

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMATİK KONTROL SİSTEMLİ SERALARDA
FOTOVOLTAİK SİSTEM KULLANIMI:
GÖLHİSAR ÖRNEĞİ**

Osman Nuri GÜMÜŞ

Danışman: Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ

II. Danışman: Doç. Dr. İbrahim KIRBAŞ

BURDUR, 2025

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek Lisans** Tezi olarak sunduğum “**Otomatik Kontrol Sistemli Seralarda Fotovoltaik Sistem Kullanımı: Gölhisar Örneği**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

30/01/2025

(İmza)

Osman Nuri GÜMÜŞ

ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam **Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ** ve **Doç. Dr. İbrahim KIRBAŞ'** a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ocak, 2025

Osman Nuri GÜMÜŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Fotovoltaik Sistemler ve Bileşenleri	4
2.1.1. PV Panel Teknolojileri	4
2.1.2. Panel Çeşitleri	5
2.1.3. İnverter	6
2.1.4. Akü	8
2.1.5. Şarj Kontrol Ünitesi	9
2.2. Sera	9
2.3. Otomasyonlu Sera Sistemleri ve Bileşenleri	9
2.3.1. Otomasyon kontrol sistem bileşenleri	10
2.3.2. Sulama sistemleri	10
2.3.3. İklimlendirme sistemleri	14
2.3.4. Havalandırma sistemleri	17
2.3.5. Isıtma sistemleri	20
2.3.6. Otomasyon sistemleri ve bileşenleri	23
2.3.7. Yapay Aydınlatma	24
2.4. Kaynak Özetleri	25
3. MATERYAL YÖNTEM	28
3.1. Materyal	28
3.1.1. Sera ve Kullanılan Malzemeler	29
3.1.2. PV Panel	29
3.1.3. Akü	30
3.1.4. İnverter	31
3.1.5. Şarj Kontrol Ünitesi	31
3.1.6. Sulama Sistemi	32
3.1.7. Gübreleme	34
3.1.8. Havalandırma	35
3.1.9. Sirkülasyon Fanları	36
3.1.10. Otomasyon Sistemi	36
3.2. Yöntem	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
5. SONUÇ	43
KAYNAKLAR	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye güneş haritası.....	1
Şekil 1.2. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2013-2021) .	2
Şekil 2.1. Güneş pili yapısı	4
Şekil 2.2. Otomasyonlu sera sisteminin çalışma prensibi.....	10
Şekil 2.3. Sulama ve gübreleme sistemi	11
Şekil 2.4. Su pompası	12
Şekil 2.5. Selenoid vana.....	13
Şekil 2.6. Mini meteoroloji istasyonu	14
Şekil 2.7. İklimlendirme kontrol panosu.....	15
Şekil 2.8. Rüzgâr sensörü gösterimi	17
Şekil 2.9. Çatı havalandırma motorları yerleşim planı	18
Şekil 2.10. Sirkülasyon fanı yerleşim planı	19
Şekil 2.11. Sera tüneline egzoz fanı yerleşimi.....	20
Şekil 2.12. Isıtma kazanı örnek tasarım	21
Şekil 2.13. Fanlı ısıtıcı görseli	22
Şekil 2.14. Isı perdesi gösterimi.....	23
Şekil 2.15. Örnek SCADA ekranı tasarımı.....	24
Şekil 2.16. Yapay aydınlatma tasarımı	25
Şekil 3.1. Burdur ilinin güneş enerji potansiyel atlası	28
Şekil 3.2. Burdur ili Gölhisar ilçesi yıllık güneşlenme süreleri.....	28
Şekil 3.3. Seranın krokisi	29
Şekil 3.4. Seranın görünüşü	29
Şekil 3.5. Sulama sistemi kontrol panosu	33
Şekil 3.6. Kullanılan sulama pompaları	33
Şekil 3.7. Gübreleme sistemi karıştırma kazanları	34
Şekil 3.8. Kullanılan selenoid vanalar	35
Şekil 3.9. Kullanılan egzoz fanı	35
Şekil 3.10. Kullanılan sirkülasyon fanı.....	36
Şekil 3.11. Kullanılan otomasyon sistem panosu	37
Şekil 3.12. Tam otomasyonlu sera akış şeması.....	38
Şekil 4.1. Örnek panel yerleşim detayı	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. 600 W PV modül bilgileri.....	6
Çizelge 2.2. İnverter bilgileri	7
Çizelge 2.5. Su pompası özellikleri	13
Çizelge 3.1. 550 W panel bilgileri	30
Çizelge 3.2. Serada kullanılan akü bilgileri	30
Çizelge 3.3. Serada kullanılan inverter bilgileri	31
Çizelge 3.4. Şarj kontrol ünitesi bilgileri	32
Çizelge 3.5. Kullanılan motor etiket bilgileri	34
Çizelge 3.6. Kullanılan sirkülasyon fanı bilgileri	36
Çizelge 4.1. Serada çalışan malzemelerin gücü ve çalışma süreleri.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
Ah	: Amper Saat
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğrusal Akım
EC	: Toprak Tuzluluk
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
Hz	: Hertz
I	: Akım
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
I_{mp}	: Maksimum Güç Akımı
Kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
mm	: milimetre
mΩ	: Mili Ohm
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleyici
MW	: Mega watt
N	: Nötr
NA	: Normalde Kapalı
NO	: Normalde Açık
NŞD	: Net Şimdiki Değer
P	: Oransal
PE	: Protective – Earth Koruma İletkeni
PA	: Basınç
P_{maks}	: Maksimum Güç
pH	: Hidrojen Kuvveti
PLC	: Programmable Logic Controller – Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PV	: Photovoltaic – Fotovoltaik
RPM	: Dakika Başına Devir Sayısı

SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition – Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
V	: Volt
VA	: Volt Amper
W	: Watt
Wp	: Watt peak
V_{ac}	: Nominal Çıkış Gerilimi
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
V_{mp}	: Maksimum Güç Gerilimi
°C	: Celsius



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Otomatik Kontrol Sistemli Seralarda Fotovoltaik Sistem Kullanımı: Gölhisar
Örneği**

Osman Nuri GÜMÜŞ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ
II. Danışman: Doç. Dr. İbrahim KIRBAŞ**

Ocak, 2025

Bu tez çalışmasında tam otomasyonlu seralarda ürün kalitesini ve üretimi arttırmak için fotovoltaik sistemden faydalanılması incelenmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte tarımda da birçok yenilik ortaya çıkmıştır. Bu yeniliklerin getirisinin yanında enerji tüketimi de artarak devam etmektedir. Ortaya çıkan bu enerji ihtiyacını karşılamanın yollarından birisi de fotovoltaik sistemlerin seralara entegrasyonudur. Bu tez çalışmasında Burdur ili Gölhisar ilçesi şartlarında şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki farklı türde üretim yapan tam otomasyonlu sera sistemlerinin sistem tasarımı maliyet hesabı ve ortaya çıkan maliyetin amortisman süresi örneklenerek hesaplanacak ve tasarlanan sistemin olumlu ve olumsuz yanları ortaya çıkarılacaktır.

Anahtar Kelimeler: fotovoltaik, güneş enerjisi, PV sistem, otomasyon, sera, GES

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Photovoltaic System Use in Greenhouses with Automatic Control System: The Case Study of Gölhisar

Osman Nuri GÜMÜŞ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim KIRBAŞ**

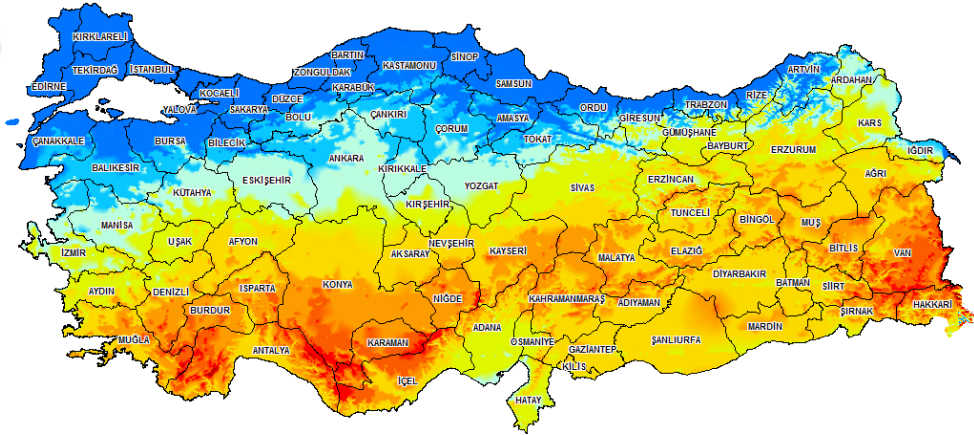
January, 2025

In this thesis, an example is provided wherein photovoltaic systems are utilized in fully automated greenhouses to enhance product quality and increase production. Alongside the benefits brought about by these innovations in agriculture due to advancing technology, energy consumption continues to rise. One of the approaches to meet this emerging energy demand is the integration of photovoltaic systems into greenhouse environments. In this thesis, the system design, cost analysis, and the payback period of the incurred costs will be exemplified for two distinct types of fully automated greenhouse systems, one grid-connected and the other off-grid, under the conditions of Gölhisar district in Burdur province. The positive and negative aspects of the designed system will be elucidated.

Keywords: photovoltaic, solar energy, PV system, automation, greenhouse, renewable energy system (RES)

1. GİRİŞ

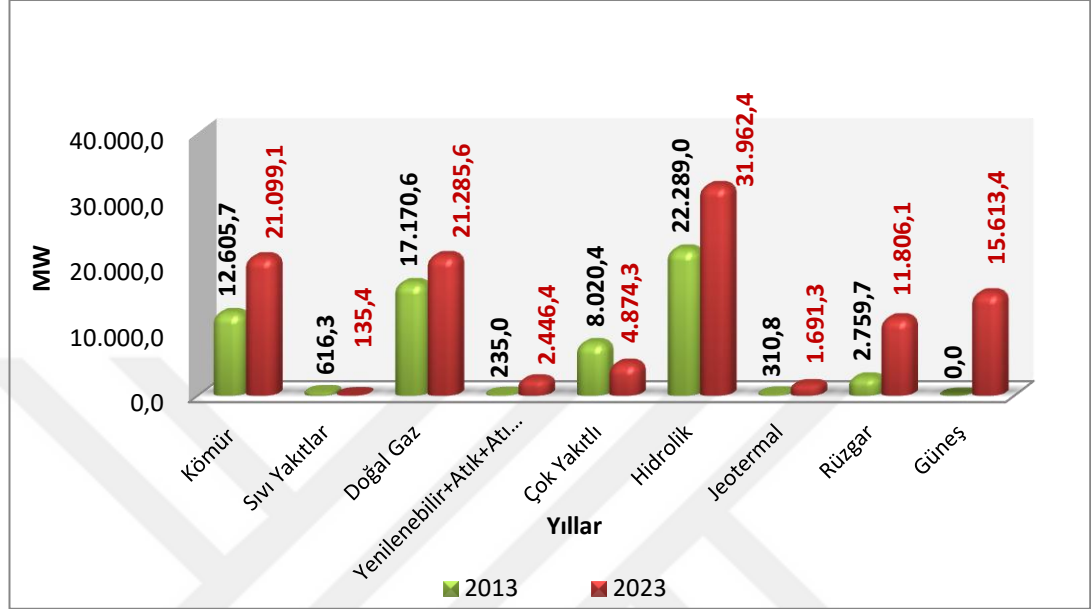
Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan enerji ihtiyacını karşılamak için birçok ülke yeni yollar aramaktadır. Ülkemizin enerji ihtiyacının büyük kısmı hidroelektrik santrallerden karşılanmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları deyince fotovoltaik sistemler akla gelmektedir. Tarım ve sanayi işletmelerinde de çevre dostu enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Tarım sektöründe ise giderek yaygınlaşan sera işletmeciliği teknolojinin gelişmesi ile otomasyonlu sistemlere geçerek üretimin kalitesini arttırmış ve üretim ağını zenginleştirmiştir. Sera işletmelerinin bu şekilde gelişmesi ihtiyaç olan enerji miktarını da önemli ölçüde arttırmıştır. İşletmeciler ihtiyaç duyulan bu enerji miktarını karşılamamanın en karlı yollarından birinin de güneş enerjisinden faydalanmak olduğunu fark etmiştir. Güneş pilleri bu ihtiyacı karşılamak için kullanılacak materyallerin başında gelmektedir. Fakat ülkemizde enerji üretiminin başında termik santraller bulunmaktadır. Fakat son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına oldukça eğilim vardır (Yılmaz, 2019).



Şekil 1.1. Türkiye güneş haritası (GEPA, 2024)

Ülkemiz, coğrafi konum itibarıyla önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) tarafından hazırlanan rapora göre, ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.741 saat olarak belirlenmiş olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri $1.527,46 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. GEPA'daki genel potansiyel analizi ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı yukarıda gösterilmiştir (GEPA, 2024).

Şekil 1.2’de verilen tabloda Türkiye’nin kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi görüntülenmektedir. Geçmiş yıllardan günümüze yaklaştıkça güneş enerjisine verilen önem artmakta olup yeni yatırım fırsatları devlet tarafından sağlanmaktadır (TEİAŞ, 2024).



Şekil 1.2. Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2013-2021)

Şekil 1.2’den anlaşılacağı üzere 2013 yılından 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artmıştır. 2013 yılına göre termik santrallerden elde edilen enerji miktarı toplam enerji daha da azalmıştır. Sadece bu orana bakarak doğaya salınan karbondioksit miktarının ne denli azaldığı görülmektedir (TEİAŞ, 2024).

Buradan yola çıkarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hem çevresel hem de sürdürülebilirlik açısından önemli bir adım olarak düşünülebilir. Bu yönelimin çeşitli avantajları olsa da geçiş aşamasında birtakım zorluklar olacaktır.

