

**SERA GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE
ELEKTRİK ENERJİSİ VE MAHSÜL
ÜRETİMİNİN ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Yarkın EVYAPAN

Eskişehir 2025

**SERA GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ VE
MAHSÜL ÜRETİMİNİN ANALİZİ**

Yarkın EVYAPAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Enerji Kaynakları ve Yönetimi Programı
Danışman: Prof. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Nisan 2025**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Yarkın EVYAPAN'ın "SERA GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ VE MAHSÜL ÜRETİMİNİN ANALİZİ" başlıklı tezi 14/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İleri Teknolojiler Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı GÜNER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burak URAZEL

Prof. Dr. Harun BÖCÜK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

14/04/2025

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Enerji Kaynakları ve Yönetimi Programı yüksek lisans ğrencisi Yarkın EVYAPAN'ın "SERA GüNEş ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ VE MAHSL ÜRETİMİNİN ANALİZİ" başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Ümmühan BAşARAN FİLİK

ÖZET

SERA GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ VE MAHSÜL ÜRETİMİNİN ANALİZİ

Yarkın EVYAPAN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Programı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Nisan 2025

Danışman: Prof. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK

Bu tezde, tarımsal fotovoltaik sistemler kapsamında özellikle fotovoltaik sera sistemlerine odaklanılmış ve fotovoltaik modelleme unsurları üzerinde durulmuştur. Çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır: İlki, sera tipi güneş enerjisi sistemleri hakkında, özellikle farklı modelleme yaklaşımlarının ele alınmasıdır. İkincisi ise, fotovoltaik seralarda enerji tüketimi, verimlilik analizi ve enerji üretimini tahmin edebilecek pratik ve etkili bir model geliştirilmedir. Tezin ilk bölümünde, Avrupa'daki yaygın sera tipi güneş enerjisi sistemleri tanımları, türleri ve uygulama örnekleriyle birlikte ele alınmış; ardından, ilgili sistemlerin modelleme yaklaşımlarına dair kapsamlı bir özet sunulmuştur. İkinci bölümde ise, seçilen bir sera güneş enerjisi prototip sistemine ait pratik bir uygulama ve bu sistemin performans analizi incelenmiştir. Modelin doğrulaması ve veri analizi, tezin son bölümünde PvSyst programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, bazı zorluklara rağmen, mevcut durumda tarımsal fotovoltaik alanında kullanılan karmaşık ve kaynak yoğun yöntemlere kıyasla uygulanabilir bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Fotovoltaik, Tarım-GES, Muz üretimi, Sera, Enerji.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTRICAL ENERGY AND CROP PRODUCTION IN GREENHOUSE SOLAR ENERGY SYSTEMS

Yarkın EVYAPAN

Department of Advanced Technologies

Energy Resources and Management Program

Eskişehir Technical University, Graduate Education Institute, April 2025

Supervisor: Prof. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK

This thesis focuses on photovoltaic greenhouse systems within the broader context of agrivoltaic systems and emphasizes key elements of photovoltaic modeling. The study has two main objectives: The first is to explore various modeling approaches related to greenhouse-type solar energy systems; the second is to develop a practical and effective model capable of estimating energy consumption, efficiency analysis, and energy production within photovoltaic greenhouses. The first part of the thesis reviews common types of greenhouse solar energy systems in Europe, along with their definitions and application examples, and subsequently provides a comprehensive summary of relevant modeling approaches. The second part examines a practical application of a selected greenhouse solar energy prototype system and analyzes its performance. Model validation and data analysis are presented in the final section of the thesis, using the PvSyst software. Despite certain challenges, this study offers a feasible alternative to the more complex and resource-intensive methods currently used in agrivoltaics.

Keywords: Photovoltaic, Agrivoltaics, Banana production, Greenhouse, Energy.

TEŞEKKÜR

Sorularıma etkin ve dürüst bir şekilde cevap vererek ve bana anlamlı fikirler ve düşünceler vererek aşağıdaki çalışmayı adım adım yürütmeme yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Ümmühan Başaran FİLİK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca bu tezin hazırlanması sırasında beni destekleyen ve moralimi yükselten aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yarkın EVYAPAN

Nisan - 2025

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Yarkın EVYAPAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLOLAR DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bakış ve Motivasyon	1
1.2. Tezin Amacı ve Katkısı.....	3
1.3. Taslak	5
2. YÖNTEM	6
2.1. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Arazi Kullanım ve Çevresel Etki.....	6
2.2. İklim Değişikliği ve Tarımsal GES Etkilerinin Genel Görünümü	7
2.3. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Yaygın Benimsenmesi İçin Sosyal Kabul ve Stratejiler	8
2.4. Tarımsal GES Uygulamalarının Sınıflandırmaları	9
2.4.1. Ara boşluklu tarımsal GES	10
2.4.2. Üstten kurulumlu tarımsal GES.....	11
2.4.3. Fotovoltaik seralar	12
2.4.4. PV sistemlerde güneş ışıması.....	14
2.4.5. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli	15
2.5. Sera Sistemlerinde Muz Yetiştiriciliği.....	18
2.5.1. Sera sistemlerinin geleneksel yöntemler ile kıyaslanması ve hastalık kontrolü.....	20

2.5.1.1. Örnek sera sistemleri ile geleneksel yöntemlerin verime etki eden parametrelerinin karşılaştırması.....	20
2.5.1.2. Sera sistemleri ile geleneksel yöntemlerin hastalık kontrol ünitelerinin kıyaslanması.....	21
2.5.1.3. Sera sistemlerindeki su kullanım verimliliği.....	21
2.6. Grand Noir Cinsi Muzun Açık Alan ve Kontrollü Sera Üretimindeki Verim Karşılaştırması	21
2.6.1. Sıcaklık optimizasyonu	21
2.6.2. Işık yönetimi ve DLI etkisi	22
2.6.3. CO ₂ zenginleştirmesinin fotosenteze etkisi	22
2.6.4. Havalandırma sisteminin termal ve nem kontrolü & sulama etkisi ..	22
2.6.5. Damla sulama sisteminin etkisi.....	22
2.6.6. Dikim aralığı ve mikroiklim etkileşimi	23
2.6.7. Bitki başına verim ve toplam verim	23
3. UYGULAMA VE SONUÇLAR	24
3.1. PVsyst Simülasyon Programı.....	24
3.2. Coğrafi Konuma Ait Verilerin PVsyst Programına Girişi.....	24
3.3. PV Şebeke Sisteminin Tanımı	25
3.4. PV Sistemin Yönlendirmesi.....	26
3.5. Sistemde Kullanılacak Eviricilerin Belirlenmesi	27
3.6. Sistemde Kullanılacak PV Modülünün Belirlenmesi	28
3.7. Sistemde Kullanılacak DC & AC Kabloların Belirlenmesi	29
3.8. Sistemin AutoCAD Programı Üzerinden Çizimi	30
3.9. PVsyst Simülasyon Sonuçları.....	30
3.10. Sera İçi Grand Noir Muz Üretimini Çok Faktörlü Analizi	31
3.10.1. Sera içindeki elektrik tüketen ekipmanlar	32
3.10.1.1. Isı pompası	32
3.10.1.2. Havalandırma sirkülasyon fanları.....	33
3.10.1.3. Led aydınlatmalar	34
3.11. Termodinamik ve Ekonomik Hesaplamalar	35
3.11.1. İletim yükü (Q _{iletim})	35
3.11.2. Güneş kazancı (Q _{güneş})	35
3.11.3. Havalandırma ile ısı transferi (Q _{havalandırma})	36

3.11.4. Net termal yük (Q_{net}).....	36
3.11.5. ACH optimizasyon kriterleri	37
3.11.6. Manisa ili için 12 aylık güneş ışıınım değerleri (I)	37
3.11.7. Seradaki enerji tüketiminin ve üretiminin 12 aylık hesaplamaları..	38
3.11.8. Yatırım geri dönüş analizi.....	42
3.11.9. Elektrik satışı olmadan yapılan yatırım geri dönüş analizi	44
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKÇA.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Sera ve açık alan verim karşılaştırması.....	20
Tablo 2.2. Verim artışını sağlayan sera parametreleri	20
Tablo 2.3. Hastalık kontrol yöntemlerinin etkinliği.....	21
Tablo 3.1. Evirici özellikleri	27
Tablo 3.2. PV modül teknik özellikleri	28
Tablo 3.3. 6mm ² DC kablo ve akım taşıma kapasitesi.....	29
Tablo 3.4. 3x50mm ² +25 mm ² N2XH(CU) AC kablo özellikleri ve gerilim düşümü....	29
Tablo 3.5. AC kablo akım taşıma ve gerilim düşümü hesaplama tablosu	29
Tablo 3.6. PVsyst simülasyon sonuçları ve aylık üretim tablosu (kWh)	30
Tablo 3.7. Serada kullanılacak olan fanların teknik özellikleri	33
Tablo 3.8. Sıcaklık farkına göre ısı kazancını belirleme koşulları.....	36
Tablo 3.9. ACH optimizasyon kriterleri tablosu	37
Tablo 3.10. Manisa ili için 12 aylık güneş ışıınım değerleri (I).....	37
Tablo 3.11. Ocak ayı enerji üretim ve tüketimi	38
Tablo 3.12. Şubat ayı enerji üretim ve tüketimi.....	38
Tablo 3.13. Mart ayı enerji üretim ve tüketimi	38
Tablo 3.14. Nisan ayı enerji üretim ve tüketimi.....	38
Tablo 3.15. Mayıs ayı enerji üretim ve tüketimi.....	39
Tablo 3.16. Haziran ayı enerji üretim ve tüketimi	39
Tablo 3.17. Temmuz ayı enerji üretim ve tüketimi.....	39
Tablo 3.18. Ağustos ayı enerji üretim ve tüketimi.....	39
Tablo 3.19. Eylül ayı enerji üretim ve tüketimi	40
Tablo 3.20. Ekim ayı enerji üretim ve tüketimi	40
Tablo 3.21. Kasım ayı enerji üretim ve tüketimi	40
Tablo 3.22. Aralık ayı enerji üretim ve tüketimi.....	40
Tablo 3.23. Toplam yıllık elektrik tüketim verileri.....	41
Tablo 3.24. Üretim tüketim verilerini ve üretim ile satılan elektrik miktarı.....	41
Tablo 3.25. Yatırım geri dönüş analizi.....	42
Tablo 3.26. EPDK tarafından onaylanan elektrik tarifeleri (2025).....	43
Tablo 3.27. 12 aylık şebeke elektriği tüketim tablosu	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tarımsal GES örneği.	8
Şekil 2.2. Ara boşluklu tarımsal GES konfigürasyonu örneği.	10
Şekil 2.3. Üstten kurulumlu tarımsal GES konfigürasyonu örneği.	12
Şekil 2.4. PV Sera panel dizilimlerinin kuşbakışı örnekleri	14
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)	16
Şekil 2.6. Türkiye global radyasyon değerleri (GEPA).....	16
Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme süresi (GEPA).....	17
Şekil 2.8. Manisa güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA)	17
Şekil 3.1. Kurulum yapılacak alanın uydu görüntüsü	24
Şekil 3.2. Şebekeye bağlı PV sistemi şeması	25
Şekil 3.3. PVsyst üzerinde detaylı sistem tanımlama ekranı	26
Şekil 3.4. PV Paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu.....	26
Şekil 3.5. AutoCAD çizim görseli (kuşbakışı)	30
Şekil 3.6. Tüm yıl boyunca hesaplanan kayıplar diyagramı.....	31
Şekil 3.7. 16 kW ısı pompasının iç yapısı (ısıtma ve soğutma).....	32
Şekil 3.8. 0.18 kWh sirkülasyon fan şeması.....	34
Şekil 3.9. 0.15 kWh LED aydınlatmalar	35
Şekil 3.10. Üretim tüketim verilerini grafiği	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

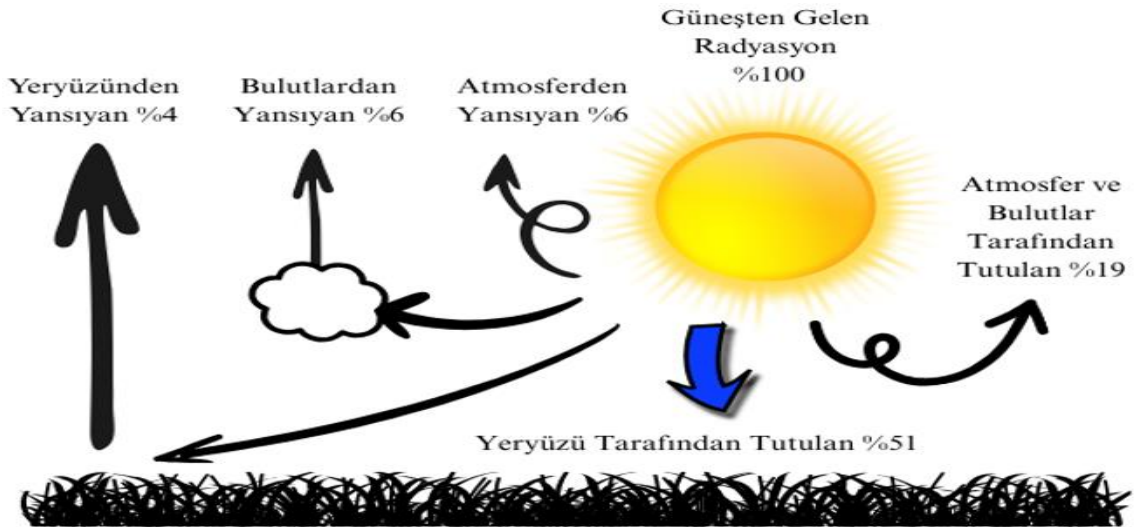
f	: Frekans
n	: Birim
Ss	: Standart Sapma
X	: Ortalama
%	: Yüzdelik Değer
YÖK	: Yükseköğretim Kurulu
TDK	: Türk Dil Kurumu

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış ve Motivasyon

Elektrik enerjisi; tarım, sanayi, binalar, ulaşım gibi birçok uygulama alanlarında gereklidir. Enerji üretimi için kömür gibi fosil yakıtların tüketimindeki artış, küresel ısınmaya sebebiyet verip çevreyi olumsuz şekilde etkileyen yüksek sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtlara alternatif olarak güneş, rüzgâr, biyokütle gibi temiz enerji kaynaklarının kullanılmasına ihtiyaç vardır. Bu kaynaklar, doğası gereği sürekli olarak yenilendiği için yenilenebilir enerji olarak adlandırılmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının sınırsız ve temiz kaynaklar olmaları onların enerji üretmede kullanımlarında artışa yol açmıştır. Yenilenebilir güneş enerjisi de küresel enerji krizine en umut verici çözümlerden biridir. Ayrıca elektrik hatlarını kırsal bölgelere ulaşmasının zorluğu, fotovoltaik (PV) sistemlerini elektrik üretimi için dünya çapında tutulur hale getirmiştir.

Güneş enerjisi, Güneş'in iç çekirdeğinde gerçekleşen füzyon (hidrojenin helyuma dönüşmesi) sebebiyle oluşan ışıma enerjisidir. Atmosfer dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık 1370 W/m^2 büyüklüğündedir. Ancak yeryüzüne ulaşan ışıma miktarı atmosferdeki kırılmadan dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerlerinde görülür. Dünya yüzeyine ulaşan bu ışmanın oluşturduğu enerjinin küçük bir kısmı dahi, mevcut enerji tüketimimizin çok daha fazlasıdır. Güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik araştırma ve çalışmalar özellikle 1970'li yıllardan sonra artmıştır. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik açıdan ilerleme kaydederken maliyet açısından ise düşüş göstermiştir. Aynı zamanda temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğunu insanlığa kanıtlamıştır.



