ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Ümran ATAY

GÜNEŞ PİLİ DESTEKLİ VE UZAKTAN KONTROL EDİLEBİLEN DAİRESEL HAREKETLİ SULAMA SİSTEMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

DOKTORA TEZİ

GÜNEŞ PİLİ DESTEKLİ VE UZAKTAN KONTROL EDİLEBİLEN DAİRESEL HAREKETLİ SULAMA SİSTEMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Ümran ATAY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Yıl: 2022, Sayfa: 242
Jüri : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN
: Doç. Dr. Cengiz KARACA
: Doç. Dr. Ömer EREN

Bu çalışmada, büyük güçlü dalgıç pompalı dairesel hareketli sulama makinesine PV modüller entegre edilerek otomasyonla uzaktan kontrol edilebilen bir sistem kurulumu yapılmıştır. Sistemin kurulumu Türkiye'nin Şanlıurfa ilindeki GAP TAEM Gündaş İstasyonunda yapılmıştır. Çalışmanın özgün değeri, PV modüllerin (175 kWp) büyük güçlü derin pompaj tesislerinin modern sulama sistemlerine entegre edilerek kullanımı, büyük güçlü 132 kW pompa sürücüsünün kullanılması ve uzaktan takip ve kontrolünü yapan otomasyon sisteminin aynı sistem ile bir arada senkronize şekilde birleştirilerek çalıştırılmasıdır. Pompa sürücüsü için yapılan arazi denemelerinde ve hesaplamalarında 45 Hz'de ideal çalışma frekansı olduğu, daha düşük frekansta çalışması durumunda ise pompa debisi ve basınçta düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı ilk kalkışta pompa (110 kW) zorlanmadan demeraj akımı oluşturmadan çalıştırılabilmektedir. Çalışmaya başlayan pompa sentır pivotun ihtiyaç olduğu suyu yaklaşık 80 metre derinlikten 4 bar basınç ile ortalama 200 m^3/h debi ile sulama sistemine göndermektedir. Pompanın emniyetli ve vuruntu yapmayacak şekilde çalışması için gerekli gücü sağlayacak yeterli ışınım şiddetinin yatay düzlemde 500 W/m^2 ve üzeri olması gerektiği belirlenmiştir. Otomasyon sisteminin web ara yüzü ile tüm sistemin uzaktan takip ve kontrolü yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PV modül, Pivot sulama sistemi, Uzaktan kontrol, Tarım 4.0

ABSTRACT

PhD THESIS

A RESEARCH ON CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM WITH SOLAR CELL SUPPORTED AND REMOTE CONTROLLED

Ümran ATAY

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Year: 2022, Page: 242
Jury : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN
: Assoc. Prof. Dr. Cengiz KARACA
: Assoc. Prof. Dr. Ömer EREN

In this study, a system that can be remotely controlled by automation has been installed by integrating solar cells on a center pivot irrigation machine with a large powerful submersible pump. The system was installed at GAP TAEM Gündas Station in Sanlıurfa, Turkey. The original value of the study is the use of PV modules (175 kWp) by integrating them into modern irrigation systems of large powerful deep pumping plants, the use of a large power 132 kW pump driver (with variable frequency) and the remote monitoring and control automation system combined with the same system in a synchronized manner. In field trials and calculations for the pump driver, it has been determined that there is an ideal operating frequency at 45 Hz, and that there is a decrease in pump flow and pressure in case it operates at a lower frequency. Therefore, at the first start-up, the pump (110 kW) can be operated without creating an inrush current. The pump, which started to work, sends the water needed by the center pivot to the irrigation system from a depth of approximately 80 meters with a pressure of 4 bars and an average flow of 200 m^3/h. It has been found that the radiation intensity must be 500 W/m^2 and above in the horizontal plane for the pump to work safely and without knocking. With the web interface of the automation system, it is possible to monitor and control the entire system remotely.

Key Words: Solar cell, Pivot irrigation system, Remote control, Agriculture 4.0

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Tarımsal sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla çeşitli sulama teknolojileri geliştirilmekte ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Tarım alanlarının büyüklüğü, mevcut sulama sistemlerinin uygulama zorlukları, işçilik maliyetlerinin yüksek olması, mevcut sistemlerde insan gücüne olan gereksinim, topraktaki tuzluluk, sulama suyunun ihtiyaçtan fazla kullanılması, topraktaki drenaj problemleri gibi birçok nedenden dolayı sulamada doğrusal ve dairesel hareketli (sentır pivot) gibi modern sulama sistemlerinin kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Ancak hareketli sulama sistemlerinden en çok kullanılan sentır pivot gibi modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılmasının önündeki en büyük engel enerji teminidir. Kırsal kesimlerindeki enerji yokluğu ve belirsiz zamanda kesintiye uğraması tarımsal sulamada en büyük sıkıntıların nedeni durumundadır. Bu enerji sorunu fotovoltaik (PV) ünitelerin sentır pivot sistemlerine entegre edilerek giderilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Bu sistemin kurulup çalışmasıyla benzer hareketli sulama sistemlerde kullanımı da sağlana bilinecektir. Böylece kesintisiz enerji ile modern sulama sistemlerine geçiş ile tarımsal sulama randımanı % 85 oranına çıkarılacaktır. Şebeke elektriğinden kaynaklanan sorunlardan dolayı tam kapasiteyle üretim yapılamayan Şanlıurfa Gündaş bölgesinde örneğin 2014 yılı içerisinde elektrik kesintilerinden dolayı GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nün (GAP TAEM) 1 300 da ekili alanı zarar görmüştür. Bunun yaklaşık 400 da alanından hiç ürün alınamamıştır. Bölgede Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün (TİGEM) çiftlikleri ile beraber yaklaşık 700 adet civarında sentır pivot sulama sisteminin mevcut olması ve bu sistemlerde benzer sıkıntıların yaşanması çalışmamızın gerekliliğini güçlendirmiştir. Bu kapsamda araştırma konusu ile ilgili yapılan literatür taramasında, son yıllarda ağırlıklı olarak PV destekli sulama sistemleriyle ilgili olarak küçük güçlü PV destekli pompaj sistemleri ile ilgili çalışmalara ve modern sulama sistemlerinde kullanımı ile ilgili

ise derin olmayan yüzeysel su kaynaklarından su alınarak kullanılmasına yönelik çalışmalara rastlanmıştır. Ancak bu çalışmada kullanılan büyüklükte, PV destekli, uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemine, elamanlarına ve otomasyonuna rastlanamamıştır. Bu durumda "PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemi" derin kuyularda PV destekli kullanımına yönelik bakıldığında literatür taraması sonucuna göre ilktir ve benzerine rastlanmamıştır. Bu durum çalışmamızı özgün yapmaktadır.

Bu çalışmada, tarımsal üretim sahalarında; özellikle elektrik tüketilerek sulama yapan ve enerjisinin çok tüketildiği modern ve hareketli sulama sistemlerinden biri olan dairesel hareketli sulama sistemine (sentır pivot sulama sistemine) PV destekli yeni bir tasarım için bazı parametreler değerlendirilerek yeni bir sistem geliştirilmiştir. Sulama döneminde gündüz PV sistem gece ise hibrit özelliği olan sürücü ile şebekeden çalıştırılma imkânı oluşturulmuştur. Böylelikle bu çalışmada hareketli sulama sistemlerinde var olan sıkıntıları azaltacak bir PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli bir sulama sisteminin kurulumu amaçlanmıştır. Çalışmada:

- PV ünitelerin büyük güçlü derin pompaj tesislerinde hareketli sulama sistemi (sentır pivot) gibi modern sulama sistemlerine entegre edilerek kullanımı,
- Büyük güçlü 132 kW'lık DC pompa sürücüsünün (değişken frekanslı pompa sürücüsü) kullanılması,
- Uzaktan takip ve kontrolünü yapan ana otomasyon ve ona bağlı çalışan web otomasyon sisteminin kurulması,
- Tarım 4.0 konusu kapsamında değerlendirilebilecek,
- Kurulumu yapılan tüm sistem ve bileşenlerin bir arada senkronize bir şekilde tasarlanması, kurulması ve çalışması amaçlanmıştır.

Bu bahsi geçen amaçlar araştırmanın özgün değerlerini oluşturmaktadır. Çalışma sahası GAP TAEM Gündaş işletmesinde olup işletme Şanlıurfa ili Akçakale ilçesine bağlı Gündaş köyü sınırları içerisinde, 36^{o} 44' 37.00" Kuzey (K) enlemi ve 38^{o} 48' 41.00" Doğu (D) boylamı koordinatlarında yer almaktadır. Çalışmada; 175 kWp gücündeki PV sistemin, 132 kW değişken frekanslı pompa sürücüsünün, 110 kW büyük güçlü dalgıç pompanın, sentır pivot sulama sisteminin birbiriyle entegre edilerek uzaktan takip ve kontrolünü yapan otomasyon sisteminin web ara yüzü ile senkronize şekilde birleştirilerek tasarlanması ve kurulması çalışmamızın ana çıktısını oluşturmaktadır.

Üretim alanında; değişik dönemlerde farklı ekili ürünlerde (buğday-mısır-yonca), değişken sulama suyu isteğine göre ihtiyacı karşılamak için geliştirilen ve kurulumu yapılan bu sistemin çalışması aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Pompa sürücüsü (132 kW), PV modüllerinden (160 kW) aldığı DC elektriği bünyesindeki bulunan çeviriciler sayesinde 3 fazlı AC akıma dönüştürmektedir. Öncesinde bünyesindeki hız kontrol bileşeni sayesinde pompayı (110 kW) demeraj akımı oluşturmadan çalıştırmaktadır. Çalışmaya başlayan pompa sentır pivotun ihtiyacı olduğu suyu yaklaşık 80 metre derinlikten 4 bar basınç ile ortalama 200 m^3/h debi ile sulamaya göndermektedir.
- Dairesel hareketli sulama sistemi kuyudan aldığı suyu araziye yağmurlama yöntemiyle hareketli şekilde dağıtmaktadır. Sistem hareketini 7 adet motor sağlamaktadır. Bu hareket motorlarının enerjisi PV sistemden alınan ve akü grubuna iletilen elektrikten sağlanmaktadır.
- Dairesel dönme hareketinin enerji kaynağı PV sistem ve şebeke elektriği ile kullanılabilen akülerdir. Aküler ayrıca otomasyon ve diğer yardımcı birimlerin enerjini sağlamaktadır.

- Pompa sürücü hibrit özelliğinden dolayı şebeke elektriği kesik olmadığı zamanlarda örneğin gece sulamasında da kullanılabilmektedir. Ayrıca gündüz güneş ışınımı yetersiz olduğunda şebeke elektriğine otomatik ve manuel şekilde geçişte yapılarak kesintisiz sulama imkânı oluşturulmaktadır.
- Tüm sistemi çalıştıran ana enerji kaynağı PV modüllerde üretilen elektriktir. Şebeke elektriği ise yedek enerji durumundadır. Bu enerji kaynakları ana otomasyon sisteminin enerji kaynaklarıdır. Ana otomasyon sistemi; sulama sistemi, sulama sisteminin dairesel hareketini sağlayan sistem, güvenlik sistemi, ana kontrol sistemi ve web otomasyonundan oluşmakta ve bu 4 sistemi yönetmektedir. Burada tüm sensör ve röleler otomasyon sistemiyle çalışmaktadır. Böylece geliştirilip, kurulumu yapılan bu sistemin tüm bileşenlerinden maksimum verim alınması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında planlanmış sistemin tüm aşamaları gerçekleştirilmiş olup; hala aktif ve sorunsuz bir şekilde faaliyettedir. İşletme bulguları sırasında 500 da alana ekilen buğday ve mısır bitkilerinin su ihtiyacını karşılayabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca buğday üretim döneminde, pompa çıkışana T bağlantısı yapılarak çalışma sahası dışındaki diğer ekili olan arazilere de yağmurlama sulama yöntemiyle 500 da alan daha sulanmıştır. Böylece bu sistem ile tarla bitkilerinde sulana bilen arazi 1 000 da alana ulaşmıştır. Pompaj sisteminin arazi şartlarındaki verimi % 54 olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak yüzeyine gelen güneş ışınımını elektriğe dönüştüren 700 adet polikristal yapıdaki PV modüllerin 60 adeti (15 kWp) sentır pivotun hareketi için diğer 640 adeti (160 kWp) dalgıç pompanın çalıştırılması için kullanılmıştır. Kendi bünyesinde kurulan otomasyon sistemiyle tüm verilerin takibi, depolanması, yorumlanması ve uzaktan kontrolü yapılabilmektedir. Böylece enerji kaynaklı olarak hareketli sulama sistemlerinde var olan sıkıntıları azaltabilecek ve Tarım 4.0 konusunu kapsayan örnek bir tesis kurulumu da gerçekleştirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren saygıdeğer danışman Hocam Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK'e en içten saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN'e ve Prof. Dr. Mahmut ÇETİN'e çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, doktora jürisinde yer alan Doç. Dr. Cengiz KARACA'ya ve Doç. Dr. Ömer EREN'e değerli öneri ve katkıları nedeniyle teşekkür ederim.

Her zaman yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Iğdır Üniversitesi'nde Araş. Gör. Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM'e ve Adana TAYEM Müdür Yardımcısı Dr. Bülent AYHAN'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarımda bana yardımcı olan dostlarım Sami ABAMOR'a, M. Emin ÜZÜMCÜ'ye, Dr. Öğretim üyesi Yusuf IŞIKER'E, Öğretim Görevlisi M. Akif İLKHAN'a ve Dr. Hatice PARLAKÇI DOĞAN'a şükranlarımı sunarım.

Doktora çalışmalarım esnasında kurum olanaklarından yararlanmamı sağlayan GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne ve Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no: FDK-2017-8706) ve içten teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca her konuda yanımda olup maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, manevi desteği ile hep yanımda olan sevgili eşime ve hayatıma anlam veren üç kızıma en derin sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR VII
İÇİNDEKİLER VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR XX
1. GİRİŞ 1
1.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli 9
1.2. Dünya'da Güneş Enerjisinin Durumu 18
1.3. Güneş Enerjisi ile İlgili Temel Bilgiler 25
1.3.1. Kristal Silikon Fotovoltaik Teknolojisi 32
1.3.2. İnce Film Fotovoltaik Teknolojisi 33
1.3.3. Gelişmekte Olan Yeni Fotovoltaik Teknolojileri 34
1.4. PV Sistemlerin Kurulumu 35
1.4.1. Şebeke Bağlantısız PV Sistemler 36
1.4.2. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler 37
1.4.3. Hibrit PV Sistemler 38
1.5. Doğrusal ve Dairesel Hareketli Sulama Sistemleri 39
1.6. Türkiye Yer Altı Suyu ve Kullanım Durumu 45
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 53
3. MATERYAL VE METOD 75
3.1. Materyal 75
3.1.1. Araştırma Sahası ve Enerji Varlığı 78
3.1.2. Araştırma Bölgesinin İklim Özellikleri 79
3.1.3. Toprak Özellikleri 84

3.1.4. Araştırma Yerinin Tarımsal Yapı ve Üretim Özellikleri 84
3.1.5. Araştırma Sahasındaki Mevcut Dairesel Hareketli Sulama Sistemi ... 85
3.1.6. Kurulumu Yapılan PV Sistem ve Bileşenleri 87
3.1.6.1. PV Modül Özellikleri 87
3.1.6.2. Şarj Kontrol Ünitesi 88
3.1.6.3. İnvertörler 88
3.1.6.4. Akü Grupları 89
3.1.5.5. Değişken Frekanslı Pompa Sürücüsü 90
3.1.7. Otomasyon Odası 91
3.1.8. Uzaktan Kontrol ve İzleme Sistemi 91
3.1.9. Otomasyon Sistemine Bağlı Ölçüm Cihazları 95
3.1.9.1. Elektromanyetik Debimetre 95
3.1.9.2. Monometre 96
3.1.9.3. Dış Mekân Sıcaklık ve Nem Sensörü 97
3.1.9.4. Modül Sıcaklık Sensörü 98
3.1.9.5. Işınım Ölçer (Piranometre) 98
3.1.9.6. Toprak Sıcaklık Sensörü 99
3.1.9.7. Toprak Nem Sensörü 100
3.1.9.8. Rüzgâr Yön Sensörü 101
3.1.9.9. Rüzgâr Hızı Sensörü 102
3.1.9.10. Atmosferik Basınç Sensörü 102
3.1.10. Performans Ölçümünde Kullanılan Cihazlar 103
3.1.10.1. IV Ölçüm Cihazları 103
3.1.10.2. İzolasyon Ölçüm Cihazı 106
3.1.10.3. Termal Kamera 107
3.1.10.4. Elektrolüminesans (EL) Ölçüm Cihazı 109
3.1.10.5. Güç Kayıt Cihazı 110
3.2. Metod 111
3.2.1 Sistem Kurulum Metodolojisi 111

3.2.1.1. Sulama Sistemi ve Bileşenlerinin Tasarımı 112
3.2.1.2. PV Sistem ve Bileşenlerinin Tasarımı 114
3.2.1.3. Otomasyon Sistemi ve Bileşenlerinin Tasarımı 122
3.2.1.3.(1). Sulama Sistemi Otomasyonu 123
3.2.1.3.(2). Sulama Sisteminin Dairesel Hareketini Sağlayan Sistem 125
3.2.1.3.(3). Güvenlik Sistemi Otomasyonu 127
3.2.1.3.(4). Ana Kontrol Sistemi ve Bileşenleri 128
3.2.1.3.(5). Web Otomasyonu ve Bileşenleri 131
3.2.2. Sistem Performans Ölçüm Metodolojisi 137
3.2.2.1. Sistem Bünyesinde Kurulu Olan Ölçüm Sistemi 137
3.2.2.2. Sistem Bünyesinde Bulunmayan Ölçüm Sistemi 139
3.2.2.2.(1). IV Ölçümü 140
3.2.2.2.(2). İzolasyon Ölçümleri 142
3.2.2.2.(3). Termal Kamera Çekimleri 143
3.2.2.2.(4). Elektrolüminesans Testi 144
3.2.2.2.(5). Güç Kayıt Cihazı 145
3.2.3. Sistem Maliyet Metodolojisi 145
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 149
4.1. Sisteminin İşletme Bulguları 151
4.1.1. Pompaj Sisteminde Elde Edilen Bulgular 151
4.1.2. Otomasyon Sisteminden Elde Edilen Bulgular 155
4.1.3. Aylara Göre Bazı Performans Verileri 159
4.1.3.1. 2019 Yılı Ocak Ayına Ait Bazı Performans Verileri 160
4.1.3.2. 2019 Yılı Şubat Ayına Ait Bazı Performans Verileri 162
4.1.3.3. 2020 Yılı Mart Ayına Ait Bazı Performans Verileri 164
4.1.3.4. 2019 Yılı Nisan Ayına Ait Bazı Performans Verileri 166
4.1.3.5. 2020 Yılı Mayıs Ayına Ait Bazı Performans Verileri 168
4.1.3.6. 2020 Yılı Haziran Ayına Ait Bazı Performans Verileri 170

4.1.3.7. 2019 Yılı Temmuz Ayına Ait Bazı Performans Verileri 172
4.1.3.8. 2019 Yılı Ağustos Ayına Ait Bazı Performans Verileri 174
4.1.3.9. 2020 Yılı Eylül Ayına Ait Bazı Performans Verileri 176
4.1.3.10. 2020 Yılı Ekim Ayına Ait Bazı Performans Verileri 178
4.1.3.11. 2020 Yılı Kasım Ayına Ait Bazı Performans Verileri 180
4.1.3.12. 2020 Yılı Aralık Ayına Ait Bazı Performans Verileri 182
4.2. Sistem Performans Bulguları 184
4.2.1. IV Ölçümleri 184
4.2.2. İzolasyon Ölçümleri 188
4.2.3. Termal Kamera Çekimleri 191
4.2.4. Elektrolüminesans Ölçümleri 194
4.2.5. Güç Kayıt Cihazı 198
4.3. Maliyet Analizi 203
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 209
KAYNAKLAR 221
ÖZGEÇMİŞ 239
EKLER 240
EK 1 Ana Otomasyon Sisteminin Tek Hat Şeması 241
EK 2 Ana Otomasyon Sisteminin Tek Hat Şeması Detayı 242

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Santral adetleri ve kurulu güçleri 2
Çizelge 1.2. Türkiye'de aylık güneş enerjisi değerleri 15
Çizelge 1.3. Güneş enerjisi değerlerinin bölgelere göre dağılımı 16
Çizelge 1.4. Ticarileşmiş PV teknolojilerine ilişkin temel veriler 33
Çizelge 1.5. 2021 yılı su kullanım işletme ve bakım ücret tarifeleri 49
Çizelge 1.6. Yer altı suyu Sulama Kooperatiflerince işletilen sulamalar..... 51
Çizelge 1.7. Havzalara göre yıllık yeraltısuyu potansiyeli 52
Çizelge 2.1. Bazı illere göre optimum eğim açısının aylara göre değerleri 61
Çizelge 2.2. Bazı illere göre optimum eğim açısının mevsimlere göre değerleri ... 61
Çizelge 2.3. Lorentz sentır pivot sistemi maliyet analizi 72
Çizelge 3.1. Elektrik santrallerinin tipleri ve kapasiteleri 78
Çizelge 3.2. Şanlıurfa ili uzun yıllık iklim verileri (1929 - 2021) 80
Çizelge 3.3. PV modül özellikleri 87
Çizelge 3.4. PV sistem ile elektrik şebekesinin yatırım maliyetleri 146
Çizelge 3.5. PV sistem ile elektrik şebekesinin işletme maliyetleri 146
Çizelge 3.6. Şebeke sistemi için hesaplanan elektrik giderleri 146
Çizelge 4.1. Örnek IV ölçüm sonucu 185
Çizelge 4.2. Bazı modüllere ait tozlu ve tozsuz IV ölçüm sonuçları 187
Çizelge 4.3. Sabit güneş ışınımında ortalama modüllerdeki değişim miktarları .. 187
Çizelge 4.4. String çıkış izolasyon ölçüm değerleri..... 190
Çizelge 4.5. PV modülde gerçek zamanlı IV ölçümleri..... 195
Çizelge 4.6. Tarımsal sulama fiyatları 203
Çizelge 4.7. Sistemlerin yıllara göre karşılaştırılması 205
Çizelge 4.8. Tüketilen ve tasarruf edilen enerji miktarları..... 206

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Türkiye'de yıllara göre kurulu güç gelişimi 3
Şekil 1.2. Ceylanpınar TİGEM sentır pivot alanları 7
Şekil 1.3. Optimum açıya göre Türkiye'de 1 kWp sistemin ürettiği elektrik 10
Şekil 1.4. Yatay düzleme göre Türkiye'de 1 kWp sistemin ürettiği elektrik..... 11
Şekil 1.5. Yıllık ortalama global güneş radyasyonu dağılımı 11
Şekil 1.6. Türkiye global güneş radyasyonu mevsimlik uzun yıllar ortalaması 13
Şekil 1.7. Türkiye ortalama güneşlenme süresi haritası..... 14
Şekil 1.8. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süresi 14
Şekil 1.9. Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresi dağılımı 17
Şekil 1.10. PV sistem bileşenlerinin toplam maliyetteki payının değişimi..... 21
Şekil 1.11. PV elektrik üretim maliyetlerinin yıllara göre değişkenliği..... 21
Şekil 1.12. PV modüllerin garanti süresi 23
Şekil 1.13. PV hücrenin çalışma ilkesi 29
Şekil 1.14. PV hücre yapısı ve elektrik oluşumu 30
Şekil 1.15. PV hücre, modül ve dizi tasarımları 30
Şekil 1.16. Şebeke bağlantısız PV sistem bileşenleri genel yapısı..... 36
Şekil 1.17. Şebeke bağlantılı PV sistem bileşenleri..... 37
Şekil 1.18. Hibrit PV sistem bileşenleri..... 39
Şekil 1.19. Sentır pivottaki 18 farklı açının konumu 41
Şekil 1.20. Dairesel hareketli (sentır pivot) sulama sistemi..... 41
Şekil 1.21. Doğrusal hareketli (doğrusal pivot) sulama sistemi..... 42
Şekil 2.1. Aynı güçteki modüllerde farklı sıcaklık katsayısının etkisi..... 60
Şekil 2.2. Çalışmaya ait çeşitli görüntüler 68
Şekil 2.3. PV destekli mobil sulama makinesi..... 70
Şekil 2.4. Yüzey suyu kaynaklı PV destekli sentır pivot 71
Şekil 3.1. Çalışma alanı..... 75
Şekil 3.2. Dairesel hareketli sulama sistemi ve PV sistemin konumu 76

Şekil 3.3. PV destekli ve uzaktan kontrollü hareketli sulama sistemi 77
Şekil 3.4. Şanlıurfa güneş enerji potansiyeli 81
Şekil 3.5. Şanlıurfa güneşlenme süresi ve güneş enerjisi değeri 82
Şekil 3.6. Şanlıurfa ili yıllık ortalama rüzgâr frekans gülü 83
Şekil 3.7. Dairesel hareketli sentır pivot sulama sistemi 85
Şekil 3.8. 110 kW'lık dalgıç pompa ve motoru 86
Şekil 3.9. Kademeli trafo 86
Şekil 3.10. Maksimum güç noktası izleyiciler (Şarj kontrol ünitesi) 88
Şekil 3.11. İnvertör grupları 89
Şekil 3.12. Akü grupları 90
Şekil 3.13. Değişken frekanslı pompa sürücüsü 90
Şekil 3.14. Otomasyon odası yerleşim planı 91
Şekil 3.15. Otomasyon panosu 92
Şekil 3.16. Haberleşme, görüntüleme ve kayıt ekipmanları 93
Şekil 3.17. Çalışmada kullanılan kameralar 95
Şekil 3.18. Elektromanyetik debimetre 96
Şekil 3.19. Manometre 97
Şekil 3.20. Dış mekân sıcaklık ve nem sensörü 97
Şekil 3.21. Modül sıcaklık sensörü ve bileşenleri 98
Şekil 3.22. Işınım ölçer (Piranometre) 99
Şekil 3.23. Toprak sıcaklık sensörü 100
Şekil 3.24. Toprak nem sensörü 101
Şekil 3.25. Rüzgâr yön sensörü 101
Şekil 3.26. Rüzgâr hızı sensörü 102
Şekil 3.27. Atmosferik basınç sensörü 103
Şekil 3.28. HT Solar IVe-IV ölçüm cihazı 105
Şekil 3.29. Eko mp-11 IV ölçüm cihazı 106
Şekil 3.30. Dijital izolasyon direnci ölçüm cihazı 107
Şekil 3.31. Termal kamera 108

Şekil 3.32. Elektroluminesans ölçüm sistemi 109
Şekil 3.33. PV destekli dairesel hareketli sulama sisteminin bağlantı şeması 111
Şekil 3.34. Toplam dinamik yükseklik ve debiye göre pompa çapı seçimi..... 113
Şekil 3.35. Boru çapı, debi ve yüksekliğe göre pompa gücü seçimi..... 114
Şekil 3.36. Arazi yüzeyinin tesviyesi ve sıkıştırılması 118
Şekil 3.37. Modüllerin konumlandırılacağı yerin betonlanması..... 119
Şekil 3.38. PV modüllere ait konstrüksiyonun montaj işlemleri 119
Şekil 3.39. PV modüllerin ve konstrüksiyonunun montaj görselleri 120
Şekil 3.40. Pompa değişimi, topraklama ve diğer bağlantılar ile ilgili görseller .. 121
Şekil 3.41. Otomasyon odası ve trafo yer hazırlıklarıyla ilgili görseller 122
Şekil 3.42. Sulama Sistemi otomasyon şeması 123
Şekil 3.43. DC pano 124
Şekil 3.44. Sürücü panosu ve bileşenleri 125
Şekil 3.45. Sulama sisteminin dairesel hareketini sağlayan sistemin şeması..... 126
Şekil 3.46. MPPT bağlantı şeması 126
Şekil 3.47. Güvenlik sistemi otomasyonu 127
Şekil 3.48. Ana kontrol sistemi ve bileşenleri 128
Şekil 3.49. Kontrol modülü ve DF modülleri 129
Şekil 3.50. Uzaktan erişim için kontrol panosu 130
Şekil 3.51. Uzaktan erişim ve kontrol sayfası..... 131
Şekil 3.52. İnternet sitesi açılış sayfası 132
Şekil 3.53. İnternet sitesi açılış sayfası. 133
Şekil 3.54. İnternet sitesi ana sayfası 134
Şekil 3.55. İnternet sitesi enerji analiz sayfası 134
Şekil 3.56. İnternet sitesi toprak analiz sayfası 135
Şekil 3.57. İnternet sitesi alarm sayfası..... 136
Şekil 3.58. İnternet sitesi kontrol ve saha seçim sayfası 136
Şekil 3.59. İnternet sitesi yönetim ve ayarlama sayfası 137
Şekil 3.60. Sistem performans ölçüm şeması 138

Şekil 3.61. IV ölçüm cihazları ve setleri 141
Şekil 3.62. İzolasyon (Hipot) Testleri 143
Şekil 3.63. Elektrolüminesans Testi 144
Şekil 3.64. Elektriksel güç verilerinin ölçülmesi 145
Şekil 3.65. Beş yıllık toplam tüketilmesi gerekli olan enerji bedeli 147
Şekil 4.1. Web sitesindeki ilgili sürücü frekans göstergesi 153
Şekil 4.2. Web sitesindeki ilgili ışınım şiddeti göstergesi 154
Şekil 4.3. Web sitesinde canlı sayfasında görülen bazı veriler 155
Şekil 4.4. Web sitesindeki akü verileri 156
Şekil 4.5. Web sitesindeki görünen anlık bazı veriler 156
Şekil 4.6. Web sitesinden geçmiş verileri indirme penceresi 157
Şekil 4.7. Enerji kaynağına göre verilerin görselleri 158
Şekil 4.8. Web sitesindeki ışınım- debi veri görseli 158
Şekil 4.9. Ocak ayına ait bazı performans verileri 161
Şekil 4.10. Şubat ayına ait bazı performans verileri 163
Şekil 4.11. Mart ayına ait bazı performans verileri 165
Şekil 4.12. Nisan ayına ait bazı performans verileri 167
Şekil 4.13. Mayıs ayına ait bazı performans verileri 169
Şekil 4.14. Haziran ayına ait bazı performans verileri 171
Şekil 4.15. Temmuz ayına ait bazı performans verileri 173
Şekil 4.16. Ağustos ayına ait bazı performans verileri 175
Şekil 4.17. Eylül ayına ait bazı performans verileri 177
Şekil 4.18. Ekim ayına ait bazı performans verileri 179
Şekil 4.19. Kasım ayına ait bazı performans verileri 181
Şekil 4.20. Aralık ayına ait bazı performans verileri 183
Şekil 4.21. IV Ölçer ile saha çalışmasına ait görüntüler 184
Şekil 4.22. Tozluluğun modül verimine etkisi ile ilgili ölçüm görselleri 186
Şekil 4.23. Aynı koşullarda ve güçteki modüllerdeki değişkenlikler 188
Şekil 4.24. Menhol içindeki kopuk DC kablolar 189

Şekil 4.25. Modüllere ait termal görüntüler yabancı otun gölge etkisi 192
Şekil 4.26. Modüllere ait termal görüntülerde sulama sisteminin gölge etkisi 193
Şekil 4.27. Termal görüntülemede kirlenmenin modül sıcaklığına olan etkisi 194
Şekil 4.28. PV modül elektrolüminesans görüntüleri 195
Şekil 4.29. Güç kayıt cihazı ile ölçülen güç değerleri 199
Şekil 4.30. Güç kayıt cihazı ile ölçülen akım, gerilim ve güç verileri 200
Şekil 4.31. Güç kayıt cihazı ile ölçülen güç değerleri 201
Şekil 4.32. Güç kayıt cihazı ile ölçülen toplam güç değerlerine ait verileri 202
Şekil 4.33. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun tüm elektrik tarifeleri 204
Şekil 4.34. Sistemlerin ekonomik olarak karşılaştırması 206

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Amper
AC	: Alternatif akım
AM	: Hava kütlesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CPT	: Işınım yoğunlaştırmalı ısıl sistem
CPV	: Işınım yoğunlaştırılmalı PV sistem
CST	: Yoğunlaştırılmış ısıl sistem
CO_2	: Karbondioksit
dak	: Dakika
DC	: Doğru akım
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GAP TAEM	: GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
h	: Saat
Hz	: Hertz
I	: Akım
I-V	: Akım-Voltaj
kg	: kilogram
kW	: kilowatt
kWh	: kilowattsaat
LID	: Işık kaynaklı bozulma
Max.	: En çok
Min.	: En az
MPPT	: Maksimum güç noktası izleyici
OMGİ	: Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu
P	: Aktif güç simgesi (Watt)
PID	: Potansiyel kaynaklı bozulma

PV	: Fotovoltaik
PV-DSS	: PV destekli damla sulama sistemi
Q	: Reaktif güç simgesi (Var)
S	: Görünür güç simgesi (VA)
STK	: Standart test koşulları (standart test condition-STC)
T	: Sıcaklık
V	: Volt
VA	: Görünür güç birimi (Volt-Amper)
VAR	: Reaktif güç birimi (Volt-Amper-Reaktif)
W	: Aktif güç birimi (Watt)
Wp	: Wp birimi "Watt peak" PV modüllerin güneş ışınlarının doğru açıda ve yoğunlukta geldiği zaman üreteceği maksimum güç
^{o}	: Derece
℃	: Derece Selsius
η	: Verim (%)

1. GİRİŞ

Tarımsal sulamada, modern sulama sistemlerinin kullanımının artmasıyla enerjinin varlığı ve sürdürülebilirliği gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Özellikle kırsal kesimde sulama döneminde enerji nakil hatlarındaki kesintiler ve diğer sıkıntılarla birlikte tarımsal sulamayı olumsuz etkilediği için potansiyeli yüksek alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin önemini ön plana çıkartmaktadır. Güneşin enerjisini direkt kullanmak için günümüzde en yaygın kullanılan araçlardan biri PV sistemlerdir. PV sistemler günümüzde çeşitli alanlarda enerji elde etmek için kullanılmaktadır. Özellikle tarımsal üretim alanında sulamada önemli bir potansiyele sahip olup, tarımsal üretim maliyetlerinden biri olan sulama için kullanılan enerji kaynaklarına alternatif olacak enerji kaynağı durumundadır. Güneş enerjisinin yenilenebilir olması PV sistemler daha cazip hale getirmektedir. Son yıllarda güneş enerjisi gibi kendini yenileyen ve çevre dostu kaynakların araştırılması, geliştirilmesi ve kullanımının önem kazanmaya başlamıştır. Bu geçişin başlıca nedenleri şunlardır:

- Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji isteminin artması,
- Toplumda enerji üretimi ve tüketiminin, kalkınmanın ve gelişmişliğin bir göstergesi durumuna gelmesi,
- Halihazırdaki kaynakların politik olarak sorunlu bölgelerde bulunması,
- Mevcut enerji kaynaklarının büyük bir kısmının fosil kökenli olmaları ve bunların tüketilmesiyle açığa çıkan maddeler çevre için çok yönlü zararlara neden olması,
- Gün geçtikçe mevcut enerji teknolojilerinin kurulum ve işletme maliyetinin artması,
- Fosil kaynakların kısıtlılığı ve tükenebilir olmalarıdır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2019-2023 yıllarına ait stratejik planında; 2023 yılında Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücünün 10 000 MW, rüzgâr enerjisinin 11 883 MW, hidrolik enerjisinin 32 037 MW ve jeotermal ile biyokütle (biyogaz dahil) enerjisi toplam kurulu gücünün 2 884 MW seviyesinde olacağı hedeflenmiştir. Desteklerin devam etmesi durumunda bu artış oranlarının devam edeceği ve hatta 2030 yıllarında güneş enerjisinin 15 559,10 MW, hidrolik enerjinin 45 250,4 MW ve rüzgâr enerjisinin ise 14 531,32 MW kapasiteye ulaşacağı tahmin etmektedirler (Güllü ve Kartal, 2021).

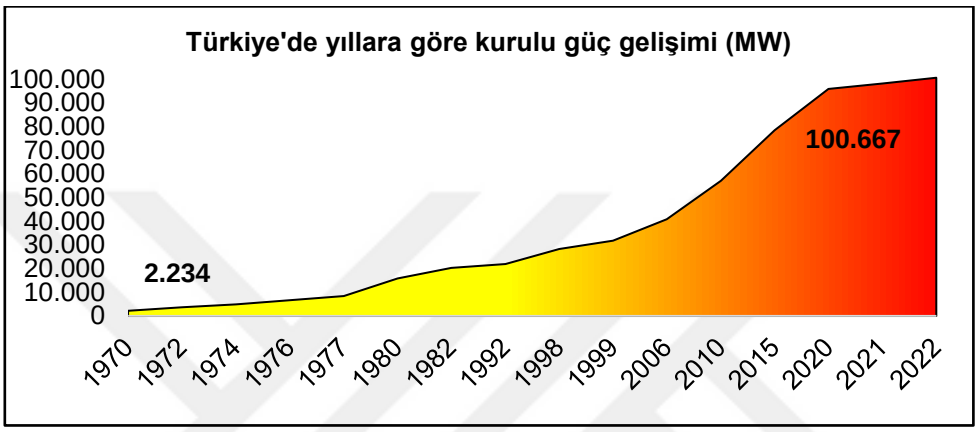
Türkiye'de birincil kaynaklara göre santral adetleri ve kurulu güç Çizelge 1.1'de verilmiştir (TEİAŞ, 2022).

Çizelge 1.1. Santral adetleri ve kurulu güçleri (TEİAŞ, 2022)

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	604	8 237,30
Asfaltit kömür	1	405,00
Atık ısı	94	390,90
Barajlı hidrolik santral	144	23 317,80
Biyokütle	380	1.763,80
Doğalgaz	345	25 302,20
Fuel oil	9	251,90
Güneş	8 725	8 335,90
İthal kömür	15	9 053,80
Jeotermal	63	1.686,30
Linyit	47	10 142,50
LNG	1	2,00
Motorin	1	1,00
Nafta	1	4,70
Rüzgâr	356	10 930,60
Taşkömürü	4	840,80
Toplam	10 790	100 666,50

Türkiye'de 2021 yılı haziran ayı itibari ile birincil kaynaklara göre en fazla santral âdetine sahip olan birincil kaynak 8 725 adet ile güneş enerji santrallerdir (GES). Kurulu güç (MW) açısından bakıldığında ise en fazla kurulu güce sahip olan birincil kaynak 25 302 MW ile doğalgaz olup, bunu 23 317 MW ile hidrolik santrallerdir. Toplam santral âdeti 10 790 ve kurulu güç ise toplam 100 666,50

MW'tır. 1970 yılından 2022 yılına kadarki kurulu güç gelişimine ait Şekil 1.1'de verilmiştir. Elektrik üretimi kurulu gücü 1970 yıllarında 2 234 MW' iken 2021 yıllarında 98 162 MW seviyelerine ulaşmıştır. Mevcut durumda kurulu santrallerin % 7'si lisansız üretim yapmaktadır (TEİAŞ, 2022).



Şekil 1.1. Türkiye'de yıllara göre kurulu güç gelişimi (TEİAŞ, 2022)

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) kapsamlı çalışmasında sunulan enerji üretim maliyet verilerine göre biyoenerji, jeotermal ve hidroelektrik teknolojilerini üretim maliyetlerinin istenen seviyelere düştüğü, güneş ve rüzgâr enerjisi maliyetlerinin ise gün geçtikçe düşmeye devam ettiği vurgulanmıştır. PV sistemlerin 2010-2019 yılları arasında en keskin maliyet düşüşünü % 82 oran ile gösterirken, bunu % 47 ile yoğunlaştırmalı güç sistemleri (CSP), % 40 ile kara rüzgârı ve % 29 ile açık deniz rüzgârı takip ettiğini belirtmişlerdir. Şebeke ölçeğinde PV sistemlerden elde edilen elektrik maliyetleri yıllık % 13 düşerek 0,068 $/kWh seviyesine ulaştığını belirtmişlerdir (IRENA, 2021a). Son yıllarda PV sistemlerde üretim maliyetlerindeki düşüşler neticesinde kurulumların artması beklenmektedir. Gelecekte kullanımının artacağına işaret eden birçok faktör olup, bunların başından güneş enerjisinin büyük bir potansiyele sahip olması gelmektedir. Bu durum güneş enerjisini öncelikli kaynaklar sınıfına getirmektedir (Alaçakır, 2014).

Yeryüzüne her yıl gelen güneş enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt rezervlerinin yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde nükleer, fosil ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden 15.000 kat kadar daha fazladır. Bu bakımdan güneş enerjisi gibi bir kaynağın varlığı ve tükenmeyecek olması onun kullanılmasını daha cazip hale getirmektedir. Güneşten Dünya'ya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Birçok ülkeye göre Türkiye güneş kuşağında olmasına rağmen sahip olduğu potansiyeli yeterli derecede etkin ve yaygın bir şekilde kullanamamaktadır. Diğer taraftan, ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede Dünya'ya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1 700 katıdır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi potaqnsiyeli olan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir (YEGM, 2019).

Tüm üretim dallarında olduğu gibi, tarımda da üretim giderlerini azaltılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu giderlerden biri de sulama sırasındaki enerji tüketimidir. Tarlanın; su kaynağından uzakta, yüksekte veya hem uzakta hem de yüksekte olması durumunda, suyu tarla yüzeyine kadar getirmek ve dağıtmak için bir pompaya, pompanın çalışması için motora, motorun çalıştırması için belirli bir miktar enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji günümüzde şebeke elektriğinden veya petrol kaynaklı ürünlerden sağlanmaktadır. Özellikle şebeke elektriği olmayan veya şebeke elektriği götürülmesi güç ve pahalı olan tarımsal alanlarda, petrol kaynaklı motorların güç sağladığı pompalar kullanılmaktadır. Bu tip sistemler sürekli günlük bakım isterler ve suyu bol olan yerlere değil, ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Her iki durumda da belirli bir kurulum ve işletme gideri mevcuttur. Bu durum, tarımsal ürünlerin maliyetini arttıran unsurlardan birisidir. Bu maliyetleri düşürmek için değişik konular karşımıza çıkmaktadır. Bu

uygulamalardan birisi, sulama maliyetini düşürmek için günümüzde kullanılan enerji kaynaklarına alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanılmasıdır. Güneş enerjisi, tarım sektöründe, sahip olduğu potansiyel ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek durumdadır. Güneş enerjisi ile çalışan su pompası sistemleri, günlük bakım istemedikleri gibi istenilen bir yerde kurulabilirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş giderleri yüksek olmasına rağmen, yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçerler (Gençoğlu ve ark, 2000).

PV sistemlerle güneş ışınımından ortalama % 15-20 düzeyinde bir verim ile elektrik üretilebilmektedir. Benzer şekilde, önceleri sadece küçük hücrelerin birleşmesi sonucu oluşturulan modüller, bugün nanoteknoloji ile tek parça olarak üretilebilmekte ve yaklaşık 30 yıl kullanılabilmektedir (Czanderna ve ark, 1999; Yeşilata ve ark, 2006). Günümüzde PV modüllerin verimi % 20 üzerine çıkmıştır. Türkiye'de sulamada PV sistemlerin kullanımı güneşten elektrik üretimi katsayısı yüksek olan kırsal kesimlerde oldukça elverişli gözükmektedir. Kurulu elektrik şebekelerindeki elektrik kesintilerinin, tarımsal sulamada en büyük sorun olduğu, yeni sulamaya açılacak alanlara yeni enerji şebekesi çekmenin pahalı olduğu ve her iki durumda da PV sistem ile sulamanın daha ekonomik olduğu yapılan bazı çalışmalarda (Öztürk, 2008; 2009; 2013; 2014; 2015; 2016a; 2016b; 2019; Atay ve ark, 2009a; 2009b; 2009c; 2009d; 2011a; 2011b; 2011c; 2011d; 2012a, 2012b, 2012c; 2012d; 2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2014; 2021 vd) vurgulanmıştır.

Özellikle güneşin bol olduğu dönem, bitkilerin suya en çok ihtiyaç olduğu dönemdir. Bundan dolayı, PV sistemlerin sulama dönemine göre çalışacak şekilde tasarlanması ve geliştirilmesi konusu çok büyük önem arz etmektedir. PV sistemlerin sulamada kullanımı, son yılarda güncel konulardan biri olmasına rağmen, var olan sistemlerde uygulamaya dönük karşılaşılan birçok sorun

mevcuttur. Bu sorunlardan dolayı bazı PV sistemlerin uygulamada sağlıklı çalışamadığı bilinmektedir.

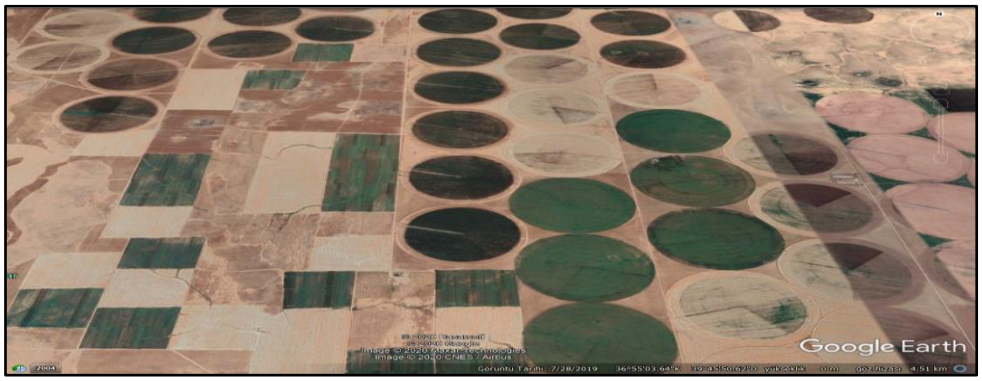
Elektriğin olmadığı bölgelere enerji ulaştırılması için bir orta gerilim şebekesinden ilave trafo ile nakil yapılmakta, bu durumda hem şebeke maliyetlerini 1 km mesafeden 140 000,00 TL civarında ek bir maliyet oluşturmakta, hem de hat kayıplarını artırmaktadır. Hat kayıpları artığından dolayı, elektrikte dalgalanmalar olmakta bunun sonucunda da ilgili bölgelerde elektrik kesintileri, bazı kuyuların panosu ve dalgıç pompa motorunun yılda birkaç defa arızalanmasına neden olabilmektedir. Bu durumda, kurulum maliyeti ve işletme maliyeti yanındaki beklenmeyen arıza masrafları da meydana gelmektedir. Bitkilerin suya en fazla ihtiyaç duydukları dönemde yaşanan elektrik kesintileri, verimde büyük kayıplara yol açmakta bu durum üreticileri mağdur etmektedir.

Özellikle, yeraltından su çekerek sulama yapan çiftiler suyu fazladan çektikleri için yer altı suları gün geçtikçe tükenmekte ve daha derine çekilmekte bundan dolayı suya ulaşmak için daha fazla enerji kullanarak su çekilmektedir. Bu durum, çevredeki yüksek arazilerde bulunan su kaynaklarının kurumasına neden olmakta ve kısacası çok yönlü bir zarara sebebiyet vermektedir. Özetle tüm bu sorunlar sonucunda verim kaybı, kaçak elektrik kullanımı, elektrik kesintileri vb. olumsuz durumlar oluşturmaktadır.

Tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla çeşitli modern sulama teknolojileri geliştirilmekte ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Tarım alanlarının değişken büyüklüğü, işçilik maliyetlerinin yüksek olması, mevcut sulama sistemlerinin uygulama zorlukları, mevcut sistemlerde insan gücüne olan gereksinim, çoraklaşma, topraktaki tuzluluk, sulama suyunun ihtiyaçtan fazla kullanılması, topraktaki drenaj problemleri gibi birçok nedenden dolayı sulamada doğrusal ve dairesel hareketli modern sulama sistemlerinin kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde hareketli sulama sistemlerinden en çok kullanılan sentır pivot gibi modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılmasının önündeki en büyük engel enerji teminidir. Özellikle kırsal kesimlerindeki enerji

yokluğu ve belirsiz zamanda kesintiye uğraması tarımsal sulamada en büyük sıkıntıların nedeni durumundadır. Bu enerji sorunu PV sistemlerin sentır pivot sistemine entegre edilerek giderilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Bu sistemin kurulup çalışması sayesinde benzer hareketli sulama sistemlerde kullanımı da sağlanabilecektir.

Kesintisiz enerji ile modern sulama sistemlerine geçiş tarımsal sulamada randımanı % 85 oranına çıkarabilmektedir (TİGEM, 2019). Şebeke elektriğinden kaynaklanan sorunlardan dolayı tam kapasiteyle üretim yapılamayan Şanlıurfa Gündaş bölgesinde örneğin 2014 yılı içerisinde elektrik kesintilerinden dolayı GAP TAEM'in 1300 da ekili alanı zarar görmüştür. Bunun yaklaşık 400 da alanından hiç ürün alınamamıştır. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamından yeni sulama alanlarının açılmasıyla modern sulama sistemlerine hızlı bir geçişin söz konusu olması, bölgede TİGEM çiftlikleri ile beraber yaklaşık 700 adet civarında sentır pivot sulama sisteminin mevcut olması ve bu sistemlerde benzer sıkıntıların yaşanması çalışmamızın gerekliliğini güçlendirmiştir. TİGEM'de mevcut olan senır pivotlara ait fotoğraf Şekil 1.2'de verilmiştir. Görselde de göründüğü gibi sentır pivot sulama alanlarının dışı genellikle boş kalarak âtıl duruma geçebilmekte ve bu pivotların arasında kalan boş aralıklara PV sistemlerin kurulumu uygun olabilecek bir potansiyel oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Ceylanpınar TİGEM sentır pivot alanları

Bu çalışmada hareketli sulama sistemlerinde var olan sıkıntıları azaltacak PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli bir sulama sisteminin kurulumu amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın amaç ve hedefleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir. Bunlar;

- Fotovoltaik yöntemle güneşten üretilen elektrik ile çalışan ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemi geliştirmek,
- Elektrik enerjisinin yüksek maliyetli olmasından dolayı ucuz ve kullanımı kolay enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin PV sistemler vasıtasıyla derin ve büyük dalgıç pompalarda kullanılabilirliğini araştırmak,
- PV sistem destekli sulama sistemlerinin Türkiye ortalamasının üzerinde güneş enerjisi potansiyeline sahip olan GAP Bölgesinde hem şebeke hem de güneş enerjisiyle uyumlu çalışabilen ve büyük güç gerektiren derin kuyulu pompaj tesisleri için örnek bir sistem kurmak,
- Şebeke enerjisinin bulunmadığı, naklinin maliyetli olduğu kırsal yerlerde veya şebeke olduğu halde sulama döneminde sorunlu olduğu alanlarda, alternatif bir kaynak oluşturmak ve sulanan alanların arttırılmasına katkı sağlamak,
- Büyük güç isteği olan pompalarda güneş enerjisinin direkt akü olmadan kullanımında örnek bir tesis kurulması sağlamak,
- Modern sulama sistemine entegre edilen PV ünitelerin gerçek arazi koşullarında bazı performans parametrelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesini yapmak,
- Pompalardaki ilk kalkışta oluşan demeraj akımını ve buna bağlı zararları hız kontrol sistemiyle engellemektir.

Özet ile bu çalışmada: PV sistemlerin büyük güçlü derin pompaj tesislerinde hareketli sulama sistemi (sentır pivot) gibi modern sulama sistemlerine entegre edilerek kullanımı, büyük güçlü 132 kW'lık DC pompa sürücüsünün kullanılması (değişken frekanslı pompa sürücüsü), uzaktan takip ile kontrolünü yapan ana otomasyon sisteminin ve web sitesi gibi bileşenlerinin kurulması, Tarım 4.0 konusu kapsamında kurulumu yapılan tüm sistem ve bileşenlerin bir arada senkronize bir şekilde tasarlanması ve kurulması bu araştırmanın özgün değerlerini oluşturmaktadır.

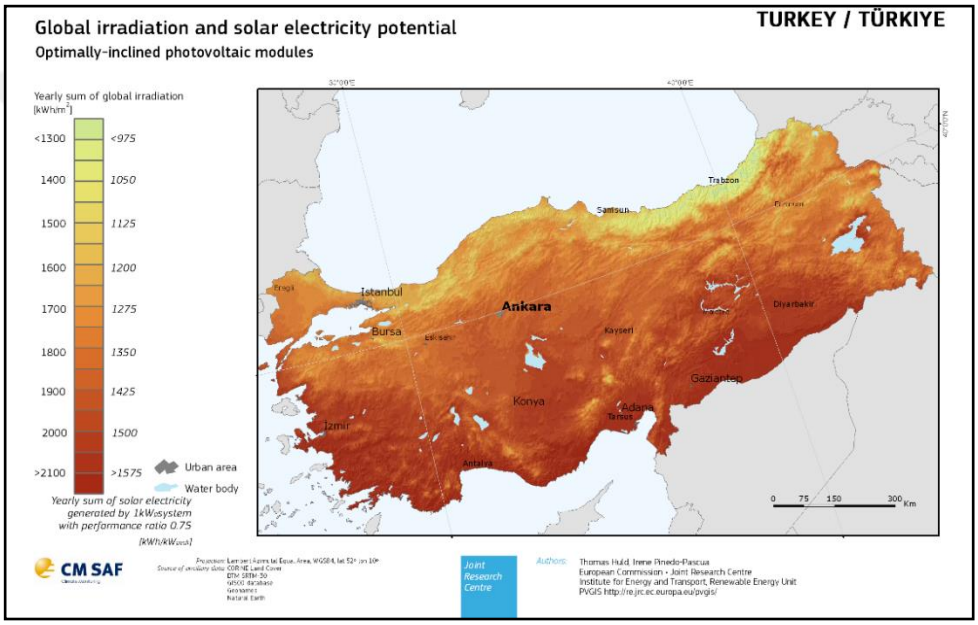
1.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünya yüzeyinden yaklaşık 160 km uzaklıkta atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu diğer bir deyişle, güneş sabiti yaklaşık 1,37 kW/m²'dir. Güneş enerjisinden en iyi yararlanan bölge ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan kısmıdır. Bu bölge "Dünya güneş kuşağı" olarak adlandırılır. Bir yılda 2 000- 3 500 saat güneş alır ve güneş potansiyeli 3,5-7 kWh/m²/gün arasında değişir. Dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı kurak bölgelerde 2 000-2 500 kWh/ m² ve daha üst enlemlerde ise 1 000-1 500 kWh/ m² arasında değişir. Dünya'nın değişik bölgelerindeki güneş radyasyon şiddetinin yıllık toplam miktarları;

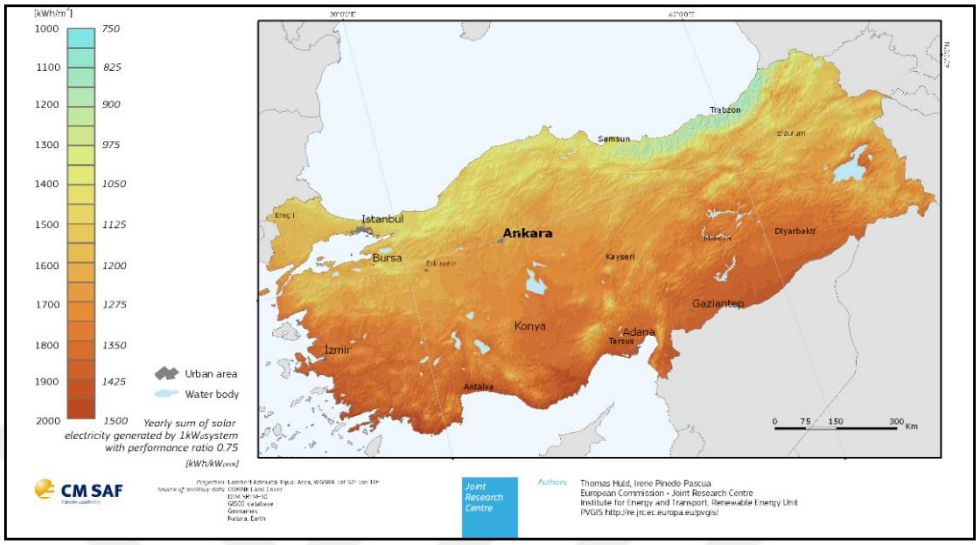
- Kuzey Avrupa 800 kWh/ m².yıl,
- Orta Avrupa 1 000 kWh/ m².yıl,
- Akdeniz Bölgesi 1 700 kWh/ m².yıl ve
- Ekvator 2 200 kWh/ m².yıl'dır (Aksungur ve ark, 2013).

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2 741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1 527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit

edilmiştir (Temsan, 2020). Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nin yayınlamış olduğu optimum ve yatay açıya göre verimi 0,75 olan 1 kWp sistemin Türkiye'de ürettiği güneş enerjisinin yıllık toplamı gösteren haritalar Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te yer almaktadır. Burada PV modüllerde küresel güneşlenme ile güneş elektrik potansiyelleri optimum açıya göre Şekil 1.3'te, yatay montaj durumuna göre Şekil 1.4'te verilmiştir (Huld ve Pascua, 2020; Uygun ve ark, 2018).



Şekil 1.3. Optimum açıya göre Türkiye'de 1 kWp sistemin ürettiği elektrik



Şekil 1.4. Yatay düzleme göre Türkiye'de 1 kWp sistemin ürettiği elektrik

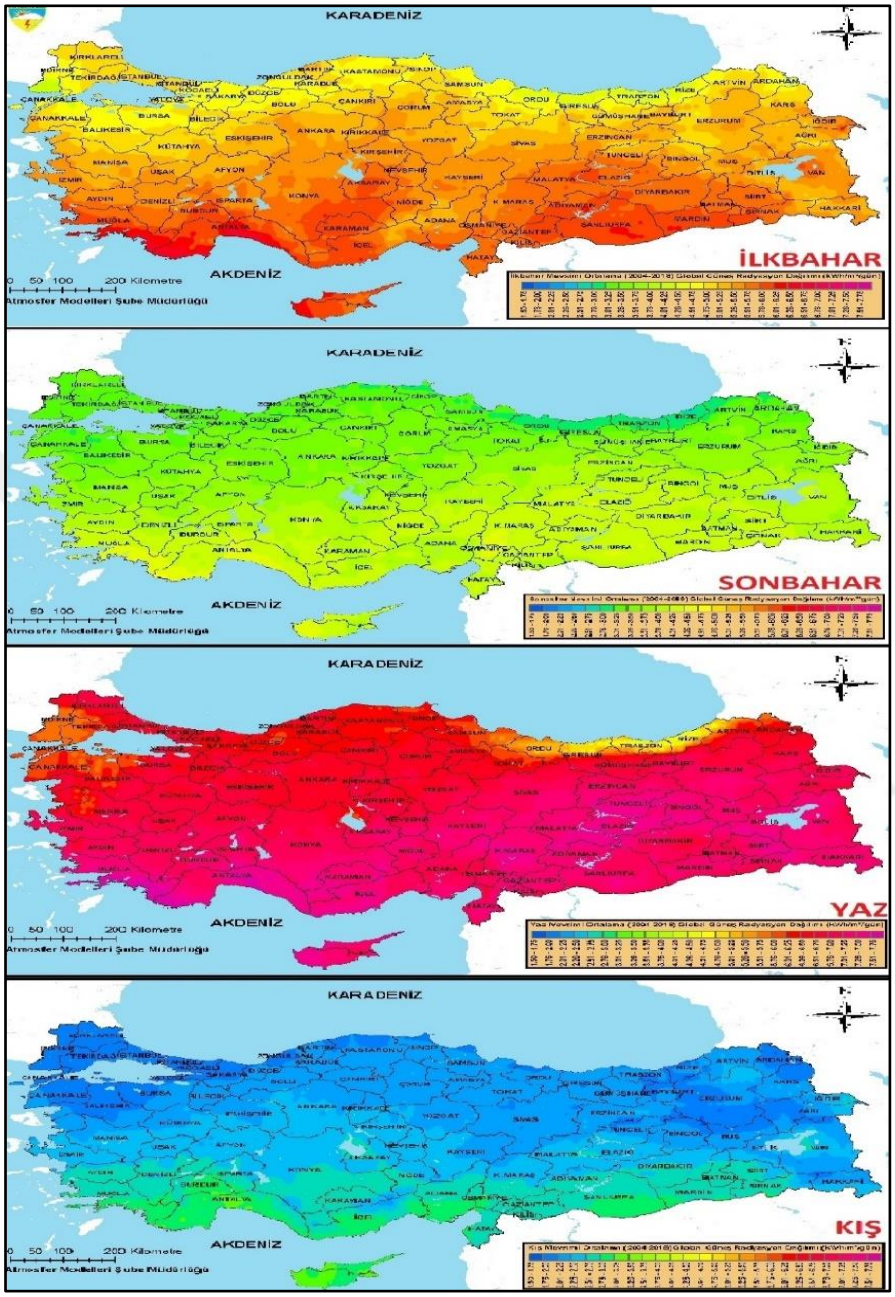
Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) Türkiye global güneş radyasyonu uzun yıllar ortalaması (2004-2018) heliosat model ürünlerine göre Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Yıllık ortalama global güneş radyasyonu dağılımı (MGM, 2018)

Meteosat uydu verileri kullanılarak, açık hava için hesaplanan global güneş radyasyon değerleri bulut parametresiyle düzeltilmektedir. Türkiye için 3 610 grid noktasında 0.2°×0.2° çözünürlükte veri üretilmektedir. İlgili zaman periyoduna ait global güneş dağılım haritaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak oluşturulmaktadır. Global enerji değerlerinde değişik hesaplama yöntemleri kullanıldığından, ışınım haritalamada farklılıklar çıkabilmektedir (MGM, 2020a).

Şekil 1.6'da verilen grafik çalışması 1988-2017 yılları arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonlarında ölçülen günlük toplam güneşlenme süresi verilerinden hesaplanan uzun yıllar ortalamaları ile yapılmıştır. MGM bünyesinde mevsimsel uzun yıllardır helyograf cihazı ile yapılan güneşlenme süresi ölçümleri, 2000'li yıllardan itibaren Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) monte edilmiş güneşlenme süresi ölçer cihazlar ile sürdürülmektedir. Türkiye global güneş radyasyonu mevsimlik uzun yıllar ortalaması (kWh/m^2/gün) olarak verilmiştir (MGA, 2020a).

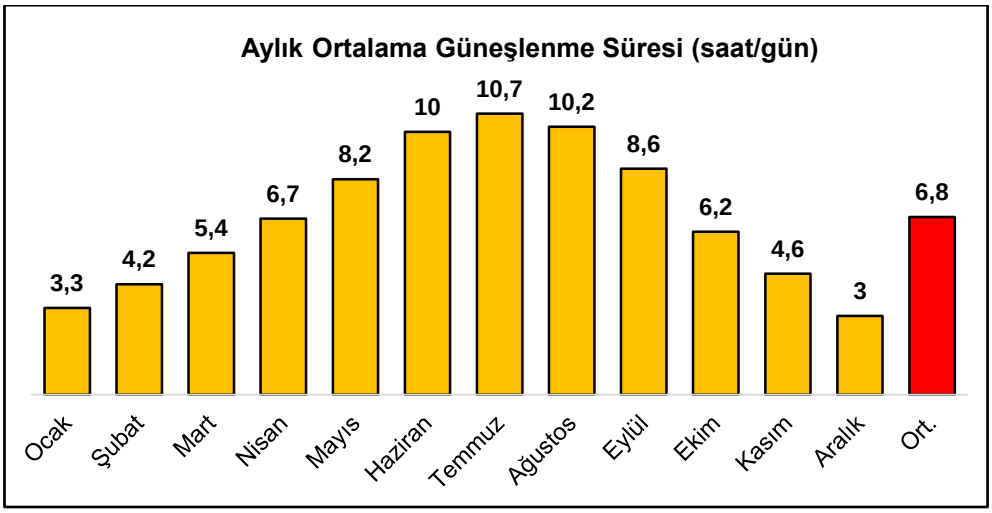


Şekil 1.6. Türkiye global güneş radyasyonu mevsimlik uzun yıllar ortalaması

Türkiye için hesaplanan, 1985-2019 yıllarına ait günlük toplam güneşlenme sürelerine göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi en düşük 6,3 saat ile 1988 yılında, en yüksek 7,2 saat ile 1990 yılında ve 1985-2019 yılları arasında Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresi 6,8 saat olarak hesaplanmıştır. Buna göre Türkiye ortalama güneşlenme süresi Şekil 1.7'de aylık (1988-2017 yılları) güneşlenme süreleri ise Şekil 1.8'de verilmiştir (MGA, 2020a).



Şekil 1.7. Türkiye ortalama güneşlenme süresi haritası (MGA, 2020a)



Şekil 1.8. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süresi (MGA, 2020a)

Türkiye aylara göre toplam güneş enerjisi parametre değerleri Çizelge 1.2'de verilmiştir. Güneş enerjisinin en az geldiği ay 4,03 kcal/cm²'lik değer ile Aralık ayında gerçekleşirken, en fazla güneş enerjisinin geldiği ay ise 15,08 kcal/cm²'lik değer ile Temmuz ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Türkiye güneşlenme süresi açısından 1 033 saat ile en fazla yaz mevsiminde, en az güneşlenme süresi ise 321 saat ile kış mevsiminde gerçekleşmektedir. Aylık bazda ise en fazla güneşlenme süresi 365 saat ile Temmuz ayında gerçekleşirken, en az güneşlenme süresi 103'er saat ile Aralık ve Ocak aylarında gerçekleştiği belirlenmiştir (Özgür, 2020).

Çizelge 1.2. Türkiye'de aylık güneş enerjisi değerleri (Özgür, 2020)

Aylar	**Aylık Toplam Güneş Enerjisi**		
	(kcal/cm²-ay)	**(kWh/m²-ay)**	**(Saat/ay)**
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1 311,00	2 640
Ortalama	308,00 kcal/cm²-gün	3,60 kWh/m²-gün	6,8 saat/gün

Türkiye Güneş enerjisi ile güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 1.3'te verilmiştir (Özgür, 2020). Güneş enerjisi değerlerinin bölgelere göre kıyaslandığında yılda en fazla ortalama 1 460 kWh/m² ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olurken en az güneş enerjisi değeri ise yılda ortalama 1 120 kWh/m² ile Karadeniz Bölgesinin olduğu belirlenmiştir. Bu durum Karadeniz Bölgesinin ekvatoral bölgeye en uzak olmasından kaynaklandığı

bilinmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinin güneş enerji değerlerinin daha yüksek olması ise ekvatoral bölgeye daha yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Karadeniz Bölgesine gelen güneş enerjisi değerinin düşük olmasının diğer bir nedeni ise bölgedeki nemli havanın fazla olması ve gelen güneş ışınımlarına perdeleme etkisi yapması, birim zamanda birim alana düşen ışınım miktarını azaltmaktadır (Taşova, 2018; Aksunger ve ark, 2013).

Çizelge 1.3. Güneş enerjisi değerlerinin bölgelere göre dağılımı (Özgür, 2020)

Bölgeler	Işınım (kWh/m²-yıl)			Güneşlenme süresi (saat/yıl)		
	Ortalama	En Fazla	En Az	Ortalama	En Fazla	En az
Güneydoğu	1 460	1 980	729	2 993	407	126
Akdeniz	1 390	1 869	476	2 956	306	101
Doğu Anadolu	1 365	1 863	431	2 664	371	96
İç Anadolu	1 314	1 855	412	2 628	381	98
Ege	1 304	1 723	420	2 738	373	165
Marmara	1 168	1 529	345	2 409	351	87
Karadeniz	1 120	1 315	409	1 971	273	82

Haziran ayında en fazla güneşlenme süresi 407 saat ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleşirken en az güneşlenme süresi ise 273 saat ile Karadeniz Bölgesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Aralık ayında en fazla güneşlenme süresi 165 saat ile Ege Bölgesinde gerçekleşirken, en az güneşlenme süresi ise 82 saat ile Karadeniz Bölgesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Yıl içerisinde ortalama en fazla güneşlenme süresi 2 993 saat ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olurken en az güneşlenme süresi ise ortalama 1971 saat ile Karadeniz Bölgesinin olduğu belirlenmiştir. Haziran ayında 1 m² alana düşen en fazla güneş enerjisi ortalama 1 980 kWh ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi olurken en az güneş enerjisi ise 1 315 kWh ile Karadeniz Bölgesi olduğu belirlenmiştir. Aralık ayında ise 1 m² alana düşen en fazla güneş enerjisi değeri ortalama 729 kWh ile Güneydoğu Anadolu

Bölgesinde gerçekleşirken en az güneş enerjisi değeri ise ortalama 345 kWh ile Marmara Bölgesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum Marmara Bölgesinin Karadeniz Bölgesine göre diğer aylarda daha fazla güneş enerjisi almasından kaynaklandığı söylenebilir. Güneş enerjisinde lokomotif ülke olan Almanya'nın aldığı en fazla ışınım değeri olan yıllık 1 200 kWh/m^2, Türkiye'nin en az ışınım alan bölgesi olan Karadeniz Bölgesi'nin ışınım değeriyle hemen hemen aynıdır. Bu açıdan bakılacak olursa Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanma oranının oldukça düşük olduğu söylenebilir. Ancak son yıllardaki destek ve teşviklerle bu oran artmaya başlamıştır (Özgür, 2020).

Türkiye 1985-2020 yıllarına ait ortalama günlük toplam güneşlenme süresi dağılımı ise Şekil 1.9'da verilmiştir. Burada yer yüzeyinde Topoğrafik özelliklerdeki değişkenlik aynı bölgede farklı değerleri ortaya çıkarmaktadır (MGM, 2020b).



Şekil 1.9. Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresi dağılımı (MGM, 2020b)

Buna göre güneşlenme süresi en fazla olan iller sırasıyla; Antalya (8,2 saat), Mardin (8,1 saat), Şanlıurfa (8,1 saat), ve İzmir (8,1 saat) illeridir. Güneşlenme

süresi en düşük olan iller sırasıyla Giresun (2,8 saat), Rize (4,2 saat) , Trabzon (4,5 saat) ve Ordu (4,5 saat) illeridir. Haritadan da anlaşıldığı gibi Güney Bölgelerden Kuzeye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli azalmaktadır. Karadeniz Bölgesi, coğrafi konumu ve yağmurlu gün sayısının fazla olması nedeniyle en az ışınım alan bölgedir. Marmara ve Ege orta değerde ışınım alırken, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu yüksek değerde ışınım alan bölgelerimizdir. Veriler değerlendirildiğinde güneş enerjisi bakımından bu bölgelerde güneş enerjisine yatırım yapmak daha verimli ve yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi diğer bölgelere göre daha kısa olduğu söylenebilmektedir.

1.2. Dünya'da Güneş Enerjisinin Durumu

Dünya'daki hemen hemen tüm ülkelerde güneş enerjisi ile belirli belirsiz oranlarda elektrik üretimi yapıldığı söylenebilir. Hesaplamalarda genel olarak şebekeden bağımsız sistemler istatistik dışında bırakılmakta ve şebeke bağlı sistemlerin istatiksel bilgileri verilmektedir.

Bazı ülkelerin (62 ülkenin) toplam GES kurulu gücü 702 923 MW'ta ulaşmıştır. Bu 62 adet ülkenin kurulu güç dağılımına bakıldığında lider Çin Halk Cumhuriyeti olup sırasıyla ABD, Japonya, Almanya, Hindistan, İtalya, Avusturalya, Vietnam, Güney Kore, İspanya, İngiltere, Fransa, Hollanda, Brezilya, Türkiye, Güney Afrika, Tayvan, Belçika, Meksika, Ukrayna, Polonya, Kanada, Yunanistan, Şili, İsviçre, Tayland, BAE, Avusturya, Çekya, Macaristan, Mısır vd ülkeler takip etmektedir. Farklı ülkelerin güneş enerjisi ve kullanımı ile ilgili olarak gerçekleştirmiş oldukları ve önümüzde yıllarda ki hedefleri aşağıda sıralanmıştır (Enerji Atlası, 2022a).