Seralar kontrol edilebilir ortamlar olduklarından, tarla bitkisi üretimine göre daha az kaynak tüketimi ve emisyonu sahiptir. Bu yüzden tarımsal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonları azaltırlar. Ayrıca, akıllı izleme sistemine sahip sera daha iyi enerji tasarrufu ve emisyon azaltma etkilerine sahiptir. Aynı zamanda, akıllı izleme sistemi ve otomasyon sistemleri sera içi ortamındaki olumsuzlukları önceden tahmin edebilir, hastalıkları ve böcek zararlılarını azaltabilir, pestisit ve gübre kullanımını azaltabilir dolayısıyla da yüksek kaliteli gıda sağlayabilir (Li vd., 2021). Otomasyona sahip seraların böylesi olumlu özelliklerinden dolayı kullanıcılar sera

otomasyonu ve sera izleme sistemlerine daha fazla ilgi duyuyorlar. Tüm bunlar beraberinde seralarda kullanılan enerji miktarının artmasına sebep olacaktır. Seraların otomasyon kazanması için çeşitli internet ağı, sensörler, izleme programları, yapay zekâ program ve algoritmaları gibi teknolojilerden faydalanılmaktadır (Wang vd., 2008; Awasthi ve Reddy, 2013; Martinovi'c ve Simon, 2014; Azaza vd., 2016; Siddiqui, 2017; Tzounis vd., 2017; Yanes vd., 2020). Bugüne kadar yapılmış bazı çalışmalara kaynak özetleri başlığı altında yer verilmiştir.



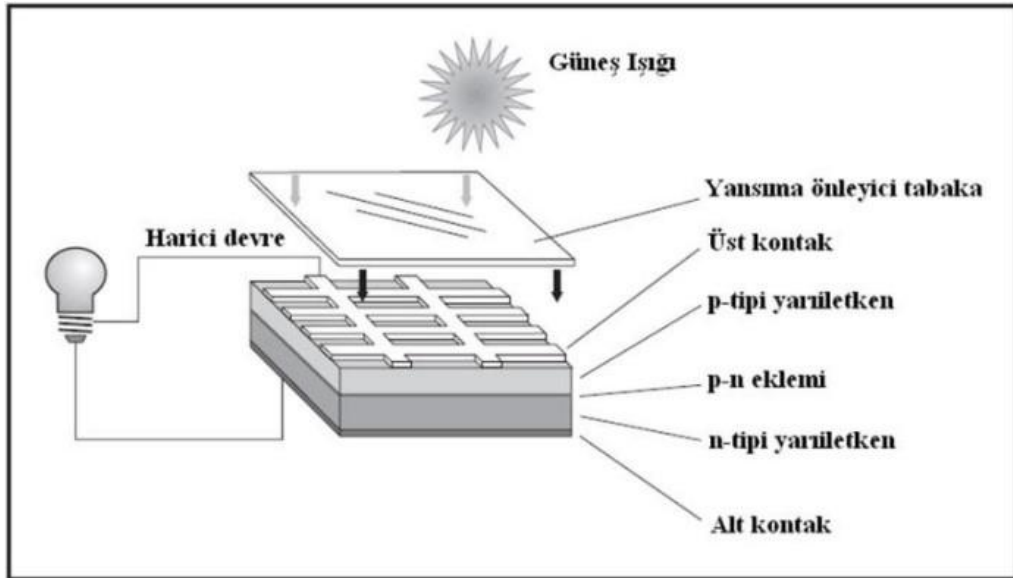
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Fotovoltaik Sistemler ve Bileşenleri

Fotovoltaik (PV), ışık ve gerilim anlamına gelen photo ve voltaic kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir. PV hücreler, güneş ışınlarından gelen fotonların etkisiyle elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. PV teknolojisi, herhangi bir döner parça, mıknatıs, bobin ya da benzeri bileşen olmadan doğrudan güneş ışığından elektrik üretimini mümkün kılar. Fotovoltaik etki ile elektrik üretimi, 19. yüzyılın ortalarında keşfedilmiştir. Başlangıçta verimi çok fazla olmayan bu sistem, uzay çalışmaları için daha fazla geliştirilerek uydular ile uzay araçlarında kullanılmıştır. Bugün ise her geçen gün performansları giderek artmaktadır. Laboratuvar testlerinde, farklı teknolojilere bağlı olarak %10 ila %30 arasında verime ulaşabilmektedir (Gökçe, 2020).

2.1.1. PV Panel Teknolojileri

PV sistemler, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürürler. Güneş pilleri olarak adlandırılan bu malzemeler yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. Bu yarı iletken malzemeler güneş enerjisini doğru akım (DC) elektrik enerjisine çevirirler.



Şekil 2.1. Güneş pili yapısı (ETKB, 2024)

Şekil 2.1’de görüleceği üzere güneş pili p tipi yarı iletken ve n tipi yarı iletken malzemelerden oluşurlar. P tipi yarı iletken malzemeler pozitif yük, n tipi yarı iletken

malzemeler negatif yük elektron barındırır. P-n birleşimine düşen güneş ışığı elektronları serbest bırakarak p ve n yarı iletken malzemelere yönelmesine sebep olurlar. Bunun sonucunda p yarı iletkeninde pozitif, n yarı iletkeninde ise negatif yükler toplanmış olur. Bu iki yarı iletken arasında potansiyel bir fark oluşur. Bu potansiyel fark serbest elektronların hareketi meydana getirir. Böylece ışık enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Güneş pillerinin birbirlerine seri bağlanması ile PV modül oluşturulur. Oluşturulan modüller birbirlerine bağlanarak daha büyük sistemler elde edilir. Örneğin, 1 Watt gücünde sistem yapılabileceği gibi 1 MW gücünde sistem de ortaya konulabilir (Eruz, 2015).

2.1.2. Panel Çeşitleri

2.1.2.1. Polikristal Paneller

Polikristal, materyalin tam olarak homojen olmaması demektir. Polikristal güneş paneli monokristal güneş panelinden kalite ve verimlilik açısından daha düşük verimli hücrelerden yapılmaktadır. Bunun yanında fotovoltaik sistemlerde kullanımı daha fazladır. Fazla kullanılmasının nedeni daha kolay bulunması ve buna bağlı olarak da daha ucuz olmasıdır (Kuzucu, 2021).

2.1.2.2. Monokristal Paneller

Mono kristal hücreler yüksek saflıkta silisyum içerirler. Verimleri genellikle %14 civarındadır. Verimleri polikristallere göre daha yüksektir. Silisyumun üretimindeki zorluklar sebebiyle polikristal panellere göre fiyatları daha yüksektir. Sıcaklığın artmasıyla verimdeki azalma polikristal hücrelere göre daha düşüktür. Kullanım süresi daha uzundur. Yapısal özelliklerini daha uzun süre koruyabilmektedir (Gökçe, 2020).

Aynı güce sahip polikristal panellere göre %1-2 daha az alana sahiptirler. Bu panellerin yapımında kullanılan teknoloji nedeniyle üretim süreçleri uzun tutmaktadır. Monokristal güneş panelleri uzun vadeli yatırımda en iyi seçenek olarak bulunmaktadır. Bu güneş paneli yapı olarak tüm hücre sadece kristalden olduğundan dolayı materyalin atom yapısı homojendir (Kuzucu, 2021).

Çizelge 2.1'de 600 W güce sahip modül verimliliği %21,2 olan monokristal bir PV modülün teknik özellikleri verilmiştir (CW Enerji, 2023). Modülün maksimum güç gerilimi 34,3 V, maksimum güç akımı ise 17,5 A'dir.

Çizelge 2.1. 600 W PV modül bilgileri (CW Enerji, 2023)

Maksimum Güç (P_{max})	600 Wp
Modül Verimliliği (%)	21,20
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	34,30
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	17,50
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	41,50
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	18,53
Hücre Tipi	Monokristal
Güç Toleransı	0~+5W
Maksimum Sistem Anma Gerilimi	1500V DC
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C
Güvenlik Sınıfı	Sınıf II
Maksimum Seri Sigorta Akımı	30A

2.1.2.3. İnce Film Paneller

İnce film güneş hücreleri kristal silisyum hücrelerine göre daha kolay üretilirler. Bu sebepten dolayı üretim maliyetleri de daha düşüktür. Birim alan başına miktarları daha azdır. Verimleri genel %7-12 seviyelerindedir. Sıcaklığa karşı kristal silikon güneş hücrelerine göre daha dayanıklıdır. Sıcaklık artışından daha az etkilenirler. İnce film güneş hücreleri çok ince yarı iletkenlerin üst üste dizilmesiyle oluşur. İnce film güneş hücrelerinin yapımında genellikle amorf silikon kullanılır. Bunun yanı sıra kadmiyum tellür ve bakır indiyum diselenoid hücreler de kullanılmaktadır. Bükülebilir yapısıyla kolay bir kurulumu sahiptir (Gökçe, 2020).

2.1.3. İnverter

PV sistemlerde üretilen elektrik akımı doğru akımdır. Üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlara inverter adı verilir. Her inverterin üretilirken bir DC giriş kapasitesi ve AC çıkış kapasitesi bulunmaktadır. Dizilerde kullanılan toplam panel miktarı bu DC girişe göre ayarlanır (Gençoğlu, 2015).

Çizelge 2.2'de örnek bir inverter bilgileri verilmiştir (CW Enerji, 2024). Görüleceği üzere örnek olarak verilen bu inverterde 4 adet MPPT ve her MPPT için ikişer adet giriş bulunmaktadır. İnverter 200 V değerinin altında çalışmamaktadır ve maksimum giriş voltajı 1100 V'tur.

Çizelge 2.2. İnverter bilgileri

Maksimum Giriş Voltajı	1100 V
Maksimum MPPT Akımı	30 A
Maksimum Akım Girişi	20 A
Maksimum MPPT Kısa Devre Akımı	40 A
Başlangıç Voltajı	200 V
MPPT Çalışma Aralığı	200 V ~ 1000 V
Nominal Giriş Voltajı	600 V
Giriş Sayısı	8
MPPT Sayısı	4
Nominal AC Aktif Güç	50000 W
Maksimum AC Görünür Güç	55000 VA
Maksimum AC Aktif Güç (Cosφ=1)	55000 W
Nominal Çıkış Gerilimi	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Nominal AC Şebeke Frekansı	50 Hz / 60 Hz
Nominal Çıkış Akımı	72,2 A @ 400Vac, 60,1 A @ 480Vac
Maksimum Çıkış Akımı	79,8 A @ 400Vac, 66,5 A @ 480Vac
Ayarlanabilir Güç Faktörü Aralığı	0,8 LG ... 0,8 LD
Maksimum Toplam Harmonik Bozulma	<3%

2.1.3.1. Mikro İnverter

Normal inverterler kadar rağbet olmamasına rağmen, çeşitli firmalar tarafından tasarlanan mikro inverterler mevcuttur. Bu inverterler, genellikle bir veya iki panel bağlantısını destekleyen, 200 W ile 400 W arasında güç sağlayabilen cihazlardır. Her panel için ayrı bir inverter kullanıldığı için, gölgelenme durumlarında sistem performansı etkilenmez. Ayrıca, panel veya inverterde meydana gelebilecek bir arıza durumunda yalnızca ilgili bölüm devre dışı kalır, ancak sistemin geri kalan kısmı sorunsuz çalışmaya devam eder. Kablolama ağırlıklı olarak doğrusal akım yerine alternatif akım tarafında gerçekleştirilir. Bununla birlikte, mikro inverterler daha düşük kapasiteli sistemler için idealdir (Gençoğlu, 2015).

2.1.3.2. Dizi İnverterler

Dizi inverterler, panellerin doğrusal akım giriş gerilim sınırlarına uygun şekilde seri olarak bağlanan ve her bir PV dizisinin doğrudan invertere entegre edildiği sistemlerde tercih edilir. Paneller arasında seri bağlantı yapıldıktan sonra, en uçtaki ve

başlangıçtaki panellerden doğrusal akım kabloları ile akım invertere iletilir. İnverterin kapasitesine bağlı olarak, paralel bağlanabilecek seri panel gruplarının sayısı farklılık gösterebilir (Gençoğlu, 2015).

2.1.3.3. Merkezi İnverter

Merkezi inverterler, özellikle büyük ölçekli enerji santralleri ve endüstriyel tesisler için tasarlanmış cihazlardır. Merkezi inverterler, tüm sistemi tek bir merkezden kontrol ederek diğer inverter türlerinden ayrılır. Panellerin, invertere bağlanmadan önce bağlantı kutularında birleştirildiği bir yapıya sahiptir. Merkezi inverterler, diğer inverter türlerine kıyasla daha büyük panel gruplarını yönetme kapasitesine sahiptir. Santrallerde üretilen enerjinin, yüksek gerilim hatlarına aktarılması ve enerjinin etkin bir şekilde taşınabilmesinde önemli rol oynarlar. Bu sebepten dolayı, merkezi inverterler yüksek gerilim hatlarına bağlantı kolaylığı açısından oldukça etkili bir çözüm sunar (Gençoğlu, 2015).

2.1.4. Akü

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan cihazlara akü adı verilir. Aküler PV sistemde üretilen enerjiyi depolayarak güneş olmadığı zaman aralığında enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Akülerin öncelikli görevi enerji depolama olmasının yanında PV sistemde üretimin az veya dengesiz olduğu durumlarda enerji stabilitesini de sağlayabilirler. Şebekeden uzak alanlarda üretilen elektrik enerjisini depolayarak ihtiyaç anında sisteme verebilirler. Enerji tüketiminde sistemdeki yük miktarı baz alınarak akü sayısı belirlenir ve üretim olmadığı zamanlarda enerji sürekliliği sağlanmış olur (Demirbaş, 2021).

2.1.4.1. Jel Akü

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, geleneksel kurşun asit akülerin yerini jel aküler almaya başlamıştır. Kuru akü sınıfında yer alan jel aküler, sıvı yerine jel kıvamında elektrolit içerir. Bu jel, sülfürik asit ile isli silikanın homojen bir şekilde karıştırılmasıyla oluşturulur. Jel aküler, denizcilik, güneş ve rüzgâr enerjisine benzer yenilenebilir enerji kaynaklarında yüksek sıcaklık ve titreşime dayanıklılığı nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. Jel aküleri diğer akü türlerinden ayıran en önemli özellikleri, derin deşarj imkânı sunmalarıdır. Derin deşarj, akünün tamamen boşaldıktan sonra yeniden şarj edilmesiyle kimyasal yapısının herhangi bir zarar görmemesi anlamına

gelir. Bu sayede jel aküler her şarj işleminden sonra kullanım ömrü kısalmadan ve verimlilik kaybı yaşamadan çalışmaya devam eder (İncitaş, 2024).