Şekil 1.1. Güneş'ten gelen ışınların Dünya'ya ulaşımı

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi; Güneş’ten gelen ışımanın yaklaşık %30’luk kısmı atmosfere geri yansır. Güneş ışımasının yaklaşık %50’si atmosferi geçip yeryüzüne ulaşır. Ulaşan bu ışımanın enerjisi ile sıcaklık artar. Bu sayede yer küre yaşanılabilir bir hale gelir. Rüzgâr hareketlerine ve okyanuslardaki dalgalanmalara da bu ısınma sebep olur. Güneşten gelen ışımanın yaklaşık %20’lik kısmı ise atmosferde ve bulutlarda kalır. Yer yüzeyine gelen güneş ışımasının %1’den daha küçük kısmı ise bitkiler tarafından fotosentez yapılarak harcanır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su harcayarak, şeker ve oksijen üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışında kalan bütün enerjilerin dolaylı veya doğrudan kaynağıdır.

Bugün çoğu ülke enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde tükenen fosil yakıt kaynaklarından karşılamaktadır ve fosil yakıt dönemi yavaş yavaş sona ermektedir. Fosil yakıt kullanarak enerji üretimi, çevre üzerinde zararlı etkilere yol açmakta ve büyük bir endişe kaynağı haline gelen küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu yakıtların yoğun kullanımı, büyük miktarda atık ısı açığa çıkararak çevrede termal kirliliğe neden olmakta ve çeşitli bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına yol açmaktadır. Nükleer santraller için, radyoaktif atıkların bertaraf edilmesi ve kaza sırasında radyoaktivitenin salınması durumunda uzun vadeli ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle dünyadaki çoğu ülke günümüzde alternatif enerji kaynakları, özellikle de tükenmez bir enerji kaynağı olan ve dünyanın hemen her yerinde serbestçe bulunan güneş enerjisi için kullanım, kurulum ve optimizasyon arayışına girmektedir.

Son yıllarda, arazi kullanımı kısıtlamaları ve arazi kullanım verimliliğinin artırılması isteği, aynı arazide elektrik ve tarımın birlikte üretimi olan "tarımsal GES" sistemlerinde ilk keşifleri teşvik etmiştir [1]. Bu amaçla, mera arazilerinde rüzgar enerjisi üretiminin uygulanması iyi bilinmektedir, oysa tarım arazilerinde fotovoltaiik dizilerin entegrasyonu daha az araştırılmıştır [1]. Artan güneş enerjisi kullanımı çabasında, ABD’de eyalet düzeyinde elektrik üretiminde kendi kendine yeterlilik sağlanmasının tarıma ayrılmış arazilere müdahale edilmeden mümkün olmadığı bulunmuştur [1]. Bu, güneş enerjisinin seyrek doğasından kaynaklanmaktadır; bu da tipik ABD güneş dizilerinde, bir yıl boyunca ortalama olarak 4-11 W/m² üretimle sonuçlanmaktadır [1-2]. Bu güneş ve tarımın birlikte var olma kavramı, son birkaç on yılda çeşitli şekillerde önerilmiştir [3-5]. Ancak, bu çalışmaların çoğu mevcut panel tasarımlarının uygulanmasını tartışmakta veya gölgeye dayanıklı bitkilerle sınırlı kalmakta, bu da ticari

bitkilerin yalnızca küçük bir alt kümesini oluşturmaktadır. Marrou (2013), sera güneş enerjisi sistemlerin tarımsal yöntemlerde büyük değişiklikler olmadan umut vaat ettiğini, ancak bitkilerde güneş radyasyonunun kaybının ürün verimini azaltan ana faktör olduğunu ve bu nedenle güneş ışığı kaybını azaltmanın gelecekteki sera güneş enerjisi çalışmalarının odak noktası olması gerektiğini bulmuştur [3]. Ayrıca, bu sistemlerin odak noktası olarak gölgeye dayanıklı bitkilerin olması gerektiğini öneriyorlar. Fraunhofer Enstitüsü, çeşitli tarımsal güneş enerji santrali (GES) kapsamında çiftlikler kurmuştur. Özellikle, aynı arazi alanında tipik verimin %80'i ve tipik elektriğin %80'i tarımsal GES ile üretildiğinde, arazi kullanım verimliliğinde %60'lık mutlak bir artış bildirdiler [4]. Potansiyel tarımsal GES modellenmesi seyrek. 1982 yılında, 6m sıra genişliğine sahip, 2m yükseklikte sabit güney yönlü dizilerin, açık bir alan durumuna kıyasla yaklaşık üçte bir gölgeleme ile neredeyse mekânsal olarak homojen bir alan güneşlenmesi üretebileceği belirlenmiştir [6]. Ancak, bu çalışma farklı boyutların, konfigürasyonların veya panel tasarımlarının etkilerini tahmin etmemekte, bu da uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Sabit güney yönüne bakan tarımsal GES, arazi kullanım verimliliğini artırma amacıyla modellenmiştir (yüzde 73'e kadar) [7].

1.2. Tezin Amacı ve Katkısı

Bu tezin amacı, özellikle fotovoltaik taraf için ışıyım yönlerine odaklanarak, ortaya çıkan sera güneş enerjisi alanının ve Manisa lokasyonundaki modellemesinin bir incelemesini sağlamaktır. Tarımsal GES, Avrupa genelinde giderek daha fazla ilgi görmekte ve çiftçilerden özel yatırımcılara kadar dikkat çekmektedir. Ancak, bu sektöre girmek birçok zorlukla karşı karşıya kalmayı gerektirir, örneğin, hem tarım ürünlerinin yetiştirilmesi hem de fotovoltaik modüllerin en iyi kombinasyonunu ve tasarımını anlamak, elektrik üretimini maksimize etmek ve potansiyel tarım alanlarını kullanarak üretilen bu enerjinin analizi gibi unsurlar ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada ise bir muz türü olan Grand Noir türünün sera koşullarında üretim için verimli parametreler kullanarak üretimi amaçlanmaktadır.

Tarımsal GES ilk yatırımından ve tarım arazisinde konuşlandırılmasından önce sonuçlarını ve faydalarını tahmin etmek önemli bir rol oynar. Mevcut örneklerin doğru optimizasyonu ise karşılaşılmaması beklenen bir zorluktur. Bu zorluk, tarımsal GES'in geometrilerinden bitki türlerine kadar olan çok sayıda kombinasyon ve olasılıklarından, ayrıca bu senaryoları fiziksel açıdan analiz etmenin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, bu sistemlerin davranışını doğru bir şekilde modellemek ve simüle etmek, hem ürün performansını hem de enerji üretim potansiyelini tahmin etmek için çok önemlidir. Çeşitli modelleme teknikleri, simülasyon araçları ve mevcut uygulamalar farklı senaryoları simüle etmek için mevcut olsa da, tarımsal GES'in simülasyon ihtiyaçlarını tam olarak değerlendirmek için yeterince kesin ve erişilebilir çözümler hala eksiktir. Bu nedenle, elektrik üretiminin ve PV modül entegrasyonunun mahsuller üzerindeki etkisinin doğru tahminlerini elde etmek için bu sektörde daha fazla araştırma ve ilerleme gereklidir. Bu nedenle, bu tezin ilk amacı, kişisel çalışma yolum ve iş deneyimim nedeniyle fotovoltaik yönüne odaklanarak, tarımsal GES için modelleme ortamının farkındalığını artırmak ve tarımsal GES ortamında enerji üretimini modellemek için kullanılan örneğini göstermektir. Buna ek olarak, literatürdeki verileri de kullanarak muz üretimi hakkında gerekli parametreleri araştırmak, tarımsal GES modelleme senaryosuyla daha geniş bir anlayış ve hızlı bir etkileşim sağlamak, gelişen sektöre katkıda bulunmak ve enerji ve tarım alanlarında optimize edilmiş tarımsal GES yayılmasını artırmaktır. Bunu başarmak için, Avrupa'da kullanılan bazı tarımsal GES'lerin incelemesi yapılacak, bunların tanımını, sınıflandırmasını ve potansiyel avantajlarını ve dezavantajlarını kapsayacaktır. Bunu takiben, tarımsal GES modelleme iş akışının genel bir incelemesi yapılacak, literatür ve piyasa kaynaklı mevcut çözümlerin ana adımları ve örnekleri dahil edilecek, teorik sonuçlar ile desteklenecektir.

Bir diğer amacı ise, tarımsal GES ortamı ve bu sektörde akademik ve piyasa ile ilgili bilgi edinmek isteyen öğrenciler ve bireyler için modelleme senaryolarını sağlamaktır. Ana faydalanıcılar arasında, tarımsal GES kavramlarına ilgi duyan enerji ve tarım sektöründeki öğrenciler ve paydaşlar bulunmaktadır. Bu ilk bölüm, tarımsal GES ve ilgili modellemenin temellerine yaklaşmak için genel ve somut bir kılavuz olarak hizmet eder. Belirli konulara derinlemesine odaklanmadan geniş bir genel bakış sunar. Gelişmekte olan ülkelerde tarımsal GES 'in geliştirilmesi, tarımsal yöntemleri yenileyerek yoksulluk ve açlık konularındaki hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca tarımsal GES karbon salınımsız enerji üretimini teşvik eder, su kullanımını azaltarak yeşil tüketim ve üretim hedeflerine ulaşır. Yenilikçi teknoloji geliştirme ve yerel olarak üretilen elektriğin o ülkenin topluluğuna mensup insanlar için kullanımı yoluyla sanayi, yenilik ve altyapıyı karşılar. Tarım ortamı ve ekosistemlerine gerekli özen gösterilerek iyi yönetilen ve daha geniş ölçeklerde geliştirilen tarımsal GES çözümleri, daha fazla sıfır emisyonlu elektrik ve yerel tarım ürünleri üretmek için güçlü

ve sürdürülebilir bir yol sunabilir. Aynı zamanda bu da daha düşük CO2 emisyonlarına katkıda bulunur ve global ölçekteki iklim çözümlerini destekler.

1.3. Taslak

Daha önce açıklandığı gibi, aşağıdaki tez şu şekilde gelişecektir. İklim değişikliğiyle mücadelede tarımsal GES rolü üzerine bir giriş bölümünden sonra, tarımsal GES kavramına teknik bir girişle devam edilecektir. Bunun devamında ise optimal sera koşullarında Grand Noir türü muz üretimi incelenecek, gereken termodinamik hesaplamalar ile sonuçlar analiz edilecektir. Son olarak, simülasyon sonuçları incelenecek ve çıktılar hakkında tartışılacaktır. Bu, tarımsal GES türleri ve sınıflandırmalarının sunumunu, ardından bu sektörde modelleme ve fotovoltaiğin anlaşılması için gerekli olan ana kavramlar ve değişkenlerin açıklamasını içerecektir. Tarım tarafına dair kısa bir genel bakış da dahil edilecektir.

Sonrasında, tarımsal GES için tam modelleme iş akışına, öncelikli olarak ise fotovoltaiğin tarafına odaklanılacaktır. Bu, tarımsal GES sınıflandırmalarıyla başlayacak, simülasyon modellemesine ve Grand Noir muz cinsi mahsülün üretimine, verim hesaplamalarına, performans analizine ve son olarak amortisman hesaplamalarına uzanacaktır.

2. YÖNTEM

Bu bölüm için, çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgi, sonuç ve örnekler, kapsamlı ve pratik bir genel bakış sağlamak amacıyla analiz edilip yapılandırılmıştır. Ayrıca, iki ana bilgi edinme türü kullanılmıştır. İlk olarak, bilimsel makalelerin kapsamlı bir şekilde okunmasıyla fotovoltaik açığa özel bir odaklanma ile tarımsal GES sektörü hakkında önemli miktarda bilgi toplanmıştır. Birçok makaleyi incelemek, bol miktarda bilgi toplanmasını ve önemli yönlerin vurgulanmasını sağlamıştır. Başlangıçta, bu araştırmada tarımsal GES'in bütün olarak sınıflandırılması ve anlaşılmasına yer verilmiştir.

İkinci olarak, projeye yönelik bilgi ve verileri toplamamanın bir diğer yöntemi, yerel üreticilerden bilgiler toplayıp bunları literatürdeki veriler ile kıyaslayarak tez çalışmasındaki bulguları daha da güçlendirmektir. Aynı zamanda maliyet analizi kısmındaki veriler için de önemli katkılar edinilmiştir. Buna ek olarak, Manisa lokasyonundaki tarımsal GES (muz serası) performans analizini simüle ederek somut bir çıktı sağlanmıştır.

2.1. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Arazi Kullanım ve Çevresel Etki

Elektrik enerjisi üretimi için arazi kullanımını optimize eden sistemler üzerine yapılan araştırmalar, bu sistemlerin performansını iyileştirmede kritik bir rol oynamaktadır. İlgili çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımının, arazi kullanımını optimize ederek çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçladığını belirtmektedir [8]. Araştırmalar, güneş panellerinin altında yetiştirilen bitkilerin verimliliğini artırdığını ve ayrıca panellerin soğumasına katkıda bulunduğunu göstermektedir [9]. Literatürde, sera güneş enerjisi sistemlerin su kullanımını azalttığı ve toprak erozyonunu önlediği de vurgulanmaktadır [10]. Ancak, bazı durumlarda güneş panellerinin gölge etkisinin bitki büyümesini olumsuz etkileyebileceği dikkate alınmalıdır [11]. Ayrıca, güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi sistemlerin performansı çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir ve sürekli olarak izlenmelidir [12]. Şehir bölgelerinde, çatı üstü güneş panelleri gibi küçük ölçekli sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşıyor [13]. Bu sistemler, kentsel alanlarda arazi kullanımını optimize ederken bireysel ev sahiplerine ve işletmelere enerji bağımsızlığı ve tasarruf sağlar [14].

Elektrik enerjisi üretimi için arazi kullanımını optimize eden sistemlerin gelecekteki yönleri ve gelişmeleri üzerine daha ayrıntılı bir araştırma yapılması gerekiyor. Bu çalışmalar, yenilikçi teknolojilerin ve stratejilerin geliştirilmesine katkıda

bulunabilir ve bu sistemlerin performansını artırabilir [15]. Son zamanlarda, yenilenebilir enerji sistemlerinin arazi kullanımını optimize etmek için yapılan çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmalar, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için farklı optimizasyon stratejilerine odaklanmaktadır [16]. Yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonunda karşılaşılan zorluklar ve bu sistemlerin geliştirilmesindeki fırsatlar üzerine yapılan çalışmalar, önemli bir araştırma alanını temsil etmektedir. Bu çalışmalar, enerji sistemlerinin performansını iyileştirmek ve daha sürdürülebilir çözümler geliştirmek için önemli bir katkı sağlayabilir [17].