- **Çin Halk Cumhuriyeti:** 2020 yılı itibari ile küresel olarak kurulu kapasitenin üçte birini oluşturan 200 GW'lık üretim kapasitesi ile Dünya'nın en büyük güneş enerjisi santrali inşaat programını devreye

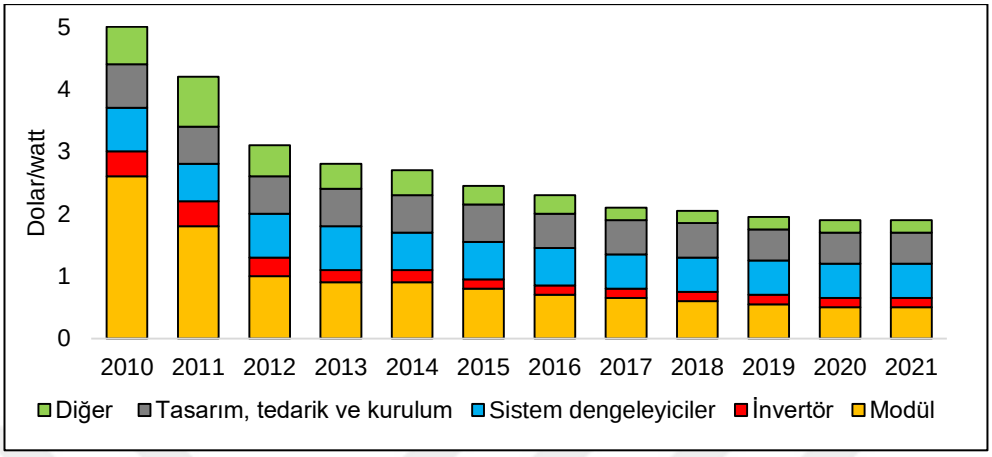
almıştır (Sitharthan and Geethanjali, 2015; Sitharthan ve ark, 2020). 2021 yılı itibariyle 254 354 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).

- **ABD:** 2017 yılı itibari 10 yıl içinde 10 milyon PV modülü kurma kararı alınırken 2030 yılına kadar ihtiyaç duyulan elektriğin %10'unu güneş enerjisinden sağlanması planlanmaktadır. 2017 sonunda toplam kapasite 50 GW'a ulaşmıştır. Convert Nevada çölü (nükleer testlerin yapıldığı yer) Dünya'nın en büyük güneş laboratuvarıdır (Sitharthan ve ark, 2019a). 2021 yılı itibariyle 75 572 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).
- **Japonya:** 2017 yılı itibari ile Japonya'da güneş enerjisi kapasitesi 2017 yılı sonunda toplam kapasite 50 GW'a ulaştı. Güneş enerjisi üretimi bir yılda 1,2 kat artmıştır (Sitharthan ve ark, 2017). 2021 yılı itibariyle ise 67 000 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).
- **Almanya:** Güneş enerjisi kurulu gücü 2016 yılı sonunda 40 GW iken 2021 yılı itibariyle 53 783 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).
- **Hindistan;** 2019 yılı itibari ile bu ülkede 10 000 fotovoltaik su pompasının kurulması ve işletilmesi planlanmaktadır. 2019 sonunda güneş enerjisi üretim kapasitesi 37,5 GW'a ulaştı. Tarım alanları için 181 000 fotovoltaik destekli su pompası kurulmuştur (Palanisamy ve ark, 2009). 2021 yılı itibariyle 39.211 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).
- **Türkiye;** 2018 yılı itibari ile fotovoltaik sistemlerin yıllık enerji üretim programı 500 kW'tır. 2018 yıl sonu itibarıyla güneş enerjisi üretim kapasitesi 6 GW'a ulaşmış ve güneş enerjisi kollektörleri 8 milyon metrekareden 11 milyon metrekareye yükselmiştir (Rajesh ve Gnanasekar, 2017). 2021 yılı itibariyle 7 170 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a). TEİAŞ, 2022 Şubat ayı raporuna göre güneş enerji kurulu gücü toplam kurulu gücün % 7,9'u olup, 7 881,1 MW kurulu güç seviyesine ve santral sayısı 8.482 âdete ulaşmıştır.

- **Tayvan;** 2019 yılı itibari ile önümüzdeki 20 yıl içinde yenilenebilir enerji kaynaklarına 6 500 ile 10 000 MW'lık enerjiyi güneş enerjisinden elde etmeyi planlamaktadır. Bu ülkenin 2019 sonunda güneş enerjisi üretim kapasitesi 4 GW'a ulaşmıştır. İki hektar alana sahip, bir megavat enerji üretim kapasiteli Asya'nın en büyük güneş enerjisi santralinin inşaatı yer almaktadır (Sundar, ve ark, 2019). 2021 yılı itibariyle 5 817 MW kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).
- **Ürdün;** 2018 yılı itibari ile halkın bu teknolojiden yararlanma şansı arttı. 2018 yılsonu itibarıyla güneş enerjisi üretim kapasitesi 1 GW'a ulaştı. PV destekli su pompalarını desteklemek için bu alandaki araştırmalar genişletilmelidir (Sitharthan ve ark, 2019b). 2021 yılı itibariyle 1 359 MW Kurulu güce ulaşmıştır (Enerji Atlası, 2022a).

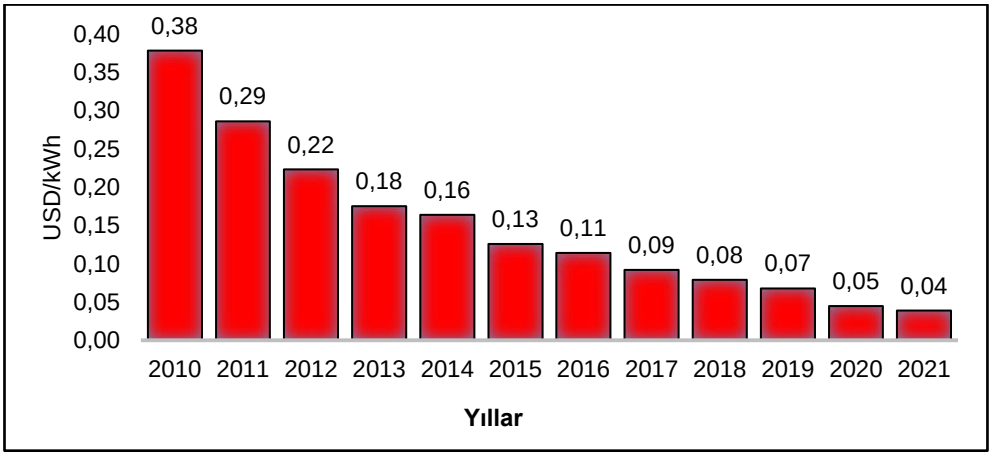
Yeni kurulan yenilenebilir enerji sistemleri, fosil yakıtlarda en ucuz enerji üretim seçeneklerinden bile daha ucuza gelebilme potansiyeli mevcuttur. Açık artırma sonuçları, yenilenebilir enerji kaynakları için bu olumlu maliyet eğilimlerinin hızlandığını gösteriyor (IRENA, 2021b). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) günümüzde PV sistem toplam maliyetlerini ve alt bileşenlerinin toplam içerisindeki miktarını gösteren projeksiyon çalışmasına göre, modül maliyetinin toplam maliyet içerisindeki payının azalacağı, buna karşın sistem dengeleyicilerin payının artacağı öngörülmektedir.

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi bu durum, gelecek yıllarda PV modül maliyetindeki azalış oranlarının geçmişteki kadar olmayacağını göstermekte ve PV sistem maliyetlerini azaltmanın ancak sistem dengeleyicilerin maliyetlerinin düşmesiyle mümkün olacağına işaret etmektedir (Cebeci, 2017; IRENA, 2021b).



Şekil 1.10. PV sistem bileşenlerinin toplam maliyetteki payının değişimi

Örneğin 2010 yılında 1 000 000,00 USD yatırım ile 213 kW kurulumu yapılabiliyor iken 2019 yılında 1 005 kW kurulum yapılabilmektedir. Bu durum Şekil 1.11'de gösterilen grafikteki gibi 2010 yılından günümüze güneş enerjisinde düşen elektrik üretim maliyetleri % 82'lik bir oran ile azaldığı görülebilmektedir (IRENA, 2021b).

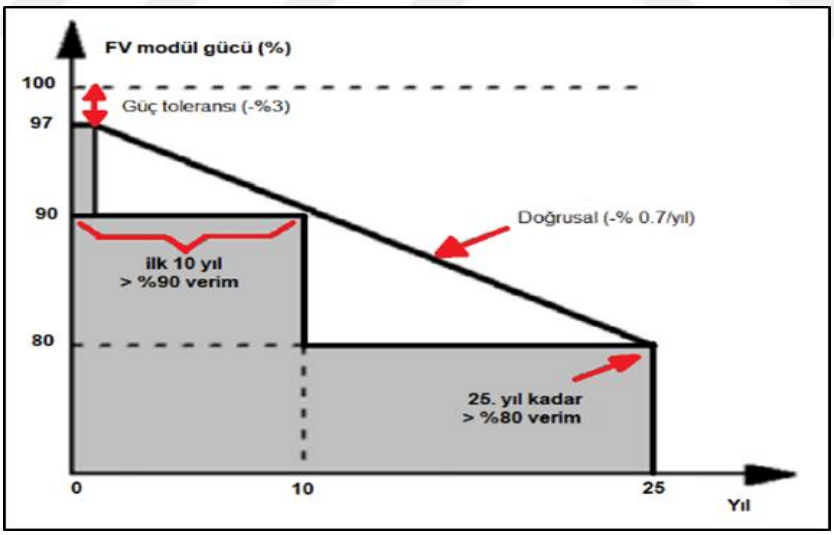


Şekil 1.11. PV elektrik üretim maliyetlerinin yıllara göre değişkenliği

Dünya genelinde şebeke ölçeğinde PV sistemlerden elde edilen elektrik maliyetleri yıllık % 13 düşerek kilovat saat (kWh) başına yaklaşık yedi sente (0,068 ABD doları) ulaşmıştır. Hem karada hem de denizde rüzgâr yıllık yaklaşık % 9 düştü, yeni devreye alınan projeler için sırasıyla 0,053 ABD Doları/kWh ve 0,115 ABD Doları/kWh'ye ulaştı. Güneş ve rüzgâr teknolojileri arasında hala en az gelişmiş olan CSP'nin maliyetleri % 1 düşüşle 0,182 USD/kWh'ye gerilediğini belirtmişlerdir (IRENA, 2021a).

Güneş enerjisinden elektrik üretmek isteyen yatırımcılar; PV sistem maliyetini, hücre ve modül verimliliklerini, ekonomik ömrü ve birim (kW) kapasite kurulumu için gerekli alan gibi bilgileri dikkate alarak karar verebilmektedir. Söz konusu değişkenler arasında en önemli parametre maliyet olmakla beraber sistem performansının da yıllık gelirlerin öngörülebilmesi açısından değerlendirilmeye alınması gerekmektedir. PV teknoloji maliyetlerine ilişkin ortak bir veriye ulaşmak oldukça zordur. Çünkü sistem elemanlarının fiyatları imal edildikleri ülkeye, verimlilik düzeylerine göre farklılık göstermektedir. Teknolojilerin verimliliklerine bakıldığında, kristal silikon teknolojisinin verimliliğinin ince film teknolojisinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, kristal silikon sistemlerle aynı miktarda güç üretmeleri için ince film PV sistemlerin daha geniş araziler üzerinde kurulmaları gerektiğini göstermektedir. Birim kW kapasitedeki modülün kapladığı alan; kristal silikon PV teknolojisinde 6-9 m^2 arasında iken ince film teknolojisinde 9-15 m^2 arasına yükselmektedir (Cebeci, 2017). CPV hücre, modül ve sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar uzun zamandır devam etmesine rağmen, söz konusu teknoloji ancak 2 000'li yılların başlarında piyasada yer almaya başlamıştır. Kristal silikon ve ince film PV teknolojilerinin henüz gerisinde olan CPV sistemlerinin piyasası, endüstrisi ve fiyatları konusunda güvenilir verilere ulaşmak oldukça güçtür. Son yirmi yılda, PV teknolojilerinin performansları önemli ölçüde geliştirilmiş olup bu eğilimin gelecekte de devam etmesi beklenmektedir. PV hücre ve modül üretimi faaliyetleri, Ar-Ge faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürüldüğü rekabetçi bir alanda yürütülmektedir. PV sistem verimliliğini artırmaya, ekonomik ömrünü uzatmaya ve maliyetini düşürmeye yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu kapsamda; 2021 yılından sonra monokristal ticari modüllerin

verimliliğinin % 16-23 aralığına, polikristal silikon modüllerin verimliliğinin % 19'a yükseltilmesi beklenmektedir. 2030 yılı sonrasında ise monokristal modül verimliliğinin % 25-40 aralığına ulaşması, polikristal modül verimliliğinin % 21'e yükseltilmesi hedeflenmektedir. İnce film teknolojisinde ticarileşmiş modüllerin verimliliği % 7-12 aralığında değişmekte olup bu rakamın 2021 yılından sonra %8-16 seviyelerine ulaşacağı öngörülmektedir. CPV teknolojisinde ise 2002 yılından itibaren hücre verimliliği yıllık % 0,9 oranında büyümüş olup sistem verimliliğinin 2030 yılından sonrasında % 45'in üzerine çıkması beklenmektedir (Fraunhofer, 2015). Mevcut durumda, ticarileşmiş PV sistem modüllerinde sistem ekonomik ömrü genelde 25 yıl olarak öngörülmekle beraber kristal silikon teknolojisinde bu süre 30 yıla çıkabilmektedir. Doğanay (2021), Üretimi yapılan PV modüllerin yaklaşık olarak 25 yıl kullanım ömürleri olduğunu belirtmiştir. Fakat hemen hemen tüm üretici firmalar PV modül verimine 10. yıla kadar % 90 ve sonraki yıllarda diğer bir deyişle, kalan 15 yılda ise modül veriminin % 80 ile enerji ürettim garantisi vermektedir. Bu süreç Şekil 1.12'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 1.12. PV modüllerin garanti süresi

PV modüller devreye alındığından kısa bir süre sonra % 2.0-% 3.0 kayıp ile üretim ömrüne başlamaktadır. Diğer bir deyişle, % 100'den başlayıp % 99-% 98

şeklinde azalmaz. PV modüller yapıları gereği her yıl % 0,7-0,8 oranında çıkış gücü kayıpları ile her 10 yılda bir % 7-8 arasında verim düşüklüğü yaşandığı bilinmektedir. PV sistem ekonomik ömrünün; günümüzde 30-35 yıla, 2035 yılından sonra da 35-40 yıla çıkarılması hedeflenmektedir (IRENA, 2013b; Fraunhofer, 2015; IEA, 2014; Özçelik, 2014).

PV modüller kalitesine göre A, B, C, D olmak üzere dört adet sınıfa ayrılmıştır. PV modülleri oluşturan hücrelerin hepsi üretim esnasında birbirinin aynı olmamakta ve değişkenlik göstermektedir. Özellikle kalite aynı olmamakta farklı derecelerde olmaktadır. Bu derecelendirme teknik ve görsel olarak değişkenlik göstermektedir. PV modül arkasında bulunan etikette "uygulama sınıfı" başlığı altında kalite sınıfı genellikle belirtilmektedir (Cilli, 2021).

A kalite PV modül: A kalite belirtilen standartlarda olan üretim esnasında istenilen şekilde ve performansta üretilen modüllerdir. Bu sınıfa ait modüller üretim tarihinden 10. yılsonunda % 90 verim ile 25. yılın sonunda ise % 80 verimle ile çalışan modüller olup diğer modüllere göre en pahalı olan modüllerdir.

B kalite PV modül: B kalite sınıf modüller ise az kusurlu olan genellikle kusurları gözle görülmeyen ve A sınıfı modüllere göre daha az verimle çalışan modüllerdir. B sınıfı PV modüller toleransları +% 2-5 aralığında olmaktadır. Bunun yanı sıra modüllere 5. yıla kadar % 90 verim garantisi verilmektedir. B sınıfı PV modüller A sınıf PV modüllere göre fiyatlandırma olarak daha uygun fiyata satılmaktadır.

C kalite PV modül: C sınıf modüller göz ile dikkatli incelendiğinde kusurları görülebilen modüllerdir. Bu kusurlar küçük çatlaklar vb. kusurlar olmaktadır. C kalite modüller 5 yıla kadar % 80 verim ile çalışma garantisi tek verilmektedir. C sınıfı modüller A ve B sınıfına göre fiyatları biraz daha uygundur.

D kalite PV modül: D sınıfı PV modüller kusurları çok bariz belli olabilen ve verimi çok düşük olan modüllerdir. Genellikle D sınıfı modüllere garanti verilmemektedir. Bundan dolayı üretici firmalar tarafından kullanılması önerilmeyen modüllerdir.

1.3. Güneş Enerjisi ile İlgili Temel Bilgiler

Güneşten gelen ışınların ana kaynağı güneş sisteminin merkezinde yer alan güneş yıldızıdır. Samanyolu Gökadasında bilinen yaklaşık 200 milyar yıldızdan birisi olan Güneş'in kütlesi sıcak gazlardan oluşur ve çevresine ısı ve ışık şeklinde radyasyon yayar. Merkezinde hidrojen elementi helyum elementine dönüşürken, yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelmektedir. Bu tepkimeler sonucunda güneş büyük miktarda enerji üretmektedir. Üretilen bu enerji uzaya dağılmaktadır. Dağılan bu enerjiden dünya atmosferinin dışına yaklaşık olarak yılda 1.370 W/m² değerinde güneş enerjisi gelmekte, fakat yeryüzüne ulaşan miktarı 0-1.100 W/m^2 değerleri arasında değişim göstermektedir (Cebeci, 2017).

Bu güneş ışınımı günümüzde;

- Yoğunlaştırmalı güç sistemleri (CSP) ve
- PV ilkeye göre ile elektriğe dönüştürülebilmektedir.

CSP sistemlerde güneş ışınımı, çeşitli aynalar ve aynalara bağlı güneşi izleme sistemleri vasıtasıyla alıcıya yansıtılarak yüksek sıcaklıklarda ısı enerjisine çevrilmekte, daha sonra geleneksel termik santrallere benzer bir şekilde bu ısı buhar türbinleri kullanılarak elektriğe dönüştürülmektedir. CSP teknolojisi genellikle güneş tarlası, termal depolama ve güç bloğu olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Güneş tarlası, boru ya da merkezi alıcıların içerisinde güneş ışığının yoğunlaştırılıp ısının toplandığı yer olarak tanımlanmaktadır. Güç bloğu, ısınan akışkanın buhar türbinini çevirmesi sonucunda elektrik üretiminin gerçekleştirildiği bölümdür. Bu sistemlerde, gece boyunca ve güneşin olmadığı saatlerde de düzenli bir şekilde elektrik üretilebilmesi için ayrıca termal enerji depolama sistemleri de dâhil edilebilmektedir. Söz konusu sistemlerde eriyik tuz (molten salt) kullanımı ile güneş ışığının yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ısı enerjisi birkaç saat depolanabilmektedir (Ummadisingu ve Soni, 2011; IEA, 2014; Cebeci, 2017).

Günümüzde kullanılan 4 çeşit yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemi mevcuttur. Bunlar; parabolik çanak, parabolik oluk, fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar ve merkezi kuledir.

Parabolik çanak sistemler, büyük konkav bir aynanın odağındaki alıcı üstünde toplanan ısı hemen arkasındaki stirling (gaz) motoru tarafından mekanik enerjiye ve dolayısıyla elektriğe dönüştürülür. Güneşi iki eksende takip eden parabolik çanak sistemlerde odaklanma oranı yüksektir ve alıcı sıcaklığı 250–700 °C mertebesine çıkar. Çevrim akışkanı olarak helyum gibi hafif gazların tercih edildiği kompakt Stirling ısı motorları ile bu sistemlerin çalışma verimi YGE sistemleri arasında en yüksek konumdadır. Su gerektirmeyen bu sistemler tek tek veya çok sayıda bir arada kullanım kolaylığı sağlarlar, ancak kurulum maliyetleri yüksektir.

Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemler, en yaygın kullanılan ve teknik olarak yeterliliği kanıtlanmış olanlardır. Bir parabolik oluk kolektör ışın demetlerini odak ekseni üstünde konumlandırılmış alıcı borusu üzerinde yoğunlaştıran doğrusal parabolik bir aynadan oluşur. Alıcı parabolik aynanın orta kısmının biraz üstüne yerleştirilmiş içinde çalışma sıvısı bulunan bir borudur. Genellikle kuzey-güney ekseninde yerleştirilmiş ayna; gündüz saatlerinde güneşi doğudan batıya doğru (tek eksende) izleyerek ışınımı, alıcı üstünde eksen boyunca odaklar ve boru içinden akmakta olan çalışma sıvısını (sentetik yağ veya ergimiş tuz) 150–370 °C sıcaklığa ısıtır ve ısınmış çalışma sıvısı güç üretimdeki ısı kaynağı durumuna gelir. Bir sonraki aşamada çalışma sıvısı üzerindeki ısı çevrim suyuna aktarılır ve elde edilen su buharı buhar türbinini döndürür. Parabolik oluk kolektörler güneş tarlası üzerinde paralel ve seri bağlı sıralar halinde yerleştirilir ve böylece geniş bir alan üzerine düşen güneş enerjisi, güç merkezinde toplanarak elektriğe dönüştürülür. ABD Kaliforniya'daki SEGS ve Nevada'daki Nevada Solar One santralleri yanında; İspanya'daki çok sayıda ticari santral bu teknolojiyle kurulmuşlardır (Fernandez ve ark, 2010).

Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar, yan yana çok sayıda dar ve düz aynaların direkt ışınımı ayrı bantlar halinde orta üst kısımdaki alıcı boru üstünde doğrudan odaklamasıyla çalışırlar. Parabolik oluk kolektörlere kıyasla daha ekonomik imal edilebilen bu sistemde güneş ışınımını daha geniş bir alandan toplamak ve çalışma sıvısı kullanmadan suyu doğrudan ısıtmak mümkündür; ancak toplam sistem verimi daha düşüktür ve ticari olarak parabolik oluk kolektörler kadar yaygınlaşmamıştır (Livatyalı, 2012).

Güneş kulesi sistemleri, güneşi iki eksende izleyen ve ışınımı yüksek bir kule üzerine yerleştirilmiş alıcı üzerine yansıtan çok sayıda aynadan (heliostat) oluşurlar. Alıcı içinden geçen ergimiş tuz, sıcak gaz veya su gibi bir çalışma sıvısı alıcı içinde 500–1.000 °C sıcaklığa ulaşır ve ısıyı kulenin hemen dibindeki güç merkezine taşır ve enerji dönüşümü buhar veya gaz türbini tarafından sağlanır. Yüksek maliyet nedeniyle ticari uygulama olarak parabolik oluk sistemlere kıyasla henüz yaygınlık kazanamamış bu sistemlerde hem verim daha yüksektir hem de güneşin zayıfladığı veya olmadığı saatlerde elektrik üretimini sağlamak üzere enerji (ısı) depolama daha kolaydır (Livatyalı, 2012).

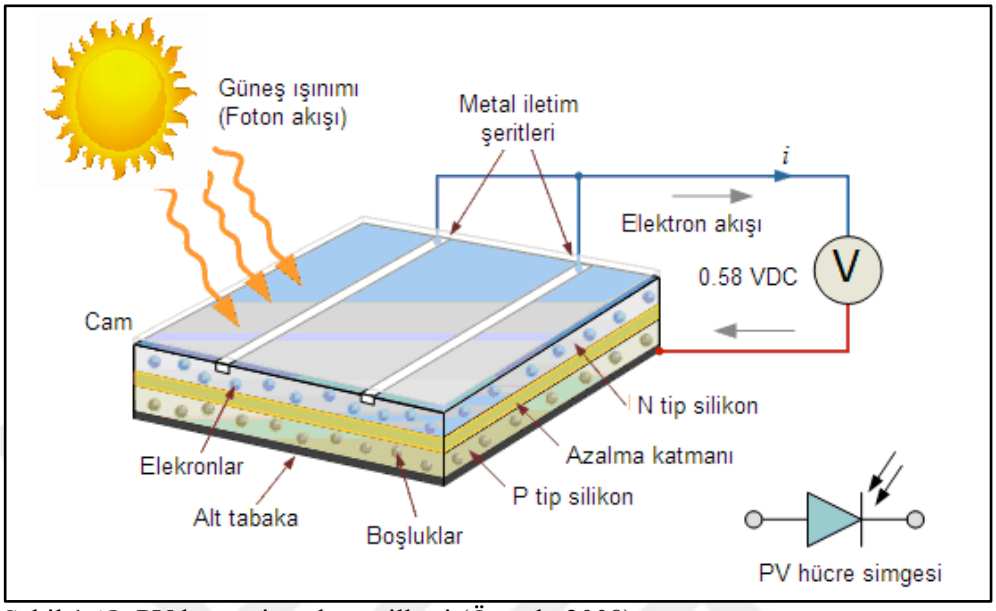
PV teknoloji; Fotovoltaik (photovoltaic) ismi Yunanca'da ışık anlamına gelen "phos" ve elektriğin öncülerinden olan Alessandro Volta'nın "voltaic" kelimelerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkmıştır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek fotovoltaik olayını bulmuştur. İlk pratik PV hücre 1954'te Bell Laboratuvarı'nda geliştirildi (Chapin ve ark, 1954; Öztürk ve Kaya, 2013).

Başlangıçta, PV hücreden tek kristal silikon yarı iletken ızgaralardan yapılmış ve daha çok yapay uydularda olduğu gibi uzay uygulamalarında güç kaynağı olarak kullanılmıştır. Çok büyük uzay programı bütçesi yanında bu hücreler hem ucuza mal olmakta hem de güvenilirdi. 1970'lerin ilk yıllarında endüstriyel Dünya'daki petrol sağlayıcıların dağılımı, karasal uygulamalar için alternatif bir güç kaynağı olarak fotovoltaik enerji dönüşümünün ciddi olarak dikkate alınmasına yol açtı. O

zamandan beri PV hücre araştırma çabaları, bu hücrelerin performansının iyileştirilmesi, maliyetinin düşürülmesi ve hücrelerin güvenilirliğinin arttırılması üzerine odaklanmıştır. Geçen yıllarda araştırmacılar olağanüstü ilerlemeler kaydetse de bu alanlar günümüzde hala ana araştırma konularıdır (Florescu ve ark, 2007).

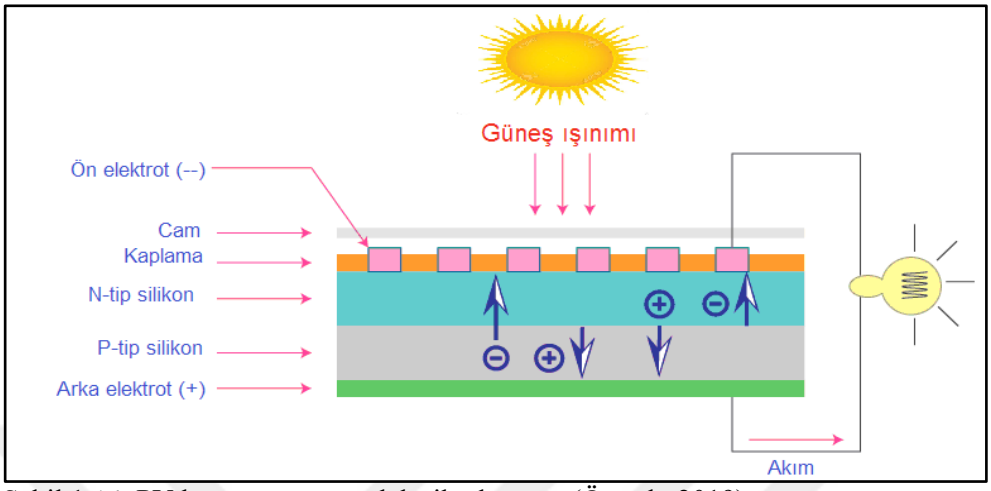
Güneş enerjisinin direkt olarak elektriğe dönüştürüldüğü yöntem PV dönüşüm yöntemi olarak adlandırılmaktadır (Townsend, 1989). PV cihazlar yarı iletken malzemeler kullanarak güneş enerjisini elektriğe dönüştürürler (Muntasser ve ark, 2000). PV cihazların yapımında en çok kullanılan yarı iletken malzemeler silisyum ve silisyum alaşımlarıdır.

Petrol ve diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetlerinin giderek artması ve bu tip kaynakların çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, dünya üzerinde birçok insan geleneksel güç üretim yöntemleri yerine güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir (Koutroulis ve ark, 2001). PV yöntem; elektrik üretimi için uygun bir yöntem olmakla birlikte, cihazları üreten işletmelerin sayısı da artmış (Karimov ve ark, 2005) ancak henüz büyük miktarlardaki elektrik üretimi için diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde değildir (Durisch ve ark, 2000). Bundan dolayı Türkiye'de bazı PV kurulumları desteklerle cazip hale getirilip yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Özetle PV sistemler, güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren düzeneklerdir. Sistemin temel yapı bloğu PV hücrelerdir. Şekil 1.13'te görüldüğü gibi, PV hücreler PV ilkeye dayalı olarak çalışırlar, diğer bir deyişle üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur (Öztürk, 2008).



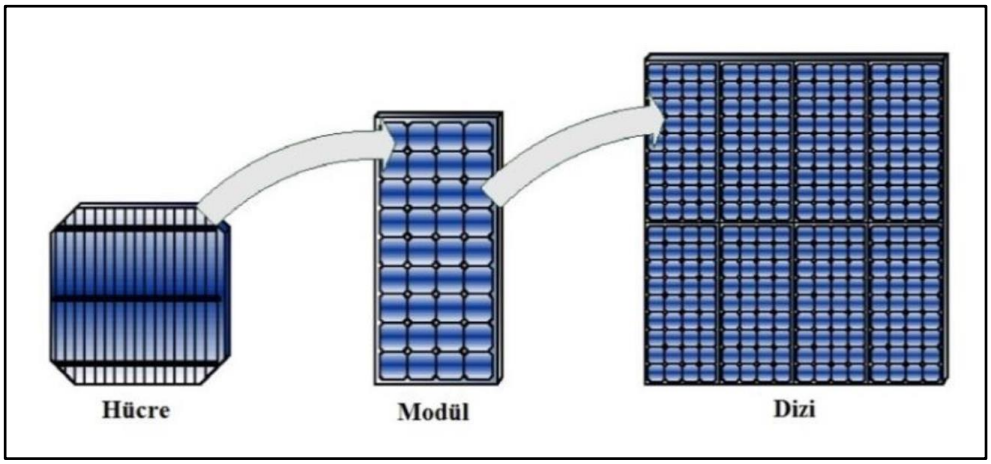
Şekil 1.13. PV hücrenin çalışma ilkesi (Öztürk, 2008)

Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur. Bu fotonlar, güneş ışınım spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak, farklı miktarlarda enerji içerirler. Fotonlar, fotovoltaik bir hücre üzerine geldiğinde; bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır, kalan kısmı da hücre içerisinden geçer. Fotovoltaik hücre tarafından soğurulan fotonlar elektrik üretir. Fotonun enerjisi, yarı iletken bir malzemenin atomundaki elektrona transfer edilir. Elektron, yeni kazandığı bu enerji sayesinde bir elektrik devresindeki akımın parçası olabilmek için, yarı iletken malzemedeki bir tek atoma ilişkin normal pozisyonundan kurtulabilme yeteneği kazanır. Fotoelektrik ilkeye dayanarak hücreden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemde harekete geçer ve bir elektrik akımı oluşturur (Şekil 1.14). Böylece, birbirlerinden ayrılan elektron-boşluk çiftleri, PV hücrenin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar (Öztürk, 2019).



Şekil 1.14. PV hücre yapısı ve elektrik oluşumu (Öztürk, 2019)

Şekil 1.15'te görüldüğü gibi birden fazla sayıdaki PV hücresin birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmesiyle gerilimi ve dolayısıyla güç çıkışını artırmak mümkündür. Bu yapıya PV modül adı verilmektedir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç W'tan MW'lara kadar büyüklükte üretim sistemleri kurulabilir.



Şekil 1.15. PV hücre, modül ve dizi tasarımları

Çeşitli PV modüllerinin sırasıyla, gerilimi ve/veya akımı artırmak için seri ve/veya paralel olarak bağlanmasıyla güneş ışınlarının etkisiyle elektrik akımının sağlandığı ana yapı olan fotovoltaik modülü oluşturulmaktadır. Ardından, PV sistem dengeleyicileri olarak isimlendirilen modül haricindeki diğer sistem elemanları sisteme dâhil edilmektedir. PV sistem dengeleyicilerini; inverter, güç kontrol sistemleri (MPPT, şarj kontrolör), enerji depolama aygıtları (akü) ve diğer sistem dengeleyicileri olarak dört ana bölüme ayırmak mümkündür. İnvertör modülde doğru akımla (DC) üretilen elektriği alternatif akıma (AC) çevirmekte, güç kontrol sistemleri PV sistemdeki voltaj değişimlerini dengede tutmakta, enerji depolama aygıtları üretilen elektriği daha sonra kullanılması amacı ile depolamaktadır.

Son yıllarda tarımsal sulamada pompa sürücüleri kullanılmaya başlanmıştır. Sistemin bağlantılarını sağlayan diğer sistem dengeleyici unsurlar; kablolar, bağlantı elemanları, devre anahtarları, kablo bağlantı kutuları, elektrik sigortalarından oluşmaktadır. PV modüller ve sistem dengeleyicilerinin bir araya getirilmesi sonucunda PV sistem teknolojisi kuruluma hazır hale gelmektedir.

PV hücreye gelen ışınımının bazı faktörlerden dolayı etkin ve verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. PV hücre verimine etki eden ve düşüklüğüne sebep olan birçok etmen mevcut olup belli başlıları şunlardır:

- PV hücre yüzey malzemesinin ışınım özellikleri,
- Güneş ışınımının spektral özellikleri,
- Güneş ışınlarının PV hücre üzerine geliş açısı,
- Ortamdaki havanın sıcaklığı,
- PV hücrenin iç seri direncinden kaynaklanan kayıplar,
- PV hücrenin kalınlığı,
- PV hücrenin eğim açısı,
- PV hücrenin temizliğidir.

Özellikle silikon PV hücrenin verimi; ışık yoğunluğu veya ışınım şiddeti, izleme açısı ve hücre sıcaklığı gibi çevresel etmenlere çok bağlıdır (Khan ve ark, 2010; Chegaar ve ark, 2013). Kullanılan yarı iletken çeşidine ve ticari olgunluk düzeyine bağlı olarak PV sistem teknolojileri üç grup halinde sınıflandırılmaktadır (IRENA, 2013a). Bunlar; kristal silikon, ince film ve gelişmekte olan yeni PV teknolojileridir.

1.3.1. Kristal Silikon Fotovoltaik Teknolojisi

PV hücrelerde yarı-iletken malzeme olarak kristal silikonun (silisyum) kullanıldığı sistemlere kristal silikon teknolojisi denilmektedir. 1960'lı yıllarda Dünya'da silisyumun hücre yapımında kullanılmasına yönelik bilimsel ve teknik altyapı oluşmaya başlamıştır. 1963 yılında 242 W gücündeki ilk ticarileşmiş kristal silikon modül Japon bir firma tarafından üretilmiştir (IRENA, 2012).

Silisyum, oksijenden sonra yer kabuğunda en çok bulunan elementtir. Doğada saf kimyasal madde şekilde bulunmayan silisyumun hücre yapımı için hazır hale gelmesi için yüksek sıcaklık gerektiren işlemler sonucunda silikon dioksit bileşiğinden ayrılması gerekmektedir. Üretim sürecindeki farklılıklardan dolayı kristal silikon PV hücrelerin; monokristal silikon, polikristal silikon ve ribbon silikon hücre olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır (IRENA, 2013b). Kristal silikon PV teknolojisi çeşitlerinden ilki olan monokristal silikon PV sistemlerde hücrenin tamamı tek bir kristal silikon yapıdan oluşmaktadır. Monokristal hücrelerin atomik yapısı homojendir. Monokristal PV hücrelerin uzun süreli kullanımlardaki dayanıklılığı kanıtlanmış olup bu hücreler diğer ticarileşmiş PV sistem teknolojileri arasında en yüksek verimliliğe sahip teknolojidir. ABD Enerji Bakanlığına bağlı NREL Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı şartlarında yapılan ölçümlere göre monokristal hücre verimliliği en fazla % 25 olmuştur (NREL, 2021; Cebeci, 2017).

Çizelge 1.4'te belirtildiği gibi ticari monokristal hücre verimliliği % 16-22 arasında değişmekte, modül verimliliği ise % 13-19 aralığında seyretmektedir (IRENA. 2013b; Cebeci, 2017).

Çizelge 1.4. Ticarileşmiş PV teknolojilerine ilişkin temel veriler (Cebeci, 2017)

PV teknoloji	Kristal silikon		İnce film			CPV
	Mono	Poli	a-Si/m-Si	CdTe	CI(G)S	
Max. hücre verimliliği (%)	22	18	10	11,2	12,1	-
Laboratuvarda en yüksek hücre verimliliği (%)	25	20,3	13,2	16,5	20,3	46
Max. modül verimliliği (%)	19-20	15-16	9	-	-	36,7
Ticari modül verimliliği (%)	13-19	11-15	7-9	10-11	7-12	22-35
2015-2020 yılı ticari modül verimlilik hedefi (%)	16-23	19	10-11	14	15	-
Arazi kullanımı (m^2/kW)	6-8	7-9	11-15	9-10	9-15	36
Ekonomik ömrü (yıl)	25-30			25		-
2015-2020 yılı ekonomik ömür hedefi (yıl)				30-35		
Piyasa payı (%)	35	55		10		-

Yüksek verimlilik avantajına karşın monokristal silikon PV teknolojilerin dezavantajlarının en başında silisyumun yüksek derecede saflaştırılması işleminin enerji yoğun, karmaşık ve uzun bir süreçte gerçekleştirilmesi ve maliyetli olması gelmektedir (Wenham ve ark, 2007). Elektriksel özellikleri açısından monokristal PV hücrelerle hemen hemen özdeş olan polikristal silikon PV hücreler monokristal hücreye göre daha az enerji yoğun bir süreçte üretilmektedir. Bu nedenle üretim maliyeti daha azdır. Ancak, polikristal hücrenin verimliliği daha düşüktür. Polikristal hücrelerde laboratuvar şartlarında ulaşılan en yüksek verimlilik % 20,4 olmuştur. Ticarileşmiş polikristal hücre verimliliği % 14-18, modül verimliliği ise % 11-15 arasında değişmektedir.

1.3.2. İnce Film Fotovoltaik Teknolojisi

Kristal silikon PV hücrelerin üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla 1990'lı yıllarda başlatılan Ar-Ge çalışmaları sonucunda ince film teknolojisi ortaya çıkmıştır. İnce film temelli PV hücrelerin, üretimlerinde kullanılan yarı-iletken malzemeler açısından; amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellürid (CdTe) ve bakır-indiyumgalyum-selenyum CI(G)S olmak üzere üç türü mevcuttur. İnce film teknolojisinin kristal silikon hücreye göre birden fazla avantajlı yönü

bulunmaktadır. Teknolojide kullanılan yarı-iletken malzemelerin güneş ışığını yüksek seviyede emme özelliğiyle teorik olarak güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için 0,001 mm tabaka kalınlığına sahip olması yeterlidir. İnce film teknolojisinde hücre üretimi daha az enerji yoğun bir süreçte gerçekleşmektedir. Ayrıca, ince film hücrede kristal silikon hücreye göre daha düşük miktarda yarı-iletken malzeme kullanılmaktadır Böylece, ince film PV teknolojisinin üretim maliyetinin kristal silikondan daha düşük gerçekleşmektedir (DGS ve Earthscan, 2012).

Plastik alt tabakadan oluşan ince film teknolojileri kolay bir şekilde farklı yüzeylere uygulanabilmektedir. Kristal silikon hücrelere göre söz konusu teknolojinin sıcaklığa duyarlılığı daha düşüktür. İnce film teknolojileri, ince uzun şeritler halindeki hücre şekilleri sayesinde kristal silikon hücrelere göre gölgelenmeden daha az etkilenmekte, böylece bulutlu ve kapalı havalarda daha yüksek performansa sahip olmaktadır (IRENA, 2013b).

İnce film teknolojisinin kristal silikon tabanlı PV teknolojilerine oranla düşük sistem verimliliğine sahip olması ve kullanım ömrünü test etmek için yeterli tecrübenin endüstride henüz oluşmaması nedeniyle kristal silikon PV teknolojisi piyasada hâkim konumdadır. (Luque ve Hegedus, 2011).

1.3.3. Gelişmekte Olan Yeni Fotovoltaik Teknolojileri

Kristal silikon ve ince film PV sistemlere göre daha yüksek verimliliğe sahip düşük maliyetli PV teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son 20 yıldır devam etmektedir. Çalışmalar neticesinde dört çeşit üçüncü nesil PV sistem ortaya çıkmıştır. Bunlar;

- Yoğunlaştırılmış PV hücreler (CPV),
- Organik PV hücreler,
- Gelişmiş inorganik ince film hücreler ve
- Diğer yeni PV hücrelerdir.

CPV teknolojisinde güneş ışığı aynalar ve lensler yardımı ile daha küçük bir yüzeye yansıtılmakta ve güneş enerjisi PV hücreler yardımı ile doğrudan elektrik enerjisine çevrilmektedir. Diğer PV hücreleri güneş ışınımının hem direkt hem de

difüz bileşeninden yararlanırken CPV hücre sadece direkt güneş ışınımından (direct normal ırradiance-DNI) yararlanmaktadır. Bu yüzden teknoloji, özellikle DNI değeri 2.000 kWh/m^2-yıl'ın üzerindeki yerlerde tercih edilmektedir. CPV sistemlerde verimliliğin artırılması için genellikle güneş takip sistemi kullanılmaktadır. Böylece lensler sırasıyla tek ve çift eksenli takip sistemi kullanılarak güneş ışığına doğru yönlendirilmektedir. Ayrıca bazı uygulamalarda soğutma sistemleri de sisteme dâhil edilmektedir. CPV haricindeki diğer yeni nesil PV teknolojileri çoğunlukla Ar-Ge aşamasında olup piyasa sürecine henüz tam olarak girememiştir. Teknoloji verimlilikleri düşük oranlarda gerçekleşmesine rağmen hafif, düşük maliyetli ve serbest şekilli olmaları yeni nesil PV teknolojilerinin avantajlı yönleridir. Söz konusu teknolojiler genellikle mobil uygulamaların olduğu mikro pazarlara hitap edebilmektedir (IRENA. 2013b; Cebeci, 2017; Fraunhofer, 2015; IEA, 2014; Özçelik, 2014).

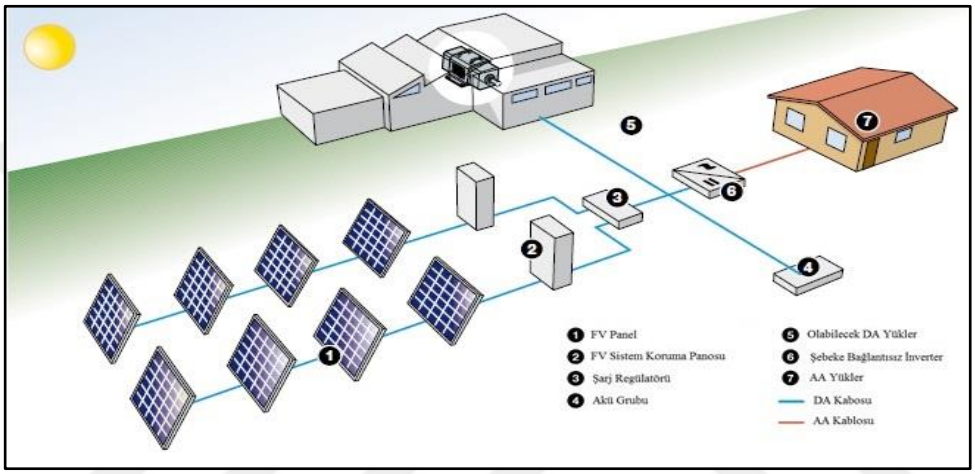
1.4. PV Sistemlerin Kurulumu

PV sistemler kapasitesine, kullanım yerlerine ve amaçlarına göre farklılık göstermektedir. PV sistemler bağlantı şekillerine göre

- Şebeke bağlantılı,
- Şebeke bağlantısız ve
- Hibrit olmak üzere üçe ayrılır.

1.4.1. Şebeke Bağlantısız PV Sistemler

Şebeke bağlantısız PV sistemler, kırsal kesimlerde şebekenin ulaşmadığı alanlarda tavsiye edilmektedir. Aküsüz ve akülü kurulabilmektedir. Şekil 1.16'da gösterilen sistemdeki gibi sistem akülü kuruldukları takdirde enerji akülere depolanmakta gece ve gündüz enerji kullanılabilmektedir (Abamor, 2016).



Şekil 1.16. Şebeke bağlantısız PV sistem bileşenleri genel yapısı (Abamor, 2016)

Şebeke bağlantısız PV sistem bileşenleri besleme durumuna göre şekilde olmaktadır.

DC enerji ile;

- DC motorları ve pompalar, MPPT'leri
- Aküler, şarj regülatörü, Otomasyonu, Ledleri aydınlatmaları,
- Diğer cihazları vb.

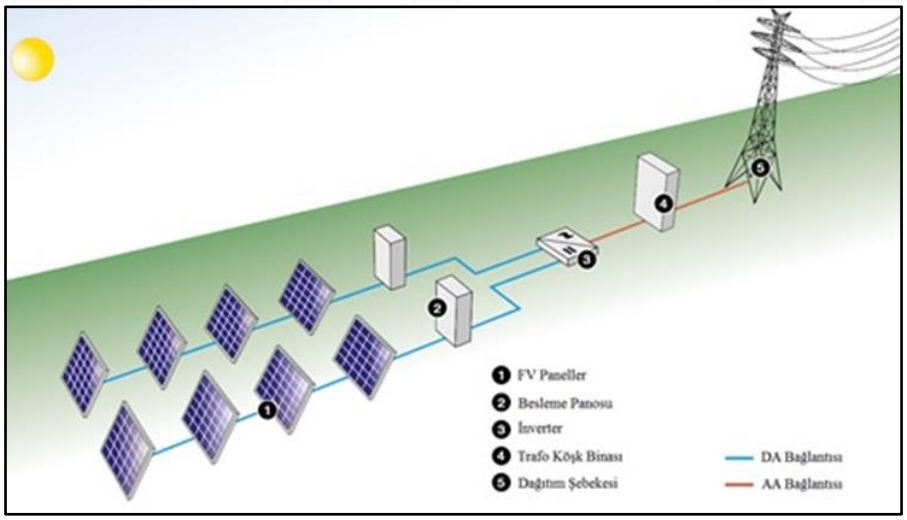
AC enerji ile:

- AC motorları ve pompalar,
- Sürücüleri, inverterleri ve
- Aydınlatmalar, vb. sistem elamanları beslenebilmektedir.

PV sistemlere bağlantı gerçekleştirilirken, sistem tarafından üretilmiş olan DC enerjiyle direkt sistem elamanlarına bağlantı yapılırken, AC enerjide ise enerjinin DC enerjiden AC enerjiye dönüştürülmesi için DC enerjiden sonra inverter veya DC sürücü eklenerek doğru akım alternatif akıma dönüştürülerek diğer cihazlara enerji aktarılmaktadır. Şebeke bağlantısız PV sistemler, akülü ve aküsüz şekilde kurulabilmektedir. PV sistemlerde kullanılan aküler asitli olan ve bakım gerektiren aküler yerine daha çok kuru tip bakımsız aküler kullanılmaktadır. Lityum iyon aküler çok daha fazla maliyetli olduklarından dolayı maliyet açısından daha çok orta sınıf sayılan şarj-deşarj döngüsü çok fazla olan jel veya AGM aküler tercih edilmektedir (Atay, 2021).

1.4.2. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler

Şebeke bağlantılı PV sistemler akü sistemine ihtiyaç duymadan, ürettiği enerjiyi direkt şebeke enerjisine aktaran sistemlerdir. Şekil 1.17'de görüldüğü gibi şebeke bağlantılı PV sistemler, iki şekilde tasarlanabilmektedirler (Abamor, 2016).



Şekil 1.17. Şebeke bağlantılı PV sistem bileşenleri (Abamor, 2016)

Bunlar;

a) DC akımı, AC akıma çevrilerek tek yönlü sayaç şebekeye aktarılır.
b) Konutlarda, sanayide vb. yerlerde, inverterden sonra, çift yönlü sayaç kullanılarak ve aynı zamanda farklı yüklerde çalışarak mahsuplaşma yolu ile şebeke bağlantı yapılmaktadır.

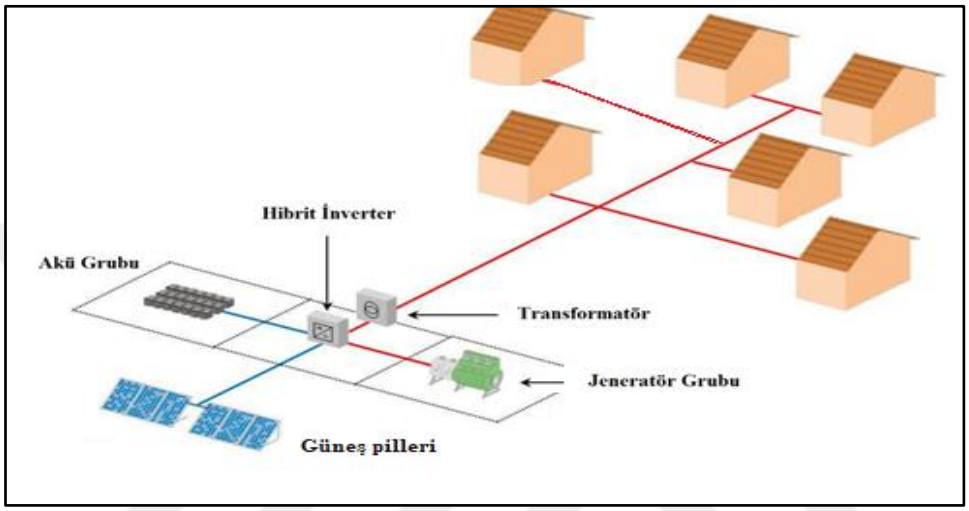
Şebeke bağlantılı inverterler, PV sistem tarafından üretilen DC akımı, AC akıma çeviren yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan cihazlardır. Şebeke bağlantılı PV sistemlerin inverterleri yüksek verimliliklerinden (% 98) dolayı trafosuz tam sinüs inverterler olarak tercih edilmektedir. Şebeke bağlantılı inverterler, merkezi inverter ve dizi inverter olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Merkezi inverterlerde, tüm PV dizileri toplanıp, tek bir invertere girişi yapılan genelde yüksek güçlü sistemlerdir. Dizi inverter de ise (tek fazlı ve üç fazlı), her bir PV dizisi çıkışı bir inverter'e giriş yapılarak çıkışları toplanıp, dağıtımı yapılır. PV sistemler bünyesinde bulunan trafo köşk binası içerisinde; trafo, alçak gerilim (AG) ve orta gerilim (OG) panosu (trafo koruma hücresi, ölçü hücresi ve kesicili çıkış hücresi) bulunmaktadır (Abamor, 2016).

1.4.3. Hibrit PV Sistemler

PV sistemler, hava şartlarına göre bağımlı çalışmakta değişken durumlarda farklı oranlarda enerji üretmektedir. Eksik kalan enerjinin tamamlanması için eksik oran kadar diğer güç kaynaklarından enerji alınır ve eksik kısım tamamlanarak tam kapasite ile çalıştırılan sistemlerdir. Burada şebeke bağlantılı ve bağlantısız şekilde kurulabilmektedirler. Örneğin hibrit sürücülü PV sulama sistemleri güneşten gelen ışınım yetersiz olduğu durumlarda şebekeden veya akülerden destek alarak eksik kalan enerjiyi tamamlayarak çalışmaktadır (Atay, 2021).

Şekil 1.18'de gösterilen hibrit PV sistemler diğer enerji kaynaklarından (şebeke, aküler, rüzgâr türbinleri veya dizel jeneratörler) destek alınarak çalışmaktadır (Lena, 2013; Arezki ve ark, 2014).



Şekil 1.18. Hibrit PV sistem bileşenleri (Lena, 2013; Arezki ve ark, 2014)

1.5. Doğrusal ve Dairesel Hareketli Sulama Sistemleri

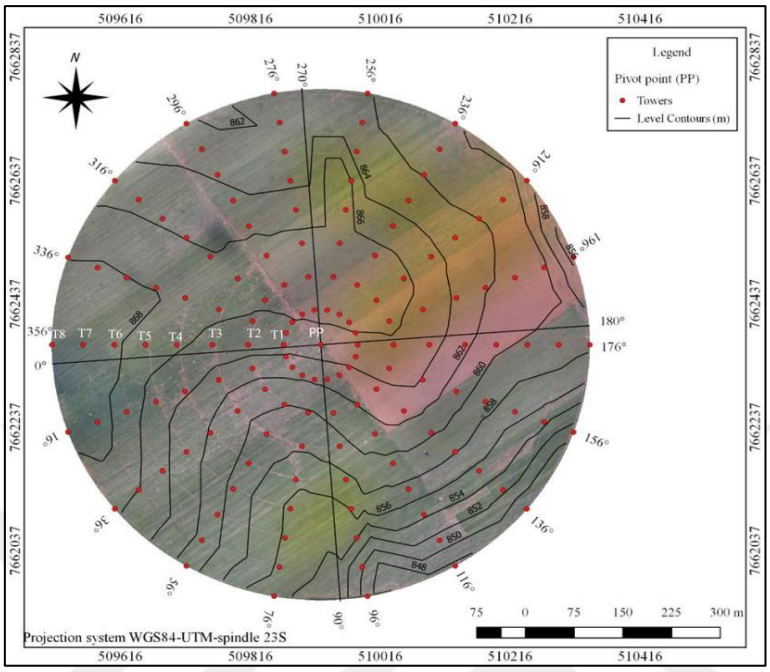
Dünya nüfusun artmasıyla, tarımsal üretime olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Birim alandan daha fazla ürün yetiştirmek için üreticiler daha modern tarımsal üretim sistemlerine yönelmeye başlamıştır. Tarımsal üretimdeki talepleri karşılamak için tarımda sulamanın her geçen gün daha önemli ve çok artmasıyla su miktarında aşırı derecede kullanımı meydana gelmektedir. Suyun bilinçsizce kullanılmasını engellemek için yağmurlama sulama sistemleri ve damla sulama sistemleri uygulaması yapılmaya başlamıştır. Sulama suyunun, alınması, iletilmesi, dağıtılması ve kullanılması esnasında tasarruf sağlanabilir. Çünkü sulama suyunun alınmasından kullanılmasına kadarki tüm aşamalarında kaybı söz konusudur. Arada alınacak olan tedbirler ile rahatlıkla tasarruf sağlanabilmektedir. Tarımsal sulamada kullanılan su kaynaklarının iki önemli ana bileşeni vardır. Bunlar; su kaynaklarının iyi yönetilmesi ve su kaynaklarının etkin kullanılmasıdır. Bundan dolayı sulama sistemlerinin uygun bir şekilde projelendirilmesinin yapılması

önemlidir (Parsons, 1996). Çünkü; yüzey sulama sistemleri yerine basınçlı sulama sistemlerinin kullanılması sulama verimini % 60-90'a kadar yükseltmektedir. Böylece sulama suyundan % 20-30 arasında su tasarrufu sağlanabilmektedir (Kanber, 2002). Hareketli sulama sistemleri diğer hareketsiz sulama sistemlerine göre sulamanın homojenliği bakımından daha çok verimlidir. Sulama sistemleri zamansal ayarlanabildiği için su akışı yolu ile olacak olan kayıpları azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir (Kılıç, 2019).

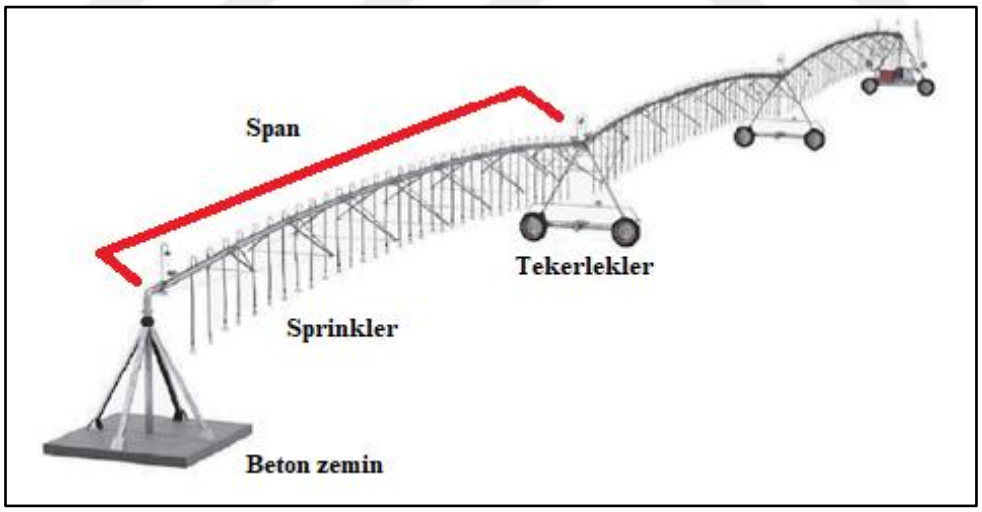
Barbosa ve ark, (2018), değişken yükseltilere sahip bir arazide kurulu olan sentır pivot sulama sisteminin enerji verimliliğini incelemişlerdir. 360 ^{o} dönen sentır pivot sulama sisteminde 18 farklı açıda ölçümler yapmışlardır (Şekil 1.19). Pompalama enerji verimliliğinin değerleri (PEE), arz enerji verimliliği (SEE), küresel enerji verimliliği (GEE) ve spesifik (özgül) enerjiyi (ES) (kWh/m^3 biriminden) 18 farklı açıdaki pozisyonda hesaplanmıştır. Burada elektriksel güç değerleri, debi, basınç ve diğer hidrolik parametreler hesaplanmış ve enerji verimliliği göstergeleri için dönüştürülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre 10.000 saatten fazla kullanımdan sonra bile, sentır pivot sistemi, "iyi" olarak sınıflandırılan % 42,5'e eşit bir ortalama GEE değeriyle gösterildiği gibi tatmin edici enerji verimliliği ile çalıştığı görülmüştür. Analiz sonucuna göre yokuş yukarı veya yokuş aşağı bir konumla karakterize edilen merkez eksen ile yanal eksen boyunca değişken yükseltilerden dolayı farklı PEE, SEE ve GEE değerleriyle sonuçlandığını, ortalama ES değerinin (0,42 kWh/m^3) ise etkilenmediği tespit edilmiştir.

Damla sulama vb. sulama sistemlerinin enerji ve yatırım maliyetlerinin yüksek ve uzun ömürlü olmadıklarından dolayı sulama sistemlerinde modern sulama sistemlerine yönelmeler olmaktadır. Modern basınçlı sulama sistemleri tarif edilen ve büyük alanların sulanmasına olanak sağlayan bu sulama sistemi iki şekilde kurulumu yapılabilmektedir.

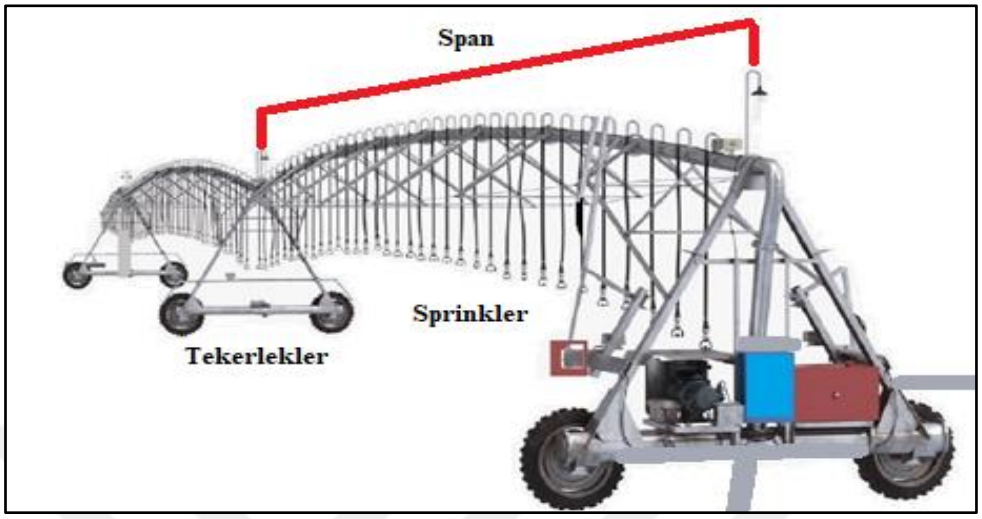
Bunlar; dairesel hareketli (sentır pivot) (Şekil 1.20) ve doğrusal hareketli (lineer pivot) (Şekil 1.21)sulama sistemleri olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.19. Sentır pivottaki 18 farklı açının konumu (Barbosa ve ark, 2018)



Şekil 1.20. Dairesel hareketli (sentır pivot) sulama sistemi



Şekil 1.21. Doğrusal hareketli (doğrusal pivot) sulama sistemi

Büyük tarım alanlarının yüksek performansta ve en ekonomik şekilde sulanması amacıyla geliştirilen hareketli ve doğrusal pivot sulama sistemleri; tamamıyla galvaniz kaplı çelik konstrüksiyondan oluşmaktadır. Sentır pivot ve doğrusal sistemlerinde işletme ve sulama işçiliğini en az seviyeye inmekte, iş gücü ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Damla sulama vb. diğer sulama sistemlerine göre, ortalama servis ömrü daha fazladır. Servis ömrü yaklaşık 20 yılın üstündedir. Dairesel ve doğrusal pivot sulama sisteminin çalışma ilkeleri aşağıda verilmiştir:

- Sentır pivot beton bir temel üzerine dört bacak ile sabitlenmekte ve tüm pivot merkez noktası etrafında dönerek çalışmaktadır. Doğrusal sistemde ise tüm pivot doğrusal hareket ederek çalışmaktadır.
- Sentır pivot dairesel hareket ederek daire şekli oluştururken, doğrusal ise gel-git hareketi yaparak kare ve dikdörtgen şekli oluşturmaktadır. Doğrusal sulama sistemi dikdörtgen veya kare şekilli alanların tamamının sulanmasında kullanılan sistemler olup, tarla başından sonuna doğru doğrusal olarak hareket ederek otomatik olarak sulamayı gerçekleştirmektedir. Bu sistem bir hat boyunca hareket eder ve bu hat

üzerindeki hidrantdan veya kanaldan suyu alarak, hattın her iki tarafını da sulayabilmektedir.

- Tekerleklere hareket veren elektrik motorları arasındaki açıklığa span denir. Su sentır pivot ve doğrusal merkez noktasındaki alt dirsekten girer ve üst döner dirsek noktasından makine boyunca borularla sprinklere taşınmaktadır. Her bir span arazide yürüme ünitesi sayesinde ilerler. Boru hattı üzerindeki kaynaklanmış çıkışlara sprinklerin fleksi hortumları monte edilmiştir. Püskürtme başlıkları, meme büyüklükleri ve debileri, pivot merkezine olan mesafeye göre değişmektedir. Merkezden dışarıya doğru daire alanları büyümektedir.
- Yürüme kulesi (taşıyıcı kule); her span'ın sonunda bir adet yürüme kulesi bulunmaktadır. Kule kontrol kutusu ve span kabloları; her yürüme kulesinin üzerinde birer adet kontrol kutusu bulunmaktadır. Bunlar tüm makine boyunca döşelidir. Bunlar pivot kontrol devreleri ve kule yürüme motorları içindir.
- Kolektör ve J borusu; span kablolarına enerji pivot ve ana noktadaki kolektörden dağıtılır. Kolektör halkaları pirinçten yapılmış ve birbirinden yalıtılmıştır. Kontak fırçaları pirinç halkalara pivot dönüşü sırasında temas ederek enerjiyi alır.
- Kontrol paneli; doğrusal ve sentır pivot merkezi üzerine monte edilmiştir. Operatörün makineyi yönetmesini sağlar. Kontrol panel 380 V_{AC} değerini desteklemektedir. Kontrol kulelerinden aşağıya doğru indirilmiş bir kablo ile elektrik motorlarına enerji vermektedir. Kontrol panel hızı ayarlayabilmek için bir yüzde zamanlayıcıya sahiptir. Son kule aynı zamanda bir kontrol kulesidir. Son kulenin hareketi ile tüm kuleler çizgiyi muhafaza ederek hizalamayı sağlar.

- Emniyet devresi; her kontrol kulesi bir emniyet mikro anahtarı içerir. Eğer pivot, lineer çizgiden çok uzaklaşılır ise mikro anahtar açılır ve devre tamamlanamaz ise sentır pivot ve doğrusal sistem güvenlik için durdurulur.

Sentır pivot sulama sistemini oluşturan unsurlar; merkez kule, taşıyıcı kuleler, beslenme borusu, püskürtme başlıkları (pivot tipi), hareket verici üniteler (motor ve dişli kutuları) tekerlekler (sırt yapısı sulama amaçlı), kontrol ve filtrasyon tesisi (hidrosiklon tip filtre, basınç kontrol vanası, kelebek vana, debi metre ve vantuzlar), gübreleme ve ilaçlama tesisi (gübre ve ilaçlama ünitesi tankı, dozaj ünitesi) ile kumanda ve otomasyondan (radyo frekans kontrolü) oluşan bir tesistir.

Doğrusal pivot sulama sistemini oluşturan unsurlar ise; doğrusal hareketli ana kule, taşıyıcı kuleler, beslenme borusu, püskürtme başlıkları (pivot tipi), hareket verici üniteler (motor ve dişli kutuları) tekerlekler (sırt yapısı sulama amaçlı), kontrol ve filtrasyon tesisi (hidrosiklon tip filtre, basınç kontrol vanası, kelebek vana, debi metre ve vantuzlar), gübreleme ve ilaçlama tesisi (gübre ve ilaçlama ünitesi tankı, dozaj ünitesi) ile kumanda ve otomasyondan (radyo frekans kontrolü) oluşan tesislerdir.

Sulama sisteminin uzunlukları arazinin alanına göre değişmektedir. Sistemin en büyük avantajı uzaktan anten vasıtası ile otomasyon sistemine atılan programlar ile yönetilmesidir. Sistemin su uygulama miktarı, sulama zamanı, ileri hareket ve geriye hareket gibi özellikleri bulunmaktadır. Sistemin 54 m ve 55 m'sinde bir komut verme dinamoları ve sistemi harekete geçiren dinamolar bulunmaktadır. Sistem yüzdelik dilime göre oranlanıp turunu % 1 ile % 100 arasında istenilen değere göre tamamlayabilmektedir ve buna çalışma modu denilmektedir. Çalışma modu ile istenilen tur saati ve sulamalar arası zaman istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir (TİGEM, 2021).

1.6. Türkiye Yer Altı Suyu ve Kullanım Durumu

Türkiye'nin yer altı suyu potansiyelini saptamak amacıyla tüm ova ve havzalarda hidrojeolojik etütler yapmak, etüdü bitirilen ovaları "yer altı suyu işletme alanı" olarak belirlemek, 167 sayılı Kanunun DSİ'ye verdiği görevleri yürütmek; içme, kullanma ve sulama suyu sağlama amacıyla yer altı suyu pompaj tesislerini yapmak, tüm jeoteknik hizmetlerini ve buna bağlı olarak temel, drenaj ve enjeksiyon sondajları ile temel malzeme ile kaya ve zemin mekaniği etüt işlerini yapmak amacıyla DSİ bünyesinde Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı kurulmuştur. DSİ 167 sayılı Yer altı Suları Hakkında Kanun ile verilen yasal yükümlülükleri sırasıyla;

- Yer altı suyu etüt ve araştırmaları için kuyu açmak veya açtırmak,
- Yer altı suyu tahsisi yapmak,
- Yer altı sularının korunması ve tescili, arama, kullanma ve ıslah-tadil belgesi vermektir.

DSİ Genel Müdürlüğü 2022 verilerine göre Türkiye'nin 78 milyon hektar olan yüzölçümünün yaklaşık olarak üçte birini teşkil eden 24 milyon hektar alan ekilebilir tarım arazisi olup, bunun da ekonomik olarak sulanabilir miktarı 8,5 milyon hektar olarak belirlenmiştir. Devlet su işlerinin; kuruluşundan 2022 yılına kadar 8,5 milyon hektar tarım alanının yaklaşık % 54'ünü suya kavuşturmuştur. Yaklaşık 4,56 milyon hektar olan bu alan, Türkiye'nin toplam tarım sahasının yaklaşık % 19'una karşılık gelmektedir. 2021 yılı sonu itibarıyla Türkiye'de sulamaya açılan alan diğer kurumlarca sulamaya açılan alanlarla birlikte toplam 6,85 milyon hektara ulaşmıştır. Çeşitli maksatlara yönelik yıllık su tüketimi 2021 yılı sonu itibarıyla 58,41 milyar m^3'e ulaşmıştır.

Bu suyun;

- 45,05 milyar m^3'ü (% 77) sulama,
- 13,36 milyar m^3'ü (% 23) içme-kullanma suyu, sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır.

Türkiye'de suyun dörtte üçünün sulamada kullanılmasından dolayı sulama tesisi inşa edilirken, modern ve tasarrufu yüksek yağmurlama ile damla sistemleri önerilmektedir. Kapalı sistem basınçlı borulu sulamaya geçilmesi durumunda iletim kayıpları minimum seviyeye indirilmekte ve tarla içi sulama sitemleri ile önemli ölçüde su tasarrufu sağlanarak çiftlik randımanı maksimum seviyeye yükseltilmektedir. Böylelikle, yağmurlama sulamalarda % 35, damla sulamalarda ise % 65 oranında su tasarrufu sağlanabilmektedir. Klasik sulama sistemlerinde 8 hektar sulama alanına saniyede ortalama 30 litre su verilirken, modern sulama yöntemlerinden yağmurlama ve damla sulamalarda 8 hektara saniyede ortalama 10 litre su verilmektedir. Böylelikle 2/3 oranında su tasarrufu sağlanmaktadır (DSİ, 2022).

DSİ tarafından 2021 yılı sonuna kadar yapılmış olan hidrojeolojik etütler neticesinde 94 milyar m^3 yer üstü ve 18 milyar m^3 yeraltı suyu rezervi tespit edilmiştir. 18 milyar m^3 rezervin 17.067 milyar m^3'lük bölümünün tahsis işlem yapılmıştır. 2021 yılı başlarında sulama maksadına 11 426 milyar m^3, içme suyu maksadına 4 141 milyar m^3, sanayi maksadına ise 1,50 milyar m^3 yer altı suyu tahsis edilmiştir. Sulama maksadıyla 11 426 milyar m^3'ün

- 4 657 milyar m^3'ü Sulama Kooperatifleri-DSİ Sulamaları-Kamu Sulamaları,
- 6 769 milyar m^3'ü bireysel sulamalarda kullanılmaktadır.

Devlet su işleri tarafından bireysel kullanıcılara, çoğunlukla damla veya yağmurlama sulama sistemine göre yer altı suyu tahsisi yapılmaktadır. 2021 yılı başı itibarıyla 335 599 adet kullanma belgesi ile yaklaşık 900 bin hektar alanın yer altı suyundan sulanması sağlanmaktadır (DSİ, 2021a).

31.12.2020 tarihi itibarıyla kamu kuruluşlarına ait 33 adet projede 2 122 adet işletme sondaj kuyusu ile 93 177 hektar alanın yer altı suyundan sulanması sağlanmıştır. İnşa edilen yüzey sulamalarını takviye etmek veya kombine bir sulama yapmak maksadıyla geliştirilmiş olan DSİ sulamaları ile sadece yer altı suyundan faydalanarak inşa ve işletmesi DSİ tarafından yapılan sulamalar için 2 105 adet kuyuda toplam 85 050 hektar alan sulanmaktadır. Sulama Kooperatiflerine ait yer altı suyu sulamalarında 31.12.2020 tarihine kadar 11 907 kuyu ile 499 845 hektar arazinin sulanması sağlanmıştır (DSİ, 2021a).

Türkiye'de sulama amaçlı pompaj kuyuları

- Özel (bireysel) ve
- Sulama Kooperatifleri-DSİ Sulamaları-Kamu Sulamaları kontrolü altında iki şekilde işletilmektedir.

Özel kuyular DSİ'nin belirlediği kriterler çerçevesinde yasal izinler alındıktan sonra açılmakta ve işletmesi tamamen üretici kontrolü altında olmaktadır. Sulamada tüketilen elektrik direk ilgili şirkete üretici tarafından ödenmektedir. Sulama birliklerinde ise pompaj kuyularının işletmeleri resmiyette sulama birliklerinde kullanımı ise üreticidedir. Ancak burada sulamada tükettikleri elektrik ise sulama birliğine ait sayaçlardan geçmekte ve üretici ödemesini sulama birliğine diğer giderlerle (hizmet bedeliyle) birlikte yapmaktadır. Sulama birliği ilgili elektrik dağıtım şirketine ödemeyi yapmaktadır (DSİ, 2021a).

Tarım ve Orman Bakanının 10/11/2020 tarihli Olur'uyla yürürlüğe girmiş olan ve 2021 yılında su kullanım hizmet bedeli alınacak olan ve sulama birliklerince işletilen sulama tesislerinin gruplara göre dağılımı grup 1 (cazibe),

grup 2 (cazibe), grup 3 (cazibe), grup 4 (pompaj), grup 5 (pompaj) şeklinde belirlenmiştir.

