklı konfigürasyonun dizel jeneratörlü su pompalama sisteminden daha uygun maliyetli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, güneş enerjili su pompalama teknolojisinin kullanılması, tarımsal üretimi ve çiftçilerin yaşam standardını ve ülkenin ekonomik kalkınmasını iyileştiren gıda güvenliği durumunu önemli ölçüde iyileştirebilir.
- ✚ Dizel jeneratörlü su pompalama sistemi yerine güneş enerjili su pompalama sistemlerinin kullanılması, CO₂ emisyonunda yıllık 2597 kg azalmaya neden olmaktadır.

7.2 Gelecek Araştırmalara Öneriler

Bu tez çalışması, Somali'de sürdürülebilir kalkınma hedeflerini ve tarımsal refahı desteklemek amaçlı tarımsal sulama için güneş enerjili su pompalama sisteminin tasarımını ve ekonomik analizini temsil etmektedir. Bu bölüm, bazı önerileri ve daha fazla araştırma gerektiren konuları ele almaktadır.

1991 yılında iç savaşın patlak vermesinden bu yana sulama sektörü büyük değişikliklere uğramış, büyük ölçekli sulama sistemlerinin çoğu tahrip edilmiştir. Kalan altyapıların çoğu bakım eksikliğinden dolayı kullanımda değildir ve eskiden sulanan alanların çoğu artık yağmurla beslenen tarım ve otlatma alanı için kullanılmaktadır. Üstelik nehirler ve kuyular hakkında bilgi eksikliği mevcuttur. Bu nedenle, tarım sektöründeki politika geliştiricileri, sulama sisteminden daha iyi sonuçlar elde etmek için hükümetin ilgili kurumları, araştırmacıları ve tüm paydaşları ile yakın çalışmalıdır. Bu, ülkenin gelecekteki tarım ve sulanan alan hedeflerine yönelik daha iyi bir plan ve tahmin tasarlamaya yardımcı olacaktır.

Güneş enerjisi teknolojisine yönelik bu çalışma, yalnızca tarımsal sulama sistemi ile sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte, güneş enerjisi teknolojisi, hayvancılık sulamasını ve güneş enerjisi teknolojileri kullanılarak mahsullerin kurutulması gibi tarımla ilgili diğer uygulamaları kapsayacak şekilde genişletilebilir. Ek olarak, güneş enerjili su pompalama sistemlerinden gelen büyük miktardaki elektrik fazlası nedeniyle, kırsal alanlardaki kişiler bu enerjileri özellikle sulama yapılmayan mevsimlerde başka amaçlarla kullanabilirler. Araştırmacıların bunu da dikkate almaları önerilir.

Özel sektörün özellikle güneş enerjisi teknolojisini kullanarak sulama sektörüne daha fazla müdahil olması gerekmektedir. Hükümetin, özel tarım üreticilerini çekmenin yollarını bulması ve özellikle sulamada tarım sektöründeki yeni başlayan işletmeler için finansman desteği sağlayarak teşvik etmesi gerekmektedir.

Somali'de iyi bir güneş ışınımı bolluğu vardır ve Aşağı Şabelle, Orta Şabelle, Aşağı Juba, Orta Juba, Bay, Bakool ve Gedo gibi birçok bölge çiftçilik için verimli topraklara sahiptir. Tarım sektöründeki politika geliştiricileri, sulama sisteminden daha iyi sonuçlar elde etmek için hükümetin ilgili kurumları, araştırmacıları ve tüm paydaşları ile yakın çalışmalıdır. Bu, ülkenin gelecekteki tarım ve sulanan alan hedeflerine yönelik daha iyi bir plan ve tahmin yapmaya yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdolzadeh, M., Ameri, M., & Mehrabian, M. A. (2011). Effects of water spray over the photovoltaic modules on the performance of a photovoltaic water pumping system under different operating conditions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33(16), 1546–1555.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2010.499416>
- Abu-Aligah, M. (2011). Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump. In *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* (Vol. 5, Issue 3, pp. 273–280).
- African Development Bank. (2015). Somalia Energy Sector Needs Assessment and Investment Programme. *African Development Bank*.
https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Generic-Documents/Final_Somalia_Energy_Sector_Needs_Assessment_FGS__AfDB_November_2015.pdf
- Al-Smairan, M. (2012). Application of photovoltaic array for pumping water as an alternative to diesel engines in Jordan Badia, Tall Hassan station: Case study. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 7, pp. 4500–4507).
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.033>
- Allaham, H., Hamid, A.-K., & Cheaitou, A. (2015). Technical and Economical Analysis of Photovoltaic System Applied To a Uae Data. *University of Sharjah, February*, 1–9.
https://www.researchgate.net/publication/270898296_Technical_and_Economical_Analysis_of_Photovoltaic_System_Applied_to_a_UAE_Data_Centre?enrichId=rgr eq-4d6f3fd84943a86f792f0b9d031b0aad-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3MDg5ODI5NjtBUzoxODc1ODY3OTg2OTQ0MDBAM
- Saad MAHMUD, M. T. K. (2015). A Review: Comparative studies on different generation solar cells technology. In *Proceedings of 5th International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh [ICEAB 2015]*.
- Arup. (2015). *First Solar Energy Yield Simulations Module Performance Comparison for Four Solar PV Module Technologies. 1*.
- Bank, T. W., Stage, A., Prepared, D., & No, R. (2018). *Combined Project Information Documents / Integrated Safeguards Datasheet (PID / ISDS)*. 1–27.

- Basalike, P. I. E. (2015). *Design , Optimization and Economic Analysis of Photovoltaic Water Pumping Technologies , Case Rwanda*. mdh.se
- Campana, P. E. (2015). PV Water Pumping Systems for Agricultural Applications. In *Malardalen University Sweden* (p. 85).
- Düzenli, A. (2010). *Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri*.
- E.A. Kiseleva et al. (2018). Thin-Film And Crystalline Photovoltaic Modules – Outdoor Performance And Economic Estimation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- FAO. (2005). *Irrigation in Africa in figures – AQUASTAT Survey*. 1–10.
- Federal Government of Somalia. (2015). *SOMALIA 'S INTENDED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONS (INDCs)*.
- Ghoneim, A. A. (2006). Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12), 1449–1463.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.08.015>
- Girma, M. (2015). Feasibility study of a solar photovoltaic water pumping system for rural Ethiopia. *AIMS Environmental Science*, 2(3), 697–717.
<https://doi.org/10.3934/environsci.2015.3.697>
- Hadi Nabipour Afrouzi. (2013). Solar Array and Battery Sizing for a Photovoltaic Building in Malaysia. *Jurnal Teknologi*.
- Hafiz Faizan Ahmed. (2013). *AN APPROACH FOR DESIGN AND MANAGEMENT OF A SOLAR-POWERED CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM* (Issue November).
- Demir, H. B. and Özkan, A. O. (2019). Fotovoltaik Panellerde S ıcaklık ve Zenit A ısının Panel Güç Üretimine Etkisi. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, v.1, n.1, 2019 e-ISSN: 2667-7989, 1–9.
- Hammad, M., & Ebaid, M. S. Y. (2015). Comparative economic viability and environmental impact of PV, diesel and grid systems for large underground water pumping application (55 wells) in Jordan. In *Renewables: Wind, Water, and Solar* (Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s40807-015-0012-2>
- Hossain, M. A., Hassan, M. S., Mottalib, M. A., & Hossain, M. (2015). Feasibility of solar pump for sustainable irrigation in Bangladesh. In *International Journal of Energy and Environmental Engineering* (Vol. 6, Issue 2, pp. 147–155).
<https://doi.org/10.1007/s40095-015-0162-4>
- Jahed, H. (2018). *DOĞU AZERBAIJAN BÖLGESİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ SU*