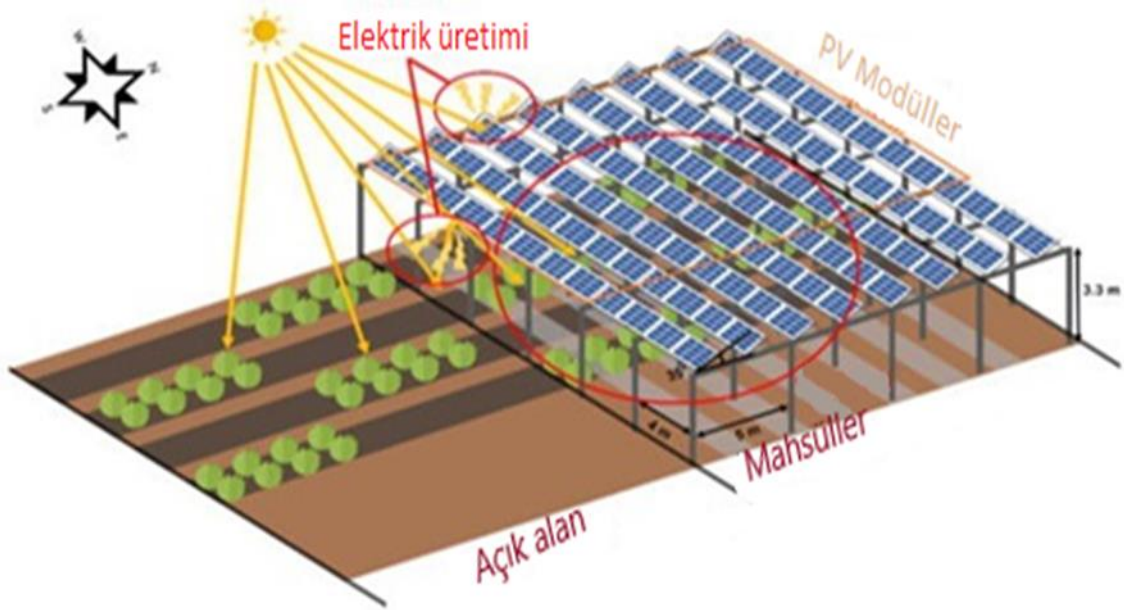
Rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan hibrit sistemlerin performansı ve bu sistemlerin optimizasyonu üzerine yapılan araştırmalar, elektrik enerjisi üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmalar, hibrit sistemlerin verimliliğini artırmak ve enerji üretimini optimize etmek için çeşitli teknikler ve yöntemler sunmaktadır [18]. Tarımsal GES, ekonomik değerlendirilmesi ve bu sistemlerin ticari sürdürülebilirliği üzerine yapılan çalışmalar, tarım arazilerinde güneş enerjisi panellerinin kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, tarım ve enerji sektörlerindeki paydaşlar için stratejik kararlara katkıda bulunabilir [19].

2.2. İklim Değişikliği ve Tarımsal GES Etkilerinin Genel Görünümü

İklim değişikliği esas olarak dünya toplumunun enerji kullanımından kaynaklanmaktadır; bu kullanım kişisel elektrik tüketiminden ulaşım sektörü ve sanayide fosil yakıtlara kadar uzanmaktadır [20]. Küresel sürdürülebilirlik ve karbonsuzlaşma eğilimlerini gözlemleyerek, sıcaklık artışının hemen durmayacağı açıktır, bu da mevcut karbonsuzlaştırma stratejilerine çözümlerin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Özellikle, insan yaşamını sürdüren temel unsurlara, yani gıda, su ve enerjiye odaklanmak esastır [21]. Bu unsurları topluca hedeflemek, deneysel korelasyonları ve iklim değişikliği nedeniyle artan kıtlıkları nedeniyle zorunludur [22]. Sonuç olarak, yeniliği önceliklendirmek ve bu zorlukları kolektif olarak ele almak için yeni teknolojiler ve çözümler keşfetmek, iklim değişikliğiyle mücadelede izlenen çeşitli yollar arasında olmalıdır.

Yenilenebilir enerjiler, özellikle fotovoltaik (PV) teknolojileri, dünya genelinde birçok teşvik ve ulusal politikadan da anlaşılabileceği üzere önemli bir çözüm olarak kabul edilmektedir [23]. Ancak, bu teknolojilerin uygulanması ekonomik kısıtlamalar, sosyal zorluklar veya uygun arazinin bulunmaması gibi nedenlerle bazı bölgelerde zor olabilir.

Özellikle, fotovoltaik teknolojisini ve düşük enerji yoğunluğunu dikkate aldığımızda, büyük bir kısmı kentleşmiş ve geri kalanı tarımsal amaçlar için ayrılmış olan birçok Avrupa ülkesinde bu bir zorluk teşkil etmektedir. Bu pazar, özellikle Türkiye'de yeni düzenlemelerle dahada zorlanıyor. Bu çok yönlü sorunu ele almak için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Özellikle gerçekçi bir çözüm olan ve uzun yıllardır var olan ancak şimdi önemli kamu teşvikleri ve gelişmeler kazanan tarımsal GES kavramıdır. Tarımsal GES, bölge veya çevreye bağlı olarak farklı isimlerle bilinen, güneş enerjisi üretimini ve tarımsal faaliyetleri doğrudan fotovoltaik alan kurulumuna entegre eder; her ikisi de büyük ölçüde güneş ışığına dayanır [24]. Bu çözüm, yeşil enerji üretimini tarımsal üretimle birleştirilerek elde edilen artan arazi verimliliği ile başlayan birçok ekonomik ve sürdürülebilir avantaj sunar ve bu da su kullanımında olumlu sonuçlar doğurur. Ayrıca, tarımsal GES, iklim değişikliğinin devam eden belirsizliğiyle karşılaşan çiftçiler için ek ekonomik fırsatlar sunmaktadır. Bugün PV teknolojilerine yatırım yapabilirler, karlı tarım arazilerinden feragat etmeden elektriği şebekeye satarak gelecekte karlı bir gelir elde edebilirler. Daha sonra tartışılacağı gibi, tarımsal GES birçok fayda ve fırsat sunarken, aynı zamanda zorluklar ve güçlükler de getirmektedir.



Şekil 2.1. Tarımsal GES örneği [25].

2.3. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Yaygın Benimsenmesi İçin Sosyal Kabul ve Stratejiler

Yenilenebilir enerji sistemlerinin toplumsal kabulü ve bu sistemlerin yaygınlaştırılması üzerine yapılan araştırmalar, enerji geçişinde önemli bir faktörü ele

almaktadır. Bu çalışmalar, yenilenebilir enerji projelerinin toplum tarafından nasıl algılandığını anlamak ve bu projelerin daha geniş kitleler tarafından benimsenmesini teşvik edecek stratejiler geliştirmek için önemli bir referans kaynağı olarak hizmet edebilir [26]. Tarımsal GES'in teknolojik yeniliklerin incelenmesi ve bu sistemlerin karşılaştığı zorluklar ve fırsatlar üzerine yapılan araştırmalar, tarım arazilerinde güneş enerjisi üretimini optimize etmek için yeni yaklaşımları ele almaktadır. Bu çalışmalar, tarım ve enerji sektöründeki aktörler tarafından bu yeniliklerin benimsenmesine ve uygulanmasına katkıda bulunabilir [27]. Tarım arazilerinde güneş enerjisi üretimini desteklemek için geliştirilen politika çerçevelerinin ve küresel deneyimlerin incelenmesi, tarımsal GES'in teşvik edilmesine yönelik stratejileri ele alır.

Bu çalışmalar, politika yapıcılarının ve karar vericilerin tarım ve enerji sektörlerinin entegrasyonunu teşvik etmek için etkili politikalar geliştirmelerine yardımcı olabilir [28]. Akıllı şebeke teknolojilerinin tarımsal GES entegrasyonuna yönelik çalışmalar, güneş enerjisi üretimini ve dağıtımını optimize etmek için yenilikçi yaklaşımlar sunar. Bu çalışmalar, enerji dönüşümünde akıllı şebeke teknolojilerinin rolünü anlamak ve bu teknolojilerin tarımsal GES ile nasıl entegre edilebileceğini incelemek için önemli bir kaynak olabilir [29].

2.4. Tarımsal GES Uygulamalarının Sınıflandırmaları

Tarımsal GES kavramı son zamanlarda büyük ilgi görse de, bunun için evrensel olarak kabul edilmiş bir sınıflandırma yoktur. Hem şirketler hem de akademi, son zamanlarda PV sistemlerinin yapılandırması ve tarımsal işlevleri temelinde geniş sınıflandırmalar oluşturma çabası içindedir. İlk ayırım, özellikle büyük ölçeklerde, ekolojik hizmetler, hayvan yetiştiriciliği ve tarım arasında yapılmaktadır. Bu çalışmanın teknik bölümünde, tarımsal GES aynı arazi parçasında aynı anda hem tarım ürünleri yetiştirme hem de güneş enerjisi üretme uygulaması olarak tanımlıyoruz. Ara boşluk konfigürasyonlarında, PV panelleri arasındaki alan genellikle tarıma elverişli hale getirilirken, üstten kurulum sistemlerde panellerin altındaki zemin tarım için kullanılır [30].

Açık tarımsal GES, açık hava tarım alanlarına kurulur ve bitki türü ve enerji üretim hedefleri gibi faktörler tarafından belirlenen çeşitli tasarımlar, teknolojiler ve yapılar içerir. Açık tarımsal GES grubunda, ara boşluklu ve üstten kurulum sistemleri arasında önemli bir ayırım vardır. Kapalı tarımsal GES genellikle çeşitli fotovoltaik teknolojilerin

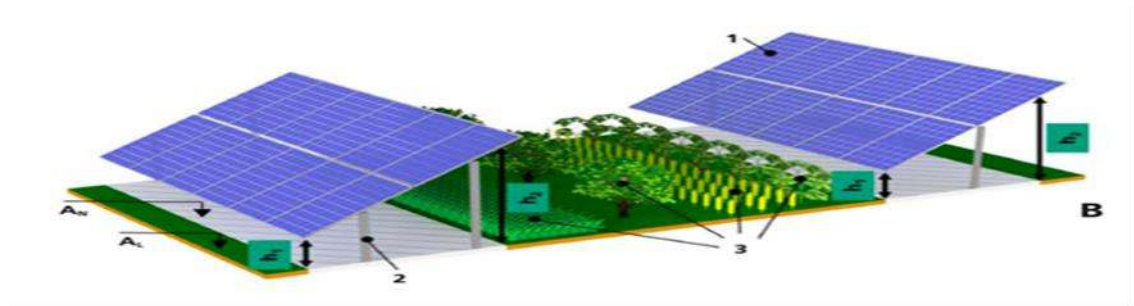
ve PV modül tasarımlarının mevcut seraların çatısına entegre edilmesini içerir; burada ışık ve sıcaklık gibi koşullar daha iyi kontrol edilebilir.

Benzer şekilde, güneş sistemleri aynı çatıdaki PV panelleriyle beslenen yapay aydınlatmalı kapalı tarım için katı yüzeyli tarımsal yapılara entegre edilebilir. [30] Çünkü tarımsal GES birincil faydası, güneş ışığının enerji üretimi ve bitki fotosentezi için aynı arazide eşzamanlı olarak kullanılmasıdır. Tarımsal GES yapılarının üç ana formu, ara boşluklu, üstten kurulum ve PV seralardır.

2.4.1. Ara boşluklu tarımsal GES

Ara boşluklu tarımsal GES, aynı zamanda sıra arası PV sistemleri olarak da bilinir, tarımsal işlemlerin panel sıraları arasında gerçekleştiği sistemleri ifade eder, ilerleyen kısımdaki Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, genellikle yerden mütevazı bir yükseklikte inşa edilir. Ağır tarım makinelerinin bu kurulumlar arasında hareket edebilmesi için, ardışık panel sıraları arasındaki alan çok büyük olabilir. Ara boşluklu tarımsal GES, konstrüksiyon yapıları ile yer kaplayarak potansiyel tarım arazisini azaltırken, genellikle üstten kurulumlu sistemlerden daha ucuzdur [31]. Ara boşluklu tarımsal GES genellikle otlar, güçlü sebzeler, meyve ve böğürtlenler gibi kalıcı ürünler, bağcılık, şerbetçiotu ve tarım ürünleri ile diğer sebzeler gibi uzun vadeli ürünler için kullanılır. Bu tasarım, hayvancılık üretimi için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Modül dizileri arasındaki mesafe, ekin türüne göre belirlenir, bu da büyüme sezonuna ve kullanılan tarım ekipmanına bağlı olarak optimal gölge ve güç çıktısı sağlar [30].

Sıra arası modüller, genellikle güney yönüne bakan ve çıktıyı artırmak için sabit bir şekilde yerleştirilebilen veya farklı mevsimlerde maksimum güneşlenme süresi için eğimi değiştirmek üzere tek eksenli döndürme ile donatılan, böylece gölge ve enerji üretimini artıran modüllerdir. Ara boşluklu PV sistemleri, belirli bitkilerin mikro iklim ortamını etkiler ve ısı değişimi, bitki ve PV modül performansını olumsuz yönde etkileyebilir [32].



Şekil 2.2. Ara boşluklu tarımsal GES konfigürasyonu örneği [30].

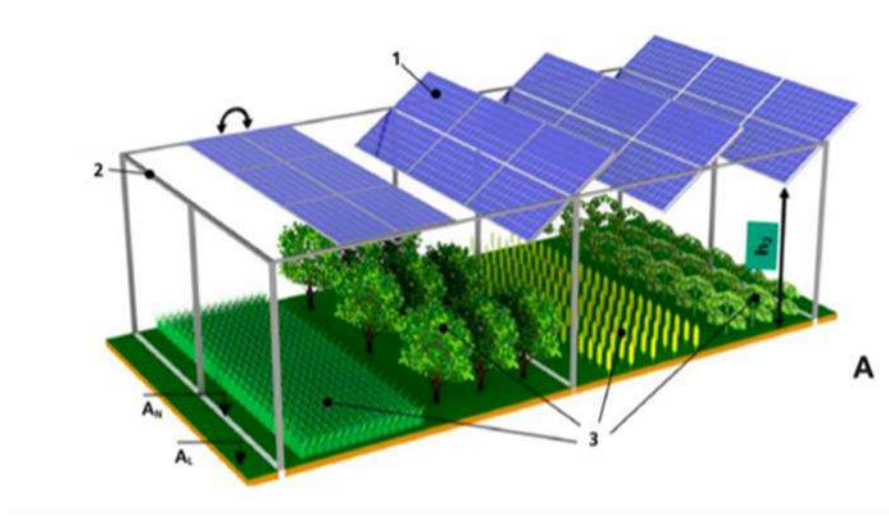
Ara boşluklu tarımsal GES için bir diğer önemli husus, bunların manzara ve doğal ekosistem üzerindeki etkisidir. Büyük ölçekli tarımsal GES, çiftçiler ve yakın topluluklar arasında yaban hayatı ve peyzajın görsel çekiciliği üzerindeki etkileri hakkında düzenleyici ve sosyal kabul sorunları yaratır. Ancak, bu ara boşluklu tarımsal GES sınıflandırmasında, sıra arası düzenlemesi çevre üzerinde daha düşük bir görsel etkiye sahiptir, bu da onu belirli sınır koşulları altında daha iyi bir seçenek haline getirmektedir [33]. Ara boşluklu tarımsal GES için yapılan çalışmalar ve optimizasyon çabaları, esas olarak tarımsal ve enerji çıktısını maksimize etmek amacıyla konum ve mevsime göre optimal zemin kaplama oranı, panel ara boşluğu, eğim, yönlendirme ve mahsul seçimlerini belirlemeye odaklanmaktadır.

Ara boşluklu tarımsal GES genellikle modül ön yüzünde enerji üretimini optimize etmek için büyük miktarda tarım arazisi kaplayan sabit eğimli yapılar kullanır, bu da önemli bir tarım arazisi kaybına yol açar [24]. Başka bir olasılık ise, modül yüzey ekseninin ufka hizalandığı dikey modüllerle bir ara boşluklu tarımsal GES düzenlemesinin kullanılmasıdır. Bu yöntem, modüllerin doğudan batıya yerleştirilmesini, bu da kalıcı bitkiler için daha verimli olduğu kanıtlanmıştır [24].