2021 yılı için sulama birliklerince su kullanım hizmet bedelinin belirlenmesinde eşik değer olarak alınmakta olan işletme ve bakım ücret tarifeleri Çizelge 1.5'te verilmiştir (DSİ, 2021b).

Su kullanım işletme ve bakım ücret tarifelerine ek olarak aşağıda Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğüne ait olan hükümlerin bir kısmı sıralanmıştır (DSİ, 2021b).

- Su kullanım hizmet bedeli, her bitkinin yıl içindeki yetişme süresine göre tespit edilir. Bu nedenle, bir yıl içinde aynı parsele, mevcut ürünün hasadı yapıldıktan sonra yenisi ekildiğinde, bu bitkilerin her biri için ayrı ayrı su kullanım hizmet bedeli uygulanır. Su kullanım hizmet bedelleri; birliklerin görev alanı içinde ve dışında, işletme ve bakım, yönetim sorumluluğu devralınan sulama tesisinin herhangi bir bölümü ile ilişkisi bulunan sahalarda, sulama sayısına bakılmaksızın, sulanan parsel sahibine, kiracı veya ortakçıya (gerçek kişiler, kamu hukuku ve özel hukuk tüzel kişilikleri dâhil) uygulanır.

Çizelge 1.5. 2021 yılı su kullanım işletme ve bakım ücret tarifeleri (DSİ, 2021b)

Bitki çeşitleri	**İşletme ve bakım ücreti TL/da**				
	Cazibe sulamaları			**Pompaj sulamaları**	
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5
Hububat	21	28	36	44	61
Fasulye (Tane), Çayır-Mer'a	22	32	40	51	90
Fasulye (Taze)	28	36	47	60	108
Soya	22	28	40	53	105
Bostan	23	34	44	53	90
Tütün	34	47	61	75	108
Anason	21	29	38	47	72
Yerfıstığı	28	39	50	61	105
Ayçiçeği	22	32	40	51	72
Haşhaş	21	29	38	47	70
Çiçek Bahçesi	38	52	64	79	155
Nohut, Keten, Kenevir, Jüt	21	28	36	44	72
Susam	21	29	38	60	118
Pamuk, Mısır, Süpürge *Otu*	30	44	53	72	144
Çeltik, Şeker Kamışı	74	104	135	166	217
Fidan	22	32	40	51	77
İncir	29	40	52	89	176
Bağ, Aspir	21	29	38	53	108
Zeytinlik, Antep Fıstığı	29	40	52	70	139
Meyve, Şeker Pancarı	40	58	74	94	163
Çilek	36	50	64	81	144
Süs Bitkileri	42	61	80	108	176
Narenciye	46	68	86	108	181
Muz	69	104	137	171	284
Sebze	39	53	69	87	153
Patates	30	44	53	67	105
Soğan, Sarımsak	29	40	52	65	101
Yem Bitkileri	36	50	64	81	118
Kavak	32	44	58	71	118
Sera	59	82	104	133	175
Tav Sulaması	12	18	22	29	48
Su Ücreti (TL/ m³)	**0,085**	**0,115**	**0,146**	**0,198**	**0,397**

- Suyun metreküp olarak ölçülebildiği sulama şebekelerinde, işletme ve bakım ücreti, tarifede gösterilen metreküp su ücreti üzerinden uygulanır. Sulama sayısı ve sulama süresi yöntemlerine göre tarife uygulanan sulamalarda su kullanım hizmet bedeli, sulama birliğinin kararı ve DSİ Bölge Müdürlüğünün onayı ile tarifedeki eşik ücretlerin altında kalmayacak şekilde bu yöntemler üzerinden belirlenerek uygulanmaktadır. Su kullanım hizmet bedelleri uygulanmasında, sulanan alan ölçümünde hesaplamaya giren en küçük alan birimi 0,1 dekar = 1 ar olarak kabul edilir. Aynı parselde aynı

zamanda karışık olarak çeşitli bitkiler sulandığında, bitkilerin alanları ayrı ayrı tespit edilebiliyorsa her bitki çeşidi için o bitkiye ait ücret uygulanır. Aynı parselde aynı zamanda karışık olarak sulanan bitkilerin alanları ayırt edilemiyorsa, parselin tamamına bunlardan su kullanım hizmet bedeli en yüksek olan bitkinin ücreti uygulanır. Tarlanın ekime hazırlanması için yapılan tav sulamasından sonra bu parsellerdeki bitkiler sulama mevsimi içinde de sulandığında, o bitkiye ait ücret uygulanır. Bitki yetiştirilmeksizin, arazi iyileştirmek maksadıyla yapılan sulamalar da tav sulaması kabul edilir. Bitki yetiştirilmesine bakılmaksızın kış yıkama sulaması yapılan sulamalar da tav sulaması kabul edilir. Tarifenin ilanından sonra birliklere devredilen ve/veya çeşitli nedenlerle tarifede yer almayan sulamalara, tesisin özelliğine uygun olan grubun su kullanım hizmet bedeli tarifesi DSİ Genel Müdürlüğünün onayı ile uygulanır.

- Fide, satış fidanı ve her çeşit tohum yetiştirmek maksadıyla kullanılan parselin sulanması halinde bunlara, ait olduğu esas bitkinin su kullanım hizmet bedeli uygulanır.
- Çiftçilerin, devamlı olarak kendi motopomplarıyla suladıkları bitkilere su kullanım hizmet bedeli sulama birliğinin kararıyla en fazla % 50'ye kadar indirimli uygulanabilir. Birlik ile sözleşme yapmadan, sulama alanı dışı sahalarda yapılan sulamalarda; motopomp, yağmurlama ve damla sulama sistemi indirimleri uygulanmaz. Sulama sistemi yağmurlama ve damla sulama yöntemine göre inşa edilen sulama tesislerinde motopomp, yağmurlama ve damla sulama indirimleri uygulanmaz. Ancak, sistem işletme basıncının yeterli olmaması sebebiyle mecburi olarak kendi kurdukları motopomp, yağmurlama ve damla sulama sistemiyle sulayanlara sulama birliğinin kararıyla indirim uygulanır. Çeşitli nedenlerle su kaynağının yetersiz kaldığı durumlarda sulama başka kaynaklardan takviye ediliyorsa, ortaya çıkan masrafları karşılamak üzere sulama birliğinin kararıyla uygulanmakta olan su kullanım hizmet bedelleri artırılabilir.

- Sulama birlikleri, sulama tesislerinin işletilmesi, yönetimi ve su kullanım hizmet bedellerinin uygulaması konularında 19/4/2018 tarihli ve 7139 sayılı Kanun'da belirtilen hükümleri uygulamakla mükelleftir.

Yer altı suyu Türkiye geneli işletme rezervi toplam 2020 yılı itibariyle yıllık 17,81 km^3'tür. Tüm sektörlerde yer altı suyundan yapılan tahsis miktarı yıllık 17,02 km^3 'tür. Türkiye genelinde sulamada kullanılan toplam yüzey suyu miktarı 2020 yılı itibariyle yıllık 34,706 km^3'tür. Çizelge 1.6'da Havza bazında 2020 yılı itibariyle yer altı suyu Sulama Kooperatiflerince işletilen sulamalar (DSİ, 2021c).

Çizelge 1.6. Yer altı suyu Sulama Kooperatiflerince işletilen sulamalar

Havza kodu	Havzası	2020		
		Kuyu (Adet)	Sulama alanı (ha)	Kooperatif sayısı (Adet)
1	Meriç Ergene	515	20923	67
2	Marmara	83	2904	13
3	Susurluk	187	7028	30
4	Kuzey Ege	184	7552	15
5	Gediz	328	12257	49
6	Küçük Menderes	240	8337	40
7	Büyük Menderes	592	23950	104
8	Batı Akdeniz	332	14801	54
9	Antalya	267	8946	44
10	Burdur Göller	518	20698	95
11	Akarçay	867	31584	119
12	Sakarya	1462	58558	217
13	Batı Karadeniz	5	165	1
14	Yeşilırmak	335	18256	83
15	Kızılırmak	735	31559	113
16	Konya Kapalı	3981	177703	271
17	Doğu Akdeniz	17	517	6
18	Seyhan	50	2062	9
19	Asi	454	18285	23
20	Ceyhan	188	7669	18
21	Fırat - Dicle	332	13904	63
22	Doğu Karadeniz			
23	Çoruh	17	675	1
24	Aras	182	10602	9
25	Van Gölü	19	580	3
	Toplam	**11.890**	**499.515**	**1.447**

2020 yılı itibariyle Havzalara göre yıllık yer altı suyu potansiyeli Çizelge 1.7'de verilmiştir (DSİ, 2021c).

Çizelge 1.7. Havzalara göre yıllık yeraltısuyu potansiyeli (DSİ, 2021c)

Havza no	Havza adı	2020 (hm^3/yıl)	
		Yeraltısuyu beslenimi	Yeraltısuyu işletme rezervi
1	Meriç - Ergene	507,7	498,2
2	Marmara	241,7	210,7
3	Susurluk	780,4	585,9
4	Kuzey Ege	289,4	212,9
5	Gediz	1155,9	866,9
6	Küçük Menderes	179,2	179,2
7	Büyük Menderes	1045,4	761,5
8	Batı Akdeniz	473,2	316,7
9	Antalya	1164,7	576,3
10	Burdur Göller	106,4	89,5
11	Akarçay	345,4	345,4
12	Sakarya	2197,1	1545,2
13	Batı Karadeniz	641,2	607,6
14	Yeşilırmak	907,2	872,8
15	Kızılırmak	2003,1	1762,9
16	Konya Kapalı	2597,0	2023,0
17	Doğu Akdeniz	96,5	70,5
18	Seyhan	838,8	749,9
19	Asi	393,2	289,5
20	Ceyhan	985,3	533,5
21	Fırat - Dicle	4994,8	3763,7
22	Doğu Karadeniz	490,9	490,9
23	Çoruh	30,0	20,0
24	Aras	388,5	294,4
25	Van Gölü	179,2	148,2
	Toplam	**23 032,3**	**17 815,3**

Havzalara göre yıllık yer altı suyu toplam beslenimi 23 032,3 hm^3/yıl ve yer altı suyu işletme rezervi ise 17 815 hm^3/yıl'tür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarımsal üretimde enerjinin varlığı ve sürdürülebilirliği gün geçtikçe modern makinelerin kullanımıyla daha önem kazanmaktadır. Tarımsal sulama mekanizasyonu, kullanılan ekipman ve cihazların elektrifikasyonunun optimize edilmesi, planlanması ve projelendirilmesi birçok etkili değişkene bağlı farklılık gösterdiği için değişik alternatiflerle karşımıza çıkabilmektedir. Kurulumu yapılacak pompaj sistem elamanlarının seçimi, bağlantısı, kablolaması, panosu ve enerji kalitesi gibi konuların birinde herhangi bir nedenden dolayı oluşacak aksilik tüm sistemi olumsuz etkilemektedir. Bu durum birçok sıkıntıya sebep vermekte özellikle üreticilere yüksek işletme giderleri (düşük verim, pompa ve pano tamir gideri, enerji gideri vb) olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle kırsal kesimde sulama döneminde enerji nakil hatlarındaki kesintiler tarımsal sulamayı engellediği için potansiyeli yüksek alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin önemi ön plana çıkartmaktadır. Diğer dönemlere göre sulama döneminde güneşleme süresinin daha çok olması, güneşten gelen enerjinin daha etkin kullanımı söz konusudur. Güneş enerjisinin modern sulama sistemlerine entegre edilip kesintisiz sulama yapılması konusu ve önemi ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda lineer ve sentır pivot gibi hareketli sulama sistemlerinin büyük arazilere sahip üreticiler tarafından kullanımına başlanmış; ancak, enerji teminindeki sıkıntılar, uzaktan kontrol ve erişimindeki sıkıntılar yaygınlaşmasını olumsuz etkilemektedir.

Sentır pivot; betonarme bir platformun üzerinde dairesel dönüş yaparak hareket ederek sulamayı otomatik olarak el değmeden yapan, dış etkenlere karşı galvanizle kaplı çelik borulardan, suyun temas ettiği yüzeylerde polietilen kaplama ve çelik konstrüksiyondan oluşan, 1 400 metre yarıçapına kadar sulama yapabilen ve eğimli arazilere adapte edilebilen teknolojik sulama makineleridir. Sentır pivot sulama sistemleri ile buğday, arpa, mısır, pamuk, yonca, şeker pancarı, bodur meyve ve narenciye ağaçları, kavun, karpuz, yem bitkileri, soğan, patates ve benzeri birçok bitkinin sulaması yapılabilmektedir. Sulama mekanizasyonu

açısından önemli bir sistem olan pivot sistemler; üründe verim artışı sağlaması, iş gücü ve zamandan tasarruf, yıllık bakım masrafının düşük olması, sulama suyunu daha az kullanarak sulama yapabilmesi, sulanan alanlarda homojen su dağılımı, sistem ortalama ömrünün 20-25 yıldan fazla olması, tıkanma ve sızdırmada ciddi problemler yaşanmaması, montajın standart ve kolay olması, gibi kolaylıkları mevcuttur. Ancak şebeke elektriğindeki kesintiler, voltaj düşüklüğü veya yüksekliği ve benzeri sıkıntılardan dolayı yaygınlaşmasını engelleyen en büyük sebeplerdir.

Yapılan literatür taramasında şebeke elektriğinin mevcut olduğu ancak sorunlu olduğu kesimlerde, şebeke ile hibrit olarak çalışacak sistemin kullanımı daha ekonomik ve sürdürülebilir bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Hareketli sulama sistemleri birçok konuda avantajlı olmalarına rağmen arızalandıklarında yüksek işletme giderleri oluşturabilmektedir. Bundan dolayı hareketli sulama sistemlerinin uzaktan kontrol edilmesi ve erken uyarı sistemlerinin kurulması da önem arz etmektedir. Ayrıca büyük güçlü pompaj sistemlerinde akülerin kullanılması ekonomik olmadığı görülmektedir (Atay, 2013f). Bu kapsamda "PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemi" konusu ile ilgili yapılan literatür taramasında, son yıllarda ağırlıklı olarak PV sulama sistemleriyle ilgili olarak küçük güçlü PV pompaj sistemleri çalışmalarına ve modern sulama sistemlerinde kullanımı ile ilgili ise derin olmayan yüzeysel su kaynaklarından su alınarak kullanılmasına yönelik çalışmalara da rastlanmıştır. Ancak literatür araştırması sonucu bu çalışmada kullanılan büyüklükte ve özeliklerde, PV destekli, uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemine, otomasyon sistemi ile bileşenlerine rastlanamamıştır. Bu durumda "PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemi" derin kuyularda PV sistem kullanımına yönelik bakıldığında literatür taraması sonucuna göre ilktir ve benzerine rastlanmamıştır. Bu durum çalışmamızı özgünleştirmektedir.

PV sistemlerin kullanımı birçok alanda yaygınlaştığından bu sistemlerin değişik kullanım alanları mevcuttur. PV sitemlerin tasarımına, boyutlandırmasına, karakterizasyonuna, verimliliklerine, PV sulama sistemlerinin optimizasyonuna ve motor-pompa alt sistemlerinin modellenmesiyle ilgili birçok araştırmaya rastlanmıştır. Bu bölümde özellikle PV sistemler, bileşenleri ve tarımsal sulamada kullanımına yönelik çalışmalara ağırlıklı olarak yer verilmiştir.

PV sistemlerin ilk yatırım maliyetleri ve diğer dezavantajları göz önünde tutulduğunda, kurulacak bir sistemin uygun değerdeki şartlarda çalışabilmesi için, kurulum aşamasında sistemin optimize edilmesi gerekmektedir. PV damla sulama sistemlerinin en basit kombinasyonu DC motor-pompa ikilisinin, modüllere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı, direkt-akupleli sistemlerdir. Bu tür sistemlerde; gün boyunca ışınım şiddetinin gösterdiği sinüzoidal değişime bağlı olarak, değişen değerlerde çıkan gerilim ve akım, motora direkt olarak verildiğinden, sistemin çalışması ancak ihtiyaç duyduğu gücü sağlayan gerilim ve akım değerlerinin temini ile mümkün olur (Fıratoğlu ve Yeşilata, 2004). Direkt-akupleli sistemlere ek olarak, PV modül ve motor arasına bataryanın yerleştirildiği, bataryalı ve modüllerin akım-gerilim (l-V) çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) gibi kombinasyonları bulunmaktadır. Akülü sistemlerde; modül ile motor arasındaki akü, sistemin güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilimde sistemi çalıştırır. Sabit gerilimin en büyük getirisi ise modül sayısı ve tasarımında yapılacak bir optimizasyonla, sistemin optimum çalışma noktalarına yakın noktalarda, çalışabilmesidir (Fıratoğlu ve Yeşilata, 2003). PV sistemlerde MPPT kullanılmasıyla genel verimlilik % 2,8 ve % 18,5 aralığında artırılabilir (Salas ve ark, 2005).

Gerek akülü gerekse MPPT kullanan sistemlerde ilk yatırım maliyeti önemli oranlarda artmakta ve sisteme eklenen cihazlar nedeniyle çalışma güvenilirliği azalmaktadır (Short ve Oldach, 2003).

Direkt-akupleli sistemler için; DC motor-merkezkaç pompa ve DC motor-volümetrik pompa ikililerinin üzerinde yapılan ilk çalışmalarda, modül karakteristiklerine en uygun yük eğrilerine, DC motor- merkezkaç pompa ikilisinin sahip olduğu görülmüştür (Appelbaum ve Bany, 1978; Appelbaum, 1981). Daha sonra farklı motor-pompa ikilileri için yapılan araştırmalar bu sonucu değiştirmemiştir (Landridge ve Lawrance, 1996; Anis ve ark, 1985).

İlk etapta konvansiyonel DC (seri, paralel, kompunt) motorlar üzerine yoğunlaşan çalışmalar, teknolojide sağlanan gelişmeler sonucu geliştirilen kendinden uyarılı DC motorlar, üzerine yoğunlaşmış ve yapılan çalışmalar kendinden uyarılı DC motorun, geleneksel DC motorlara nazaran daha uygun karakteristiklere sahip olduğu görülmüştür (Hsiao, 1984; Suehrcke ve ark, 1997).

Aküsüz çalışan PV hücreler lineer olmayan enerji kaynakları olup hava şartları değiştiği anda sistemin çalışma noktaları da değişmektedir. Çünkü PV cihazların akım-gerilim değerleri, dolayısıyla güç çıktıları ve çalışma verimleri; ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi yerel iklim şartları ve mevsimsel parametrelere bağlıdır (Carstensen ve ark, 2003; Li ve ark, 2005). Bu nedenle aynı amaca yönelik farklı cihazlar içerisinden performans ve maliyet açısından en uygun olanın seçilebilmesi için, cihazların meteorolojik koşullara sahip bölgelerdeki gerçek çalışma şartları altında göstermiş oldukları performanslarının bilinmesi gereklidir (Kou, 1996). Genellikle cihaza ait bu bilgiler üretici firma tarafından verilmemekte, bu değerler yerine STK olarak adlandırılan 1 000 W/m^2 ışınım şiddeti, 25 ^oC hücre sıcaklığı ve AM=1.5 şartlarındaki performans değerleri verilmektedir (Durisch ve ark, 2000).

Gerçek çalışma şartları ve laboratuvar ortamındaki şartlar farklı olduğundan, üretici firmalar tarafından verilen katalog performans değerlerine, gerçek çalışma şartları altında, özellikle de meteorolojik şartların sert olduğu bölgelerde ulaşılamamakta ve bunun sonucunda kullanılan cihazların performanslarında düşüşler görülmekte veya başarısız sonuçlar elde edilebilmektedir (Gxasheka, 2005; İkisawa ve ark, 1998; Durisch ve ark, 2000).

Bu nedenle gerçek çalışma şartları altındaki performans değerleri kullanılarak yapılan tasarımlar, kullanıcı açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Cihazların dış ortam şartlarındaki çalışma performansları oldukça yüksek maliyetlere sahip olabilen "veri izleme ve kayıt cihazları" ile gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilmektedir. PV sistemlerin performanslarının tespiti için akım, gerilim (voltaj), çevre sıcaklığı (dolayısıyla modül yüzey sıcaklığı) ve rüzgâr hızı gibi parametrelerin ölçümü gereklidir (Atay ve ark, 2009a).

Literatürde PV sistemlerin karakterizasyonuna yönelik birçok çalışma olup (Eikelboom ve Jansen, 2000; Whitaker ark, 1997), bu karakterizasyon yöntemlerinin bir kısmı sadece modül katalog değerleri ile, bazıları ise bir yörede uzun süreli olarak gerçekleştirilen ölçümlerle sonuca ulaşmaktadır (Marion ve ark, 2005; Kou, 1996). PV sistem karakteristiklerini tespit etmek amacıyla, ölçüm düzeneklerinde en çok kullanılan yükler, rezistans tipi yükler, kapasitans tipi yükler ve elektronik yüklerdir (Chen ve Yin 2015; Khouzam ve ark, 1991; Morgan ve ark, 1994). Elektronik yükler, sistem parametrelerinin hızlı, kolay, doğru ve istenilen hassasiyette tespit edilmesine ve bilgisayar desteği ile de bu parametrelerin izlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Elektronik yüklerin en önemli dezavantajları ise, ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Sistem parametrelerinin tespiti amacıyla kullanılan yükler içerisinde maliyet açısından en uygun yük tipi, rezistans tipi yüklerdir. Rezistans tipi yüklerin dezavantajı ise, yük değişimlerinde kademeler arasındaki geçişte üniform bir yük değişiminin sağlanamaması ve bu yük değişimi için geçen sürede, ışınım şiddetinin bir miktar değişim göstermesidir. Çok kısa bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilen ölçümlerde modül kapasitans etkileri, uzun bir zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilen ölçümlerde ise ışınım şiddetindeki değişimden dolayı elde edilen eğrilerde hatalar oluşmaktadır (Blaesser, 1997; Zomer ve ark, 2020).

Daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlara bakıldığında, PV hücrenin ürettiği akım değeri ile yüzeye gelen ışınım şiddeti arasında lineer bir ilişkinin mevcut olduğu görülmektedir. Işınım şiddetinin artışı ile akımın ve sistemin

ürettiği gücün arttığını, sıcaklık artışı ile de açık devre geriliminde büyük miktarda düşüş ve kısa devre akımında ise küçük bir miktarda artışın olduğu görülmektedir. Kısa devre akımında gün boyunca meydana gelen değişim, açık devre geriliminde meydana gelen değişimden çok daha fazladır. Bu nedenle sistemin günlük verim değişimi incelendiğinde, kısa devre akımının değişimine paralel bir değişim görülmektedir (Merten ve Andreu, 1998; Vandyk, 2005).

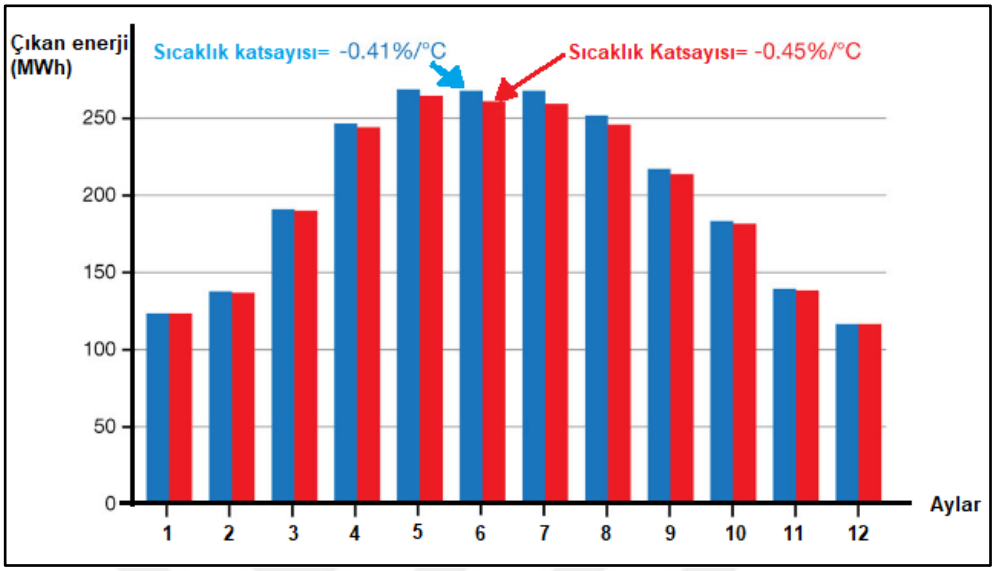
Fotovoltaik sistem karakteristiklerinde mevsimsel olarak meydana gelen değişimlerin incelendiği çalışmalarda (Hirata ve ark, 1998; Merten ve Andreu, 1998) elde edilen sonuçlar, ölçümlerin yapıldığı bölgenin meteorolojik şartlarına (Itoh ve ark, 2001; Nishioka ve ark, 2003) ve ölçümlerde kullanılan fotovoltaik cihazların elektriksel karakteristiklerine (özellikle de μısc ve μvoc katsayılarına) bağlı olarak farklı değişimler göstermektedir (Nishitani ve ark, 1998; King ve ark, 1997; Hirata ve Tani, 1995). Özellikle sıcak iklime sahip bölgelerde yaz aylarında görülen yüksek çevre sıcaklığı dolayısıyla da modül yüzey sıcaklığının PV sistemin güç çıktısı üzerindeki etkisi çok büyüktür (Carlos ve ark, 2018).

Bu nedenle sistem tasarımında sıcaklık etkisinin mutlaka göz önünde bulundurulması gereklidir. Sistem performansına etki eden ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığından başka diğer bir önemli parametre ise, PV modüllerin yatay yüzeyle yaptığı açıdır. Yıl ve gün boyunca deklinasyon açısına, bölgenin enlemine ve güneş batış açısına bağlı olarak, güneş ışınımının Dünya'nın yatay yüzeyine geliş açısı değişir. Işınım şiddetinden maksimum şekilde yararlanabilmek için modül veya kollektörlerin, güneş geliş açısı dikkate alınarak, optimum açılarda yatay yüzeye yerleştirilmesi gereklidir (Fıratoğlu ve Yeşilata, 2003). Farklı bölgeler için optimum modül eğim açılarının tespitine yönelik çalışmalar mevcuttur (Aydın ve Yeşilata, 2004; Yakup ve Malik, 2001; Hussein ve ark, 2004, Bilgili, 2018). Genellikle uygulanan yöntem, mevcut cihaz kullanım bölgesi için uzun dönem meteorolojik verilerinin kullanılarak, en fazla ışınımın geldiği saatlik, aylık ve yıllık eğim açısının tespit edilmesi şeklindedir (Shariah ve ark, 2002; Asl-

Soleimani ve ark, 2001). Bir veya daha çok eksende güneşi izleyen sistemlerde modül yüzeyine gelen ışınım şiddeti miktarında artış görülmekte (Abdallah, 2004), ancak sisteme eklenen bu mekanizmalar sistem maliyetini arttırdığından uygulanabilir görünmemektedir (Abdallah ve Nijmeh, 2004; Karimov ve ark, 2005).

Uluslararası teknik standartlar (STC) olarak adlandırılan 1 000 W/m^2 güneş ışınım şiddeti, 25 °C hücre sıcaklığı ve AM=1,5 modülü 25 °C standart sıcaklıkta ölçmekte ve buna göre sınıflandırmaktadır. Ancak, çoğu zaman, bu değer modülün gerçek arazi koşullarındaki sıcaklık koşullarından daha düşüktür. Genellikle, modül çevresel sıcaklıktan 20-30 °C daha yüksek çalışır. Yaz aylarında sıcaklıklar 60 veya 70 °C'ye ulaşabilir ve hatta aşabilir. Ortalama çalışma sıcaklığı yaklaşık 50 °C'dir. Diğer bir deyişle, referans koşullarından 25 °C daha fazladır.

Şekil 2.1'de örnek grafikte gösterildiği gibi aynı güçle etiketlenen ancak farklı bir sıcaklık katsayısına sahip iki modül farklı güçler üretecektir. Sıcaklık katsayısı bu kaybı hesaplamak için ihtiyacımız olan parametredir. Genel olarak satışı yapılan modüllerde -0,35 ile -0,5 %/°C arasında değişmektedir. Bu durumda modül sıcaklığında her 10 °C'lik artışına karşılık modül gücünde % 3,5-5 arasında bir azalmaya neden olduğu anlamına gelmektedir (Futurasun, 2021). Bir başka çalışmada sıcaklık katsayı değeri; "0,280 %/°C ile -0,40 %/°C" biçiminde yazılan değer olarak belirtmişlerdir. Bu değerler sıfıra ne kadar yakın olursa sıcaklıktan dolayı oluşan kayıplarınız o kadar az olur (Cilli, 2021).



Şekil 2.1. Aynı güçteki modüllerde farklı sıcaklık katsayısının etkisi

PV modüllerinin performansı, sıcaklık arttığında daha az etkili olduğu için sıcaklıktan etkilenir. Çalışmada kullanılan modüllerin sıcaklık katsayısı % 0,5/°C'dir ve her 1 °C'lik sıcaklık artışının gücünün % 0,5'ini azaltacağını belirtir (Hussin, 2019).

Şenpınar (2006), yaptığı çalışmada Dünya'nın güneş sistemi ve ekseni etrafındaki hareketi, güneşin Dünya'ya göre konumunun değişmesine neden olduğunu ve yıl içinde farklı mevsimlere ve gün uzunluklarına sebep olduğunu belirtmiştir. Güneş ışınımından yüksek verim elde etmek için sabit ve takip sistemli PV ünitelerin kullanıldığı, sabit sistemler yatay olarak belirli bir eğim açısında konulduğunu vurgulamıştır. Burada kullanılan açının değişken olduğunu mevsimlere ve bölgenin konumuna göre değiştiğini belirtmiştir. Bölgede yıl içinde mevsimlere bağlı olarak optimum eğim açısı hesaplanarak, güneş ışınımından elde edilen enerji miktarının arttırılabileceğini vurgulamıştır. Bu eğim açısının farklı iller için aylık, mevsimlik ve yıllık optimum değerleri hesaplamıştır.

Çizelge 2.1'de farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açısının derece biriminden aylara göre değerleri verilmiştir (Şenpınar, 2006).

Çizelge 2.1. Bazı illere göre optimum eğim açısının aylara göre değerleri

Aylar	İller						
	Sabit PV modül için optimum eğim açısı (derece)						
	Ankara	Elâzığ	İstanbul	İzmir	Mersin	Sinop	Şanlıurfa
1	60,4	59,5	61,8	59	57,3	62,8	57,9
2	52,8	52	54,3	51,5	49,8	55,3	50,4
3	41,9	41	43,3	40,6	38,8	44,3	39,4
4	30	29,1	31,5	28,7	26,9	32,5	27,5
5	20,7	19,8	22,2	19,4	17,6	23,2	18,2
6	16,4	15,6	17,9	15,1	13,4	18,9	14
7	18,4	17,5	19,9	17,1	15,3	20,9	15,9
8	26,2	25,3	27,7	24,9	23,1	28,7	23,7
9	37,5	36,6	39	36,2	34,4	40	35
10	49,4	48,5	50,8	48	46,3	51,8	46,9
11	58,6	57,7	60	57,3	55,5	61	56,1
12	62,6	61,7	64,1	61,3	59,5	65,1	60,1

Çizelge 2.2'de ise farklı bölgedeki birtakım illere göre optimum eğim açısının mevsimlere göre değerlerini çalışmasında işlemiştir (Şenpınar, 2006).

Çizelge 2.2. Bazı illere göre optimum eğim açısının mevsimlere göre değerleri

İller	Sabit PV modül için optimum eğim açısı (derece)						
	Enlem (N)	Boylam (E)	Mevsimlik değerler				Yıllık değer
			İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	
Ankara	39,56	32,52	30,92	20,40	48,52	58,64	35,60
Elâzığ	38,68	39,14	30,04	19,52	47,64	57,76	34,82
İstanbul	41,01	28,58	32,37	21,85	49,97	60,09	36,91
İzmir	38,25	27,09	29,61	19,09	47,21	57,33	34,43
Mersin	36,48	34,38	27,84	17,32	45,44	55,56	32,83
Sinop	42,01	35,09	33,37	22,85	50,97	61,09	37,81
Şanlıurfa	37,08	38,46	28,44	17,92	46,04	56,16	33,37

Bu değerler incelendiğinde, kış ile yaz arasında büyük bir fark olduğundan mevsimlere göre değişen optimum değerlerin kullanılması gerektiğini tespit etmiştir. Günümüzde her bir mevsim sonunda bu eğimler manuel olarak veya otomatik ayarlanarak PV ünitelerin maksimum ışınım alması sağlanarak verimliliği arttıracağını saptamışlardır. Bu veriler esas alındığında Şanlıurfa ili için sulama mevsiminde optimum eğim açısı 30^o çıkmaktadır.

Aydın ve Yeşilata (2005), çalışmalarında iki eksende güneşi takip eden sistem sehpasını imal etmişlerdir. Sistem sehpası, güneşi gün içerisinde hem yatay hem de düşey eksende takip edebilmektedir. Doğu-Batı yönündeki takip işlemi, sehpa ayaklarına monte edilmiş yarım daire şeklindeki kızak ile gerçekleştirilmektedir. Sehpanın dönme merkezine konulan gösterge sayesinde dönme miktarı görülebilmektedir. Düşey yöndeki takip işlemi ise, modülün konulacağı yüzeyin altına yerleştirilen bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. PV modül yüzeye bağlandıktan sonra, modül istenilen miktarda eğilip kaldırılarak eğimi ayarlanmaktadır. Modülün bağlandığı yüzeye konulan bir gösterge ile modül eğimi görülebilmektedir. İmal ettikleri sistemin çalışması gün içerisinde tek veya iki eksende güneşin izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Günümüzde, güneş enerjisine dayalı PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında su pompalama sistemleri bulunmaktadır. PV destekli sulama sistemi uygulaması ile ilgili çalışmalar genellikle son yıllarda gerçekleştirilmiştir. Tarım arazileri gibi geniş alanlarda sabit enerji noktasından veya sulama kanallarından arazinin tüm bölgelerine su dağıtımı ekstra kablo düzeni gerektirmektedir. Özelikle sulama döneminde tüketilen ve genellikle tükenmeye yüz tutmuş enerji kaynaklarıyla üretile elektrik çok yüksek maliyetle kullanılmaktadır (Short ve Oldach, 2003). PV güç sistemli su pompalama uygulaması özellikle şehir su ve elektrik şebekesine bağlı olmayan kırsal yörelerde kuyu veya kanallardan su temininde veya zirai amaçlı arazilerde sulama kanallarından araziye su dağıtımında ekonomik olarak kullanılabilmektedir (Posorski, 1996). Pompa dışında herhangi bir mekanik bileşeni bulunmaması sebebiyle önemli seviyede bakım ve onarım gerektirmemesinden kaynaklanmaktadır (Odeh ve ark, 2005).

PV destekli sulama sistemlerinde elektrik, PV diziden alınır. PV dizinin akım-gerilim (I-V) özellikleri önemlidir. PV diziden alınabilecek güç miktarı; güneş ışınımı, sıcaklık ve bağlı yük gibi bazı önemli özelliklere bağlı olarak değişir. Belirli miktarda güç üretebilmek için gerekli PV dizinin büyüklüğü PV

sistemin verimine bağlıdır. PV hücreler, üretimlerinde kullanılan kristal malzemenin yapısına bağlı olarak; tek kristal, çok kristal ve amorf olmak üzere üç guruba ayrılırlar. Amorf, çok kristal ve tek kristal malzemeden tasarımlanmış olan PV sistemler için verim düzeyleri yaklaşık olarak sırasıyla, % 7, % 15 ve % 17'dir (Meah ve ark, 2008).

Pande ve ark, (2003), çalışmalarında PV destekli pompa kullanarak bahçe sulamışlardır. Tasarladıkları sistem 900 Wp'lik PV dizisi, 800 W'lık DC motor-pompa, mono-blok, mikro filtre, borulardan oluşmaktadır. Kurdukları sistemle sulamayı sorunsuz gerçekleştirmişlerdir.

Hamidat ve ark, (2003), çalışmalarında Cezayir'in Sahara yöresinde içinde sosyo-ekonomik açıdan gelişme için PV sulama sistemi kurmuşlardır. Sahara iklim koşullarında buğday, patates, domates ve ayçiçeği gibi ürünler yetiştirmeyi başarmışlardır.

Cuadros ve ark, (2004), tarafından yaptıkları çalışmada Akdeniz Bölgesi gibi güneş enerjisinin fazla ve su gereksinimi çok aşırı yüksek olmayan (damla sulama için 50-1000 m^3/gün) bölgeler için, PV destekli sulama sistemlerinin etkin bir şekilde uygulanabileceğini önermektedirler.

Dursun ve Saygın (2006), çalışmalarında güneş enerjisi ile çalışan 300 W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor için boost konvertör tasarlamışlardır. Tasarladıkları konvektör, sistemden maksimum verim elde etmek amacıyla kullanılmışlardır. Bu sürücü sistemi sulama sistemindeki santrifüj su pompasının sürülmesinde kullanmışlardır. Ayrıca, tasarlanan sürme sistemi ile ilk hareket anındaki darbe akımları önlemişlerdir. Sürücü sisteminde düşük maliyetli ve yeterli performansa sahip bulunan PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanmışlardır.

Özdemir ve Kavaslar (2009), çalışmalarında PV destekli sulama uygulamalarında özellikle 3 kW ve altındaki güç uygulamalarında tek faz şebeke ve akü destekli çözümler, 6 kW ve üzeri güç uygulamalarında ise 3 faz şebeke ve

akü destekli uygulamalar tercih edildiğini belirtmişlerdir. Elektrik şebekesi bulunmadığında ise şebeke ve akü desteksiz sulama çözümlerini önermişlerdir.

Okasha (2016), mısır (Zea mays L.) üzerinde dalgıç pompa ve farklı damla sulama sistemleri ile PV sistemin performansını incelemek için 2014/2015 yaz sezonunda Mısır Kafr El-Sheikh Valiliği, Tarım Fakültesi Araştırma Çiftliğinde deneme yürütmüştür. Denemede üç farklı damla sulama uygulaması (T-bant, Eva-flow ve flag dripper), üç farklı basınç seviyesinde (1,0, 1,5 ve 2,0 m) gerçekleştirmiştir. Uygulamalar, enerji depolanmadan ve doğrudan güneş ışığı altında PV sistemi doğrudan çalıştırarak yürütmüştür. Denemede, çıkış gücü, fotovoltaik verim, pompa boşaltma debisi, toplam dinamik yük, hidrolik güç, alt sistem verimliliği akış hızı basıncı, üreticinin varyasyon katsayıları, emisyon homojenliği, Christiansen homojenlik katsayısı, dağıtım homojenliği, mısır verimi ve sulama suyu kullanım verimliliği parametrelerini kullanmıştır. Deneme sonucunda araştırmacı genel olarak, güneş radyasyonu yoğunluğunun artmasıyla elektrik çıkış gücünün arttığını tespit etmiştir. Ayrıca denemede toplam dinamik yük, hidrolik güç ve pompa debisi için optimum değerleri, sırasıyla 2,22 m, 18,35 W ve 51 ℓ/dk şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca T-band uygulamasında 2 m çalışma basıncı yüksekliği, 41 ℓ/dk pompa debisi, 17,71 W hidrolik güç ve 62 W çıkış gücünde en yüksek çıkış debisi değeri, 6,44 l/h olarak tespit etmiştir.

Kanna ve ark, (2020), Hindistan da sulama sisteminde güneş enerjisi uygulamasını servis, bakım, ilk yatırım, yakıt ve yakıt dağıtım maliyetleri açısından değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar çiftçilerin PV destekli su pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin dizel su pompası sisteminden daha yüksek olduğunu düşünmekle birlikte her iki sistemin de üretim ve bakım maliyetleri açısından dikkate almadıklarını ifade etmişlerdir. En çok ithal edilen şeylerden biri olan, PV destekli su pompası sisteminin PV dizisi, sulamanın gerekli olmadığı durumlarda elektrik enerjisi üretimi için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bu doğrultuda PV destekli su pompası, dizel motorlu pompalama sistemiyle karşılaştırıldığında, güneş enerjisiyle pompalama sisteminin Hindistan'daki

çiftlikleri sulamak için daha uygun olduğunu ve ekonomik temelde ise, güneş enerjisi sürekli kullanılıyorsa, ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen PV destekli su pompaları pahalı olmadığını ifade etmişlerdir.

Manar ve ark, (2019), PV su pompalama sistemlerinin sadece çevre dostu bir çözüm içermediğini, aynı zamanda yerleşim yerlerinden uzak toplulukların su tüketim ihtiyaçlarının karşılanmasına da önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ifade ederek Mısır'da bulunan, Toprak ve Su Araştırma Bölümüne bağlı arazide yağmurlama sulama şebekesini doğrudan bağlantılı PV pompa sistemini kullanarak deney yapmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, güneş radyasyonunun yaz aylarında (Nisan ve Temmuz) arttığını ifade etmişlerdir ve elektrik gücü, pompa debisi, basınç yüksekliği, hidrolik güç ve PV dönüşüm verimliliğini güneş radyasyonu bağlı olarak matematiksel denklemler türetmişlerdir.

Abu-Nowar, (2020), Ürdün koşullarında domates mahsulünün güneş enerjisiyle sulamanın dizel motorlu sulama sistemine nazaran ekonomik ve finansal uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma 16 farklı domates yetiştiriciliği yapılan tarım arazilerinde yürütmüştür. Çalışmada karşılaştırma kriterleri olarak maliyet fonksiyon analizi, yaşam döngüsü maliyet analizi, su verimliliği, pompaların net bugünkü değeri, iç karlılık oranı, geri ödeme süresi ve yarar/maliyet oranını kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda araştırmacı, PV destekli sulama sistemi ile sulanan domates yetiştiriciliğinde girdi, işçilik ve ekipman ve bakım maliyetlerinin toplam gelir düzeyi üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip olduğunu saptamıştır. PV destekli sulama sisteminin dizel motorlu sistemine nazaran net bugünkü değer, iç karlılık oranı, geri ödeme süresi ve yarar/maliyet açısından daha avantajlı olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca araştırmacı PV destekli sulama sisteminin yaşam döngüsü maliyet analizinin daha düşük olduğunu da belirlemiştir.

Mohammed Wazed ve ark, (2018), tarafından Sahra'da uzak tarımsal arazilerin sulanması amacıyla su pompalamak adına PV ve güneş termal teknolojileri üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Araştırmada, PV sulama sisteminin

maliyeti ve tasarımını en iyi şekilde optimize için, tarımsal ürünün ihtiyaçlarını kavramak ve sistemin çalışma şartlarını incelemek için kapsamlı bir saha çalışması gerektiği vurgulanmışlardır. PV sistemin maliyetinin başka sulama sistemlerine nazaran, çevresel problemleri ve karbon emisyonunu önemli şekilde azalttığını da ifade etmişlerdir.

Öztürk (2009), çalışmasında PV destekli sulama sistemlerinde yıl boyunca sulama suyu için gereksinim duyulan su miktarının değişimi dikkate alındığını ve su dağıtma sistemi, sulanacak ürününün özelliklerine özel önem verilmesi gerektiğini belirtmiştir. Su dağıtım sistemi, pompalama sistemi için ek bir yükseklik oluşturmadan su kayıplarını en aza indirmeli ve maliyeti düşük olması gerektiğini, PV destekli sulama sistemlerinin tasarımında; bölgenin iklim verileri, bitki su tüketimine ilişkin özelliklerin, sulama sisteminin özellikleri ve su kaynağına ilişkin özellikler dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca PV destekli sulama sisteminde kullanılacak olan elektrik motorunun, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmesi gerektiğini de ifade etmişlerdir.

Tarımsal uygulamalar için, birçok sulama sistemi mevcut olmakla birlikte, maliyet açısından daha uygun özellikte olduğundan damla sulama yöntemi dikkate alınır. Bu yöntemin sulama etkinliği (ηN) % 85'tir (Glasnovic ve Margeta, 2007). Damla sulama yöntemi uygulanırsa, suyun potansiyel enerjisini depolamak için kullanılan depolama üniteleri, sulama başlıklarında akış ve basınç düzenleyicisi olarak işlev yapabilir.

PV destekli damla sulama sistemleri, enerji ve su kullanımında sağladığı verimlilik nedeniyle, GAP Bölgesi'nde aşırı enerji ve su tüketimine yönelik sorunları gidermede en uygun çözümlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, ilk yatırım masraflarının yüksekliği ve toplam sistem verimlerinin düşüklüğü gibi, önemli dezavantajları da söz konusudur. Bu dezavantajların azaltılması için seçilen konfigürasyonların maksimum kullanılabilirliği sağlayacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir (Yeşilata ve ark, 2006). PV destekli damla sulama sistemi tercihinde göz önüne alınması gerekli birçok faktör söz

konusudur. Bu faktörler kullanım yerindeki günlük su ihtiyacı, su kalitesi, pompa statik ve dinamik yükleri, kullanılma sezonunu kapsayan aylar ve bu aylardaki güneş ışınım şiddeti olup, uygulama öncesi bu faktörlerin detaylı olarak analizi gerekmektedir (Atay ve ark, 2012c).

Örneğin Brezilya'da çeşitli iklim verilerine ve parametreye göre maksimum su hacmini hesaplandıktan sonra sulama denemeleri yapılmış ve sistemin karakteristik eğrisi çizilmiştir (Fraidenraich ve Vilela, 2000).

Atay ve ark, (2012c; 2012d); bir PV destekli DC-DSS (DSS: damla sulama sistemi) sistemi ile şebeke hattına bağlı bir AC-DSS sisteminin gerçek arazi koşullarında sulama ve ürün performansları deneysel olarak incelemişlerdir. Sulama sezonunda DC pompa, PV modül ve batarya sistemiyle birlikte kullanıldığından, gündüz ve gece kesintisiz çalışabilmektedir. Güneşin olmadığı durumlarda batarya ile 16,76 saat kesintisiz çalışabilmiştir. Özellikle sulama dönemimde sık sık ortaya çıkan elektrik kesintilerinde AC pompa ile sulama kesintiye uğrarken, DC pompa ile bekleme gerekmeksizin sorunsuz sulama yapılabilmiştir. Bu çalışmada sunulan PV destekli sulama sistemlerin yüksek ilk yatırım masrafına karşılık, herhangi bir işletme masrafı bulunmamaktadır. Kırsal bölgelerde, elektrik şebekesinin gitmediği yerlerde kullanımı halinde, elektrik hattı getirmek amacıyla yapılacak yüksek yatırımlara kıyasla çok daha ekonomik bir çözüm olabileceğini ifade etmişlerdir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çalışmaya ait çeşitli görüntüler (Atay ve ark, 2012c)

Atay ve ark, (2012b; 2012e), TÜBİTAK 1001-110O541 nolu projeleri kapsamında imal ettikleri PV destekli mobil sulama makinesinin arazi performans verileri, sabit sistemlere göre üstün tarafları ve hali hazırdaki kullanılan enerji kaynaklarına alternatif olduğu çalışmalarında bildirmişlerdir (Şekil 2.3). Makinenin başlıca özellikleri şunlardır:

- Mobil (seyyar) olma, güneşi iki eksende otomatik takip ederek gün boyu güneş ışığını dik ve dike yakın alması,
- Modüllerin olduğu platform tek düzlemde olduğu için modüllerin üzerinde tüm gün gölge oluşmaması,
- Güneşi takibi esnasında hidrolik güç kullanılması,
- Yan destek kolları, alt destek ayakları ile PV platform rüzgâr yüküne karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmış olması ve modül temizleme ünitesi olması,
- Doğru (DC) ve alternatif akım (AC) kullanılması,
- Sulama dışında diğer tarımsal işlemlerde jeneratör olarak kullanılabilmesi gibi özellikleri ile de ilk durumundadır.

Makine standart sistemlere göre yukarda sayılan özelliklerinden dolayı PV üniteleri % 40'a varan daha etkin kullanımı söz konusudur. Sulamaların yoğun yapıldığı yaz aylarında güneş enerjisiyle yaklaşık 14 saate kadar kesintisiz çalışabilmektedir. Güneşin doğuşundan batışına kadar olan sürede sulama imkânı olabilmektedir. Ayrıca makine bünyesine gece sulaması için akü ilavesi mümkün olabilmektedir. Ancak üzerindeki modül sayısı belirli bir sınırda kurulabildiği için daha büyük alanlar için bir den fazla makine kurulumu gerekmektedir (Atay ve ark, 2012d; 2013f; 2014). PV destekli mobil sulama makinesinin hareketli olması sabit sistemlere göre birçok avantajı olmasına rağmen kurulum maliyeti açısından, yere çakılı kurulan sistemlerin kurulumu daha ekonomik görülmektedir. Bunun nedeni

şase, tekerlekler ve ekstra sistemlerdir. Ancak birden çok arazi tek sistemle sulanması durumunda ise mobil sistemler daha avantajlı duruma geçmektedir. Böylece, tek sistem ile birden çok araziyi sulama imkânı olmaktadır.



Şekil 2.3. PV destekli mobil sulama makinesi (Atay ve ark, (2012b; 2012e)

Almeida ve ark, (2018), çalışmalarında değişken bir frekansta çalışan büyük güçlü PV sulama sistemleri için bir pompa seçmek için yeni bir yöntem

sunmuşlardır. Değişken bir frekansta çalışan PV sulama sistemleri için kullanışlı olmayan belirli bir tek çalışma frekansında çalışma noktasındaki pompanın verimliliğini maksimize etmeye dayalıdır. Önerilen yöntem, geniş bir çalışma frekansı aralığı sağlamak için yüksek eğimli HQ eğrileri ve eğrinin sağ üçte birinde görev noktası olan pompaları dikkate alarak başlar. Ardından, tüm frekans aralığındaki verimlilik değerlendirilir. Yeni ve geleneksel yöntemlerle seçilen pompalar arasında bir performans karşılaştırması örneği yapılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, yeni yöntem kullanılarak, pompalanan yıllık su hacmi % 7,2–21,0 oranında ve pompa verimliliğinin ise % 4,3–5,3 oranında arttığı tespit etmişlerdir. Bu yeni yöntem ayrıca, çalışma frekans aralığını genişleten ve dolayısıyla günlük sulama saat sayısını artıran ve düşük ışınlama dönemlerinde pompalanan su hacmini artıran pompaların dikkate alınmasına da olanak tanır.

Lorentz (2014), çalışmasında kuzey Afrika'da sentır pivot sulama sistemi için uygun PV destekli sulama sistemi kurmuştur. Sulama sistemi kaynağı olarak yüzeysel kanal suyudan faydalanmıştır. 3 adet pompanın (21 kWh x 3) paralel bağlantısıyla kanaldan alınan suyla 2,5 barlık basınç ile günlük 3300 m^3 su kapasitesiyle 500 da alanı sulamıştır. PV modüllerin her biri 200 Wp olup toplam 525 adet modül kullanılarak 105 kWp modül gücüyle toplam 63 kW gücündeki 3 adet pompa çalıştırılabilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yüzey suyu kaynaklı PV destekli sentır pivot (Lorentz, 2014)

Lorentz (2014) yaptığı çalışmada aynı zamanda dizel ve PV destekli sulama sistemlerinin işletme maliyetlerini de karşılaştırmıştır (Çizelge 2.3). PV destekli sulama sistemi, m³ başına % 50 maliyet tasarrufu ile 5 yıllık bir süre içinde önemli ölçüde daha ucuz olduğunu ve dizel jeneratörün yeniden satış değeri hesaba katılsa bile, PV destekli sistem için yatırımın geri dönüşünü 3 yıl olarak saptamıştır.

Çizelge 2.3. Lorentz sentır pivot sistemi maliyet analizi (Lorentz, 2014)

Enerji kaynağı	**Dizel**	**Fotovoltaik**
Verimlilik (%)	30	100
Yakıtın enerji içeriği (kWh/L)	9,29	-
Tüketilen yakıt (L)	500	-
Birim başına maliyet ($/L)	0,45	0
Günlük yakıt tüketimi ($)	225,00	0
Aylık yakıt tüketimi ($)	6 750,00	0
Yıllık yakıt tüketimi (300 gün) ($)	67 500,00	0
5 yıllık maliyet		
Yakıt gideri ($)	337 500,00	0
Yakıt yükleme boşaltma gideri ($)	30 000,00	0
Motor/parça bakım ve değişim maliyeti ($)	31 250,00	0
Ortalama yatırım maliyeti ($)	25 000	250 000,00
Toplam harcama ($)	**423 750,00 $**	**250 000,00 $**
m^3 başına harcama ($)	**0,08 $**	**0,04 $**

Sonuç olarak yukarda literatür tarama sonuçlarından tespit edilen çalışmalarda belirtildiği gibi PV hücreler gürültüsüz, çevreyi kirletmeden, ek mekanizmaya ihtiyaç duymadan güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren sistemler olduğu görülmektedir. Çalışmalarda önerilen PV destekli sulama sistemlerinin kullanımı oldukça kolay ve avantajlı olarak gözükmekte olduğu ve kurulumu tamamlanan PV destekli mikro sulama sistemi uygulamalarına yönelik çok kapsamlı teknik ve ekonomik parametrelerin incelediği bu tür sistemlerin özellikle GAP Bölgesinde kullanılabileceği görülmektedir. Bunun dışından derin kuyu pompaj tesislerinde veya sentır pivotta güneş enerjinin kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar da incelenmiştir. Ancak, bu çalışmamızın özgün değeri, olan güneş enerjisinden PV ilkeye bağlı olarak üretilen elektriğin, büyük güçlü derin pompaj tesislerinde modern sulama sistemlerine entegre edilerek kullanımı, büyük güçlü

132 kW'lık pompa sürücüsünün kullanılması, uzaktan takip ve kontrolünü yapan otomasyon sisteminin aynı sistem ile bir arada senkronize şekilde birleştirilerek kullanımına örnek bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu durum çalışma konusunu özgün kılmaktadır.

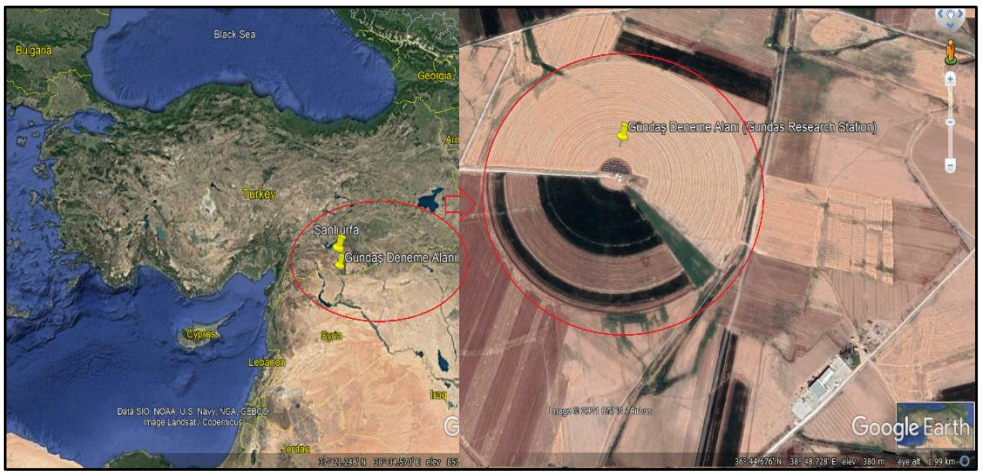
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

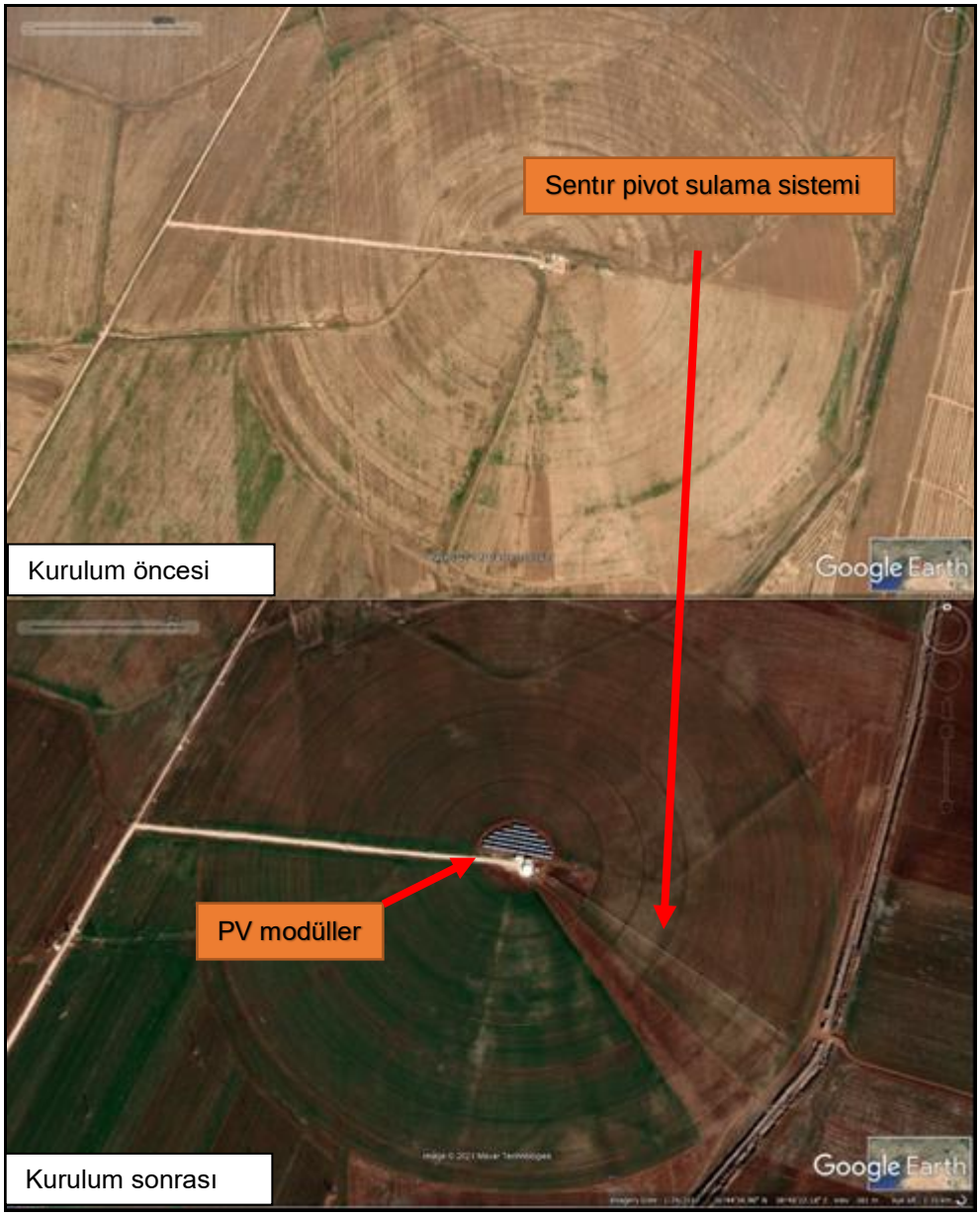
Bu çalışmada, elektrik tüketerek tarımsal sulama yapan modern ve hareketli sulama sistemlerinden dairesel hareketli (sentır pivot) sulama sistemi, enerji üreteci PV sistem olacak şekilde otomasyon sistemiyle birlikte entegreli şekilde tasarlanarak yeni bir sistem geliştirilmiştir.

Tasarım esnasında *Sketch Up software* programında çizimler yapılmış ve Google Earth software programındaki uydu fotoğrafının üzerine konumlandırılması yapılmıştır. Daha sonra PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen hibrit sistem tasarlanarak kurulu olan sulama sistemine entegre edilmiştir. Böylelikle sulama sistemi; gündüz PV sistem, gece ise hibrit özelliği olan sürücü ile şebekeden çalıştırılma imkânı oluşturulmuştur.

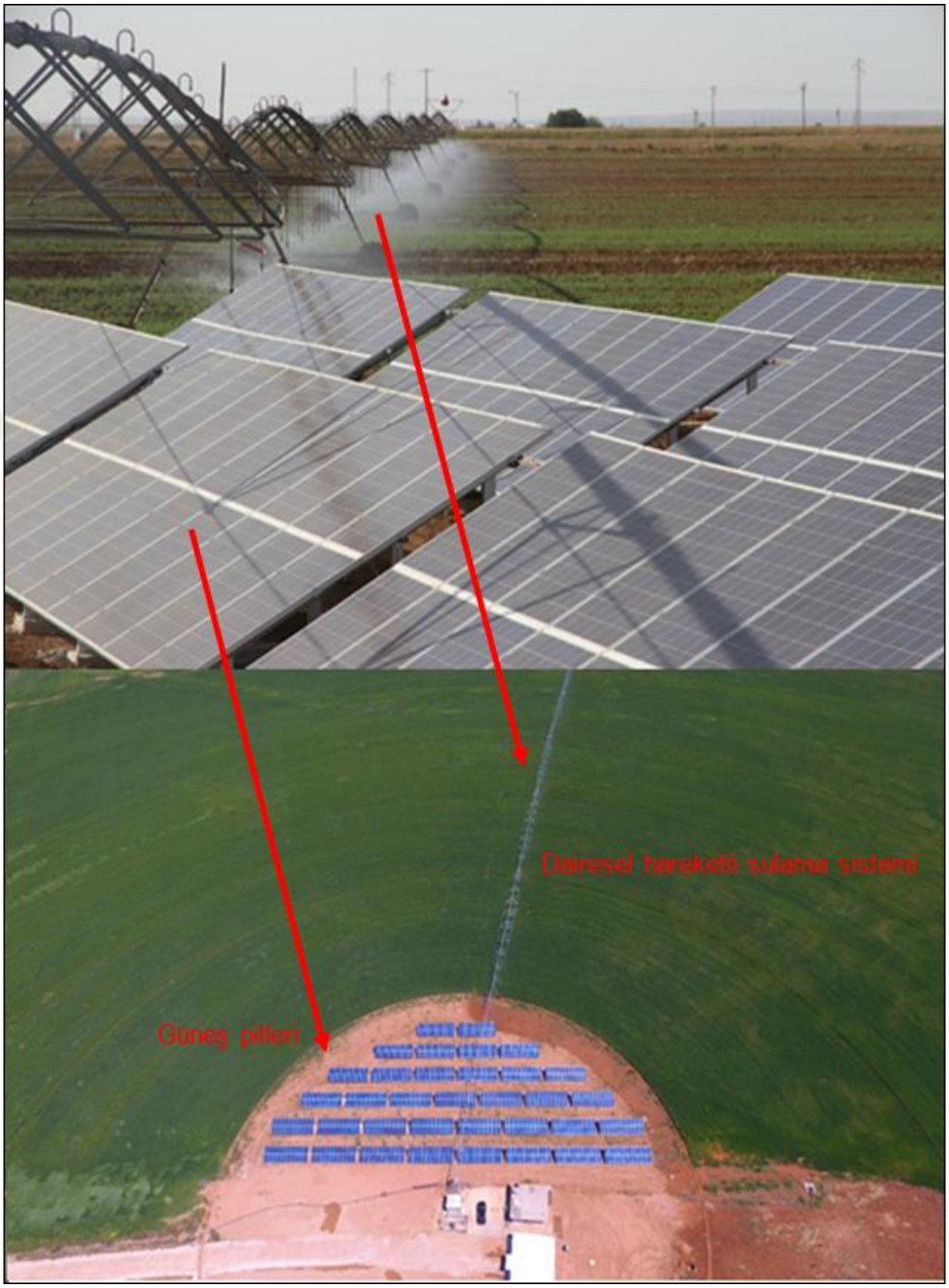
Çalışmanın ana materyalini oluşturan ve Şanlıurfa GAP TAEM Gündaş İstasyonunda kurulu olan dairesel hareketli sulama sistemidir. Çalışma alanı, dairesel hareketli sulama sistemine entegre edilen PV sistem ve uzaktan kontrol sistemleri Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı



Şekil 3.2. Dairesel hareketli sulama sistemi ve PV sistemin konumu



Şekil 3.3. PV destekli ve uzaktan kontrollü hareketli sulama sistemi

3.1.1. Araştırma Sahası ve Enerji Varlığı

Çalışma sahası Şanlıurfa ili Akçakale ilçesine bağlı Gündaş köyü sınırları içindeki GAPTAEM Gündaş işletmesinde olup işletme 36^{o} 44' 37.00" Kuzey enlemi ve 38^{o} 48' 41.00" Doğu boylamı koordinatlarında yer almaktadır. 4.824 dekar civarı alana sahip olan istasyonda tarımsal üretim ve Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Gündaş istasyonun olduğu yörede çeşitli nedenlerden dolayı şebeke elektriğinde kesintiler olmakta ve üretim alanları etkilenmektedir. Bu elektrik kesintilerinden dolayı istasyonda kurulu olan dairesel hareketli sulama sistemi sağlıklı bir şekilde kullanılamamaktadır. 2014 yılı içerisinde elektrik kesintilerinden dolayı GAP TAEM Gündaş istasyonunda, 1300 da ekili alan zarar görmüştür. Bunun yaklaşık 400 da alanından hiç ürün alınamamıştır. 2021 yılı itibariyle araştırma sahasının bulunduğu Şanlıurfa ilinde elektrik santrali kurulu gücü 3.796 MWe civarındadır. Şanlıurfa'daki 12 elektrik santrali ile yılda yaklaşık 11.010 GWh elektrik üretimi yapılabilmektedir. Çizelge 3.1'de Şanlıurfa ilindeki elektrik santrallerinin tipleri ve enerji üretim kapasiteleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Elektrik santrallerinin tipleri ve kapasiteleri (Enerji Atlası, 2022c)

Şanlıurfa ilindeki Santral adı	**Firma**	**Güç (MW)**
Atatürk Barajı ve HES	EÜAŞ	2 405,00
Birecik Barajı ve HES	EÜAŞ	672,00
Şanlıurfa OSB Enerji Santrali	Aksa Enerji	147,00
Odaş Doğalgaz Santrali	Odaş Enerji	140,00
Şanlıurfa HES	Rönesans Enerji	51,00
Astor Enerji Bozova GES	Astor Enerji	8,97
Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Full Force Enerji	6,24
TİGEM Ceylanpınar GES	TİGEM	6,00
Doğal enerji Biyokütle Enerji Santrali	Doğal Enerji Hizmetleri	5,20
Odaş Şanlıurfa Güneş Enerji Santrali	Odaş Enerji	0,25
Şutso Güneş Enerji Santrali	Şutso	0,10
Şanlıurfa'daki diğer lisanssız GES'ler	Çeşitli Firmalar	354,00

İşletmedeki elektrik santrallerin dışında yapım aşamasında olan Hitit Enerji Güneş Enerji Santrali (20 MW), Hilvan Güneş Enerji Santrali (20 MW) ve Catic Group Bozova Güneş Enerji Santrali (6 MW) yatırımları mevcuttur. Üretim lisansını alan Akansu (Eliza Elektrik) HES (0,5MW) ve ön lisansı alan Degun Urfa Güneş Enerji Santralleri de (7 MW) bulunmaktadır. Şanlıurfa ilinin elektrik dağıtım hizmeti ise Dicle Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (DEDAŞ) tarafından sağlanmaktadır. DEDAŞ'ın dağıtım yaptığı iller Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman, Şırnak ve Siirt'tir (Enerji Atlası, 2022c). DEDAŞ verilerine göre 2021 yılında bölgede tarımsal sulamada tüketilen miktarın % 62'si Şanlıurfa ilinde tüketilmiş olup bu miktar 2 532 902 MWh olmuştur.

Çalışma sahasında kullanılan elektrik sulama birliğine bağlı şebekeden gelmekte olup şebeke elektriği sadece sulama mevsiminde vardır. Şebeke elektriği sulamaya ihtiyaç olunan yaz aylarında ise genellikle her gün saat 22:00'dan sabah 06:00 arası verilmekte ve gündüz ise yok denecek kadar sık kesilmektedir. Bu nedenle gündüz düzensiz voltaj vb. sebeplerden dolayı verimli kullanılamamakta ve kullanıldığında ise panoda gerekli elektriksel korumalar alınmadığında dolayı pompalarda arızalar meydana gelmektedir.

3.1.2. Araştırma Bölgesinin İklim Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Gündaş işletmesi, Şanlıurfa Akçakale ilçesine bağlı olup Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Bölgede tipik karasal iklim görülür. Yazları çok sıcak, kışları ise nadiren soğuk geçer. Doğal bitki örtüsü, düşük rakımlı düzlüklerde cılız bozkırlar ve kuraklığa dayanıklı çalılardan oluşmaktadır. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 3,7 °C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 29,8 °C ve yıllık ortalama sıcaklık 16,4 °C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış miktarı 565,7 mm'dir ve yağışların çoğu kış ve ilkbahar mevsiminde gerçekleşmektedir. Yaz yağışlarının miktarı yıllık toplam içindeki payı % 2,6'dır. Yıllık ortalama bağıl nem % 53,6'dır. Bölgede nispi nem oranının düşük olması buharlaşma miktarını artırmakta ve yaz yağışları zaten az

olan bölgede, yaz kuraklığı oldukça yoğun ve uzun sürmektedir. Çalışmaya ait iklimsel verilerin bir kısmı GAP TAEM'in işletmesinde bulunan iklim gözlem istasyonundan alınmıştır. Çok yıllık gözlem sonuçları ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi sayfasından alınmıştır. Bu çalışmanın yürütüldüğü deneme alanına ait uzun yıllık (1929-2021 yılları arası) iklimsel verilerin ortalama değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir (MGM, 2022). Günlük en yüksek yağış miktarı 02.01.1960 yılında 119,5 mm, günlük en hızlı rüzgâr 10.12.1964 yılında 29,0 m/s ve günlük en yüksek kar 25.01.1968 yılında 29 cm olarak ölçülmüştür (MGM, 2022).

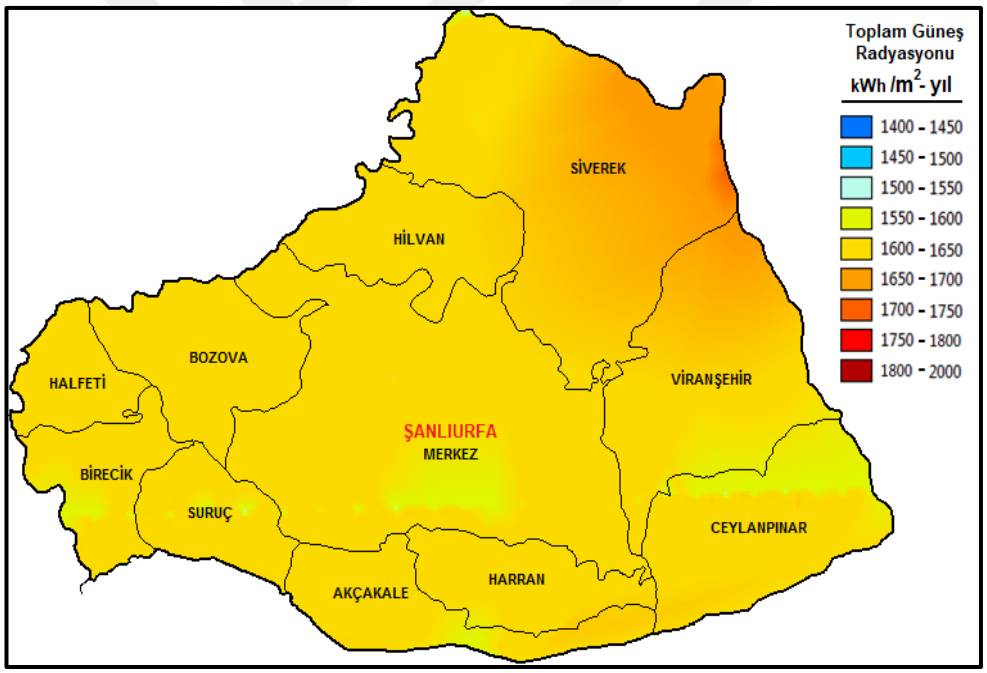
Çizelge 3.2. Şanlıurfa ili uzun yıllık iklim verileri (1929 - 2021) (MGM, 2022)

Aylar	Ort. sıcaklık (°C)	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	Ort. güneşlenme süresi (saat)	Ort. yağışlı gün sayısı	Aylık top. yağış miktarı ort. (mm)	En yüksek sıcaklık (°C)	En düşük sıcaklık (°C)
1	5,6	9,9	2,1	4,1	11,31	87,4	21,6	-10,6
2	7,1	12	2,9	5,1	8,23	68,3	25,5	-12,4
3	10,9	16,4	5,8	6,4	8,15	62,8	29,5	-7,3
4	16,2	22,3	10,3	7,8	7,23	59,5	36,4	-3,2
5	22,2	28,8	15,3	10	6,85	26,5	40,4	2,5
6	28,1	34,7	20,5	12,1	1,23	4,3	44,1	8,3
7	32	38,8	24,3	12,3	0,31	2	46,8	15
8	31,6	38,4	24	11,3	0,46	3,6	46,2	16
9	27,2	34	20	10	1,0	4,6	43,9	10
10	20,6	27,1	14,6	7,9	5,46	26,2	37,8	1,9
11	13,1	18,8	8,5	5,8	6,54	44,7	30,8	-6
12	7,6	12	4	4	10,54	80,2	26	-6,4
Ort.	18,5	24,4	12,7	8,1	67,3	460,1	46,8	-12,4

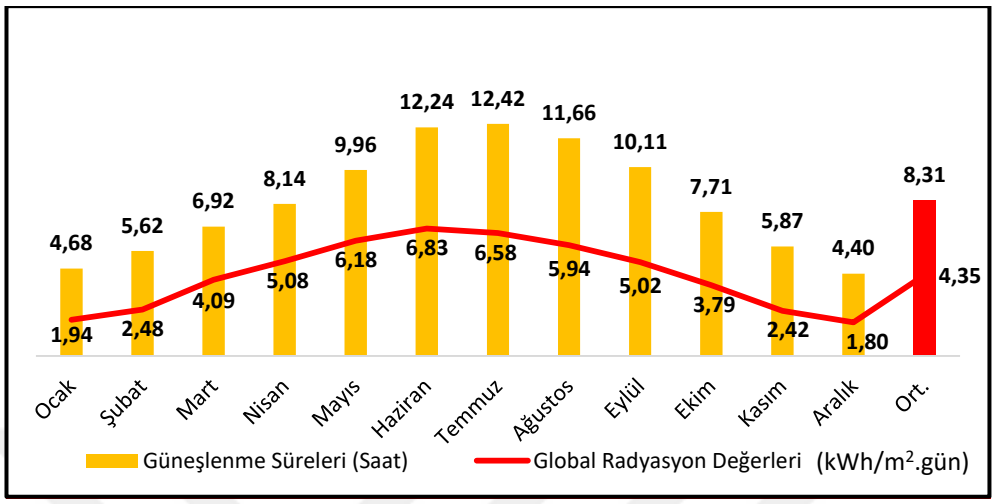
Bu veriler incelendiğinde, yörede uzun yıllar sıcaklık ortalaması Ocak ayında 5,6 °C en düşük ve temmuz ayında ise 32,0 °C ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. Güneyden kuzeye gittikçe yağış miktarı artmaktadır. Günlük ortalama güneşlenme süresi; yaz aylarında 12 saati geçmektedir. En uzun gündüz

olan 21 Haziran gününde güneşlenme süresi 14 saat civarında olmaktadır (MGM, 2022).