2.1.4.2. Kurşun Asit Akü

Kurşun asit aküler, düşük enerji-ağırlık oranına sahip olmalarına rağmen, yüksek dalga akımı üretebilme kapasitelerine sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde özellikle arabalardaki marş motorlarını yüksek akım ile çalıştırmak için tercih edilir. Uygun maliyetli olmaları, daha gelişmiş akülerin bulunmasına rağmen kurşun asit akülerin piyasadaki geçerliliğini sürdürmesini sağlar. Anlık yüksek akımın kritik olmadığı ve yeterli enerji sağlandığı durumlarda bu akü türü yaygın bir şekilde kullanılır. Kurşun asit aküler, cep telefonu baz istasyonları, hastaneler ve bağımsız enerji kaynaklarına ait sistemlere benzer birçok alanda kullanılmaktadır (İncitaş, 2024).

2.1.5. Şarj Kontrol Ünitesi

Güneş panellerinden üretilen enerjinin depolanmasında kullanılan akülerin şarj süresini ve miktarını kontrol eder. Verimlilik optimizasyonu sağlar, aşırı şarj olma ya da deşarj durumlarını kontrol eder, kullanıcının optimum verilerini almasına olanak sağlar (CW Enerji, 2024).

2.2. Sera

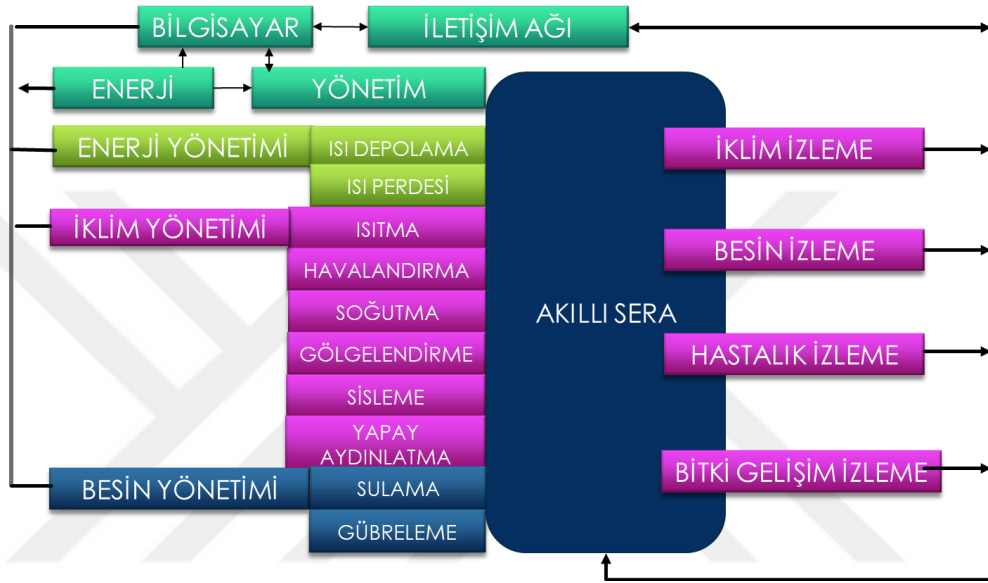
Seralar, bitkinin büyümesi ve gelişmesi için en uygun koşulları sağlamak amacıyla çevre koşullarına tamamen ya da kısmen bağımlı olmadan kullanılan örtü altı yetiştiricilik yapılabilen yapılardır. Çevresi cam veya plastiğe benzeyen malzemeler kullanılarak kaplanan bu yapılar sıcaklık, nem, karbondioksit (CO₂), ışınım ve hava hareketine benzer çevresel faktörlerin rahat bir şekilde kontrol altına alınmasına olanak tanır. Böylelikle özellikle kültür bitkileri olumsuz iklim koşullarından korunarak yetiştirilebilmektedir. Farklı şekillerde tasarlanabilen seralar, yalnızca bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için değil, tohum, fide veya fidanların üretimi amacıyla da kullanılmaktadır (Kara, 2024).

2.3. Otomasyonlu Sera Sistemleri ve Bileşenleri

Seralar tarımın belirli koşullar içinde kontrollü şekilde yapılmasıdır. Seralarda açık alanda üretimle kıyaslandığında çevresel etkilerin olumsuz etkisini kontrollü şekilde azaltarak üretimin kalite ve veriminin artırılması amaçlanmıştır. Açık alan

üretimine karşın, su tasarrufu, bitki hastalıkları ve haşere kontrolü, üretim kalitesi vb. avantajları bulunmaktadır.

Otomasyonlu sera ise tarımsal üretimin daha verimli ve kaliteli yetiştirilmesi için teknolojinin kullanılmasıdır. Sera içerisindeki sensörler ve otomasyon sistemi sayesinde havalandırma, iklimlendirme, gübreleme, sulama benzeri faaliyetlerin kontrollü optimum şekilde sağlanarak ürün kalitesi ve üretimi maksimum düzeyde tutulmaya çalışır (Felek, 2020).



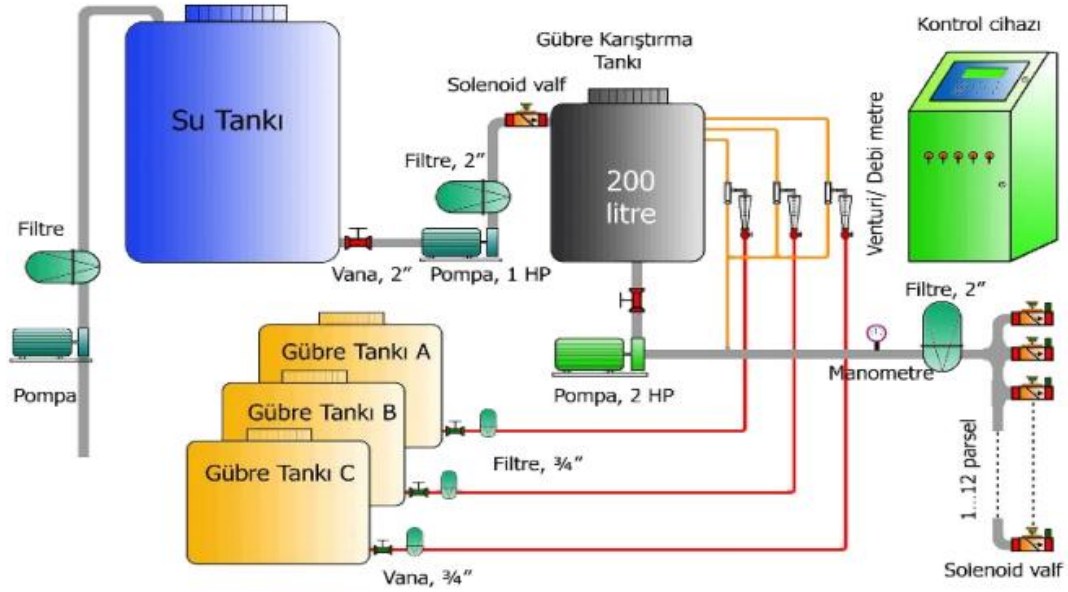
Şekil 2.2. Otomasyonlu sera sisteminin çalışma prensibi

2.3.1. Otomasyon kontrol sistem bileşenleri

Günümüz teknolojik ilerlemeleri sayesinde otomasyon sistemleri, ortam koşullarına bağlı olarak sadece on-off kontrol yapma yeteneğinin ötesine geçerek, insan mantığı ile düşünen mikrokontrolörlerle donatılarak insan iş gücüne ihtiyaç duymadan sistem kontrolü ve otomasyonu gerçekleştirebilmektedir. Bulanık mantık kontrolü kullanılarak kalite seviyelerini artırma, enerji masraflarını düşürme ve verimliliği yükseltme hedefleri başarıyla gerçekleştirilebilmektedir (Şenol, 2012).

2.3.2. Sulama sistemleri

Bitkilerin damlama sulama ile ne kadar sulanacağını ne zaman gübre verileceğini ayarlayarak bitkilerin en doğru şekilde beslenmesini sağlamaktır. Genellikle su dinlendirilerek bitkilere ulaştırılır. Bunun için basınçlı su sistemleri kullanılır. Aşağıda örnek olarak bir sulama sisteminin şeması verilmiştir (Dijisan, 2024).



Şekil 2.3. Sulama ve gübreleme sistemi

2.3.2.1. Damlama sulama sistemi

Damla sulama, sulama suyunu sık aralıklarla ve yalnızca bitki köklerinin olduğu alana verme esasına dayanır. Bu yöntemde her gün hatta bazı günler günde birden fazla sulama yapılmaktadır. Bu yöntemde temizlenmiş su, basınçlı bir boru ağı üzerinden bitki köküne yakın yerleştirilen damlatıcılara taşınır. Damlatıcılardan düşük basınçla toprağa bırakılan su, infiltrasyon yoluyla toprağa nüfuz eder. Bu yöntemde genellikle alanın tamamı sulanmaz, sadece bitki sıraları boyunca bir ıslak şerit oluşur ve sıralar arasında kuru alanlar kalır. Bu sayede mevcut sulama suyundan maksimum verim elde edilmiş olur. Bu sistem sabit bir yapıdadır sistemin parçaları sulama sezonu boyunca aynı konumda kalır. Ancak, sezon sonunda araziden kaldırılarak yeniden düzenlenir.

2.3.2.2. Basınçlı Sulama

Bu yöntem suyun kaynaktan basınçlı borular ile bitkiye ulaştırıldığı modern bir sulama sistemidir. Yağmurlama sulama bu yöntemin en yaygın uygulamalarındandır ve suyun yağmura benzer şekilde bitki üzerine ulaşmasını sağlar. Bu yöntem, suyun homojen bir şekilde bitkiye ulaşmasını sağlayarak bitki gelişimi için ideal nem koşullarını oluşturur. Basınçlı sulama yöntemleri, eğimli arazilerde ya da geçirgenliği düşük topraklarda suyun etkili bir biçimde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, farklı iklim ve toprak koşullarında uygulanabilirliği sayesinde geniş bir kullanım alanına hitap etmektedir.

2.3.2.3. Su Pompası

Otomatik sulama sistemleri, belirlenen sulama programları ile sulama zamanını, su miktarını, süresini ve kimyasal gübre miktarını ayarlamak için kullanılabilir. Bitki türüne veya su ihtiyacına göre çeşitli programlar oluşturulabilir. Ardından bu programlar bilgisayar hafızasına kaydedilerek daha sonra kullanılabilir hale getirilebilir. Bu yöntemle bitkiye verilecek su miktarı kontrol altında alınabilir, aynı zamanda ekonomik su kullanımı da sağlanmış olur.



Şekil 2.4. Su pompası

Sonuç olarak otomatik sulama sistemleri, bitki gelişimini etkileyen tüm faktörleri (EC, pH, sıcaklık vb.) dikkate alarak, venturi veya injektör pompaları aracılığıyla su ve gübrenin bitkiye yeterli miktarda ulaşmasını sağlar. Sera ortamlarında sulama ve gübreleme sistemleri, farklı ve bağımsız bölgeler oluşturarak, bu bölgelerin ayrı ayrı veya birlikte sulanmasına olanak tanır. Bu şekilde bitkiye ve büyüme aşamasına bağlı olarak gübreleme tam ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir (Kürklü ve Çağlayan, 2005). Aşağıda örnek bir su pompasının özellikleri verilmiştir (Gamak, 2024).

Çizelge 2.3. Su pompası özellikleri

Voltaj (V)	Frekans (Hz)	Güç (kW)	Hız (Rpm)	Akım (A)	Cos (Φ)	Verim		
						%100	%75	%50
380/660	50	7,5	2910	14,2/8,2	0,90	IE3-90,1	90,0	88,7
400/690	50	7,5	2918	13,9/8,8	0,88	IE3-90,1	90,1	88,8
440/760	60	7,5	3505	11,9/6,8	0,91	IE3-90,2	90,1	88,8
460/795	60	7,5	3515	11,7/6,6	0,91	IE3-90,2	90,2	88,9

2.3.2.4. Selenoid Vanalar

Selenoid valf, elektromekanik bir valf türüdür ve sıvı ile gaz akışını kontrol eder. Bu valf, çeşitli AC ve DC voltajları (220V, 110V, 24V, 12V, 6V) ile çalışan bir bobine sahiptir, bu da valfin konumunu değiştirmesini sağlar.

Selenoid vanalar, merkezi panelden gelen kapatma sinyali aldığı anda su akışını keser ve açma sinyali alsa bile manuel olarak (seçilen modeline bağlı olarak üstüne basılarak veya yukarı doğru çekilerek) elle kurulmadıkça suyun geçişine izin vermez. Bu özellik, su kaçağının kullanıcı tarafından tespit edilmesini ve onarılmasını zorunlu kılar; yalnızca bu koşul sağlandığında suyun açılmasını hedefler (Tesisat, 2024).

Elle kumandalı vanalar, diğer selenoid vanalar gibi “Normalde Açık” veya “Normalde Kapalı” olarak iki tipi içerir. “Normalde Açık” adı verilen bir vana, bobine besleme gerilimi gelmediği sürece suyun geçişine izin verir. Su kesme ihtiyacı doğduğunda, bobine, alarm sisteminin NA veya NO olarak kodlanmış röle çıkışından besleme gerilimi verilerek devre açık hale getirilir ve su kapanır. Bu tip vanalar, bobinde sürekli besleme gerilimi bulundurmazlar ve sadece alarm durumunda beslendikleri için bobin ömrü açısından avantajlı olduğu görünse de elektrik kesintilerinde suyu kapatmama durumu, güvenlik açısından sorunlu durumlar yaratabilir.



Şekil 2.5. Selenoid vana

2.3.3. İklimlendirme sistemleri

Tesis içerisindeki havanın sıcaklığı ve nem oranı bitki yetiştiriciliği için çok önemlidir. İçerideki sıcak havanın atılması veya sirküle edilmesinde kullanılabilirler.