- Pompalama Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması Investigation.*
- Karafi, A. (2016). *Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi.* June.
- Köksal. (2012). *Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma.*
- Ministry Of National Resources. (2013). *Somalia National Adaptation Programme of Action to Climate Change* (Issue April).
- Mokeddem, A., Midoun, A., Kadri, D., Hiadsi, S., & Raja, I. A. (2011). Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management*, 52(10), 3089–3095. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.04.024>
- Muchiri, P. W. (2007). Climate of Somalia. In *Technical Report No W-01.* Nairobi, Kenya.
- Murat ULUĞ, O. B. (2017). Pv Tabanlı Su Pompalama Sisteminde Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Uygulaması Murat. *SDU International Journal of Technological Science*, 9(1), 71–82.
- Nasir, A. (2016). *Design , Simulation and Analysis of Photovoltaic Water Pumping System for Irrigation of a Potato Farm at Gerenbo.*
- NSW Farmers. (2015). *Solar-powered pumping in agriculture : A guide to system selection and design.*
- Odeh, I., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2006). Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance. In *Solar Energy* (Vol. 80, Issue 1, pp. 51–64). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.07.009>
- Olcan. (2015). *Güneş radyasyon tahmini için bulanık zaman serisi yöntemleri ve fotovoltaik sulama sistemi optimizasyonunda uygulanması.*
- Pelin Atik Kıyga. (2013). *Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması.*
- Raza, K. (2014). *Experimental Assessment of Photovoltaic Irrigation System.* 3, 5, 6.
- Saleem, D. (2012). *Techno-economic Analysis of Using Solar Energy , Diesel and Electrical Networks for Water Pumping in The West Bank By Techno-economic Analysis of Using Solar Energy , Diesel and Electrical Networks for Water Pumping in The West Bank.*
- Sarı. (2019). *Pvsyst yazılımı kullanılarak örnek bir güneş enerjili su pompalama sistemi tasarlanması ve konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılması.*
- Shamim Reza, S. M., & Sarkar, N. I. M. (2015). Design and performance analysis of a

- directly-coupled solar photovoltaic irrigation pump system at Gaibandha, Bangladesh. *2015 International Conference on Green Energy and Technology, ICGET 2015*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICGET.2015.7315116>
- Syafawati, N., & Ahmad, B. (2010). *Development of Solar Water Pump for Small Scale Paddy Field Irrigation*.
- Taşkaya, G. (2015). *Fotovoltaik Etki İle Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi*. 7(2), 356–363.
- UNDP. (2015). *Solar-powered pumping in Lebanon: A Comprehensive Guide on Solar Water Pumping Solutions*. 69. <http://www.alnap.org/resource/20531>
- USAID. (2018). *Renewable and alternative energy sources, such as solar and wind power, present substantive opportunities to diversify and expand the energy infrastructure systems of Somalia*.
- Venema, J., & Vargas, R. (2007). Land suitability assessment of the Juba and Shabelle riverine areas in Southern Somalia. In *Development* (Issue L). <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2010/SO/SO1002.xml;SO2009100017>
- Vick, B. D., & Clark, R. N. (2009). Determining the optimum solar water pumping system for domestic use, livestock watering or irrigation. *38th ASES National Solar Conference 2009, SOLAR 2009*, 4, 2212–2239.
- Wadhankar, S., & Charjan, B. (2019). *Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System*. September, 83–92. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6148-7_9
- World Bank and FAO. (2018). *Rebuilding Resilient and Sustainable Agriculture*.
- Yagcı, M. (2017). Economical and Technical Challenges of a Large Scale Solar Plant. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 2(5), 70–75. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2017529085>
- Zakaria. (2018). *Investigation Of Optimum Solar-Wind Hybrid Or Separate Water Pumping And Electricity Generation Systems For Somalia*.

<https://www.worldometers.info>

https://www.pvsyst.com/help/general_descr.htm

<https://www.8msolar.com/types-of-solar-panels>

<https://solargis.com/>





DC su pompalama Sonuçları

PVsyst V7.1.1

Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Proje özeti

Coğrafi konum	Konum	Proje ayarları
Afgooye	Enlem 2.14 °N	Albedo 0.20
Somali	Boylam 45.12 °E	
	Rakım 89 m	
	Saat dilimi UTC+3	
Hava durumu verileri		
Afgooye		
Meteonorm 7.3, Sat=100% - Synthetic		

Sistem özeti

Pompalama PV sistemi	Göl veya akarsudan depoya
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Su ihtiyacı
Sabit düzlem	Yıl boyunca sabit 82.00 m ³ /gün
Eğim/Azimet 14 / 0 °	
Sistem bilgisi	
PV dizisi	
Modül sayısı 4 birim	
Toplam nom. güç 1140 Wp	

Sonuçların özeti

Su	Enerji	Verimler
Pompalanan su 30070 m ³	Pompadaki enerji 1351 kWh	Sistem verimliliği 75.2 %
Özel 37397 m ³ /kWp/bar	Özel 0.04 kWh/m ³	Pompa verimi 44.1 %
Su ihtiyacı 29930 m ³	Kullanılmayan (depo dolu)	
Eksik su -0.5 %	Kullanılmayan PV enerji 320 kWh	
	Kullanılmayan oran 17.8 %	

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	1
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	2
Genel sonuçlar	4
Kayıplar diyagramı	5
Özel grafikler	6
Ön tanımlı grafikler	7
Sistem maliyeti	9



PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Sistem kayıpları

IAM kayıp faktörü

Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.1.1

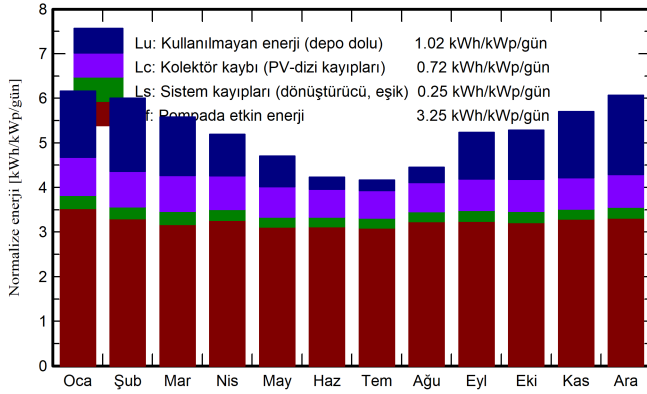
Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Genel sonuçlar