2.4.2. Üstten kurulumlu tarımsal GES

Üstten kurulumlu tarımsal GES diğer bir biçimi, modüllerin doğrudan mahsullerin üzerine monte edildiği, genellikle 1.8m ile 2.1m veya daha yüksek yükseklikte, mevzuata, mahsul çeşidine ve tarımsal makine ihtiyaçlarına bağlı olarak kullanılan biçimdir [24]. Panellerin altında kalan kısımda makine geçişi için gereken alan, ara boşluklu tarımsal GES'in aksine daha karmaşık ve güçlendirilmiş yapılar içermektedir. Bu yapılar, direkler ve ek rüzgar güçlendirmeleri içerir dolayısıyla tüm bu ek materyaller bu sistemi daha pahalı bir seçenek haline getirmektedir [34]. Hava sistemleri, üzüm, küçük meyve ağaçları, hassas sebzeler tarım ürünleri, bağcılık, şerbetçiotu ve hatta çim dahil olmak üzere geniş bir yelpazede mahsulü destekleyebilir [30]. Ayaklı yapılar, tarımsal otomasyonun az olduğu ve modüllerin üzerinden geçen büyük makinelerin yapıya zarar verebileceği alanlarda meyve bahçesi tarımında sıklıkla kullanılır. PV modüllerini doğrudan mahsullerin üzerine yerleştirmenin, ara boşluklu tarımsal GES'e göre daha iyi PV panel yoğunluğu ve enerji üretimi gibi çeşitli avantajları vardır. Ayrıca, bitkileri yukarıdan kaplamak, bitkileri veya potansiyel olarak hayvanları aşırı ısınmadan ve dolu, fırtına gibi olumsuz hava koşullarından korur [35]. Ancak, artan maliyetin yanı sıra

soğurduğu güneş ışınımında bir azalma da meydana gelir ki bu da tarımsal verimlilik üzerinde olumsuz bir etki yaratma ihtimali oluşturmaktadır. [30]. Ara boşluklu sistemlere benzer şekilde, bu tür bir yapının bir diğer zorluğu, mahsullerin üzerinde yüksek bir konumda olmalarıdır; bu da onları görsel olarak görünür kılıp aynı zamanda peyzaj konusunda dezavantajlı duruma getirmektedir.



Şekil 2.3. Üstten kurulumlu tarımsal GES konfigürasyonu örneği [30].

2.4.3. Fotovoltaik seralar

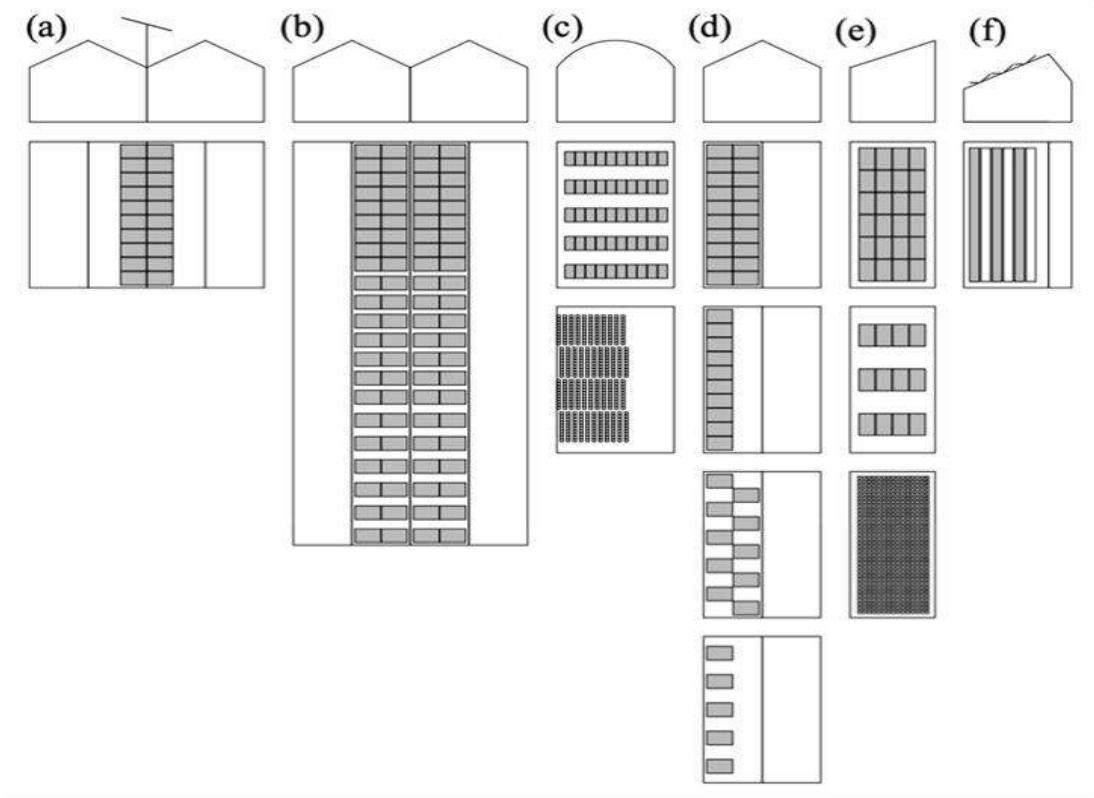
Fotovoltaik seralar, kapalı yapılar içine yerleştirilmiş tarımsal GES'in en görünür örnekleridir. Tarım seraları, genellikle şeffaf yalıtım malzemeleri ile donatılmıştır ve olumsuz dış koşullara ve hastalıklara karşı koruma sağlayıp, bu da daha yüksek kaliteli bitki üretimi ile sonuçlanıp ve sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu gibi değişkenlerin kontrol edilmesine olanak tanıyarak mevsim dışı yetiştiriciliği kolaylaştırmaktadır [36]. Bu yapılardaki entegre fotovoltaik sistemler, daha fazla modernleşmeyi temsil eder ve sera işlevselliğini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olmaktadır. Güneş ışığını ve iç mekan sıcaklığını yönetmeye yardımcı olup aynı zamanda soğutma veya sulama gibi amaçlar için doğrudan enerji sağlamaktadır. Bu entegrasyon, sera üretimini sürdürürken enerji satışları yoluyla ek gelir elde etme avantajına da sahip olmaktadır. Ancak, ekin türüne bağlı olarak, bitki kalitesini ve verimini değiştirme durumu gözlemlenebilmektedir. PV seraları, güneş ışığının bol olduğu bölgelerde, örneğin Güney Avrupa'da yaygındır. Bu yapılar, güneş enerjisi üretimini artırmayı amaçlayan büyük yatırımları temsil etmektedir. PV dizisine gölge düşmesini azaltmak için doğru hesaplamalar ile tasarlanmalıdırlar ve genellikle maksimum güneş ışığına maruz kalmak için doğudan batıya doğru yönlendirilmektedirler. PV modüllerinin sıcaklığını kontrol

etmek ve performansı artırmak için, havalandırma açıklıkları gibi özellikler de içerirler. Sistemin önemli parçaları olan eviriciler, genellikle sera içinde yer alır ve PV panellerin sağladığı gölgenin soğutma etkisinden faydalanmaktadır [37].

Daha önce belirtildiği gibi, panellerdeki gölgeyi en aza indirmek ve enerji üretimini optimize etmek için, PV seraları genellikle güneşe bakan çatılara güneş panelleri ile kurulmaktadır. Ancak, birçok çalışmanın gösterdiği gibi, modüller gölgeleme artırarak ve güneş radyasyonunu değiştirerek fotosentezi ve sera bitkilerinin büyüme performansını özellikle kuzey-güney eğimindeyken etkilemektedir [36]-[38]. Bu nedenle, modüllerin çatıdaki konumu ve kullanılan teknoloji, seralar için yeni tarımsal GES geliştirme konusundaki mevcut araştırmaların iki ana alanı olmaktadır. Her ikisi de tarım verimliliğini ve enerji üretiminin performansını ve sinerjisini optimize etmeyi amaçlamaktadır.

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi, çeşitli düzenlerin daha fazla sonuçlarını sunan panel yerleşimi, farklı düzenler ve modül dağılımları ile güney çatısını tamamen kaplayarak mahsullerde daha fazla gölgeleme yapmaktan, sera çatısından daha fazla güneş radyasyonunun geçmesine izin verecek daha düşük bir kaplama faktörüne kadar değişebilir. Ayrıca, performansı artırmak için güneş izleme sistemleri ve aynalarla donatılmış yenilikçi tarımsal GES incelenmiş ve uygulanabilir çözümler olarak değerlendirilmektedir [36].

Son bölümde gösterilecek olan Manisa lokasyonundaki tarımsal GES kapsamında sera yapısı simüle edilmiş ve panel dizilimleri Şekil 2.4'deki (b) modeli referans alınarak tasarlanıp sistem ve performans analizi bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. PV Sera panel dizilimlerinin kuşbakışı örnekleri [39]

2.4.4. PV sistemlerde güneş ışıınımı

Fotovoltaik modüllere ulaşan güneş ışığı miktarı, beklenebileceği gibi, fotovoltaik sistemlerdeki ana değişkenlerden biridir. Genel olarak, PV hücresinin yüzeyine çarpan foton sayısı arttıkça, fotovoltaik etkiyle üretilen akım da artar, bu da üretilen güç miktarını artırır. Güneş ışığının etkilerini anlamak için iki temel kavramın anlaşılması gerekmektedir.

İlk olarak, fotonlar güneşten doğrudan veya dolaylı olarak çeşitli yollar ve açılarla güneş panellerine ulaşabilir. Bu fotonlar, fotovoltaik (PV) ortamındaki diğer yüzeylere dağılabilir ve yansiyabilir veya doğrudan modüllerle etkileşime girebilir. İkincisi, güneş enerjisinde bir dalga boyu aralığı vardır ve bu dalga boylarının bazıları fotovoltaik modüller için daha iyidir ve daha kolay emilir. Aşağıdakiler, fotovoltaik modelleme ve optimizasyon için dikkate alınan üç ana ışıınım türüdür :

Doğrudan Normale Işıınım (DNI): Bu, gözlemciden güneşin merkezine giden vektöre dik bir yüzeyde atmosferle etkileşime girmeyen radyasyondan gelen ışıınımdır. Atmosfer tarafından yansıtılmadan veya dağılmadan yüzeye ulaşan doğrudan güneş ışınına DNI denmektedir.

Difüz Yatay Işınım (DYI) : DYI, yatay bir yüzeyin gökyüzünden aldığı güneş radyasyonunun birim alan başına miktarıdır ve DYI hariç tutulur. Parçacıklar (Mie etkisi), bulutlar (varsa) ve atmosferik moleküller (Rayleigh etkisi) tarafından dağılan radyasyonu kapsar. Tahmin edilmesi ve modellenmesi zor olsa da, yüzeyden yansıyan ve ardından atmosfer veya bulutlar tarafından aşağıya doğru yeniden yansıyan geri saçılan radyasyon da DHI'ye dahil edilmiştir.

PV sistemleri için mevcut toplam güneş enerjisi miktarını hesaplarken, DHI özellikle arka hücre yüzeyine doğrudan güneş ışınımı ulaşmayan çift yüzü modüller veya doğrudan güneş ışığının az olduğu bölgelerde kritik öneme sahip olmaktadır. [40]

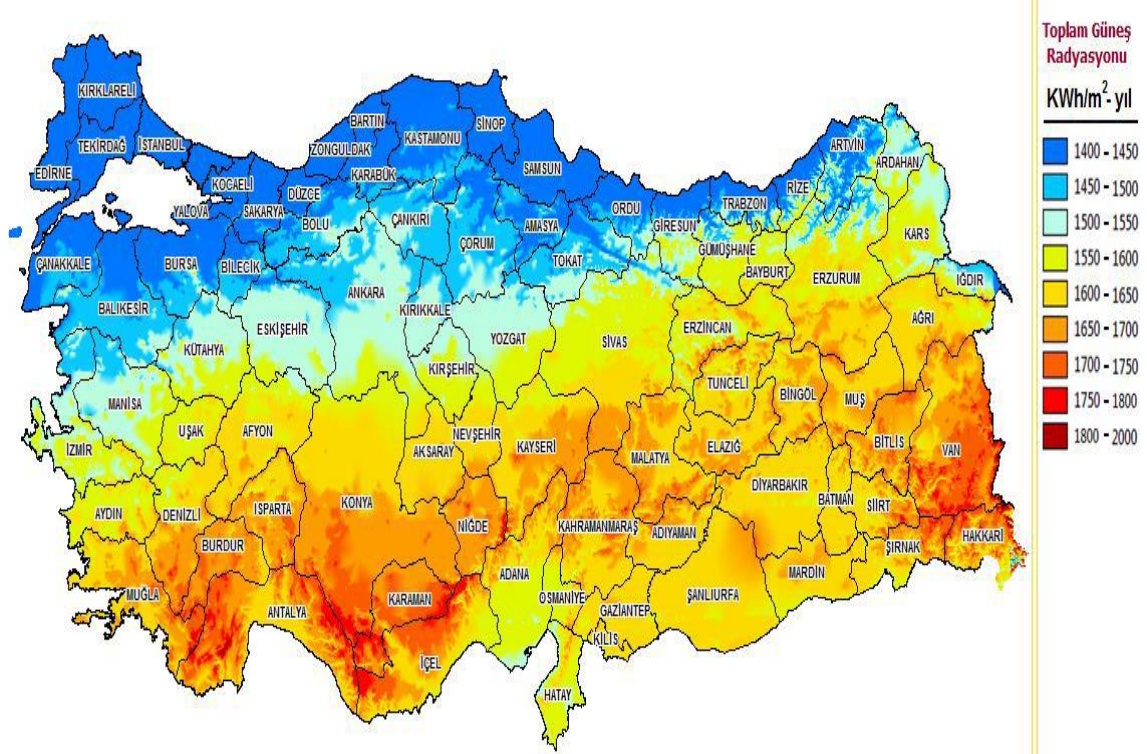
Atmosferden geçtikten sonra yatay bir yüzeye ulaşan toplam güneş radyasyonu miktarına Küresel Yatay Işınım (GHI) [W m^{-2}] denir. Genellikle toplam yarım küre ışınımı olarak adlandırılan GHI, doğrudan güneş ışığı ve atmosfer tarafından dağılan difüz radyasyonun toplamını içerir.

Bunlar;

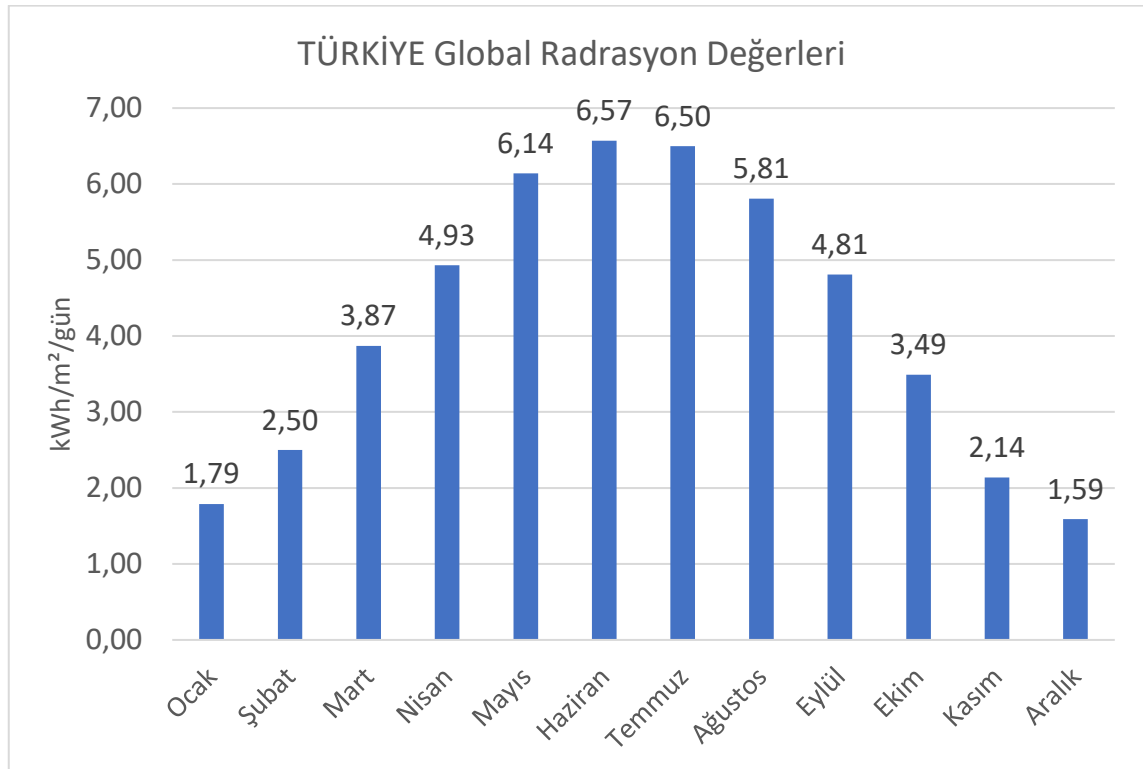
- GHI, Küresel Yatay Işınım (W/m^2)'dir,
- DNI, Doğrudan Normal Işınım (W/m^2)dir,
- GZA, Güneş Zenit Açısıdır (derece, z), ve
- DYI, Difüz Yatay Işınım (W/m^2) anlamına gelmektedir.