Seralarda ısıtma, özellikle sonbahar ve kış aylarında iç ve dış nemin dengeye getirildiği dönemlerde kritik bir öneme sahiptir. Sera içinde yüksek nemin kontrol altına alınması için aşırı ısıtma uygulanmalı ve sık sık sirkülasyon fanları devreye alınmalıdır. Bu yöntemlerle havanın su emme kapasitesi artarken bağıl nem düşürülebilir. Aynı zamanda, kış aylarında sirkülasyon fanlarının devreye alınması, sıcaklık, nem ve CO₂ dağılımını homojenleştirir ve yoğuşma kaynaklı damlamaların bitki ve yapraklar üzerinde oluşmasını engeller. Ancak sirkülasyon fanları, kuruma riskini minimize etmek adına 1 m/s'den daha hızlı bir hava hareketi sağlamamalıdır (Yılmaz, 2013).

Serada kontrol edilmesi gereken ikinci önemli faktör bağıl nemdir. Genellikle seralarda %60-90 arasındaki bağıl nem değişimi bitkiler üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir. Ancak %60'ın altındaki nem seviyeleri, özellikle havalandırma yapıldığı anlarda genç bitkilerin taze yapraklarında su stresine yol açabilir. Serada etkili ve doğru bir havalandırma, sera havalandırma sisteminin yapısal özellikleri ve kontrol yöntemleri ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 2.6. Mini meteoroloji istasyonu

Havalandırma sisteminin temel mantığı, çatı ve yan duvarlar aracılığıyla içeri giren dış hava ile içerideki sıcak havanın yer değiştirmesidir. Bu süreçte transpirasyon sonucu oluşan su buharı dışarı atılır ve sera içindeki nem kontrol altına alınır. Havalandırma pencereleri üzerinden serada oluşan basınç farkıyla sağlanan hava değişimi, iç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark ve rüzgâr yönü ile doğrudan ilişkilidir. Ancak bu değişim, havalandırma alanı ve tipi ile doğrudan bağlantılıdır. Seralarda yeterli havalandırmanın sağlanabilmesi için baca etkisinin oluşması, iç ve dış sıcaklık farkının havalandırma yüksekliği ile çarpımının kareköküne eşit olmalıdır (Yılmaz, 2013).



Şekil 2.7. İklimlendirme kontrol panosu

Şekil 2.7’de iklimlendirme kontrol panosu yer almaktadır. Bu kontrol ünitesinde egzoz fanlarının, sirkülasyon fanlarının, çatı havalandırma motorlarının açma – kapama devreleri bulunmaktadır. Bu sistem normal durumlarda otomasyon tarafından kontrol edilmektedir. Fakat her zaman müdahale edilebilmesi için manuel kontrol bulunması şarttır. Pano içerisinde kontrol röleleri, kontaktörler ve motor koruma röleleri bulunmaktadır.

2.3.3.1. Sıcaklık Sensörü

Sıcaklık ölçümleri, günlük yaşamdan endüstriyel süreçlere kadar geniş bir yelpazede önemli bir rol oynar. Birçok endüstriyel sürecin başarılı bir şekilde yürütülmesi, belirli sıcaklık seviyelerinin korunması ve sürekli olarak izlenmesine bağlıdır. Örneğin, sera sistemlerinde üretimin sağlıklı şekilde ilerleyebilmesinin en büyük etkenlerinden birisi olan ortam sıcaklığı kritik bir parametredir. Ortamdaki ani sıcaklık değişimleri bitkilerde olumsuz etkilere neden olarak istenmeyen durumların ortaya çıkmasına ve maliyetli hasarlara yol açabilir. Bu nedenle, birçok sektörde sıcaklık sensörleri, sıcaklığı ölçmek, belirlemek ve kontrol etmek için kullanılır (Elektrikport, 2024).

Farklı uygulama alanlarına göre, değişik türde sıcaklık sensörleri tercih edilir. Ölçüm yapılacak ortamın özellikleri, sıcaklık aralıkları ve ölçüm hassasiyetine benzer faktörler, kullanılacak sensörün tipini ve kalitesini belirler (Tesisat, 2024).

2.3.3.2. Toprak Nem Sensörü

Toprağın nem içeriği, suyun toprak tarafından çekilmesini sağlayan moleküler çekim kuvvetleri aracılığıyla düzenlenir. Yer çekimi, buharlaşma ve terleme vb. faktörlere karşı Adhesif (yapışkan) ve Kohesif (birbirine bağlı) kuvvetlerin etkisiyle suyun toprakta tutunmasını destekler. Bu sayede, herhangi bir anlık zamanda topraktaki su düzeyi, başlangıçtaki nem miktarı ve bu neme etki eden güçlerin kuvveti ve süresi temelinde belirlenebilir (Esular, 2024).

Toprağın nemini ölçen nem sensörü otomasyon yardımı ile ne kadar sulama yapılması gerektiğini ortaya çıkarabilir. Böylece bitkilerin ihtiyacı olan su miktarı optimum seviyede ayarlanarak fazla sulamadan ya da eksik sulamadan ortaya çıkabilecek sorunları minimuma indirebilir.

2.3.3.3. Rüzgâr Hız ve Yön Sensörü

Rüzgâr hızı belirli bir seviyeyi aştığında, seralardaki açık pencerelerin neden olabileceği hasarı önlemek amacıyla kullanılan bir güvenlik önlemi olarak rüzgâr sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler, rüzgârın etkisiyle meydana gelen burkulma olaylarını algılar ve ayarlanan tork değerini aştığında kontakları aracılığıyla uyarı verir. Rüzgâr sensörleri genellikle seranın çatısına monte edilir. Eğer sensörden “rüzgâr hızlı” uyarısı alınırsa, seranın tüm pencereleri hızla kapatılır. Ancak belirli bir süre boyunca uyarı alınmazsa, pencerelerin normal kontrolüne geçilir. Bu şekilde,

seranın güvenliği sağlanır ve potansiyel hasarlar önceden önlenmiş olur (Türkmenoğlu vd. 2014).



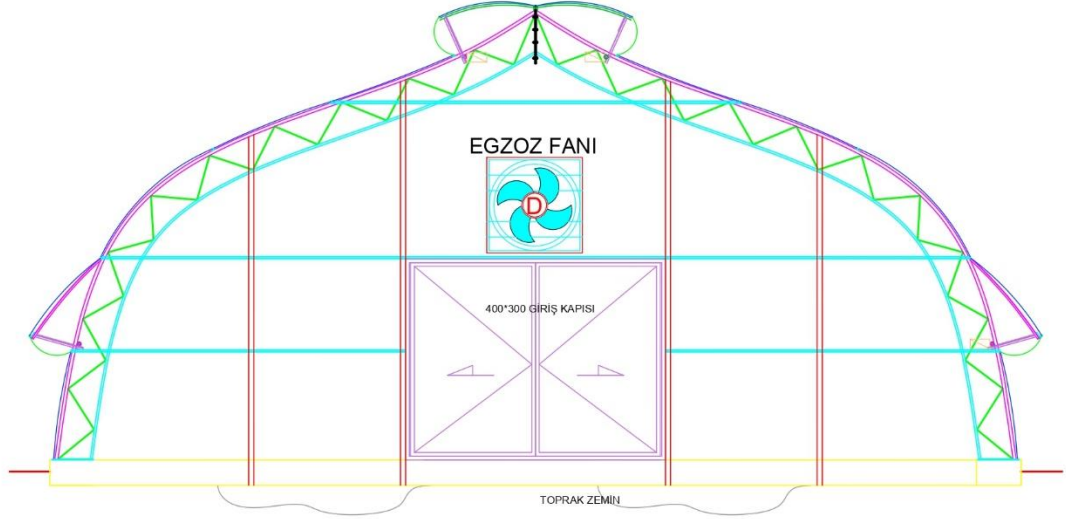
Şekil 2.8. Rüzgâr sensörü gösterimi

Anemometre olarak isimlendirilen rüzgâr hız ve yön ölçüm cihazları, otomasyonlu seralarda sıklıkla kullanılan bir birimdir. Özellikle kepçeli anemometreler, rüzgâr hızını ölçer ve yönetim birimine sinyal gönderir. Rüzgâr hızının aniden arttığında sensörler bu değişimi algılar ve seranın yönetim birimine sinyal göndererek havalandırma kanatlarının ve pencerelerinin kapanmasını sağlar (Türkmenoğlu vd. 2014).

2.3.4. Havalandırma sistemleri

Seraya gelen güneş ışınlarının yansıyan kısmından sonra kalan miktar, bitkiler ve sera içindeki diğer nesnelere tarafından emilir. Elde edilen bu enerjinin bir kısmı gizli ısı olarak buharlaşma için kullanılırken, geri kalan kısım ise ortamın sıcaklığını yükseltir. Sıcaklığı artan ortamdaki konveksiyonel şekilde yayılan ısı, sera içindeki hava sıcaklığını artırır. Sera içindeki bu yüksek sıcak hava, bitkiler için riskli seviyelere ulaşmadan önce, dış ortamın daha serin havasıyla belli aralıklarla değiştirilmelidir. Sera iç sıcaklığının, en sıcak günlerde bile 30°C'nin üzerine çıkması istenmez (Kürklü ve Çağlayan, 2005).

Etkili bir havalandırma ile sera iç sıcaklığı, dış ortamdaki 2-3 °C daha düşük bir değere indirilebilir. Ayrıca, etkili bir havalandırma ile sera içindeki nem seviyesi



Şekil 2.11. Sera tüneline egzoz fanı yerleşimi

2.3.5. Isıtma sistemleri

Serada üretim yılın her gününde devam edebilir. Fakat bölgesel iklim koşullarına bakıldığında tesis içerisinde bitkinin optimum sıcaklıkta olması için bazı durumlarda ısıtma sistemi gerekebilir. Isıtma kazanlarının yanında serada ısı perdesi de kullanılmalıdır. Unutulmamalıdır ki ısınan hava yükselir. Sıcak havanın yerdeki bitkiden çok uzaklaşmaması için bu ısı perdesi kullanılır.

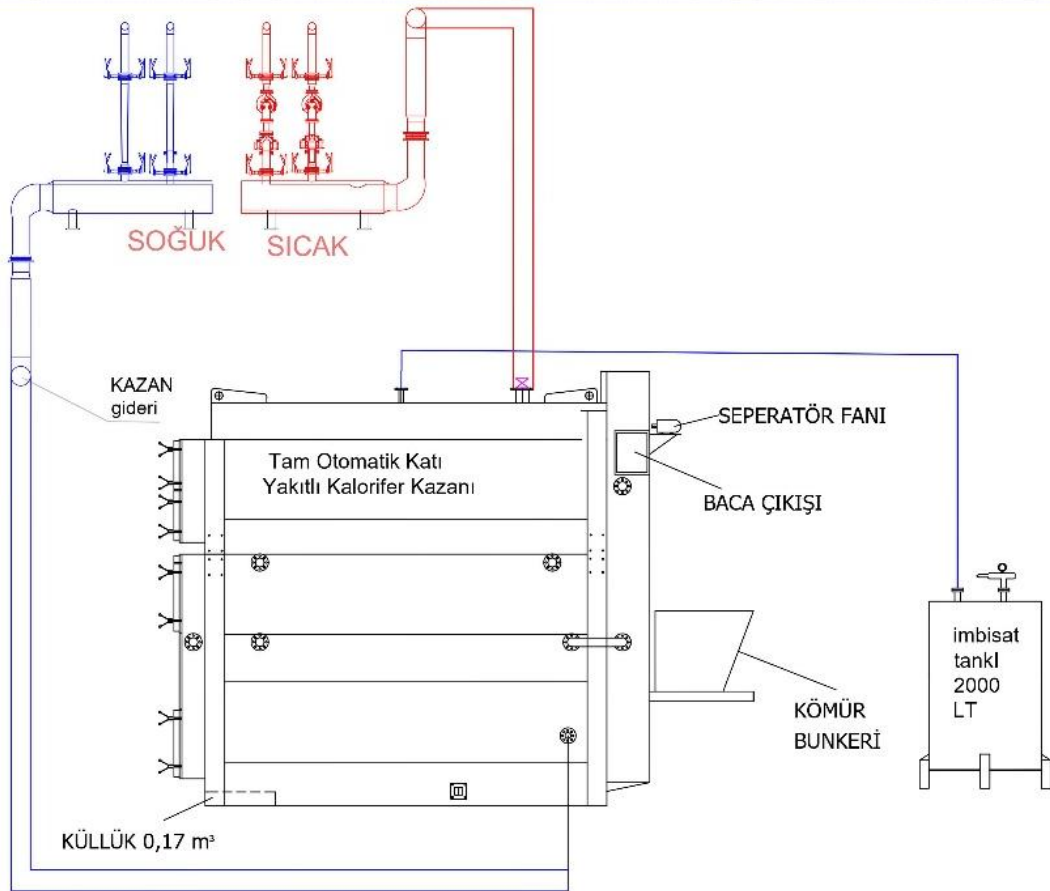
Seracılık sektörümüzde karşılaşılan en temel sorunlardan biri, ısıtma konusudur. Seraların ısıtılmasında kullanılan odun, kömür, sıvı ve gaz yakıtlı enerji kaynaklarının maliyeti, üreticileri ısıtma maliyetleri nedeniyle yetiştiriciliği tercih etmekten alıkoyabilmektedir. Seracılık işletmelerindeki ısıtma giderleri, yetiştirme mevsimi ve konuma bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin %40-80 arasında değişim gösterebilmektedir. Ülkemizde seralarda genellikle düzenli bir ısıtma uygulanmamakta ve ısıtma işlemi, genellikle bitkilerin dondan korunması amacıyla sınırlı tutulmaktadır. Düzenli ısıtma eksikliği, verim düşüklüğü, üretim çeşidinde kısıtlamalara ve tarımsal savaş ilacı ile hormon kullanımına benzer sorunlara yol açabilir (Kendirli ve Çakmak, 2010).