Bölgedeki güneşlenme şiddetinin yüksek oluşu güneş enerjisinin kullanımı önemini artırmıştır. Şekil 3.4'te verilen Şanlıurfa'ya ait güneş enerji potansiyel haritası incelendiğinde yüksek güneş enerji potansiyeli olduğu görülmektedir (GEPA, 2022). Şanlıurfa ili için GEPA grafiklerinden faydalanılarak hazırlanan güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 3.5'te verilmiştir. Burada Şanlıurfa ili için günlük ortalama güneşlenme süresi 8,31 saat ve global radyasyon değeri ortalama 4,3 kWh/m^2-gün değerindedir. Şanlıurfa iline ait olan bu değerler Türkiye ortalamasının üzerinde yer almaktadır.



Şekil 3.4. Şanlıurfa güneş enerji potansiyeli (GEPA, 2022)

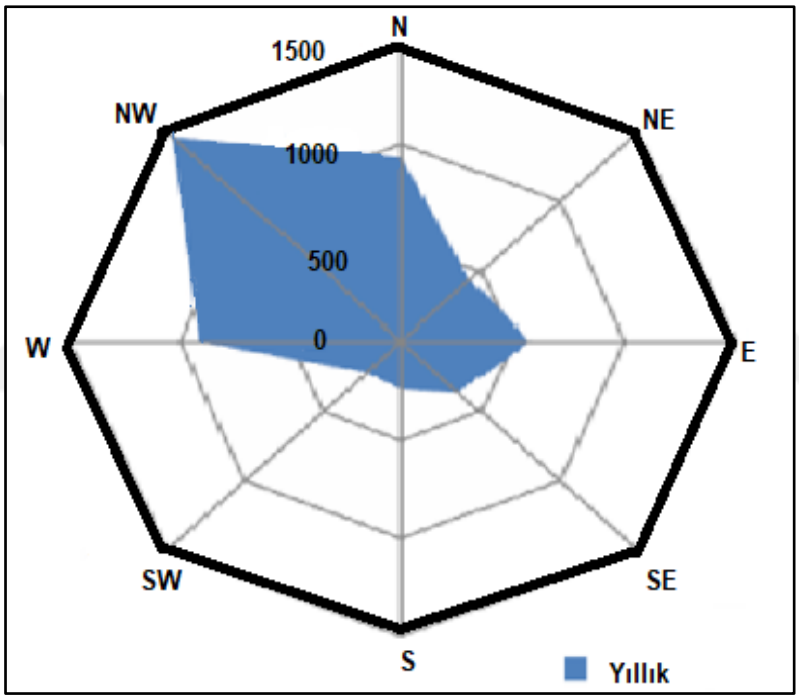


Şekil 3.5. Şanlıurfa güneşlenme süresi ve güneş enerjisi değeri (GEPA, 2022)

Mayıs ve Eylül ayları arasında yoğun şekilde sulama döneminde ortalama günlük güneşlenme süresi 11,27 saat ve ortalama günlük global radyasyon değeri 6,11 kWh/m^2-gün civarındadır. Bu yüksek potansiyel ile sabit modül açısında (30^o) günlük 8 saat civarında güneş enerjisiyle sulama imkânı oluşturulabilmektedir. Temmuz ayında günlük en yüksek güneşlenme saati sayısı ortalama olarak Şanlıurfa ilinde ölçülür. Temmuz ayında günde ortalama 12,3 saat güneş ışığı vardır. Aralık ayında günlük en düşük güneşlenme saati sayısı ortalama olarak yine Şanlıurfa ilinde ölçülmektedir. Aralık ayında ise günde ortalama 4 saat güneş ışığı vardır. Şanlıurfa ilinde yıl boyunca ortalama 8 saat güneş ışığı vardır.

Şanlıurfa Meteoroloji Bölge Müdürlüğü verilerine göre, Şanlıurfa'da uzun yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,8 m/s ve günlük en hızlı 10.12.1964 yılında 29,0 m/s olarak ölçülmüştür. Çağlak ve ark, (2016), yaptığı çalışmanın araştırma sahasında (Şanlıurfa'da) çeşitli yönden esen rüzgârların yıllık ortalamalarına göre toplam esme sayısı 129 102,2 olarak belirlemiştir. En fazla frekansa sahip olan yön ise 45843 esme sayısıyla kuzeybatı olarak tespit etmiştir. Bu veriler sonucunda rüzgâr yıllık ortalamasına göre Şekil 3.6'da frekans gülünde görüldüğü gibi Şanlıurfa'da hâkim rüzgâr yönü kuzeybatı olduğu görülmektedir.

Kuzeybatıdan esen rüzgârlar tüm yönlerden esen toplam rüzgâr sayısının oransal olarak % 36'sını oluşturmaktadır. 24 635 yıllık toplam esme sayısı ile batı yönlü rüzgârlar en fazla frekansa sahip ikinci yöndür ve % 19' luk bir orana sahiptir. Kuzey yönlü rüzgârlar tüm yönlerden esen yıllık toplam esme sayısının oransal olarak % 60'ını oluşturmaktadır. Araştırma sahasında esme sayısı en az olan ise Güney yönlü rüzgârlardır. Güney yönlü rüzgârlardan gelen tozlu rüzgâr yaz aylarında yaşamı olumsuz etkilemektedir.



Şekil 3.6. Şanlıurfa ili yıllık ortalama rüzgâr frekans gülü (Çağlak ve ark, 2016)

3.1.3. Toprak Özellikleri

Şanlıurfa ili tarım alanlarında 6 değişik büyük toprak grubu vardır. Bunlar içerisinde geniş alan kaplayanlar sırasıyla kırmızı kahverengi topraklar (1 236 366 ha), bazalt topraklar (431 218 ha), kahverengi topraklardır (167 325 ha). Ayrıca il tarım alanları içerisinde kollüviyal topraklar, kahverengi orman toprakları ve allüviyal topraklar da yer almaktadır (TOPRAKSU, 1971).

Bu grubun organik madde içeriği düşüktür ve profilleri killi tekstürlüdür. Araştırma, bölgede geniş yayılım alanına sahip ve araştırma istasyonunun tamamında yer alan Harran toprak serisinde yürütülmüştür. Harran serisi; Harran Ovasını doğu, batı ve kuzeyden çevreleyen Tektek, Fatik ve Urfa Dağlarından gelen çamur akıntılarından oluşmuş, alüviyal ana materyalli, düz ve düze yakın eğimli, derin topraklar olup tipik kırmızı profilleri killi bünyelidir. Tüm profil çok kireçli ve aşağılara doğru artan yoğunlukta kireç ceplerini içermektedir. A,B,C horizonlu topraklar olup, pH 7,3 ile 7,8 arasında, organik madde içeriği düşük, katyon değişim kapasitesi yüksektir. Katyon değişim kapasitesi kil içeriğine bağlı olarak alt katmanlara doğru artmaktadır (Dinç ve ark, 1988).

3.1.4. Araştırma Yerinin Tarımsal Yapı ve Üretim Özellikleri

Harran Ovası genellikle polikültür tarıma uygun olmasına rağmen, yağış miktarının az ve mevsimlere dağılışının çoğu bitkinin yetişme periyoduna rastlamaması ile düşük bağıl nem, bazı bitkilerin yetiştirilmesini kısıtlamaktadır. Ovanın kuru tarım yapılan kısımlarında en çok buğday olmak üzere, mercimek, arpa, susam tarımı yapılmakta ayrıca Antepfıstığı ve bağ tesisleri de yer almaktadır. Sulu tarımın yapıldığı bölgelerde kuru tarımda yetiştirilen bitkilerden başka, başta pamuk olmak üzere sebze, meyve ve ikinci ürün olarak mısır yetiştirilmektedir.

3.1.5. Araştırma Sahasındaki Mevcut Dairesel Hareketli Sulama Sistemi

Çalışmanın yürütüldüğü alanda kullanılan sulama sistemi dairesel hareketli sulama sistemidir. Dairesel hareketli sulama sistemi merkezi betonarme üzerine kurulu demir prizma şekilde bir platformun üzerinde dairesel dönüş hareketi ile sulama yapan bir sistemdir. Sulama sistemini oluşturan unsurlar; merkez kule, taşıyıcı kuleler, beslenme borusu, yağmurlama başlıkları, hareket verici üniteler (motor ve dişli kutuları), tekerlekler, kontrol ile kumanda ve otomasyondan (radyo frekans kontrolü) oluşmaktadır. Dairesel hareketli sulama sisteminin bileşenleri aşağıda verilmiştir. Bunlar:

Dairesel hareketli kısmı: 400 metre uzunluğunda, en az 500 dekar alan sulama kapasitesi, su giriş basıncı 4 bar ve debisi 200-300 m^3/h'tir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Dairesel hareketli sentır pivot sulama sistemi

Her spanın sonunda bir adet yürüme sistemi bulunmaktadır. Çalışmamızdaki dairesel hareketli sistemde 7 adet span mevcuttur. Dairesel hareketli sistemde toplam 14 adet şanzıman ve 7 adet hareketi sağlayan motor mevcut olup bunların her biri 0,55 kW, 3 fazlı, 1745/1425 motor devri, Hz 60/50, dişli oranı 40.1, amper 1,40/1,50, yalıtım sınıfı F ve 1,30 güç katsayısındadırlar.

Dalgıç pompa kısmı: Pompa tipi ithal SP210-6, motor yerli Ferat markalı FM10/150, Gücü 150 BG (110 kW), 50 Hz, ϒ/▲, IP 68, motor verimi 0,86, ağırlığı 300 kg, 3 fazlı ve 6"'tir (Şekil 3.8). Kuyu kablosu olarak yassı elastik 450/750V, 3x95, 170 metrelik tek parça kablo kullanılmıştır.



Şekil 3.8. 110 kW'lık dalgıç pompa ve motoru

Elektrik şebekesi: Dairesel hareketli sistemin güneyinden, yeraltından ana şebeke elektriği geçirilmiş ve merkez noktada trafoya bağlantısı yapılmıştır. Trafo beş kademeli trafo olup gücü 160 kVA'tır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kademeli trafo

Buradaki şebeke elektriği sulama birliği tarafından sadece sulama mevsiminde $22^{:00}$-$06^{:00}$ saatleri arası verilmekte ve çok sık kesilmektedir.

3.1.6. Kurulumu Yapılan PV Sistem ve Bileşenleri

3.1.6.1. PV Modül Özellikleri

GAP TAEM Gündaş istasyonu bünyesindeki mevcut sentır pivot sulama sisteminin tüm enerji ihtiyacını karşılamak üzere, 36°44’37.40"K - 38°48’41.63"D koordinatındaki yaklaşık 3 da alan içinde şebekeden bağımsız 175 (160+15) kW gücünde PV sistem kurulmuştur. Sistemde her biri 250 W_p gücünde olan toplam 700 adet polikristal silikon modül bulunmaktadır. Mevcut sentır pivot sulama sisteminin tüm enerji ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız iki ayrı PV sistem mevcuttur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. PV modül özellikleri

ECORBİT polikristal silikon modül	
Maksimum güç (W_e)	250,00
Güç toleransı (W_e)	0,00–6,00
Maksimum gerilim (V_{mp}) (V)	30,90
Pmax akımı (I_{mp}) (A)	8,09
Açık devre gerilimi (V_{oc}) (V)	37,70
Kısa devre akımı (I_{sc}) (A)	8,76
Maksimum sistem gerilimi (V_{DC}) (V)	1 000,00
Hücre verimi (%)	17,30
Modül verimi (%)	15,40
Sıcaklık katsayısı (%/^oC)	-0,45
Voc sıcaklık katsayısı (%/^oC)	0,34
Isc sıcaklık katsayısı (%/^oC)	0,05
Nominal çalışmada hücre sıcaklığı (^oC)	(±2) 45,00
Modül alanı (m^2)	1,63

Bu iki ayrı modül grupları birbirlerinden bağımsız çalışacak şekilde kurulmuşlardır. Bunlar;

- Sulama amaçlı sürücüye enerji sağlayan modüller 640 adet (160 kW_p),
- Sentır pivot, kameralara, otomasyon sistemine ve diğer birimlere enerji sağlayan modüller ise 60 modülden (15kW_p) meydana gelmektedir.

Kullanılan PV modüller standart test koşullarındaki özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. PV modüller ve bağlantı elemanları 130 km/h rüzgâr hızına ve 5400 Pa kar yüküne dayanıklı olacak şekilde seçilmiştir.

3.1.6.2. Şarj Kontrol Ünitesi

PV sisteminin sulama dışındaki enerji ihtiyacını karşılayan aküleri şarjını otomatik yapan sistemde dört adet maksimum güç noktası izleme birimi (MPPT) mevcuttur. Bu birimlerden her birinin nominal sistem gerilimi 48 V (12V/24V/36V/48V), anma akü akımı 60 A, maksimum PV açık devre voltajı 150 V, voltaj aralığı 8~72 V, maksimum PV giriş gücü 3 200 W (48 V) değerlerindedir. Öz tüketimi 1,4-2,2 W, çalışma sıcaklığı -25~+55 ^{o}C ve korunma biçimi IP20 olup, şebeke bağlantısız olarak yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Maksimum güç noktası izleyiciler (Şarj kontrol ünitesi)

3.1.6.3. İnvertörler

İnvertörler 4 adet olup üçü sentır pivotun hareketi için gerekli üç fazlı akımı sağlamak için diğer kalan bir inverter ise monofaz olarak otomasyon ve iç ihtiyaçlar için kullanılmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. İnvertör grupları

- **3 fazlı inverter grubu**; üç adet Victron marka invertör bulunmaktadır. Girişleri 48 V olacak şekilde, 3 adedi 230 VAC, 50 Hz ve 3 faz çıkış verecek şekilde birbirleriyle senkronizeli şekilde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Her biri 25 ^{o}C'de 4,00 kW (VA 5 000) çıkış gücü, 40 ^{o}C'de 3,70 kW çıkış gücü ve 65 ^{o}C'de ise 3,00 kW çıkış gücü sağlayabilmektedirler. Her biri için tepe gücü 10 kW olup, şarj voltajı 187 V_{AC}, şarj frekansı 45-65 Hz ve verimlilikleri % 94-95'tir.
- **Tek fazlı inverter sistemi;** 1 adet JFY marka (XPI-L) inverter bulunmaktadır. Tek fazlı 3,00 kW çıkış gücündedir. Solar şarjda AC giriş-çıkış voltajı 220 (50 Hz), maksimum giriş-çıkış akımı 50 A, nominal giriş gücü şarjda 2,88 kW, batarya voltaj 53,5 V_{DC}, PV giriş 70-150 V_{DC}. AC şarjda ise giriş 180-250 V_{AC} (50-60 Hz) AC şarj akımı 10-20 A'dır. Burada üretilen 220 V ile iç pano vb. ihtiyaçlar için enerji sağlamaktadır.

3.1.6.4. Akü Grupları

Sentır pivot hareketi için, otomasyon ve odasına enerji sağlayan 15 kW_p modüllerden DC akımın MPPT üzerinden geçerek enerji depolama kısmına gelmektedir. DC enerji depolama kısmında her biri 200 Ah akımlı, 12 V gerilimdeki 16 adet jel akü bulunmaktadır. Bağlantıları 4 seri 4 paralel 48 V olacak şekilde bağlantıları yapılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Akü grupları

3.1.5.5. Değişken Frekanslı Pompa Sürücüsü

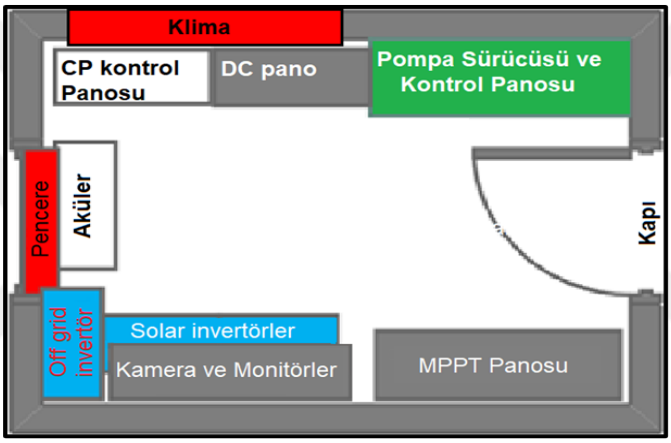
Pompa sürücü, nominal çıkış gücü 132 kW, nominal giriş 145 A, nominal çıkış 150 A, ve maksimum 260 A çıkış verecek şekilde kurulmuştur. Gerilim seviyesi tek fazlı/üç fazlı 220 V, üç fazlı 380 V pompalara, 0,04 kW ile 110 kW arasında güç aralığına uygulanabilir. Burada sürücü 380 V gerilimde çalıştırılacak kurulumu yapılaşmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Değişken frekanslı pompa sürücüsü

3.1.7. Otomasyon Odası

PV destekli sentır pivot sulama sistemine ait komuta merkezi solar invertör, aküler, şarj kontrol üniteleri, şebekeden bağımsız invertör, şarj kontrol cihazı, panolar, klima, elektrik kontrol anahtarları, uzaktan kontrol ve izleme sisteminin bulunduğu 2,6x3 mt boyutlarında prefabrik yapıdır. Sistem odası ortalama 25-30 ^{o}C sıcaklık ortamında olması için 1 adet invertörlü klima kullanılmıştır. Sistem ekipmanları 50 ^{o}C sıcaklığa kadar çalışacak şekilde seçilmiştir (Şekil 3.14).



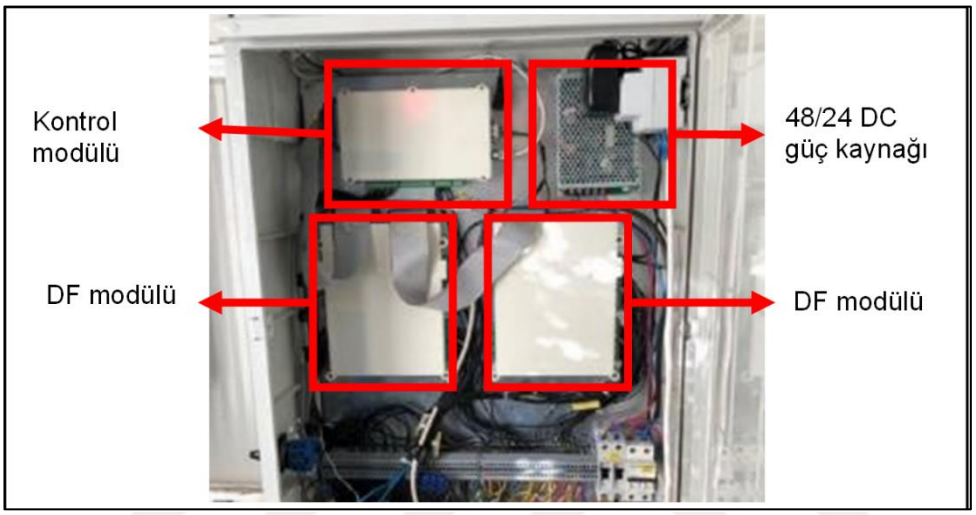
Şekil 3.14. Otomasyon odası yerleşim planı

3.1.8. Uzaktan Kontrol ve İzleme Sistemi

Otomasyon sistemi, Orgap adıyla ve uzaktan erişim modüllü (DF modül kontrol modülü) yapıya sahip olarak kurulmuştur. Bu sistemle GSM haberleşmesi üzerinden istenen komut verilebilmekte ve aynı zamanda istenilen datalar bu haberleşme ve kontrol modülü üzerinden alınabilmektedir (Şekil 3.15). Tüm bu işlemler http://gapgunesi.com/ uzantılı internet web sitesi üzerinden kontrol edilebilmektedir.

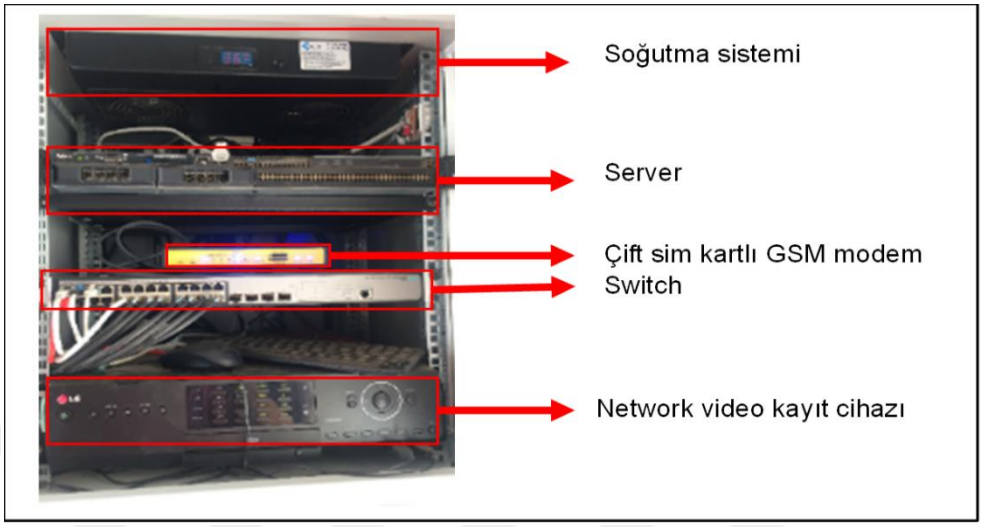
Uzaktan erişim modülü; ARM cortex M4 tabanlı işlemci, 168 MHz işlem hızı, 192 kbyte ram,12 bit çözünürlükle ADC çevrimleri, loglar için micro SD kart ile arttırılabilir hafıza, 0,5 mV çok yüksek hassasiyetli ölçüm, lokalden

RS232/RS485/Paralel Port/USB/Ethernet ile uzaktan SIM kart ile erişim ve veri aktarımı, optik izoleli portlar, 16 analog, 16 logic input, 10 röle çıkışından oluşmaktadır.



Şekil 3.15. Otomasyon panosu

Uzaktan erişim modülünün temel fonksiyonu, verilerin anlamlandırılması, değerlendirilmesini ve ölçümünü sağlayarak, sistemin en verimli halde çalışması için gerekli otomasyon sistemini uzaktan ya da manuel çalıştırmak birlikte birçok algılayıcı ve kamera sistemi bu modülle entegre çalışacak şekilde kurulmuştur. Belli başlı haberleşme, görüntüleme ve kayıt ekipmanları (Modem, Server, Switch, NVR) ise Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Haberleşme, görüntüleme ve kayıt ekipmanları

Modem; Four- faith (f3846Wcdma) markası kullanılmıştır. Wife özellikli, çift sim kartlı 4G, router,2 standart sma dişi anten, wife erkek Standard anten, dc aralığı 5-36 V, güç 12V/1,5 A, IP 30, 32 bit CPU, sdram 128 MB, işlemci LTE ve WCDMA gibi alt yapıları kullanarak veri iletimi sağlayan hücresel terminal cihazıdır.

Server; Dell (Dell Server R230) markası kullanılmıştır. Fonksiyonu: Sistem tarihsel datalarının kaydedildiği, bu verilerin internet ortamına çıkışının sağlandığı, database kurulumunun yapıldığı ekipmandır. Kullanılan server özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- INTEL XEON E3-1200v6 işlemci, Intel C236 Chipset, Microsoft® Windows Server® 2016, 4 x 3,5” sürücü, 4TB

Switch; HP (HP1920 SWITCH) markası kullanılmıştır. Fonksiyonu; bağlı olan tüm IP tabanlı cihazlar ile modem & sunucu arasında arayüz görevi görmektir. Bağlanabilecek IP cihazlarla switch portları üzerinden haberleşme sağlanabilmektedir. Kullanılan switch özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- 24 port poe switch, 24 10/100/1000 Ethernet, 4 SFP Ports, 56GBps band genişliği, IPv6 destekler, MIPS @ 500 MHz, 32 MB flash, 128 MB SDRAM; packet buffer size: 4.1 Mb

Network Video Kayıt Cihazı (Network Video Recorder - NVR); LG (LG IPSOLUTE LRN8240D) markası kullanılmıştır. Fonksiyonu: Üzerindeki 12TB harddisk ile Kamera verililerini işleyerek kaydetmek, kayıtlı verilerin lokalden izlenmesini sağlamak için kurulmuştur. Dijital formattaki video görüntülerinin sabit disk sürücüsüne (HDD) kaydetmek için kullanılmıştır. Kullanılan NVR Özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Endüstriyel tip 24 kanal, Hd@30fps gerçek zamanlı yüksek performans kayıt, Ağ tabanlı (ıp), Video kaydedici-NVR.

Kameralar; LG markası kullanılmıştır. Dome, indoor ve sabit kamera çeşitleri kullanılmıştır. 1 adet Dome Camera, 1 adet sistem odası için indoor kamera ve 6 adet Sabit Kamera kullanılmıştır (Şekil 3.17).

Dome kamera (LG ıpsolute lnp3021r) özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 2.1 Megapiksel HD,1920x1080 gerçek zamanlı, H.264 yüksek performans, ICR gerçek gündüz ve gece, WDR@80dB, IP66, 4,3~129 mm. tümleşik lens, x28 hareketli kubbe tipi, PoE+ AĞ tabanlı (IP) kamera özelliklerine sahiptir.

İndoor kamera (lnd5110r ıpsolute) özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1.3 Megapiksel hd, 60 fps @1280*1024 gerçek zamanlı, H.264 yüksek performan ICR gerçek gündüz ve gece, WDR@80dB, IP66, 3~9 mm F1.2 (x3 Compact Zoom), PoE+ AĞ tabanlı (IP) kamera özelliklerine sahiptir.

Sabit kamera (Ipsolute lnu5110r) özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1.3 megapiksel hd, 1280x1024 gerçek zamanlı h.264 yüksek performans ICR gerçek gündüz ve gece gömülü video içerik analizi, 2.8~10 mm. Tümleşik lens, WDR@80dB, IP 66 gece görüşü bullet tipi Poe+ Ağ tabanlı (IP) Kamera özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.17. Çalışmada kullanılan kameralar

3.1.9. Otomasyon Sistemine Bağlı Ölçüm Cihazları

3.1.9.1. Elektromanyetik Debimetre

Elektromanyetik akış ölçerler (debimetre) iletken sıvıların performanslı ve hassas olarak debi ölçümü için kullanılmakta olup İtalyan firması ASA (asamag 01-dn15) markası kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Elektromanyetik debimetre

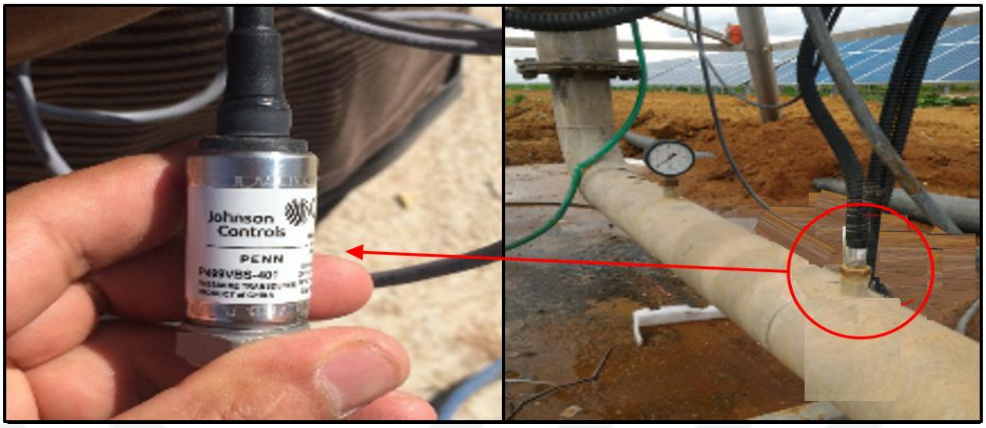
Fonksiyonu; su debisi verisini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktadır. Anlık ve toplam sulama suyunu m^3/h cinsinden ölçmek için kullanılmıştır. Kullanılan sensorün başlıca özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Donanım ve yazılım olarak 72-2 880 m^3/h arası ölçüm, 4-20 mA çıkış, ±0,5 % doğruluğuna sahiptir. LCD grafik üzerinden değerleri görebilme,
- IP67 koruma sınıfı, RS232/RS485 bağlantı ve değerler üzerindeki displayden de okunabilme özelliklerine sahiptir.

3.1.9.2. Monometre

ABD menşei Johnson controls (PV499VBS-401) markası kullanılmıştır (Şekil 3.19). Fonksiyonu; sentır pivota giden suyun basınç verisini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktadır. 6 inch'lik boru üzerindeki basıncı okuyarak, veri aktarılmasını sağlamaktadır. Kullanılan sensorün başlıca özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

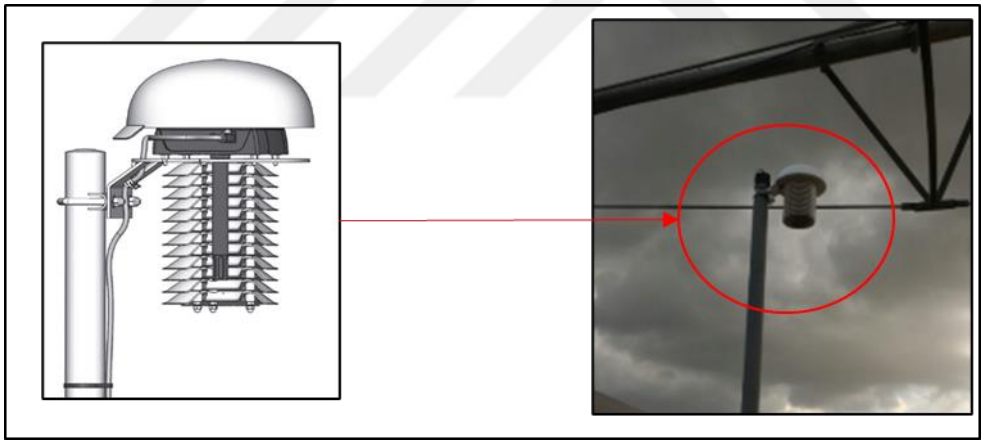
- 0-200 PSI ölçüm, 4-20 mA çıkış, 9-30 V besleme gerilimi,
- ±0.25 % bozulma oranı, maksimum ±% 1 sapma özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.19. Manometre

3.1.9.3. Dış Mekân Sıcaklık ve Nem Sensörü

Çalışmada Comet marka (Comet T3113D) atmosferik basınç sensörü olarak kullanılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Dış mekân sıcaklık ve nem sensörü

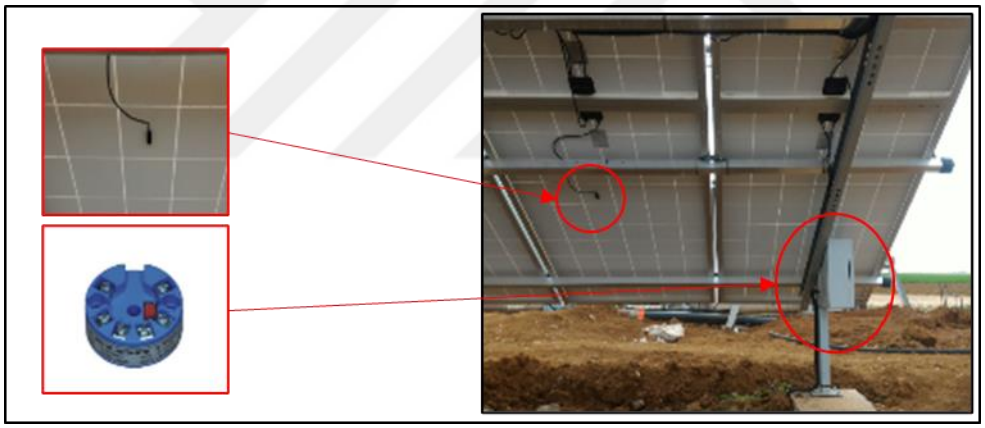
Fonksiyonu: dış ortam sıcaklık ve bağıl nem değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamak. Kullanılan sensörün başlıca özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- -30 ile +125 °C arası ölçüm, 0 ile 100 % RH ölçümü,
- IP65 koruma sınıfı, radyasyon kalkanı ile yüksek hassasiyet,
- 4-20 mA çıkış, 9-30 V_{DC} arası çalışabilme özelliklerine sahiptir.

3.1.9.4. Modül Sıcaklık Sensörü

Modül sıcaklık ölçümü için Tekon marka (Tekon LT-05) sıcaklık algılayıcı kullanılmıştır (Şekil 3.21). Fonksiyonu, modül sıcaklık değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- 8-36 Vdc, -40/125 ^{o}C çalışma aralığı, 100 ms örnekleme periyodu,
- Ters bağlantıya karşı koruma, 4-20 mA çıkış özelliklerine sahiptir.



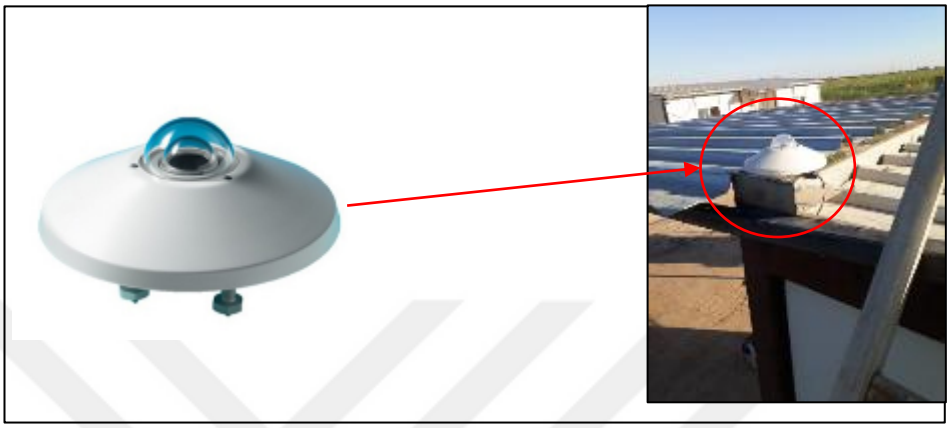
Şekil 3.21. Modül sıcaklık sensörü ve bileşenleri

3.1.9.5. Işınım Ölçer (Piranometre)

Çalışmada ışınım ölçer olarak Delta Ohm firmasının (LP PYRA 02 AC) ürünü kullanılmıştır (Şekil 3.22). Fonksiyonu; ışınım değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktır. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Hassasiyet, 10µV/(W/m^2), ölçüm aralığı, 0 - 2 000 W/m^2, ölçüm aralığı 4-20 mA, çalışma sıcaklığı, -40-80 ^{o}C,

- Spektral ışınım, 3 050 nm- 2 800 nm ve empedans çıkışı 33-45 Ω özelliklerine sahiptir.

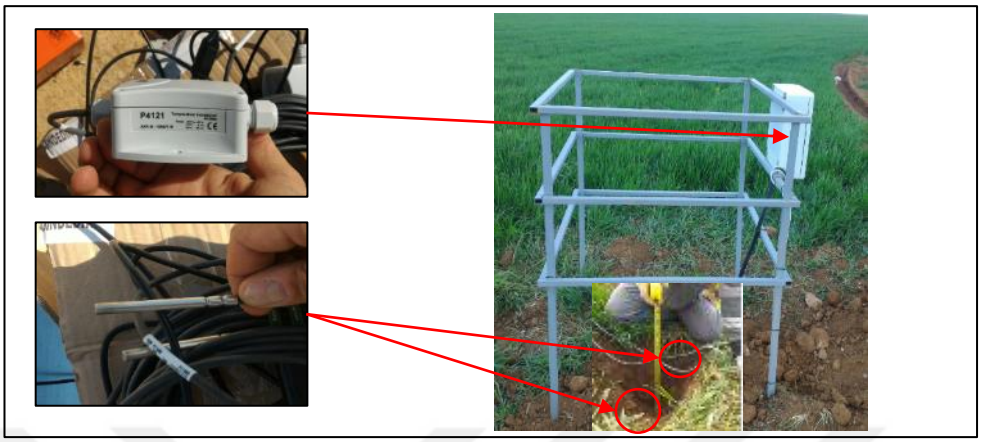


Şekil 3.22. Işınım ölçer (Piranometre)

3.1.9.6. Toprak Sıcaklık Sensörü

Toprak sıcaklık sensörü olarak Comet Firmasının ürettiği PT 1 000 sensörü ve transmitteri (P4121) kullanılmıştır (Şekil 3.23). Toprağın 20 ve 40 cm altına olmak üzere ikişer adet montajı yapılmıştır. Toprak ve nem sensörlerinin etrafı sulama kazı vs. yapılmaması için koruganla çevrelenmiştir. Fonksiyonu: 20 cm ile 40 cm'de toprak sıcaklığını ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- 4-20 mA çıkış, -30/80 °C çalışma sıcaklığı,
- ±0,3 °C doğruluk, 24 V çalışma gerilimi özelliklerine sahiptir.



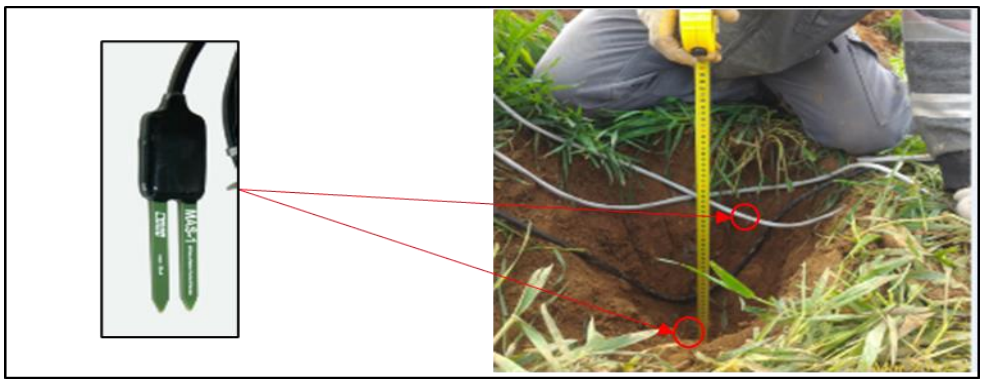
Şekil 3.23. Toprak sıcaklık sensörü

3.1.9.7. Toprak Nem Sensörü

Toprak nem sensörü olarak Decagon (Decago Mas-01) firmasının ürünü kullanılmıştır (Şekil 3.24).

Burada sıcaklık sensöründen farkı herhangi bir transducer kullanılmadan direkt olarak Orgap modülüne bağlantısı yapılmaktadır. Toprağın 20 ve 40 cm altına olmak üzere iki adet sensör kullanılmıştır. Fonksiyonu: Su debisi verisini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamak. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- 4-20 mA çıkış, 12-32 V_{DC} besleme,yüksek gerilim korumalı,
- -40 / +60 ^{o}C çalışma aralığı, ±6% doğruluk oranı özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.24. Toprak nem sensörü

3.1.9.8. Rüzgâr Yön Sensörü

Atmosferik basınç sensörü olarak Lambrecht (14 577) markasının ürünü kullanılmıştır (Şekil 3.25).



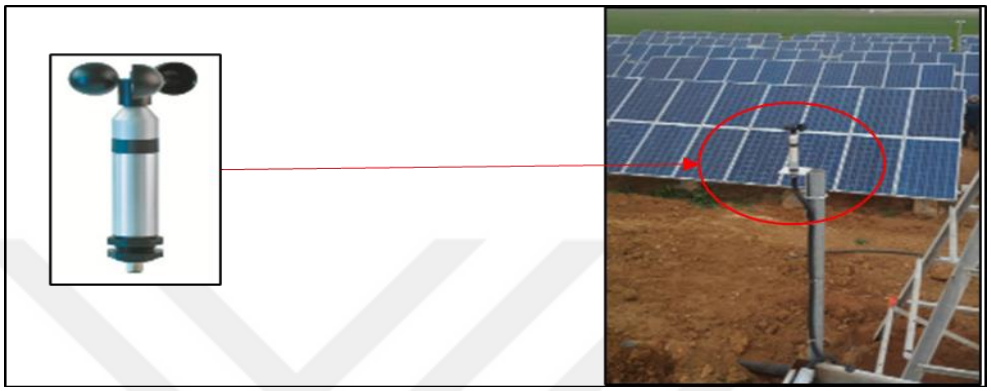
Şekil 3.25. Rüzgâr yön sensörü

Fonksiyonu; rüzgârın yön değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımının yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Cup tipi rüzgâr yön sensörü, 0-360 ° ölçüm aralığı,
- ± 5°doğruluk, çözünürlük: 3 derece, 4-20 mA çıkış, 6-28 V_{DC} arası çalışabilme ve IP55 Koruma Sınıfı özelliklerine sahiptir.

3.1.9.9. Rüzgâr Hızı Sensörü

Atmosferik basınç sensörü olarak Alman menşei Lambrecht markası (Lambrecht 14577) kullanılmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Rüzgâr hızı sensörü

Fonksiyonu: rüzgârın hız değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan sensör özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

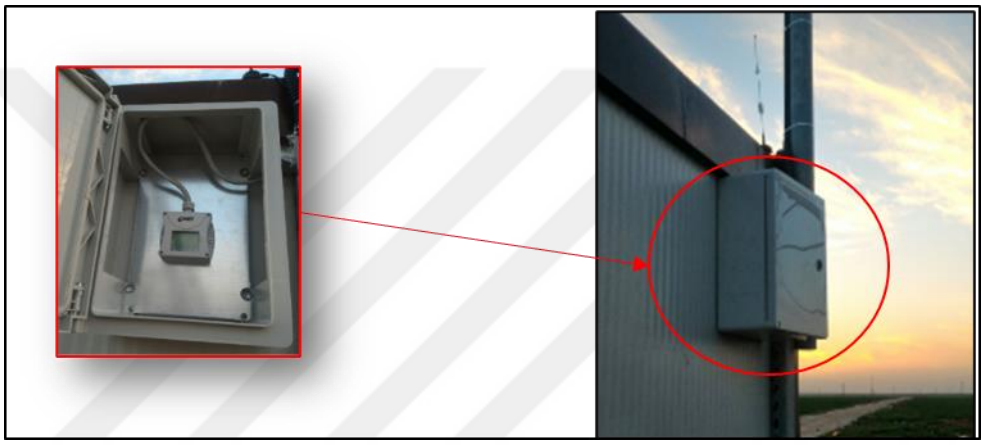
- Cup tipi rüzgâr hız sensörü,
- 0,7/50 m/s ölçüm aralığı,
- 0,02 m/s hassasiyet,
- 4-20 mA çıkış,
- IP55 koruma sınıfı,
- Tüm iklim koşulları için tasarlanmıştır.

3.1.9.10. Atmosferik Basınç Sensörü

Atmosferik Basınç Sensörü olarak Çek Cumhuriyeti menşeili Comet markası (Comet T2114) kullanılmıştır (Şekil 3.27). Fonksiyonu: Atmosferik basınç değerini ölçerek Orgap modülüne veri aktarımı yapılmasını sağlamak. Kullanılan Sensör Özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

• 600-1 100 hPa arası ölçüm,

- 0 to 100 % RH
- IP54 Koruma sınıfı
- -30/+80 ^{o}C arası ölçüm,
- ±1,3 hPa
- 4-20 mA çıkış,
- 9-30 Vdc arası çalışabilmektedir.



Şekil 3.27. Atmosferik basınç sensörü

3.1.10. Performans Ölçümünde Kullanılan Cihazlar

3.1.10.1. IV Ölçüm Cihazları

IV ölçümlerinde iki adet farklı cihaz kullanılmıştır. İlki HT SOLAR IVe Marka (Şekil 3.28) ve diğeri ise EKO MP-11 markalı (Şekil 3.29) IV ölçüm cihazlarıdır.

HT Solar IVe, hem tek fazlı (isteğe bağlı MPP300 ile üç fazlı) fotovoltaik sistemin test edilmesine ve IV eğrisinin analizinin yapılmasına olanak tanıyan bir cihazdır IV Ölçüm cihazının teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- HT-Italia solar IVe I&V izleyici ve inverter verimliliği ölçüm cihazı: PV modülleri ve dizgileri üzerinde IV eğrisinin tespiti:128 nokta,
- IV eğrinin ölçüm aralığı / VOC-ISC: 1 500 V / 10 A – 1 000 V / 15 A,
- PV modülleri ve dizgileri üzerinde Voc ve Isc ölçümü için hızlı IVCK testi: VOC 1 500 V / ISC 15A, Tek fazlı / üç fazlı fotovoltaik sistemler testi: 1MPPT (MPP300 ile 3 MPPT),
- Referans hücresi ile ışınımın ölçümü, USB/RF bağlantısı ile uzaktan kumanda SOLAR-02'nin kullanımı: RF, Hücrenin ve çevrenin sıcaklık ölçümü, Aktif P, Reaktif Q, Görünen S Gücü / Enerji: sadece aktif P,
- Aynı anda seçilebilen maksimum parametre sayısı: 9, Seçilebilir entegrasyon süresi ile kayıt: 5s-60m,
- Belirgin bellek süresi (@ PI = 10 dakika @ parametrelerin maksimum sayısı): 8, Ana elektrik parametrelerinin özet tablosu,
- Fotovoltaik testler için ölçüm aralığı: 1 500 VDC / 265 VAC (Tek Fazlı),
- Ölçüm kategorisi: CAT III 300 V, Arkadan aydınlatmalı LCD ekran, Dahili bellek kapasitesi: 200 eğri IV 8 gün @ PI = 10 dakika,
- Windows için yazılım olanağı sağlayan PC arabirimi, Entegre WiFi bağlantısı ve HTANALYSIS Uygulaması ile uyumluluk,
- PC app üzerine veri indirmek için: Dahili PV modülü veri tabanının özel yönetimi: 30 dahili, 30 000 üzerinde yazılım \ uygulaması,
- Otomatik kapanma, PV test için kayıt süresinin göstergesi mevcuttur.



Şekil 3.28. HT Solar IVe-IV ölçüm cihazı

Bu çalışma sırasında taşınabilir pille çalışan EKO MP-11 Marka IV Ölçer kullanılmıştır. Bu cihaz, IV performans ölçümleri ve PV modüllerinin veya dizilerinin incelemesini sağlar. Ölçüm fonksiyonlarının doğrudan kontrolü ve ölçüm sonuçlarının analizi için; ana ünite bir tuş takımına ve grafik Lcd ekrana sahiptir. MP-11, PV modül testini çok kolay hale getirmek için hepsi bir arada bir ölçüm sunar, bu nedenle ışınım sensörü, sıcaklık sensörleri, kablolar ve kontrol için PC yazılımı ve kontrol için genişletilmiş veri analizi gibi tüm gerekli aksesuarlara sahiptir.

MP-11 IV ölçer, herhangi bir PV modülü türünün ve dizelerinin de adlandırıldığı dizilerin etiketlerinde var olan parametrelerine (V_{max}, I_{max}, P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, FF, T_{mod}, η_{eff}) dayanarak IV eğrilerini ölçebilmektedir.

MP-11 IV Ölçerin teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Ölçüm aralığı Gerilim: 10 – 1.000 V; Ölçüm aralığı Akım: 0.1 – 30 A,
- Ölçüm aralığı Güç:10 – 18.000 W, Gerilim aralığı: otomatik / 100 V / 600 V / 1.000 V, Gerilim çözünürlüğü: 0,01 V; Geçerli aralık: otomatik / 2 A /10 A / 30 A, Mevcut çözünürlük: 0,01 A, Süpürme süresi Otomatik süpürme: 4 - 640 ms, % olarak gerilim ve akım doğruluğu: +/- 1,

- Ölçüm süresi: 5 saniye; Ölçüm aralığı: 30 s, Veri noktaları: 400; Veri depolama dahili bellek: 300, çalışma sıcaklığı aralığı: 0-45 °C,
- Sensör ünitesi: Si-sensör / T-Tipi termokupl, İletişim: USB; Güç kaynağı: 12 V_{DC}, 5 W / AA Piller x 8 kullanılmaktadır.



Şekil 3.29. Eko mp-11 IV ölçüm cihazı

3.1.10.2. İzolasyon Ölçüm Cihazı

PV sistemler için izolasyon direncinin ölçümü için Hioki IR 4053 marka izolasyon ölçüm cihazıyla ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.30). Hıokı IR4053 dijital izolasyon direnci ölçüm cihazı PV sistem tarafından üretilen güneş enerjisinden etkilenmeden doğru ve güvenli bir şekilde sadece 4 saniyede izolasyon direnci değerini ölçen bir cihazdır. İzolasyon ölçüm cihazının belli başlı özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Güneş enerji sistemi üretimde iken bile güvenli ve doğru bir şekilde PV izolasyon ölçümü, dahili PV ölçüm fonksiyonu ile 4 saniye gibi çok kısa bir sürede ölçümün görüntülenmesi,

- Normal izolasyon direnci ölçümü için 5 kademe (50/125/250/500/1 000V), PV sistemlerin açık devre gerilim testleri için dahili 1 000 V DC gerilim ölçümü
- Karşılaştırma fonksiyonu mevcuttur.



Şekil 3.30. Dijital izolasyon direnci ölçüm cihazı

3.1.10.3. Termal Kamera

Termal ölçüm cihazı olarak Testo 885-2 marka termal kamera kullanılmıştır (Şekil 3.31). Bu termal kamera ile PV modüllerin gerçek çalışma şartlarında PV modül üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenebilmektedir. Belli başlı özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Termal kameranın kızıl ötesi çözünürlüğü 320*240 piksel,
- Seçilebilir 3 lensten ikisi; 30° standart lens ve 11° telefoto lens dahil,
- Seçilebilir lens açıları ve min. odaklama uzaklığı; 30° x 23°/ 0,1 m (standard) 25° x 19° / 0,2 m (25° objektiv)11° x 9° / 0,5 m (telephoto),
- 9 Hz görüntü yenileme hızı ve 7,5…14 µm spektral band aralığına sahiptir. Otomatik ve manuel fokus ayarlayabilme,
- Ölçüm aralığı: -30 ile +650 °C arasında değiştirilebilir skala,

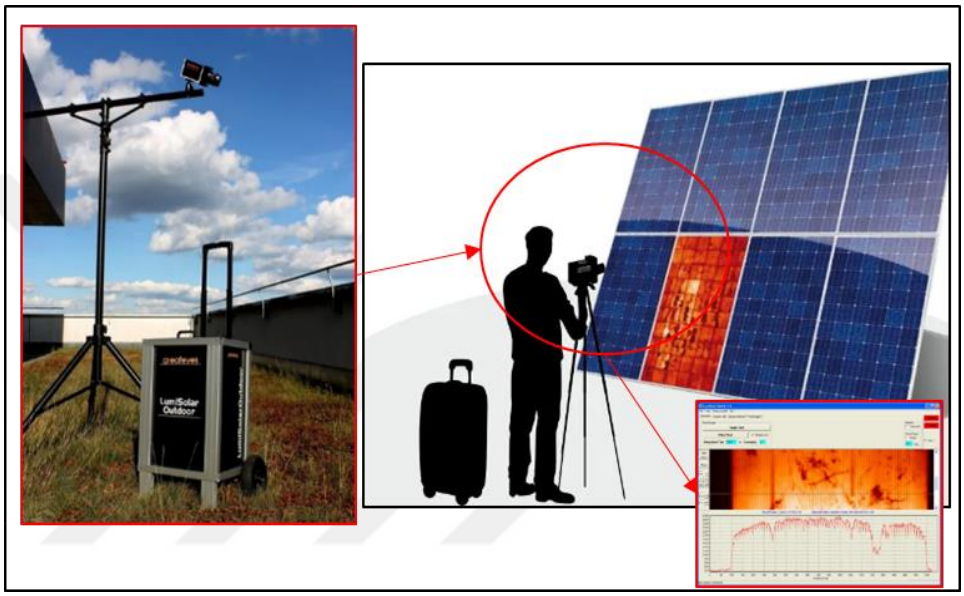
- Termal duyarlılık: 30°C @ NETD <30mK, Hassasiyet : ± 2°C veya ±2% ölçülen değer, otomatik sıcak/soğuk nokta işaretleme özelliği,
- 480X272 piksel çözünürlüğe ayarlanmış 4,3" dokunmatik LCD ekran,
- 320X240 FPA Detektör ile 76.800 sıcaklık ölçüm noktası.
- Dosya biçimi, görüntü: bmt, bmp, jpg, png, csv, xls biçimlerine dönüştürülebilir. Kullanıcı tarafından ayarlanabilir emisivite ve manuel yansıyan sıcaklık düzeltmesi yapılabilmektedir. 2 000 görüntü saklayabilen 2 GB kapasiteli SD kart, 20 °C'de 4,5 saat kesintisiz kullanılabilen batarya kapasitesi,
- -15…+50°C ve %20…% 80 RH ortam şartlarında kullanılabilmektedir,
- Güçlü LED aydınlatma ve ses kaydı için bluetooth kulaklık mikrofon seti. Alan içerisinde min. max. ve ortalama sıcaklık değeri görüntüleme,
- Laser işaretleyici ve otomatik odaklama, IP54 koruma sınıfında olup 1570 gr ağırlığındadır, süper çözünürlük (640x480) Super Resolution teknolojisi, termal görüntüdeki piksel sayısını 4 katına çıkararak görüntü kalitesini bir sınıf yükseltir. 307.200 noktadan sıcaklık bilgisi elde edilir dahildir,
- Ölçüm aralığını 1 200°C ye çıkarabilme dahildir.



Şekil 3.31. Termal kamera

3.1.10.4. Elektrolüminesans (EL) Ölçüm Cihazı

PV modüllerin çıkış gücünü etkileyen ve gözle gözükmeyen hasarların, kusurların yerinde/dış sahada tespiti ile elektrolüminesans incelenmesi için Testone Greateyes LumiSolar Outdoor test sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Elektroluminesans ölçüm sistemi

Burada dış sahaya yerleştirilmiş olan PV modüllerin belli bir süre sonra çıkış güçlerinde azalma meydana gelmektedir. Bunun en büyük etkenlerini sırasıyla ortam şartları, taşıma sırasında ya da üretim aşamasında meydana gelen, güneş modülleri üzerinde gözle gözükmeyen kusurlar ve zararlar olmaktadır.

PV modülleri üzerinde gözle gözükmeyen bu kusurlar elektroluminesans metodu ile ortaya çıkarılmaktadır. Mono-Si, poly-si, a-Si, micro-Si, CIGS, CIS, CdTe materyal ile üretilmiş güneş modülleri üzerinde inceleme imkânı sunan LumiSolar Outdoor sistemi 200µm/piksel çözünürlükte elektroluminesans resimleri bilgisayar üzerinde inceleme imkânı sunmaktadır.

Belli başlı özellikleri;

- BMP, JPEG,Txt ve Raw data desteği,
- Tek Resim ve video modu, linear/logaritmik Scaling,
- Zoom özelliği, Güç Kaynağını uzaktan kontrol etme imkânı
- Kusurlu alanları farklı renkte gösterme,
- Batarya modeli ile herhangi bir güç ihtiyacına duymadan yaklaşık 1 000 adet güneş modülünü yerinde test imkânı sunmaktadır.
- Line-powered modeli ile harici bir güç kaynağı kullanarak 10 kW PV dizilerini test etme imkânı sağlamaktadır (Harici güç kaynağı sistem ile beraber sağlanmaktadır).

3.1.10.5. Güç Kayıt Cihazı

Tüm elektriksel güç verilerinin ölçülmesi için Testone Hioki marka Clamp on Power Logger (PW3365 güç datalogger ve clamp on sensor 9669) kullanılmıştır (Şekil 3.33). Tek fazdan üç faza kadar olan hatlarda gücü doğru ve güvenli bir şekilde ölçmek için pens sensör girişini kullanan çok kanallı güç ölçümü yapabilen bir cihazdır. Güç datalogger ölçüm rahatlığı ve güvenliği sayesinde enerji tasarrufu önlemlerini doğrulamak için güç talebini ve tüm diğer güç parametrelerini ölçüm yapılarak izlenebilmektedir. Belli başlı özellikleri;

- PW3365'in özel voltaj sensörü, metal temassız ölçümünü sunar.
- Tek ile üç fazlı, 4 telli devreleri destekler,
- 90 V ile 520 V arasında ölçün, Her yere yerleştirilebilen ince, kompakt tasarım, Aylarca veriyi SD kartlarda saklayın,
- Hızlı ayar işlevi, doğru bağlantıları yapmanızda size rehberlik eder,
- Ölçüm yapılabilen birincil akım 100 A AC, maksimum giriş 45-66 Hz'de 1000 A, gerilim 400 V.

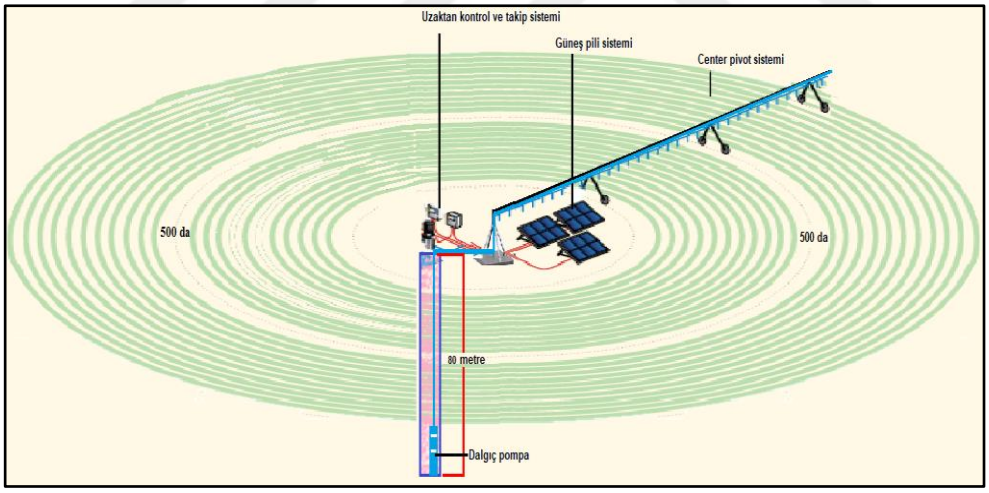
3.2. Metod

Bu çalışmada, büyük güçlü derin kuyu dalgıç pompalı dairesel hareketli sulama sistemine hibrit olarak PV modülleri entegre ederek uzaktan takip ve kontrol edilebilen bir sistem kurulmuştur. Bu bölümde sistem kurulum metodolojisi, performans göstergeleri ve maliyet analizi için izlenen metodoloji irdelenmiştir.

3.2.1 Sistem Kurulum Metodolojisi

Tasarlanan bu sistem komple ele alındığında üç kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 3.33). Bunlar;

- Sulama sistemi ve bileşenleri,
- PV modüller ve bileşenleri,
- Otomasyon ve bileşenleri kısımlarından meydana gelmektedir.



Şekil 3.33. PV destekli dairesel hareketli sulama sisteminin bağlantı şeması

3.2.1.1. Sulama Sistemi ve Bileşenlerinin Tasarımı

Su kaynağı yer altı su kuyusudur. Kuyu derinliği yaklaşık 120 metre ve debisi ise 75 l/s civarındadır. 80 metreye kadar kılıf kullanılmıştır. Tüm sulama başlıklarındaki debiler ölçülüp toplandığında sentır pivot girişindeki anlık su ihtiyacı 200 m^3/h civarındadır. Sentır pivot girişinde gerekli olan boru çapı 6 inç, suyun basıncı ise minimum 4 bar'dır.

Buna göre Eşitlik 3.1'e göre hesaplandığında ve pompa katalog verilerine göre mevcut olan dinamik su seviyesinden en az 10 metre (1 atm) ve pompa debisinin saate 150 m^3'ten daha büyük olması durumunda +5 m ve üstü daha derine pompanın yerleştirilebileceği verilmiştir. Pompanın debisi ve basma yüksekliği işletme noktasına göre seçilen 110 kW gücündeki dalgıç pompanın bu durumda 60 metre civarında olan dinamik su seviyesinin altında olacak şekilde yüzeyden yaklaşık 80 m derinliğe bırakılmıştır. Böylece dalgıç pompa 20 metre kadar ekstra derinliğe yerleştirilmiştir.

Derin pompaj sulama sisteminde; su iletim hattı boyunca, dikey ve yatay mesafedeki sürtünme kayıpları ile sulama sistemi girişinde istenen basınca göre pompa seçimi yapılabilmektedir. Seçim yapılabilmesi için öncelikle gerekli olan debi ve toplam dinamik yükseklik hesaplanması gerekmektedir. Kurulu olan sentır pivottaki su debisi ihtiyacı 200 m^3/h'tir.

Toplam dinamik yükseklik hesaplanması için Eşitlik 3.1'e göre belirlenmiştir (Alshamani, 2018). Eşitlikte dirsek ile yatay boru sürtünme kayıplarının %20'si alınmıştır. Bu eşitliğe göre hesaplama yapıldığında toplam dinamik yükseklik 140 m bulunmuştur. Pompa katalog değerlerine bakıldığında; toplam dinamik yükseklik 140 m ve debisi 200 m^3/h değerine en yakın olan 6 inç'lik pompa seçilmiştir (Şekil 3.34). Sentır pivot girişindeki gerekli olan boru çapı da 6 inç olduğu için bu seçim gerekli boru çapı ile örtüşmektedir.

$$TDY=H_p+(H_s+H_y)0{,}20+H_b \quad (3.1)$$

Burada;

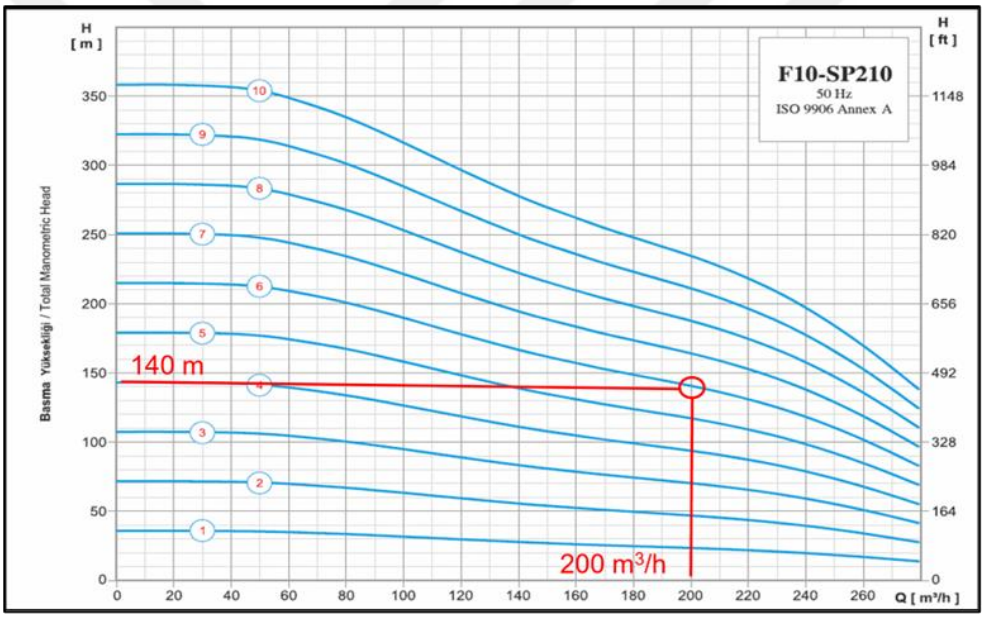
TDH = Toplam dinamik yükseklik (m),

H_p = Pompa derinliği (80 m),

H_s = Sürtünme kaybı (6 inç'lik her bir dirsek için 2,7 metre alınmıştır, x 5 adet),

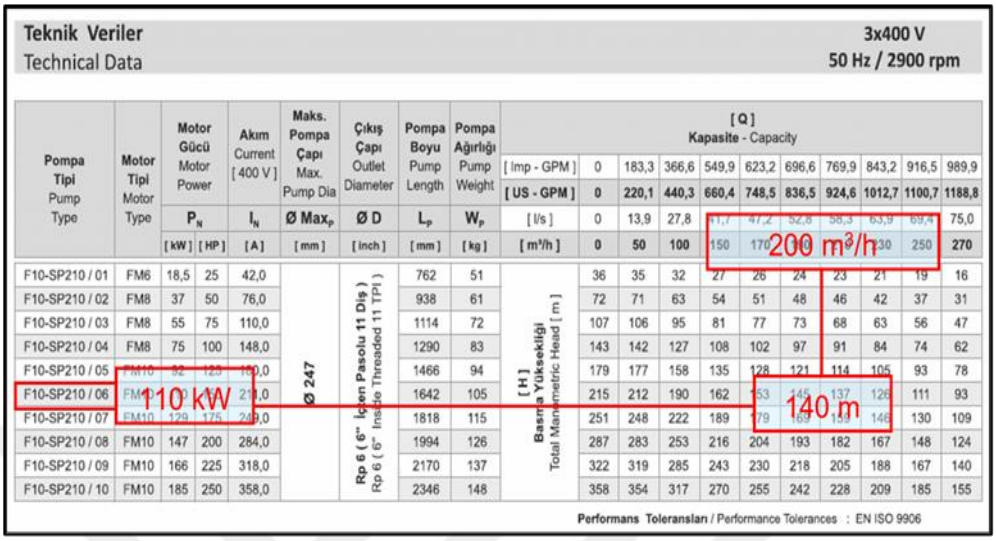
H_y = Yatay boru mesafesi (80 m),

H_b = Center pivot girişinde istenen basınç (4 bar olup, 1 bar =10,19 mSS).



Şekil 3.34. Toplam dinamik yükseklik ve debiye göre pompa çapı seçimi

Pompa debisi, toplam basma yüksekliği ve pompa çapı olan pompayı çalıştıracak olan motor katalog değerlerine göre 110 kW gücünde bulunmuştur (Şekil 3.35).



Teknik Veriler — 3x400 V
Technical Data — 50 Hz / 2900 rpm

Pompa Tipi Pump Type	Motor Tipi Motor Type	Motor Gücü Motor Power		Akım Current [400 V]	Maks. Pompa Çapı Max. Pump Dia	Çıkış Çapı Outlet Diameter	Pompa Boyu Pump Length	Pompa Ağırlığı Pump Weight	[Q] Kapasite - Capacity										
									[Imp - GPM]	0	183,3	366,6	549,9	623,2	696,6	769,9	843,2	916,5	989,9
									[US - GPM]	0	220,1	440,3	660,4	748,5	836,5	924,6	1012,7	1100,7	1188,8
		P_N		I_N	Ø Max_P	Ø D	L_P	W_P	[l/s]	0	13,9	27,8	41,7	47,2	52,8	58,3	63,9	69,4	75,0
		[kW]	[HP]	[A]	[mm]	[inch]	[mm]	[kg]	[m³/h]	0	50	100	150	170	190	210	230	250	270
F10-SP210 / 01	FM6	18,5	25	42,0	Ø 247	Rp 6 (6" İçten Pasolu 11 Diş) Rp 6 (6" Inside Threaded 11 TPI)	762	51	[H] Basma Yüksekliği Total Manometric Head [m]	36	35	32	27	26	24	23	21	19	16
F10-SP210 / 02	FM8	37	50	76,0			938	61		72	71	63	54	51	48	46	42	37	31
F10-SP210 / 03	FM8	55	75	110,0			1114	72		107	106	95	81	77	73	68	63	56	47
F10-SP210 / 04	FM8	75	100	148,0			1290	83		143	142	127	108	102	97	91	84	74	62
F10-SP210 / 05	FM10	92	125	180,0			1466	94		179	177	158	135	128	121	114	105	93	78
F10-SP210 / 06	FM10	110	150	214,0			1642	105		215	212	190	162	153	145	137	126	111	93
F10-SP210 / 07	FM10	129	175	249,0			1818	115		251	248	222	189	179	169	159	146	130	109
F10-SP210 / 08	FM10	147	200	284,0			1994	126		287	283	253	216	204	193	182	167	148	124
F10-SP210 / 09	FM10	166	225	318,0			2170	137		322	319	285	243	230	218	205	188	167	140
F10-SP210 / 10	FM10	185	250	358,0			2346	148		358	354	317	270	255	242	228	209	185	155

200 m³/h
110 kW
140 m

Performans Toleransları / Performance Tolerances : EN ISO 9906

Şekil 3.35. Boru çapı, debi ve yüksekliğe göre pompa gücü seçimi

3.2.1.2. PV Sistem ve Bileşenlerinin Tasarımı

PV modüller; farklı iki sistem için enerji sağlamaktadırlar. Bunlar pompanın çalışması için gerekli enerjiyi üreten ve sentır pivotun hareketini gerçekleştirenler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Birinci grup: Sentır pivotta gündüz sulaması için gerekli olacak elektriği üretecek 1. Grup PV sistemin gücü (P_{PV}) aşağıdaki Eşitlik 3.2 ile belirlenebilir (Küsek ve ark, 2015).

$$P_{PV} = \frac{E_{el}}{h} \tag{3.2}$$

Burada;

P_{PV} = PV sistemin gücü (kW),

E_{el} = PV sistemin günlük elektrik üretimi (kWh/gün),

h = Günlük güneşlenme süresidir (h).

Pompa gücü 110 kW olup gerekli PV sistemin gücü standart koşullarda 110 kW'tır. Burada PV modüller STK olarak adlandırılan 1 000 W/m^2 ışınım şiddeti, 25 ℃ hücre sıcaklığı ve AM=1,5 şartlarındaki performans değerlerini ifade eder.

Ancak çalışma alanı;

- Türkiye'nin en fazla sıcak bölgesi olduğundan ve modül sıcaklığının yaz aylarında 75 ℃ civarına kadar yükselebilmesi,
- Çalışma alanının güney kesiminden gelen toz fırtınaları sonucu modüllerin yüzey alanının belirsiz yoğunlukta tozla kaplanıp kirlenmesi,
- Kanatlı ve kemirgen yabani hayvanların modül yüzeyi ile bağlantı elamanlarına olan temas sorunları,
- Güneşten gelen ışınımın tüm sene boyunca STK koşullarında olduğu gibi 1000 W /m^2 değerinde seyretmediği ve değişken olması,
- Modüllerin yüzeyle olan eğim açısının güneye dönük sabit olmasından dolayı,
- Gelen güneş ışınlarının her zaman modüllerin yüzey alanına dik gelmemesinden dolayı,
- Yetersiz ışınım şiddetine maruz kalması, modül üretimin düşmesi ve bunun sonucunda sulama pompasının düzensiz ve yetersiz çalışması gibi birçok sorun özellikle arazi koşullarında mevcuttur.