2.4.5. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

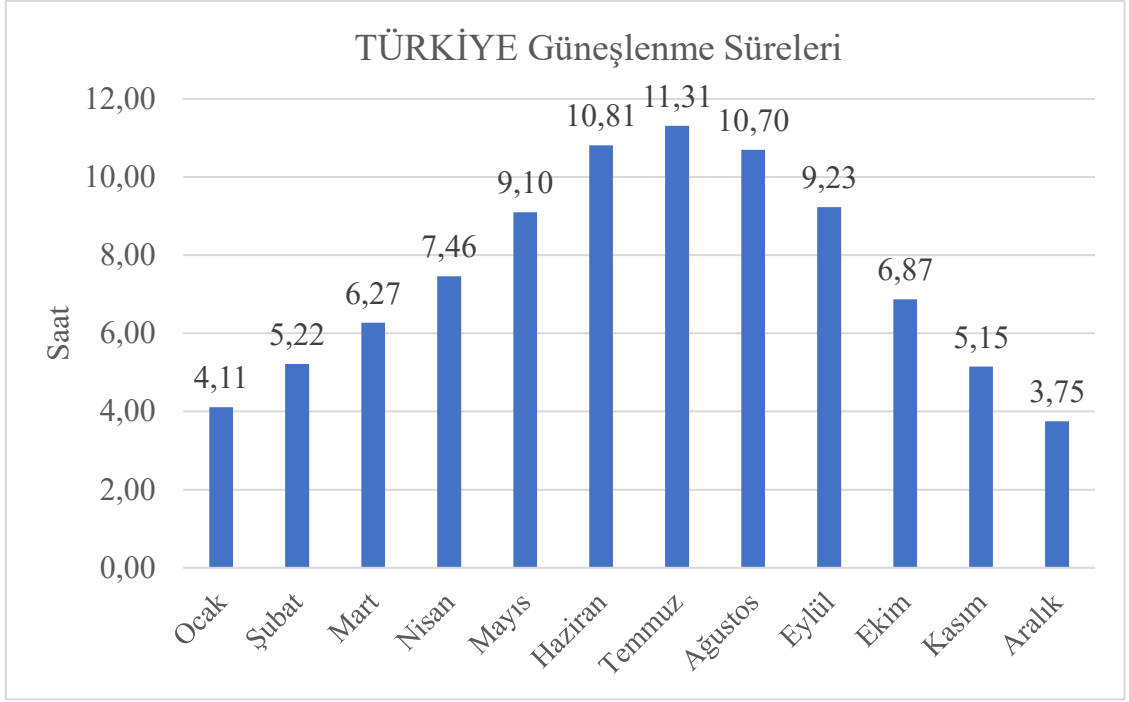
Coğrafi olarak, 36° ile 42° kuzey enlemleri ve 26° ile 45° doğu boylamları arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içindedir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, toplam güneşlenme süresi yıllık 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), gelen toplam güneş enerjisi $1.527 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$ (günlük ortalama $4,18 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{gün}$) olduğu hesaplanmıştır. Günlük ortalama güneşlenme süresi 7,5 saat, günlük ortalama ışınım şiddeti $4,18 \text{ kWh/m}^2$ olan ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şekil 2.5'de, Türkiye'de illere düşen yıllık ışınım miktarlarını gösteren güneş enerjisi potansiyel atlası verilmiştir.



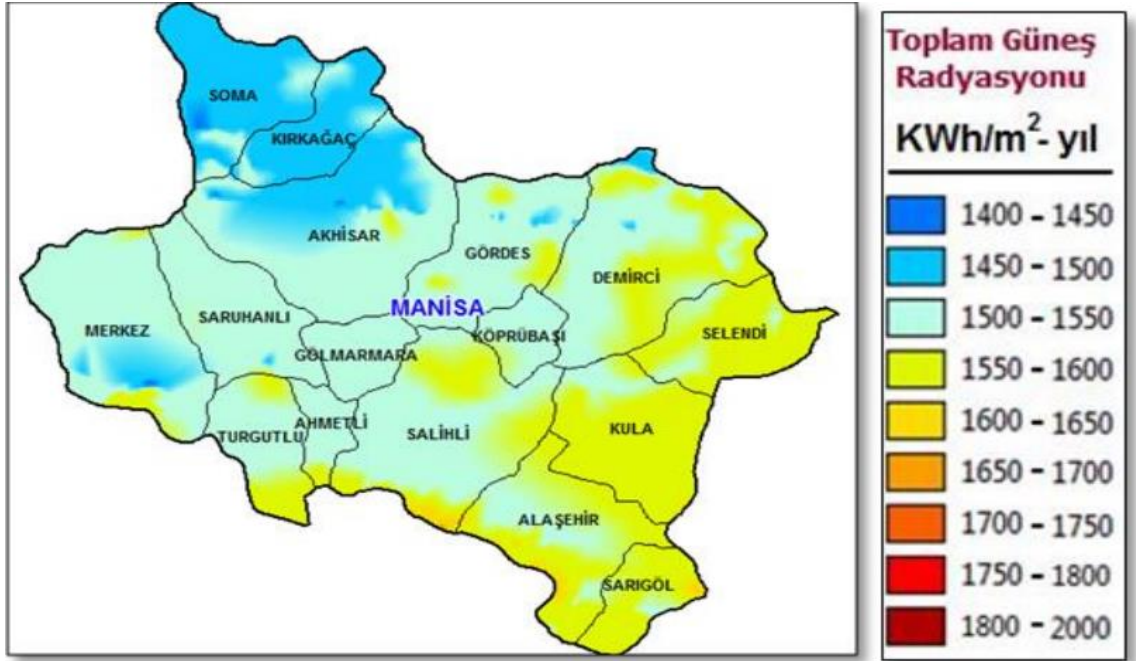
Şekil 2.5. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)



Şekil 2.6. Türkiye global radyasyon değerleri (GEPA)



Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme süresi (GEPA)



Şekil 2.8. Manisa güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA)

Tüm bu veriler ışığında, PVsyst programı kullanılarak, Manisa konumunda bulunan yaklaşık olarak 1500 KWh/m²-yıl ışınlam değeri kullanılarak (Şekil 2.8.) simüle edilmiş ve performans test sonuçları incelenmiştir.

2.5. Sera Sistemlerinde Muz Yetiştiriciliği

Muz (*Musa spp.*), dünya genelinde 150'den fazla ülkede yetiştirilen ve küresel tarım ekonomisinde önemli bir yere sahip olan tropikal bir meyvedir. FAO (2023) verilerine göre, muz üretimi yılda 117 milyon ton ile dünya meyve üretiminin yaklaşık %15'ini oluşturmakta ve 400 milyondan fazla insan için temel gıda kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ancak geleneksel açık alan yetiştiriciliği, iklim değişikliği, toprak kaynaklı patojenler ve su kıtlığı gibi kritik sorunlarla karşı karşıyadır. Örneğin, *Fusarium solgunluğu* (TR4) gibi hastalıklar, Asya ve Afrika'da muz üretim alanlarının %30'unu yok etmiştir [41].

İklim değişikliğinin etkileri, muz yetiştiriciliğini öngörülemeyen sıcaklık dalgalanmaları ve kuraklık riskiyle tehdit etmektedir. IPCC (2022) raporu, tropikal bölgelerde sıcaklıkların 2050 yılına kadar 2-3°C artacağını ve bu durumun muz veriminde %10-20 düşüşe yol açabileceğini öngörmektedir. Bu bağlamda, kontrollü sera sistemleri, üreticilere iklimsel riskleri minimize etme, yıl boyu üretim imkanı ve hastalık kontrolü sağlayarak sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

Sera teknolojisinin avantajları yalnızca verim artışı ile sınırlı değildir. Hidroponik sistemler gibi topraksız tarım yöntemleri, su kullanım verimliliğini %50'ye kadar artırabilir [42]. Ayrıca, sera içi iklim kontrol sistemleri (sıcaklık, nem, CO₂), bitki fizyolojisini optimize ederek fotosentetik verimliliği artırır [43]. Örneğin, İspanya'nın Almeria bölgesindeki seralar, geleneksel yöntemlere kıyasla %40 daha az su tüketerek yılda 12 kg/m² verim elde etmiştir [44].

Sera teknolojisi, özellikle Akdeniz ve subtropikal bölgelerde, hem mikroiklim kontrolü hem de kaynak verimliliği sağlayarak geleneksel tarımın açmazlarını aşma potansiyeli taşıyor. Örneğin İspanya'nın Almeria bölgesinde, %95'i plastik seralarla kaplı 30.000 hektarlık alanda yapılan üretim, açık tarlalara kıyasla %40 daha az su tüketimiyle yılda 12 kg/m² verim elde edilmesini sağlamıştır [45]. Bu sistemlerde, hava sıcaklığı ve nem IoT tabanlı sensörlerle gerçek zamanlı izlenirken, fotoselektif örtüler (kırmızı ve mavi dalga boyu filtreleri) fotosentetik aktif radyasyonu (PAR) optimize ederek meyve olgunlaşma süresini 120 günden 95 güne düşürüyor [46]. Hollanda'daki Venlo tipi seralarda ise jeotermal enerjiyle çalışan ısıtma sistemleri, kış aylarında bile sıcaklığı 18°C'nin altına düşürmeden yılda 3 hasat döngüsüne olanak tanıyor [47].

Topraksız tarım yöntemleri, patojen riskini azaltmanın yanı sıra su ve besin kullanımında radikal iyileşmeler sunuyor. İsrail'de geliştirilen kapalı devre hidroponik

sistemlerde, muz kökleri perlit ve Hindistan cevizi torfu karışımına yerleştirilerek günlük 8-12 L/m² su tüketimi ile geleneksel sulamaya kıyasla %70 tasarruf sağlanmaktadır [48]. Ayrıca, besin solüsyonlarının pH (5.8-6.2) ve EC (2.0-2.5 mS/cm) değerlerinin otomasyonla kontrol edilmesi, makro element kullanım verimliliğini %45 artırıyor [8]. Bu teknikler, TR4 gibi toprak kaynaklı patojenlerin bulaşma riskini sıfıra indirirken, aynı serada domates veya biber gibi diğer mahsullerle rotasyon imkanı yaratarak biyoçeşitliliği destekliyor [49].

Ekonomik açıdan, sera yatırımlarının ilk maliyeti yüksek olsa da uzun vadeli kârlılık açık alan üretimini geride bırakıyor. Türkiye'de Antalya'da 1 hektarlık bir muz serasının kurulum maliyeti 250.000-300.000 dolar arasında değişirken, bu maliyetin %55'ini klima ve otomasyon sistemleri oluşturuyor [50]. Buna karşılık, yıllık verim 60 ton/hektardan 140 ton/hektara kadar çıkabiliyor. İspanya örneğinde ise organik sertifikalı sera muzları, konvansiyonel ürünlere kıyasla kg başına 2.5 dolar premium fiyatla pazarlanarak çiftçi gelirlerini 3 kat artırıyor [51]. Hollanda'daki dikey tarım entegrasyonlu seralarda ise LED aydınlatma ve dikeşim tasarımı sayesinde yıllık verim 210 ton/hektara ulaşsa da enerji maliyetleri toplam giderin %40'ını oluşturuyor [52].

Çevresel sürdürülebilirlik açısından, sera sistemlerinin karbon ayak izi başlangıçta yüksek görünse de yenilenebilir enerji entegrasyonu bu dezavantaj tersine çevrilebiliyor. Geleneksel muz üretiminde kg başına 1.8 kg CO₂-eq salınımı gözlenirken, fosil yakıt kullanan seralarda bu değer 2.3 kg CO₂-eq'ya çıkıyor [53]. Ancak İspanya'nın Almeria bölgesinde güneş panelleri ve biyokütle enerjisi kullanan seralar, enerji tüketiminin %65'ini karşılayarak karbon ayak izini 1.1 kg CO₂-eq/kg'a düşürmüştür [54]. Su yönetiminde ise kapalı devre sulama sistemleri, açık alan tarımına kıyasla nitrat sızıntısını %90 azaltarak yeraltı sularının kirlenmesini engellemektedir. [55].

Bu çalışmanın bir başka amacı, sera koşullarında muz yetiştiriciliğinin teknik, ekonomik ve çevresel boyutlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmek ve özellikle Akdeniz bölgesi (Türkiye, İspanya) ile Hollanda örnekleri üzerinden sürdürülebilir çözüm önerileri sunmaktır. Çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına da genel bir bakış açısı sağlamaktadır:

- Sera sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla verim ve hastalık kontrolünde ne ölçüde etkilidir?
- Yüksek teknoloji sera yatırımlarının ekonomik fizibilitesi nasıl hesaplanabilir?
- Su ve enerji tüketimini azaltan yenilikçi sera tasarımları nelerdir?

2.5.1. Sera sistemlerinin geleneksel yöntemler ile kıyaslanması ve hastalık kontrolü

Sera sistemleri, kontrollü çevre koşulları ve modern tarım teknolojileri sayesinde verim artışı ve hastalık kontrolü açısından geleneksel açık alan yetiştiriciliğine kıyasla önemli avantajlar sunar. Bu avantajlar, aşağıda detaylı veriler, tablolar ve formüllerle desteklenmektedir.

2.5.1.1. Örnek sera sistemleri ile geleneksel yöntemlerin verime etki eden parametrelerinin karşılaştırması

Sera koşullarında sıcaklık, nem, ışık ve CO₂ seviyelerinin optimize edilmesi, bitki fizyolojisini doğrudan etkileyerek verimi artırmaktadır.

Tablo 2.1. Sera ve açık alan verim karşılaştırması [44]-[76]

Parametre	Açık Alan (kg/m ² /yıl)	Sera (kg/m ² /yıl)	Artış Oranı (%)
Türkiye (Antalya)	18.2 ± 2.1	27.5 ± 3.4	+51
İspanya (Almeria)	20.1 ± 1.8	32.0 ± 4.2	+59
Hollanda (Wageningen)	22.5 ± 2.5	35.0 ± 5.0	+56

Tablo 2.2. Verim artışını sağlayan sera parametreleri [41]-[43]-[56]-[57]

Parametre	Açık Alan Değeri	Sera Değeri	Verim Artışı (%)
Sıcaklık Kontrolü	18–35°C (değişken)	25–30°C (sabit)	+25
Bağıl Nem	%40–90 (değişken)	%75–85 (sabit)	+18
CO ₂ Konsantrasyonu	400 ppm	800–1200 ppm	+30
Işık Şiddeti (PAR)	400–500 µmol/m ² /s	600–800 µmol/m ² /s	+22

- Sıcaklık Kontrolü: Muz bitkisi, 25–30°C aralığında maksimum fotosentez hızına ulaşır. Sera içi sıcaklığın sabit tutulması, hücre bölünmesini hızlandırarak gövde kalınlığını %20 artırmaktadır [56].
- CO₂ Zenginleştirme: CO₂ seviyesinin 800 ppm'e çıkarılması, Rubisco enzim aktivitesini artırarak yaprak başına fotosentetik verimi 35 µmol CO₂/m²/s'ye yükseltmektedir [43].
- Hidroponik Besleme: Topraksız sistemlerde besin solüsyonunun EC değeri (2.5 mS/cm) ve pH (5.8) optimizasyonu, kök gelişimini %40 iyileştirmektedir [44].

$$\text{Fotosentetik Verim } (\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{s}) = (\text{PAR} \times \phi\text{CO}_2) / 1000 \quad (2.1)$$

Bu formül, CO₂ zenginleştirmenin verim üzerindeki etkisini kanıtlamak için kullanılmaktadır [43].