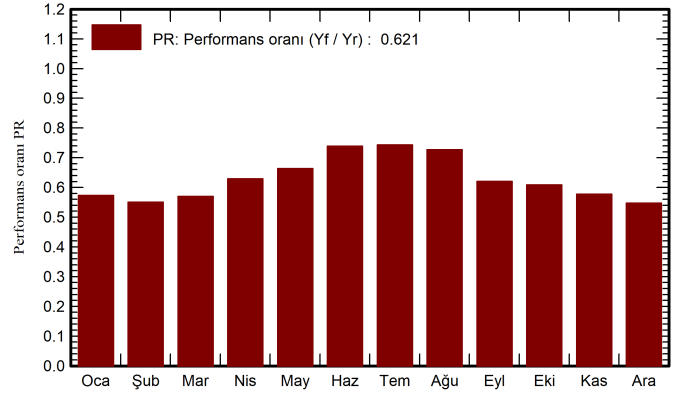
Sistem üretimi

Su	Enerji	Verimler
Pompananan su	Pompadaki enerji	Sistem verimliliği
30070 m ³	1351 kWh	75.2 %
Özel	Özel	Pompa verimi
37397 m ³ /kWp/bar	0.04 kWh/m ³	44.1 %
Su ihtiyacı	Kullanılmayan (depo dolu)	
29930 m ³	Kullanılmayan PV enerji	
Eksik su	Kullanılmayan oran	
-0.5 %	320 kWh	
	17.8 %	

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	MetreW	m ³	m ³	m ³
Ocak	186.5	177.9	124.9	39.50	7.236	2685	2542	0.000
Şubat	163.9	155.9	105.5	38.44	7.221	2295	2296	0.000
Mart	168.4	159.7	112.3	33.84	7.199	2476	2542	0.000
Nisan	150.7	146.1	111.8	24.21	7.183	2495	2460	0.000
Mayıs	140.2	138.1	110.3	18.78	7.172	2505	2542	0.000
Haziran	121.7	121.8	106.9	7.16	7.149	2476	2460	0.000
Temmuz	124.0	124.0	109.5	6.44	7.157	2524	2542	0.000
Ağustos	133.1	132.4	114.6	9.46	7.169	2611	2542	0.000
Eylül	152.3	148.5	111.2	27.27	7.191	2459	2460	0.000
Ekim	159.3	153.8	113.7	28.93	7.188	2528	2542	0.000
Kasım	166.5	161.6	112.7	38.31	7.209	2474	2460	0.000
Aralık	183.6	176.9	117.4	47.66	7.236	2542	2542	0.000
Yıl	1850.3	1796.7	1350.7	319.99	7.190	30070	29930	0.000

Açıklama

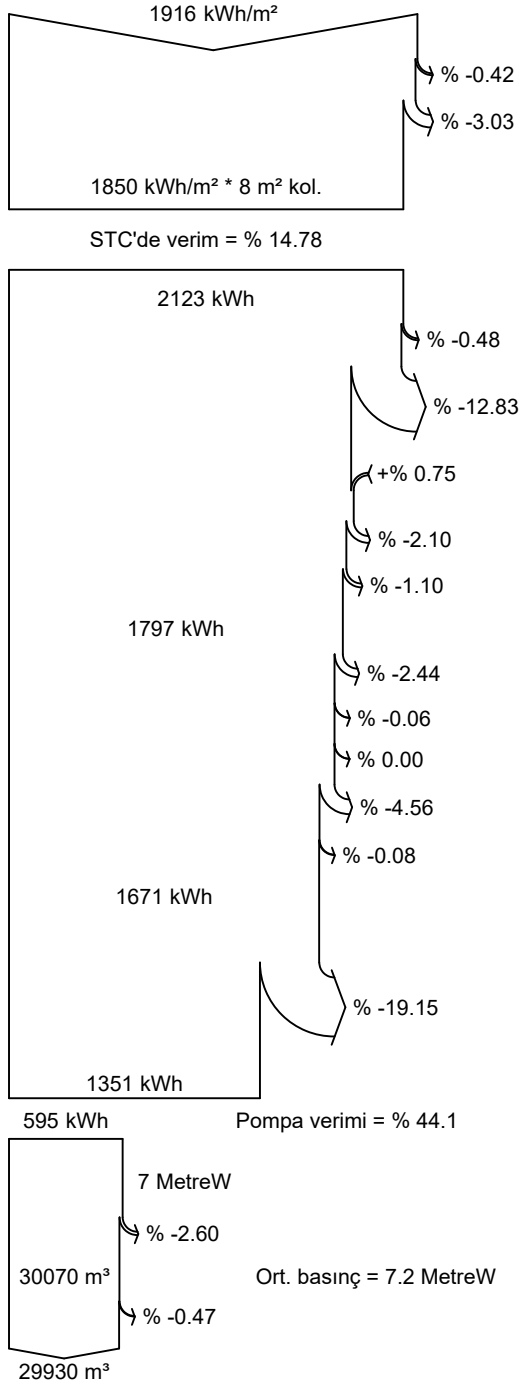
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global	WPumped	Pompananan su hacmi
EArrMPP	MPP'de varsayılan dizi enerjisi	W_Used	Tüketilen su
E_PmpOp	Pompa çalışma enerjisi	W_Miss	Eksik su
ETkFull	Kullanılmayan enerji (depo dolu)		
H_Pump	Pompadaki ortalama toplam basınç		



PVsyst V7.1.1

Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Dizi nominal enerjisi (STC veriminde)

Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan dönüştürücü kaybı (verim)

Dönüştürücü kaybı, güç sınırı

Dönüştürücü kaybı, aşırı gerilim

Dönüştürücü kaybı, gerilim sınırı

Pompa üretim eşiği altındaki enerji

Elektrik kayıplar (dönüştürücü, alt sınırlar, aşırı yük)

Kullanılmayan enerji (depo dolu)

Pompa çalışma gücü

Pompadaki hidrolik enerji

Gerekli statik basınç (akışsız)