Buna göre standart test koşullarındaki ile yöredeki dış ortam maksimum modül sıcaklık farkı 45-50 ^oC'yi bulabilmektedir. Modül sıcaklık katsayısı -0.45 %/^oC'dir. Buna göre çıkan bu farka göre hesap yapıldığında sadece sıcaklık kaynaklı toplam verimde % 20-25 civarında düşüş söz konusu olabilmektedir.

Modül yüzeyindeki tozlanmadan kaynaklı yapılan ölçümlerde %5 civarında verim düşüklüğü mevcuttur.

Atay, 2012a çalışmalarına dayanarak aslında sabit açılı küçük güçlü PV destekli sulama sistemlerinde bu oran % 30 kabul edilebilir iken büyük güçlü sistemlerde bu oran ne kadar büyük tutulur ise sulama süresi daha çok arttırılabilir.

Bundan dolayı toplam verimde, bulutluluk faktörü ve yetersiz ışınım şiddeti gibi diğer koşullar için % 15 emniyet oranı dahil edilip toplandığında, toplam oran pompa gücünden % 45 kadar daha büyük hesaplanır. Böylece modül gücü pompa gücünün 1,45 katı daha büyük hesaplanmıştır.

Modül gücünün düşük olması durumunda pompada vuruntu meydana gelmektedir. Vuruntu, pompanın anlık ihtiyacı olan gücün dış faktörlerden kaynaklı olarak modüllerden kesintili olarak karşılanması sonucu ortaya çıkmakta olup; tam kapasitede sabit frekansta çalışamayıp debide anlık değişimlere (dur-kalk şeklinde) sebebiyet vermesidir. Bu durum pompaj tesisinin verimsiz çalışmasını sebebiyet vermektedir.

Yukardaki sebepler ve hesaplamalar sonucu özellikle günlük sulama süresinin yükseltmek, sulama pompasında vuruntuyu önlemek ve pompaj verimini yüksek tutmak için pompa gücünün % 45 fazlası kadar modül gücü daha büyük seçilmiştir (Hesaplanan güç kayıp katsayısı= 1,45).

Böylelikle Eşitlik 3.3 ile hesaplama yapıldığında nihai PV gücü 160 kWp olarak seçilebilir.

$$P_{PVopt}=P_{Pomp}\times 1{,}45 \qquad (3.3)$$

Burada;

P_{PVopt} = PV sistemin optimum gücü (kW),

Ppomp = Pompanın çektiği güç (kW),

1.45 = Hesaplanan güç kayıp katsayısı

Seçilen PV modülün gücüne ve yüzey alanına göre modül adeti değişkenlik gösterebilir. Bundan dolayı gerekli güneş modül adedi Eşitlik 3.4 ile hesaplanabilir (Küsek ve ark, 2015).

$$n_m = \frac{A_{PV}}{A_m} = \frac{A_{PV}}{l_m \times W_m} \quad (3.4)$$

Burada;

n_m = PV modül adedi (adet),

A_{PV} = PV dizi yüzey alanı (m^2),

A_m = Bir modülün yüzey alanı (m^2),

l_m = PV modül uzunluğu (m),

w_m = PV modül genişliği (m).

Böylece Çizelge 3.3'te bulunan modül yüzey alanı hesaplandığında seçilen modül boyutu 1 modül için 1,63 m^2 olduğuna göre sulama pompasını çalıştıracak gerekli modül âdeti 640 adet (her biri 250 W) olarak hesaplanmıştır.

İkinci grup: Sentır pivotta gündüz dönü hareketi için gerekli olacak elektriği üretecek 2. Grup PV sistemin gücü (P_{PV}) Eşitlik 3.2 ile belirlenebilir (Küsek ve ark, 2015). İkinci modül grubunun gücünün hesaplanması için sentır pivot elektrik tüketimi, otomasyon sistemi, aydınlatma, kameralar ve bekçi kulübesindeki tüketilen enerjiye göre hesaplamalar yapılmıştır.

Sentır pivotta toplam 14 şanzıman ve 7 adet hareketi sağlayan motor mevcut olup bunların her biri ¾ HP, 3 fazlı, 1745/1425 motor devri, Hz 60/50 dişli oranı 40.1, amper 1.40/1.50, yalıtım sınıfı F ve güç katsayısı 1,30'dur. Anlık sentır pivot panosunda ölçümlerde ise gerilim 403 V, akım ise 9 A civarında ölçülmüştür. Toplam harekette anlık ölçülebilecek güç 3,85 kW'tır. Ancak tüm motorlar aynı anda çalışmakmaktadır. Bundan dolayı her bir motor 0,55 kW çektiğinden; demeraj akımı ve diğer ön görülmeyen anlık tüketimler ile birlikte 1,85 kWh anlık tüketim söz konusudur. Tüketimin minimum 1,30 katı kadar üretim yapılması

gerektiğinden minimum üretilmesi gerekli olan güç 2,41 kWh olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bekçi kulübesinin varlığı ve gündüz tüketimleri hesaplandığında Eşitlik 3.2 kullanıldığında günlük gerekli modül gücü minimum 8,31 saat üzerinden yaklaşık olarak 15 kW hesaplanmaktadır. Eşitlik 3.4 ile hesaplama yapıldığında gerekli modül âdeti 60 adet polikristal modül olmaktadır.

Akü gereksinimi: 16 saat gece ve 8 saat gündüz çalışacak şekilde hesap yapıldığında 38,40 kWh (1,85 kWx16 h x 1,30 akü deşarj derinliği) akü gücü ortaya çıkmaktadır. 12 V, 200 Ah akü kullanıldığında 16 adet jel akü olmaktadır. Böylece DC enerji depolama kısmında her biri 200 Ah akımlı, 12 V gerilimde akülerin bağlantıları 48 V (4 seri x 4 paralel bağlantısıyla) olacak şekilde yapılmıştır.

Sistem yeri hazırlığı ve montaj işlemlerinde; öncelikle modüller sentır pivotun merkezinin kuzey tarafında güneye dönük olacak şekilde yerleştirilmiştir. Öncesinde yüzeyin tesviyesi ve sıkıştırılması yapılmıştır (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Arazi yüzeyinin tesviyesi ve sıkıştırılması

Araziye yerleştirecek modüllerin sabit kalması ve toprağa batmaması için 40x40x250 cm ölçülerinde kalıplar yapılmış içine demir iskeleli saha betonu dökülmüştür (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Modüllerin konumlandırılacağı yerin betonlanması

PV modüllerin konulacağı konstrüksiyonun beton zemine montaj işlemlerine ait görseller Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. PV modüllere ait konstrüksiyonun montaj işlemleri

PV modüllerin demir konstrüksiyon vasıtasıyla betona sabitlenmesiyle ilgili montajına ait görseller Şekil 3.39'da verilmiştir. Burada modüller güneye dönük 30^{o} açı ile yerleştirilmiştir.

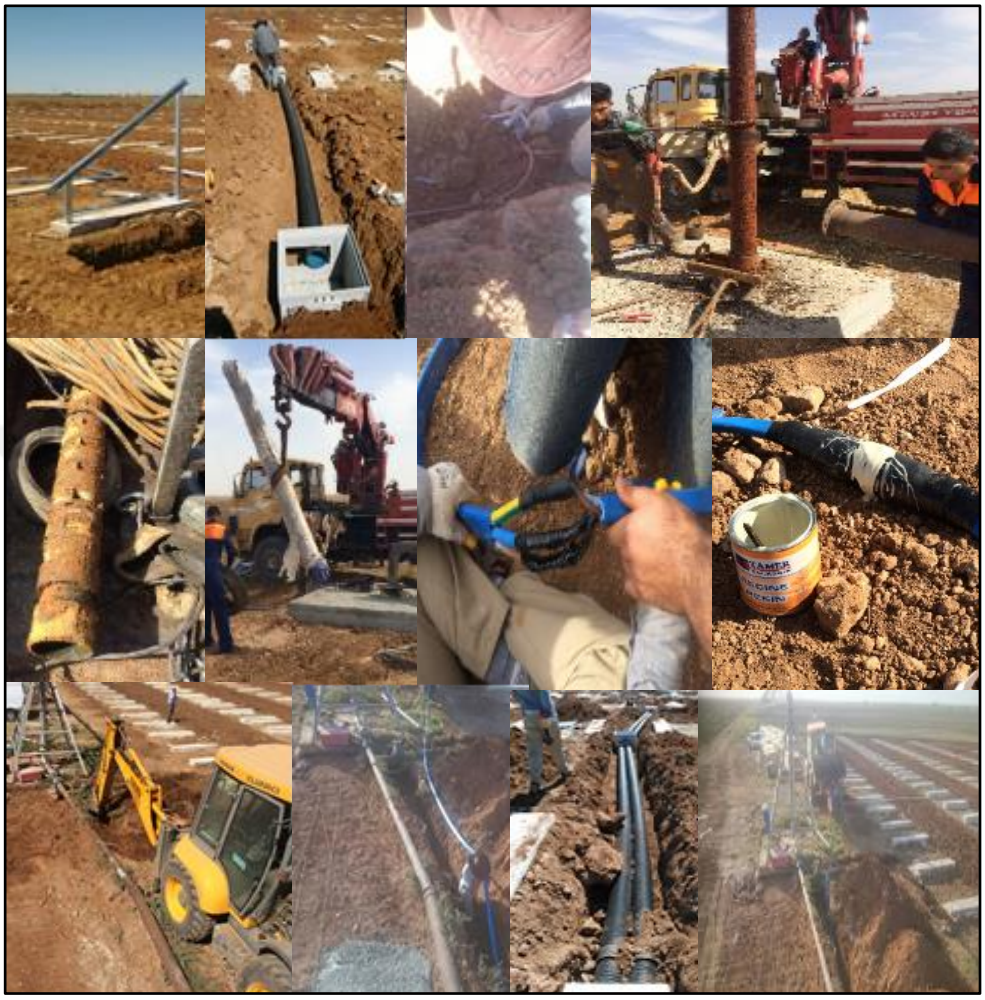


Şekil 3.39. PV modüllerin ve konstrüksiyonunun montaj görselleri

Montaj öncesi, modüller ve bağlantı elemanları için 130 km/h hızındaki rüzgâra dayanabilecek kapasitede rüzgâr direncine, IEC 61215 standardına göre 2 400 Pa rüzgâr ve 5 400 Pa kar yüküne dayanıklı olacak şekilde imalatçı firmanın ürettiği modüllere ait Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 'den alınmış mekanik yük dayanım test raporu alınmıştır.

Pompa değişimi, bağlantı kabloları, topraklama ve kuyu kablosunun bağlantıları ile ilgili görseller Şekil 3.40'ta verilmiştir. Burada tüm bağlantı kabloları yer altından geçirilmiştir. Özellikle PV modüller için ekstra geniş kablo kanalları yerleştirilmiştir. Bunun faydası ilerde olabilecek kablo kopmalarından değişim için çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Yer altı kanalları bağlantı olacak şekilde arazinin belirli noktalarında bakım kapakları bırakılmıştır. Daha sonra tüm kabloların geçtiği kanalların üstü toprak doldurulmuştur. Topraklama hatları için aynı şekilde araziden kanallar açılıp içinden geçirilmiştir.

Kablo birleştirmelerinden özellikle kuyu kablosunun su geçirmemesi için sertleştirici katkılı reçineyle ve bağlantısı yapılmıştır. Böylece ileriye dönük bağlantı noktasında olabilecek bozulma, gevşeme ve su sızmalarının sonucunda pompanın bozulmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 3.40. Pompa değişimi, topraklama ve diğer bağlantılar ile ilgili görseller

Otomasyon odası ve trafo yer hazırlılarıyla ilgili görseller Şekil 3.41'de gösterilmiştir. Burada yer altından modüllerden ve pompadan çekilen kabloların olduğu kanalların bağlantıları otomasyon odası kenarına denk getirilecek şekilde kurulum yapılmıştır.



Şekil 3.41. Otomasyon odası ve trafo yer hazırlıklarıyla ilgili görseller

3.2.1.3. Otomasyon Sistemi ve Bileşenlerinin Tasarımı

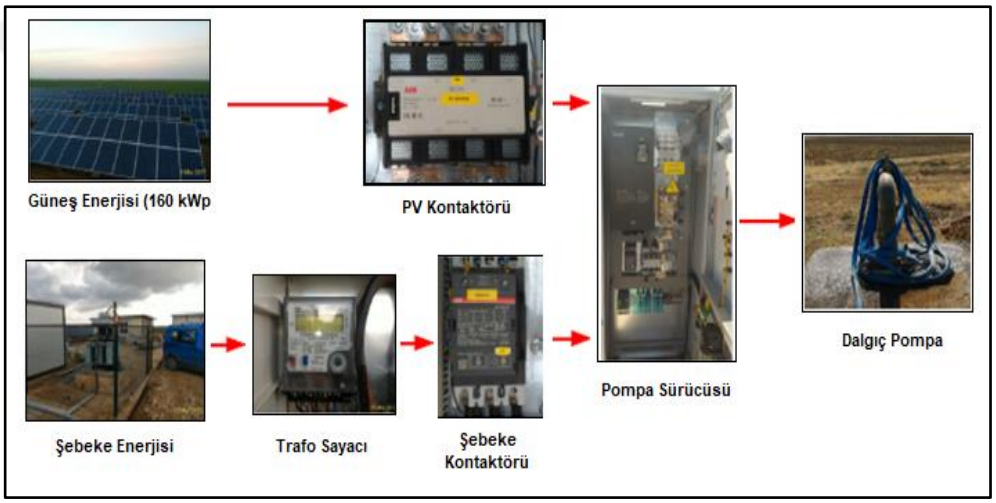
Tüm sistemi çalıştıran enerji iki kaynaktan sağlanmaktadır. Bunlar şebeke elektriği ve PV modüllerden gelen enerjidir. Ana otomasyon sistemi bu enerji kaynaklarından aldığı enerji ile 4 sistemi yönetmektedir. Bunlar;

- Sulama sistemi,
- Sulama sisteminin dairesel hareketini sağlayan sistem,
- Güvenlik sistemi,
- Ana kontrol sistemi ve
- Web otomasyonundan oluşmaktadır.

Ana otomasyon sistemi bir bütün olarak tek hat şeması Ek 1 ve Ek 2‘de verilmiştir. Temel fonksiyonu, verilerin anlamlandırılması, değerlendirilmesini ve ölçümünü sağlayarak, sistemin en verimli halde çalışması için gerekli otomasyon sistemini uzaktan ya da manuel çalıştırmaktır.

3.2.1.3.(1). Sulama Sistemi Otomasyonu

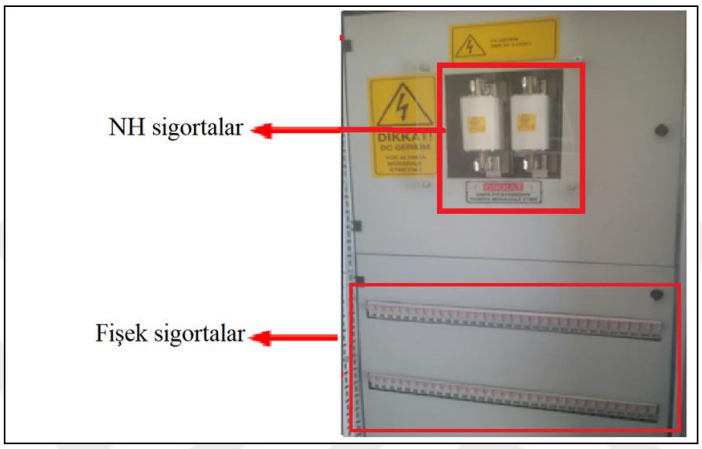
Sistem gündüz güneş ışınımı yeterli iken direkt güneş enerjisiyle çalışmaktadır. Güneş ışınımı yetersiz iken veya gece şebeke elektriğiyle çalışacak şekilde kurulmuştur. PV modüller ile şebeke elektriği arasındaki geçişleri manuel veya otomatik yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede kullanıcı güneş ışınım miktarının yetersiz olduğu zamanlarda şebeke ile PV sistem arasında sorunsuz geçiş yapabilmektedir. Buna ait şema Şekil 3.42'de verilmiştir.



Şekil 3.42. Sulama Sistemi otomasyon şeması

PV modüller her biri 20 adet olan toplamda 32 adet diziden (string) (160 kWp gücündeki modül grubundan) meydana gelmektedir. Her bir string çıkışında 650 V, 5-6 A civarında değerler ölçülmektedir. DC ana panoda, stringlerden gelen bağlantılar fişek sigortalardan NH sigorta bara boşta iken güneş var iken 800 V, yükte iken 650 V Her biri 250 Wp gücünde olan toplamda 640 adet (32x20) polikristal silikon modüllerden meydana gelmektedir. NH sigortalar, eriyen telli sigortalar grubundan olup aşırı akımlara (aşırı yük akımlarına ve kısa devre akımlarına) karşı içindeki telin ısı etkisi ile erimesiyle devreyi keserek koruma sağlar. Fişek sigortalar ise stringlerden ve ara bağlantıda herhangi bir yerinde bir

kısa devre, arıza veya devre aşırı yüklendiğinde, fişek sigortanın içindeki metal şerit veya bağlantı ısınır ve hızlı bir şekilde erir, devreyi açar ve gücü kapatır. NH sigortalar ve fişek sigortalar tek kullanımlıktır (Şekil 3.43).

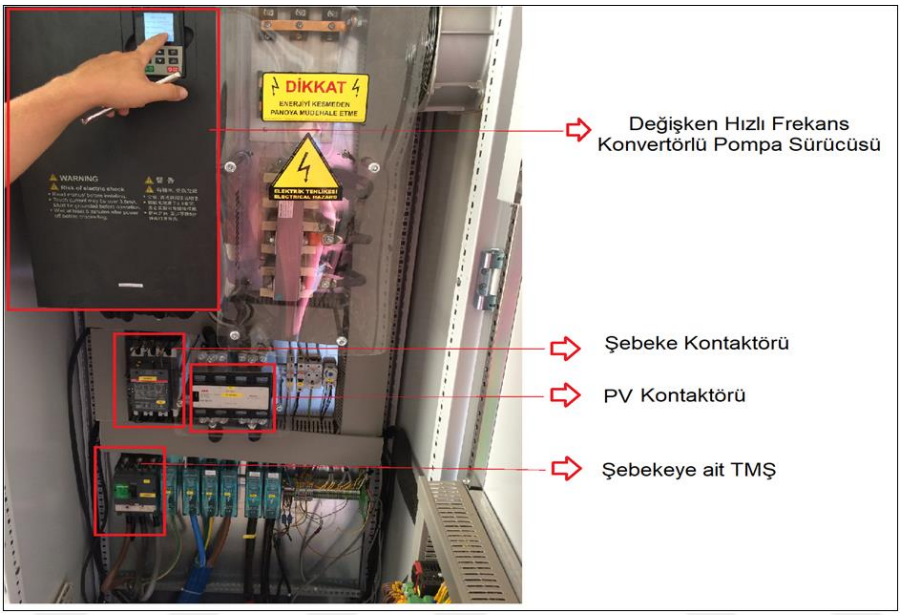


Şekil 3.43. DC pano

Buradan gelen DC yük direkt PV kontaktöre oradan da pompa sürücüsüne enerji sağlamaktadır. Pompa sürücüsünün kapasitesi 315 A'e kadar enerji çekebilmektedir. Enerji yetersiz olduğunda veya gece direkt PV kontaktör devreden çıkmakta daha sonra şebeke kontaktörü devreye girmekte ve şebekeden gelen enerji pompa sürücüsüne aktarılmış olmaktadır. Şebeke kontaktöründen önce şebeke termik manyetik şalterler (TMŞ) kullanılmıştır. TMŞ bir devre kesici olarak kullanılmakla beraber normal devre şalterleri için devre açma ve kapama işlemlerinde kullanılabilmektedir (Şekil 3.44).

Bu farklı iki enerji kaynağı otomasyonla otomatik şekilde dönüşümlü çalıştırılabildiği gibi manuel olarak ta çalıştırılabilmektedir. Burada kontaktörlerin varlığı iki farklı enerji kaynağının aynı anda sistemi beslemesini engellemektedir. Bundan dolayı biri devrede iken diğeri devre dışı kalmaktadır. Özetle modül otomatik veya manuel seçilen enerji kaynağına göre PV veya şebeke kontaktörünü

çekmekte ve hazır halde beklemekte start verildiğinde seçili olan enerji üzerinden yol almaktadır.

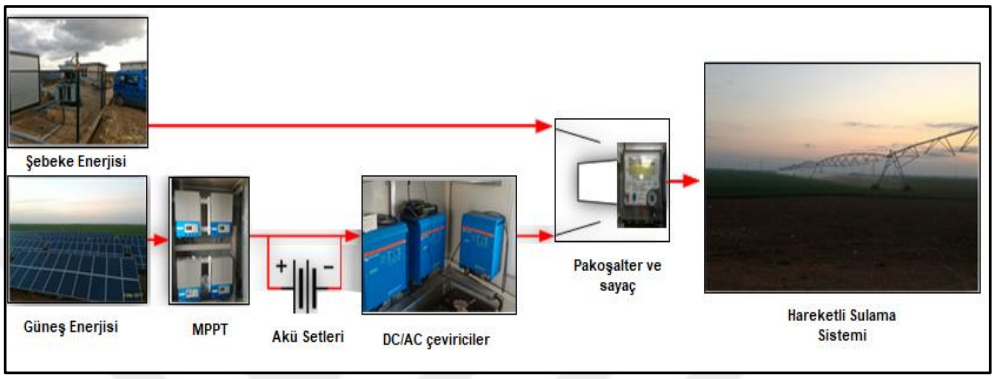


Şekil 3.44. Sürücü panosu ve bileşenleri

3.2.1.3.(2). Sulama Sisteminin Dairesel Hareketini Sağlayan Sistem

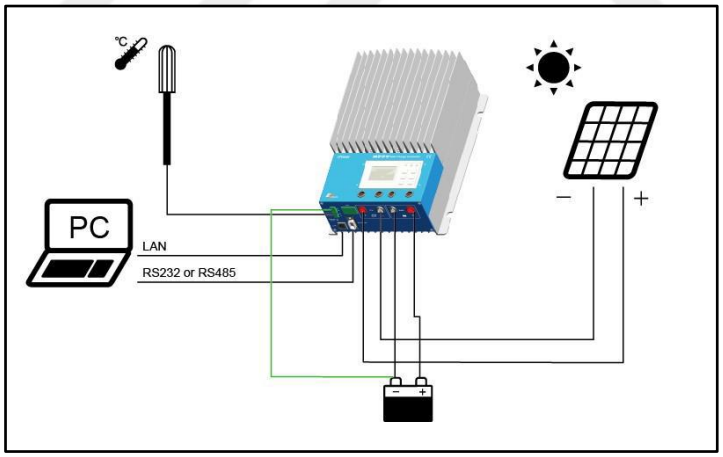
PV modüllerin her biri 4 adet olan toplamda 15 adet stringten (15 kWp gücündeki modül grubundan) meydana gelmektedir. Her bir string çıkışında 650 V, 5-6 amper civarında değerler ölçülmektedir. Her biri 250 Wp gücünde olan toplamda 60 adet (15x4) polikristal silikon modüllerden meydana gelmektedir. Burada aynı şekilde iki enerji kaynağından beslenebilmektedir. Pakoşalter grubu ile direkt şebekeden beslenebilmektedir. Gündüz ise gün boyu güneş enerjisinden beslenmektedir. PV modüllerden gelen elektrik, önce MPPT'lere daha sonra akü grubuna, daha sonra 3 fazlı solar inverter grubuna, en sonunda pakoşalter aracılığıyla dairesel hareketli sulama sisteminin 7 adet olan hareket motorları çalıştırılarak dönü hareketi gerçekleştirilir. Bu inverterler (15 kWe); girişleri 48 V olacak şekilde, 3 adedi 230 V_{AC}, 50 Hz ve 3 faz çıkış verecek şekilde birbirleriyle

bağlantılı çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Özetle şebekeden veya akülerden inverterler enerji alarak hareketli sulama sistemini çalıştırmaktadır. Buna ait şema Şekil 3.45'te verilmiştir.



Şekil 3.45. Sulama sisteminin dairesel hareketini sağlayan sistemin şeması

Burada bulunan MPPT akü grubunu şarj görevi yapmaktadır. Sıcaklık ve diğer parametrelerde kayıt altına alınabilecek alt yapıya sahiptir (Şekil 3.46).

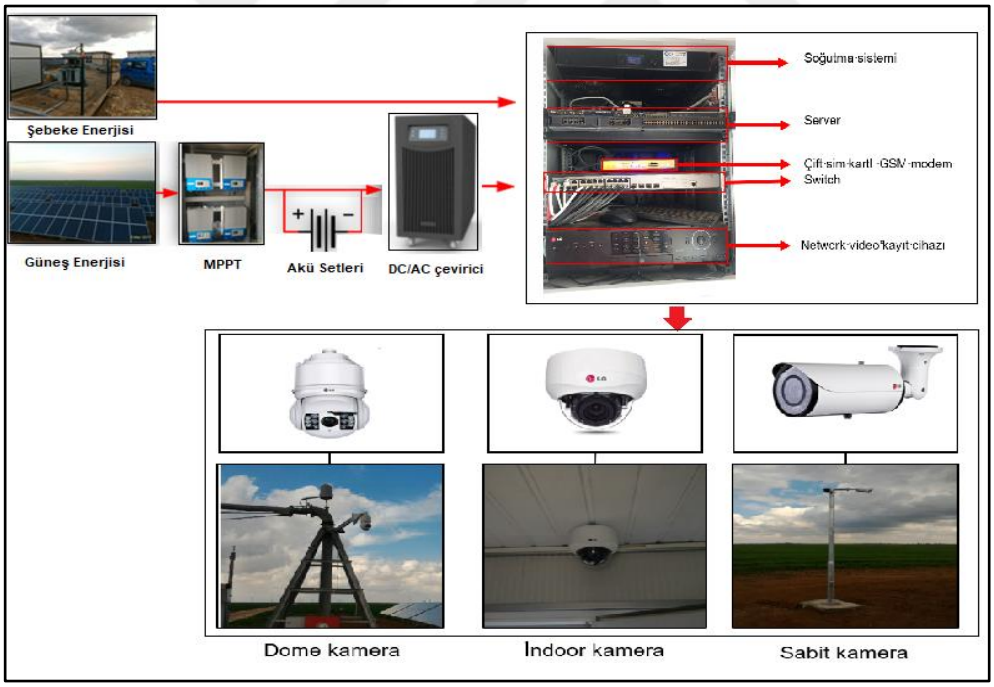


Şekil 3.46. MPPT bağlantı şeması

3.2.1.3.(3). Güvenlik Sistemi Otomasyonu

Sistemde mevcut 16 adet aküler bünyelerindeki enerjiyi (48 V) dördüncü bir invertör (3kWe) olan **Tek fazlı inverter sistemine** enerji sağlamak içinde kullanmaktadırlar. İnvertör sisteminden çıkan AC (220 V) enerji ile otomasyon sistemi, kameralar ve diğer birimlere enerji sağlanmaktadır. Buna ait şema şekil 3.47'de verilmiştir.

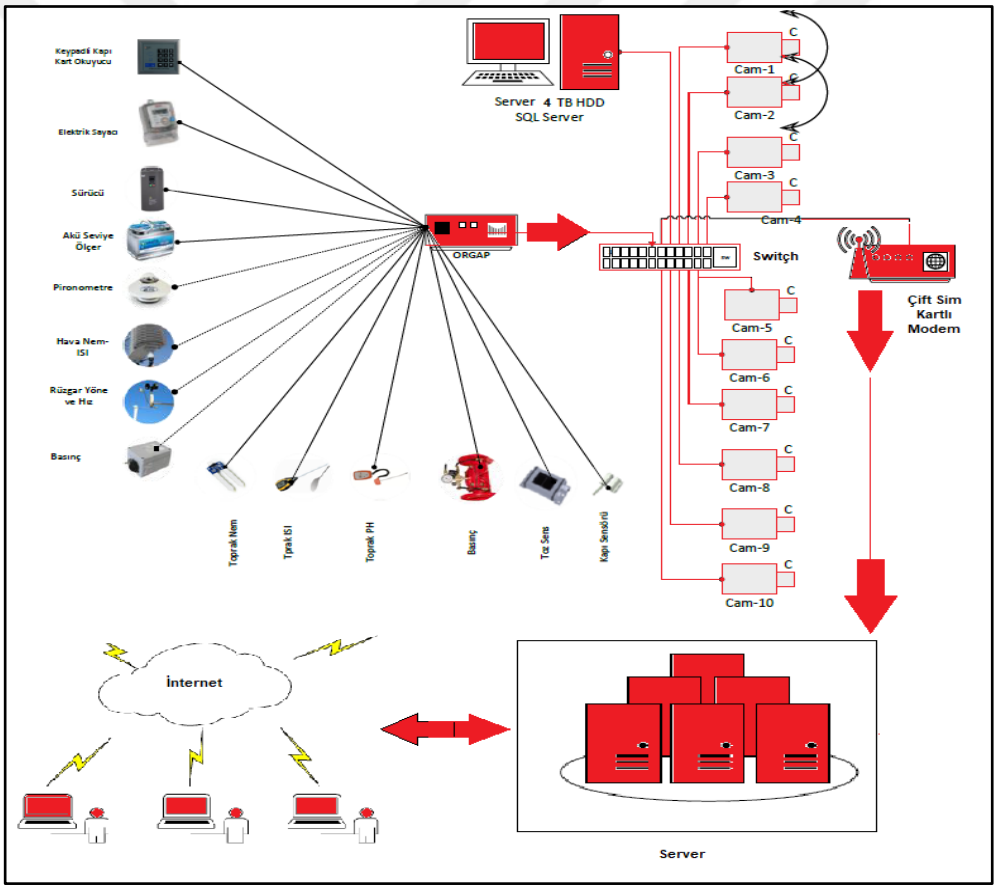
Güvenlik kulübesi ve aydınlatmanın tüm enerjisi de buradan karşılanabilmektedir. Ayrıca klima ve havalandırma fanlarının enerjisi buradan karşılanmakta ve iç oda sıcaklık durumuna göre devreye girmektedirler. Kameralardan gelen görüntüler switch yardımıyla servere hem de network video kayıt cihazına yollamaktadır. Tüm kamera kayıtları network video kayıt cihazı (network video recorder -nvr) ile saklanabilmektedir.



Şekil 3.47. Güvenlik sistemi otomasyonu

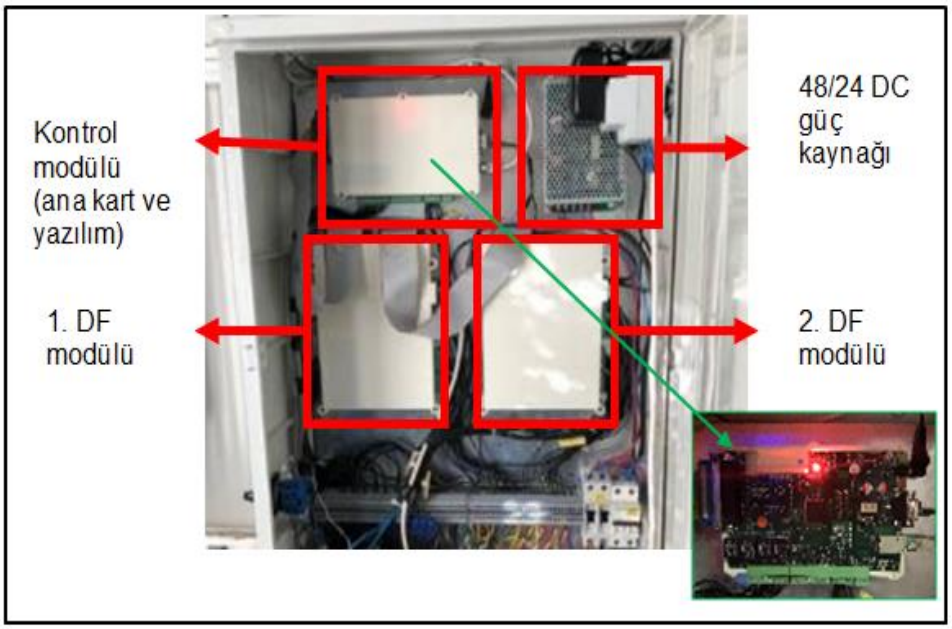
3.2.1.3.(4). Ana Kontrol Sistemi ve Bileşenleri

Ana kontrol sisteminin temel kısmı Orgap modülüdür. Otomasyon sistemi, Orgap adıyla ve uzaktan erişim modüllüne (DF modül- Kontrol modülü) sahip olarak kurulmuştur. Tüm sistemlerin yönetimi buradan yapılmaktadır. Bu sistemle GSM haberleşmesi üzerinden istenen komut verilebilmekte ve aynı zamanda istenilen datalar bu haberleşme ve kontrol modülü üzerinden alınabilmektedir (Şekil 3.48). Tüm bu işlemler http://gapgunesi.com/ uzantılı internet sitesi üzerinden kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.48. Ana kontrol sistemi ve bileşenleri

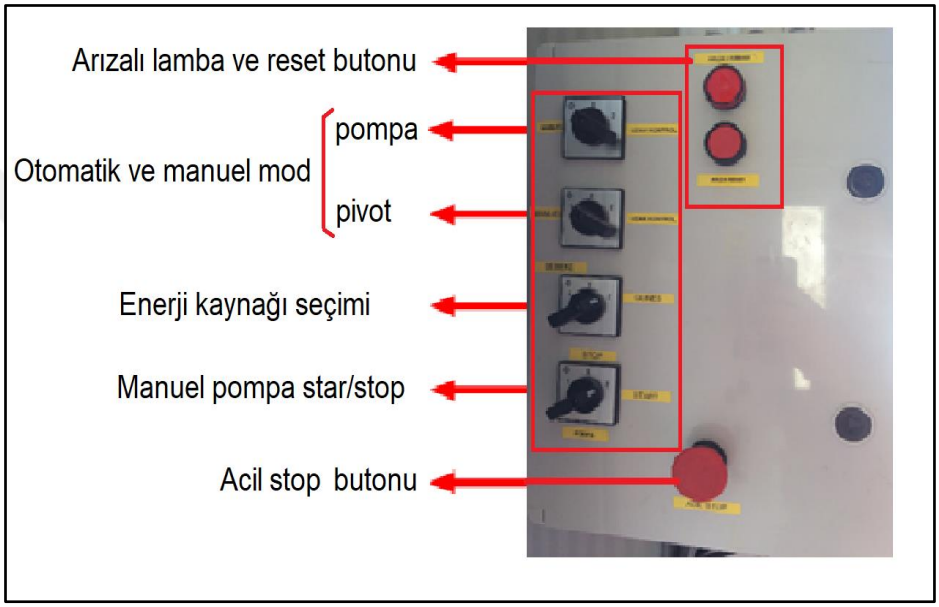
Kontrol modülü içinde ana kart, yazılım, micro SD kart mevcuttur. Bu yazılım ile DF modülleri ile sensor bilgilerini toplayıp üzerlerindeki röleye göre açma- kapama yaparak uzaktan erişimi mümkün kılmaktadır (Şekil 3.49). Mikro SD kart ile yazılım yüklemek için kullanılmaktadır. Kontrol modülü, RS-485 ile servere, ethernet ile modeme bağlantıları yapılmıştır. Böylece hem iç hem dış bağlantı gerçekleştirilmiş olunmaktadır. Serverda tüm sensor arayüz programlarının (pompa sürücüsünün, kameraların vs) bilgileri Windows işletim sisteminde SQL sunucu (server) ortamında saklanmaktadır.



Şekil 3.49. Kontrol modülü ve DF modülleri

Böylece bu otomasyon sistemi ve bileşenleri ile dairesel hareketli sulama sistemini uzaktan, tamamen güneş enerjisinden veya tamamen şebekeden bağımsız olarak çalıştırabilmektedir. Aynı zamanda sistemi uzaktan veya yerinden kumanda etmek mümkündür. Sistemi uzaktan kontrol edebilmek için www.gapgunesi.com sayfasına login yazan kısımdan kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapmak gerekir. Şifre ile giriş yapıldıktan sonra kullanıcıya yetki verildiğinde sistemi uzaktan kontrol

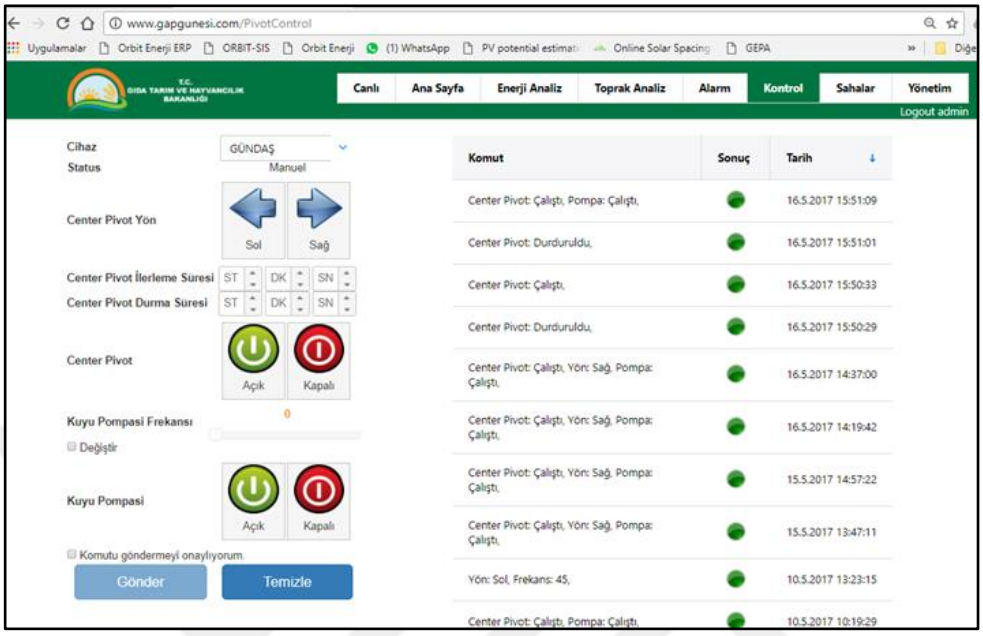
edebilir, yetkilendirme yapılmadığında ise sadece bilgi akışını gözlemleyebilir. Uzaktan kontrol için otomasyon sistemindeki kontrol panosu ile anahtarlar otomatik kısmına getirildikten sonra site üzerinden uzaktan erişim açılmaktadır (Şekil 3.50).



Şekil 3.50. Uzaktan erişim için kontrol panosu

Daha sonra www.gapgunesi.com internet sitesine giriş yapılmakta ve kontrol sayfasına gelinmektedir. Burada saha seçimi, senter pivotun hareket yönü, ilerleme süresi ve durma süresi, dalgıç pompayı açma kapama, pompa çalışma frekansı hepsi buradan kontrol edilebilmektedir (Şekil 3.51).

Kuyu frekansı için 0-50 arasında bir değer girilebilir. Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra gönder butonuna basılır internet üzerinden ana kontrol sistemi ilgili DF modülündeki röleye komut vererek işlemi tamamlar.

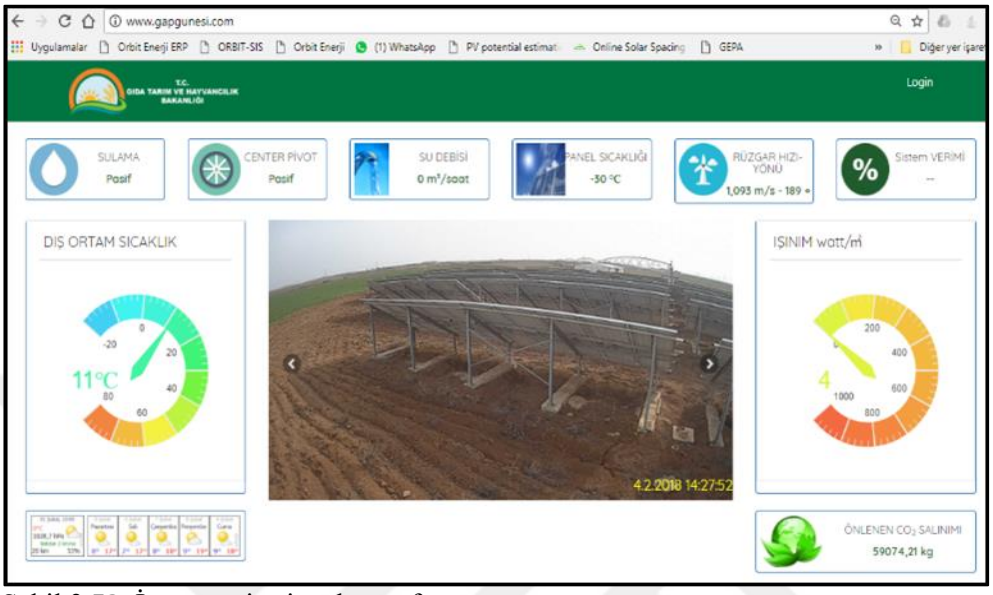


Şekil 3.51. Uzaktan erişim ve kontrol sayfası

3.2.1.3.(5). Web Otomasyonu ve Bileşenleri

Kontrol modülü aracılığıyla ethernet üzerinden switche oradan sonra çift sim kartlı modem ile internet sitesine bilgi akışı gerçekleştirilmektedir. Bu sistemle GSM haberleşmesi üzerinden istenen komut verilebilmekte ve aynı zamanda istenilen datalar bu haberleşme ve kontrol modülü üzerinden alınabilmektedir. Tüm bu işlemler http://gapgunesi.com/ uzantılı internet sitesi üzerinden kontrol edilebilmektedir. Özetle bu kısım, sahadaki her türlü verilerin toplandığı, uzaktan okunduğu ve sistemin uzaktan yönetildiği web ara yüzüdür.

Bu web sitesine herkes dışarıdan erişebilir ve ana sayfa görüntüsü elde edebilir. Lakin sistemin kontrolü ve detay verileri için mutlaka sisteme giriş yapılması gerekmektedir. Ana sayfa görüntüsü ekrandaki gibi olup sahadan her 5 dk da bir fotoğraf çekilerek farklı kameralardan sisteme aktarılmaktadır. Bu sayede sahanın son hali 5 dk fark ile görülebilir. Bu süre bağlayıcı olmamakla birlikte 1 dakika ile saatler arasında tercih yapılabilir (Şekil 3.52). Buradaki fotoğraf çekim sıklığı internet kotasını etkilemektedir.



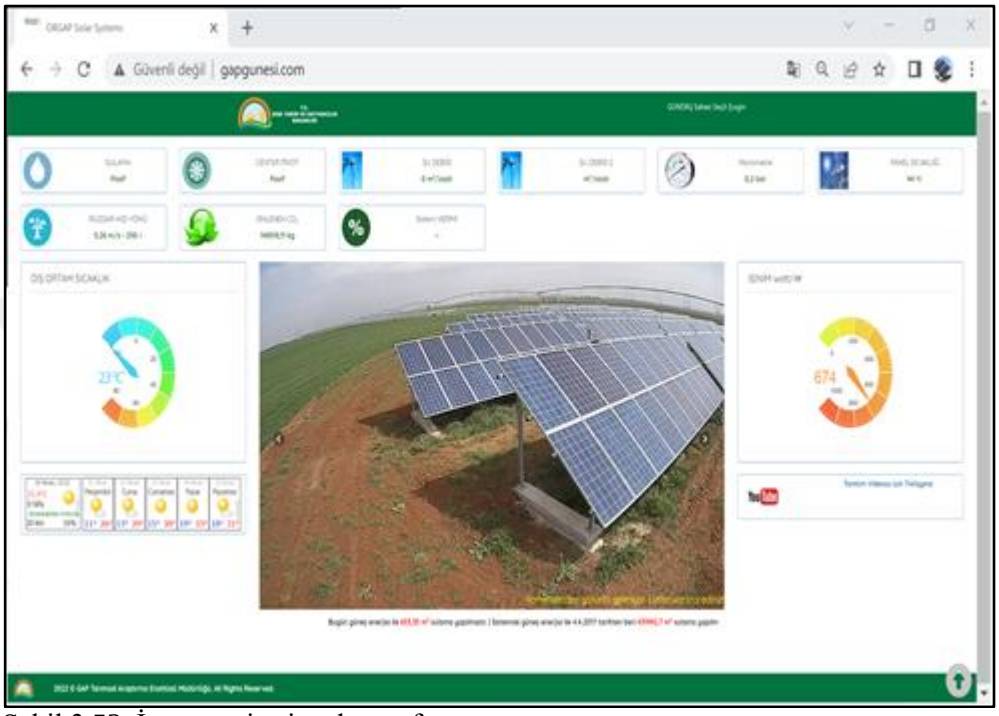
Şekil 3.52. İnternet sitesi açılış sayfası

İnternet sitesi içinde sayfalar mevcuttur. Her birinde farklı işlemler ve datalar mevcuttur. Bunlar;

- Açılış (canlı),
- Ana sayfa,
- Enerji analizi,
- Toprak analizi,
- Alarım,
- Kontrol,
- Yönetim sayfalarından meydana gelmektedir.

İnternet sitesi adresi yazılıp açılış sayfasında gelindiğinde giriş yapılmadan bazı veriler gözlenebilmektedir. Bunlar kameradan gelen güncel görüntüler, modül ve ortam sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, suyun basıncı, rüzgâr hızı, yerel hava

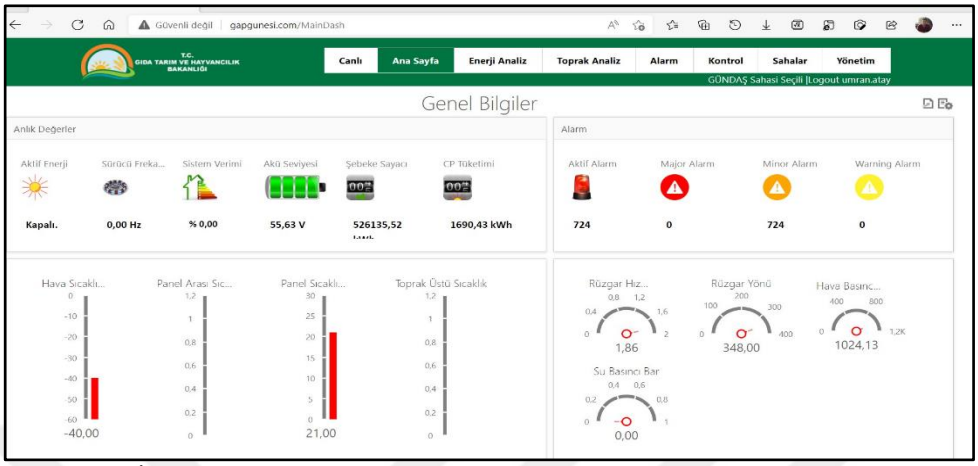
durumu, sulama sisteminin aktif olup olmaması, anlık sulama sistemine gönderilen debi gibi veriler buradan takip edilebilmektedir (Şekil 3.53).



Şekil 3.53. İnternet sitesi açılış sayfası.

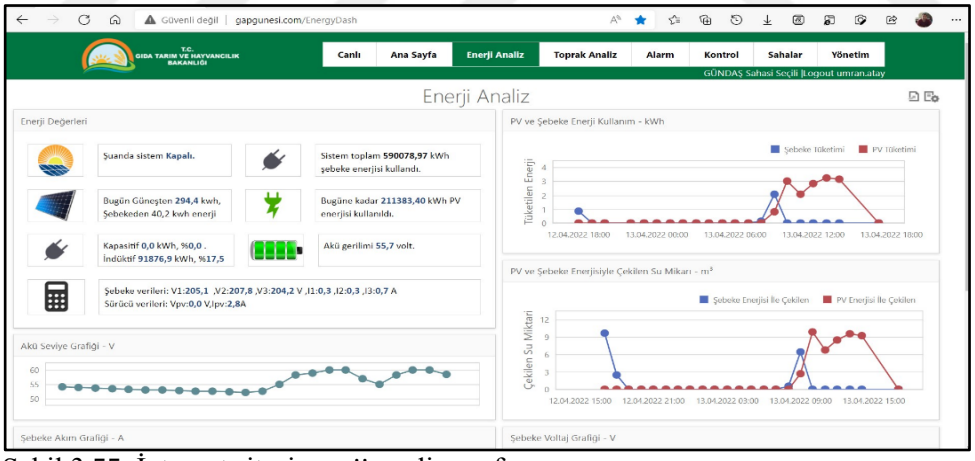
Açılış sayfasının sağ üst köşede login (giriş) kısmı mevcuttur. Buraya giriş yapılarak ara sayfalara ve datalara ulaşılabilir. Ana sayfa seçildiğinde burada sistemin aktif olup olmadığı, sürücü frekansı, akü gerilimi, modül sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava basıncı, su basıncı ve alarm sistemlerine bu sayfadan ulaşılabilir. Burada ikazlar pompa durması veyahut hareketli sulama sisteminin yanlış bir hareketi sonucu sistemin hareket işlevini kapatmasıyla sonuçlanmaktadır.

Bu ikazlar cep telefonuna mesaj, mail veya ışıklı şekilde yapılabilmektedir. Yetkili sistemi kontrol edip onayladıktan sonra sistem çalışmaya devam etmektedir (Şekil 3.54).



Şekil 3.54. İnternet sitesi ana sayfası

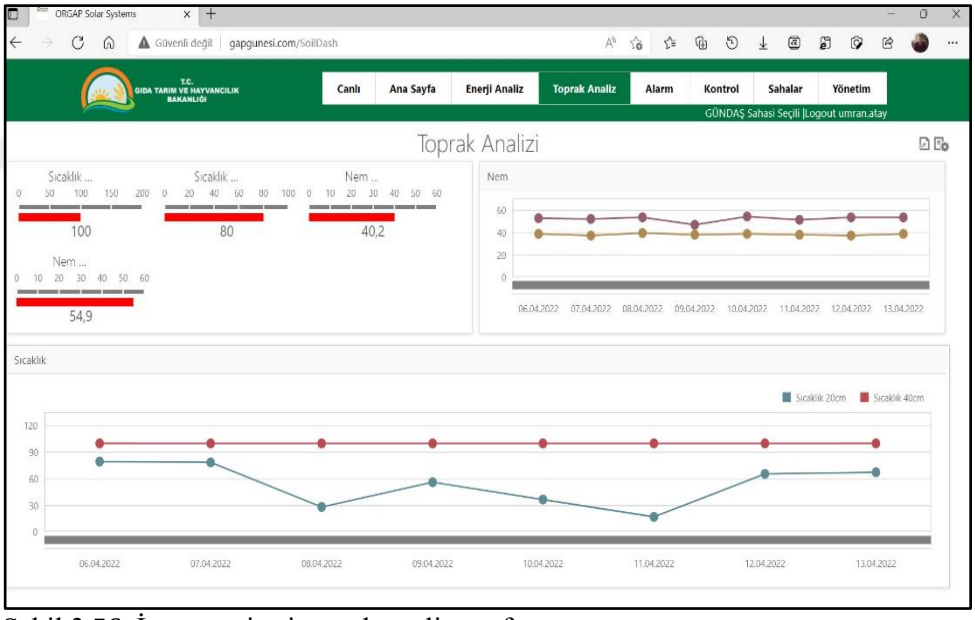
Bir başka sayfa ise enerji analiz sayfasıdır. Bu sayfa günlük değerleri gösterebildiği gibi geçmişe dönük ölçüm sonuçlarını da sağ üst köşedeki sayfa logolu linkten indirme imkânı oluşturmaktadır. Böylece geçmişe dönük analizler yapma imkânı vermektedir (Şekil 3.55).



Şekil 3.55. İnternet sitesi enerji analiz sayfası

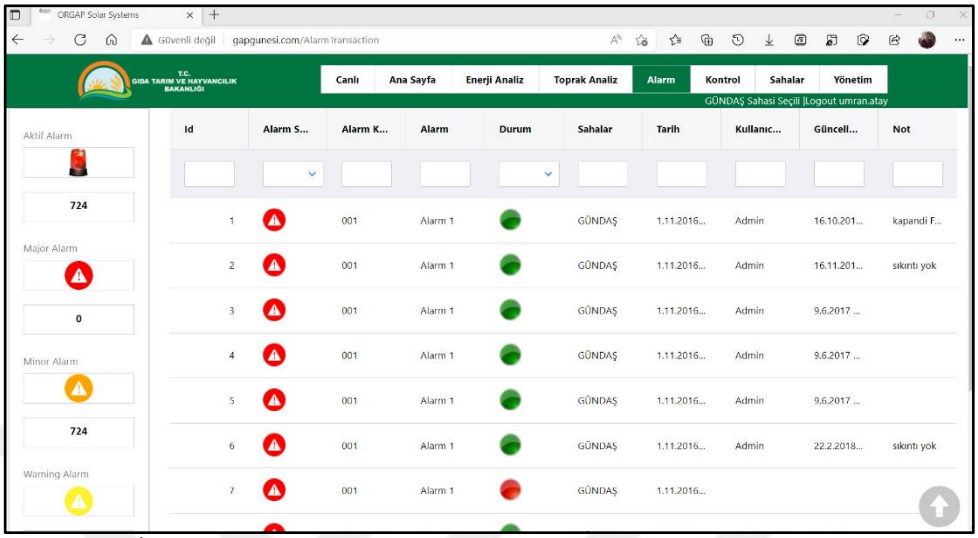
Bu sayfada sistemin kapalı olup olmadığı, günlük güneşten ve toplamda üretilen elektrik miktarını, şebeke akım volt değerleri, sürücü çıkışı akım volt değerlerini, akü voltaj grafiğini, enerjiye göre tüketim miktarını grafik olarak, çekilen su miktarını vs. ölçüm ve grafiklerin gösterildiği sayfadır.

Bir sonraki sayfa toprak analiz sayfasıdır. Burada arazinin belirli bir noktasında toprak altında 20 ve 40 cm'lik derinliklere yerleştirilen sıcaklık ve nem sensörlerinin göndermiş oldukları verileri içermektedir. Aynı şekilde sayfanın sağ üst köşesinden geçmişe dönük verilerin çekilmesini sağlayan bir buton mevcuttur (Şekil 3.56).



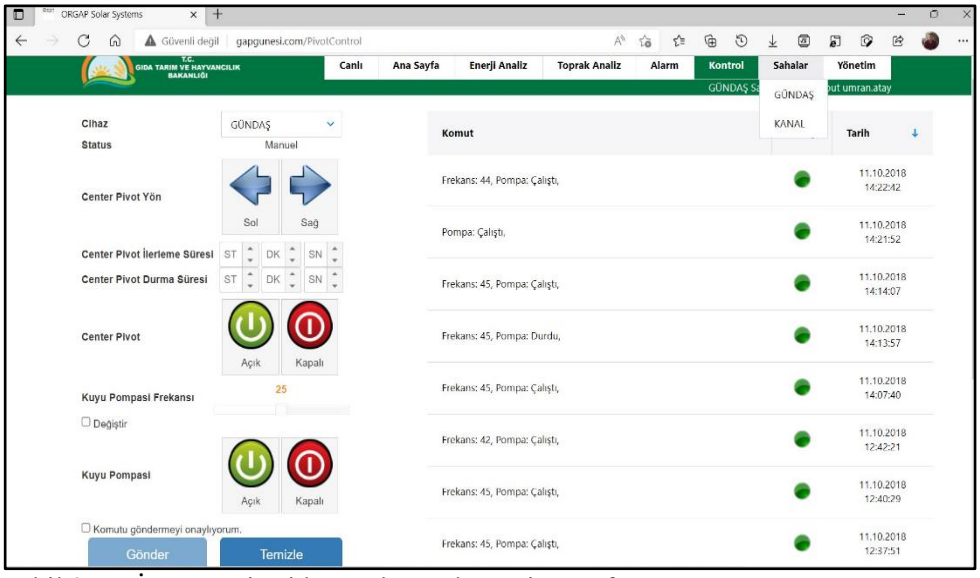
Şekil 3.56. İnternet sitesi toprak analiz sayfası

Bir sonraki sayfa alarm sayfası olup tüm ikazların listelendiği sayfadır. Geçmişe dönük tüm sorunları inceleme fırsatı vermektedir (Şekil 3.57). Olağan dışı durum uyarısı vermekte ve hata kaydedilmektedir.



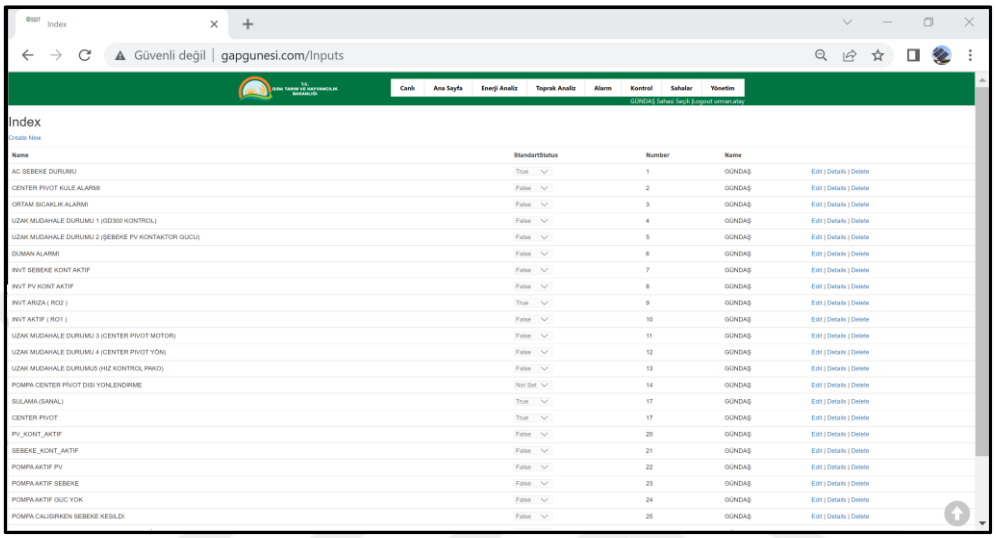
Şekil 3.57. İnternet sitesi alarm sayfası

Bir sonraki sayfa kontrol sayfası olup uzaktan haraketli sulama sisteminin saha seçimi, hareket yönü, hızı, hareket komutu, sürücü frekans kontrolü, dalgıç pompanın çalıştırılması ve komutu butonlarının yer aldığı sayfadır (Şekil 3.58).



Şekil 3.58. İnternet sitesi kontrol ve saha seçim sayfası

Son olarak yönetim sayfası mevcuttur. Buradaki kullanıcı ayarları, kamera IP numaraları, saha ve genel ayarların yapıldığı bölümdür (Şekil 3.59).

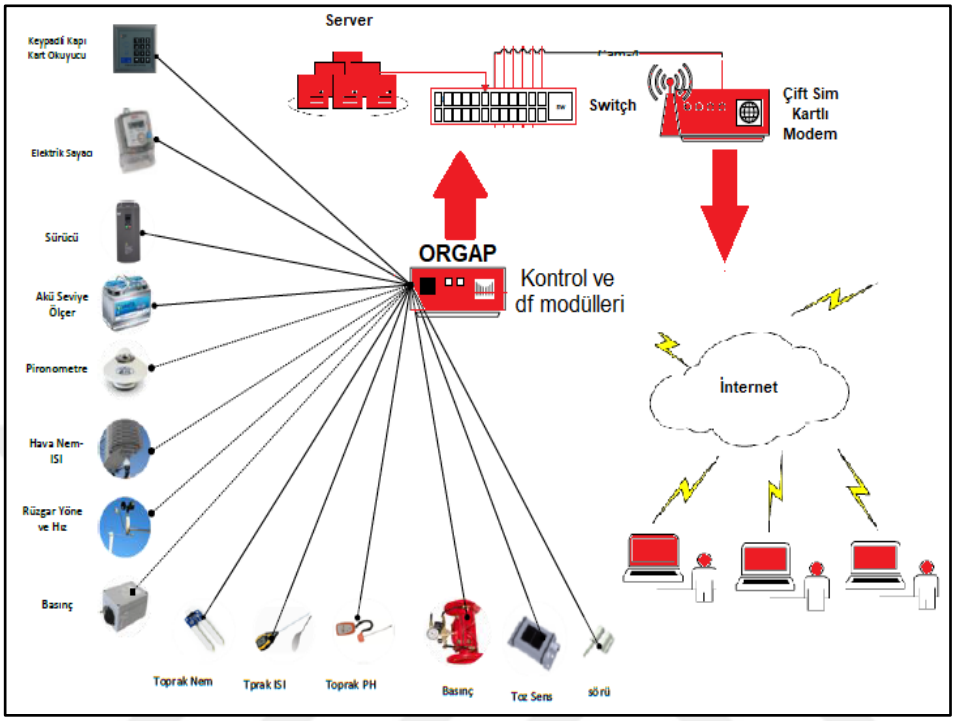


Şekil 3.59. İnternet sitesi yönetim ve ayarlama sayfası

3.2.2. Sistem Performans Ölçüm Metodolojisi

3.2.2.1. Sistem Bünyesinde Kurulu Olan Ölçüm Sistemi

Kontrol modülü içinde ana kart, yazılım, micro SD kart mevcuttur. Bu yazılım ile DF modülleri ile sensör bilgilerini toplayıp üzerlerindeki röleye göre açma- kapama yaparak uzaktan erişimi mümkün kılmaktadır. Sistem dahilinde kurulu olan debimetre, basınç sensörü, sıcaklık sensörleri, elektrik sayacı, akü seviye ölçer, DC çıkış ölçer, nem sensörleri, ışınım ölçer, hava bağıl nemi, basıncı ve yönünü ölçen cihalar mevcut olduğu gibi ayrıca ekstra konulacak cihaz alt yapısı da mevcuttur. Diğer bir deyişle, sistem parametre ölçümlerini ihtiyaca göre çeşitlendirilebilecek alt yapıya sahiptir (Şekil 3.60).



Şekil 3.60. Sistem performans ölçüm şeması

Debimetre, pompa sürücüsünün frekansı, su basıncı, piranometre, akım ve gerilim dalgalanmaları gibi parametre ile cihazlar direkt sistemin performansı ile ilgili oldukları için ana otomasyon üzerinden kesintisiz ölçüm yapmaktadırlar. Herhangi bir sensördeki anormal değişime direkt sistem müdahale etmekte veya ikaz vermektedir. Sıcaklık sensörleri, elektrik sayacı, akü seviye ölçer, nem sensörleri, hava bağıl nemi, basıncı ve yönünü ölçen cihazlar ise yardımcı ölçüm sistemleridir.

Bu sistemin amacı geliştirilebilecek bir alt yapıya sahip olup değişik ihtiyaç ve talepleri karşılayacak şekilde kurulmuştur. Mevcut cihaz ve sensörler ihtiyaca göre eksiltilip çoğaltılabilir veya yedekli olarak çalıştırılabilirler. Çünkü arazi koşullarında birden fazla ölçüm cihazının kurulması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Böylece sistem içinde hem performans ölçümü yapan cihazlar mevcut olup hem de bazı parametreler kontrol altına alınarak sistemin sorunsuz çalışmasında

süreklilik sağlayacak cihaz ve bileşenleri mevcuttur. Ölçümü ve hesaplaması yapılan veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Pompanın çalıştığı değişken enerjinin kaynağı (şebeke veya PV modüllerden),
- Pompanın şebekeden ve PV modüllerden çalışır iken çektiği su miktarı (m^3/h),
- Modül yüzey, gölge ve kabin sıcaklıkları (^oC),
- Pompa sürücüsünün frekansı,
- Dalgıç pompanın basıncı, rüzgâr yönü ve hızı (m/s),
- Hava bağıl nemi (%),
- Anlık ve toplam sulama suyu debisi (m^3/h),
- Sulama sistemi girişindeki sulama suyunun anlık basıncı (bar),
- Şebeke hattındaki, PV modüllerin, akülerin, inverterlerin ve dalgıç pompanın; akım (A), gerilim (V) ve güç (kW) değerleri,
- Piranometre ile dakikalık, saatlik günlük, aylık ve yıllık güneş ışınım değerleri (W/m^2),
- Önlenen CO_2 salım miktarı (kg),
- Sistemde gün içinde, son bir ayda, son bir yılda ve kurulumdan itibaren üretilen enerji (kWh), sistem verimi vb. değerlere sitede ulaşılabilir.

3.2.2.2. Sistem Bünyesinde Bulunmayan Ölçüm Sistemi

Hareketli sulama sisteminin performans ve genel durumunun ortaya çıkarmak üzere, 29 Ağustos 2019 tarihinde PV modüllerin;

- IV ölçümü,
- İzolasyon ölçümleri,
- Elektrolüminesans (E.L.) ölçümleri,
- Termal ölçümleri ve
- Elektrik güç kalite parametre ölçümleri gerçekleştirilmiştir

Güneş enerjisi santrallerinin performansını denetleyebilmek ve ölçümlemek için IEC 62446, IEC 60891, IEC 61215 ve 61646 kapsamında yukarda yazılı testlerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu ölçümler neticesinde; fotovoltaik sistemin kurulumu esnasında veya çalışması neticesinde sistemin verimliliğini etkileyip performansını düşürecek durumlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.2.2.2.(1). IV Ölçümü

Sahada kurulu olan PV modüllerin IV (Akım-Gerilim) testi ile elektriksel performans değerlendirilmesinde PV modüllere ait çalışma şartlarındaki gerçek etiket değerlerini belirlemek üzere sahada mekanik konstrüksiyon üstündeki belirlenen bazı PV modüllerin IV ölçer ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. IV ölçümlerinde iki adet farklı cihaz kullanılmıştır. İlki HT Solar IVe marka ve diğeri ise EKO MP-11 markalı IV ölçüm cihazlarıdır. IV ölçerlerin kullanmalarının nedeni PV modüllerin etiket ile gerçek arazi şartlarındaki değerleri karşılaştırma imkânı oluşturmaktır. Ayrıca modüllerde biriken tozun modül verime etkisini incelemektir. PV modüllere ait tozluluk faktörlerinin üretime katkısını incelemek üzere seçilen modüller ilk başta tozlu ölçülmüş ve daha sonra yıkanarak tozsuz olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. EKO MP-11 Marka IV Ölçer, IV performans ölçümleri ve PV modüllerinin veya dizilerinin incelemesini sağlar. Ölçüm fonksiyonlarının doğrudan kontrolü ve ölçüm sonuçlarının analizi için; ana ünite bir tuş takımına ve grafik LCD ekrana sahiptir. MP-11, PV modül testini çok kolay hale getirmek için hepsi bir arada bir ölçüm çözümü sunar, bu nedenle ışınım sensörü, sıcaklık sensörleri, kablolar ve kontrol için PC yazılımı ve kontrol için genişletilmiş veri analizi gibi tüm gerekli aksesuarlara sahiptir. MP-11 IV Ölçer, herhangi bir PV modülü türünün ve dizelerinin de adlandırıldığı dizilerin etiketlerinde var olan parametrelerine (V_{max}, I_{max}, P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, FF, T_{mod}, η_{eff}) dayanarak IV eğrilerini ölçebilmektedir. MP-11 IV Ölçer, ana ekran ünitesinde görüntülenen IV eğrisi ölçüm verilerini otomatik olarak IEC 60981 ve JIS C8914

standartlarına uygun değerler olan STK olarak bilinen STC değerlerine dönüştürülür.

Bu şekilde, STC değerlerine dönüştürülen ölçüm değerleri, farklı çevresel veya atmosferik koşullar (Global radyasyon, Sıcaklık) sırasında veya farklı modül türleri arasında karşılaştırıldığında nicel olarak daha iyi bir şekilde karşılaştırıla bilinir.



Şekil 3.61. IV ölçüm cihazları ve setleri

Bu cihazlar ile tüm PV dizilerinin IV curve ölçümlerini çıkartıp LID, PID, micro-crack, degredasyon vs. gibi bir problemi olup olmadığını denetlenebilmektedir. IV testi sonucunda aşağıdaki konularda bilgi sahibi olunabilir.

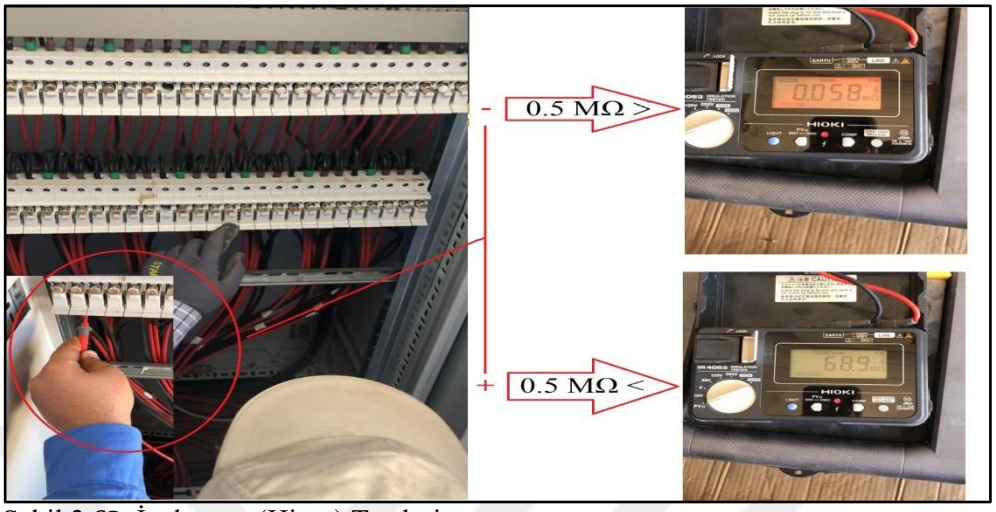
- Modülleriniz gerçek gücünü öğrenebilirsiniz. Fabrika verileri ile tutarlı olup olmadığını kontrol edebilir,
- Güneş modüllerinde LID (Light induced degredation- Işık Kaynaklı bozulma) ve PID (Potential induced degredation- Potansiyel kaynaklı bozulma) kaynaklı kayıpların tespiti,
- DC kablolarınızda herhangi bir kesik/fare yemesi gibi sebeplerden kaynaklı toprakla temas veya kaçağın olup olmadığı,
- PV modüllerin by-pass diyotlarında herhangi bir problemin olup olmadığı,

- Gölgeleme kaynaklı problemlerin tespiti,
- Modül serilerindeki muhtemel hatalı bağlantıların tespiti yapılabilmektedir.

3.2.2.2.(2). İzolasyon Ölçümleri

Fotovoltaik üretim sistemleri için izolasyon direncinin ölçümü için Hioki IR 4053 marka izolasyon ölçüm cihazıyla ölçümler yapılmıştır. Hıokı IR4053 dijital izolasyon direnci ölçüm cihazı PV modüller tarafından üretilen güneş enerjisinden etkilenmeden doğru ve güvenli bir şekilde sadece 4 saniyede izolasyon direnci değerini ölçen bir cihazdır.

Ölçüm yöntemi, PV modüller 500 V'luk bir gerilime tabi tutularak modül-toprak arası oluşan izolasyon direncine bakılır. Minimum 0,5 MΩ değerinden daha yüksek değerler elde edilmelidir. Bu hem PV modüllerde bir kaçak olmaması ve insanlara zarar vermemesi, hem de eviricilerin devre dışı kalmaması için önem arz etmektedir. Bu ölçüm sonucunda aşağıdaki konular hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Kablolarda bir zarar olup olmadığı, PV modüllerde DC akım tarafında herhangi bir faz-toprak hatasının olup olmadığı ve sistemi devre dışı bırakacak izolasyon direncini etkiyen herhangi bir problem olup olmadığı tespit edilebilmektedir (Şekil 3.62).



Şekil 3.62. İzolasyon (Hipot) Testleri

3.2.2.2.(3). Termal Kamera Çekimleri

Sisteminin performans ve genel durumunun ortaya çıkarmak üzere, sulama yaparken termal görüntüleme yapılmıştır. Termal görüntüleme neticesinde PV modüller üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir. PV modüllerin kurulumuyla çalışması neticesinde sistemin verimliliği ve PV modüllerin arızaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Testo 885-2 marka termal kamera ölçüm sonucunda aşağıdaki yazılı konularda bilgi sahibi olunabilmektedir. PV modüllerede zarar görmüş hücre olup olmadığı, Bypass diyodu, junction-box gibi modül malzemelerinde beklenmeyen bir ısınmanın tespiti ve gölgelenme yapan çevre etmenlerinin modüllere zararı olup olmadığı gibi verilere ulaşılabilmektedir. Ayrıca hiç devreye alınmamış dizilerin olup olmadığı ve PV modüllerin gerçek çalışma şartlarında modül üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde modüllerin direkt performanslarını etkileyen sıcaklık davranışları incelenmiştir.