2.5.1.2. Sera sistemleri ile geleneksel yöntemlerin hastalık kontrol ünitelerinin kıyaslanması

Sera sistemleri, hastalık yönetiminde fiziksel bariyerler, steril ortam ve biyolojik kontrol yöntemleriyle geleneksel tarıma göre avantaj sağlar.

Tablo 2.3. *Hastalık kontrol yöntemlerinin etkinliği*

Yöntem	Açık Alan Hastalık Oranı (%)	Sera Hastalık Oranı (%)	Etkinlik (%)
Biyolojik Kontrol	28	8	-71
UV Filtreli Sera Örtüsü	22	5	-77

Aşağıdaki metrik, İsrail Tarım Bakanlığı tarafından hastalık yönetim stratejilerinin etkinliğini ölçmek ve hastalık yayılım indeksini somut bir biçimde hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$\text{Hastalık İndeksi} = (\text{Hastalıklı Alan} / \text{Toplam Alan}) \times 100 \quad (2.2)$$

2.5.1.3. Sera sistemlerindeki su kullanım verimliliği

Aşağıdaki formülde su kullanım verimliliği sayısal olarak bulunabilir. Ayrıca araştırmalara göre; Sera sistemlerinde SKV değeri, açık alana göre 3 kat daha yüksek olabileceği tespit edilmiştir [41].

$$\text{SKV} = \text{Toplam verim} / \text{Toplam Su Tüketimi} \quad (2.3)$$

2.6. Grand Noir Cinsi Muzun Açık Alan ve Kontrollü Sera Üretimindeki Verim Karşılaştırması

Çeşitli parametreler ele alınarak Grand Noir Cinsi Muz Meyvesinin verim karşılaştırılması incelenmiştir. Literatür araştırması ile bu bulgular desteklenmiştir.

2.6.1. Sıcaklık optimizasyonu

Grand Noir muz, fotosentez ve meyve olgunlaşması için 25–28°C aralığını gerektirir [58]. Açık alanda sıcaklık dalgalanmaları (örneğin 15°C'nin altı veya 35°C'nin üstü), bitki metabolizmasını yavaşlatır ve meyve kalitesini düşürür [59]. Sera koşullarında

stabil sıcaklık (20–30°C), enzim aktivitesini optimize ederek %15–20 daha hızlı büyüme sağlamaktadır [60].

2.6.2. Işık yönetimi ve DLI etkisi

Açık alanda muz bitkileri, tropikal bölgelerde 18–22 mol/m²/gün Daily Light Integral (DLI) alır [61]. Sera çatısının %74 kapalı (opak) ve kalan %26'sı SHGC 0.51 ışık geçirgenliğine sahip olduğu dikkate alınmaktadır. Manisa ilinde yıllık ortalama güneş radyasyonu 4.5 kWh/m²/gün ve PAR dönüşüm katsayısı 4.8 mol/kWh [62]. LED Katkısı ise 600 µmol/m²/s ve 8 saat olarak tasarlanmaktadır.

$$\text{Açık Alan PAR} = 4.5 \times 4.8 = 21.6 \text{ mol/m}^2/\text{gün} \quad (2.4)$$

$$\text{Etkin PAR} = 21.6 \times (0.26 \times 0.51) = 2.86 \text{ mol/m}^2/\text{gün} \quad (2.5)$$

$$\text{LED PAR} = \frac{600 \times 8 \times 3600}{1,000,000} = 17.28 \text{ mol/m}^2/\text{gün} \quad (2.6)$$

$$\text{TOPLAM DLI} = 2.86 + 17.28 = 20.14 \text{ mol/m}^2/\text{gün} \quad (2.7)$$

Bu değer, muz için optimal DLI aralığında (20–30 mol/m²/gün) kalarak muzun fotorespirasyon riskini ortadan kaldırmaktadır. [63].

2.6.3. CO₂ zenginleştirmesinin fotosenteze etkisi

Açık alanda CO₂ konsantrasyonu 400 ppm iken, kompost kaynaklı sera içi CO₂ seviyesi 800 ppm'e çıkar [64]. Bu artış, Rubisco enziminin karboksilaz aktivitesini %40 artırarak net fotosentez hızını yükseltir [65]. Sera koşullarında yaprak alan indeksi (LAI) 4.5'e ulaşırken, açık alanda bu değer 3.2 ile sınırlı kalmaktadır. [66].

2.6.4. Havalandırma sisteminin termal ve nem kontrolü & sulama etkisi

Zorlanmış havalandırma, sera içi sıcaklığı 30°C altında tutarak bitki stresini azaltır [67]. Ayrıca, bağıl nemi %70–80 aralığında sabitler, bu da fungal hastalık riskini açık alana kıyasla %40 düşürmektedir. [68].

2.6.5. Damla sulama sisteminin etkisi

Damla sulama, su kullanım verimliliğini %35 artırır ve kök bölgesinde optimal nem (–15 kPa toprak su potansiyeli) sağlar. Bu, meyve ağırlığını açık alandaki sulamaya kıyasla %12–18 artırmaktadır. [69].

2.6.6. Dikim aralığı ve mikroiklim etkileşimi

2x2.5 m dikim aralığı (2,000 bitki/ha), açık alanda fungal hastalık riskini %30 artırır (yaprak ıslaklık süresinin uzaması nedeniyle) [70]. Ancak serada, zorlanmış havalandırma ve nem kontrolü (%70–80 RH) sayesinde bu risk %10’a düşer [71]. Yoğun dikim, yaprak alan indeksini artırsa da, LED’lerin homojen ışık dağılımı ile fotosentetik verim korunmaktadır. [72].

2.6.7. Bitki başına verim ve toplam verim

Açık alanda Grand Noir verimi 25–30 kg/ağaç/yıl iken [73], optimize edilmiş sera koşullarında CO₂ ve DLI Sinerjisi: Verim 45 kg/ağaç/yıl’a ulaşır [74]. Havalandırma ve Sulama Katkısı: Meyve kalitesindeki iyileşme, pazar değerini %20 artırmaktadır.[75].

$$\text{Bitki sayısı} = 2115 \text{ m}^2 / (2 \times 2.5) = 423 \text{ bitki} \quad (2.8)$$

$$\text{Toplam Yıllık Verim} = 423 \times 45 = 19,035 \text{ kg/yıl} \quad (2.9)$$

$$\text{Verim Artışı} = ((19,035 / 12,690) - 1) \times 100 = \%50 \quad (2.10)$$

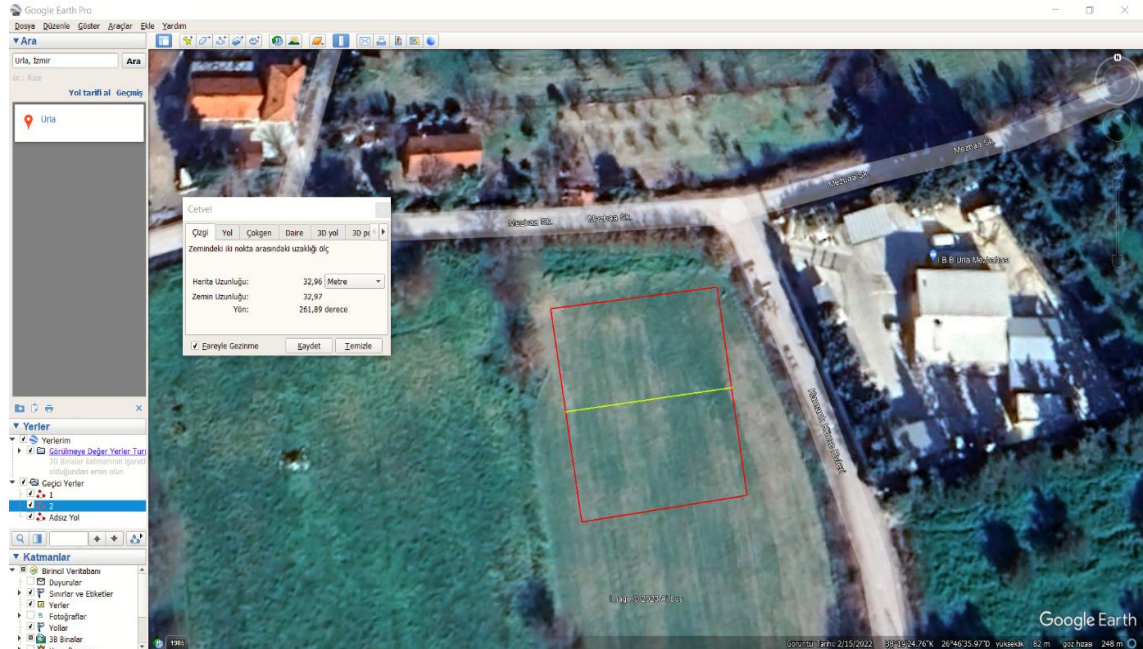
3. UYGULAMA VE SONUÇLAR

3.1. PVsyst Simülasyon Programı

PVsyst programı, şebekeye bağlı , şebekeden bağımsız , fotovoltaik sistemlerin performans analizi , ekonomik analiz ve verimliliğini genel ve kapsamlı olarak gösteren bir simülasyon programıdır. Bu program; benzerlerine kıyasla, daha detaylı hesaplamalar ve farklı parametreler kullanarak hesaplamalar yapmaktadır. Bir PV sistemi; dizi, akü ve güç elemanları içerir. Gereken tüm bileşenleri program üzerinden tanıtip (yada hali hazırda tanımlı olan) ardından seçtikten sonra simülasyondaki diğer gereken hava durumu bilgileri, azimut açısı, konuma bağlı ışıınım ve güneşlenme değerlerini uygulayıp simülasyona devam edilmektedir.

3.2. Coğrafi Konuma Ait Verilerin PVsyst Programına Girişi

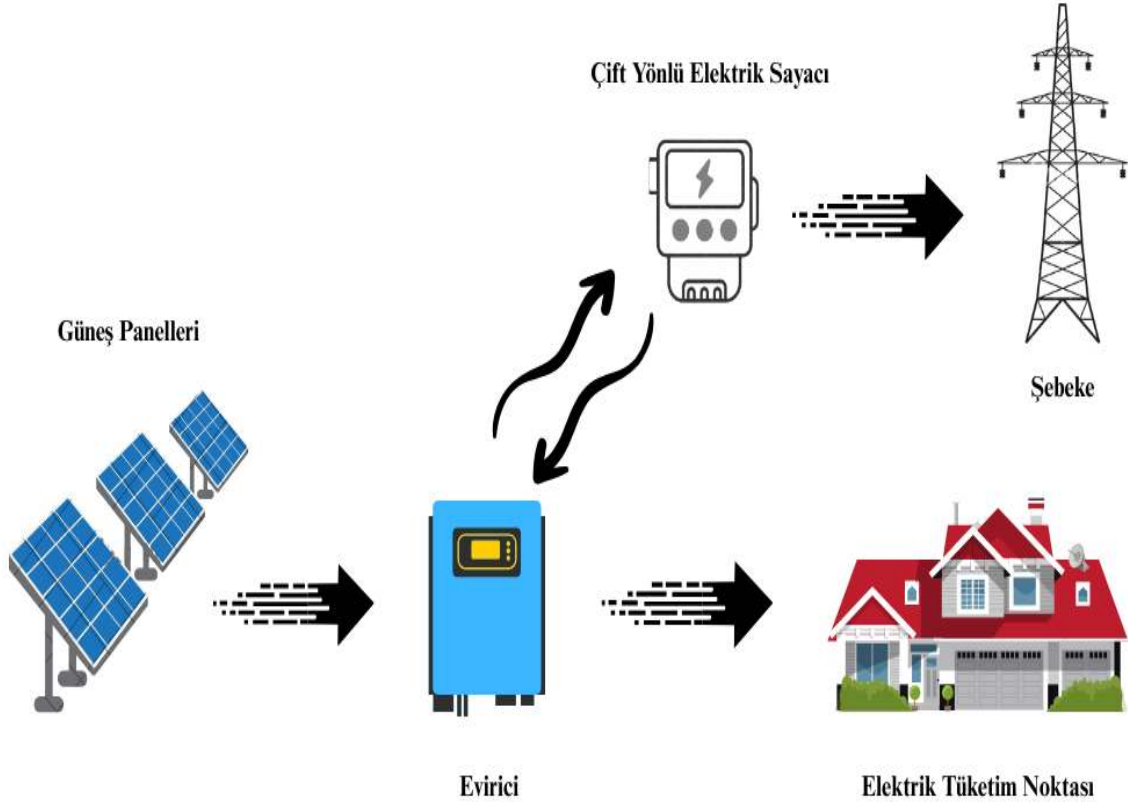
Google Earth Pro programı kullanılarak seçilen alanın uydu görüntüsü ile gerçek ölçüde metrajı ve enlem & boylam değerleri belirlenir. 38.62 derece enlem , 27.37 derece boylam üzerinde konumlandırılmıştır. Kurulması planlanan alanın merkezine bir dikme çekilip program aracılığı ile kuzeye olan açısı bulunur. Azimut açısının 180 ile -180 derece arasında olması gerekmektedir. Bu sebeple 262 derecelik gösterilen açı değeri 360 dereceden çıkartılır. Azimut değeri -98 derece olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Kurulum yapılacak alanın uydu görüntüsü

3.3. PV Şebeke Sisteminin Tanımı

Şebekeye bağlı (on-grid) bir PV sistemi; güneş panelleri, eviriciler, bir güç koşullandırma ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanından meydana gelmektedir. Enerji depolama için kayıplar meydana gelmeyeceğinden dolayı güneş enerjisinden üretilen gücün etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Önerilen model Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Şebekeye bağlı PV sistemi şeması

Şebekeye bağlı PV sistemlerde güneş panelleri elektriği ürettiği ve şebekeye ilettiğinden dolayı panellerin voltaj değerleri önem arz etmektedir. Evirici (inverter)’nin çalışabileceği voltaj aralığına göre paneller tercih edilmektedir. Panellerin güç değerine göre voltaj ve akımın değiştiği unutulmamalıdır.

İnverter, şebekeye bağlı sistemlerin en temel bileşenlerinden biri olarak çalışmaktadır. Güneş panellerinden alınan DC elektriği AC elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılmaktadır. Çift yönlü elektrik sayaçları, tek yönlü elektrik sayaçları gibi şebekeden gelen elektriği elektrik tüketim noktasına dağıtmaktadır. Tek yönlü sayaçtan farkı ise, harici bir yerden üretilen elektriği de elektrik şebekesine iletmektedir.