Seralarda ısıtma giderleri, sera karlılığını belirleyen en önemli faktördür. Son dönemler de hem Türkiye'de hem de diğer ülkelerde, uygun maliyetli ve çevre dostu olmaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının seraların ısıtılmasında kullanımı giderek artmaktadır. Türkiye'de jeotermal kaynaklara dayalı seracılığın geliştirilmesi, özellikle Ege Bölgesi olmak üzere diğer bölgelerde seracılığa önemli katkılarda bulunabilir. Günümüzde ilerleyen teknolojiyle birlikte, sera ısıtma sistemlerinin

tasarımı ve işletilmesiyle ilgili sorunların çözümlenmesi, bu ısıtma sistemlerinin daha yaygın kullanılmasında önemli bir rol oynayabilir (Kendirli ve Çakmak, 2010).

2.3.5.1. Isı Kazanları

Seralarda kullanılan ısıtma sistemleri genellikle ısı üreteçleri ve ısı iletim-dağıtım birimlerinden oluşur. Isı üretici, sera içinde istenen sıcaklık değerlerine hızla ulaşılabilir şekilde tasarlanmalıdır. Aynı zamanda ısıtma boruları, bağlantı parçaları ve sera örtüsünden kaynaklanan ısı kayıplarını etkili bir şekilde tolere edebilecek bir planlamaya ihtiyaç duyulur. Seralarda ısıtma kazanlarının tasarımı, sadece verimli üretim için değil, aynı zamanda enerji maliyetleri göz önüne alınarak hazırlanması gereken bir durumdur. Enerji maliyetlerindeki artış ve ısıtma sistemlerinin çevreye saldığı emisyonlar sera üreticilerini mevcut sistemlerini gözden geçirmeye yönlendirmektedir. Bu durum, işletmelerin daha sürdürülebilir ve maliyet etkin ısıtma çözümlerini araştırmaya teşvik etmektedir. (Baytorun ve Gügercin, 2018).



Şekil 2.12. Isıtma kazanı örnek tasarımı

2.3.5.2. Fanlı Isıtıcılar

Otomasyonlu seralarda fanlı ısıtma sistemi modern tarım uygulamalarında verimliliği artırmak ve bitki yetiştirme koşullarını optimize etmek için kullanılan önemli bir teknolojik gelişmedir. Bu sistem, fanlar aracılığıyla ısıtılmış havanın seranın içinde dolaştırılması prensibine dayanır. Bu sistem ile sera içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanır. Bu ısıtma sistemi bitkilerin daha sağlıklı ve verimli bir şekilde büyümesini destekler. Sera içerisindeki fanlar aracılığıyla hava dolaşımının kontrol edilerek nemin düzenlenmesine ve bundan kaynaklı hastalık riskinin azaltılmasına yardımcı olur (Yılmaz, 2013).

Fanlı ısıtma sistemleri, genellikle elektrik, gaz veya su bazlı kazanlar tarafından üretilen ısının fanlar ile sera içerisine dağıtılması prensibiyle çalışır. Isı kaynağından gelen sıcak hava, fanlar tarafından seranın iç bölgelerine iletilir ve sera içerisinde homojen şekilde dağıtılır. Sistemin temel amacı, seranın her köşesinde aynı sıcaklık seviyesini koruyup bitkilerin büyüme hızlarını olumsuz etkileyebilecek sıcaklık değişimlerinin önüne geçmektir.



Şekil 2.13. Fanlı ısıtıcı görseli

Sera içerisinde bulunan otomasyon bu sistemlerde çok önemli bir rol üstlenmektedir. Sera içerisinde bulunan nem ve sıcaklık sensörleri, sürekli olarak ortam koşullarını takip eder ve bu verilere göre fan hızını ve ısı kaynağının gücünü ayarlar. Örnek verilecek olursa sıcaklık belirli bir eşiğin altına düştüğünde otomasyon sistemi devreye girer ardından fanları çalıştırır ve sıcak havayı seranın içine dağıtır.

Aynı şekilde, sıcaklık istenen seviyeye yükseldiğinde sistem direkt olarak fanları durdurarak enerji tasarrufu sağlamış olur.

2.3.5.3. Isı Perdeleri

Seracılıkta ısıtma, bitki gelişimi ve verim açısından büyük önem taşımakta olup, yüksek enerji maliyetleri üretim sürecinde önemli bir gider kalemi oluşturmaktadır. Isı kayıplarını minimize etmek amacıyla en yaygın kullanılan yöntemlerden biri ısı perdeleridir. Ancak, bu perdelerin sadece kullanımını değil, aynı zamanda yalıtım düzeyi de enerji verimliliği açısından kritik bir faktördür (Boyacı ve Güleç, 2021).



Şekil 2.14. Isı perdesi gösterimi

2.3.6. Otomasyon sistemleri ve bileşenleri

Otomasyonlu seralarda, bitkilerin yetiştirilme ortamını optimize etmek ve verimliliği artırmak için SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ve otomasyon sistemleri kullanılır. Bu sistemler, seranın iç sıcaklığı, nem miktarını, topraktaki asit baz oranlarını, havalandırma ve sulamaya benzer çeşitli parametrelerini otomatik olarak kontrol eder ve izler. Serada bulunan sensörler yardımıyla ortamdaki veriler toplanarak analiz edilir. Ortaya çıkan bilgiler sayesinde kullanıcının tam olarak

hangi oranda gübre vereceği, suyun pH değeri veya havalandırma sistemlerinin ne kadar süre çalışacağına benzer süreler hesaplanarak optimum ortam sağlanır.

2.3.6.1. SCADA sistemleri

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemleri, seranın çeşitli çevresel parametrelerini etkili bir şekilde izler ve kontrol eder. Bu sistemler, seranın nem, sıcaklık, CO₂ seviyeleri ve sulama gibi temel özelliklerini otomatik olarak ayarlayarak, bitkilerin sağlıklı ve verimli bir şekilde büyümesini sağlarlar. SCADA sistemlerinin ana bileşenleri Programlanabilir Mantık Kontrolörleri (PLC) tarafından oluşturulur. PLC'ler, farklı sensörlerden gelen verileri toplar ve işler, ardından bu bilgilere dayanarak serada kullanılan modülleri kontrol eder, böylece seranın iç ortamını optimum seviyede tutar. Sistemi kullanan işletmeciler, sistemi gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve gerekli ayarlamaları yapabilirler. Ayrıca, veriler kaydedilerek uzun vadeli eğilimleri analiz edebilmek ve gerekli iyileştirmeleri yapabilmek için kullanılırlar (Arı, 2011).



Şekil 2.15. Örnek SCADA ekranı tasarımı

2.3.7. Yapay Aydınlatma

Bazı bitki türlerinin yetiştiriciliğinde bitkiden maksimum verim alabilmek için bitkinin güneşlenme süresi önemli etken olabilir. Bunu için üretilmiş yapay güneş ışığı verebilen aydınlatma armatürleri kullanılır. Günde ortalama 7 ya da 8 saat güneşlenme

süresi olan bir bölgede bu süre armatürler aracılığıyla istenilen süreye çıkartılabilir. Sera yapısının konumu ve kullanılan malzemeler, içeri giren ışık miktarını doğrudan etkiler. Farklı malzemeler, değişen oranlarda ışık geçirgenliği sağlarken, cam, polikarbonat ve polietilen gibi seçeneklerin avantajları ve dezavantajları değerlendirilmelidir. Işığın kontrol edilmesi için gölgeleme ve ek aydınlatma sistemleri devreye girer. Otomatik ışık kontrolü, sensörler aracılığıyla sera ortamını optimize eder ve ışığın en verimli şekilde kullanılmasını sağlar (Argus, 2010).



Şekil 2.16. Yapay aydınlatma tasarımı

Yapılan çalışmalarda, bitkinin kök gelişimi, çiçeklenme süresi ve genel büyüme hızına benzer faktörlerin bu aydınlatma parametrelerine göre optimize edilebileceği bulunmuştur. Özellikle yapay zekâ ve otomasyon teknolojilerinin kullanımıyla seralarda ışık yönetimi otomatik hale getirilip ve enerji tüketimi minimize edilip üretim maliyetleri düşürülmektedir.

2.4. Kaynak Özetleri

Şenol, (2012) yaptığı çalışmada Türkiye için basınçlı sulama sistemlerinde fotovoltaiik panellerin kullanımı durumunda ortaya çıkan sonuçları farklı tarımsal bölgeler için incelemiştir.

Yılmaz, (2013) seralar için akıllı kontrol sistemleri geliştirilerek iklimlendirme, sulama ve gübreleme süreçlerinin takibi ve yapılışı otomasyon ile sağlanmıştır. Sensör tabanlı kontrol sistemleri kullanılarak enerji, su ve gübre tasarrufu hedeflenmiş,

topraksız tarım uygulamaları ile üretim verimliliği artırılmıştır. Yerli üretim ile tarımda otomasyon sistemlerinde dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik çözümler sunulmuştur.

Gökçe, (2020) fotovoltaik (PV) paneller ile güneş enerjisinden elektrik üretimi incelenmiş ve bu süreci etkileyen faktörler araştırılmıştır. PV sistemlerde rüzgâr hızı, tozlanma, gölgelenme, sıcaklık vb. çevresel etkiler ölçülmüş ve paneller üzerindeki verimliliği olumlu ve olumsuz etkileri analiz edilmiştir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı için öneriler sunmaktadır.

Çifci ve Altundağ, (2017) Burdur bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli ve elektrik üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Burdur'un yıllık ortalama radyasyon değeri yaklaşık 1635 kWh/m², güneşlenme süresi ise yıllık yaklaşık 2946 saat olarak bulunmuş ve Altınyayla, Çavdır, Tefenni vb. ilçelerde güneş enerji santrali kurulumunun uygun ve verimli olacağı tespit edilmiştir. Trafo merkezlerinin yetersiz kapasitelerinden bu sürecin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir ve bu kapasitelerin artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışma, Burdur'un güneşten elektrik enerjisi üretimi alanında önemli bir yatırım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Altın, (2021) fotovoltaik (PV) paneller kullanılarak bir sulama sistemi tasarlanmış, kurulmuş ve performansı değerlendirilmiştir. Sulama yapılan aylarda (Temmuz, Ağustos, Eylül) sistemin ortalama kapasite kullanım oranı %90,7 olarak tespit edilmiştir ve bu sistemin sulama ihtiyacını karşılamada başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal sulamada ekonomik ve çevresel faydalarını vurgulamaktadır.

Maraveas vd., (2021) Akıllı ve güneş enerjili sera örtüleri ile ilgili son gelişmelerin ve gelecekteki perspektiflerin incelenmesi adlı çalışmalarında, geleneksel seraların aydınlatma, ısıtma ve zorunlu soğutmaya kolaylaştırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarında olan güneş enerjisi ile sağlanmasını araştırmışlardır. Seraların otomasyonunda ve izlenmesinde Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) ve yapay sinir ağlarından faydalanmışlardır. Seralarda kullanılan enerjinin fosil yakıtlar yerine PV sistemleri ile sağlanması neticesinde %40-60 oranında enerji tasarrufu sağladığını tespit etmişlerdir.

Yano ve Cossu, (2019) sera yetiştiriciliğinin önemli parametrelerinden olan, seralardaki elektrik talebini sera PV sistemleri ile karşılanmasını incelemişlerdir. Sera mahsul verimlerinin ve kalitesinin mikro iklim kontrolleriyle iyileştirilebileceğini bilinmektedir. Mikro iklim koşullarının sağlanması için otomasyon sistemlerine

ihtiyaç duyulmaktadır. Otomasyon sistemleri ile birlikte elektrik giderlerinin artacağını vurgulamışlardır. Fotovoltaiklerin (PV) seralara uygulanması şebeke elektriği tüketiminin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca PV sistemlerinin tasarlanması ve kurulumu esnasında PV panellerinin yerleşimine dikkat edilmesi gerektiğini, aksi takdirde PV panellerin yapacak olduğu gölgelemenin bitkiler üzerine olumsuz etkileri olacağını bunun istenmeyen bir durum olduğunu vurgulamışlardır.

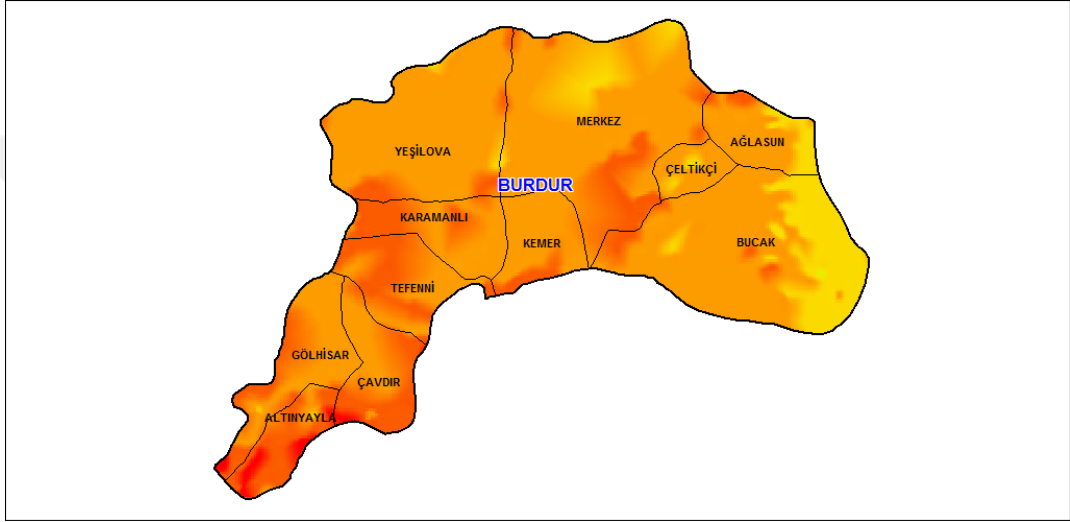
Trypanagnostopoulos vd., (2017) sera çatısına PV panellerinin yerleştirilmesi, çatı camından geçen ve seranın içindeki bitkilere düşen güneş ışınımını azaltacağını, bu da bitkilerin daha az aydınlatmasını ve dolayısıyla ürün büyümesini etkileyip etkilemediğini araştırmışlardır. Biri sabit çatıya kurulu fotovoltaikler ve diğeri fotovoltaik üniteye sahip olmayan iki serada marul mahsulünün yetiştirme dönemini baz alan çalışmalarında PV'lerin %20 oranında seraları gölgelediğini gözlemlemişlerdir. Gölgelemenin mahsul yetiştirmeye olumsuz bir etkisi olmadığını, sonuçlarının her iki sistemde aynı olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak PV sistemi ile ürün miktarında bir azalma meydana gelmemden elektrik üretimine katkı sağlandığını, PV sistemi sayesinde seralarda enerji verimliliği sağlandığını söylemişlerdir.