3.2.2.2.(4). Elektrolüminesans Testi

Elektrolüminesans (EL) optik ve elektriksel bir olgudur ve malzemenin içinden geçen elektrik akımına veya çok güçlü elektriksel alana tepki olarak ışık yayma durumudur. PV modüllerin çıkış gücünü etkileyen ve gözle gözükmeyen hasarların, kusurların yerinde/dış sahada tespiti ile elektrolüminesans incelenmesi için testone Greateyes LumiSolar Outdoor test sistemi kullanılmıştır. PV modüllerinin fotoğrafı çekilerek hücrelerin hem imalat hem de saha kurulum aşamasında zarar görüp görmediğini görülebilmektedir (Şekil 3.63).



Şekil 3.63. Elektrolüminesans Testi

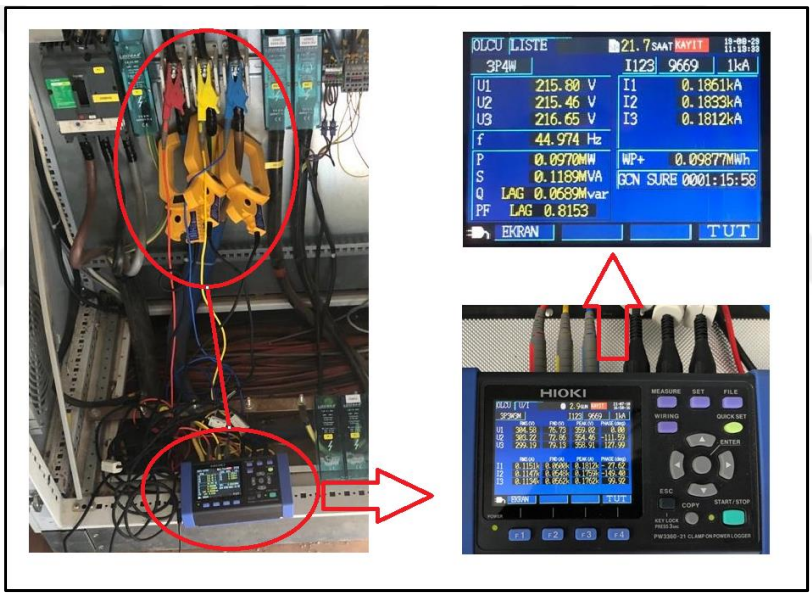
Bu ölçüm sonucunda

- Hücrelerin yapısı,
- Hücrelerde bir kırık v.s. olup olmadığı
- Montaj kaynaklı sıkıntılar ve
- IV ölçümlerdeki düşük güçlü PV modüllerin kaynağını belirlemede kullanılmaktadır.

Bu test modülün gücü hakkında bilgi vermez. Sadece mevcutta IV curve ölçümünde bir probleme rastlanmışsa kaynağı hakkında bilgi verebilir.

3.2.2.2.(5). Güç Kayıt Cihazı

PV destekli sulama sisteminde tüm elektriksel güç verilerinin ölçülmesi için güç datalogger ve clamp on sensor kullanılmıştır. Tek fazdan üç faza kadar olan hatlarda gücü doğru ve güvenli bir şekilde ölçmek için pens sensör girişini kullanan çok kanallı güç ölçümü yapabilen bir cihazdır. Sürücü çıkışına clamp on sensorler montajı Şekil 3.64'te gibi yapılmıştır. Daha sonra güç kayıt cihazına bağlantısı yapılıp ölçümler alınmıştır. Böylece pompa; PV modüller veya şebeke kaynaklı çalıştığında sürücü çıkışında çektiği güç tespitlerini yapmak için ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.64. Elektriksel güç verilerinin ölçülmesi

3.2.3. Sistem Maliyet Metodolojisi

2017 yılına ait PV sisteminin ile elektrik şebekesinin yatırım maliyetleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Şebeke maliyetlerinde elektrik şebekesinin bulunma mesafesi yatırım maliyeti etkilemekte olup mesafe artıkça maliyette artmaktadır.

Çizelge 3.4. PV sistem ile elektrik şebekesinin yatırım maliyetleri

Sistemler			Toplam Tutar (TL)
PV sistem (175 kWp)			534 481,00
Şebeke sistemi (110 kW pompa için)	Pano kurulumu	3 000,00	109 000,00
	Pano kablosu ve trafo kurulumu	38 000,00	
	En az 1 km'lik kablo, direk ve işçilik gideri	68 000,00	

2017 yılına ait PV sistemi ile elektrik şebekesinin işletme maliyetleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. PV sistem ile elektrik şebekesinin işletme maliyetleri

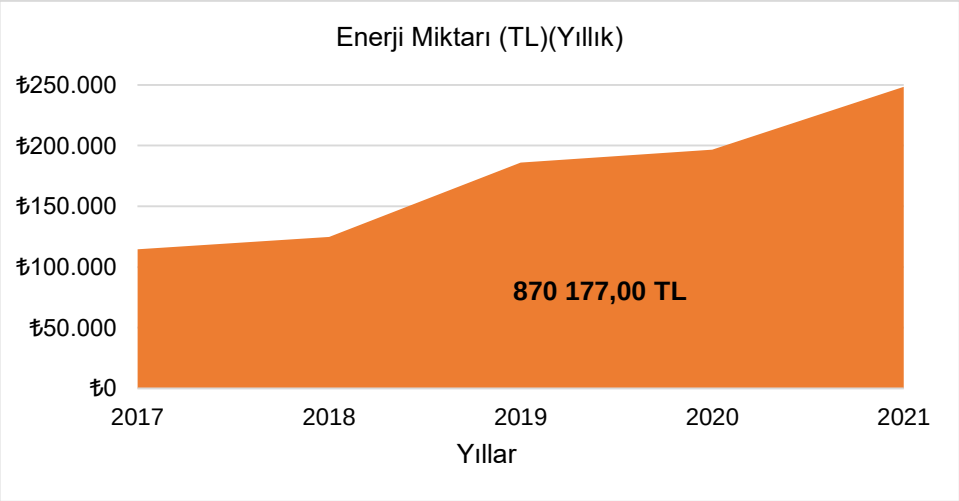
Sistemler		Toplam tutar (TL/yıllık)	
PV sistem (175 kWp)	Bakım giderleri		400,00
Şebeke sistemi (110 kW pompa)	Bakım giderleri	4 000,00	102.400,00
	Arıza giderleri	3 000,00	
	İşçilik	3 000,00	
	Elektrik giderleri (yıllık) (0,4 TL)	92 400,00	

PV sisteminde elektrik giderleri olmadığından sadece şebeke sistemine dahil edilmiştir. İşletme ve bakım maliyetlerinde şebeke sistemi için kullanılan elektrik giderleri sistemin ilk kuruluş yılından, 2021 yılına kadar hesaplanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Şebeke sistemi için hesaplanan elektrik giderleri

Yıllar	**Enerji miktarı (TL)(Yıllık)**
2017	114 576,00
2018	124 740,00
2019	185 955,00
2020	196 581,00
2021	248 325,00

Gündaş işletmesinden geçmiş yıllara göre alınan bilgiler çerçevesinde burada 110 kW pompa, günlük 10 saat çalışma süresi, aylık gün sayısı, çalıştırıldığı ay, 2017 yılından günümüze elektrik fiyatları ile yıl bazında ayrı ayrı çarpılıp toplandığından enerji miktarı Şekil 3.65'te görülmektedir.



Şekil 3.65. Beş yıllık toplam tüketilmesi gerekli olan enerji bedeli

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; 175 kWp gücündeki PV modüllerin, 132 kW değişken frekanslı pompa sürücüsünün, 110 kW büyük güçlü derin pompaj tesisindeki modern dairesel hareketli (sentır pivot) sulama sistemine entegre edilerek kullanımı, uzaktan takip ve kontrolünü yapan web otomasyonuyla aynı ana sistem ile bir arada senkronize şekilde birleştirilerek tasarlanması ve kurulması çalışmamızın ana çıktısını oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu Dünya'da hibrit olarak PV modülleri kullanarak, bu kadar büyük güçlü bir pompanın modern sulama sistemlerine entegre edilerek çalıştırılmasına örnek olacak bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum çalışmamızı özgün yapmaktadır.

Üretim alanında; değişik dönemlerde farklı ekili ürünlerde (buğday-mısır-yonca), değişken sulama suyu isteğine göre ihtiyacı karşılamak için geliştirilen ve kurulumu yapılan bu sistemin çalışması aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Pompa sürücüsü (132 kW), PV modüllerinden (160 kW) aldığı DC elektriği bünyesindeki bulunan çeviriciler sayesinde 3 fazlı AC akıma dönüştürmektedir. Öncesinde bünyesindeki hız kontrol bileşeni sayesinde pompayı (110 kW) demeraj akımı oluşturmadan çalıştırmaktadır.
- Çalışmaya başlayan pompa center pivotun ihtiyaç olduğu suyu yaklaşık 80 metre derinlikten 4 bar basınç ile ortalama 200 m^3/h debi ile sulamaya göndermektedir.
- Dairesel hareketli sulama sistemi bünyesine aldığı suyu araziye yağmurlama sulama yöntemiyle ve hareketli tekerlekleriyle dağıtmaktadır. sentır pivotun hareketi yine PV modüllerinden alınan DC elektrik (15 kW) ile önce MPPT'lere daha sonra akü grubuna (16 adet jel aküye), daha sonra 3 fazlı solar inverter grubuna (15 kWe)**,** en sonunda pako şalter aracılığıyla dairesel hareketli sulama sisteminin 7 adet olan hareket motorları çalıştırılarak dönü hareketi gerçekleştirilmektedir.

- Dairesel dönme hareketinin enerji kaynağı akülerdir. Aküler hem PV modüller ile hem de şebeke elektriğiyle şarj olabilmektedirler. Aküler ayrıca otomasyon ve diğer yardımcı birimlerin enerjini sağlamaktadır.
- Pompa sürücü hibrit özelliğinden dolayı şebeke elektriği kesik olmadığı zamanlarda örneğin gece sulamasında da kullanılabilmektedir. Ayrıca gündüz güneş ışınımı yetersiz iken ve şebeke elektriği mevcut olduğunda otomatik ve manuel ile geçişte yaptırılarak kesintisiz sulama imkânı oluşturulmaktadır.
- Tüm sistemi çalıştıran ana enerji kaynağı PV modüllerde üretilen elektriktir. Şebeke elektriği ise yedek enerji durumundadır.
- Bu enerji kaynakları ayrıca ana otomasyon sisteminin enerji kaynaklarıdır. Ana otomasyon sistemi; sulama sistemi, sulama sisteminin dairesel hareketini sağlayan sistem, güvenlik sistemi, ana kontrol sistemi ve web otomasyonundan oluşmakta ve bu 4 sistemi yönetmektedir. Buradaki tüm sensör ve röleler otomasyon sistemiyle çalışmaktadır.
- Böylece geliştirilen ve kurulumu yapılan "derin kuyulu büyük güçlü dalgıç pompaya dairesel hareketli sulama makinesi ile hibrit olarak PV modüllerle entegre edilerek uzaktan takip ve kontrol edilebilen bu sistemin" tüm bileşenleri kontrollü bir şekilde çalışarak her birimden maksimum verim alınması hedefiyle çalışmaktadır.

Yukarıda kurulumu özetlenmiş sistemin yörede çeşitli nedenlerden dolayı şebeke elektriğinde kesintiler olmakta ve üretim alanları etkilenmektedir. Kurulum yapılan sahada da aynı şekilde bahsi geçen sorunlar mevcuttur. Bu çalışma kapsamında sahaya kurulan PV sistem ile birlikte tarımsal üretim yapılamayan veya eksik yapılan alanlarda artık kesintisiz ve sorunsuz elektrik üretimi yapılmaktadır. Böylece enerji kaynaklı sorunların önüne geçişmiştir. Sistemin sağlıklı bir şekilde çalıştığına dair bulgular bu bölümde irdelenmiştir.

4.1. Sisteminin İşletme Bulguları

Çalışma kapsamında planlanmış tüm aşamalar gerçekleştirilmiş olup; çalışmanın en büyük çıktısı sistemin 2022 yılı itibariyle hala aktif ve sorunsuz çalışmasıdır. Kurulumu yapılan sistemin değişik zamanlara ait arazi koşullarındaki performans verileri alınmıştır.

4.1.1. Pompaj Sisteminde Elde Edilen Bulgular

İşletme bulguları sırasında 500 da alana ekilen buğday ve mısır bitkilerin su ihtiyacını karşılaya bildiği tespit edilmiştir. Ayrıca pompa çıkışana T bağlantısı yapılarak özellikle buğday bitkisinde farklı yerde olan arazilerinde yağmurlama sulama ile yöntemiyle 500 da alan daha sulanmıştır. Böylece bu sistem ile tarla bitkilerinde sulana bilen alan 1 000 dekara ulaşmıştır.

Ürünün su isteğine göre dairesel hareketli sulama sisteminin ilerleme hızında değişkenlik yapılabilmektedir. Dairesel hareketli sulama sistemi % 20–40 civarında bir hız oranıyla sulama yaptırılmaktadır. Hız oranı % 40 değerinde çalıştırıldığında yaklaşık tam turu 24 saatte civarında tamamlayabiliyor. Tarlanın su isteği fazla ise makine daha yavaş % 10 hız oranında hareket ettirilmekte, su isteği az ise daha hızlı % 40 hız oranında hareket ettirilebilmektedir.

Sistem kurulumundan önce eski dalgıç pompa motoru yıldız/üçgen bağlantısı ile çalışmakta ve demeraj akımı çekmekte idi. Bu durum da 3 katından daha fazla enerji çekme söz konusu olduğu için modül ve sürücü gücü daha büyük seçilmesi gerekliyken değişken frekanslı pompa sürücüsünün frekansı değiştirilebilme özelliği sayesinde düşük frekanstan ihtiyaç olan frekansa kademeli olarak çalıştığı için sistemin ihtiyacı olan basınç ve debi ayarlanabildiği için bu sorun aşılarak sistemin kurulum maliyeti azaltılmıştır.

Kullanılacak pompanın seçimi metot kısmındaki (3.2.1.1) yöntemle yapılmıştır. Öncesinde pompa teste tabi tutulmuş olup pompa motoru 50 Hz seviyesinde, değişik akım ve volt değerlerinde aşağıdaki veriler elde edilmiştir;

- Volt 380 ve A_n 222 ise A_a 1095, verim %86, Cosφ 0,88, rpm 2910,

- Volt 400 ve A_n 211 ise, A_a 1158, verim %86, Cosφ 0,88, rpm 2920,
- Volt 415 ve A_n 207 ise, A_a 1206, verim %86, Cosφ 0,86, rpm 2920.

Toplam manometrik yükseklik 140 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer göz önüne alındığında; test sonucunda motor verimi % 86 (Mv) seviyelerinde, pompa debisi 207 m^3/h (57,58 l/sn), gerilim 405,77 V, akım l99,38 A, Cosφ 0,859, aktif motor giriş gücü 120,37 kW, pompa giriş gücü 103,52 kW, pompa verimi 0,7661 (Pv), pompa çıkış gücü 79,31 kW olarak ölçülmüştür. Toplam verim ise % 66 bulunmuştur.

Pompanın verimliliği hesaplanırken test merkezinde kullanılan formüller ve kullanılan pompaya göre bulunan sonuçların detayları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Aktif motor gücü (kW)} = \text{Gerilim (V)} * \text{Akım (A)} * \text{Cosφ} * \sqrt{3}/1000 \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'e göre **aktif motor gücü (giriş) 120,37 kW** bulunmuştur.

$$\text{Pompa giriş gücü (kW)} = \text{Aktif motor gücü(kW)} * \text{Motor verimi(Mv)} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2'ye göre **pompa giriş gücü 103,52 kW** bulunmuştur.

$$\text{Pompa çıkış gücü (kW)} = \text{Pompa giriş gücü (kW)} * \text{Pompa verimi(Pv)} \quad (4.3)$$

Eşitlik 4.3'e göre **pompa çıkış gücü 79,31 kW** bulunmuştur.

$$Tv\ (\%) = Mv * Pv * 100 = Pompa\ çıkış\ gücü/\text{Aktif motor gücü (kW)} \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.4'e göre toplam verim % 66 (T_v) bulunmuştur.

Dalgıç pompa arazideki yerine montajı yapılarak ve sistemin gerçek arazi şartlarındaki sürtünme ve yük kayıpları da dahil edilerek 16.06.2020 tarihinde toplam sistem verimi % 54 olarak ölçülmüştür.

İdeal sulama yapılması için hareketli sulama sisteminin girişinde gerekli olan basıncın 4 bar ve debinin 200 m^3/h ayarlanması için bir adet değişken frekanslı pompa sürücüsü sisteme dahil edilmesiyle istenen değerler ayarlanabilmiştir.

Böylece arazi koşullarında yapılan denemeler ve hesaplamaların sonucu değişken frekanslı pompa sürücüsünün frekansının maksimum 45 Hz kademesinde istenen parametreleri sağladığı tespit edilmiştir. Pompa sürücüsünün 45 Hz'de ideal çalışma frekansı olduğu, daha düşük frekansta çalışması durumunda pompa debisi ve basınçta düşüşler olduğu tespit edilmiştir web sitesindeki ilgili görsel Şekil 4.1'de verilmiştir.



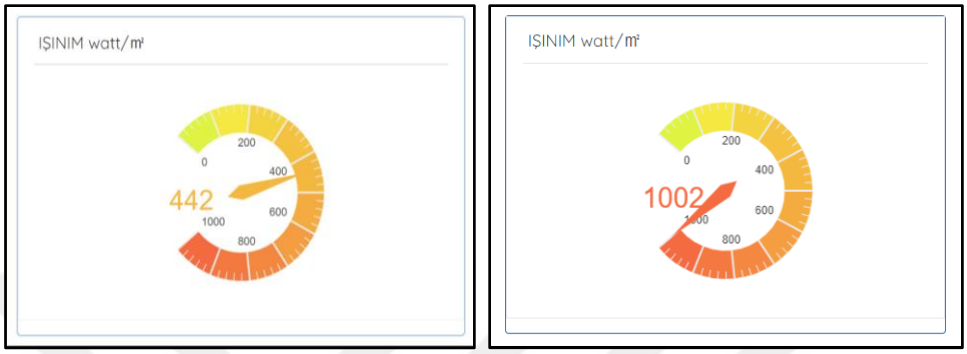
Şekil 4.1. Web sitesindeki ilgili sürücü frekans göstergesi

Pompa çalıştırıldığında üç sebepten dolayı vuruntu yaptığı (kesintili çalıştığı) gözlenmiştir. Bunlar;

a. Güneş ışınımından dolayı PV modüllerin enerji üretememesi,
b. PV modüllerin üzerindeki tozlanmadan dolayı enerji üretememesi,
c. Piranometre üzerindeki kirlenmeden dolayı yeterli güneş ışınım şiddetini algılamadığından, otomasyon sistemine gönderdiği yanıltıcı veriden kaynaklanmaktadır.

Yetersiz güneş ışığında kurulu olan sistemde yapılan ışınım şiddeti ölçümlerinde pompanın emniyetli ve vuruntu yapmayacak şekilde çalışması için ışınım şiddetinin yatay düzlemde 500 W/m^2 ve üzeri olması gerektiği bulunmuştur. Bu veri temel alınarak dalgıç pompaya yol verecek şekilde ana otomasyona

tanımlanmıştır (Şekil 4.2). Ana otomasyondaki bulunan modüller ile bu işlem gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2. Web sitesindeki ilgili ışınım şiddeti göstergesi

Işınım şiddeti değerleri 500 W/m^2'den daha düşük olduğunda pompanın vuruntu yaptığı gözlenmiştir. Bu durum; pompanın debisine ve basıncına etki ettiği için sağlıklı bir sulama yapılamadığı görülmüştür. Vuruntunun devam etmesi durumunda ise pompaj sisteminde, hareketli sulama sisteminde ve bileşenlerinde büyük arızalara sebebiyet verebileceği tespit edilmiştir. PV modüllerin yüzeyi çok kirlendiğinde ise vuruntunun başlangıç değeri 500 W/m^2 ve üzerine yükseldiği gözlenmiştir. Bunun dışından güneş ışınım şiddetinin ölçüldüğü piranometrenin üzerinin kirlenmesinden dolayı yanlış ölçüm yapmasından kaynaklı pompayı durdurmasıdır. Buradaki değer 500 W/m^2 olarak tanımlanmış ise de piranometre üzerindeki yabancı cisimlerin gölgesinden dolayı sisteme yanlış veri gönderdiği için ana kart modüllerdeki röleye kapatma komutunu gönderdiği tespit edilmiştir. Bunun sonucunda dalgıç pompaya dur-kalk yaptırabilmektedir. Tüm bu sıkıntılar yazılım ile giderilmiştir. Örneğin ışınım düşük olsa da PV modüllerden gelen akım ve gerilim yeterli miktarda ise sulamaya devam et şeklinde ek talimatlar sisteme tanımlanmıştır.

4.1.2. Otomasyon Sisteminden Elde Edilen Bulgular

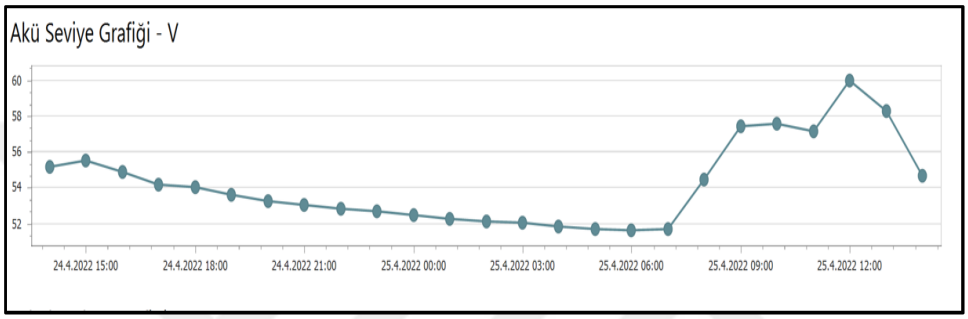
Otomasyon sisteminde bulunan kontrol modülündeki yazılımla "PV destekli ve uzaktan kontrol edilebilen dairesel hareketli sulama sistemi" çalışırken bileşenlerinden biri olan web otomasyonu yazılımla gelen birçok parametreyi kontrol ve uzaktan müdahale edebilmemizi sağlamaktadır. Sistem dahilinde kurulu olan debimetre, basınç sensörü, sıcaklık sensörleri, elektrik sayacı, akü seviye ölçer, DC çıkış ölçer, nem sensörleri, ışınım ölçer, hava nemi, basıncı, rüzgâr hızı ve yönünü ölçen cihazlar mevcut olduğu gibi ayrıca ekstra ihtiyaç olabilecek cihaz alt yapısında mevcuttur. Web otomasyonuna senkronize olarak bağlı çalışan internet sitesinin bulgularına bakıldığında 2017 yılından beri kurulu olan PV modüllerden 212 782 kWh enerji kullanan dalgıç pompa toplam 433 433 m^3 sulama suyu çıkartarak sulama sistemine göndermiştir. Bugüne kadar önlenen CO_2 miktarı 148 947 kg olarak hesaplanmıştır (CO_2 salım katsayısı 0,7 olarak kabul edilmiştir).

Gece ve bulutlu günlerde güneş yok iken veya yetersiz iken şebeke elektriği kullanılmıştır. Sistem kurulumunda bu yana şebekeden kullanılan elektrik miktarı 597 643,88 kWh'tır. Sulamanın aktif olup olmadığı ve birçok veri aynı şekilde sitede mevcut olup ihtiyaç halinde uzaktan takip edilebilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Web sitesinde canlı sayfasında görülen bazı veriler

Şebeke ve PV modüllerden gelen elektrik kesildiğinde dahi sistemin sürekli ve kesintisiz çalışması için aküler mevcuttur. 2017 yılından beri aküler 48 V çıkış olacak şekilde bağlantısı yapılmış olup şarjda iken 48-60 V arasında bir gerilim okunmaktadır. Web otomasyonu üzerinden takip edilmekte ve gerilimde düşme olduğunda müdahale hemen yapılabilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Web sitesindeki akü verileri

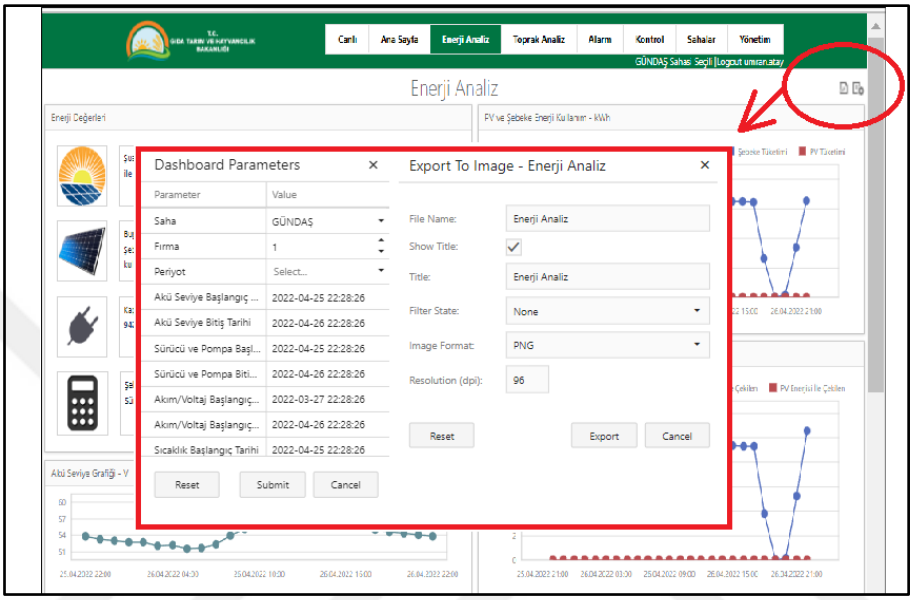
Sistemde anlık olarak gelen verilerden bazıları sistemin çalıştığı enerji kaynağı, sürücü çalışma frekansı, akü seviyesi ve günlük tüketilen enerji görseli ise Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Web sitesindeki görünen anlık bazı veriler

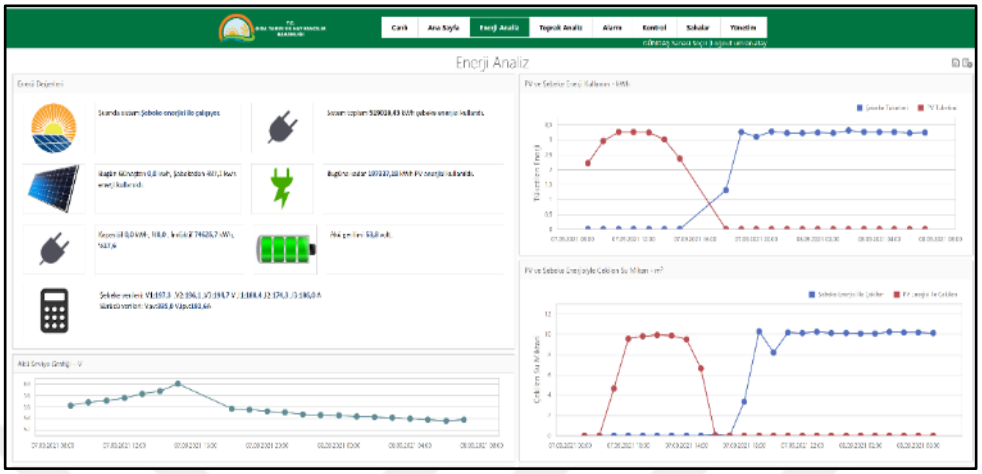
Sitede ayrıca sağ üst köşesinde bulunan veri indirme ve seçme butonları aracılığıyla istenen tarihe ait veriler grafik şeklinde ve resim ve pdf formatlarında

indirme imkânı mevcuttur. Ayrıca resim olarak indirilecek ise çözünürlük (dpi) ayarları yapılabilmektedir (Şekil 4.6).



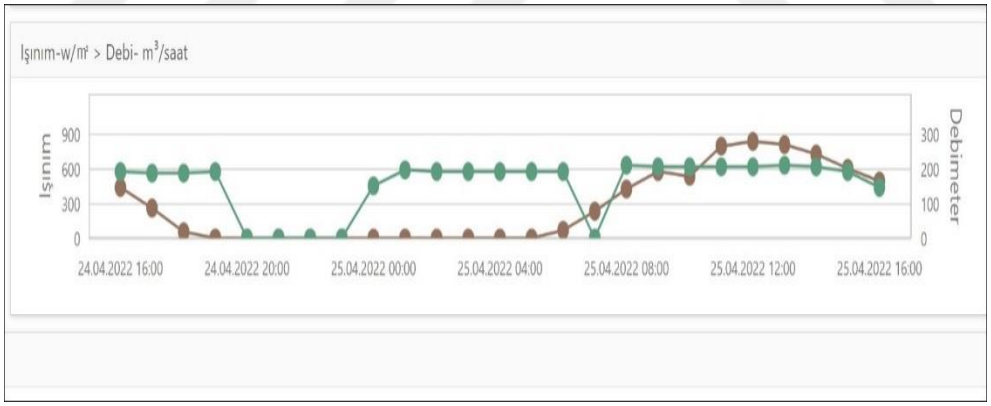
Şekil 4.6. Web sitesinden geçmiş verileri indirme penceresi

Enerji sayfasında özellikle mavi renkle gösterilen şebeke elektriğinden alınan enerji miktarı, anlık debi ve ilgili elektriksel verilerin tüm bilgilerini içermektedir. Kırmızı renkli ile gösterilen grafikler ise güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarı, anlık debi ve ilgili elektriksel verilerin tüm bilgilerini içermektedir. Özellikle bu grafikte şebekeden alınan elektriğin akım ve voltaj değerleri görülmektedir. Şebeke elektriğindeki dalgalanmalardan dolayı bazı fazlarda elektrik düşük olduğu veya hiç olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Enerji kaynağına göre verilerin görselleri

Web sitesindeki ışınım ve debi grafiği dikkatli incelendiğinde ışınım yetersiz iken veya gece şebeke ile çalıştığı, gündüz ise 500 W/m^2 ışınım şiddetini aştığında pompanın PV modüllerle çalıştığı ve öğleden sonra ışınım şiddetinin 500 W/m^2 değerinin altına indiğinde pompanın durduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Web sitesindeki ışınım- debi veri görseli

4.1.3. Aylara Göre Bazı Performans Verileri

Ana otomasyon sistemine bağlı modüle gelen ve sistem kurulumdan beri tüm zamanlarda yapılan ölçümlerden alınan verilere göre maksimum ışınım şiddeti 1.234 W/m^2 olarak (2019-04-22 12:34:17.) ölçülmüştür.

Minimum hava sıcaklığı -9,17 ^oC (2020-12-25 07:32:45), maksimum hava sıcaklığı 49,96 ^oC (2019-08-12 15:07) ölçülmüştür.

Modül maksimum sıcaklığı 79 ^oC 2020-06-09 tarihinde saat 12:46:30'da ölçülmüştür.

Maksimum rüzgâr hızı 49,75 m/s (2018-07-18 00:58:33) ölçülmüştür. Maksimum rüzgâr basıncı 1044,54 kPa olarak ölçülmüştür.

Kurulumundan beri 2017-08-26 tarihinde ve saat 11:19'da pompa sisteme anlık maksimum 250 m^3/h debide sulama suyu göndermiştir. Bu değer pompanın anlık en yüksek değeri olacak ölçülmüştür.

Aralık aylarında 20 cm derinlikteki toprak altı sıcaklık sensörünün 10 ^oC altına düştüğü, 40 cm derinlikteki sensör ise 11 ^oC civarında kaldığı görülmüştür. Yaz aylarında ise iki derinlikte sıcaklığın 30 ^oC üzeri çıktığı görülmüştür. Her iki derinlikteki nem sönsörleri ise % 20-80 seviyelerinde değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sulama ile birlikte toprakta bulunan nem artıkça toprak sıcaklığının azaldığı, düştükçe arttığı gözlenmiştir. Yaz aylarında ise bu değişkenliğin azaldığı ve çok az etkilendiği verilerden tespit edilmiştir.

Kurulumundan beri değişik dönemlerde ve miktarlarda sulama yapıldığından aylara göre birçok değişken ortaya çıkmıştır. Kurulumundan beri saniye bazında çok fazla veri olduğu için grafik üzerinden değerlendirme ancak değişken yıllardaki 12 ay için tesadüfen seçilen birkaç güne ait saatlik grafikler yorumlanmıştır. Bu anlamda değişik yıllardaki aylarda tesadüfen seçilen bazı günlere ait ölçüm grafikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.3.1. 2019 Yılı Ocak Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Ocak ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmamıştır. Daha çok kurak geçen kış aylarında bazen buğday bitkisinin ihtiyaç duyduğu nemi toprakta sağlamak amacıyla sulama yapılmıştır. Ancak saat bazlı olduğu için grafikte çok az yer kaplamıştır. Bu ayda genellikle şebeke elektriği olmayıp sadece PV modüllerden elde edilen enerji ile gece gündüz elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır. Özellikle haftalarca havanın bulutlu olduğu günlerde dahi akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.9).

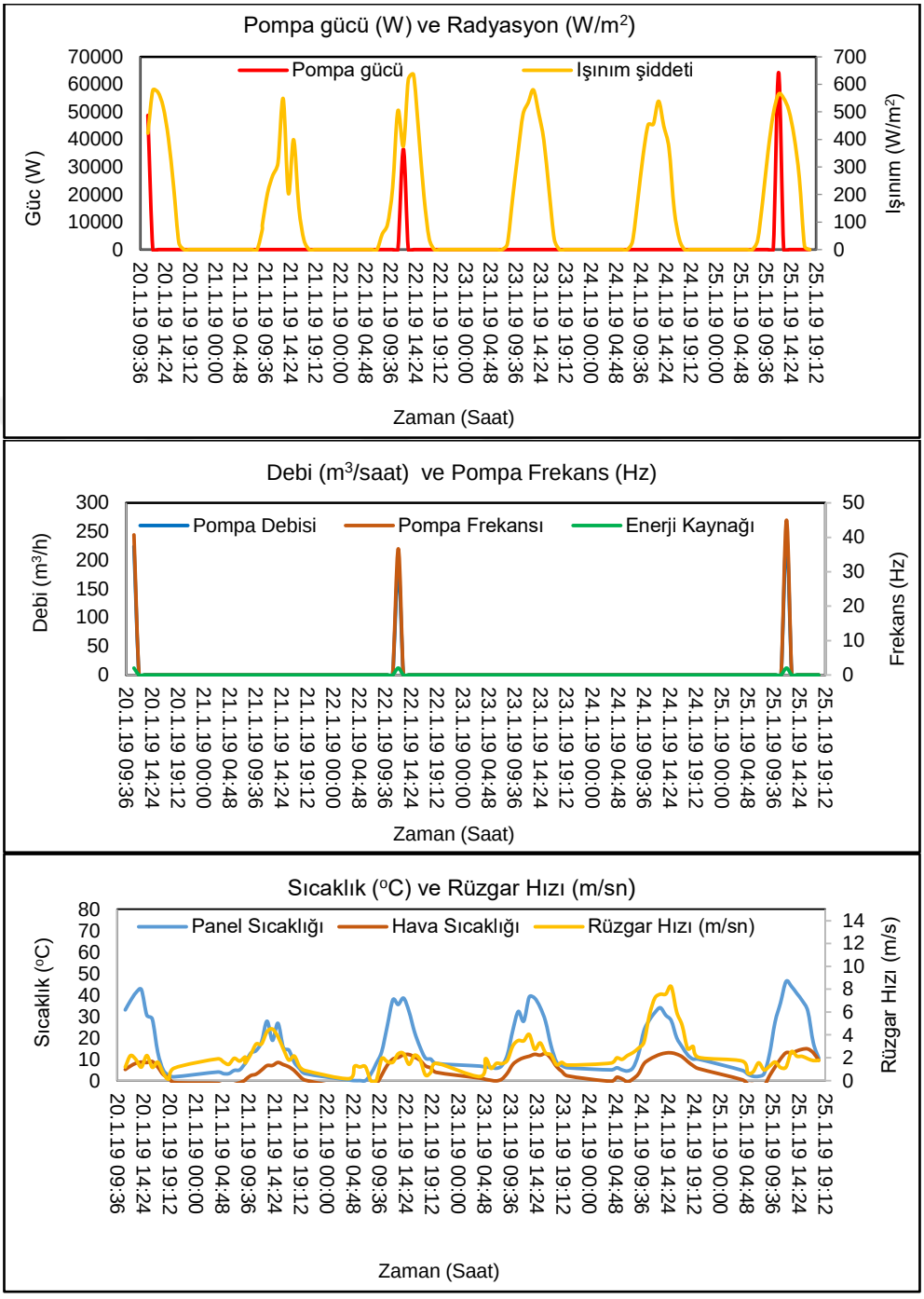
Aylık tam gün performans denemelerinde 20-25.01.2019 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.9'da görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 3 gün çalıştırıldığı görülmektedir.

Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 30-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile kış aylarında sulama yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 64 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 188-241 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığının maksimum 46,25 ^oC ve minimum ise 0^oC olduğu, ortam sıcaklığının 18,45 ^oC minimum ise -6,93 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 11,23 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsa da bağımsız olarak rüzgârlı günlerde rüzgâr olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 797 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.9. Ocak ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.2. 2019 Yılı Şubat Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Şubat ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmamıştır. Daha çok kurak geçen kış aylarında bazen buğday bitkisinin ihtiyaç duyduğu nemi toprakta sağlamak amaçlı sulama yapılmıştır. Ancak saat bazlı olduğu için grafikte çok az yer kaplamıştır.

Bu ayda genellikle şebeke elektriği olmayıp sadece PV modüllerden elde edilen enerji ile gece gündüz elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır. Özellikle haftalarca havanın bulutlu olduğu günlerde dahi akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.10).

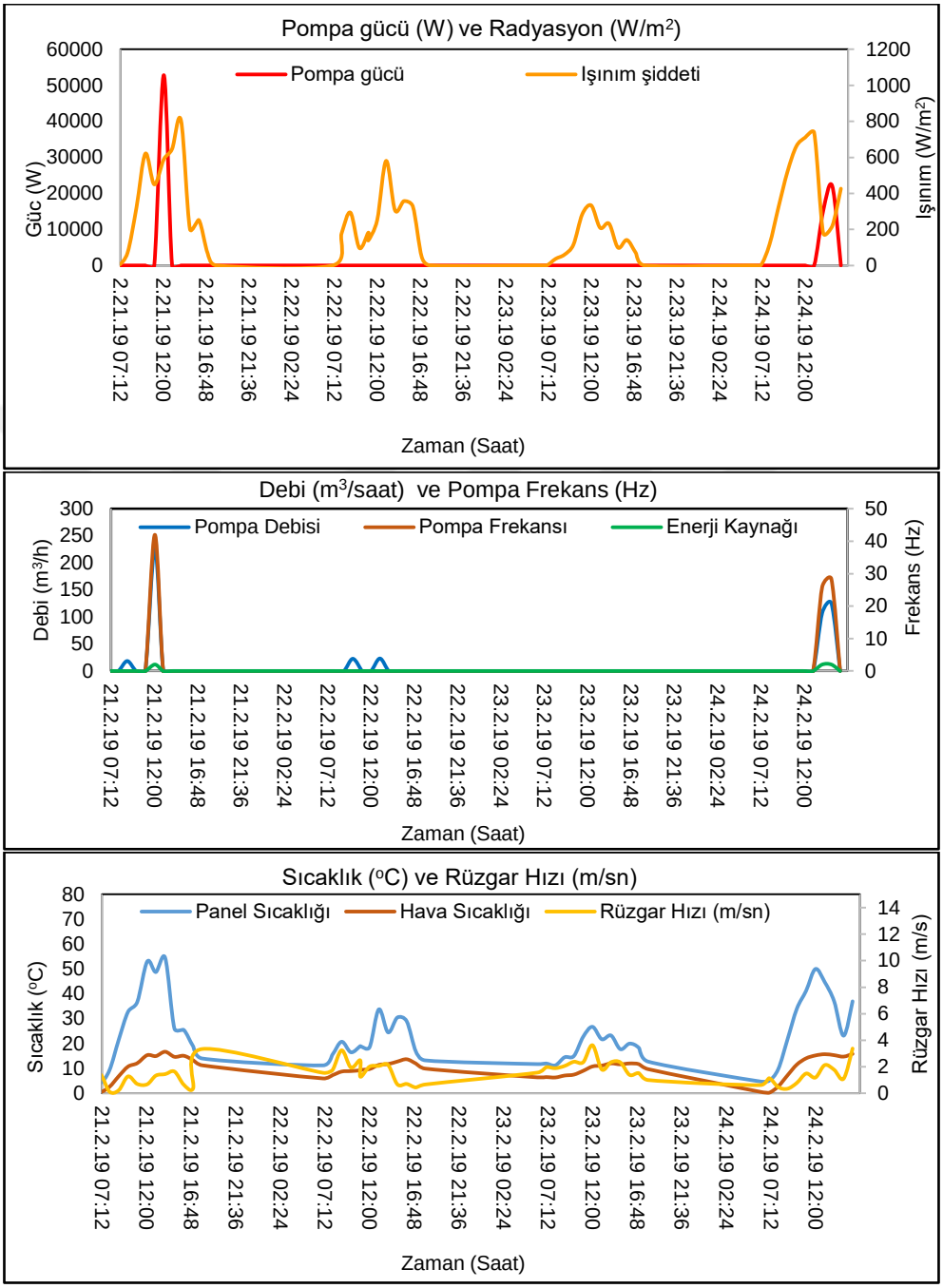
Aylık tam gün performans denemelerinde 21-24.02.2019 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.10'da görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 2 gün çalıştırıldığı görülmektedir.

Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 30-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile kış aylarında sulama yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 52 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 125-227 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 54,5 ^oC ve minimum ise 0 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının maksimum 17,57 ^oC ve minimum ise -4,44 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 8,24 m/s ve minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsa da bağımsız olarak rüzgârlı günlerde rüzgâr olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 915 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.10. Şubat ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.3. 2020 Yılı Mart Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Mart ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle yetersiz yağışlardan sonra buğday bitkisinin sulaması yapılmıştır.

Bu ayda ara ara şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak elektriğin olmadığı zamanlarda özellikle havanın bulutlu olduğu günlerde akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.11).

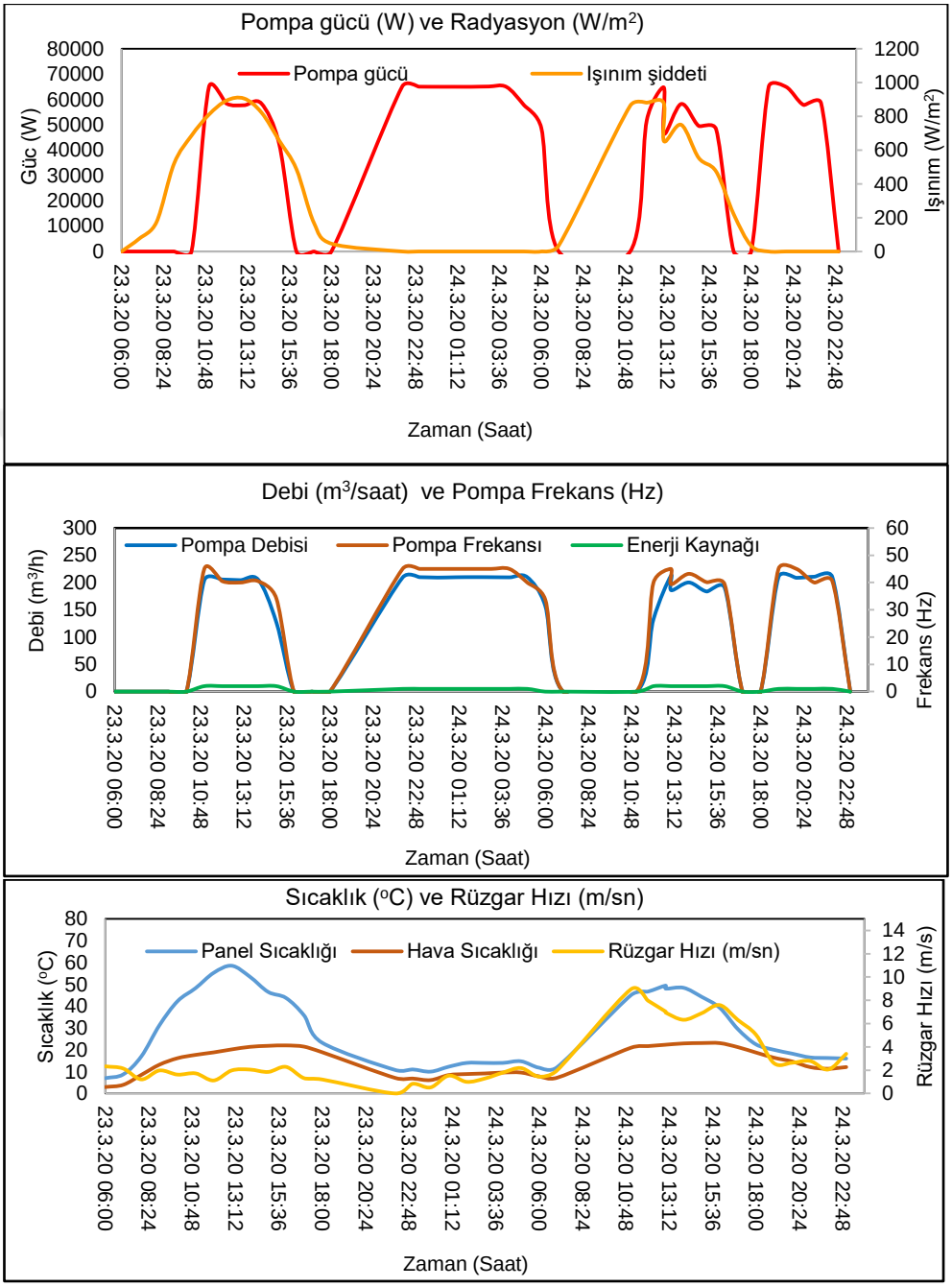
Aylık tam gün performans denemelerinde 23-24.03.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.11'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 4 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir. Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir.

Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 30-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile ilkbahar aylarında sulama yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 183-212 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 38,37 ^oC ve minimum ise 1,16 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 25,39 ^oC minimum ise 9,99 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 6,09 m/s, minimum ise 0,24 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsa da bağımsız olarak rüzgârlı günlerde rüzgar olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 988 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.11. Mart ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.4. 2019 Yılı Nisan Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Nisan ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle yetersiz yağışlardan sonra buğday ve yonca bitkisinin sulaması yapılmıştır.

Bu ayda ara ara şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak elektriğin olmadığı zamanlarda özellikle havanın bulutlu olduğu günlerde akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.12).

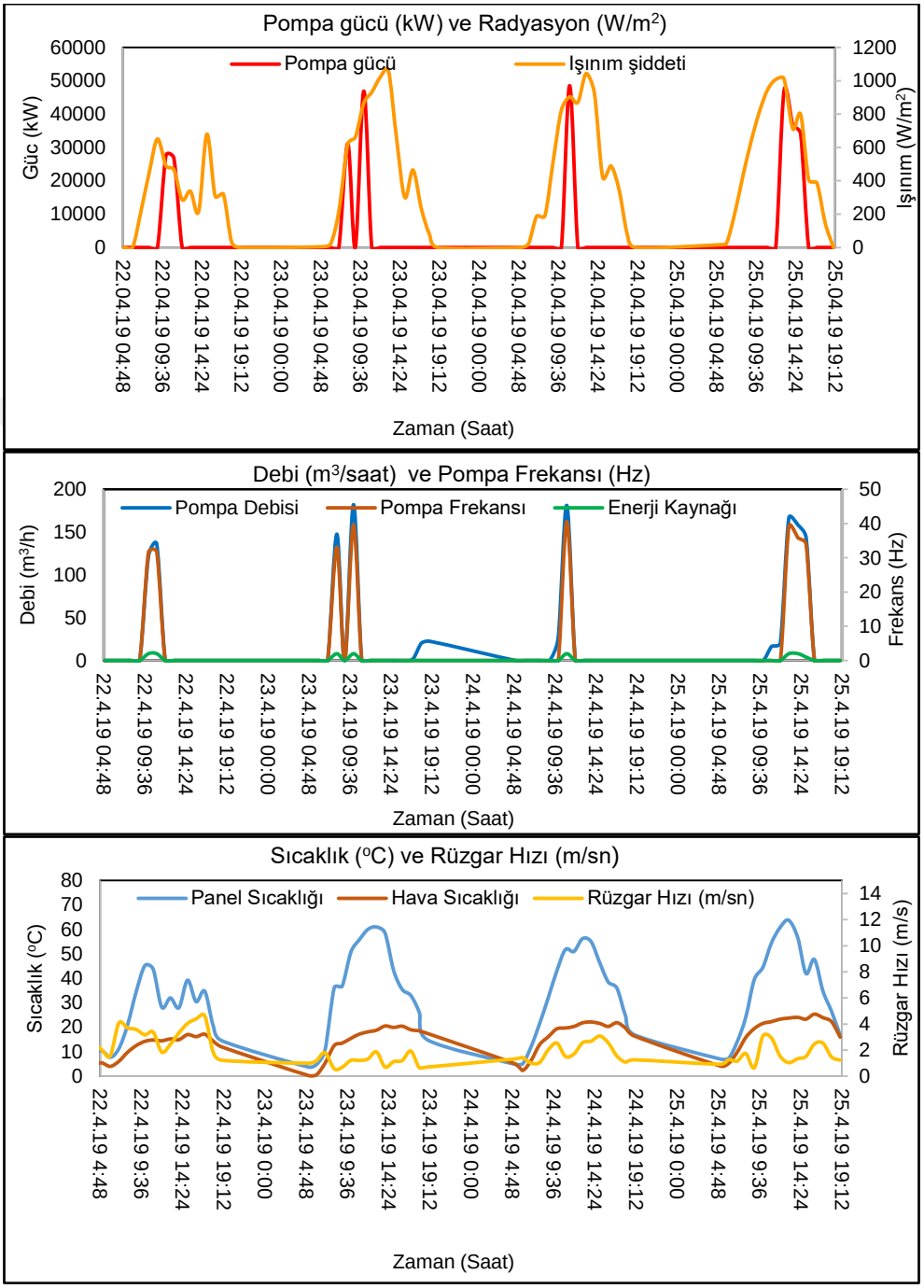
Aylık tam gün performans denemelerinde 22-25.04.2019 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.12'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 5 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir. Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir.

Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 30-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile sulama yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 48 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 147-182 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 68,75 ^oC ve minimum ise 3,5^oC olduğu, ortam sıcaklığının 25,39 ^oC minimum ise 0,75 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 4,84 m/s, minimum ise 0,2 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsada bağımsız olarak rüzgarlı günlerde rüzgar olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 1 093 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.12. Nisan ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.5. 2020 Yılı Mayıs Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Mayıs ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle yetersiz yağışlardan sonra buğday ve yonca bitkisinin sulaması yapılmıştır. T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

Bu ayda ara ara şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak eklektiğin olmadığı zamanlarda özellikle havanın bulutlu olduğu günlerde akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.13).

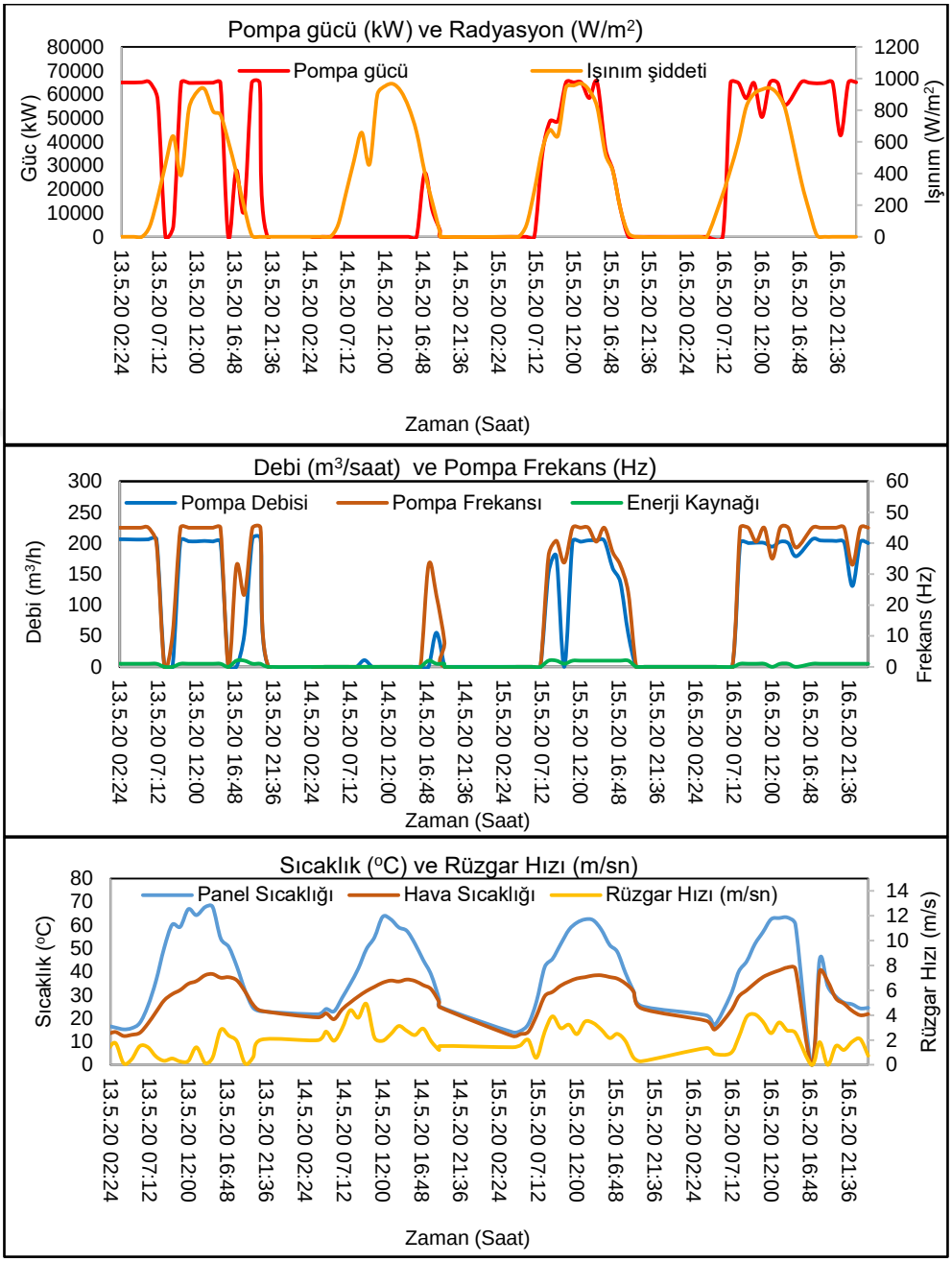
Aylık tam gün performans denemelerinde 13-16.05.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.13'te görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 7 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir. Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir.

Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 30-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 194-207 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 70,75 ^oC ve minimum ise 11 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 44,04 ^oC minimum ise 6,62 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 9,54 m/s, minimum ise 0,1 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsa da bağımsız olarak rüzgârlı günlerde rüzgâr olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir.

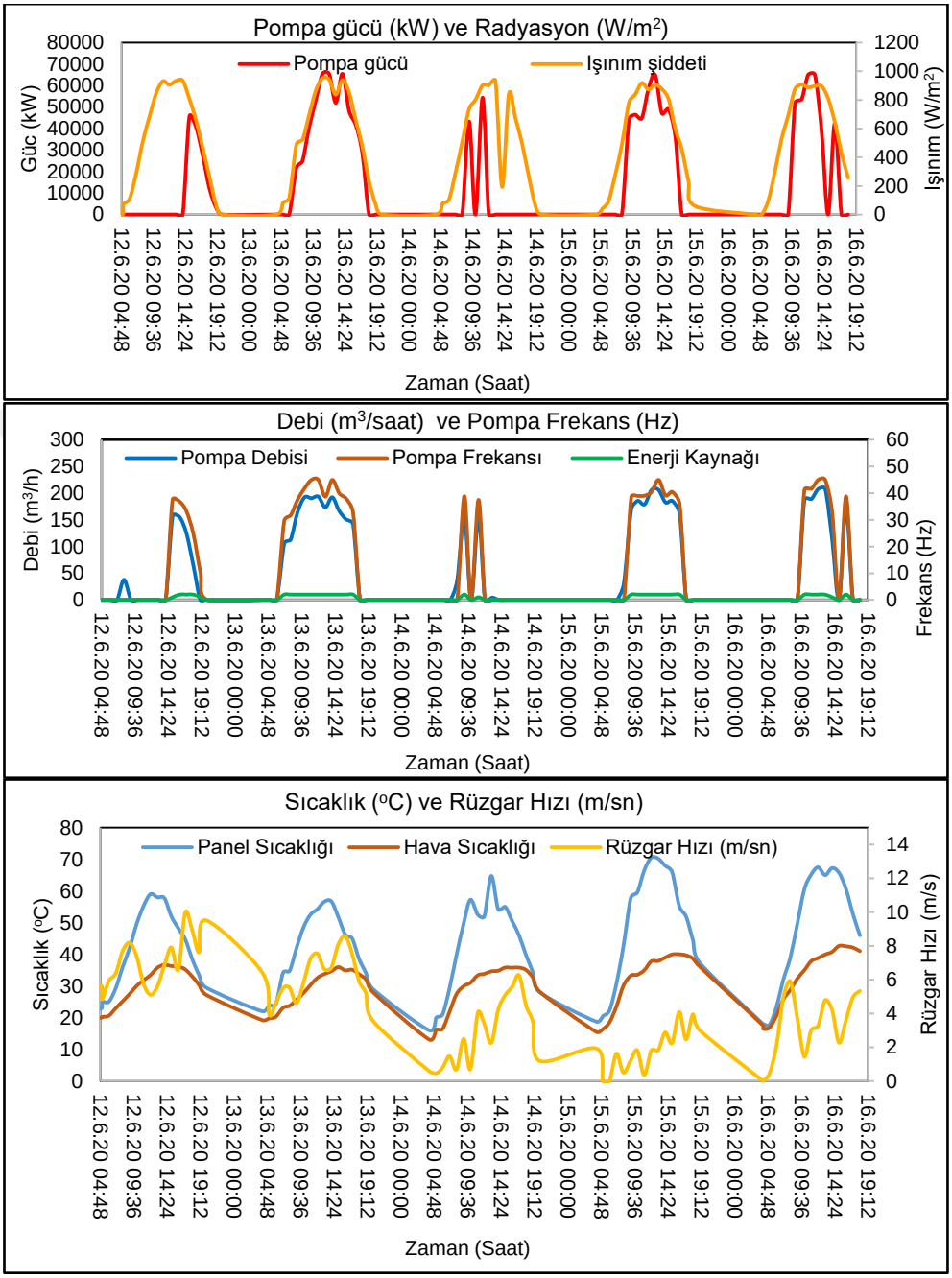
Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 1 144 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.13. Mayıs ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.6. 2020 Yılı Haziran Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Haziran ayı içerisinde genellikle sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle buğday sulamasından sonra yonca ve ikinci ürün mısır bitkisinin tarla tav hazırlıkları ve sulaması yapılmıştır. T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır. Bu ayda ara ara şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak elektriğin olmadığı zamanlarda özellikle havanın bulutlu olduğu günlerde akülerin ihtiyaca cevap verdiği görülmüştür (Şekil 4.14). Aylık tam gün performans denemelerinde 12-16.06.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.14'te görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 7 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir. Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Pompa normalde 45 Hz'de çalıştırılması gerekmektedir. Ancak düşük ışınımda frekans aralığı 32-45 Hz aralığına düşürülüp daha az debili sulama suyu ile sulama yapılabilmektedir. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 185-208 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır. Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 77 ^oC ve minimum ise 12,75 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 46,52 ^oC minimum ise 10 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 11,52 m/s, minimum ise 0,1 m/s olduğu tespit edilmiştir. Bu aya ait bazı günlerde gölge sıcaklığı aynı olsa da bağımsız olarak rüzgârlı günlerde rüzgâr olmayan günlere göre modül sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurulumda modüller arası rüzgâr girecek şekilde tasarlanması gerektiği tasdik edilmiştir. Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 1 031 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir. Özellikle bu ay sonlarına doğru anız yakmadan dolayı ışınım şiddetinin azaldığı ve sıcaklığın arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Haziran ayına ait bazı performans verileri

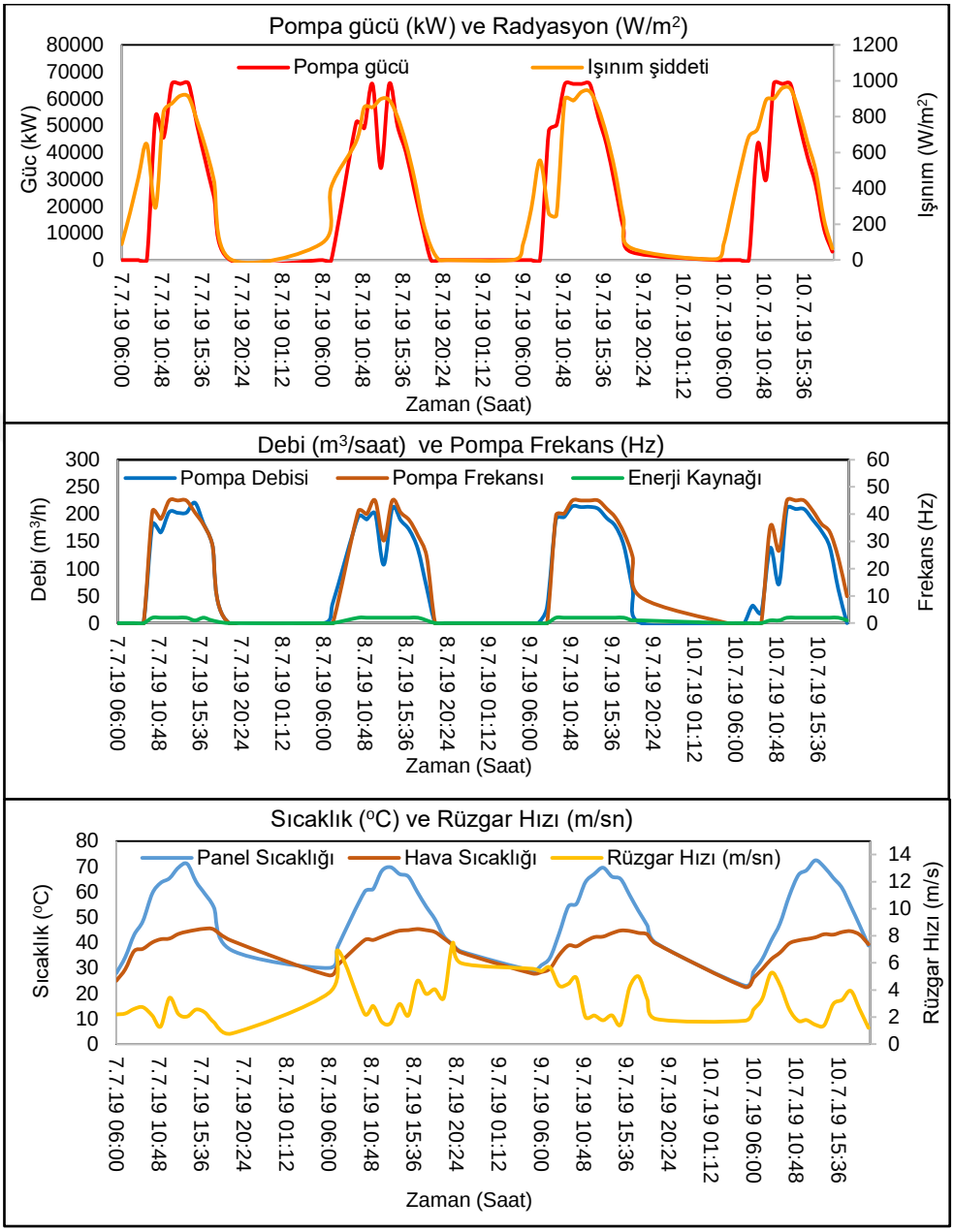
4.1.3.7. 2019 Yılı Temmuz Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Temmuz ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. 500-1 000 da arasındaki buğday hasadından sonra yonca bitkisinin sulamasına devam edilmiştir. İkinci ürün mısırın ekimi ile sulaması başlamıştır. Yıllara göre değişkenlik göstermekle birlikte Genellikle 150- 200 da arasında ekim yapılmaktadır. Bu dönemde mısır sulaması dışında T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

Bu ayda ara ara şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak elektriğin olmadığı zamanlarda özellikle hava sıcaklığının artışıyla temmuz ayı sonlarında yoğun sulamalar yapılmaktadır (Şekil 4.15).

Aylık tam gün performans denemelerinde 07-10.07.2019 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.15'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 7 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir. Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah 8:00 civarında çalıştırılmakta ve akşam 18:00 civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır. Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığından dolayı 45 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 185-220 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır. Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 76 ^oC ve minimum ise 12,9 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 49,18 ^oC minimum ise 15,68 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 13,10 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 1 090 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.15. Temmuz ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.8. 2019 Yılı Ağustos Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Ağustos ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Yonca ve ikinci ürün mısır bitkilerinin sulamasına devam edilmiştir. Bu dönemde mısır sulaması dışında T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

Bu ayda şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır. Ancak elektriğin olmadığı zamanlarda özellikle hava sıcaklığının artışıyla ağustos ayında yoğun sulamalar yapılmaktadır (Şekil 4.16).

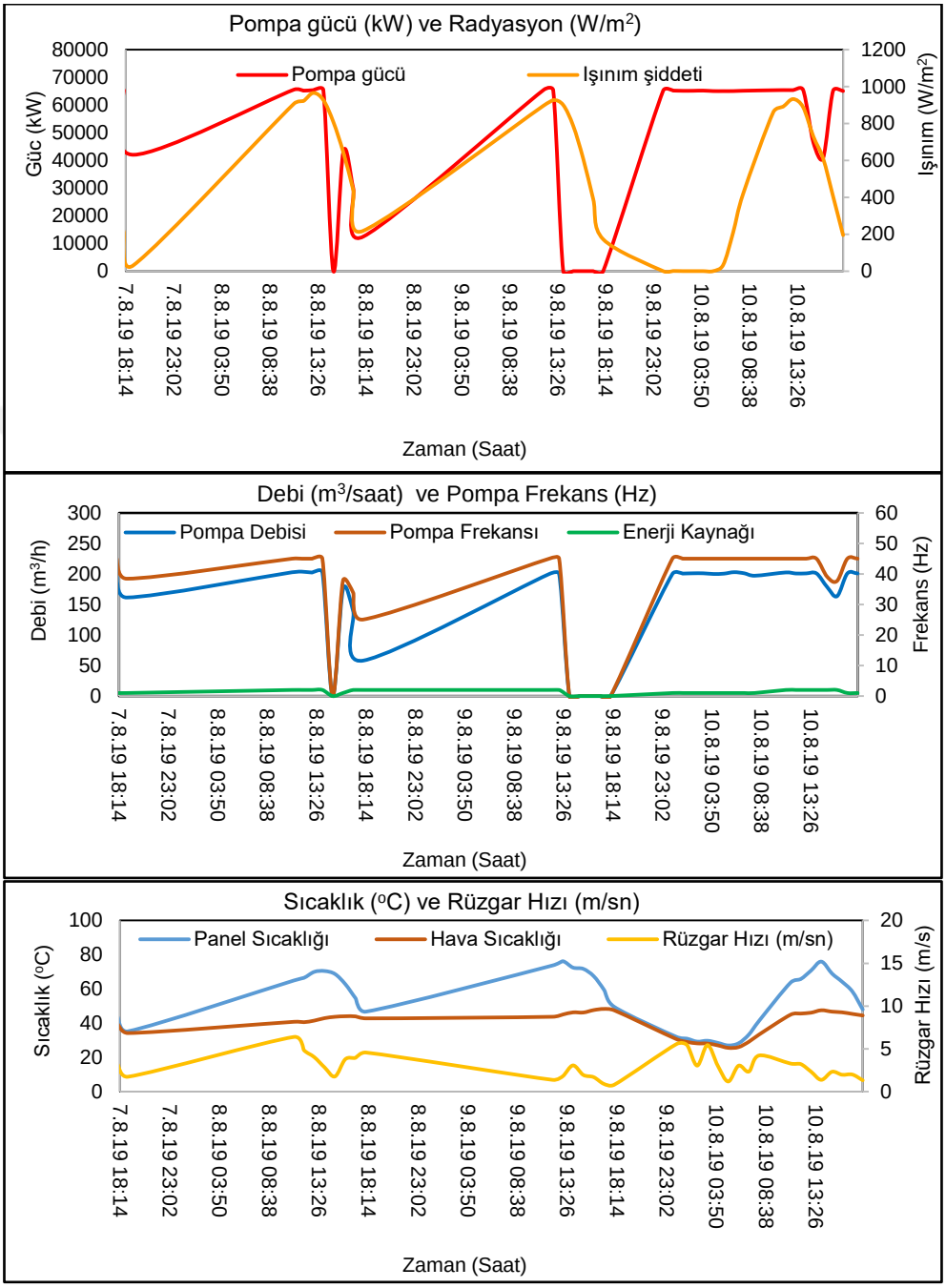
Aylık tam gün performans denemelerinde 07-10.08.2019 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.16'da görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır.

Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 3 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir.

Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah 8:00 civarında çalıştırılmakta ve akşam 18:00 civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır. Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığından dolayı 45 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 66 kW olmaktadır.

Dalgıç pompa debisi ise 199-203 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır. Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 78 ^oC ve minimum ise 15,76 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 49,86 ^oC minimum ise 19,18 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 13,59 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 981 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.16. Ağustos ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.9. 2020 Yılı Eylül Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Eylül ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Yonca sulamasına devam edilmiştir. Mısırın ise son sulamaları yapılmıştır. Bu dönemde mısır sulaması dışında T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

Bu ayda şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır (Şekil 4.17).

Aylık tam gün performans denemelerinde 21-22.09.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.17'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır.

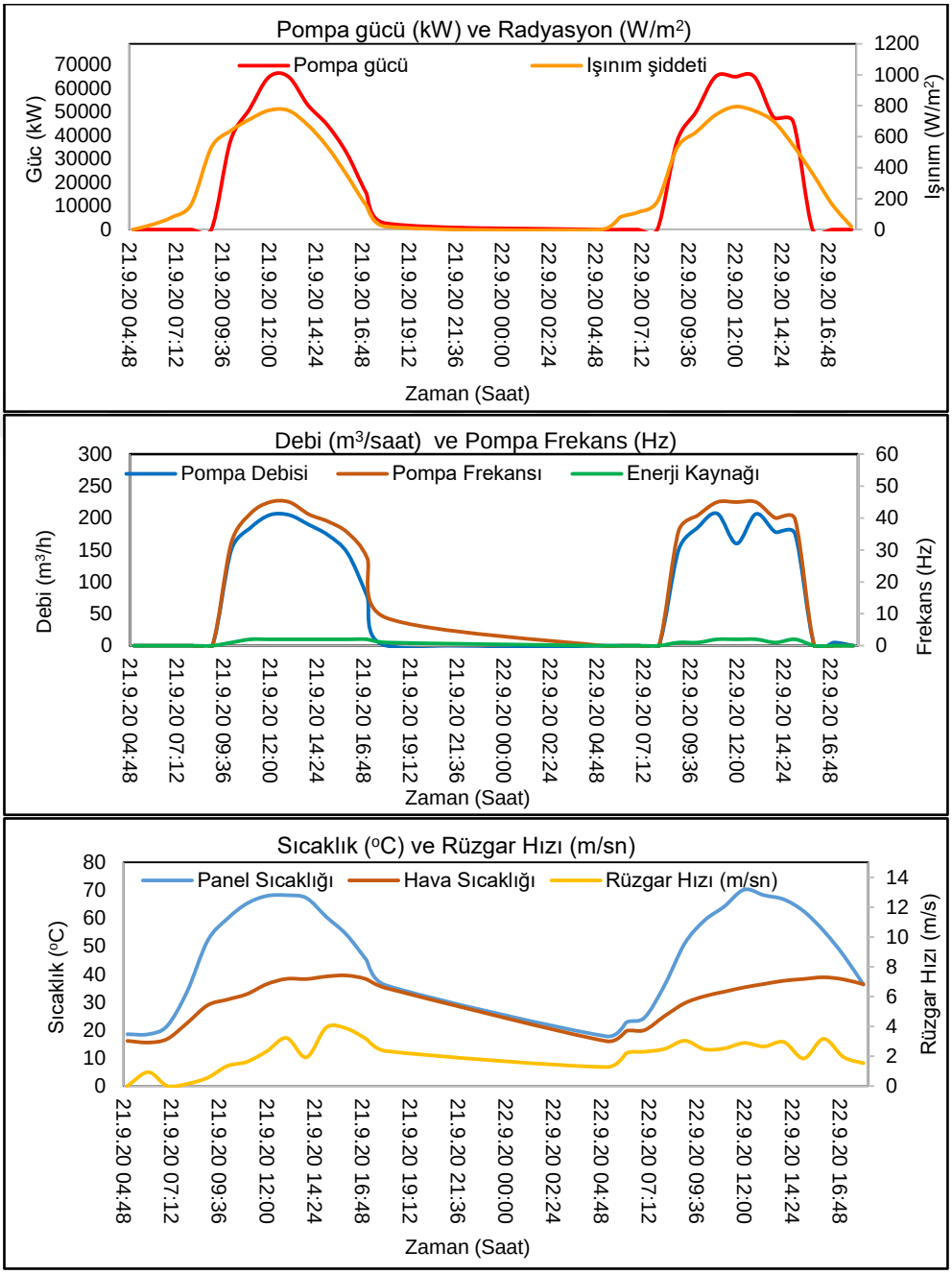
Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 2 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir.

Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah 9:00 civarında çalıştırılmakta ve öğleden sonra 15:00'da civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır.

Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığında 45 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 189-207 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 70 ^oC ve minimum ise 17,75 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının 39,86 ^oC minimum ise 17,75 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 5,28 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 793 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.17. Eylül ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.10. 2020 Yılı Ekim Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Ekim ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Yonca sulamasına devam edilmiştir. Buğday ekim alanının hazırlıkları, ekimleri ve sulaması işlemleri ile mısır hasat işlemleri bu dönem sonuna doğru yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

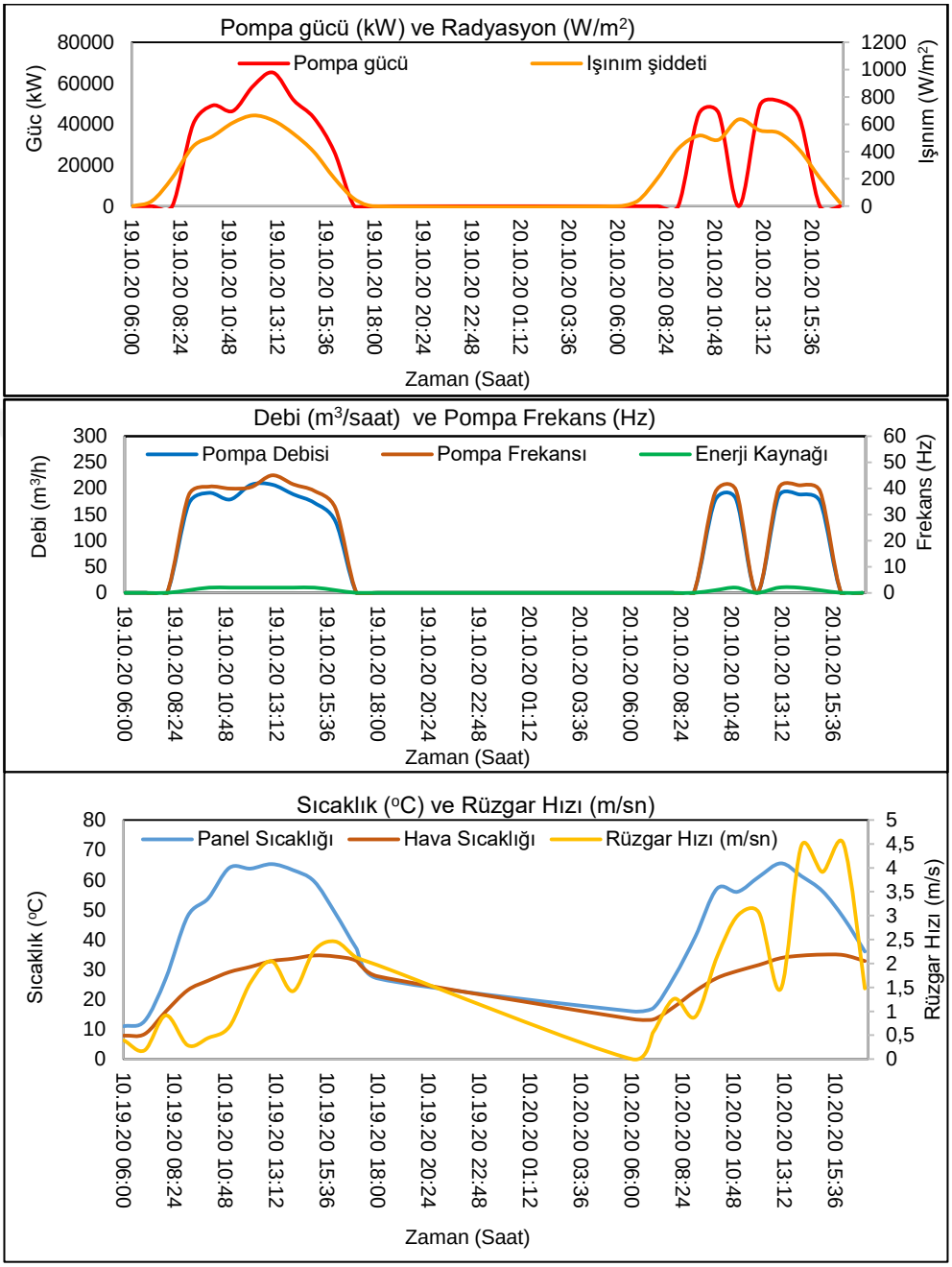
Bu ayda şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır (Şekil 4.18).

Aylık tam gün performans denemelerinde 19-20.10.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.18'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 3 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir.

Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah 9:00 civarında çalıştırılmakta ve öğleden sonra 15:00'da civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır. Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığında 45 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 65 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 188-207 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 65,65 ^oC ve minimum ise 11,75 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının maksimum 34,97 ^oC minimum ise 7,46 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 7,96 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 786 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.18. Ekim ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.11. 2020 Yılı Kasım Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Kasım ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Yonca sulamasına devam edilmiştir. Buğday ekim alanının hazırlıkları bitirilmiş, ekimlerin tamamı ve sulaması işlemleri yapılmıştır. Mısır hasat işlemleri ara ara bu döneme sarkmıştır. Ayrıca T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

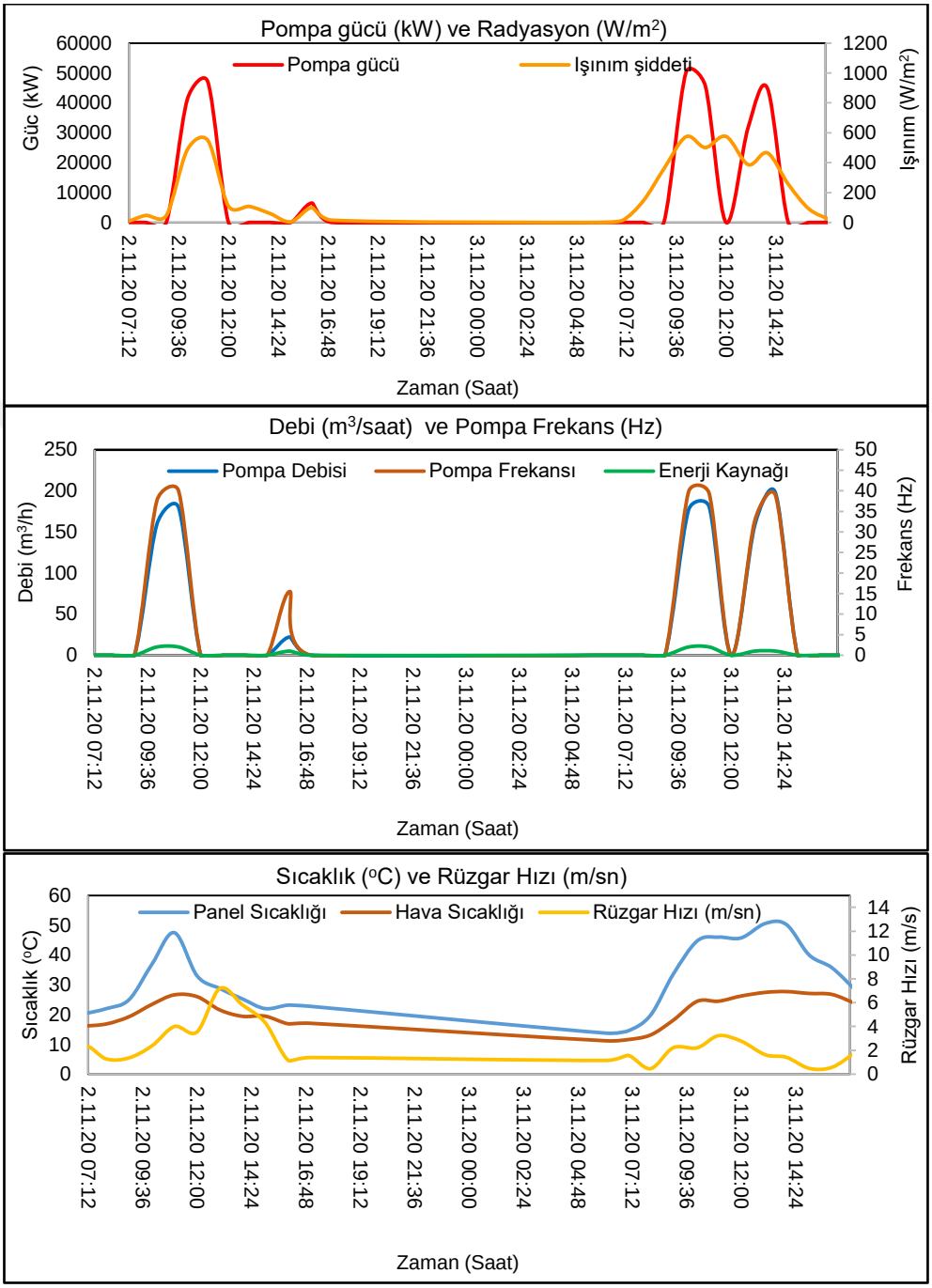
Bu ayda şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır (Şekil 4.19).

Aylık tam gün performans denemelerinde 02-03.11.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.19'da görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 4 defa çalıştırıldığı ve gece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir.

Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah saat 10:00 civarında çalıştırılmakta ve öğleden sonra 15:00'da civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır. Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığında 44 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 50 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 169-197 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 58 ^oC ve minimum ise 3 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının maksimum 23,95 ^oC minimum ise -9,17 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 10,37 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 725 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.19. Kasım ayına ait bazı performans verileri

4.1.3.12. 2020 Yılı Aralık Ayına Ait Bazı Performans Verileri

Aralık ayı içerisinde sulamaya ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle kurak geçen aralık aylarında yonca ve buğday bitkisinde sulama işlemleri yapılmıştır. Mısır hasat işlemleri ara ara bu döneme sarkmıştır. Ayrıca T bağlantısıyla komşu tarlalarında sulaması yapılmıştır.

Bu ayda şebeke elektriği olup hem şebeke ile hem de PV modüller ile sulama yapılmıştır (Şekil 4.20).

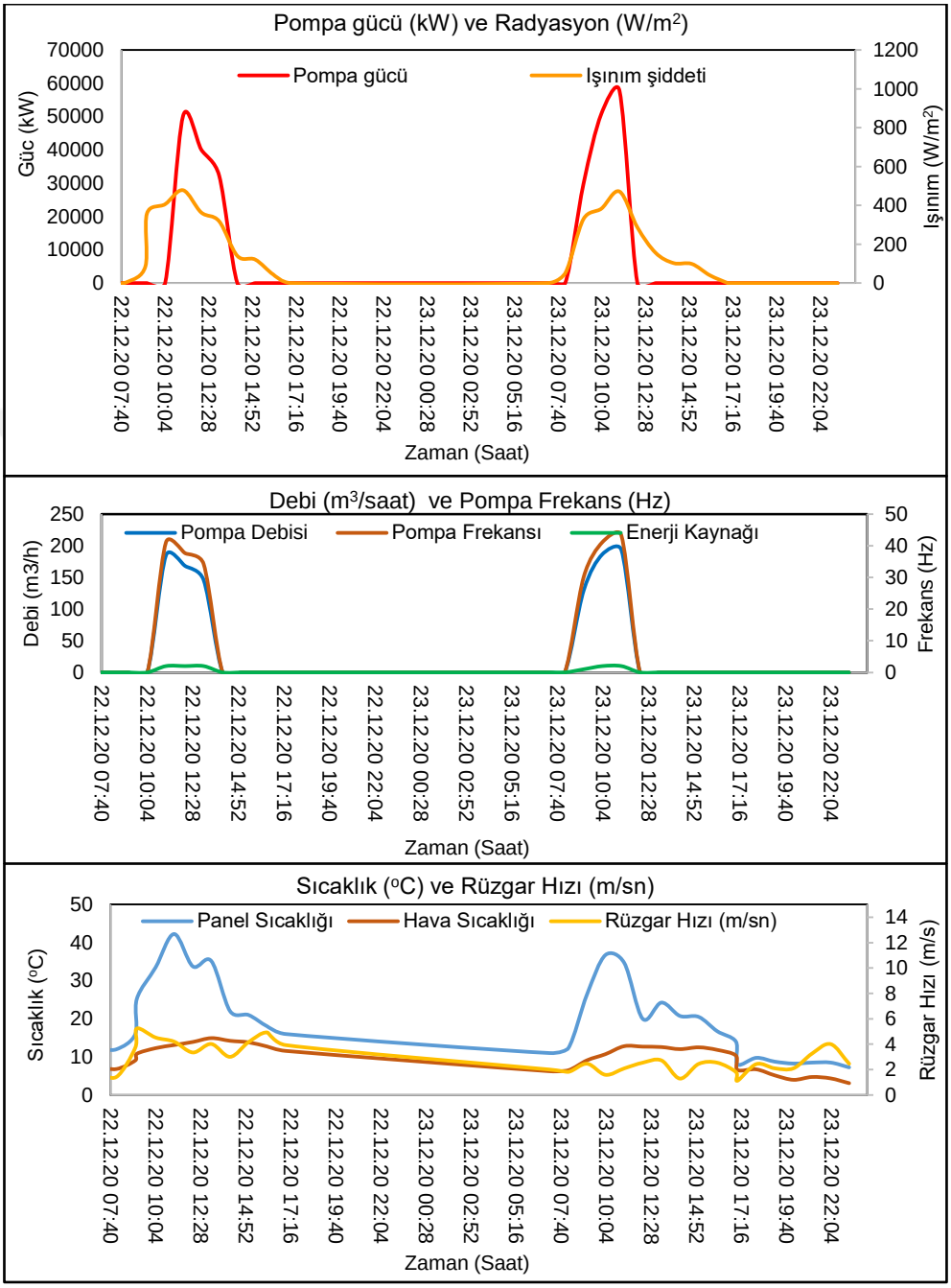
Aylık tam gün performans denemelerinde 22-23.12.2020 tarih aralıklarında söz konusu Şekil 4.20'de görüldüğü gibi güneş gündüz var iken ve ihtiyaç durumunda çalıştırılmıştır. Pompa genellikle öğleye doğru ve öğleden sonra 500 W/m^2 güneş ışınım şiddeti aşıldığında otomasyon sistemi dalgıç pompayı çalıştırmıştır. Bu grafikte pompanın 2 defa çalıştırıldığı ve sadece gündüz çalıştırıldığı görülmektedir.

Güneş ışınımı yetersiz kaldığında şebeke elektriği olduğu saatlerde sulamaya devam edilmiştir. Güneş enerjisiyle çalıştırılmada sabah saat 10:00 civarında çalıştırılmakta ve öğleden sonra 13:00'da civarında diğer enerji kaynağına geçiş yapılmaktadır.

Gündüz belirli saatlerde yoğun güneş ışığında 44 Hz çalıştırılmıştır. Bu durumda sürücüde okunan pompanın çektiği güç maksimum 50 kW olmaktadır. Dalgıç pompa debisi ise 163-193 m^3/h aralığında sulama suyu 80 metreden çıkarmıştır.

Bu ayda modül sıcaklığı maksimum 56 ^oC ve minimum ise 3 ^oC olduğu, ortam sıcaklığının maksimum 17,28 ^oC minimum ise -4,11 ^oC olduğu ve rüzgâr hızının maksimum 11,65 m/s, minimum ise 0 m/s olduğu tespit edilmiştir.

Bu ayda güneş ışınımı şiddeti 0 W/m^2 ile 673 W/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.

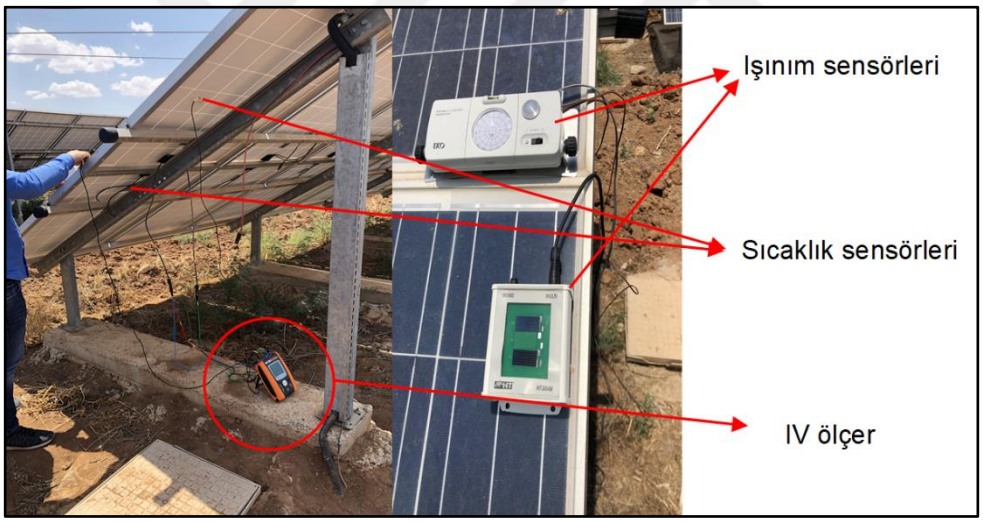


Şekil 4.20. Aralık ayına ait bazı performans verileri

4.2. Sistem Performans Bulguları

4.2.1. IV Ölçümleri

PV modüllere ait çalışma şartlarındaki gerçek etiket değerlerini belirlemek üzere sahada mekanik konstrüksiyon üstündeki belirlenen bazı PV modüllerin IV ölçer ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.21). Ölçümler gerçekleştirilmek üzere modüllerin bağlı olduğu seriler sökülerek modüllerin ‘’+’’ ve ‘’-‘’ kutupları ölçüm cihazının ölçüm problarına bağlantısı yapılmıştır. Ölçüm cihazının ayarlarını yapmak üzere, PV modülün arkasında bulunan etiket değerleri (V_{oc}, I_{sc}, I_{mpp}, V_{mpp}, β, FF, modül alanı m^2) ölçüm cihazının kontrol panelinde girilerek ölçüm sonucunda STK koşullarına göre doğru sonuç vermesi için gerekli modül verileri girilmiştir.



Şekil 4.21. IV Ölçer ile saha çalışmasına ait görüntüler

Ölçüm sonuçları ile ilgili olarak örneğin Çizelge 4.1’de modül arkasındaki okunan değerler ile gerçek arazi şartlarında okunan bir modüle ait veriler verilmiştir. Standart sıcaklıkta ölçülen ve sınıflandırılan modül ile gerçek arazi şartlarındaki modül değerlerinin farklı çıktığı görülmektedir. IV ölçerin asıl amacı standart test koşullarını sağlamaktır. Diğer bir deyişle, arazide okunan değerleri

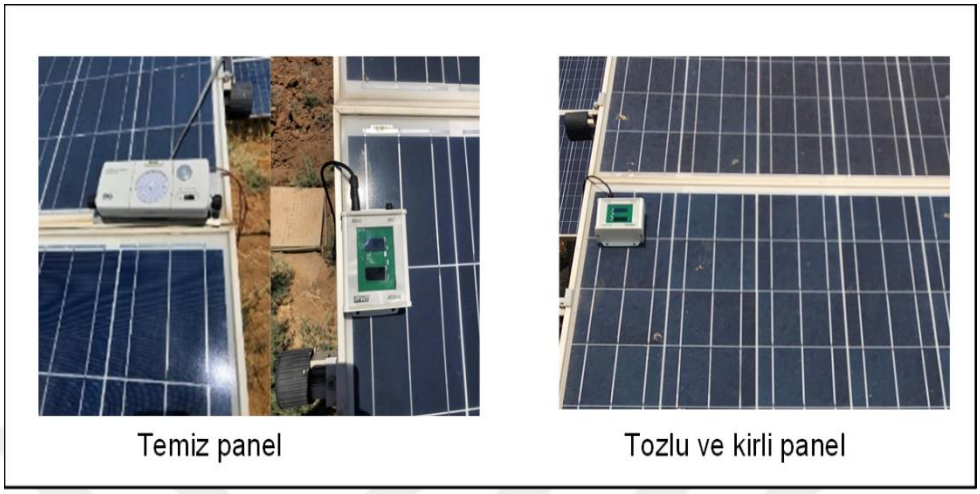
standart test koşullarına dönüştürerek modül etiketinin güncelleştirilmesi sağlanmaktadır. Işınım değeri 944 W/m^2 iken 1000 W/m^2'ye dönüştürmektedir.

Çizelge 4.1. Örnek IV ölçüm sonucu

250 W modülün değerleri (Uygulama sınıfı A sınıfı, maksimum sigorta değeri 12A, Güç toleransı (~-+6W))	STC dönüştürülmüş hali	Arazi koşullarında	Fark (%)
Maksimum güç (P_{max})	223,00 W	179,00 W	20,00
Maksimum güç gerilimi (V_{max}, V_{mp})	30,90 V	25,00 V	19,00
Maksimum güç akımı (I_{mp}, I_{max})	7,42 A	7,15 A	4,00
Açık devre gerilimi (V_{oc})	37,70 V	33,00 V	12,00
Kısa devre akımı (I_{sc})	7,96 A	7,68 A	4,00
Güç faktörü (ff)	0,74	0,71	4,00
Sıcaklık değeri (T_{mod})	25,00 ^oC	65,40 ^oC	
Işınım değeri (I_{rr})	1 000 W/m^2	944 W/m^2	

Elde edilen sonuçlara göre; ortalama olarak üretilen güç değerlerine (Standart Test Koşullarında) bakıldığında 223 Wp olduğu hesaplanmaktadır. Modüllerin katalog değerlerinde yazan ifadeye bakıldığında modül ilk çalıştığında % 97 verimle çalışılacağı ön görülmüştür. Bu da güç değeri olarak 229 Wp olacağı hesaplanacaktır. Modüllerin tozlanma faktörleri de dikkate alındığında elde edilen değerle etiket değerleri arasında farklı olduğu görülmüştür.

Modüllere ait tozluluk faktörlerinin üretime katkısını incelemek üzere seçilen modüller ilk başta tozlu ölçülmüş ve daha sonra yıkanarak tozsuz olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. IV ölçer ile ışınım sensörü, sıcaklık sensörleri, kablolar, kontrol için PC yazılımı ve genişletilmiş veri analizi gibi tüm gerekli aksesuarlar kullanılarak ölçümler yapılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Tozluluğun modül verimine etkisi ile ilgili ölçüm görselleri

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçların ortalaması Çizelge 4.2'de görülmektedir. Gün içerisinde güneşten gelen ışınım şiddetinin azalması, açısının yatay gelmesiyle ve tozlanma miktarının artışıyla modüllerdeki verimin düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle yılda bir temizlik yapılan modüllerde % 5-7 civarında verim düşüklüğü gözlenmiştir. Hafif tozlanmış modüllerde % 1-2 iken çok tozlanmış modüllerde % 7 civarında enerji düşüşü gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre kurulu olan modüller; 112 Wp ile 144 Wp arasında enerji ürettiği görülmektedir. Standard test koşullarının sağlanması durumunda üretilebilir güç değerlerinin 190 Wp ile 248 Wp arasında olduğu hesaplanmaktadır. Modüllerin katalog değerlerinde yazan ifadeye bakıldığında modül ilk çalıştığında % 97 verimle çalışılacağı ön görülmüştür. Bu da güç değeri olarak 242,5 Wp olacağı hesaplanacaktır. Önceki yapılan çalışmalardan referans alınarak ve çalışmamızda bunu teyit ettiğimizde % 5 tozlanma faktörü de bu güç değerine eklenirse modül ortalama gücü 230 Wp olarak ortaya çıkacaktır.

Çizelge 4.2. Bazı modüllere ait tozlu ve tozsuz IV ölçüm sonuçları

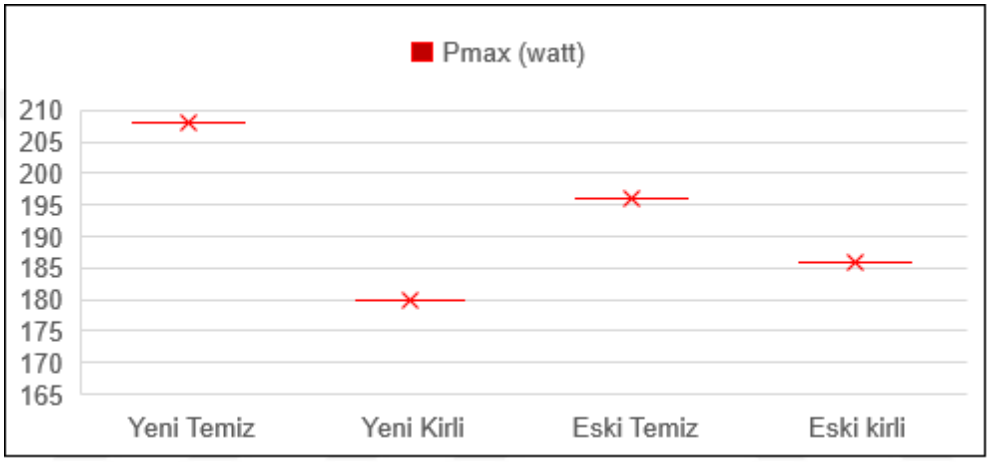
Modül sıcaklığı (°C)	Dış Ortam sıcaklığı (°C)	Güneş ışınımı (Er) [[W/m^2]	Voc [V]	Pm [W]	Ipm [A]	Vpm [V]	Isc (STC) [A]	Voc (STC) [V]	Pm (STC) [W]	Ipm (stc)[A]	Vpm (stc)[V]
Polikristal modül 1. numune (Seri No: S1507270011) IV Test Sonuçları(Tozlu Modül											
52,37	38,33	864,21	32,79	164,56	6,71	24,16	7,39	40,75	216,79	6,78	31,94
Polikristal modül 1. numune(Seri No: S1507270011) IV Test Sonuçları (Tozsuz Modül)											
61,80	38,49	987,07	32,59	181,71	7,66	23,70	7,05	43,06	218,72	6,38	34,24
Polikristal modül 2. numune (Seri No: M150728001) IV Test Sonuçları (Tozlu Modül)											
57,49	37,54	913,95	32,19	169,23	6,89	24,53	6,66	41,62	211,75	6,24	33,89
Polikristal modül 2. Numune (Seri No: M150728001) IV Test Sonuçları (Tozsuz Modül)											
58,71	37,09	910,54	32,28	169,38	6,86	24,66	6,63	42,07	213,01	6,21	34,25
Polikristal modül 3. Numune (Seri No: M150728001) IV Test Sonuçları (Tozlu Modül)											
59,30	37,42	924,18	32,10	169,31	6,98	24,24	6,70	41,97	211,28	6,15	34,35
Polikristal modül 3. Numune (Seri No: M150728001) IV Test Sonuçları (Tozsuz Modül)											
56,45	39,27	953,38	33,12	187,95	7,51	25,01	7,20	42,01	226,50	6,65	34,05
Polikristal modül 4. Numune(Seri No: M150603001) IV Test Sonuçları (Tozlu Modül)											
58,05	37,46	979,16	32,33	173,75	7,23	24,01	6,59	41,84	205,20	6,15	33,36
Polikristal modül 4. Numune(Seri No: M150603001) IV Test Sonuçları (Tozsuz Modül)											
48,61	39,46	994,85	34,02	196,09	7,65	25,60	7,26	40,83	220,52	6,79	32,45

Modüllere ait sabit güneş ışınımında ortalama modüllerdeki değişim miktarları Çizelge 4.3 verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sabit güneş ışınımında ortalama modüllerdeki değişim miktarları

Saat		Yeni Temiz	Yeni Kirli	Eski Temiz	Eski kirli
12:00	V_{oc}	35,90	35,60	36,50	35,90
	V_{mpp}	28,60	27,50	28,50	28,20
	I_{sc}	7,96	7,08	7,90	7,09
	I_{mpp}	7,25	6,53	6,88	6,60
	P_{max}	208,00	180,00	196,00	186,00

Aynı koşullarda ve güçteki modüllerdeki değişkenlikler ise Şekil 4.23'te verilmiştir. Aynı koşullarda ve güçteki modüllerdeki değişkenlikleri tespit etmek amacıyla sahada kurulu olan modüllerin bir kısmı ile yedek olarak bırakılan modüllerde yapılan ölçümlerde yeni modüllerin daha verimli olduğu eski modüllerin ise toz tutma kapasitesinin daha düşük olduğundan tozlanma durumunda yeni modüllere göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Aynı koşullarda ve güçteki modüllerdeki değişkenlikler

4.2.2. İzolasyon Ölçümleri

Kurulu olan sistem her biri 20 adet modüllerden olan toplamda 32 adet stringten (160 kWp gücündeki modül grubundan) meydana gelmektedir. Her bir string çıkışında 650 V, 5-6 amper civarında değerleri ölçülmektedir. DC ana panoda, stringlerden gelen bağlantılar fişek sigortalardan NH sigorta bara boşta iken güneş var iken 800 V, yükte iken 650 V, her biri 250 Wp gücünde olan toplamda 640 adet (32x20) polikristal silikon modüllerden meydana gelmektedir. Yapılan incelemede birkaç stringten gelen DC kablolarda kemirgen hayvan zararından dolayı kabloların zarar gördüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Menhol içindeki kopuk DC kablolar

Bundan dolayı NH sigorta kısmında tüm inverterlerin DC kablolarında izolasyon megeri vasıtasıyla yapılan testlerde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. İlgili IEC 62446 standarttına göre izolasyon değerlerinin minimum değer olan 0,5 MΩ'dan yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum sulamadaki 640 modülden 20 adet modülün eksilmesine neden olmaktadır. Sistem hedeflenenden daha az üretim yapacağından sulama süresinde azalmaya neden olacağından bu anlamda koruyucu tedbirlerin alınması gerektiği ve bu işlemin düzenli yapılması gerektiği görülmüştür.

Ayrıca saha genelinde toprak seviyesinin altında olan menholler bulunmakta bu sebepten dolayı birçok menhol yağışlı günlerde su ile dolacaktır. Bu menhollerin izolasyon kaçaklarında tehlike arz etmemesi ve bakım-işletme sırasında kolayca ulaşılabilmesi için menhollerin zemin seviyesinden yükseltilerek etrafı dolgu malzemeleriyle düzenleme yapılması ve kemirgen hayvanların girişi engellenecek tüm önlemlerin alınması gerekmektedir.

Çizelge 4.4. String çıkış izolasyon ölçüm değerleri

String	500V test yapılmış Okunan değer MΩ	Normal değer	Test durumu (+,-)>2 MΩ	DC Kablo Durumu
1	64,6	0,5 MΩ >	Geçerli	Sağlam
2	46,0	0.5 >	Geçerli	Sağlam
3	75,5	0.5 >	Geçerli	Sağlam
4	74,6	0.5 >	Geçerli	Sağlam
5	78,2	0.5 >	Geçerli	Sağlam
6	77,2	0.5 >	Geçerli	Sağlam
7	78,4	0.5 >	Geçerli	Sağlam
8	83,9	0.5 >	Geçerli	Sağlam
9	77,5	0.5 >	Geçerli	Sağlam
10	69,3	0.5 >	Geçerli	Sağlam
11	72,8	0.5 >	Geçerli	Sağlam
12	76,4	0.5 >	Geçerli	Sağlam
13	67,2	0.5 >	Geçerli	Sağlam
14	63,2	0.5 >	Geçerli	Sağlam
15	75,6	0.5 >	Geçerli	Sağlam
16	67,0	0.5 >	Geçerli	Sağlam
17	65,1	0.5 >	Geçerli	Sağlam
18	70,3	0.5 >	Geçerli	Sağlam
19	57,5	0.5 >	Geçerli	Sağlam
20	53,7	0.5 >	Geçerli	Sağlam
21	37,6	0.5 >	Geçerli	Zedelenmiş
22	55,2	0.5 >	Geçerli	Sağlam
23	50,0	0.5 >	Geçerli	Zedelenmiş
24	50,1	0.5 >	Geçerli	Zedelenmiş
25	52,4	0.5 >	Geçerli	Sağlam
26	68,0	0.5 >	Geçerli	Sağlam
27	74,0	0.5 >	Geçerli	Sağlam
28	57,1	0.5 >	Geçerli	Sağlam
29	0,962	0.5 >	Sınırda	Zedelenmiş
30	67,9	0.5 >	Geçerli	Sağlam
31	68,9	0.5 >	Geçerli	Sağlam
32	0,058	0.5 <	Geçersiz	Kopmuş

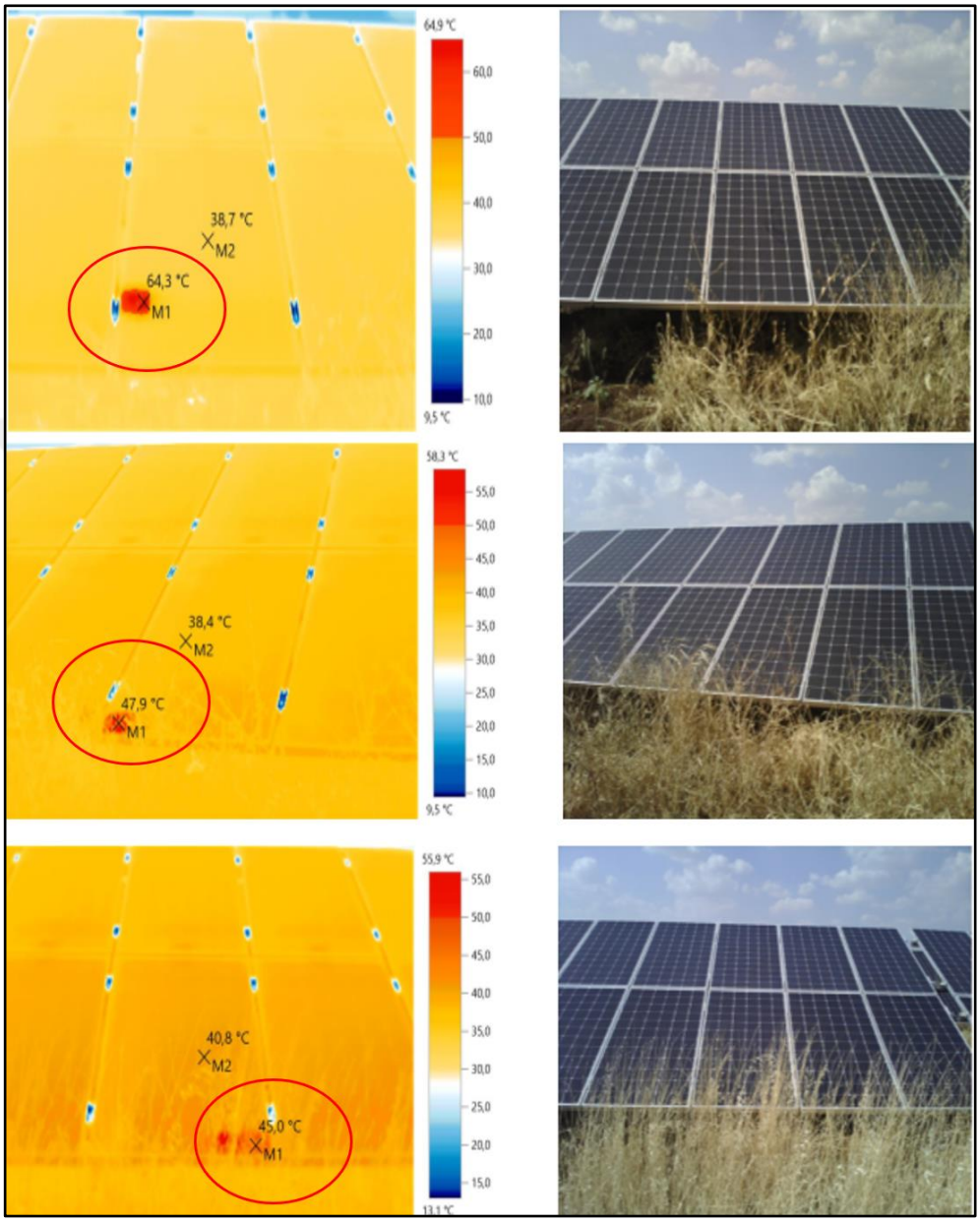
4.2.3. Termal Kamera Çekimleri

PV modüllerin kurulumundan sonra literatür kısımlarında belirtildiği gibi verim hesaplamaları 25 yıla kadar çıkabilmektedir. Ancak, bu hesaplamalar kötü kurulmuş sistemi kapsamamaktadır. Çünkü kötü kurulum bu süreyi azaltmaktadır. Bundan dolayı özellikle bu tür sistemler devreye alma aşamasında bu teste tabi tutulması gerekmektedir. Çünkü modül verimliliği sıcaklığına bağlıdır dolayısıyla uzun süreli verimi garanti altına almak için düzenli kontroller yapmak gerekmektedir. Gölgelenme, arızalı hücreler vb sıkıntılardan dolayı modüller ısınmışsa, verimlilik düşer. Ortalama standart sıcaklık ile karşılaştırıldığında 10 °C'lik bir sıcaklık artışı % 5 daha düşük elektrik verimi demektir.

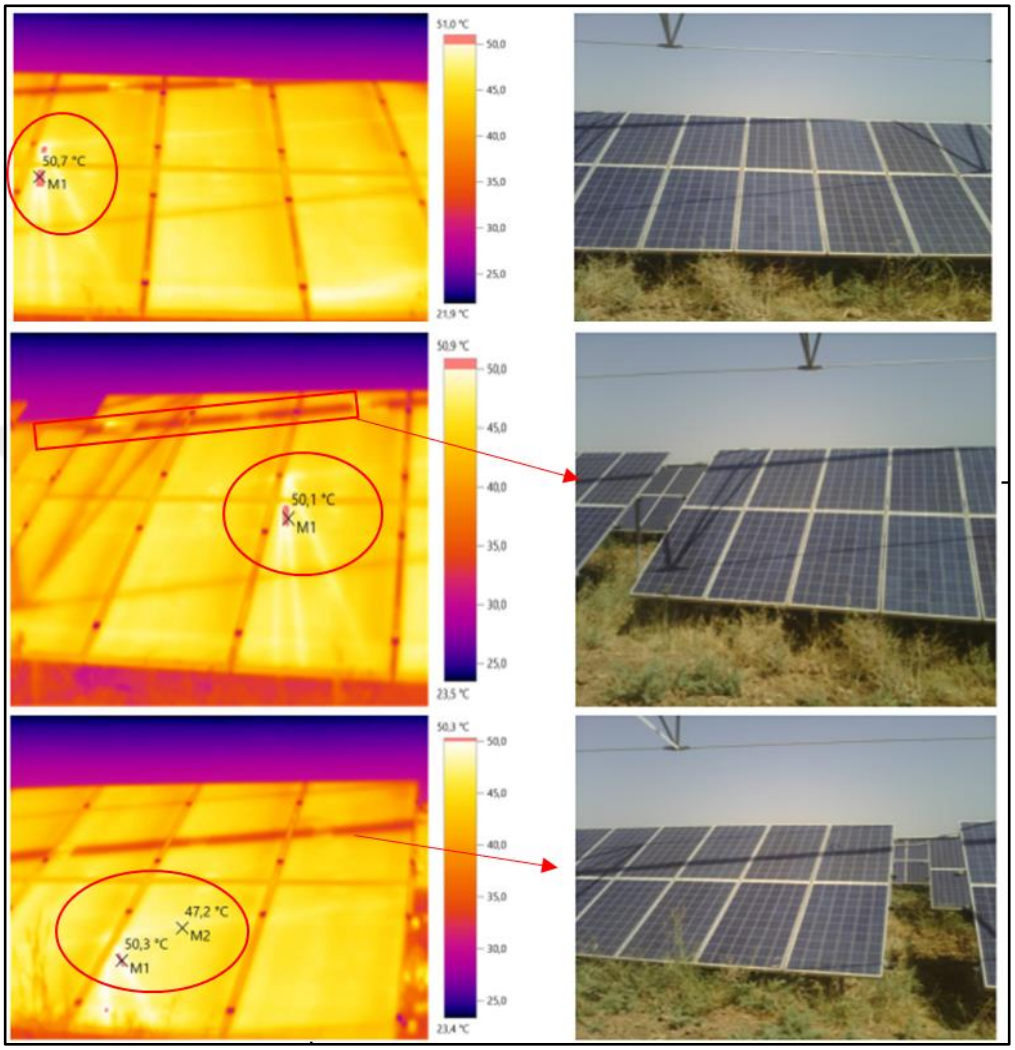
Sisteminin performans ve genel durumunun ortaya çıkarmak üzere, sulama yaparken termal görüntüleme yapılmıştır. Termal görüntüleme neticesinde modüller üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Fotovoltaik sistemlerinin kurulumu sırasında ve çalışması neticesinde sistemin verimliliğine etki eden arızalı ve verimi etkileyecek durumlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tüm sahada bulunan modüllerin termal çekimleri yapılmıştır. Sulama yaparken termal kamera görüntüleri alındığında bazı PV modüllerin hücresel bazda bazı kısımlarında ve belirli bir alanda yüksek sıcaklık artışları görülmüştür. Buda PV modüllerin verimlerini etkilemektedir. PV modülün üretmesi gereken enerji azaltan etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sıkıntılı olan bazı modüllerin termal görüntülerinin sonuçları Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Burada birkaç etken ön plana çıkmıştır. Yabancı maddenin modül yüzeyinde bulunması, otların gölgesi ve hareketli sulama sisteminin gölgesi veyahut üretim ile montaj kaynaklı arızalı hücre varlığından dolayı ısınmalar tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. Modüllere ait termal görüntüler yabancı otun gölge etkisi

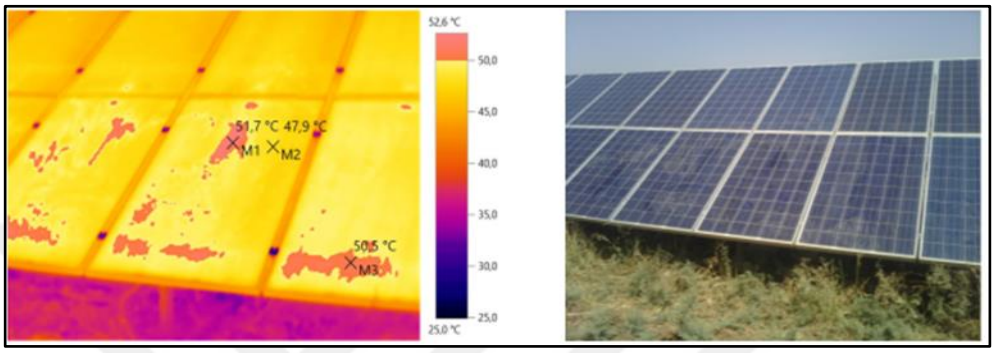


Şekil 4.26. Modüllere ait termal görüntülerde sulama sisteminin gölge etkisi

Yabancı madde gölgesi uzun zaman kalması durumunda hücreye zarar vermektedir. Ancak sulama sistemi hareketli olduğu için uzun vadede bir sorun oluşturmadığı gözlenmiştir. Gölge yeri değiştiğinde modülün diğer kısımlarındaki modül yüzeyiyle aynı sıcaklığa düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 4.27'de gösterildiği gibi yapılan termal kamera görünümlerinde tozlu PV modüllerin ve hücrelerinin temiz olanlara göre sıcaklıklarının daha yüksek

çıktığı gözlenmiştir. Temiz olanlarının ise 1-5 ^{o}C daha düşük sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Tozlanma ve kirlenmenin daha artması bu değerleri daha attırabilmektedir.



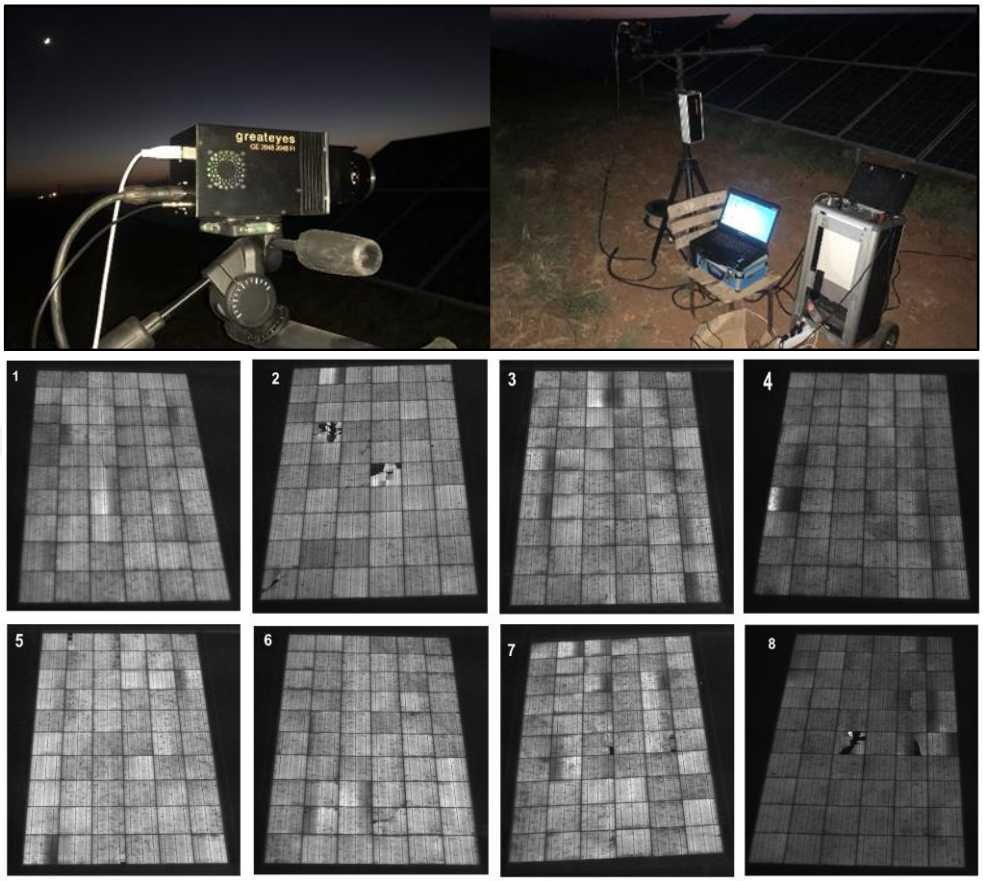
Şekil 4.27. Termal görüntülemede kirlenmenin modül sıcaklığına olan etkisi

Bu durum modüllerin, uzun vade sistemin ve nihayetinde sulama süresini kısalttığı ve sistemin performansını bu yönde daha çok etkilediği tespit edilmiştir. Bundan dolayı modüllerin belirli aralıklara temizlenmesi gerekmektedir. PV modüller alınır iken toz tutma oranı daha düşük modüller tercih edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle PV modül seçimi yaparken dış saha testlerinde termal kamera görüntülerini kullanmak oldukça önemlidir.

4.2.4. Elektrolüminesans Ölçümleri

PV modüllerin gözle görülmeyen kusur ve hasarlarının tespiti için sahada, kurulu olan modüllerden rastgele seçilimle belirlenen % 1'lik modül grubu üzerinde elektrolüminesans görüntülemesi gerçekleştirilmiştir. Hasarlara bağlı enerji kayıplarının tespiti için de elektrolüminesans görüntülemesi gerçekleştirilen modüllerin IV ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.28 ve Çizelge 4.5).



Şekil 4.28. PV modül elektrolüminesans görüntüleri

Çizelge 4.5. PV modülde gerçek zamanlı IV ölçümleri

	I_{sc} (STC)[A]	V_{oc} (STC)[V]	P_m (STC)[W]	I_{pm} (STC)[A]	V_{pm} (STC)[V]
1	7,45	45,89	244,93	6,81	35,94
2	7,46	45,55	190,90	6,97	27,37
3	7,40	46,18	240,07	6,34	37,85
4	7,42	46,10	248,38	6,84	36,30
5	6,79	43,91	218,08	6,32	34,49
6	6,71	44,33	220,18	6,22	35,40
7	6,76	43,87	216,59	6,21	34,90
8	6,58	44,42	213,62	6,10	35,03

İncelenen elektrolüminesans görüntülerinde aşağıda yazılı olan kusur ve hasarlara rastlanmıştır:

- **Orantısız Hücre Verim Kayıpları:** PV modülü oluşturan 60 adet hücre içerisinde verim oranları farklılık göstermektedir. Zamana ve kullanım koşullarına (ışıma şiddeti, ışıma süresi, sıcaklık, vb.) bağlı olarak verim kayıpları yaşanacağı bilinen modüllerde, aynı modülü oluşturan hücrelerin aynı oranda kayıplara maruz kalacağı varsayılır. Ancak hücreler arası imalat kalitesi farklılığı ve/veya kurulum veya işletme hataları da benzer orantısız verim kayıplarına sebep olabilmektedir. Ayrıca, ölçümleri gerçekleştirilen tüm modüllerde gözlemlenen ortak problem ise bazı hücrelerin kendi içerisinde de verim dengesizliğinin görülmesidir. İmalat kaynaklı olduğu düşünülen bu hata nedeniyle modül verimi azalırken beraberinde modül ömrünü de azaltmaktadır.
- **Hücre Kırıkları ve Mikro Çatlaklar:** Hücreyi oluşturan yarı iletken tabaka kırılgan bir yapıya sahiptir. Çeşitli nedenlerle bu tabakalarda kırılma veya çatlaklar gözlemlenmektedir. Gerek yarı iletkenin imalatı süreçlerindeki kesme, laminasyon ve kaplanma işlemleri ve gerekse fotovoltaik sistem kurulumlarında gerçekleştirilen lojistik, montaj ve işletme süreçlerindeki temizleme aşamalarının tamamında hücre kırılması veya mikro çatlakların gerçekleşmesi muhtemeldir. Kırılma veya çatlakların belirdiği hücrelerde, hasarın yönüne bağlı olarak hücrede gerilim düşümü ve buna bağlı olarak Doluluk çarpanı, (fill factor, FF) değerinin azalmasına sebep olmaktadır.
- **Doğrudan İmalat Kusurları:** Ölçümü gerçekleştirilen modüllerin hepsinde ayrı ayrı, modülü oluşturan hücrelerin iki veya daha fazlasında eşlenik hatalar görülmektedir. Özellikle ardışık gelen hücrelerin aynı alanlarında, aynı fiziki büyüklük ve şekilde görülen hatalar, bu hücrelerin imalat kusuru taşıdığını kanıtlamaktadır. Her bir kusur ayrı ayrı

değerlendirildiğinde hafif kusur olarak sınıflandırılabilecekken modülleri oluşturan hücrelerin çoğunda bu eşlenik imalat hataların görülmesi genel itibariyle uzun vadede yüksek verim kayıplarına neden olabilecek ve modül kullanım ömrünü kısaltacaktır.

- **Çeşitli hasarlar:** Yukarıda sözü edilen hata ve hasarların yanı sıra PV modüllerde görülmesi muhtemel başka problemler de farklı yoğunluklarda olmak üzere ölçümü yapılan modüllerde gözlemlenmiştir.
  a. Yarı iletken imalatında rastlanan heterojen karışım hamuru etkisi bir örnek olarak görülmektedir.
  b. Hücreler üzerinde görülen noktasal bozunumların çeşitli sebepleri bulunmaktadır.

Bu sebeplerden en yaygın olarak görüleni hotspot denilen ısı noktası oluşması ve buna bağlı olarak hücre yanığının meydana gelmesidir. Hotspot oluşumunun da farklı sebepleri bulunmaktadır. Özellikle seri bağlı hücreler arasındaki voltaj farklılıkları sebebiyle ters voltaj yüklemesi ve buna bağlı olarak hücrede aşırı ısınma görülebilmektedir. Ayrıca PV modül üzerinde oluşacak kısmi gölgelenmelerde hotspot oluşumuna ve voltaj farklılıklarına bağlı olarak ısınma problemlerine sebebiyet vermektedir. Söz konusu kısmi gölgelenme herhangi bir yükseltinin oluşturabileceği gölgenin yanı sıra modül üzerindeki herhangi bir lokal kir ve lekenin de gölge etkisi olabilecektir.

Bu sözü edilen etkilerin yanı sıra imalat, lojistik ve kurulum sürecinde uygulanan çeşitli hatalar benzer deformasyonlara sebep olmaktadır:

- LID denilen imalat kusuru, silikon kristal içerisinde kalan oksijen atomları ile silikon dopinginde kullanılan bor atomlarının reaksiyonu sonucu oluşur. Ancak bu hatalar p tipi yarı iletkenlerde görülebilecek bir kusurdur.
- İmalat, lojistik ve kurulum esnasında yaşanan dikkatsizlikler neticesinde oluşan hücre mikro çatlakları ile hücrelerde bozunumlar yaşanmaktadır.

Saha koşullarında yapılan ölçümlerde standart test koşullarına dönüştürülerek ölçümler yapılmıştır. Çizelge 4.5'te verilen IV ölçüm sonuçları incelendiğinde; modüller arasında ciddi güç farklılıklarının olmasının yanı sıra modüllerin gerçek arazi koşullarında çoğunun etiket değerlerini sağlamadığı görülmüştür.

Sonuç olarak; elektrolüminesans görüntülemede tespit edilen kusurların modül verimlilikleri üzerindeki etkilerinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla görüntülemesi yapılan her modülün IV ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5'te verilen sonuçlar ile Şekil 4.28'de verilen elektrolüminesans görüntüleri karşılaştırıldığında; modüllerde tespit edilen kusurların türüne ve oranına bağlı olarak verim kayıplarına sebep olduğu görülmektedir. Özellikle, hücre kırıklarının sebep olduğu verim kayıplarının %20 oranına yakın olduğu tespit edilmiştir.

Elektrolüminesans görüntüleme ile elde edilen bulgular sonucunda; üretim kaynaklı ve üretim sonrası oluşan hasarlar olmak üzere kusurların iki ayrı grupta değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Özellikle üretim kusurlarının tespiti amacıyla fabrika çıkış elektrolüminesans görüntülerinin kurulum öncesi temin edilerek değerlendirilmesi ve kusurlu modüllerin ayıklanması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca, üretim sonrası oluşması muhtemel lojistik ve montaj kaynaklı kusurların tespiti için de yerinde kontrol prosedürleri içerisinde elektrolüminesans görüntülemesi gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

4.2.5. Güç Kayıt Cihazı

PV sisteminde tüm elektriksel güç verilerinin ölçülmesi için güç kayıt cihazı ve clamp on sensor kullanılmıştır. Değişken frekanslı pompa sürücüsünün pompa çıkışına konulan clamp on sensörler ile ölçümler alınmıştır. 10.07.2021-12.07.2021 tarihlerinde yapılan 3 günlük (10 dakikalık periyotlarda) ölçümlerde hem şebeke ile hem de güneş enerjiyle çalıştırılmıştır.

Buna göre değişik zamanlarda minimum ve maksimum değerleri kayıt altına alınan verilerin bazıları Şekil 4.29'da verilmiştir. Burada ortalama güç 35 kW ve maksimum 96,8 kW sürücü çıkışında ölçülmüştür. Ortalama güç değeri 12.07.2021 (saat 11:10:00) tarihinde okunur iken maksimum güç değeri 10.07.2021 (16:40:00) tarihinde okunmuştur. Diğer veriler detaylı bir şekilde verilmiştir.

Date Time	U1[V]	U2[V]	U3[V]	I1[A]	I2[A]	I3[A]	P[kW]
Average value in the period	158.86	158.96	158.14	72.8	71.8	71.1	35.5
Maximum value in the period	376.31	376.59	374.87	184.9	182.6	180.2	96.8
Time of maximum value	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	12.07.2021 11:10:00	12.07.2021 11:10:00	12.07.2021 13:20:00	12.07.2021 11:10:00
Minimum value in the period	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
Time of minimum value	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00

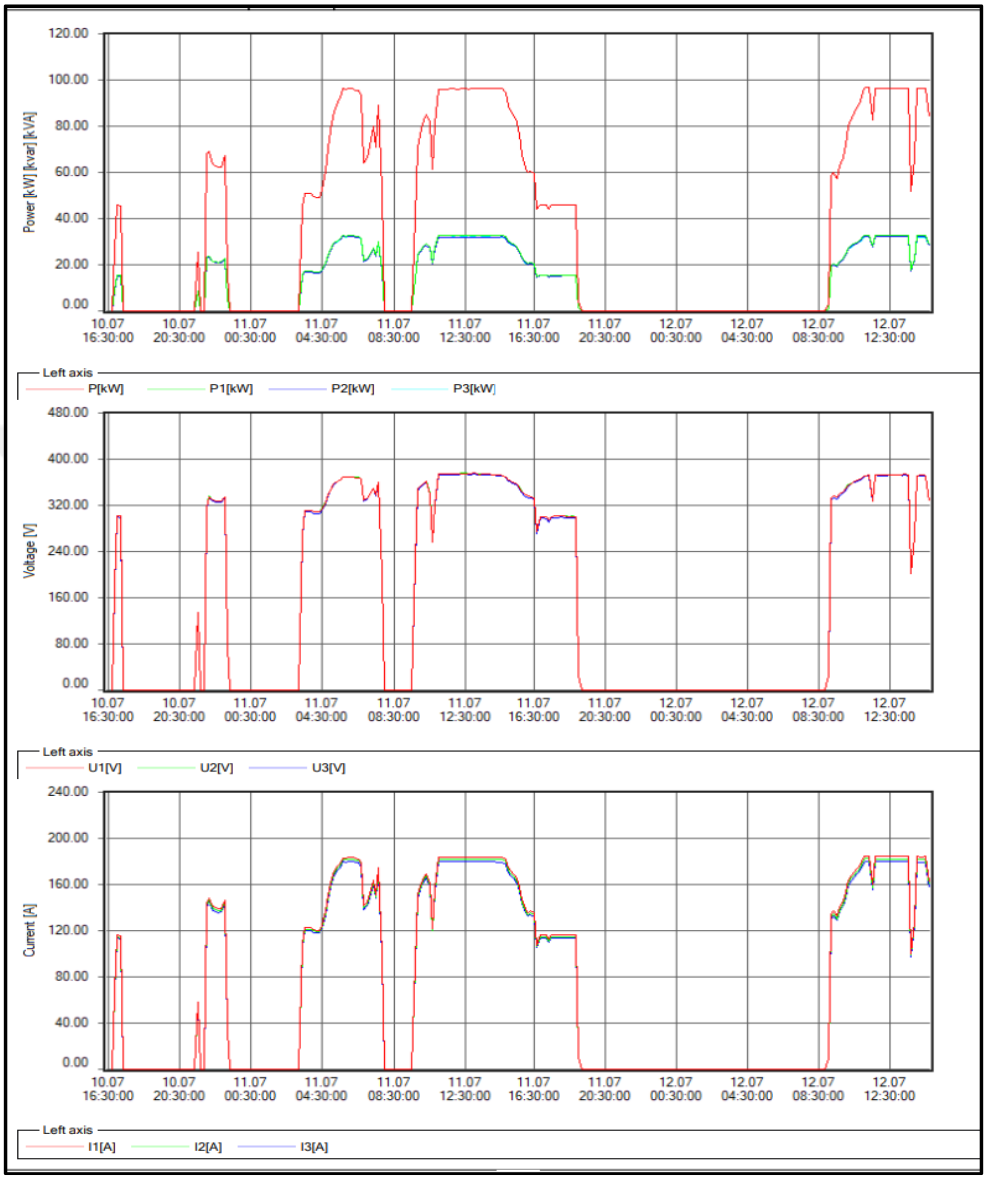
Date Time	P1[kW]	P2[kW]	P3[kW]	Q[kvar]	Q1[kvar]	Q2[kvar]	Q3[kvar]
Average value in the period	12.00	11.77	11.77	25.8	8.82	8.80	8.66
Maximum value in the period	32.73	32.15	31.96	69.0	23.58	23.60	23.23
Time of maximum value	12.07.2021 11:10:00	12.07.2021 11:20:00	12.07.2021 11:10:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00
Minimum value in the period	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
Time of minimum value	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00

Date Time	S[kVA]	S1[kVA]	S2[kVA]	S3[kVA]	PF	PF1	PF2
Average value in the period	44.1	14.95	14.75	14.66	0.8010	0.7968	0.7918
Maximum value in the period	118.5	40.17	39.66	39.46	0.8278	0.8254	0.8234
Time of maximum value	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 13:00:00	11.07.2021 06:10:00	11.07.2021 06:10:00	11.07.2021 06:10:00
Minimum value in the period	0.0	0.00	0.00	0.00	0.6973	0.6828	0.6776
Time of minimum value	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	10.07.2021 16:40:00	12.07.2021 09:00:00	12.07.2021 09:00:00	12.07.2021 09:00:00

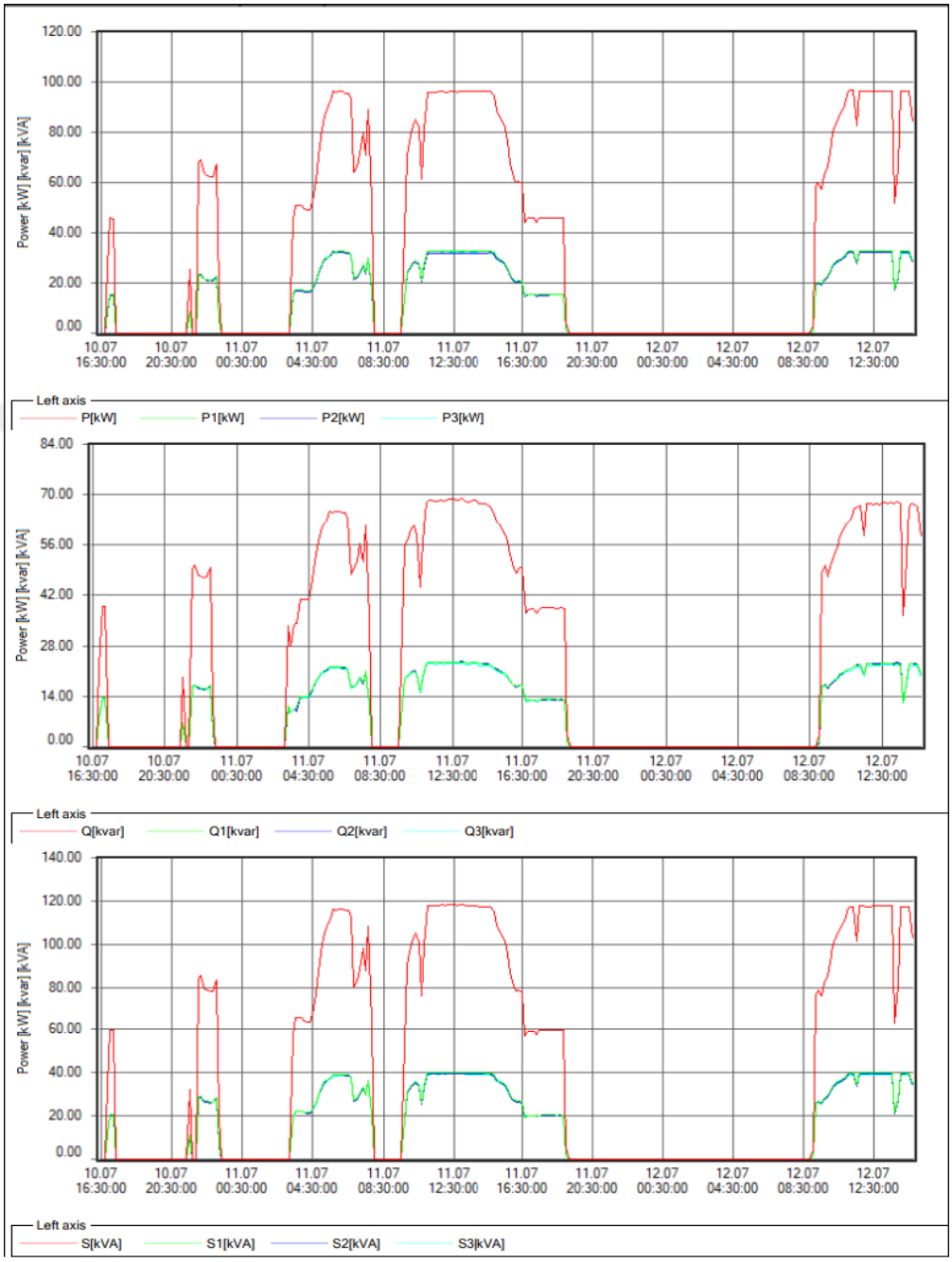
Date Time	PF3	WP+[kWh]	Pdem+[kW]
Average value in the period	0.7963		35.4
Maximum value in the period	0.8257		96.8
Time of maximum value	11.07.2021 06:20:00		12.07.2021 11:10:00
Minimum value in the period	0.6806		0.0
Time of minimum value	12.07.2021 09:00:00		10.07.2021 16:40:00

Şekil 4.29. Güç kayıt cihazı ile ölçülen güç değerleri

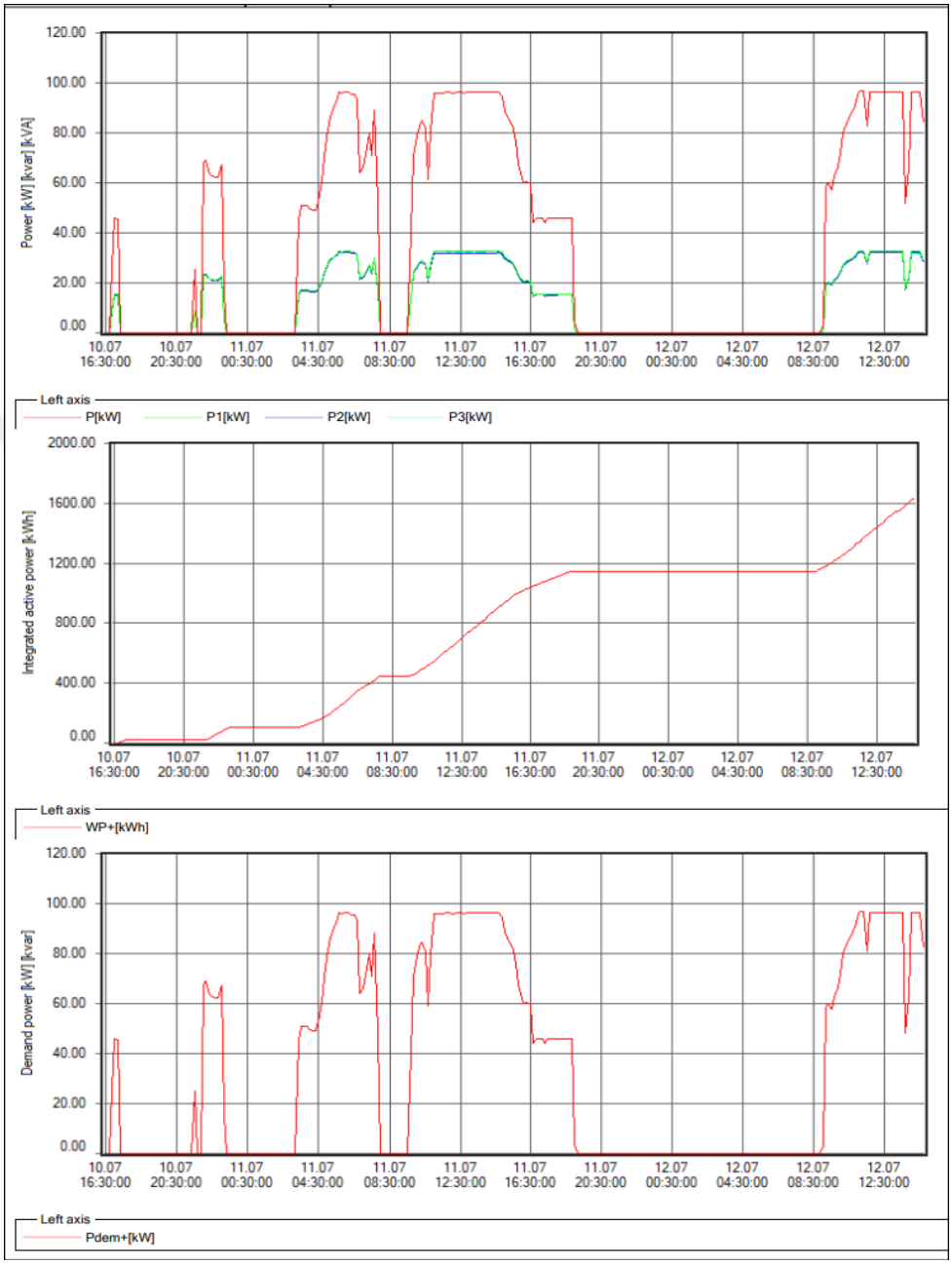
Çalıştığı süre içerisinde günlük raporlama ve grafiklerde alınmıştır. Tüm bu grafikler sulama vaktinde ve dışında kaydedilerek grafik şeklinde üç günlük değişimler verilmiştir (Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32).



Şekil 4.30. Güç kayıt cihazı ile ölçülen akım, gerilim ve güç verileri



Şekil 4.31. Güç kayıt cihazı ile ölçülen güç değerleri



Şekil 4.32. Güç kayıt cihazı ile ölçülen toplam güç değerlerine ait verileri

4.3. Maliyet Analizi

Yer altı sularının kullanan kişilere göre ayrıldığında bireysel, sulama birlikleri aracılığıyla bireysel ve kamu kurumları tarafından kullanılmaktadır. Bireysel sulama sistemlerinde tek terimli tek zamanlı alçak gerilimde tarımsal sulama abonelerine uygulanan Ocak-Nisan 2022 elektrik tarife dönemi Çizelge 4.6'da verilmiştir (Enerji Atlası, 2022b).

Çizelge 4.6. Tarımsal sulama fiyatları (Enerji Atlası, 2022b)

Tarımsal Sulama abonelikleri fiyat tarifeleri	
Tüketim Miktarı	1 kWh
Elektrik Ücreti (a)	1,398998 TL
Dağıtım Bedeli (b)	0,276811 TL
BTV * (a,%5) (e)	0,069950 TL
KDV Matrahı (d=a+b+c)	1,745759 TL
KDV (d,%18) (e)	0,139661 TL
Elektrik Fiyatı (d+e)	1,885420 TL

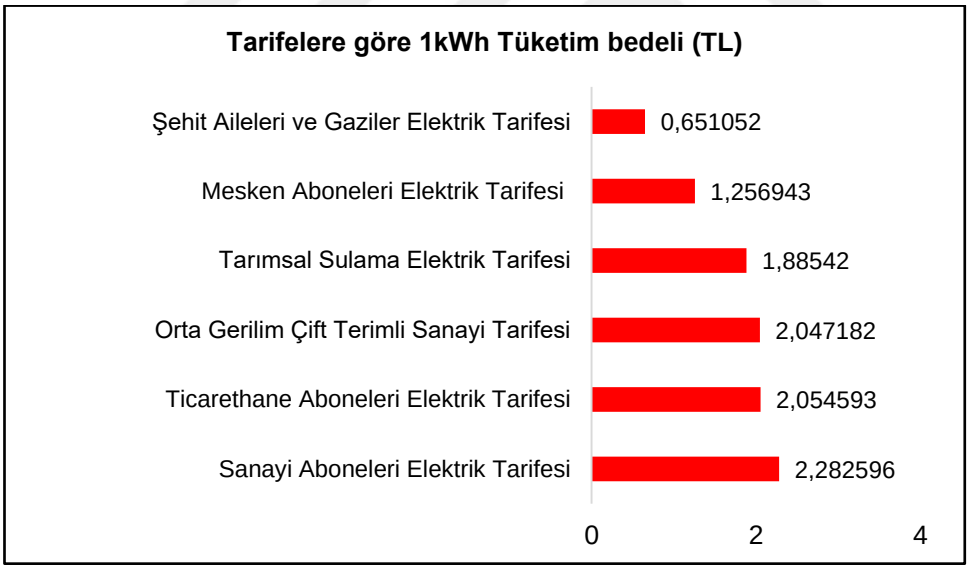
* **BTV** : Belediye tüketim vergisi olup elektrik perakende satış şirketi tarafından, abonenin bağlı olduğu ilçe belediye adına alınır.