Sürtünme kaybı

Pompalanan su hacmi

Aralığın başlangıcında/sonunda depolanan su bilançosu

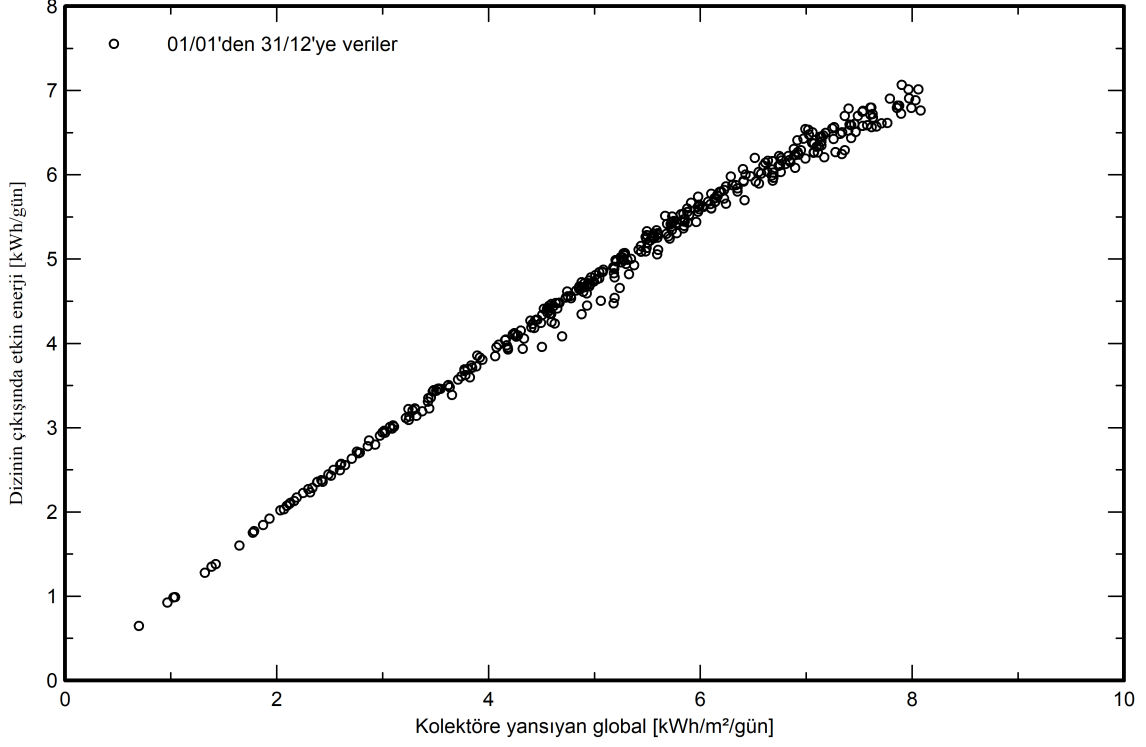
Su ihtiyacı



PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Özel grafikler

Günlük giriş / çıkış diyagramı

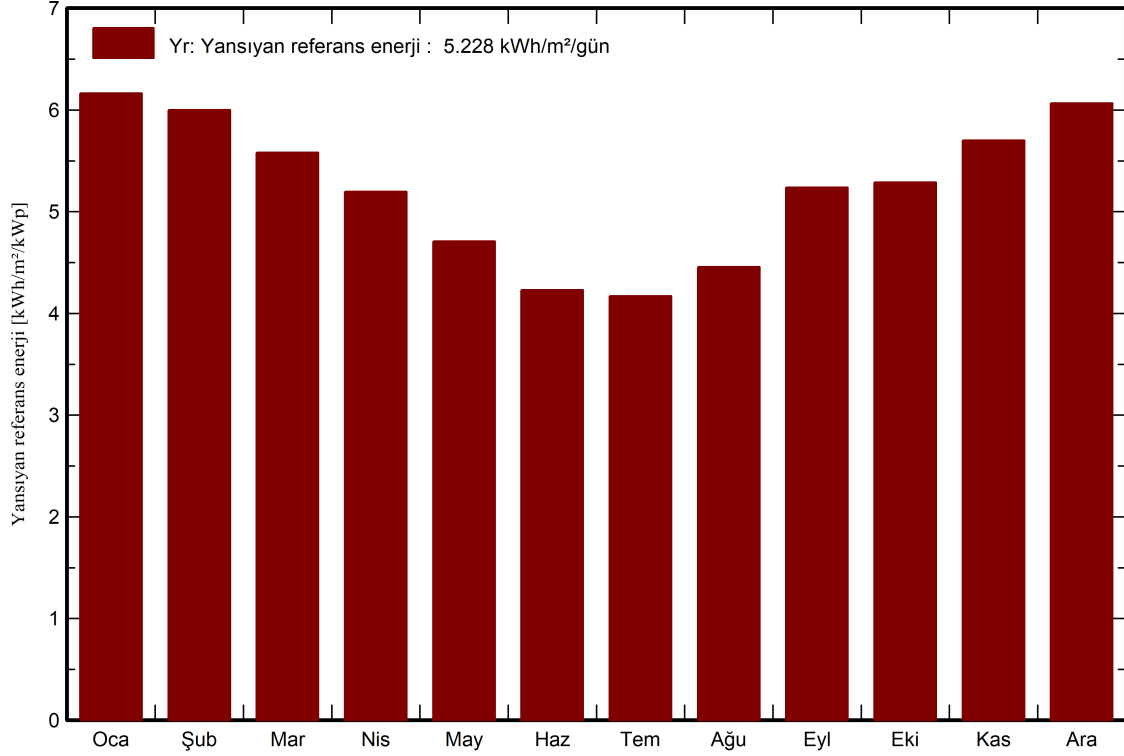




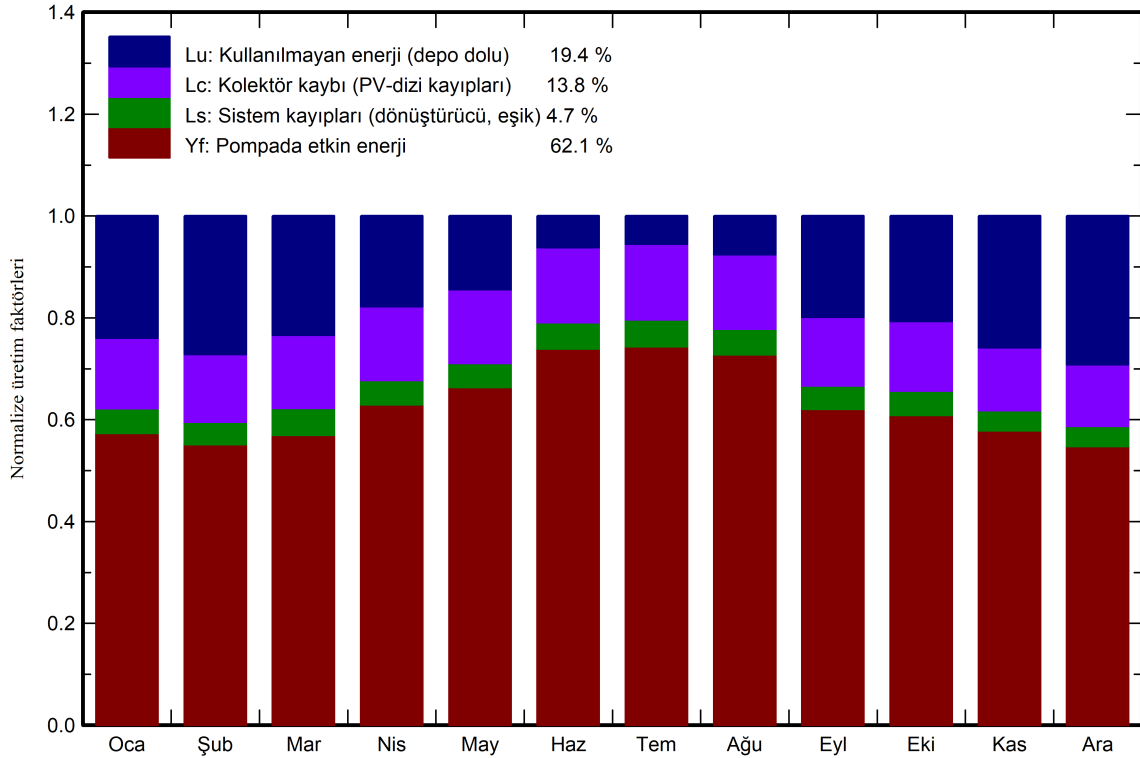
PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Ön tanımlı grafikler