Rampinelli vd., (2024) akıllı seralarda ışık takviyesi için yapay aydınlatma sisteminin geliştirilmeyi ve enerji ihtiyacını ise tarımsal PV sistemlerle karşılamayı amaçlamışlardır. Muz ve orkide yetiştirilen iki ayrı sera için kontrol ve otomasyon sistemlerini, biyoiklimsel mimari detaylarını ve enerji sistemlerinin düzenlenmesini gerçekleştirmişlerdir. Sensörler yardımıyla iç ve dış ortamın çevresel değişkenlerini takip etmişler. Yapay zekaya dayalı hesaplama sistemi sayesinde bu sistemlerin kontrolünü sağlamışlar. Çalışmanın yapıldığı iki ayrı sera için ışık takviyesinin yapılabileceği ek bir aydınlatma sistemi kurmuşlardır. Akıllı seralarının tarımsal PV sistemlerinin nihai verimi sırasıyla 1418,91 kW ve 1490,68 kW olmuştur. Akıllı seraların yapay aydınlatma sistemlerinin tahmini yıllık elektrik tüketimi 3290 kW ile 3825 kW arasında değişmektedir. Bu sonuçlar neticesinde akıllı seraların enerji tüketiminin sırasıyla %43 ve %38 oranında PV sistemlerden elde edildiğini bildirmişlerdir.

3. MATERYAL YÖNTEM

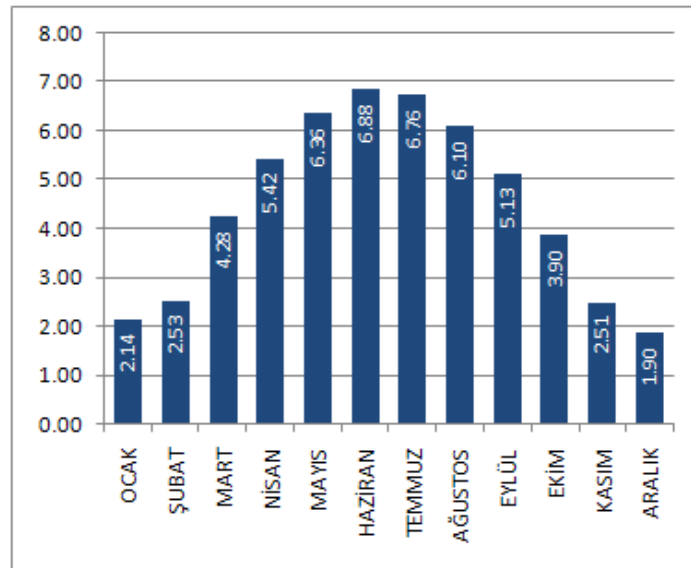
3.1. Materyal

Seranın bulunduğu böge Akdeniz bölgesi Burdur İli Gölhisar İlçesinde bulunmaktadır. Seranın toplam metrekaresi 7892 metrekaresidir. Serada otomasyon sistemi ve buna bağlı havalandırma, sisleme, sulama ve gübreleme sistemleri bulunmaktadır. Şekil 3.1’de Burdur ili güneş enerjisi potansiyel atlası verilmiştir (GEPA, 2024).



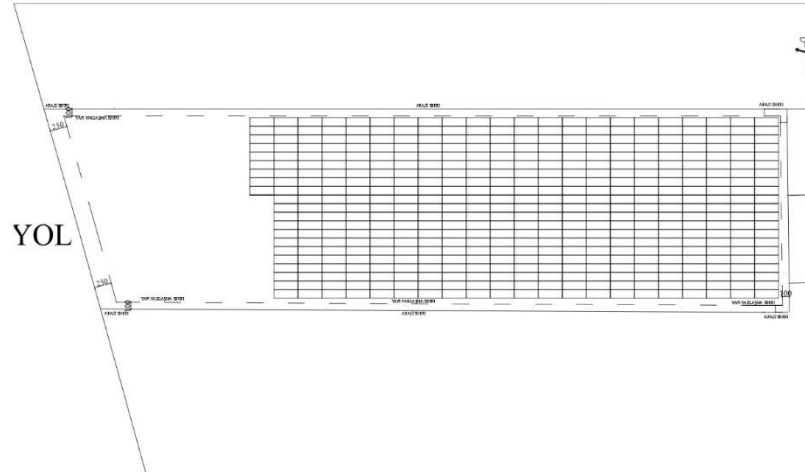
Şekil 3.1. Burdur ilinin güneş enerji potansiyel atlası

Burdur ili Gölhisar ilçesinin ortalama global radyasyon değerleri Şekil 3.2’de verilmiştir (GEPA, 2024).



Şekil 3.2. Burdur ili Gölhisar ilçesi yıllık güneşlenme süreleri

3.1.1. Sera ve Kullanılan Malzemeler



Şekil 3.3. Seranın krokisi

Yukarıda krokide belirtilen sera projelendirmesi ve kurulumu yapı yönetmeliklerine uygun şekilde hazırlanmış ve imalatı yapılmıştır. Sera konstrüksiyonu galvanizli demir ile yapılmış olup çevresi güneşten genel zararlı ultraviyole ışınlarına karşı dirençli naylon ile kapatılmıştır.



Şekil 3.4. Seranın görünüşü

3.1.2. PV Panel

Serada kullanılan PV paneller 550 Watt gücünde monokristal hücre tipine sahip panellerdir. Çizelge 3.1'de sera otomasyonunda kullanılan panelin özellikleri verilmiştir (Lineer Solar Enerji, 2024).

Çizelge 3.1. 550 W panel bilgileri

Maksimum Güç (P_{maks})	550 Wp
Modül Verimliliği (%)	13,11
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	42
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	13,11
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	49,92
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	14
Hücre Tipi	Monokristal
Güç Toleransı	0~+5W
Maksimum Sistem Anma Gerilimi	1500V DC
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-26 ~ +85°C
Güvenlik Sınıfı	Sınıf II
Maksimum Seri Sigorta Akımı	30A

3.1.3. Akü

Sera sisteminde kullanılan aküler kuru tip akülerdir. Her bir akü 12 V, 100 Ah değerindedir (Solinved, 2024). Serada kullanılan akü bilgileri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Serada kullanılan akü bilgileri

Akü başına hücre sayısı	6
Akü başına gerilim	12V
Kapasite	100Ah 20 saat 1,75 (V) her hücre için 25°C
Boyutlar	Uzunluk 330±2mm, Genişlik 171±2mm, Yükseklik 214±2mm, Toplam yükseklik 220±2mm
Ağırlık	Yaklaşık 30,0 Kg (Tolerans±3%)
İç direnç	Yaklaşık 5(m Ω)
Terminal	T9
Maksimum deşarj akımı	800A (5 sn)
Tasarım ömrü	15 yıl
Maksimum şarj akımı	20,0 (A)
Referans kapasite	C3 68,4(Ah), C5 77,0(Ah), C10 88,0(Ah), C20 100,0(Ah)
Yüzdürme şarj gerilimi	13,50 – 13,80 (V) - Sıcaklık katsayısı: -18mV/°C/hücre
Döngüsel kullanımda	14, 1 V~14, 4 V 25°C Sıcaklık katsayısı: -30mV/°C/hücre
Çalışma sıcaklığı aralığı	Deşarj: -15~55°C, Şarj: -10~55°C, Depolama: -20~55°C

3.1.4. İnverter

Panellerden üretilen akım doğrusal akımdır. Sistemde çalışan motorlar ise alternatif akım ile çalışmaktadır. Bu dönüşüm için inverter kullanılmaktadır. Kullanılan inverter seçimi yapılırken maksimum giriş akımına, maksimum giriş voltajına nominal çalışma gerilim ve akımlarına dikkat edilmelidir. Burada yapılan tasarımda bunlara dikkat edilerek inverter seçimi yapılmıştır. Çizelge 3.3'te seçilen inverter bilgileri yer almaktadır (Huawei, 2024).

Çizelge 3.3. Serada kullanılan inverter bilgileri (CW Enerji, 2024)

Maksimum Giriş Voltajı	1100 V
Maksimum MPPT Akımı	30 A
Maksimum Akım Girişi	20 A
Maksimum MPPT Kısa Devre Akımı	40 A
Başlangıç Voltajı	200 V
MPPT Çalışma Aralığı	200 V ~ 1000 V
Nominal Giriş Voltajı	600 V
Giriş Sayısı	8
MPPT Sayısı	4
Nominal AC Aktif Güç	50000 W
Maksimum AC Görünür Güç	55000 VA
Maksimum AC Aktif Güç (Cosφ=1)	55000 W
Nominal Çıkış Gerilimi	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Nominal AC Şebeke Frekansı	50 Hz / 60 Hz
Nominal Çıkış Akımı	72,2 A @ 400Vac, 60,1 A @ 480Vac
Maksimum Çıkış Akımı	79,8 A @ 400Vac, 66,5 A @ 480Vac
Ayarlanabilir Güç Faktörü Aralığı	0,8 LG ... 0,8 LD
Maksimum Toplam Harmonik Bozulma	<3%

3.1.5. Şarj Kontrol Ünitesi

Sistemde kullanılan şarj kontrol ünitesinin teknik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir (CW Enerji, 2024).

Çizelge 3.4. Şarj kontrol ünitesi bilgileri

GİRİŞ	
MPPT Çalışma Gerilimi [V]	60 ~ 115
Maksimum PV Dizisi Açık Devre Gerilimi [V]	145
Maksimum PV Dizi Gücü [W]	800 I 1600 I 3200
Maksimum Akım [A]	50
ÇIKIŞ	
Nominal Akü Gerilimi [V]	12 I 24 I 48
Bağlı Akü Tipi	Kapalı Kurşun Asit, Kuru, Jel
Maksimum Şarj Akımı [A]	60
Maksimum Verimlilik [%]	98
Şarj Yöntemi	Üç Aşama: Yüklü, Soğurma, Değişken
KORUMA	
Aşırı Yük Koruması	> % 110: Sesli Alarm
Aşırı Şarj Koruması	Evet
Ters Kutup Koruma	Evet
GÖSTERGELER	
LCD Gösterge	Güneş Enerjisi, Yük Seviyesi, Akü Voltajı / Kapasitesi, Şarj Akımı ve
LED Ekran	Arıza Koşullarını Gösteren LCD Gösterge
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Boyutlar [DxGxY] [mm]	315 x 165 x 128
Net Ağırlık [kg]	4,5
IP Koruma	IP31

3.1.6. Sulama Sistemi

Serada kullanılan otomasyon sistemi ile çalışan otomatik valfli vanalar ile sulama sistemi kademeli şekilde kontrol edilerek bitkilerin sulanması sağlanmaktadır. Şekil 3.5'te sulama sisteminin kontrol panosu görülmektedir.

Sisteme su basmak için 7,5 kW gücünde 2 adet motor çalışmaktadır. Şekil 3.6'da sulama sisteminin ve motorların fotoğrafı görülmektedir. 1 adet kullanımda 1 adette yedek olmak üzere iki adet motor kullanılmıştır. Kullanılan motorların etiket bilgileri Çizelge 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Sulama sistemi kontrol panosu



Şekil 3.6. Kullanılan sulama pompaları

Çizelge 3.5. Kullanılan motor etiket bilgileri

Voltaj (V)	Frekans (Hz)	Güç (kW)	Hız (Rpm)	Akım (A)	Cos (Φ)	Verim		
						%100	%75	%50
380/660	50	7,5	2910	14,2/8,2	0,90	IE3-90,1	90,0	88,7
400/690	50	7,5	2918	13,9/8,8	0,88	IE3-90,1	90,1	88,8
440/760	60	7,5	3505	11,9/6,8	0,91	IE3-90,2	90,1	88,8
460/795	60	7,5	3515	11,7/6,6	0,91	IE3-90,2	90,2	88,9

3.1.7. Gübreleme

Gübreleme sisteminde ise toplamda 7 adet 1,5 kW gücünde motorlar bulunmaktadır. Bu motorların 5 adedi kazanlardaki gübreleri karıştırmak için 2 adedi ise sulama sistemine gübreleri orantılı şekilde basmak için kullanılmaktadır. Aşağıdaki görselde gübreleme sisteminin kazanları ve motorları gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gübreleme sistemi karıştırma kazanları

Gübreleme kazanlarından sulama hattına selenoid vanalar aracılığı ile gübre basılmaktadır. Selenoid vanalar otomasyon sisteminden gelen komutlara göre karışım miktarı ayarlanmaktadır.