Tarımsal sulamada, bireysel tüketimde eğer sulama kuyusu aboneliği üzerinden ödeme yapılıyor ise burada tarımsal sulama elektrik tarifesi 1 kWh tüketimde 1,89 TL (100 kWh tüketimde 189 TL) fiyat çıkmaktadır. Güncel elektrik birim fiyatına etki eden KDV, dağıtım bedeli gibi kalemlerin faturaya etkisini görülmektedir. Böylece fatura birim maliyetine vergiler ve çeşitli giderler eklendiğinde % 34,77 civarında bir artış söz konusu olmaktadır. Ancak tarımsal sulamada özellikle derin pompaj yapan bazı kesimlerde Tarım ve Orman Bakanlığının gelen elektrik tüketim faturasının belirli bir kısmını destekleme kapsamında ödemektedir. Bu destekleme "Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin, Batman, Siirt ve Şırnak gibi bazı illeri kapsamakta olup Karar" 30.05.2018 tarih ve 2018/11844 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe girmiştir. Bu oran her sene % 10 azalarak değişkenlik göstermektedir 2018 yılında % 65 desteklenirken 2021 yılında gelen fatura toplam tutarının % 35'i desteklenmiştir. Bu destek sulama birlikleri üzerinden sulama yapan çiftçiler içinde geçerlidir.

Bu destekleme sadece sulama aboneliklerinde geçerli olmaktadır. Sulama aboneliği dışında;

- Konut,
- Ticarethane,
- Sanayi ve
- Şehit Aileleri ve Gaziler için tarifeler mevcuttur.

Tarım ve Orman Bakanlığının destekleri sulama aboneliklerinde geçerli olup diğer aboneliklerde geçerli değildir. Diğer aboneliklerden faydalanarak sulama yapıldığında o aboneye ait tarifeden ödeme yapmaktadır. Tüm aboneliklere ait fiyat tarifeleri Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun tüm elektrik tarifeleri

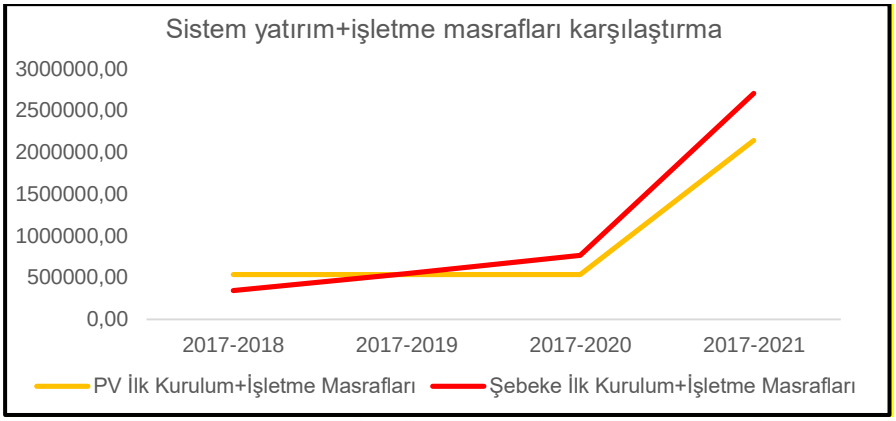
PV sistem ve şebeke enerjisi kullanılarak yapılan pompaja ait yıllara göre ilk kurulum ve işletme masrafları Çizelge 4.7'de yer almaktadır. Burada ilk kurulum masrafları PV sistemde, şebeke kurulumunun yaklaşık iki katı olduğu halde,

şebekede kullanılan enerji masrafları ve bakım giderleri sebebiyle beş yılın sonunda, PV sistemin yaklaşık iki katı masrafa ulaştığı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Sistemlerin yıllara göre karşılaştırılması

	PV Sistem	Şebeke
	PV İlk Kurulum+İşletme Masrafları	Şebeke İlk Kurulum+İşletme Masrafları
2017	534 481,00	207 400,00
2018	441,38	139 723,72
2017-2018	534 922,38	347 123,72
2019	531,22	202 243,31
2017-2019	535 453,60	549 367,03
2020	595,78	215 812,20
2017-2020	536 049,38	765 179,23
2021	684,99	278 297,25
2017-2021	2 143 159,73	2 705 146,46

Ekonomik karşılaştırması Şekil 4.34'teki grafikte görüldüğü gibi her iki sistemin masrafları açısından ilk çakışma, ilk yılın sonunda gerçekleşse de PV sistem ile şebeke sistemi maliyetleri, 3. yılın sonunda eşit duruma gelmiş olup, bu durum sistemin 3 yılda, ilk kurulum maliyetini karşıladığı anlamını taşımaktadır. 3. yıldan sonra şebeke sistemi maliyetleri, PV sistem maliyetlerinin üzerine çıkmaktadır.



Şekil 4.34. Sistemlerin ekonomik olarak karşılaştırması

Mevcut durumda, ticarileşmiş PV sistem modüllerinde sistem ekonomik ömrü genelde 25 yıl olarak öngörülmekle beraber kristal silikon teknolojisinde bu süre 30 yıla çıkabilmektedir (Doğanay, 2021). PV sistemin Ekonomik ömrünü doldurmadan uzun zaman önce kendini amorti ettiği görünmektedir.

Çalışma süresi olarak gerçek arazi şartlarından alınan verilere dayanarak pompanın çektiği elektrik miktarı sabit tutulup her iki sistem için eşitlendiğinde ve çalışma süreleri dahil edildiğinde aynı alanda, aynı ürünleri, sulu tarımda üretebilmek için PV sistemde, tüketime bağlı olarak yıllık 184 800 kW elektrik enerjisi üretilirken, 231 000 kW şebeke elektriği tüketilmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Tüketilen ve tasarruf edilen enerji miktarları

Elektrik	Saatlik tüketim (kWh)	Saat	Gün	Ay	Toplam tüketilen (kWh)
Şebekeden (harcanan)	-110	10	30	7	-231 000
PV Sistem ile (üretilen)	110	8	30	7	184 800

PV sistemin bahse konu avantajları sadece ekonomik olarak değil çevresel açıdan da çok önemli bir kazancı sağlamaktadır.

Çalışmaya konu sistemleri 2022 yılında kurulması istenildiğinde, firmalardan alınan tekliflere göre aynı güçte ve özellikte PV sisteminin kurulumu

30 97 500,00 TL'ye mal olmaktadır. Şebeke sistemi ise 263 000,00 TL'ye kurulabilmektedir. Ancak şebeke sisteminde sadece 2022 yılı için gerçekleşmesi olası işletme ve bakım giderleri 479 280,00 TL olmaktadır. Bu sebeple günümüzde PV sistem için sağlanan devlet sübvansiyonlarıyla birlikte PV sistemin kurulumu ve yaygınlaşması hem ekonomik olarak hem de Türkiye'nin taraf olduğu çevresel direktifler açısından oldukça yüksek avantajları beraberinde sağlamaktadır. Gerçek arazi şartları dahil edildiğinde bu çalışma Türkiye'de, alanında yapılmış ilk ve tek çalışmadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma büyük güçlü derin pompaj kuyusuna, PV modüllerin entegre edilip, uzaktan kontrol edilebilen ve dairesel hareketli bir sulama sisteminin kurulumu yapılmıştır. Böylece PV yöntemle güneşten üretilen elektrik ile çalışan ve uzaktan kontrol edilebilen kendi ekseninde dönen bir sulama sistemi geliştirilmiştir. Yüzeyine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren 700 adet polikristal yapıdaki modüllerin 60 adeti (15 kWp) sentır pivotun hareketi için diğer 640 adeti (160 kWp) dalgıç pompanın çalıştırılması için kullanılmıştır. Ayrıca bünyesinde kurulan otomasyon sistemiyle tüm verilerin takibi, depolanması, yorumlanması ve uzaktan kontrolü yapılabilmektedir. Böylece enerji kaynaklı olarak hareketli sulama sistemlerinde var olan sıkıntıları azaltabilecek örnek bir tesis kurulumu da gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu Dünya'da hibrit olarak PV modülleri kullanarak, bu kadar büyük güçlü bir pompanın modern sulama sistemlerine entegre edilerek çalıştırılmasına örnek olacak bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum çalışmamızı özgün yapmaktadır. Buradaki en büyük yenilik büyük güçlü dalgıç motorlarındaki demeraj akımından kaynaklanan büyük güçlerin gereksinimi azaltılması için özel bir pompa sürücüsü kullanılmıştır. Bu sürücü değişken frekanslı pompa sürücüsüdür. Sürücünün bünyesindeki hız kontrol sistemi sayesinde pompa başlangıçta düşük frekansla çalıştırılmakta, daha sonra frekans gerekli debiye ulaşıncaya kadar yükseltilmektedir (30-50 Hz). Böylece, ilk hareketteki fazla güç gereksinimi engellenmiş olunmaktadır.

Pompa sürücüleri; hali hazırdaki büyük güçlü derin kuyularda çalışan, yıllık birçok defa ilk kalkışta zarar gören ve tamir edilen pompalar mevcut olmasına rağmen pek kullanılmamaktadır. Bu sürücülerin yaygınlaşmamasının en büyük sebebi bilinmemesi, şebeke elektriği ile yıldız/üçgen şeklindeki bağlantı ile daha ucuz kurulum maliyetinin olması ve bilenlerin ise yüksek maliyeti söz konusu olduğu için kullanmamasıdır.

Pompa sürücüsü yapılan arazi denelerinde ve hesaplamalarından 45 Hz'de ideal çalışma frekansı olduğu, daha düşük frekansta çalışması durumunda ise pompa debisi ve basınçta düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum etkin sulamayı etkilediğinden mümkün oldukça sistem 4 bar basınç ve 200 m^3/h debide veya yakın değerlerde çalışması için otomasyon sistemi ayarlanmıştır.

Değişken frekanslı pompa sürücüsünün kullanılmasının bir başka faydası ise eski dalgıç pompa motoru öncesinde yıldız/üçgen bağlantısı ile çalışmakta ve demeraj akımı çekmekte idi. Bu durum 3 katından daha fazla enerji çekme söz konusu olduğu için modül ve sürücü gücü daha büyük seçilmesi gerekliyken değişken frekanslı pompa sürücüsünün frekansı değiştirebilme özelliği sayesinde düşük frekanstan ihtiyaç olan frekansa kademeli olarak çalıştığı için bu sorun aşılarak sistemin kurulum maliyeti azaltılmıştır.

Dairesel hareketli sulama sisteminin çalışma frekans aralığını genişleten ve dolayısıyla günlük sulama saat sayısını artıran ve düşük ışınım şiddetinde dahi pompayı durdurmak yerine ilerleme hızını yavaşlatarak pompalanan su hacmini artırılan bir başka dikkate alınması gereken bir yenilik olmuştur.

Pompa çalıştırıldığında üç sebepten dolayı vuruntu yaptığı (kesintili çalıştığı) gözlenmiştir. Bunun ilki yetersiz güneş ışınım şiddetinden dolayı PV modüllerin enerji üretememesi, ikincisi PV modüllerinin üzerindeki toz ve üçüncüsü piranometre üzerindeki kirlenmeden kaynaklı otomasyona gönderdiği yanıltıcı veriden kaynaklanmıştır. Vuruntuyu önlemek için sistemde birkaç düzenleme yapılmıştır. Örneğin kurulu olan sistemde yapılan ışınım şiddeti ölçümlerinde pompanın emniyetli şekilde ve vuruntu yapmayacak şekilde çalışması için ışınım şiddetinin yatay düzlemde 500 W/m^2 ve üzeri olması gerektiği bulunmuştur. Bu veriye göre dalgıç pompaya yol verecek şekilde otomasyon ayarlanmıştır. Aksi haldeki düşük ışınım şiddetinde pompanın vuruntu yaptığı gözlenmiştir. Bu durumda tüm sisteme çok yönlü bir zarar verebileceğinden söz konusu değer ve altında çalışmayacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Kullanılan dalgıç pompanın gücü 110 kW olup gerekli modül gücü standart koşullarda 110 kW'tır. Ancak çalışma alanı;

- Türkiye'nin en fazla sıcak bölgesi olduğundan ve modül gücünün yaz aylarında 70 °C civarına kadar yükselebilmesi,
- Çalışma alanının güney kesiminden gelen toz fırtınaları sonucu modüllerin yüzey alanının belirsiz yoğunlukta tozla kaplanıp kirlenmesi,
- Kanatlı ve kemirgen yabani hayvanların modül yüzeyi ile bağlantı elamanlarına olan temas sorunları,
- Güneşten gelen ışınımın tüm sene boyunca STK koşullarında olduğu gibi 1.000 W/m2 değerinde seyretmediği ve değişken olması,
- Modüllerin yer yüzeyi ile olan eğim açısının güneye dönük sabit olmasından dolayı,
- Güneşten gelen güneş ışınlarının her zaman modüllerin yüzey alanına dik gelmemesinden dolayı,
- Yetersiz ışınım şiddetine maruz kalması, modül üretimin düşmesi ve bunun sonucunda sulama pompasının düzensiz ve yetersiz çalışması gibi birçok sorun özellikle arazi koşullarında mevcuttur.

Buna göre standart test koşullarındaki ile yöredeki dış ortam maksimum modül sıcaklık farkı 45 ^{o}C'yi bulabilmektedir. Modül sıcaklık katsayısı -0.45 %/^{o}C'dir. Buna göre çıkan bu farka göre hesap yapıldığında sadece sıcaklık kaynaklı toplam verimde % 20-25 civarında düşüş söz konusu olabilmektedir. Tozlanmadan kaynaklı yapılan ölçümlerde % 5 civarında verim düşüklüğü mevcuttur. Toplam verimde bulutluluk faktörü ve yetersiz ışınım şiddeti gibi koşullar % 15'i bulan kayıplara sebebiyet verebilmektedir. Aslında sabit açılı küçük güçlü PV destekli sulama sistemlerinde bu oran % 30 kabul edilebilir iken büyük güçlü sistemlerde bu oran ne kadar büyük tutulur ise sulama süresi daha çok arttırılabilir. Aksi halde pompada vuruntu meydana gelmektedir. Vuruntu,

pompanın anlık ihtiyacı olan gücün dış faktörlerden kaynaklı olarak modüllerden kesintili olarak karşılanması sonucu ortaya çıkmakta olup; Tam kapasitede sabit frekansta çalışamayıp debide anlık değişimlere (dur-kalk şeklinde) sebebiyet vereceğinden pompaj tesisinin verimsiz çalışmasını sebebiyet vermektedir. Yukardaki sebepler ve hesaplamalar sonucu özellikle günlük sulama süresinin yükseltmek, sulama pompasında vuruntuyu önlemek ve pompaj verimini yüksek tutmak için kullanılan dalgıç pompa gücünün % 45 fazlası kadar modül gücü daha büyük seçilmiştir.

İşletme bulguları sırasında 500 da alana ekilen buğday ve mısır bitkilerin su ihtiyacını karşılaya bildiği tespit edilmiştir. Ayrıca pompa çıkışana T bağlantısı yapılarak özellikle buğday bitkisinde farklı yerde olan arazilerinde yağmurlama sulama ile yöntemiyle 500 da alan daha sulanmıştır. Böylece bu sistem ile tarla bitkilerinde sulana bilen alan 1 000 dekara ulaşmıştır.

Ürünün su isteğine göre dairesel hareketli sulama sisteminin ilerleme hızında değişkenlik yapılabilmektedir. Dairesel hareketli sulama sistemi % 20-40 civarında bir hız oranıyla sulama yaptırılmaktadır. Hız oranı % 40 değerinde çalıştırıldığında yaklaşık tam turu 24 saatte civarında tamamlayabiliyor. Tarlanın su isteği fazla ise makine daha yavaş % 10 hız oranında hareket ettirilmekte, su isteği az ise daha hızlı % 40 hız oranında hareket ettirilebilmektedir. Bu işlemin tamamı uzaktan kontrol yapılabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Böylece bu sisteme birden çok sahip olan işletmeler için bu otomasyon ve yazılım ile kontrol ve takip çok daha kolay yapılması için örnek bir tesis ve sistem kurulmuştur.

Gerçek çalışma şartları ve laboratuvar ortamındaki şartlar farklı olduğundan, üretici firmalar tarafından verilen katalog performans değerlerine, gerçek çalışma şartları altında, özellikle de meteorolojik şartların sert olduğu bölgelerde ulaşılamamakta ve bunun sonucunda kullanılan cihazların performanslarında düşüşler görülmekte veya başarısız sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle gerçek çalışma şartları altındaki performans değerleri kullanılarak yapılan performans testleri kullanıcı açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Fotovoltaik

sistemlerin performanslarının tespiti için akım, gerilim (voltaj), çevre sıcaklığı (dolayısıyla modül yüzey sıcaklığı) ve rüzgâr hızı gibi parametrelerin ölçümü gerekli olmaktadır. Bu anlamda hem sisteme dahil olan hem de sistem dışından farklı cihazlarla performans ölçümleri yapılmıştır.

Web otomasyonuna senkronize olarak bağlı çalışan internet sitesinin bulgularına bakıldığında 2017 yılından beri kurulu olan PV modüllerden 212 782 kWh enerji kullanan dalgıç pompa toplam 433 433 m³ sulama suyu çıkartarak sulama sistemine göndermiştir. Bugüne kadar önlenen CO_2 miktarı 148 947 kg olarak hesaplanmıştır. Gece ve bulutlu günlerde güneş yok iken veya yetersiz iken şebeke elektriği kullanılmıştır. Kurulumdan beri çekilen elektrik miktarı 597 643,88 kWh'tır. Sulamanın aktif olup olmadığı ve birçok veri aynı şekilde sitede mevcut olup ihtiyaç halinde uzaktan takip edilebilmektedir. Şebeke ve PV modüllerden gelen elektrik kesildiğinde dahi sistemin sürekli ve kesintisiz çalışması için aküler mevcuttur. 2017 yılından beri aküler 48 V şekilde bağlantısı yapılmış olup şarjda iken 48-60 V arasında bir gerilim okunmaktadır. Web otomasyonu üzerinden takip edilmekte ve gerilimde düşme olduğunda müdahale hemen yapılabilmektedir.

Ayrıca performans ölçümleri ile birlikte bitkisel ürün yetiştiriciliği için gerekli bazı parametrelerde kayıt altına alınmaktadır. Ana otomasyon sistemine bağlı modüle gelen ve sistem kurulumdan beri tüm zamanlarda yapılan ölçümlerden alınan verilere göre maksimum ışınım şiddeti 1.234 W/m^2 olarak (2019-04-22 12:34:17.) ölçülmüştür. Minimum hava sıcaklığı -9,17 ^oC (2020-12-25 07:32:45), maksimum hava sıcaklığı 49,96 ^oC (2019-08-12 15:07) ölçülmüştür. Modül maksimum sıcaklığı 79 ^oC 2020-06-09 tarihinde saat 12:46'da ölçülmüştür. Maksimum rüzgâr hızı 49,75 m/s (2018-07-18 00:58:33) ölçülmüştür. Maksimum rüzgâr basıncı 1044,54 hPa (Hectopascal) olarak ölçülmüştür. Kurulumundan beri 2017-08-26 tarihinde ve saat 11:19'da pompa sisteme anlık maksimum 250 m^3/h debide sulama suyu göndermiştir. Bu değer pompanın anlık en yüksek değeri olacak ölçülmüştür. Aralık aylarında 20 cm derinlikteki toprak altı sıcaklık

sensörünün 10 ^{o}C altına düştüğü, 40 cm derinlikteki sensör ise 11 ^{o}C civarında kaldığı görülmüştür. Yaz aylarında ise iki derinlikte sıcaklığın 30 ^{o}C üzeri çıktığı görülmüştür. Her iki derinlikteki nem sönsörleri ise % 20-80 seviyelerinde değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sulama ile birlikte toprakta bulunan rutubet artıkça toprak sıcaklığının azaldığı, düştükçe arttığı gözlenmiştir. Yaz aylarında ise bu değişkenliğin azaldığı ve çok az etkilendiği verilerden tespit edilmiştir.

Kurulumundan beri değişik dönemlerde ve miktarlarda sulama yapıldığından aylara göre birçok değişken ortaya çıkmıştır. Uzun yıllar verileri saniye bazında çok fazla veri olduğu için grafik üzerinden değerlendirme ancak her ay için tesadüfen seçilen birkaç güne ait saatlik grafikler ile yorumlanmıştır.

İzolasyon megeri vasıtasıyla yapılan testlerde elde edilen sonuçlar izolasyon değerlerinin bazı modüllerde minimum değer olan 0,5 MΩ'dan yüksek olduğu görülmüş çok az bir kısmı bu değere yakın ve altında ölçülmüştür. Bu durum sulamadaki 640 modülden 20 adet modülün eksilmesine neden olmaktadır. Sistem hedeflenenden daha az üretim yapacağından sulama süresinin normal dönemlere göre daha azaldığı görünmüştür. Bundan dolayı özellikle yer altı DC kabloları için koruyucu tedbirlerin alınması gerektiği ve bu işlemin düzenli yapılması gerektiği görülmüştür.

Ayrıca saha genelinde toprak seviyesinin altında olan menholler bulunmakta olup bu sebepten dolayı birçok menhol yağışlı günlerde su ile dolacaktır. Bu menhollerin izolasyon kaçaklarında tehlike arz etmemesi ve bakım-işletme sırasında kolayca ulaşılabilmesi için menhollerin zemin seviyesinden yükseltilerek etrafı dolgu malzemeleriyle düzenlenmesi ve kemirgen hayvanların girişi engellenecek tüm önlemlerin alınması gerektiği tespit edilmiştir.

Tüm sahada bulunan modüllerin termal çekimleri yapılmıştır. Sulama yaparken termal kamera görüntüleri alındığında bazı PV modüllerin hücresel bazda bazı kısımlarında ve belirli bir alanda yüksek sıcaklık artışları görülmüştür. Buda PV modüllerin verimlerini etkilemektedir. PV modülün üretmesi gereken enerji azaltan etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıkıntılı olan bazı

modüllerin termal görüntülerinin sonuçları göre birkaç etken ön plana çıkmıştır. Hareketli sulama sisteminin, modül yüzeyindeki kanatlı hayvanlara ait dışkılar ve otların gölgesi veyahut üretim ile montaj kaynaklı arızalı hücre varlığından dolayı PV modüllerde ısınmalar tespit edilmiştir. Bundan dolayı yabancı maddelerin gölgesi uzun zaman kalması durumunda hücreye zarar vereceğinden temizlenmesi gerekmektedir. Ancak sulama sistemi hareketli olduğu için uzun vadede bir sorun oluşturmadığı gözlenmiştir. Gölge yeri değiştiğinde modülün diğer kısımlarındaki modül yüzeyiyle aynı sıcaklığa düştüğü tespit edilmiştir.

Yapılan termal kamera görünümlerinde tozlu PV modüllerin ve hücrelerinin temiz olanlara göre sıcaklıklarının daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Temiz olanlarının ise 1-5 ^{o}C daha düşük sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Tozlanma ve kirlenmenin daha artması bu değerleri daha attırabilmektedir. Bu durum modülleri, sistemi ve nihayetinde sulama süresini kısalttığı ve sistemin performansını bu yönde daha çok etkilediği tespit edilmiştir. Bundan dolayı modüllerin belirli aralıklara temizlenmesi gerekmektedir. Modül alınır iken toz tutma oranı daha düşük modüller tercih edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ışınım artışı ile birlikte çıkış gücünün artışı yanında çalışma sıcaklığının modül üzerindeki olumsuz etkisi de ortaya konmuştur. Bundan dolayı sulama pompasının daha verimli ve uzun süreli çalışması için sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde sıcaklıktan daha az etkilenen PV modüllerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Pompa sahadaki yerine montajı yapılarak ve sistemin gerçek arazi şartlarındaki sürtünme ve yük kayıpları da dahil edilerek 16.06.2020 tarihinde toplam sistem verimi % 54 olarak ölçülmüştür.

Elektrolüminesans görüntülemede tespit edilen kusurların modül verimlilikleri üzerindeki etkilerinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla görüntülemesi yapılan her modülün IV ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elektrolüminesans görüntüleri karşılaştırıldığında; modüllerde tespit edilen kusurların türüne ve oranına bağlı olarak verim kayıplarına sebep olduğu

görülmektedir. Özellikle, hücre kırıklarının sebep olduğu verim kayıplarının % 20 oranına yakın olduğu tespit edilmiştir. Elektrolüminesans görüntüleme ile elde edilen bulgular sonucunda; üretim kaynaklı ve üretim sonrası oluşan hasarlar olmak üzere kusurların iki ayrı grupta değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Özellikle üretim kusurlarının tespiti amacıyla fabrika çıkış elektrolüminesans görüntülerinin kurulum öncesi temin edilerek değerlendirilmesi ve kusurlu modüllerin ayıklanması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca, üretim sonrası oluşması muhtemel lojistik ve montaj kaynaklı kusurların tespiti için de yerinde kontrol prosedürleri içerisinde elektrolüminesans görüntülemesi gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

PV sistem ve şebeke enerjisi kullanılarak yapılan pompaja ait yıllara göre ilk kurulum ve işletme masrafları bakımından ilk kurulum masrafları PV sistemde, şebeke kurulumunun yaklaşık iki katı olduğu halde, şebekede kullanılan enerji masrafları ve bakım giderleri sebebiyle beş yılın sonunda, PV sistemin yaklaşık iki katı masrafa ulaştığı hesaplanmıştır.

Her iki sistemin ekonomik olarak karşılaştırması her iki sistemin masrafları açısından ilk çakışma, ilk yılın sonunda gerçekleşse de PV sistem ile şebeke sistemi maliyetleri, 3. yılın sonunda eşit duruma gelmiş olup, bu durum sistemin 3 yılda, ilk kurulum maliyetini karşıladığı anlamını taşımaktadır. 3. yıldan sonra şebeke sistemi maliyetleri, PV sistem maliyetlerinin üzerine çıkmaktadır.

Böylece mevcut durumda, ticarileşmiş PV sistem modüllerinde sistem ekonomik ömrü genelde 25 yıl olarak öngörülmekle beraber kristal silikon teknolojisinde bu süre 30 yıla çıkabilmektedir. PV sistemin ekonomik ömrünü doldurmadan uzun zaman önce kendini amorti ettiği görünmektedir. Çalışmaya konu sistemleri 2022 yılında kurulması istenildiğinde, firmalardan alınan tekliflere göre aynı güçte ve özellikte PV sisteminin kurulumu 3 097 500,00 TL'ye mal olmaktadır. Şebeke sistemi ise 263 000,00 TL'ye kurulabilmektedir. Ancak şebeke sisteminde sadece 2022 yılı için gerçekleşmesi olası işletme ve bakım giderleri 479 280,00 TL olmaktadır. Bu sebeple günümüzde PV sistem için sağlanan devlet

sübvansiyonlarıyla birlikte PV sistemin kurulumu ve yaygınlaşması hem ekonomik olarak hem de Türkiye'nin taraf olduğu çevresel direktifler açısından oldukça yüksek avantajları beraberinde sağlamaktadır. Gerçek arazi şartları dahil edildiğinde bu çalışma Türkiye'de, alanında yapılmış ilk ve tek çalışmadır.

Türkiye, kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında, su stresi yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu nedenle suyun tasarruflu ve optimum bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Bundan dolayı güneş enerjisinin modern tarımsal sulamada kullanımı çok büyük önem arz etmektedir. Böylece büyük güçlü derin pompaj kuyusuna, PV modüllerin entegre edilip, uzaktan kontrol edilebilen ve dairesel hareketli modern sulama sistemlerin kurulumu artmasıyla hem enerjiden hem de sudan tasarruf sağlanmış olunacaktır.

Dünya çapında, enerji ihtiyacı, yenilenebilir kaynakların bolluğu ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin düşen maliyeti sebebiyle PV teknolojisi birçok fırsat sunmaktadır. Şebeke içi ve şebeke dışı elektrik enerjisi kullanımında PV sistemlerin kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Güneş enerjisine dayalı su pompalama, kırsal alanlar için yaygın olarak kullanılsa da sulama sektöründe, PV tabanlı su pompalama teknolojisinin kullanımı oldukça azdır. Dünya çapında sulama amacıyla kullanılan su pompalarının çoğu, fosil yakıtlarla veya şebekeden sağlanan elektrikle çalışan motorlarla çalıştırılır. Fosil enerji kaynaklarının bulunabilirliği sınırlıdır ve kullanımlarından kaynaklanan emisyonların küresel iklim üzerinde ciddi şekilde olumsuz etkileri vardır. Gelişmekte olan ülkelerde elektrik arzı, kırsal alanlarda ve ülke genelinde yetersiz ve güvenilmez olma eğilimindedir. Bu bağlamda, PV teknolojisini sulu tarıma daha geniş bir ölçüde dahil etmek çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Artan akaryakıt fiyatları ve enerji tarifeleri, tarımsal üretimden elde edilen gelirler üzerinde önemli finansal bir etkiye sahiptir.

PV destekli su pompalama teknolojisi, sulama sistemlerine farklı şekillerde entegre edilebilir. Farklı ülkelerde bu teknolojisinin kullanımına bakıldığında, bu teknolojinin geniş uygulama yelpazesi olduğu görülmektedir. Teknik açıdan

incelendiğinde, PV destekli su pompalama çoğu sulama konseptine entegre edilebilir. Yer altı veya yüzey suyu kaynaklarından su çekilmesi, büyük pompa başlıklarının ve büyük taşıma miktarlarının gerektiği durumlarda bile teknik olarak mümkündür. PV pompaları, PV destekli sentır pivotların dahil olduğu kapalı sulama sistemlerini basınçlandırmak için de kullanılabilir. Pompa üreticileri tarafından bakıldığında teknolojisinin gelişimi çok ileri düzeydedir ve bu nedenle pazar, hemen hemen her gereksinim ve koşul için uygun çözümü üretebilmektedir.

PV teknolojisinin uygulaması üzerindeki sınırlamalar, esas olarak tarımsal ve finansal uygulanabilirlik yönlerinden kaynaklanmaktadır. Kamusal su temininin aksine, sulama için su pompalamanın ekonomik bir mantığı izlemesi gerekir. Bir çiftlik hanesinin ana hususları her zaman üretim (gıda) güvenliği ve gelir üretimi, dolayısıyla üretimin maksimize edilmesi ve sabit ve değişken üretim maliyetlerinin minimuma indirilmesidir.

Bu çalışmayla ihtiyacı karşılayacak şekilde kurulumu yapılan PV sistemlerin varlığı enerji giderlerini minimize ederek karlılık oranını arttırabileceği kanıtlanmıştır.

Sulamada PV destekli su pompalama, çiftçi için çekici bir alternatif olması için teknolojinin sübvanse edilmesiyle büyük ölçüde teşvik edilmektedir. Bununla birlikte, sübvansiyon, ekonomik fizibilite ilkelerine uyumsuz olmamalıdır. Örneğin, geleneksel tarım alanlarında düşük verimli tarımsal ürünleri sulamak için derin bir sondajlı PV destekli modern sulama sistemleri kullanılır iken doğru bir tasarımla kurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

PV pompalarının performansları radyasyon seviyesiyle veya daha doğrusu pompaya sağlanabilecek güneş enerjisi verimiyle ilişkilidir. Bu nedenle, bir PV pompası, günün düşük radyasyonlu dönemlerinde (sabah/öğleden sonra) bile sulama ihtiyaçları ile ilgili yeterli bir performans elde etmesi gerektiğinden, alternatif dizel veya şebeke beslemeli elektrikli pompalardan her zaman daha büyük seçilmeli veya modül sayısı en az % 45 daha fazla büyük tutularak sulama

süresi uzatılmalıdır. Bunun dışında güneşi otomatik takip eden PV sistemler ile sulama süresini ekstra uzatmak mümkündür.

PV tabanlı su pompalama, yüksek karbondioksit emisyonları ve yer altı suyu kirlilik risklerinin azaltılması nedeniyle bir dizi olumlu ekolojik etkiye sahiptir. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ile ilgili olarak, PV tabanlı pompalama çözümleri, anlamlı bir şekilde planlanırsa, yaygın bir olumlu etkiye sahip olabilir. Güneş enerjisiyle çalışan bir pompanın günlük çalışma aralığı, geleneksel enerji kaynaklarıyla çalıştırılan bir pompanınkinden daha dardır; bu sınırlamaya karşı koymak için modern su tasarruflu mikro sulama yaklaşımlarının getirilmesini önerilebilir.

PV destekli sulama sistemlerinin tasarımıyla ilgili deneyimler, sistem kapasitesinin belirli çiftçi gereksinimlerine ve su kaynaklarının mevcudiyetine göre yönlendirilebileceği şekilde planlanmadığını göstermektedir. Bu sistemler doğru tasarlanması önem arz etmektedir. Ancak günümüzde çoğu PV destekli sulama sistemlerinin parçalı bir şekilde tasarlanır ve planlanır: su kaynağı, PV sistem, pompa ile sulama sistemi, ardından ve ekim desenleri sulama yönetimiyle nadiren uyumlaştırıldığı ve çoğu zaman eşleşmediğinden uyumsuz kurulduğu için yaygınlaşması yönünde kötü reklam söz konusudur. Ayrıca tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyebilecek sistem verimsizlikleri oluşturmaktadır. Özellikle PV destekli sulama sistemi önemli ölçüde fazla veya yetersiz olduğunda, sistem arızalarına ve/veya doğal olarak mali açıdan uygunsuzluğa neden olabilmektedir.

Tarımda ve ötesinde suyun verimli kullanımının daha fazla teşvik edilmesi, bu nedenle, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve su yönetiminin desteklenmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda koşulsuz destekler birtakım olumsuzlukları barındırmaktadır. Su mevcudiyeti ve su kullanımının izlenmesi, su tasarrufu sağlayan sulama teknolojileri ve su depolamanın sınırlandırılmasına sıkı sıkıya bağlı kalınmadan PV tabanlı pompalama çözümleri büyük ölçüde sübvanse edildiği sürece, teknolojinin sürdürülemez şekilde kullanılması riski, şunlar göz önüne alındığında geçerli

olacaktır. Günümüzde daha büyük bir PV destekli sulama sistemlerinin gelişimin önündeki temel engeller, ilk yatırım maliyetleri ve sahaya uyarlanmış tasarım ve geliştirme için teknik bilgi birikimini içerir. Bireysel bir sistemin sürdürülebilirliğinin ve başarısının anahtarı, tarımsal üretim sürecinin uyarlanmasıdır. Burada tarımsal yayım ve bilgi hizmetlerinin PV destekli sulama sistemlerinden kaynaklanan talepler doğrultusunda kapasitelerini geliştirmeleri gerekmektedir.

PV destekli sentır pivot sistemlerini geliştirmek için uygun finansman kaynaklarının olmaması (ilk yatırım maliyetinin yüksekliği ve uzun sürede maliyetini karşılaması) bu teknolojinin yaygınlaştırılmasında en büyük engel olarak görülmektedir. Desteklemeler, genellikle su tasarrufu sağlayan mikro sulama sistemleriyle birlikte, sulamada PV su pompalamasını teşvik etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu desteklemeler kısa vadede PV destekli sulama sistemlerine artan bir şekilde talep yaratır, ancak uzun vadede çiftçilerin ihtiyaçları için hizmetler sunan profesyonel bir özel sektör pazarının oluşmasını engeller. Bu sorunu çözmek için, bağışçılar tarafından desteklenen politika diyalogları ve sektör stratejisini geliştirme uygulamaları dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Abamor, S., 2016. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 99s.

Abdallah, S., and Nıjmeh, S., 2004. Two Axes Sun Tracking System with PLC Control, Energy Conversion and Management, 45: 1931–1939

Abdallah, S., 2004. The Effect Of Using Sun Tracking Systems on The Voltage–Current Characteristics and Power Generation of Flat Plate Photovoltaics. Energy Conversion and Management, 45 (11): 1671-1679

Abu-Nowar, L., 2020. Economic and Financial Assessment of Solar-Powered Irrigation. Journal of Agricultural Science. 12, 185-193.

Aksungur, K. M., Kurban M., Başaran F. Ü., 2013. Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). http://www.emo.org.tr/ekler/4e2e247969185c8_ek.pdf Erişim Tarihi: 01.06.2021

Alaçakır, F.B., 2014 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve EİE'dekİ çalışmalar (http://www.nukte.org/node/163). Erişim tarihi 23.06.2021

Alshamani, A., 2018. Design and Modelling of a Large-Scale Solar Water Pumping System for Irrigation in Saudi Arabia. Memorial University of Newfoundland Faculty of Engineering. May.

Almeida, R.H., Ledesma, J.R., Carrêlo, I.B., Narvarte, L., Ferrara G,., Antipodi, L., 2018. A new pump selection method for large-power PV irrigation systems at a variable frequency, Energy Conversion and Management, Volume 174, 15 October 2018, Pages 874-885

Anis, W. R., Mertens, R. P., Van Overstraeten, R. J., 1985. "Coupling of a Volumetric Pump to a Photovoltaic Array", Solar Cells, Vol 14, pp 27-42

Appelbaum, J., 1981. “Performance Analysis of DC Motor-Photovoltaic Converter System-ll", Solar Energy, Vol 27, pp 421-431

Appelbaum J., Bany J., 1978. “Performance Analysis of D.C. Motor Photovoltaic Converter System-I”, Solar Energy, Vol 22, pp 439-445

Arezki, S., and Boudour, M., 2014. Improvement of power quality for hybrid PV-FC power supply system, 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 21-24 September, Antalya

Asl-soleimani, E., Farhangi S. ve Zabihi M.S., 2001. The Effect of Tilt Angle, Air Pollution on Performance of Photovoltaic Systems in Tehran. Renewable Energy, 24:459–468

Atay, Ü., Işıker Y. ve Yeşilata B., 2009a. Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-1: Genel Esaslar, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu bildiriler kitabı, Diyarbakır s57-62

Atay, Ü., Işıker Y. ve Yeşilata B., 2009b. Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-2: Simülasyon Çalışması V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu bildiriler kitabı, Diyarbakır s63-67

Atay, Ü., Işıker Y. ve Yeşilata B., 2009c. “Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemlerinde Modelleme ve Performans Analizi” TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin. Sayfa 103–111

Atay, Ü., Işıker Y., Yeşilata B., Nacar A. S., Çıkman A., Rastgeldi U., 2009d. “Güneş Pili Enerjisiyle Çalışan Damla Sulama Sistemlerinin Kurulumu ve Yaygınlaştırılması” 1. GAP Organik Tarım Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa. 210-217

Atay, U., Aslan H., Çetiner İ.H., ve Polat R., 2011a. Şanlıurfa İli Güneş Pili Sulama Sistemi Potansiyeli. II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi 22-25 Kasım 2011 Ankara

Atay, Ü., Işıker Y. ve Yeşilata B., 2011b "Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirilmesi" TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Kitabı, 7-8 Ekim. Mersin

Atay, Ü., Işıker Y., Yeşilata B., Rastgeldi U., Çıkman A. ve Nacar A. S., 2011c. Güneş Pili Damla Sulama Sistemi Kurulumunun Şanlıurfa Koşullarındaki Tarla Denemesi, GAP VI. Tarım Kongresi, 09-12 Mayıs. s. 527-532, Şanlıurfa

Atay, Ü., Y. Işıker, B. Yeşilata, 2011d, Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemlerinde Modelleme ve Performans Analizi. Tesisat, Enerji Teknolojileri ve Mekanik Tesisat Dergisi. Ağustos. Sayı 188. sayfa. 96-102

Atay, Ü., Yeşilata B., İşıker Y., Çıkman A., Nacar A.S., Rastgeldi U., Polat R., Başçetinçelik A ve Çetiner İ. H., 2012a. Güneş Pili Destekli Damla Sulama Sistemlerinin Kurulumu ve Sistem Performansının Teknik ve Enerji Maliyeti Yönünden Karşılaştırılması (Şanlıurfa Örneği), Sonuç Raporu. GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü proje No: TAGEM-topraksu-2012/138, Şanlıurfa

Atay, Ü., Işıker Y., Yeşilata B., Rastgeldi U., 2012b, "Seyyar (Mobil) Güneş Pili Sulama Sistemli Prototip Makinanın Tasarımı ve İmalatı" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Issn 1306-0007, 2012 8 (2) saf.147-151 (27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi. Samsun

Atay, Ü., Işıker, Y., Yeşilata, B., 2012c, "Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirilmesi" Mühendis ve Makine Dergisi Issn 1300-3402, cilt 53, sayı: 634 sayfa 15-20, Kasım

Atay, Ü., Işıker Y., Yeşilata B., Çıkman A., 2012d, "Sabit Güneş Pilli Sulama Sisteminin Performans Analizi" Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Issn 1306-0007, 2012 8 (2) Saf. 153-159

Atay, Ü., 2013a. Mobil Güneş Pili Sulama Makinesinin Mardin İli Potansiyeli. Mardin Gıda Tarım ve Hayvancılık Dergisi. Cilt 3, sayı 7, sayfa 38-42. Ağustos

Atay, Ü., Işıker, Y., Yeşilata, B., 2013b, "Mobil ve Sabit Güneş Pili Destekli Sulama Sistemlerine Örnek Deneysel Çalışmalar" Gündergi,1.Sayı ISSN:2147-4907 12/ 2012-01/ 2013-/02/sayfa 47-51

Atay, Ü., 2013c. Mobil Güneş Pili Sulama Makinası. 2. Uluslararası Gıda Ar-ge Proje Pazarı-TİM, Tarım makınaları, P-144 3-4 Haziran. İzmir

Atay, Ü., 2013d. Mobil Güneş Pili Sulama Makinesinin performansı. 3.Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Kitabı. Tokat

Atay, Ü., Işıker, Y., Yeşilata, B., Rastgeldi, U., 2013e, Mobil Güneş Pili Sulama Makinasının Tarımsal Üretimde Kullanımı, Ekoloji 2013 Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı, 2-4 Mayıs, Tekirdağ. Sayfa 266

Atay, Ü., İşıker, Y., Yeşilata, B., ve Başçetinçelik, A., 2013f. Mobil Güneş Pili Sulama Makinasının Arazi Koşullarında Bazı Deneysel Çalışmaları. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Tarmek-2013-Konya). ISSN 1306-0007. Cilt 9, sayı 2, sayfa 135-139

Atay, Ü., 2014. Güneş Pilleri Teknolojisi. Agromedya, Tarımsal Mekanizasyon Eki. Mayıs- Haziran Say.36-38

Atay, Ü., 2021. Güneş Pili Sulama Sistemli Pilot Projeler. Uluslararası Artuklu yenilenebilir enerji çalıştayı, 01-03.03.-2021

Aydın, M. ve Yeşilata B., 2004. Fotovoltaik Panellerde Eğim Açısı Etkisinin Deneysel Tespiti. Termodinamik Dergisi, 148.88–98

Aydın, M. ve Yeşilata B., 2005. Eğim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik PV Sistem Sehpası Tasarımı. 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s.74–78

Barbosa, B. D. S., Colombo, A., Souza, J. G. N. de, Baptista, V. B. S., Araújo, A. C. S. 2018. Energy Effıcıency Of A Center Pıvot Irrıgatıon System. Engenharia Agrícola. 2018 / 04 Vol. 38; Iss. 2

Carlos C. B., Hugo, C., and Susana, D. L. A., 2018. Module temperature models assessment of photovoltaic seasonal energy yield, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 27, June 2018, Pages 9-16

Bilgili, M. E., 2018. Modern Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Enerji İhtiyacının Fotovoltaik Güneş Panelleri ile Karşılanmasına yönelik Bir Araştırma, Proje No: TAGEM/TSKAD/15/A13/P08/04, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, 2018

Blaesser, G., 1997. PV System Measurements and Monitoring the European Experience. Solar Energy Materials and Solar Cells, 47(1):167-176

Carstensen, J., Popkırov G., Bahr J. and Foll H., 2003. Cello: An Advanced LBIC Measurement Technique for Solar Cell Local Characterization. Solar Energy Materials and Solar Cells, 76 (4): 599-611

Cebeci, S., 2017. Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, T.C. Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Yayın No: 2977

Chapin, D.M., Fuller, C.S., Pearson, G.L., 1954. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power, Journal of Applied Physics (J. Appl. Phys.) 25, 676 (1954)

Chegaar, M., Hamzaoui, A.,Namoda, A., Petit, P., Aillerie, M., Herguth, A. 2013. Effect of illumination intensity on solar cells parameters. Energy Procedia, 36, pp

Chen, F., Yin, H., 2015. Fabrication and laboratory-based performance testing of a building-integrated photovoltaic-thermal roofing panel Volume 177, 1 September 2016, Pages 271-284

Cilli, K., 2021. Farklı kalitede solar panellerin A,B,C,D sınıflandırılması. http://www.keremcilli.com/solar-panellerde-abcd-kalite-urunler/ Erişim Tarihi : 01.08.2021

Cuadros, F., Rodrıguez, F.L., Marcos, A., Coello, J., 2004. A procedure to size solar-powered irrigation (photoirrigation) schemes. Solar Energy 76, 465–473

Czanderna, A.W., Benson D.K., Jorgensen G.J., Zhang J.-G., Tracy C.E., Deb.S.K., 1999. Durability issues and service lifetime prediction of electrochromic windows for buildings applications. Sol. En. Mat. & Sol. Cells 56: 419-436

Çağlak, S., Özlü, T., ve Gündüz, S., 2016. The Analysıs of Climatic Characteristics Of Sanlıurfa With Interpolation Techniques. The Journal of International Social Research. Issn: 1307-9581 Volume: 9 Issue: 45 https://www.sosyalarastirmalar.com/articles/the-analysis-of-climatic-characteristics-of-sanliurfa-with-interpolationtechniques.pdf Erişim Tarihi : 01.12.2021

DGS (Deutsche Gesellschaft für Seniorenberatung), Earthscan, 2012. Planning and Installing Photovoltaic Systems, A Guide For Installers, Architects and Engineers, Second Edition, USA, 2012

Dinç, U., Şenol, S., Sayın, M., Kapur, S.ve Güzel, N., 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (Gat) Harran Ovası. Tübitak-Toag Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Raporu.Toag-534, Adana

DSİ, 2021a. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2020 Yılı Faaliyet Raporu, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ankara. https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/DS%C4%B0%202020-yili-faaliyet-raporu.pdf Erişim Tarihi: 01.05.2021

DSİ, 2021b. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü resmî sitesi 2021yilisukullanimhizmetbedeli.pdf (tarimorman.gov.tr) Erişim Tarihi : 01.04.2022

DSİ, 2021c. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499 Erişim Tarihi : 01.03.2022

DSİ, 2022. 2021 Yılı Faaliyet Raporu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/2021_yili_faaliyet_raporu.pdf Erişim Tarihi : 01.03.2022

Doğanay, M. M., 2021. Mardin Bölgesi Güneş (Fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi. UMUFED International Journal of Western Black Sea Engineering and Science. UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(1): 86-117

Durisch, W., Tille, D., Worz, A., and Plapp, W., 2000. Characterisation of Photovoltaic Generators. Applied Energy, 65: 273-284

Dursun M., Saygın A., 2006. Güneş Enerjisi İle Çalışan Bir Sulama Sistemi İçin Boost Konvertörlü Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. e-ISSN: 2687-2927. 22(1-2) 57-65

Eikelboom, J. A. and Jansen, M.J., 2000. Characterisation of PV Modules of New Generations : Results of Tests and Simulations, ECN-C--00-067,20s

Enerjiatlası, 2022a. " Ülkelere Göre Dünya'da Güneş Enerji Santrali Kurulu Gücü". url (Erişim tarihi) 13.01.2022. https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html

Enerjiatlası, 2022b. Türkiyede Elektrik Enerjisinin Tüketiciye Satış tarifeleri. url (erişim tarihi) 11.04.2022 https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-fiyatlari/

Enerjiatlası, 2022c. "Türkiye'de elektrik enerjisinin tüketiciye satış tarifeleri". url (erişim tarihi) 15.03.2021, https://www.enerjiatlasi.com/sehir/sanliurfa/

Fernandez Garcia, A., Zarza, E., Valenzuela, L., Perez, M. 2010. Parabolic-Trough Solar Collector sandtheir Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 1695–1721

Fıratoğlu, Z. A., and Yeşilata, B., 2004. "New Approaches on the Optimization of Directly-Coupled Photovoltaic Water-Pumping Systems " Solar Energy, 77, 1, 81-93

Fıratoğlu, Z. A., ve Yeşilata, B., 2003. "Bataryali ve Direkt Akupleli Fotovoltaik Pompa Sistemlerinin çalisma Karakteristiklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2, 1-11

Florescu, M., Lee H., Puscasu I., Pralle, M., Florescu L., Ting D. Z., Dowling J.P., 2007. Solar Energy Materials and Solar Cells, 91,1599

Fraidenraich, N., Vilela, O. C., 2000 "Performance of Solar Systems With Non-Linear Behavior Calculated by The Utilizability Method: Application to PV Solar Pumps", Solar Energy, Vol 69, pp 131-137

Fraunhofer, ISE (Institute For Solar Energy Systems), 2015. Current Status Of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology, NREL (National Renewable Energy Labrotary). Colorado, USA, January

Futurasun, 2021. What's The Temperature Coeffıcıent of a Photovoltaıc Panel. https://www.futurasun.com/en/2018/11/06/temperature-coefficient/ Erişim Tarihi : 01.03.202

GEPA, 2022. Şanlıurfa ili için Güneş potansiyel atlası (GEPA), https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx Erişim Tarihi : 01.01.2022

Gençoğlu, M.T., Cebeci, M., Güneş, M., 2000. "Güneş Enerjisi İle Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı", III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Bildiri Kitabı Sayfa 207-215, 15-17 Kasım, İstanbul,

Glasnovic, Z., ve Margeta, J, 2007. A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. Solar Energy 81, 904–916

Güllü, M., Kartal, Z., 2021. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2030 Yılına Kadar Tahmini. 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi. ISSN: 2717-736X Cilt: 2 Sayı: 2

Gxasheka, A. R., Van, dyk E. E. and Meyer, E.L., 2005.Evaluation of Performance Parameters of PV Modules Deployed Outdoors. Renewable Energy, 30 (4): 611-620

Hamidat, A., Benyoucef, B., Hartani T., 2003. Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions, Renewable Energy 28 1081–1096

Hirata, Y. and Tani, T., 1995. Output Variation of Photovoltaic Modules with Environmental Factors -I. The Effect of Spectral Solar Radiation on Photovoltaic Module Output. Solar Energy, 55: 463-468

Hirata, Y., Inasaka, T. and Tanı, T., 1998. Output Variation of Photovoltaic Modules with Environmental Factors - II: Seasonal Variation. Solar Energy, 63: 85-189

Hsiao, Y. R., 1984. "Direct Coupling of Photovoltaic Power Source to Water Pumping System", Solar Energy, Vol 32, pp 489-498

Huld, T. ve Pascua, I. P., 2020. "Küresel ışınlama ve güneş enerjisi Türkiye için potansiyel," Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi. [Çevrimiçi]. Kullanılabilir: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#! Erişim Tarihi : 01.05.2021

Hussein, H. M. S., Ahmad, G.E., and El-ghetany, H. H., 2004. Performance Evaluation of Photovoltaic Modules at Different Tilt Angles and Orientations. Energy Conversion and Management, 45:2441–2452

Hussin, S.M., Salam, Z., Abdullah, M. P., Rosmin N., Said, D.M., Rasid, M., 2019. Future hybrid of photovoltaic and fuel cell for Langkawi Skycab. Journal of Electronic Science and Technology. Volume 17, Issue 4

IEA, (International Energy Agency), 2014. Technology Perspectives and Technology Roadmap, Photovoltaic and Thermal Electricity, Paris

IRENA, 2012. (International Renewable Energy Agency), Renewable Energy Technologies:Solar Photovoltaics Tariff-Based, Abu Dhabi

IRENA, 2013a (International Renewable Energy Agency), Renewable Energy Country Profiles for the European Union

IRENA, 2013b. (International Renewable Energy Agency), Solar Photovoltaics Technology Brief, Abu Dhabi

IRENA, 2021a. Renewable Power Generation Costs in 2019 https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019 Erişim Tarihi : 01.05.2021

IRENA, 2021b. How Falling Costs Make Renewables a Cost-effective Investment. https://www.irena.org/newsroom/articles/2020/Jun/How-Falling-Costs-Make-Renewables-a-Cost-effective-Investment Erişim Tarihi : 01.05.2021

Itoh, M., Takahashı, H., Fujıı, T., Takakura, H., Hamakawa, Y., and Matsumoto, Y., 2001. Evaluation of Electric Energy Performance by Democratic Module PV System Field Test, Solar Energy Materials and Solar Cells, 67(1): 435-440

İkisawa, M., Nakano, A., Igarı, S. and Terashıma, H., 1998. Outdoor Exposure Tests of Photovoltaic Modules in Japan and Overseas. Renewable Energy, 14 (1): 95-100

Kanber, R., Tarı, A. F., ve Çakır, R., 2002. Sulama ve Drenaj Mühendisliği. KH. Genel Müd. Yay., Ankara

Kanna, R. R., Baranidharan, M., Singh, R. R., and Indragandhi, V., 2020. Solar Energy Application in Indian Irrigation System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1-12. 937. 012016. 10.1088/1757-899X/937/1/012016

Karimov, K. S., Saqıbb, M. A., Akhterc, P., Ahmedd, M. M., Chatthad, J. A. and Yousafzaid, S. A., 2005. A Simple Photo-Voltaic Tracking System. Solar Energy Materials & Solar Cells, 87: 49–59

Küsek, G., Öztürk, H. H., Akdemir Ş., 2015. Zeytin Bahçelerinde Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemlerinin Tekno Ekonomik Uygulanabilirliği. Başak Yayınevi, Ankara

Khan, F., Singh, S.N., Husain, M., 2010. Effect of illuminationintensity on cell parameters of silicon solar cell Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 94, pp. 1473–1476

Khouzam, K. Y., Khouzam, L., and Groumpos, P., (1991). Optimum Matching Of Ohmic Loads To The Photovoltaic Array," Solar Energy, 46(2): 101–108

Kılıç, E., 2019. Ceylanpınar Tarım İşletmelerinde Kullanılan Center Pivot Sulama Sistemlerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

King, D. L., Kratochvıl, J. A., and Boyson, W. E., 1997. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, California

Kou, Q., 1996. A Method for Estimation the Long-Term Performance of Photovoltaic Pumping System. Master Thesis, The University of Wisconsion-Madison, Solar Energy Laboratory

Koutroulis, E., Kalaıtzakıs, K. ve Voulgarıs, N.C., 2001. Development of a Microcontroller-Based Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System. IEEE Transactions on Power Electronics, cilt 16, no.1

Landridge, D., Lawrance, W., 1996. "Development of a Photovoltaic Pumping System Using a Blushless D.C. Motor and Helical Rotor Pump", Solar Energy, Vol 55, pp 151-160

Lena, G., 2013. Rural Electrification with PV Hybrid Systems, Internatıonal Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme Club of African National Agencies and Structures In Charge of Rural Electrıfıcatıon (Club-Er), IEA PVPS Task 9, Subtask 4, Report IEA-PVPS T9-13:2013 club-Er, Thematic Paper

Li, D. H. W., Cheung, G. H. W. and Lam, J. C., 2005. Analysis of The Operational Performance and Efficiency Characteristic for photovoltaic System in Hong Kong. Energy Conversion and Management, 46: 1107-1118

Livatyalı, H., Yıldırım, T., 2012 Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler, Mühendis ve Makine dergisi cilt 53, sayı 633, sayfa 16-20

Luque, A., Hegedus, S., 2011. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition, Institute of Energy Conversion, University of Delaware, USA

Lorentz, 2021. Solar Water Pumping for Center Pivot Irrigation North Africa https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz_casestudy_pivot_north_africa_en.pdf Erişim Tarihi : 02.01.2022

Manar, E. A-H., El Gindy, A.M., Arafa, Y.E. and Hegazi, A.A. 2019. Solar Powered Irrıgatıon System For Turf Area. 14th Conf. Agric. Dev. Res., Fac. Agric., Ain Shams Univ. Special Issue, 27(1), 93 – 103

Marion, B., Adelsteın, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, B., Canada, B., Narang, D., Shugar, D., Wenger, H., Kımber, A., Mıtchell, L., Rıch, G., and Townsend, T. U., 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems, IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, Lake Buena Vista, Florida,31st

Meah, K., Ula S., Barrett S., 2008. Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 1162–1175

Merten, J. and Andreu J., 1998. Clear Separation of Seasonal Effects on The Performance of Amorphous Silicon Solar Modules by Outdoor I/V-Measurements. Solar Energy Materials and Solar Cells 52: 11-25

MGM, 2020a. Türkiye günlük güneşlenme süreleri web sitesi: https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi-2019.pdf Erişim Tarihi : 01.05.2021

MGM, 2020b. Tarım orman bakanlığı meteroloji genel müdürlüğü, https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi-2020.pdf Erişim Tarihi : 01.05.2021

MGM, 2022. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Şanlıurfa 1929-2020 yılları İklim verileri. http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SANLIURFA#sfB Erişim Tarihi : 02.01.2022

Mohammed, W. S., Hughes, B.R., O'Connor, D., Calautit J. K., 2018. A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81 (Part 1). pp. 1206-1225. ISSN 1364-0321

Morgan, M. J., Jakovıdıs G., and Mcleod I., 1994. "An Experiment to Measure The I-V Characteristics of a Silicon Solar Cell Phys. Educ. 29: 252-254

Muntasser, M. A., Bara M. F., Quadrı H. A., El-Tarabelsı, R., and La-Azebı, I. F., 2000. photovoltaic marketing in developing countries. applied energy, 65(1):67-72

Nishioka, K., Hatayama, T. , Uraoka, Y., Fuyukı, T., Hagıhara R., and Watanabe, M., 2003. field-test analysis of pv System Output Characteristics Focusing on Module Temperature Solar Energy Materials and Solar Cells, Feb., 5(3):665-671

Nishitani, M., Kohara, N., Negamı, T., Wada, T., Igarı, S., and Shımokawa, R., 1998. Ocak Analysis of Temperature and Illumination Dependencies of CIS Cell Performance Solar Energy Materials and Solar Cells, 50(1):63-70

Nrel, 2021. ABD Enerji Bakanlığına bağlı NREL Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı. National Renewable Energy Labrotary-https://www.nrel.gov/pv/ Erişim Tarihi: 01.05.2021

Odeh, I, Yohanis, Y.G., Norton, B., 2005. "Economic Viability of Photovoltaic Water Pumping Systems", Solar Energy, in press

Okasha, A. M. 2016. Performance of A Small Drip Irrigation System Powered By Solar Photovoltaic For Corn Production. Misr J. Ag. Eng., 33 (4): 1369 – 1386

Özçelik, S., 2014. "Yoğunlaştırıcılı Fotovoltaik (CPV) Teknolojisi," IV. Ulusal Güneş ve Hidrojen Teknolojileri Kongresi, Eskişehir, Turkey, pp.13

Özdemir, E., Kavaslar, F., 2009. Fotovoltaik Su Pompalama Çözümleri, tmmob makina mühendisleri odası güneş enerjisi sistemleri sempozyumu ve sergisi say 185

Özgür, E., 2020. Türkiye'de Güneş Enerjisi (Türkiye'nin Enerji Görünümü), https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-12_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf. Erişim Tarihi: 01.05.2020

Öztürk, H. H., 2008. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN 978- 975-511-502-3

Öztürk, H. H., 2009. Güneş Pili ile Çalışan Tarımsal Sulama Sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası güneş enerjisi sistemleri sempozyumu ve sergisi say 58-73, 6-7

Öztürk, H. H., 2013. "Güneş Enerjisiyle Damla Sulama Sistemleri İçin Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi", Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel, Türkıye, 6-7 Aralık, ss.23-24

Öztürk, H. H., 2014. "A Research On Water Pumping With Cetrifugal Pump Using Solar Energy", 2nd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials , Muğla, Türkıye, 15-18 Ekim 2014, pp.1-1

Öztürk, H. H., 2015."Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tarımda Kullanımı", Türktarım, ss.24-32, 2015

Öztürk, H. H., 2016a. "Tarımsal Sulamada Güneş Enerjisi Kullanımı Üzerine Bir Araştırma", Internatıonal Multıdıscıplınary , Odessa, Ukrayna, 11-13 Temmuz , vol.2, pp.16-22

Öztürk, H. H., 2016b. "Güneş Enerjisinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma", 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Antalya, Türkıye, 12-15 Nisan, cilt.1, ss.121-126

Öztürk, H. H., 2019. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler", www.emo.org.tr (Çevrimiçi). http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf

Öztürk, H. H., Kaya, D. 2013. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları, Yayın No: 97, ISBN:978-605-5100-00-1). Erişim 25.09.2021

Palanisamy, K., Varghese L.J., Raglend, I.J., and Kothari, D.P., 2009. Comparison of intelligent techniques to solve economic load dispatch problem with line flow constraints IEEE International Advance Computing Conference 446-452

Pande, P.C., Singh, A.K., Ansari, S., Vyas, S.K., Dave, B.K., 2003. Design Development And Testing of A Solar PV Pump Based Drip System For Orchards, Renewable Energy, v28 v28,pp 385-396

Parsons, L., 1996. Management of Micro Irrigation Ln Citrus. Technology, Irri Gazete No.33 March-Arpil, Florida

Posorski, R., 1996. " Photovoltaic Water Pumps, An Attractive Tool For Rural Drinking Water Supply", Solar Energy 58, 155-163

Rajesh, M. and Gnanasekar, J.M., 2017 Path observation based physical routing protocol for wireless ad hoc networks Wireless Personal Communications 97(1) 1267-1289

Salas, V., Olias, E., Lazaro, A., and Barrado, A., 2005. Evaluation Of A New Maximum Power Point Tracker (MPPT) Applied to The Photovoltaic Stand-Alone Systems. Solar Energy Materials And Solar Cells, May.87(1):807-815

Shariah, A., AL-Akhras, M.A. and AL-Omarı, I.A., 2002. Optimizing The Tilt Angle Of Solar Collectors. Renewable Energy, 26:587–598

Short, T.D. and Oldach, R., 2003. Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present-and the Future?. Solar Energy ngineering 125, 76-82

Sitharthan, R. and Geethanjali, M., 2015. Application of the superconducting fault current limiter strategy to improve the fault ride-through capability of a doubly-fed induction generator– based wind energy conversion system Simulation 91(12) 1081-1087

Sitharthan, R., Devabalaji, K.R., and Jees, A., 2017. An Levenberg–Marquardt trained feed-forward back-propagation based intelligent pitch angle controller for wind generation system Renewable Energy Focus 22 24-32

Sitharthan, R., Sundarabalan, C.K., Devabalaji, K.R., Yuvaraj, T. and Mohamed Imran, A., 2019a. Automated power management strategy for wind power generation system using pitch angle controller Measurement and Control 52(3-4) 169-182

Sitharthan, R., and Parthasarathy, T., Sheeba, Rani, S., and Ramya, K. C., 2019b. An improved radial basis function neural network control strategy-based maximum power point tracking controller for wind power generation system Transactions of the Institute of Measurement and Control 41(11) 3158-3170

Sitharthan, R., Karthikeyan, M., Sundar, D.S. and Rajasekaran, S., 2020. Adaptive hybrid intelligent MPPT controller to approximate effectual wind speed and optimal rotor speed of variable speed wind turbine ISA transactions 96 479-489

Suehrcke, H., Appelbaum, J., Reshef, B., 1997. "Modeling a Permanent Magnet DC Motor/Centrifugal Pump Assembly in a Photovoltaic Energy System", Solar Energy, Vol 59, pp 37-42

Sundar, D.S., Umamaheswari, C., Sridarshini, T., Karthikeyan. M., Sitharthan, R., Raja, A.S. and Carrasco, M.F. 2019. Compact four-port circulator based on 2D photonic crystals with a 90° rotation of the light wave for photonic integrated circuits applications Laser Physics 29(6) 066201

Şenpınar, A., 2006. Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi (DAUM), Şubat Elâzığ, cilt:4 sayı:2, s.36-41

Taşova, M., 2018. Türkiye' nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri Ve Güneş enerjisinden Faydalanma Olanakları, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 3, ISSN:2147-3455. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/615275 Erişim Tarihi : 01.12.2021

TEİAŞ, 2022. Santral kurulu güç Raporları ve Elektrik Üretim İletim İstatistikleri: (Santral Kurulu Güç Raporları) https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari ve https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri Erişim Tarihleri: 27.05.2022

TEMSAN, 2020 https://www.temsan.gov.tr/Sayfa/gunes/38 Erişim 25.09.2021

TİGEM, 2019. https://www.tigem.gov.tr/Haber/HaberDetay/bf584303-33a5-4197-8b69-10a179fb2551 Erişim Tarihi: 01.12.2021

TİGEM, 2021. Tarımsal Yapılar ve Sulama İşleri Teknik Yönergesi. Erişim tarihi: 14.07.2021. https://www.tigem.gov.tr/WebUserFile/BirimSayfasi/9afe55b0-c74c-13ed-af9a-c4f7cdc0f49f/45dd10e6-27fd-4702-81c7-24a8887b6093.pdf

TOPRAKSU, 1971. Urfa İli Toprak Kaynağı Envanter Raporu. Topraksu Genel Müdürlüğü, Ankara. Yayın No: 223

Townsend, T. U., 1989. A Method For Estimating The Long-Term Performance Of Direct-Coupled Photovoltaic Systems. Wisconsin Üniversitesi, Master Tezi, 282p

Ummadısıngu, A., M. S. Soni., 2011. Concentrating solar power – Technology, potential and policy in India, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, December, pp. 5169-5175

Uygun, U., Akgül M., Dino Ç., G., Akinoglu İ., B., 2018. Approaching Net-Zero Energy Building Through Utilization of Building-Integrated Photovoltaics for Three Cities in Turkey-Preliminary Calculations. 1-5. 10.1109/PVCon.2018.8523913

Vandyk, E. E., Gxasheka, A. R., Meyer, and E. L., 2005. "Monitoring Current–Voltage Characteristics And Energy Output Of Silicon Photovoltaic Modules, Renewable Energy, March., 30 (3): 399-411

Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran, sy.270-275

Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., and Corkısh. R., 2007. Applied Photovoltaics, Earthscan, UK and USA, 2007

Whıtaker, C. M., Townsend, T. U., Newmıller, J. D., King D. L., Boyson, W. E., Kratochvıl, J. A., Collıer, D. E., and Donald, E., 1997. IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, California, 26th

Yakup, M. A. H. M., and Malik, A. Q., 2001. Optimum Tilt Angle And Orientation For Solar Collector İn Brunei Darussalam. Renewable Energy, 24: 223–234.

YEGM, 2019. Enerji işleri Genel Müdürlüğü sitesi, Erişim Tarihi : 01.02.2022

Yeşilata, B., Aydın, M., ve Işıker, Y., 2006. Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi, Mühendis ve Makina, cilt 47, sayı 553

Zomer, C., , Custódio I., Antoniolli A., Rüther, R., 2020. Performance assessment of partially shaded building-integrated photovoltaic (BIPV) systems in a positive-energy solar energy laboratory building: Architecture perspectives, Solar Energy, Volume 211, 15 November 2020, Pages 879-896

ÖZGEÇMİŞ

Ümran ATAY, İlk, orta ve lise öğrenimimi Mardin'de tamamladı. Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Teknolojileri Bölümünün Tarım Makinaları alt programından 1999 yılında başlayıp, 2003 yılında mezun oldu. Harran Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü Anabilim dalında yüksek lisansa 2004 yılında başlayıp 2007 yılında tamamladı. 2015 yılında Çukurova Üniversitesinin Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim dalında doktoraya başladı.

2005-2007 yıllarında Harran Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı daha sonra 2007 yılında naklen GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne geçiş yaptı. Halen aynı kurumda Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır.

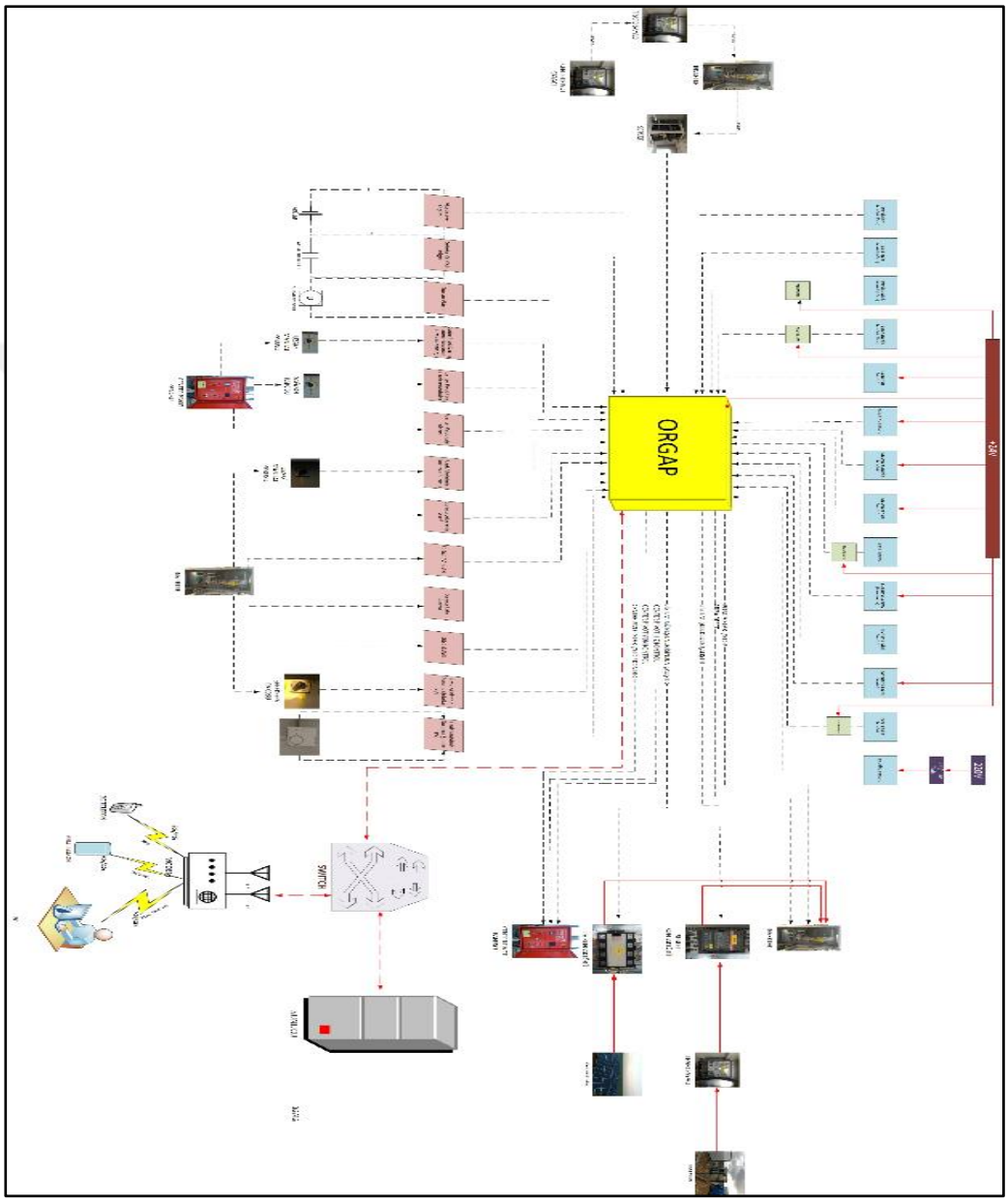
Birçok konuda (güneş enerjisi, enerji verimliliği, hassas tarım, görüntü işleme, değişik ürünlerin fiziko-mekanik özellikleri, ilaçlama mekanizasyonu, anıza ekim, hasat ve hasat sonrası mekanizasyonla ilgili konularında) proje çalışmasında yer aldı. Özellikle PV destekli sulama sistemleriyle ve enerji verimliliğiyle alakalı birçok projesi mevcuttur. Bu konu ile ilgili TÜBİTAK-1001 projesi kapsamında "Mobil Güneş Pili Sulama Makinesi" geliştirip Türk patent Enstitüsünden Patentini almıştır.

TAGEM, GAP TAEM, ICCI– Enerji Oscar Ödülleri, OMÜ kongre düzenleme kurulu, TMMOB Mak. Müh. Odası, ZMO, Uluslararası Gıda Ar-Ge Proje Pazarı (TİM), Solartr2014, GAPBKİ Başkanlığı ve TÜBİTAK tarafından çeşitli tarihlerde 1.'lik ödülleri, Mansiyon ödülü, plaketler, teşvik ödülleri ve teşekkür belgeleri şahsına verilmiştir.

Evli ve 3 çocuk babasıdır.

EKLER

EK 1 Ana Otomasyon Sisteminin Tek Hat Şeması



EK 2 Ana Otomasyon Sisteminin Tek Hat Şeması Detayı