Kolektör düzlemine yansıyan referans enerji



Normalize üretim ve kayıp faktörleri

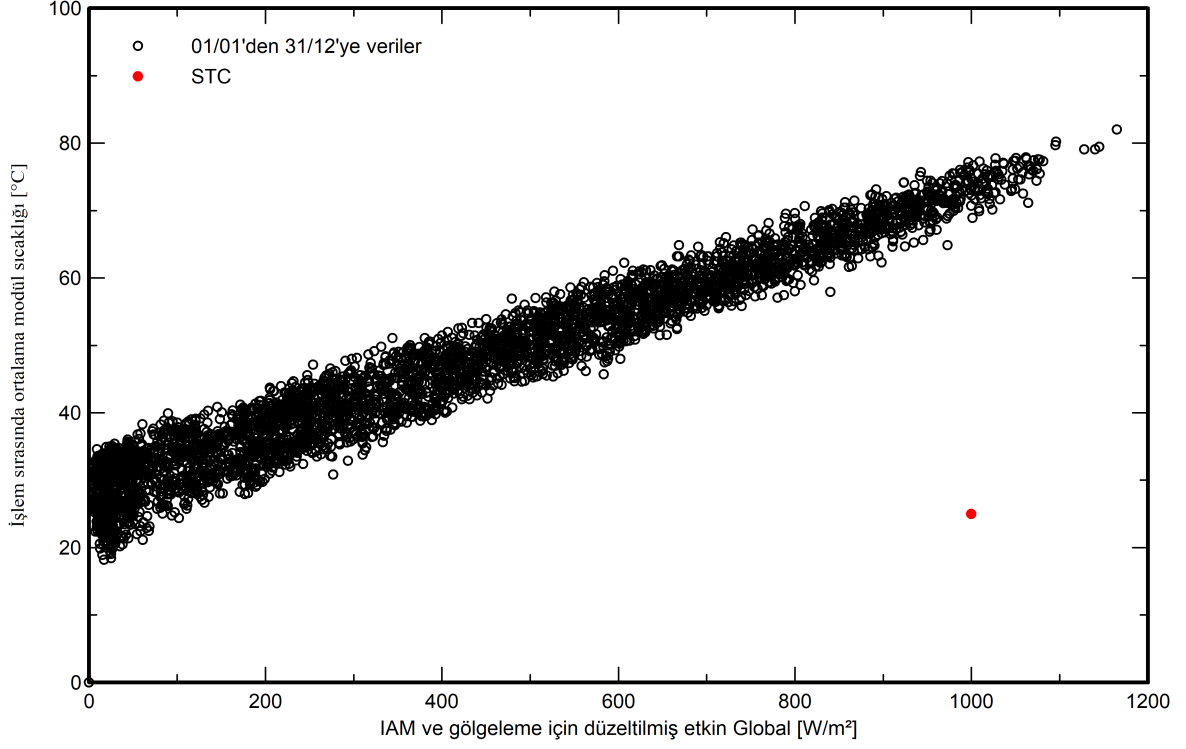




PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Ön tanımlı grafikler

Dizi sıcaklığı / Etkin ışınım



**PVsyst V7.1.1**

Simülasyon tarihi:
01/06/21 07:27
v7.1.1 ile

Sistem maliyeti**Kurulum maliyetleri**

Öğe	Miktar birim	Maliyet USD	Toplam USD
PV modül			
Poly 285 Wp 72 cells	4	171.00	684.00
Modül destekleri	4	30.00	120.00
Pompa			1'200.00
Tank			200.00
Pompa kontrolörü			500.00
Diğer malzemeler			500.00
Kurulum ve nakliye			1'000.00
Toplam			4'204.00
Amortismanına tabi			4'204.00

İşletme maliyetleri

Öğe	Toplam USD/yıl
Bakım Maliyeti	84.08
Değiştirme Maliyeti	1'200.00
Toplam (OPEX)	1'284.08

Sistem özeti - Tüketilen su maliyeti

Toplam kurulum maliyeti	4'204.00 USD
İşletme maliyetleri	1'284.08 USD
Pompalama için tüketilen enerji	1351 kWh/yıl
Fazla enerji (depo dolu)	320 kWh/yıl
Pompalanan su	30070 m ³
Pompalanan su maliyeti	0.16 USD/m ³

AC su pompalama Sonuçları**PVsyst V7.1.1**

Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Proje özeti

Coğrafi konum	Konum	Proje ayarları
Afgooye	Enlem 2.14 °N	Albedo 0.20
Somali	Boylam 45.12 °E	
	Rakım 89 m	
	Saat dilimi UTC+3	
Hava durumu verileri		
Afgooye		
Meteonorm 7.3, Sat=100% - Synthetic		

Sistem özeti

Pompalama PV sistemi	Göl veya akarsudan depoya
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Su ihtiyacı
Sabit düzlem	Yıl boyunca sabit 82.00 m ³ /gün
Eğim/Azimet 14 / 0 °	
Sistem bilgisi	
PV dizisi	
Modül sayısı 6 birim	
Toplam nom. güç 1710 Wp	

Sonuçların özeti

Su	Enerji	Verimler
Pompalanan su 30070 m ³	Pompadaki enerji 1844 kWh	Sistem verimliliği 68.4 %
Özel 25360 m ³ /kWp/bar	Özel 0.06 kWh/m ³	Pompa verimi 31.5 %
Su ihtiyacı 29930 m ³	Kullanılmayan (depo dolu)	
Eksik su -0.5 %	Kullanılmayan PV enerji 735 kWh	
	Kullanılmayan oran 27.3 %	