Şebekeye bağlı sistem tanımlama, Varyant VCO: "Yeni simülasyon varyantı"

Alt alan

Alt dizinin ismi ve yönü
İsim: PV alanı
Yön: Sabit eğik düzlem
Eğim: 6°
Azimut: -98°

Ön boyutlandırma yardımı
☐ Boyutlandırılmaz
☒ Boyutlandır
Planlanan gücü giriniz: 334.4 kWp
... veya mevcut alan(modül): 1571 m²

PV modül seçimi

Sık kullanılanlar: Filtre: Tüm PV modüller
Maks. modül sayısı: 608
Favorites: 550 Wp 35V Si-mono SRP-550-BMA-HV-182-T0721 Seraphim Manufacture 2021-
☐ Optimizör kullan
Gerilim boyutlama: Vmpp (60°C): 36.3 V
Voc (-10°C): 54.6 V

İnvertör seçimi

Sık kullanılanlar: Çıkış gerilimi: 400 V Tri 50Hz
Favorites: 80 kW 200 - 1000 V 50/60Hz ASW80K-LT Solplanet
İnvertör sayısı: 3
Çalışma gerilimi: 200-1000 V İnvertör global gücü: 240 kWac
☐ Multi-MPPT kullanımı
Maksimum giriş gerilimi: 1100 V 8 MPPT ile invertör

Düzi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı
Seri mod. sayısı: 16
Zincir sayısı: 38
Ağrı yük kaybı: 1.1 %
Nom. güç oranı: 1.39
Panel sayısı: 608 Yüzey: 1571 m²

İşletme koşulları
Yüzey ışıması: 1000 W/m²
Vmpp (60°C): 580 V
Vmpp (20°C): 675 V
Voc (-10°C): 873 V
İmp (STC): 508 A
Isc (STC): 532 A
İsc (STC'de): 532 A
Yeri maks: 307 kW
Maksimum işletme gücü (1000 W/m² için ve 50°C)
Alan nominal gücü (STC): 334 kWp

İnvertör gücü hafife yeterlidir.

Alt alanlar listesi

İsim	#Mod #İnv.	#Zincir #MPPT
Seraphim - SRP-550-BMA-HV-182	16	38
Solplanet - ASW80K-LT	3	1

Global sistem özeti

Panel sayısı	608
Panel yüzeyi	1571 m²
İnvertör sayısı	3
PV nominal gücü	334 kWp
Maksimum PV gücü	303 kWDC
Nominal AC gücü	240 kWAC
Nom. güç oranı	1.393

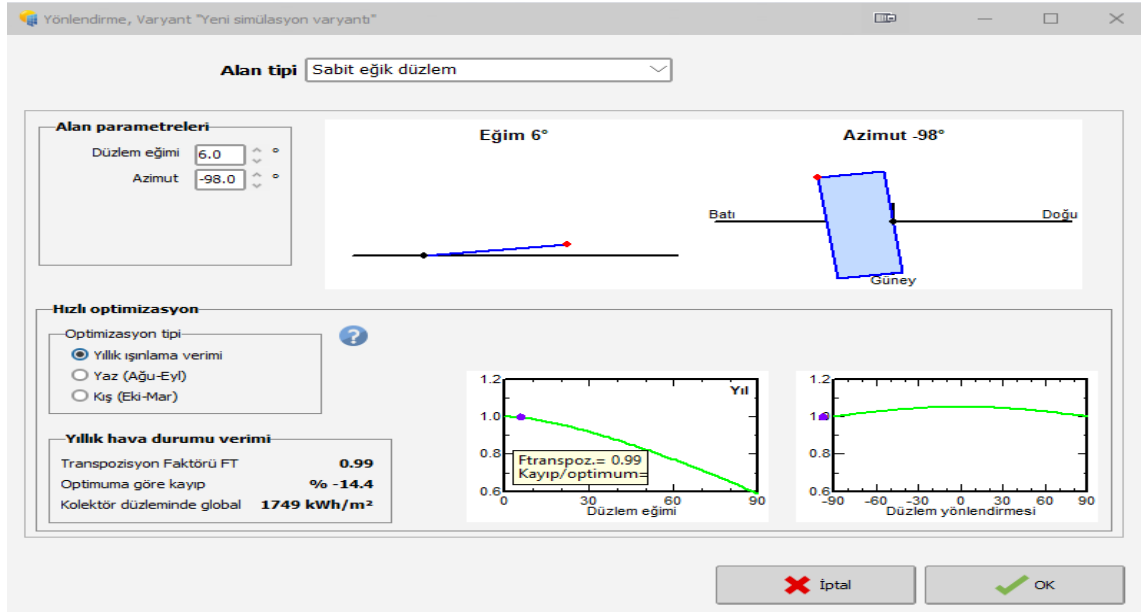
Sistem özeti

Basit taslak İptal OK

Şekil 3.3. PVsyst üzerinde detaylı sistem tanımlama ekranı

3.4. PV Sistemin Yönlendirmesi

Güneş azimut (α) açısı, herhangi bir bölgede ve zamanda, Güneş'e doğru varsayılan doğrunun, yataydaki izdüşümünün güney doğrultusu ile arasında kalan açıdır. Buradaki sistem tarımsal GES kapsamında bir tasarım olacağı için önceden bulduğumuz azimut değeri -98 derece olarak girilip eğimi 6 derece kabul edilmektedir.



Şekil 3.4. PV Paneller için panel açısı ve azimut değer tablosu

3.5. Sistemde Kullanılacak Eviricilerin Belirlenmesi

Fotovoltaik paneller kullanılarak enerji elde edilmesi aşamasında evirici, alternatif enerjinin anlık olarak incelenmesi ve depolama işlemleri hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Şebekeye bağlı herhangi bir sistemde, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için evirici gerekmektedir. İnverter, tasarım için PVsyst yazılımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu projede toplamda 3 adet 80 kWe gücünde Solplanet ASW80K-LT model evirici kullanılmaktadır. Teknik özellikleri Tablo 3.1.'de belirtilmektedir.

Bu projede evirici seçiminin Solplanet ASW80K-LT model olmasının temel sebeplerinden birisi Türkiye pazarındaki 2025 Mart tarihi itibarı ile stok ve termin süreçlerinin diğer markalara göre daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Bir diğer unsur ise maliyetin kısmen daha düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Tablo 3.1. Evirici özellikleri

	Teknik Özellikler	ASW 80K-LT	ASW 100K-LT	ASW 110K-LT
Giriş (DC)	Maksimum PV dizi gücü	120000 Wp STC	150000 Wp STC	165000 Wp STC
	Maksimum giriş voltajı	1100 V		
	MPP voltaj aralığı / nominal giriş voltajı	200 V - 1000 V / 630 V		
	Minimum giriş voltajı	200 V		
	İlk besleme gerilimi	250 V		
	Maksimum giriş akımı	32 A		
	Maksimum kısa devre akımı	48 A		
	Bağımsız MPP giriş sayısı / MPP giriş başı dizi sayısı	8/2	10/2	10/2
Çıkış (AC)	Nominal çıkış gücü	80000 W	100000 W	110000 W
	Maksimum görünür AC gücü	80000 VA	110000 VA	121000 VA
	Nominal AC voltajı	220 V / 380 V , 230 V / 400 V		
	AC voltaj aralığı	312 V - 528 V		
	AC şebeke frekansı	50 Hz / 45 Hz-55 Hz , 60 Hz / 55 Hz-65 Hz		
	Nominal AC çıkış akımı	115.8 A	144.3 A	158.8 A
	Maksimum AC çıkış akımı	127 A	158.8 A	174.7 A
	Ayarlanabilir güç faktörü aralığı	0.8 kapasitif 0.8 endüktif		
	Besleme fazları	3 / 3-N-PE		
	Nominal çıkışta harmonik bozulma (THD)	< 3%		
	Maksimum verim	98.60%		

3.6. Sistemde Kullanılacak PV Modülünün Belirlenmesi

Toplamda 608 adet ve her biri 550Wp özellikteki Seraphim SRP-550-BMA-HV model paneller seçilmiştir. Bu modelin seçilmesindeki en temel unsurlar, aynı eviricide olduğu gibi stok ve termin süresindeki kısalıktır. Buna ek olarak da Wp başına ödenecek ücret diğer modellere kıyasla benzer olduğundan dolayı bu projede kullanmak için tercih edilmektedir.

Modül sayısı ve zincir sayısı, tasarımda kullanılan en temel parametrelerden kabul edilmektedir. Seri modül sayısı, modüllerin seri olarak bağlandığında oluşturmuş olduğu dizi sayısını temsil etmektedir. PVsyst programında modüller ve eviricinin çalışma gerilimleri göz önünde bulundurularak uyumluluk hesabı yapılmaktadır.

Zincir sayısı, paralel olarak bağlanan dizi sayısını ifade eder. Zincir sayısındaki artış toplam gücü arttırmaktadır. Akım ise buna paralel olarak artmaktadır, bu sebeple evirici özelliğine göre akım sınırlarına dikkat edilerek hesaplamalar yapılmaktadır.

Görsel 3.2. 'de belirtildiği üzere gerekli hesaplamalar doğrultusunda bu projedeki seri modül sayısı 16 , zincir sayısı ise 38 olarak belirlenmektedir. Modül tipinin tüm teknik özellikleri Tablo 3.2.'de ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Tablo 3.2. PV modül teknik özellikleri

Modül Tipi	SRP-535-BMA-HV		SRP-550-BMA-HV	
	STC	NOCT	STC	NOCT
Maksimum Güç (STC)	535	402	550	414
Açık Devre Voltajı (Voc)	49.4	46.09	49.7	46.4
Kısa Devre Akımı (Isc)	13.7	11.08	14	11.32
Maksimum Güç Voltajı (Vmp)	41.29	38.33	42.05	38.58
Maksimum Güç Akımı (Imp)	12.96	10.5	13.08	10.73
Modül Verimliliği (STC)	20.7		21.28	
Güç Toleransı	(0,+3%)			
Maksimum Sistem Voltajı	1500 V DC			
Maksimum Seri (Paralel bağlantı)	25 A			
Sıcaklık katsayısı (Pmax)	-0.35 %/°C			
Sıcaklık katsayısı (Voc)	-0.27 %/°C			
Sıcaklık katsayısı (Isc)	+0.05 %/°C			
Çalışma Sıcaklığı	-40~+85°C			
Normal Hücre Çalışma Sıc. (NOCT)	45±2°C			

3.7. Sistemde Kullanılacak DC & AC Kabloların Belirlenmesi

Sistemde 6mm² çapında DC kablo ve 3x50mm² + 25 mm² N2XH(CU) AC kablo kullanılmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. 1 evirici için AC için gerilim düşümü hesabı yapılmış olup bu değer %1.388 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak %3'ün altında kalması beklenmektedir. Bakır ve alüminyum kıyaslandığında bakır kablonun daha düşük oranda gerilim düşümü sağladığı incelenmiştir. (Bkz. Tablo 3.3., Tablo 3.4., Tablo 3.5.)

Tablo 3.3. 6mm² DC kablo ve akım taşıma kapasitesi

Nominal Kesit	mm ²	2.5	4	6	10
İletken Çapı	mm	1.95	2.5	3	4.1
Dış Çap (Minimum)	mm	4.7	5.2	5.7	6.8
Dış Çap (Maksimum)	mm	5.1	5.6	6.1	7.2
Yaklaşık kablo ağırlığı	kg/km	45	60	80	120
Maksimum DC iletken direnci (20°C)	Ω/km	8.21	5.09	3.39	1.95
Akım taşıma kapasitesi (60°C ve havada)	A	41	55	70	98

Tablo 3.4. 3x50mm²+25 mm² N2XH(CU) AC kablo özellikleri ve gerilim düşümü

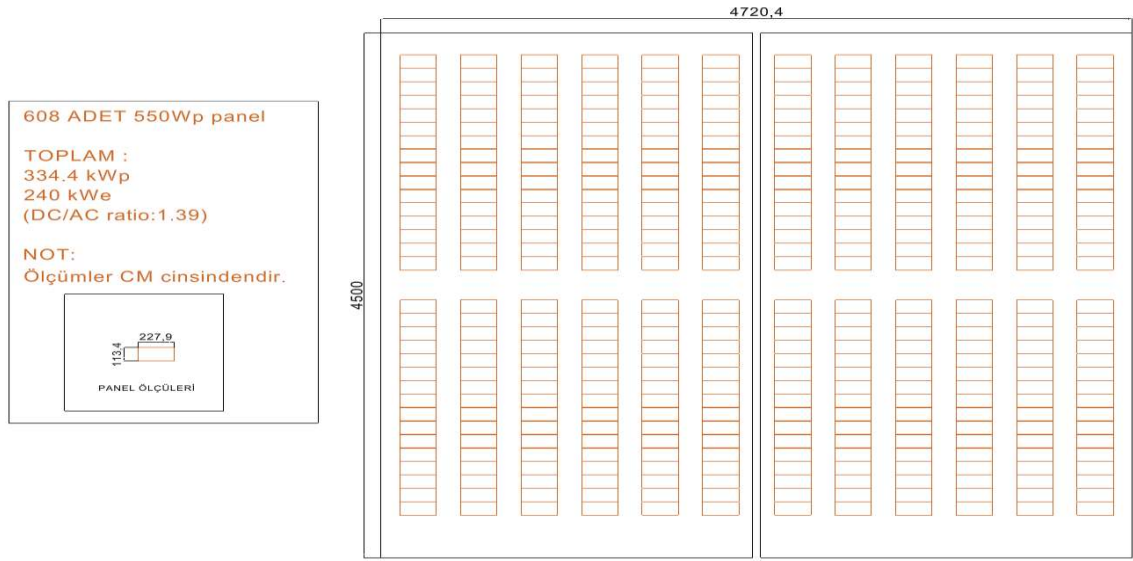
"			ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER			
Normal Kesit	Dış Çap (Yaklaşık)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu	İletken DC Direnci 20 °C Max	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	
mm ²	mm	kg/km	m	ohm/km	Toprakta 20 °C	Havada 30 °C
3x16+10	19,0	850	1000	1,15	111	96
3x25+16	24,0	1350	1000	0,727	143	130
3x35+16	25,5	1650	1000	0,524	173	160
3x50+25	28,8	2200	1000	0,387	205	195
3x70+35	33,5	3100	1000	0,268	252	247
3x95+50	37,5	4100	1000	0,193	303	305
3x120+70	42,0	5200	500	0,153	346	355
3x150+70	45,9	6250	500	0,124	390	407
3x185+95	51,0	7800	500	0,0991	441	469
3x240+120	58,0	10100	500	0,0754	511	551
3x300+150	63,0	12500	250	0,0601	580	638
3x400+185	71,0	16000	250	0,0470	663	746

Tablo 3.5. AC kablo akım taşıma ve gerilim düşümü hesaplama tablosu

Taşınacak Güç (kWe):	80	Nominal Akım(A):	115,61
Taşıma Mesafesi (mt):	70	(Gereken)	
Kablo kesiti:	50	Nominal Akım·1,25(A):	144,51
Kablo devre sayısı:	1	(Tedaş Kabul Koşulu)	
Kablo Akım Taşıma Kapasitesi:	195	Kablo Akım Taşıma Değeri(A):	168,66
		CU Gerilim Düşümü (%):	1.3888
		AL Gerilim Düşümü (%):	2.2176

3.8. Sistemin AutoCAD Programı Üzerinden Çizimi

Seranın çatısı kuşbakışı olarak 1:1 ölçeklendirme ile çizilip yapının yerleşimi gerçek yüzey alanına göre ayarlanmıştır. Paneller aralıklı bir biçimde dizilmiştir, panellerin toplam alanı yaklaşık 1565 m² ve çatının %74'lük kısmını kaplamaktadır. Çatıdaki kalan boşluk, çatı alanının %26'sına eşittir bu da yaklaşık olarak 550 m² olarak hesaplanmıştır. Toplam 334.4 kWp gücünde ve 3 adet 80 kWe evirici ile birlikte toplamda 240 kWe değerine sahiptir. DC/AC oranı 1.39 olarak kullanılmıştır.