Şekil 3.8. Kullanılan selenoid vanalar

3.1.8. Havalandırma

Serada kullanılan havalandırma sistemi 2 çeşit motor ile yapılmaktadır. İlk motor çatı havalandırmalar için kullanılmaktadır. Seranın çatı kısmındaki pencereleri açıp kapatmaya yarar. Diğer motorumuz ise seranın yan cephelerinde bulunan egzoz fanlarıdır. Bu fanlar yaz aylarında içeride biriken sıcak havayı birkaç dakikada boşaltarak üst havalandırmalardan taze havayı içeriye çeker. Aşağıda bu seranın çatı motorunun görseli ve kullanılan motorun bilgileri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kullanılan egzoz fanı

3.1.9. Sirkülasyon Fanları

Sera içerisine eklenen sirkülasyon fanları içerideki yaz aylarında boşaltılan sıcak havanın yerine gelen yeni havayı homojen dağıtmak için hem de kış aylarında ısıtma sistemi ile ısınan ve yükselen havanın seranın her köşesine yine homojen şekilde dağılması için kullanılmaktadır. Şekil 3.10’da serada kullanılan sirkülasyon fanının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.10. Kullanılan sirkülasyon fanı

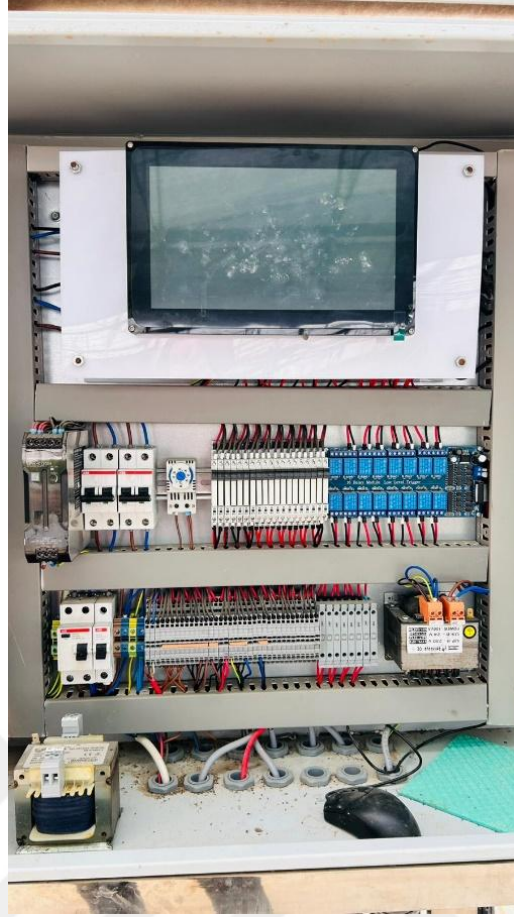
Çizelge 3.6’da serada kullanılan sirkülasyon fanının teknik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kullanılan sirkülasyon fanı bilgileri

Voltaj (V)	Frekans (Hz)	Güç (kW)	Hız (Rpm)	Basınç (Pa)	Kapasite (m ³ /saat)
380	50/60	0,35	1400	150	7400

3.1.10. Otomasyon Sistemi

Sera için kullandığımız otomasyon sistemi tamamen özel bir şirketin üretimi olup seradaki tüm sirkülasyon, havalandırma, sulama motorları, sulama ve gübreleme sistemi, iklimlendirme sistemi, soğuk hava deposu diye kullanılan diğer sistemlerin tamamını kontrol etmeye yaramaktadır. Burada kullanılan sisteme önceden veri girişi yapılarak bitkiye göre tasarım yapılmaktadır. Bitki çeşidi değişikçe sistem güncellenmek zorundadır. Şekil 3.11’de bu serada kullanılan otomasyon panosu ve kontrol ekranı gösterilmiştir.



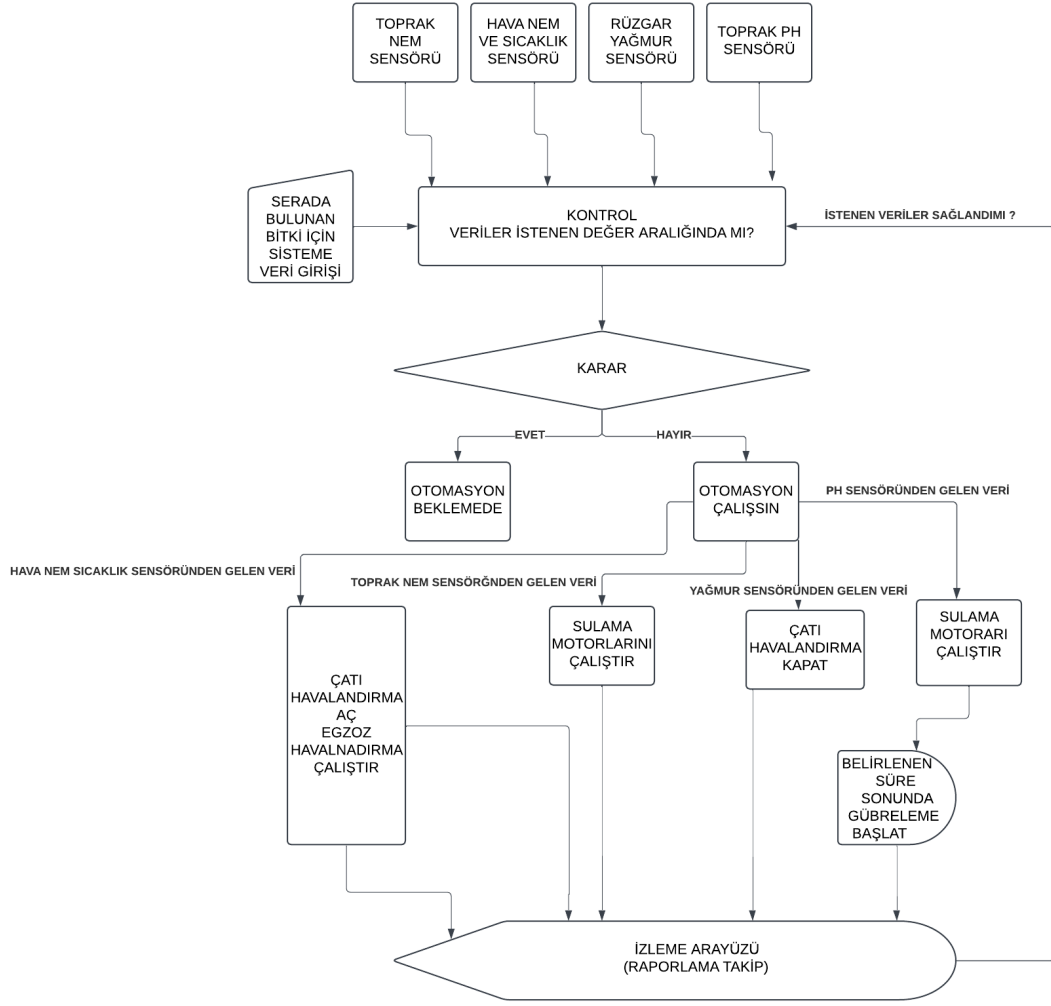
Şekil 3.11. Kullanılan otomasyon sistem panosu

3.2. Yöntem

Şekil 3.12’de otomasyonlu bir seranın basit çalışma mantığı şeması görülmektedir. Sera içerisinde bulunan sensörlerden gelen veri otomasyon bölümünde kontrol biriminde istenen değerler ile karşılaştırılır.

Örnek olarak;

Hava nem ve sıcaklık sensöründe okunan değer 35 °C olsun. Serada bulunan bitkilerin yetişmesinde optimum sıcaklık ise 30 °C olsun. Kontrol mekanizmasına gelen bu veri sıcaklığın fazla olduğunu saptayarak veriyi karar mekanizmasına aktarır. Karar mekanizması aldığı veriden yola çıkarak içerideki havanın istenen değere gelmesi için önce çatı havalandırmaları açacaktır. Eğer çatı havalandırmalar halihazırda açık ise içerideki sıcak havayı boşaltmak için egzoz fanlarını devreye sokacaktır. İçerideki hava boşaltılırken istenen değerlerin verileri geldiği an fanları durduracak ve optimum sıcaklık yakalanmış olacaktır. Çalışan bu sisteme enerji güneş doğduğu andan itibaren güneş panellerinden sağlanacaktır.



Şekil 3.12. Tam otomasyonlu sera akış şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tam otomasyonlu serada kullanılan cihazların güçleri ve çalışma saatleri belirlenmiştir. Harcanan güç ve çalışma süresinin çarpımı ile saatte harcanan enerji hesaplanmıştır: Sistemde kullanılan malzemelerin güçleri, çalışma süreleri ve toplam saatte harcadıkları enerji miktarları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Serada çalışan malzemelerin gücü ve çalışma süreleri

Cihaz	Güç (kW)	Çalışma Süresi (Saat)	Toplam Enerji (kW/h)
Egzoz Fanları	10	0,25	2,5
Sirkülasyon Fanı	7,5	0,25	1,875
Çatı havalandırma Motorları	5,5	0,25	1,375
Sulama Sistemi	10	4	40
Soğuk Hava Deposu	10	15	150
Otomasyon Sistemi	5	6	30

Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere sistem elemanları tarafından tüketilen toplam enerji miktarı 225,75 kW olmaktadır. Yıllık enerji tüketim miktarı ise:

$$Yıllık Tüketim = 225,75 \times 365 = 82398,75 \approx 83.000 \text{ kW/yıl}$$

Bu enerji ihtiyacını karşılamak üzere 550 W güce sahip panel seçildiğinden ve günlük ortalama güneşlenme süresi 5 saat olduğundan bir panelin günlük enerji üretimi;

$$Panel Üretimi = 0,55 \text{ kW} \times 5 \text{ saat} = 2,75 \text{ kWh/gün}$$

Bu durumda, sistemin günlük enerji ihtiyacını karşılamak için gereken panel sayısı:

$$Panel Sayısı = 225,75 \text{ kWh} / 2,75 \text{ kWh/gün/panel} \approx 82,09$$

Toplam panel sayısı = 84 adet olarak belirlenmiştir. Paneller 4 dizi ve her dizide 21 adet olarak bölünmüştür. Kullanılan inverterin giriş voltaj değerine bakarak bu hesabı yapılmıştır.

Her bir panelin açık devre gerilimi 49,92 V olduğundan 21 adet panelin toplam DC voltaj değeri:

$$DC \text{ gerilim değeri} = 21 \times 49,92 = 1050 \text{ V}$$

olarak bulunur. İnverter MPPT giriş voltaj değeri ise Çizelge 3.4'te 1100 Volt olarak verilmişti. Buradan yola çıkarak yapılan dizi seçiminin doğruluğu kanıtlanmış olur.

Panellerin yerleşim detaylarının görseli aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.1. Örnek panel yerleşim detayı

Güneş enerji sistemi için maliyet hesabı yapılacak olursa, PV sistemlerin maliyet analizi ve amortisman hesaplamaları için belirli formüller kullanılabilir. Denklem 4.1'de gösterilen denklemde şimdiki değer yöntemi kullanılmıştır (Ay, 2008).

- A_t : t dönemdeki nakit akışı (tasarruf veya gelir)
- r : İskonto oranı (yıllık faiz oranı veya yatırımcının beklediği getiri oranı)
- t : Dönem (genellikle yıl)
- n : Projenin ömrü (toplam dönem sayısı)
- A_0 : Başlangıç yatırım maliyeti (ilk yatırım)

$$N\mathcal{S}D = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t} - A_0 \quad (4.1)$$

Bu yöntemde gelecekteki nakit akışları güncel değere indirgenir ve yatırım maliyeti ile karşılaştırılır. Eğer Net Şimdiki Değer (NŞD) formülü pozitif çıkarsa yatırım karlı olarak kabul edilir.

PV panel fiyatları hesaplanacak olursa; 2024 Aralık ayında Watt başına düşen birim fiyatı 0,21 dolar centtir. Bu değere göre 550W gücündeki bir panelin fiyatı;

$$\text{Panel fiyatı} = 550 \times 0,21 = 115,5 \text{ dolar}$$

olarak bulunmaktadır. 84 adet panel maliyeti ise 9.702 dolar olmaktadır. 1 adet 50 kVA inverter maliyeti 1.650 dolar, 1 adet PV panel yerleşimi için konstrüksiyon maliyeti 2.000 dolar, kullanılan hırdavat malzeme (vida, kablo vs.) fiyatı 1.000 dolar, işçilik 3.000 dolar olarak alındığında toplam maliyet 17.352 dolar olmaktadır. Belirtilen fiyatlar KDV hariç fiyatlardır.

Yıllık enerji tüketim miktarı yaklaşık olarak 83.000 kW/yıl olarak hesaplanmıştı. 2024 yılı aralık ayında 1 kW/h için elektrik tüketim fiyatı 3,06 TL'dir (EPDK, 2024). Bu durumda tüketim maliyeti:

$$\text{Tüketim maliyeti} = 83.000 \times 3,06 \text{ TL} = 253.980 \text{ TL}$$

Maliyeti hesaplama için Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankasının 24 Aralık 2024 tarihli dolar/TL kuru 35,24 TL olarak alınmıştır (TCMB, 2024). Dolar cinsinden tüketim maliyeti:

$$\text{Döviz olarak tüketim maliyeti} = 253.980 / 35,24 = 7.207,15 \text{ dolar}$$

olarak bulunur. Bulunan bu değerler Denklem 4.1'e uyarlanacak olursa toplam sonuç 44.000 dolar bulunur ve bu değer pozitif bir sonuç olarak tespit edilir. Yani yatırım karlı bir yatırımdır.

Yatırımdan elde edilen gelirin bir yıllık gelir vergisi oranı olacaktır. Bu vergi oranı ile amortisman süresini hesaplamak için düz (eşit) amortisman yöntemi kullanarak yıllık amortisman payı;

Başlangıç yatırımı (A_0)= 17.352 dolar

Varlığın ömrü (n)= 20 yıl

$$Yıllık amortisman payı = \frac{A_0}{n} = \frac{17.352}{20} = 867,6 \text{ dolar}$$

olarak bulunur.

Gelir vergisi oranı 2024 yılı için 110.000 TL'ye kadar %15, 230.000 TL'nin 110.000 TL'si için 16.500 TL, fazlası %20 olarak Gelir İdaresi Başkanlığı tarafından belirlenmiştir. (GİB, 2024).

Yıllık net gelirden yıllık amortisman payı düşüldüğünde vergiye tabi kazanç 6.339,55 dolar olarak hesaplanır. Gelir vergisi hesabı;

$$((\text{Güncel kur} \times \text{Vergiye Tabi Kazanç}) - 110.000 \text{ TL}) \times \%20 + 16.500 \text{ TL}$$

formülü ile 39.181 TL bulunur. Dolar kuru üzerinden ise 1.111,83 dolar olmaktadır. Vergi düşüldükten sonra net kazanç ise 5.227,32 dolar olarak bulunur.

$$\text{Amortisman süresi} = \frac{\text{ilk yatırım maliyeti}}{\text{vergi sonrası net kazanç}}$$

formülü ile 3,31 yıl (yaklaşık 40 ay) olarak bulunur.

Sera üretimlerinde amacın daha az maliyet daha çok verim olduğundan yapılan maliyet hesabına göre ilk maliyet yükünü finanse ettikten sonra serada tüketilen enerji bedelinin 3. yılın ikinci çeyreğinde kendi maliyetini karşıladığını görülmektedir. Panellerin üretim değerleri incelendiğinde, ortalama 20 yıla ulaşan bir sürede minimum %84 verimle çalışacağı garanti edilmektedir. Yani sistem kalan 16 yıl boyunca herhangi bir yatırım maliyeti gerektirmeden enerji ihtiyacını karşılayacağı öngörülmektedir. Bu da fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak, çevre ve hava kirliliklerinin azalmasına yardımcı olacaktır.