İçindekiler

Proje ve sonuçların özeti	1
Genel parametreler, Kolektör alanının özellikleri, Sistem kayıpları	2
Genel sonuçlar	4
Kayıplar diyagramı	5
Özel grafikler	6
Ön tanımlı grafikler	7
Sistem maliyeti	9



PVsyst V7.1.1

Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Sistem kayıpları

IAM kayıp faktörü

Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.1.1

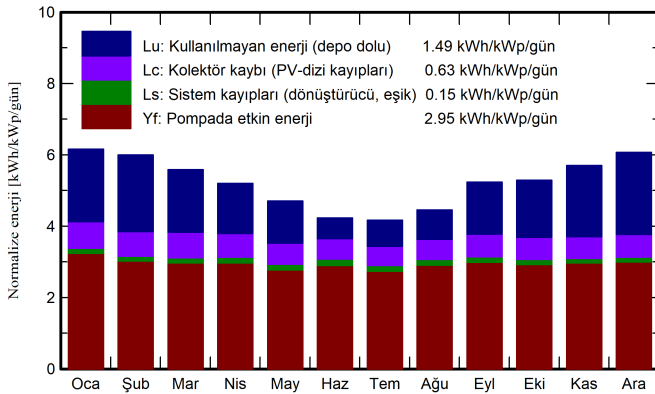
Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Genel sonuçlar

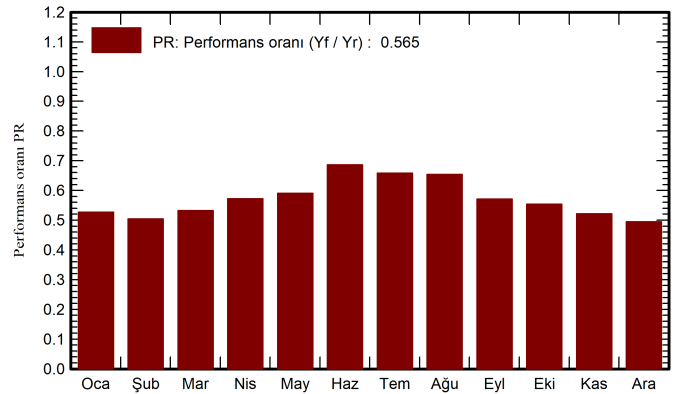
Sistem üretimi

Su		Enerji		Verimler	
Pompananan su	30070 m ³	Pompadaki enerji	1844 kWh	Sistem verimliliği	68.4 %
Özel	25360 m ³ /kWp/bar	Özel	0.06 kWh/m ³	Pompa verimi	31.5 %
Su ihtiyacı	29930 m ³	Kullanılmayan (depo dolu)			
Eksik su	-0.5 %	Kullanılmayan PV enerji	735 kWh		
		Kullanılmayan oran	27.3 %		

Normalize üretim (kWp başı)



Performans oranı PR



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	MetreW	m ³	m ³	m ³
Ocak	186.5	266.8	172.1	84.62	7.084	2685	2542	0.000
Şubat	163.9	233.8	145.0	79.99	7.077	2295	2296	0.000
Mart	168.4	239.5	157.6	71.89	7.070	2519	2542	0.000
Nisan	150.7	219.1	152.6	56.66	7.067	2481	2460	0.000
Mayıs	140.2	207.1	147.3	49.79	7.064	2468	2542	0.000
Haziran	121.7	182.8	148.9	23.81	7.061	2532	2460	0.000
Temmuz	124.0	186.0	145.5	30.97	7.057	2483	2542	0.000
Ağustos	133.1	198.7	154.4	34.77	7.060	2603	2542	0.000
Eylül	152.3	222.7	153.5	59.53	7.068	2460	2460	0.000
Ekim	159.3	230.7	155.3	65.91	7.066	2536	2542	0.000
Kasım	166.5	242.3	152.5	80.68	7.073	2466	2460	0.000
Aralık	183.6	265.4	159.2	96.18	7.083	2542	2542	0.000
Yıl	1850.3	2695.0	1843.9	734.80	7.068	30070	29930	0.000

Açıklama

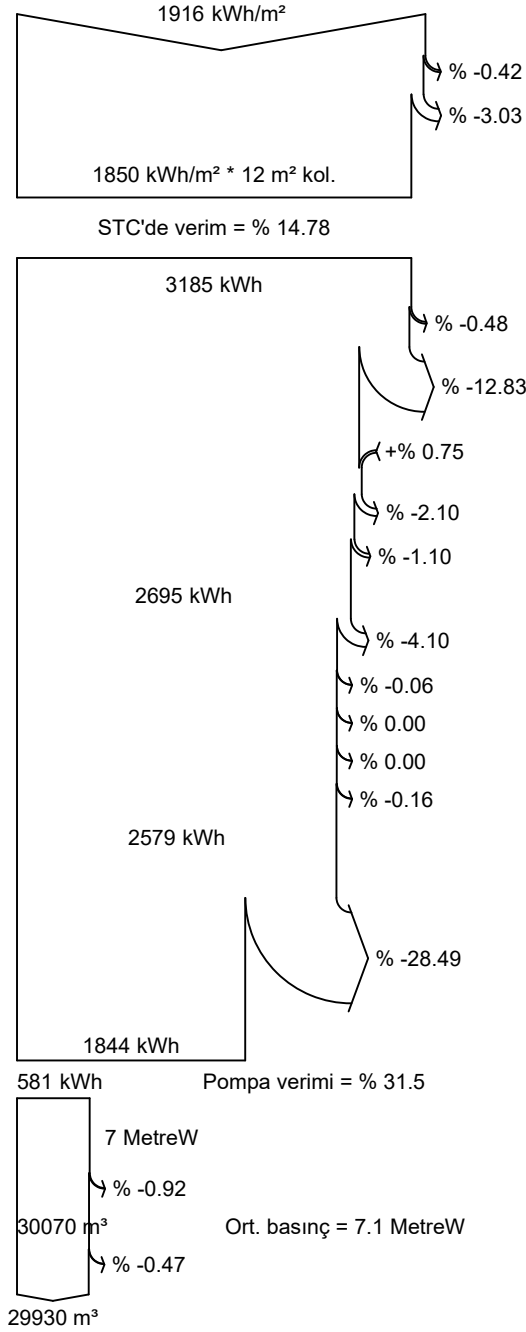
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global	WPumped	Pompananan su hacmi
EArrMPP	MPP'de varsayılan dizi enerjisi	W_Used	Tüketilen su
E_PmpOp	Pompa çalışma enerjisi	W_Miss	Eksik su
ETkFull	Kullanılmayan enerji (depo dolu)		
H_Pump	Pompadaki ortalama toplam basınç		



PVsyst V7.1.1

Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Kayıplar diyagramı



Global yatay ışınlama

Kolektöre yansıyan global

Global'e göre IAM faktörü

Kolektöre isabet eden etkin ışınlama

PV dönüştürme

Dizi nominal enerjisi (STC veriminde)

Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kayıpları, modül ve diziler

Omik kablolama kaybı

MPP'de varsayılan dizi enerjisi

Çalışan dönüştürücü kaybı (verim)

Dönüştürücü kaybı, güç sınırı

Dönüştürücü kaybı, aşırı gerilim

Dönüştürücü kaybı, gerilim sınırı

Pompa üretim eşiği altındaki enerji

Elektrik kayıplar (dönüştürücü, alt sınırlar, aşırı yük)

Kullanılmayan enerji (depo dolu)

Pompa çalışma gücü

Pompadaki hidrolik enerji

Gerekli statik basınç (akışsız)

Sürtünme kaybı

Pompalanan su hacmi

Aralığın başlangıcında/sonunda depolanan su bilançosu

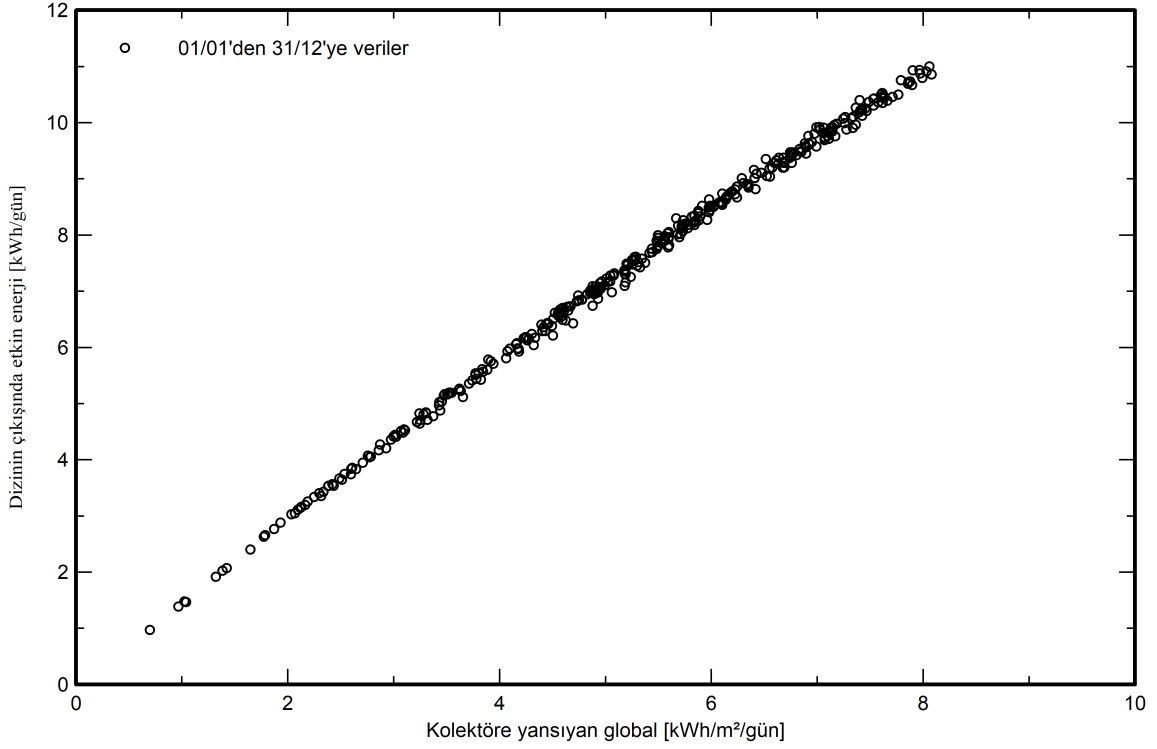
Su ihtiyacı



PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Özel grafikler

Günlük giriş / çıkış diyagramı





PVsyst V7.1.1

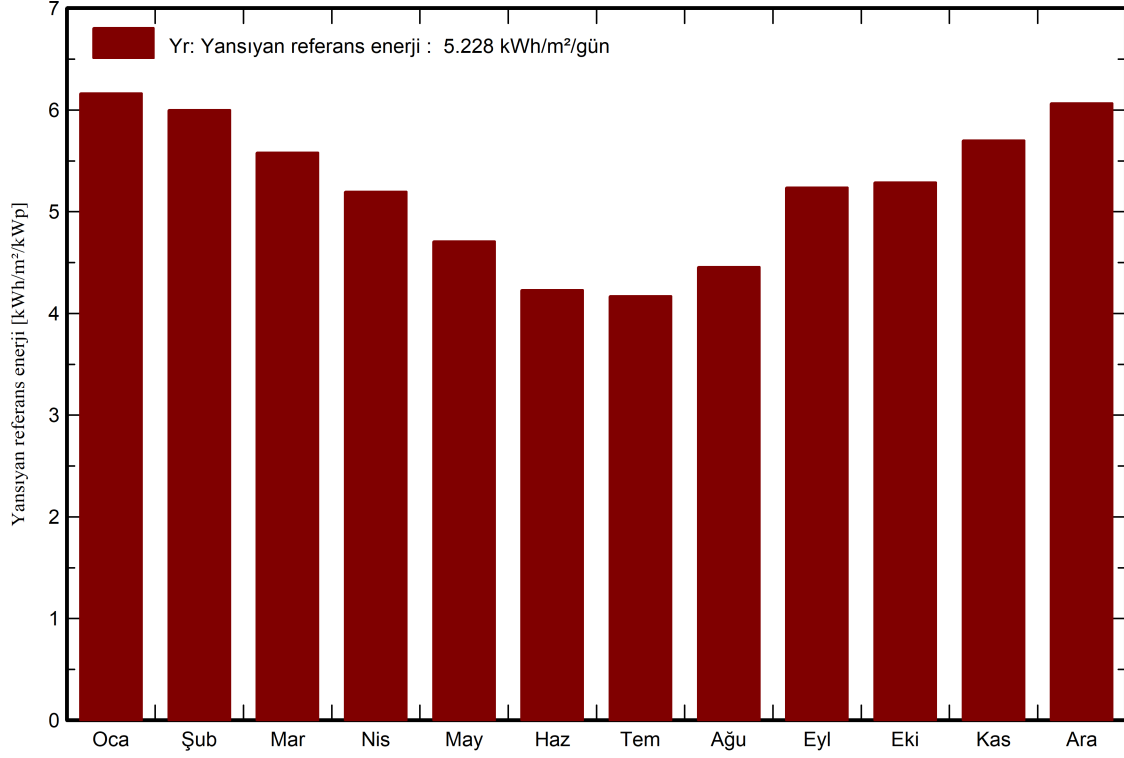
Simülasyon tarihi:

01/06/21 08:02

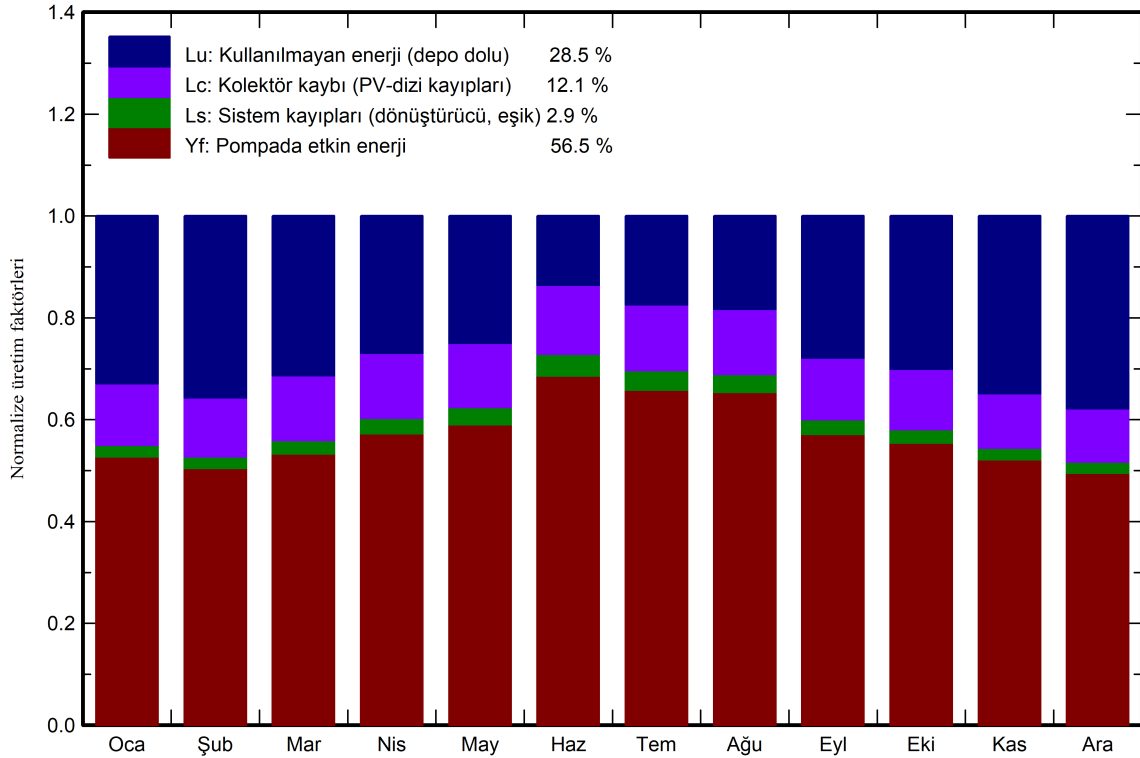
v7.1.1 ile

Ön tanımlı grafikler

Kolektör düzlemine yansıyan referans enerji



Normalize üretim ve kayıp faktörleri

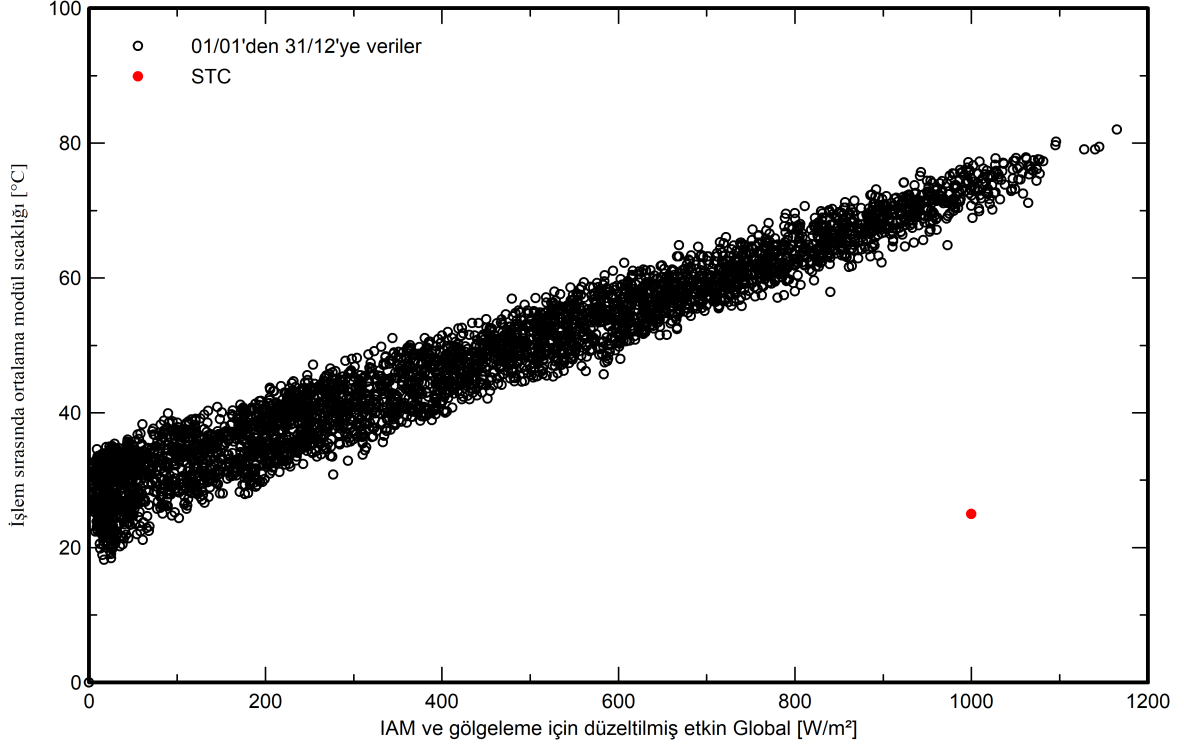




PVsyst V7.1.1
Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Ön tanımlı grafikler

Dizi sıcaklığı / Etkin ışınım



**PVsyst V7.1.1**

Simülasyon tarihi:
01/06/21 08:02
v7.1.1 ile

Sistem maliyeti**Kurulum maliyetleri**

Öğe	Miktar birim	Maliyet USD	Toplam USD
PV modül			
Poly 285 Wp 72 cells	6	171.00	1'026.00
Modül destekleri	6	30.00	180.00
Pompa			800.00
Tank			200.00
Çevirici			1'000.00
Diğer malzeme			600.00
Kurulum ve nakliye			1'200.00
Toplam			5'006.00
Amortismanına tabi			5'006.00

İşletme maliyetleri

Öğe	Toplam USD/yıl
Bakım Maliyeti	100.12
Değişirme Maliyeti	1'800.00
Toplam (OPEX)	1'900.12

Sistem özeti - Tüketilen su maliyeti

Toplam kurulum maliyeti	5'006.00 USD
İşletme maliyetleri	1'900.12 USD
Pompalama için tüketilen enerji	1844 kWh/yıl
Fazla enerji (depo dolu)	735 kWh/yıl
Pompalanan su	30070 m ³
Pompalanan su maliyeti	0.22 USD/m ³