5. SONUÇ

Enerji alanında dünyadaki gelişmeler incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin son yıllarda katlanarak arttığı görülmektedir. Bu yönelimin en önemli itici güçlerinden biri olan fosil yakıtların çevresel etkileri ve sınırlı kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bakıldığında ise güneş enerjisi, hem teknolojik olarak daha kolay ulaşılabilir olması hem de dünya genelinde yaygın bir potansiyele sahip olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Ülkemizde de güneş enerjisi kullanımına yönelik atılımlar oldukça başarılı bir şekilde ilerlemektedir. Küçük işletmelerden büyük fabrikalara, tarımsal alanlardan sanayiye kadar birçok alanda PV sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu durum hem enerji maliyetlerinin düşürülmesi hem de sürdürülebilir enerjinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde tarım sektöründe fotovoltaik sistemlerin kullanımı, özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu bölgeler, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin olmalarının yanı sıra, tarımsal üretimde de önemli bir role sahiptir. Otomatik kontrol sistemli seralar hem üretim kalitesini artırılması hem de üretim çeşitliliğinin sağlanması nedeniyle tarım sektöründe tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Bu seralarda otomasyon sistemleri ile fotovoltaik sistemlerin entegrasyonu, enerji dağıtım şebekesine bağımlılığı büyük ölçüde azaltmıştır. Gündüz saatlerinde güneş panelleri tarafından üretilen enerji, hem sera içi otomasyon sistemlerinin çalıştırılmasında kullanılmakta hem de ihtiyaç fazlası enerjinin depolanmaktadır. Bu sayede, gece saatlerinde de depolanan enerji kullanılarak kesintisiz bir üretim süreci sağlanmaktadır. Bu durum, özellikle şebeke bağlantısının olmadığı kırsal bölgelerde tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından büyük bir avantaj sunmaktadır.

Off-grid (şebekeden bağımsız) sistemler, tarımsal sulama alanında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle su kaynaklarına erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde, güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemleri, çiftçiler için hem maliyet etkin hem de çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemler sayesinde, çiftçiler enerji maliyetlerini düşürürken aynı zamanda su kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanabilmektedir.

Diğer yandan, on-grid (şebekeye bağlı) sistemler ise daha çok modern tarım uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu sistemler, özellikle sezonluk ya da yıl boyunca üretim yapmak isteyen yatırımcılar için cazip bir seçenek sunmaktadır. On-grid

sistemlerde, güneş panelleri tarafından üretilen ihtiyaç fazlası enerji, elektrik dağıtım şebekesine satılarak ek gelir elde edilebilmektedir. Bu durum, tarımsal faaliyetlerin yanı sıra enerji üretiminden de gelir sağlanmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, Akdeniz bölgesinde bulunan birçok modern sera işletmesi, güneş enerjisi sistemleri sayesinde hem enerji ihtiyaçlarını karşılamakta hem de ihtiyaç fazlası enerjiyi satarak ek gelir elde etmektedir. Bu tür uygulamalar, tarım sektöründe sürdürülebilirliği artırırken aynı zamanda enerji alanında da dışa bağımlılığı azaltmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artması, özellikle tarım sektöründe birçok fırsat ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte bu alanda yapılacak yatırımların teşvik edilmesi ve desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Devlet tarafından sağlanan teşvikler ve yatırım destekleri, fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşmasını hızlandıracak ve bu alanda yapılacak çalışmaları daha cazip hale getirecektir. Özellikle kırsal bölgelerde bu sistemlerin kurulumu için sağlanacak finansal destekler, çiftçilerin bu teknolojilere erişimini kolaylaştıracaktır. Buda tarım sektörünün sürdürülebilirliğini ve üretim kalitesini önemli ölçüde arttıracaktır.

Sonuç olarak, fotovoltaik sistemlerin tarım sektöründe kullanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük faydalar sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde, enerji maliyetleri düşürülürken aynı zamanda çevre dostu bir üretim süreci sağlanmaktadır. Özellikle modern seracılık ve tarımsal sulama alanlarında bu sistemlerin yaygınlaşması, tarım sektöründe verimliliği artıracak ve dışa bağımlılığı azaltacaktır. Ayrıca, fotovoltaik sistemlerinin kullanımı, enerji alanında da ülkemizin kendi kendine yeterliliğini artıracak ve enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltacaktır.

Unutmayalım ki, güneş var oldukça enerji de var olacaktır. Güneşten gelen enerjiyi doğru ve akıllı bir şekilde kullanmak hem geleceğimiz hem de dünyamız için büyük bir fayda sağlayacaktır. Gelecekte, bu alanda yapılacak yeni çalışmalar ve teknolojik gelişmeler, örneğin; otomasyon sisteminin yapay zekâ ile kontrolü, fotovoltaik sistemlerin daha da etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyacak ve tarım sektöründe yeni bir dönemin kapılarını aralayacaktır.

KAYNAKLAR

- Altın, İ. (2021). *Fotovoltaik Güneş Panelleri ile Çalıştırılacak Bir Sulama Sisteminin Projelendirilmesi, Kurulması ve Performansının Saptanması. (Yüksek Lisans Tezi)*. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Argus (2010). *Light and lighting control in greenhouses*. Erişim adresi: <https://arguscontrols.com/uploads/documents/Light-and-Lighting-Control-Guide-Rev.-August-3-2017.pdf> (Son Erişim Tarihi: 05/07/2024).
- Arı, Y. S. (2011). *Birden Fazla Seranın, PLC ve SCADA Yazılımı ile Kontrolü ve İnternet Üzerinden İzlenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Awasthi, A., ve Reddy, S.R.N. (2013). Monitoring for precision agriculture using wireless sensor network-a review. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 13(7), 1-7.
- Ay, S. (2008). *Elektrik Enerjisi Ekonomisi*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Azaza, M., Tanougast, C., Fabrizio, E., ve Mami, A. (2016). Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring. *ISA Transactions*, 61, 297–307.
- Baytorun, N. A., ve Gügercin, Ö. (2018). Seralarda Isıtma Kazan Kapasitelerinin Belirlenmesi ve Dikkate Alınacak Kriterler. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Dergisi* 33(1), 77-86.
- Boyaç, S., ve Güleç, D. (2021) Seralarda Yalıtım Değerleri Farklı Isı Perdelerinin Enerji Tasarrufuna Etkisinin Belirlenmesi: Kırşehir İli Örneği. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(2), 81-93.
- CW Enerji (2023). *600 W Güneş Paneli*. Erişim adresi: <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-600wp-120pm-m12-hc-mb-gunes-paneli-764.html> (Son Erişim Tarihi: 31/12/2023).
- CW Enerji (2024). *Şarj Kontrol Cihazı*. Erişim adresi: <https://cw-enerji.com/tr/urun/tommatech-s-60a-122448v-mppt-sarj-kontrol-chz-417.html> (Son Erişim Tarihi: 18/10/2024).
- Çifci, A., ve Altundağ, E. (2017). Burdur Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin Elektrik Üretiminde Kullanılabilirliği. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6 (2), 111 – 120.
- Demirbaş, H. (2021). *Güneş Enerjili Otomatik Bitki Sulama Sistemi (Yüksek Lisans Tezi)*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Dijisan (2024). Dijisan Mühendislik A.Ş. *Sera Otomasyonu*. Erişim adresi: <https://www.dijisan.com.tr/sera-otomasyonu/> (Son Erişim Tarihi: 06/06/2024).

- Elektrikport (2024). *Sıcaklık Sensörleri ve Çeşitleri*. Erişim adresi: <https://www.elektrikport.com/makale-detay/sicaklik-sensorleri-nedir-cesitleri-nelerdir/22055#ad-image-0> (Son Erişim Tarihi: 03/05/2024).
- EPDK (2024). *Elektrik Faturalarına Esasa Tabloları*. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarifetablolari> (Son Erişim Tarihi:01/08/2024).
- Eruz, Ü. G. (2015). *Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi)*. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Esular (2024). *Toprak Nem Sensörü*. Erişim adresi: <https://esular.com/toprak-nem-sensoru-nasil-calisir> (Son Erişim Tarihi: 03/03/2024).
- ETKB (2024). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı *Güneş*. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Son Erişim Tarihi: 06/06/2024).
- Felek, T. (2020). *Topraksız Ortamda Üretim Yapan Sera İşletmelerindeki Sera Otomasyon Sistemlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi)*. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Gamak (2024). *Sulama Motoru Teknik Katalog*. Erişim adresi: <https://www.gamak.com/uploads/files/GAMAK-teknik-katalog.pdf> (Son Erişim Tarihi:11/10/2024).
- Garcia, A. M., Garcia, I. F., Poyato, E. C., Barrios, P. M., ve Díaz, J. A. R. (2018). “Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system”, *Cleaner Production*, 175, 670-682.
- Gençoğlu, E. (2015). *Güneş Pili ile Çalışan Bir Su Pompalama Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- GEPA (2024). *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası*. Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/pages/15.aspx> (Son Erişim Tarihi:12/09/2024).
- GİB (2024). Gelir İdaresi Başkanlığı *Gelir Vergisi Tarifesi*. Erişim adresi: <https://www.gib.gov.tr/node/181666> (Son Erişim Tarihi: 24/12/2024).
- Gökçe, İ. (2020). *Fotovoltaik (PV) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Huawei (2024). *Şarj Kontrol Cihazı*. Erişim adresi: <https://solar.huawei.com/download?p=%2f%2fmedia%2fSolar%2fdatasheet%2fSUN2000-50kTL-M3.pdf> (Son Erişim Tarihi: 03/05/2024).
- İncitaş (2024). *Jel Akü*. Erişim adresi: <https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/jel-aku-nedir-jel-akulerin-calisma-prensibi-nedir> (Son Erişim Tarihi:12/09/2024).

- Kendirli, B., ve akmak, B. (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 95-103.
- Kuzucu, U. (2021). *Edirne ilinde tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı Fotovoltaik (PV) hücreler yardımıyla güneş Enerjisinden elektrik üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kürklü, A., ve Çağlayan N. (2005). Denizli Sera Otomasyon Sistemlerinin Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 30-31.
- Li, H., Guo, Y., Zhao, H., Wang, Y., ve Chow, D. (2021). Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture* 191, 106558
- Lineer Solar Enerji (2024). *550 W Panel Katalog*. Erişim adresi: <https://www.linearsolar.com.tr/assets/pdf/144-cell-ang-power.pdf> (Son Erişim Tarihi:23/06/2024).
- Maraveas, C., Loukatos, D., Bartzanas, T., Arvanitis, K.G., ve Uijterwaal, J.F. (2021). Smart and Solar Greenhouse Covers: Recent Developments and Future Perspectives. *Front. Energy Res.* 9, 783587.
- Martinović, G., ve Simon, J. (2014). Greenhouse microclimatic environment controlled by a mobile measuring station. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 70-71(1), 61–70.
- Rampinelli, G.A., Marcelino, R., Damasceno, J.P., Stalter, C.C., Bouchardet, A.T.R., Mohr, G., ve Guber, V. (2024). Development of artificial lighting system for light supplementation in smart greenhouses with agrivoltaic systems. *Renewable Energy*, 231, 120914.
- Siddiqui, M.F., Rehman Khan, A., Kanwal, N., Mehdi, H., Noor, A., ve Khan, M.A. (2017). Automation and monitoring of greenhouse. *2017 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT), IEEE, (197-201s)* Karachi, Pakistan.
- Solinved (2024). *Solinved 12V 150Ah Jel Akü*. Erişim adresi: <https://market.solinved.com/urun/solinved-12v-150ah-jel-aku> (Son Erişim Tarihi:07/07/2024).
- Şenol, R. 2012. Tarımsal Sulama ve Güneş Enerjisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 519-526.
- TCMB (2024). Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası *Güncel Kur Değerleri*. Erişim adresi: <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/istatis/tikler/doviz+kurlari/gosterge+niteligindeki+merkez+bankasi+kurlarij> (Son Erişim Tarihi: 24/12/2024).

- TEİAŞ (2024). *Elektrik İstatistikleri*. Erişim adresi: [https://www.teias.gov.tr/turkiye-
elektrik-uretim-iletim-istatistikleri](https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri) (Son Erişim Tarihi: 12/08/2024).
- Tesisat (2024). Tesisat.org *Selenoid Vana Çalışma Prensipleri ve Çeşitleri*. Erişim adresi: <https://www.tesisat.org/selenoid-vana-calisma-prensibi-cesitleri.html> (Son Erişim Tarihi: 03/04/2024).
- Trypanagnostopoulos, G., Kavga, A., Souliotis, M., ve Tripanagnostopoulos, Y. (2017). Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics, *Renewable Energy*, 111, 724-731.
- Türkmenoğlu, V., Ulutaş, H., ve Atasorkun, M. (2014). Rüzgâr Hız ve Yön Ölçüm Sistemi Tasarımı ve SWOT Analizi. *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 1(1), 36-52.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., ve Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31-48.
- Wang, C., Zhao, C., Qiao, X., Zhang, X., ve Zhang, Y., (2008). The design of wireless sensor networks node for measuring the greenhouse's environment parameters. Li, D. (Ed.), *Computer And Computing Technologies In Agriculture*, vol. II, içinde (1037-1046 s). US;Boston: Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/
978-0-387-77253-0_36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-77253-0_36)
- Yanes, A.R., Martinez, P., ve Ahmad, R. (2020). Towards automated aquaponics: a review on monitoring, IoT, and smart systems. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121571.
- Yano, A., ve Cossu, M. (2019). Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 116-137.
- Yılmaz, A. (2018). *Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (Pv) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi ile Entegrasyonu ve Güç Sistemine Etkileri. (Yüksek Lisans Tezi)*. Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Yılmaz, A. (2019). *Yöntemiyle Sulanan Fındıkta Sulama Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenlerine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Yılmaz, C. (2013). Seralar için çok fonksiyonlu akıllı kontrol Sistemleri, VI. *Kontrol otomasyon ve yapı elektronik sistemleri sempozyumu* (1-11s). İzmir: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.