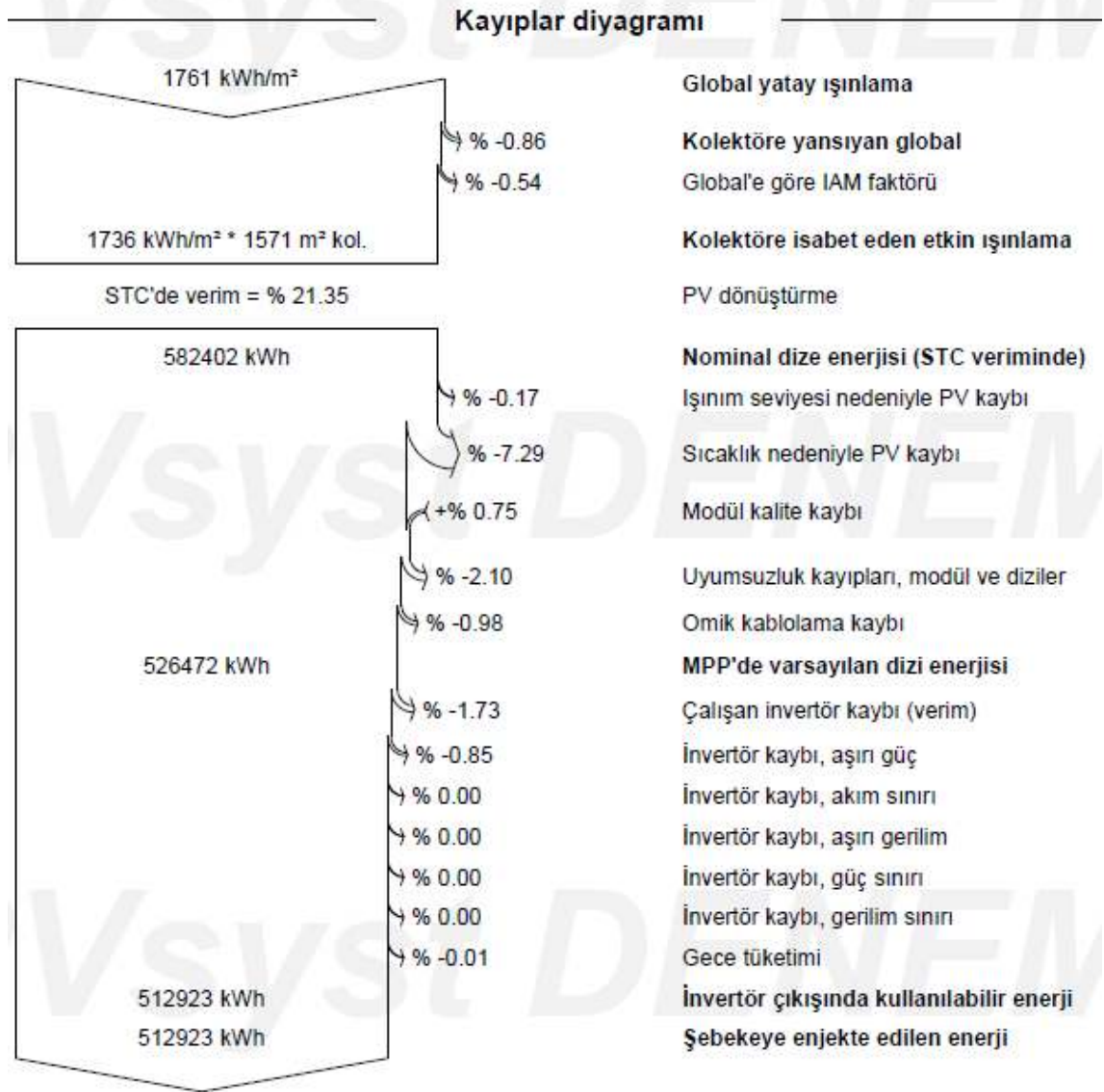


Şekil 3.5. AutoCAD çizim görseli (kuşbakışı)

3.9. PVsyst Simülasyon Sonuçları

Tablo 3.6. PVsyst simülasyon sonuçları ve aylık üretim tablosu (kWh)

Aylar	GlobHor (kWh/m2)	DiffHor (kWh/m2)	T Amb (°C)	Globinc (kWh/m2)	GlobEff (kWh/m2)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	PR (%)
Ocak	66.6	32.5	Tem.41	66	65.3	21484	21131	95.7
Şubat	76.9	36.7	Ağu.96	75.1	74.5	24188	23776	94.7
Mart	129.7	56.4	Ara.13	127.5	126.8	40229	39530	92.7
Nisan	167.2	66.6	15.95	166.3	165.5	50877	49970	89.9
Mayıs	211.3	82.4	21.34	210.8	209.9	62268	61156	86.8
Haziran	229.9	70.1	25.86	229.6	228.7	65713	64546	84.1
Temmuz	241.6	61.2	29.27	240.2	239.3	67776	66571	82.9
Ağustos	216.2	56.3	29.Tem	214.8	214	61672	60584	84.3
Eylül	167.9	46.1	23.81	166.6	165.7	49581	48713	87.5
Ekim	118.9	43.4	18.58	116.9	116.2	36051	35438	90.6
Kasım	76.7	31.Oca	13.53	75.3	74.6	23951	23554	93.5
Aralık	57.7	25.Mar	Ağu.97	56.4	55.6	18260	17955	95.2
YILLIK	1760.6	608.1	17.96	1745.5	1736.2	522050	512923	87.9



Şekil 3.6. Tüm yıl boyunca hesaplanan kayıplar diyagramı

3.10. Sera İçi Grand Noir Muz Üretimini Çok Faktörlü Analizi

Bu kısımda, birden fazla parametre ve literatür araştırmaları doğrultusunda Manisa/Türkiye konumunda simüle edilen seranın üretim faaliyeti için gerekli olan parametreler incelenmiş ve optimize edilmiştir. Seranın iç ortam sıcaklığı 20 santigrat derece minimum , 30 santigrat derece maksimum olacak şekilde sabit bir aralıkta tutulup gerekli termodinamik hesaplamalar dahilinde 12 ay için tek tek hesaplanmıştır.

Bu parametrelere ek olarak, Grand Noir cinsi muz türünün açık alan seralarından daha verimli bir hale gelmesi için gerekli olan parametreler literatürden destek alınarak optimize edilip mahsül çıktısında artış sağlanmıştır, devamında ise yıllık bazda yatırım-geridönüş analizi yapılarak detaylandırılmıştır.

3.10.1. Sera içindeki elektrik tüketen ekipmanlar

3.10.1.1. Isı pompası

Modern tarım uygulamalarında, sera içi iklim koşullarının sürekli kontrolü verimlilik ve ürün kalitesi için kritik öneme sahiptir. Isı pompaları, bu amaçla enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu bir çözüm sunar. Bir ısı pompası, dış ortamdan çektiği düşük sıcaklıktaki enerjiyi elektrik enerjisi kullanarak sera içine taşır.

Manisa ili dış sıcaklıkları da göz önüne alınarak seranın iç ortam sıcaklığını istenilen seviyede tutmak için toplamda 3 adet ısı pompası kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma kapasiteleri net termal yük (Q_{net}), soğutma için enerji verimlilik oranı (EER) ve ısıtma için performans katsayısı (COP) verilerine göre aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$\text{Soğutma Kapasitesi} = \frac{Q_{net}}{EER} \quad (3.1)$$

Gereken soğutma kapasitesi bu formül ile hesaplanır.

$$\text{Isıtma Kapasitesi} = \frac{Q_{net}}{COP} \quad (3.2)$$

Gereken ısıtma kapasitesi bu formül ile hesaplanır.



Şekil 3.7. 16 kW ısı pompasının iç yapısı (ısıtma ve soğutma) [http-1]

Serada kullanılacak olan ısı pompasının teknik özellikleri ;

- Toplam kapasite : 16 kW
- Isıtma modundaki performans katsayısı (COP) : 4.9
- Soğutma modundaki performans katsayısı (EER) : 3.7

3.10.1.2. Havalandırma sirkülasyon fanları

Sera sirkülasyon havalandırma fanları, ısı pompası sistemlerinin verimliliğini tamamlayan kritik bir bileşendir. Bu fanlar, hava akışını optimize ederek sıcaklık ve nem gradientlerini kırar, böylece bitki kök bölgesinden tavan seviyesine kadar homojen bir mikroiklim yaratır. Aynı zamanda, yaprak yüzeyindeki durgun nem tabakasını ortadan kaldırarak mantar hastalıkları riskini düşürür ve buharlaşma yoluyla pasif serinletme sağlar. Bu entegre sistem, enerji maliyetlerini düşürürken ürün kalitesini ve verimini artırarak sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biri haline gelir.

Tablo 3.7. Serada kullanılacak olan fanların teknik özellikleri

Model	Kademe	Güç (kWh)	Devir (rpm)	Debi (m³/h)
SF400	3	0,18	1400	5890
SF400	2	0,09	700	2945
SF400	1	0,045	350	1473

$$\text{Sera hacmi}=45 \text{ m} \times 47 \text{ m} \times 4 \text{ m}=8,460 \text{ m}^3 \quad (3.3)$$

Toplam Fan Kapasitesi:

$$18 \text{ adet} \times 5890 \text{ m}^3/\text{saat}=106,020 \text{ m}^3/\text{saat} \text{ (maksimum değer)} \quad (3.4)$$

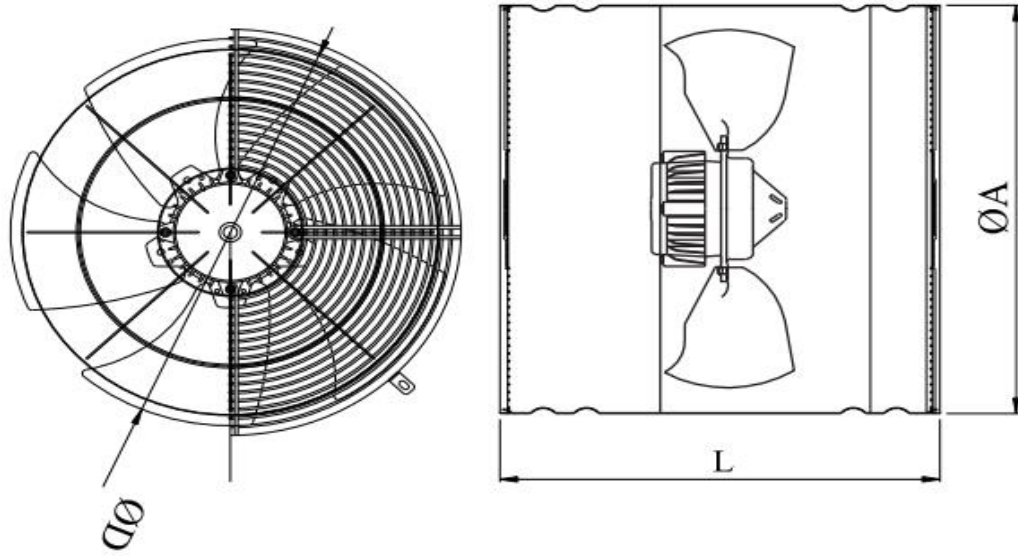
$$18 \text{ adet} \times 1473 \text{ m}^3/\text{saat}=26514 \text{ m}^3/\text{saat} \text{ (minimum değer)} \quad (3.5)$$

Saatlik Hava Değişim Sayısı (ACH):

$$\frac{106,020 \text{ m}^3/\text{saat}}{8,460 \text{ m}^3} \approx 12.5 \text{ değişim/saat. (maksimum değer)} \quad (3.6)$$

$$\frac{26514 \text{ m}^3/\text{saat}}{8,460 \text{ m}^3} \approx 3.13 \text{ değişim/saat. (minimum değer)} \quad (3.7)$$

Fanlar sera dışı ile sera içi farkına göre optimize sistem ile kurulmuştur. Kullanılan fanların 3 modu vardır, en düşük mod (45 Wh) tüketimli olan modelde minimum hava değişimi değeri olan 3 değişim/saat değerine 18 adet fan ile ulaşılabilmektedir. Sonraki bölümlerde farklı çalışma modlarındaki tüketimler hesaplanarak aylık tüketim tablosunda gösterilecektir.



Şekil 3.8. 0.18 kWh sirkülasyon fan şeması

3.10.1.3. Led aydınlatmalar

421 adet 0.15 kW ve 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PPFD değerindeki LED aydınlatmalar kullanılmıştır. Adet seçimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır;

LED Teknik Özellikleri:

- Işık dağılım açısı: 120°.
- Aydınlatma mesafesi: 0.71m (bitkilerden LED'e olan uzaklık).
- Aydınlatılan alanın yarıçapı:

$$r = 0.71 \text{ m} \times \tan(60^\circ) \approx 0.71 \times 1.732 \approx 1.23 \text{ m} \quad (3.8)$$

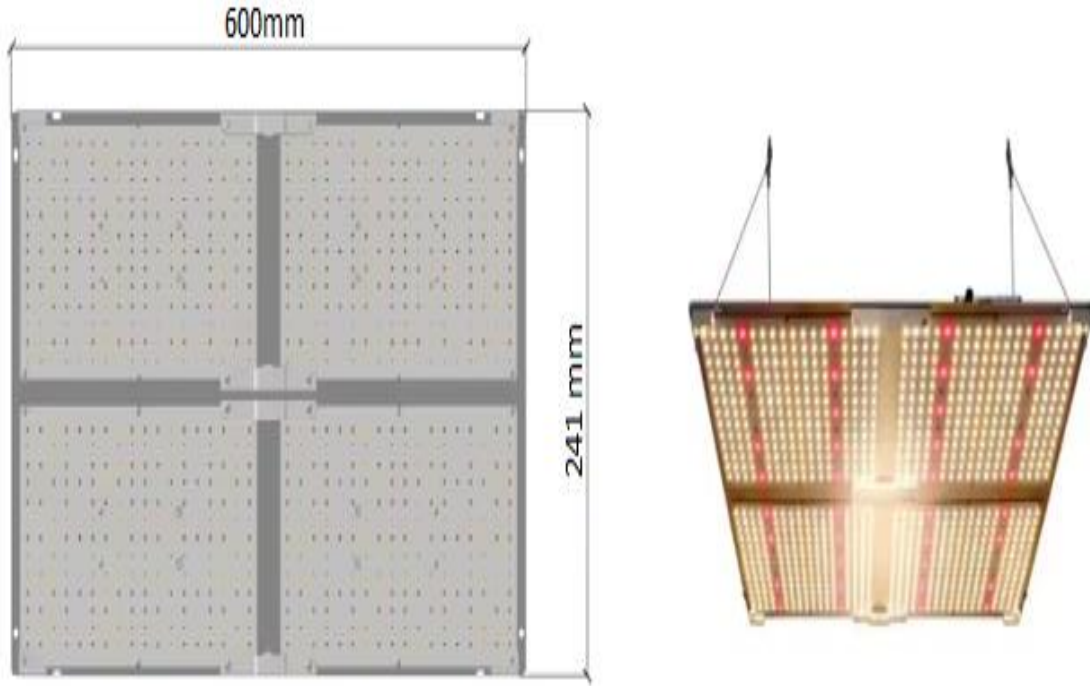
- Aydınlatılan alan:

$$\text{Alan} = \pi \times r^2 \approx 3.1416 \times (1.23)^2 \approx 4.75 \text{ m}^2 \quad (3.9)$$

Yaklaşık 2000 m^2 alan için gerekli olan LED sayısı 421.

- LED Katkısı (600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 8 saat):

$$\text{LED PAR} = \frac{600 \times 8 \times 3600}{1,000,000} = 17.28 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{gün} \quad (3.10)$$



Şekil 3.9. 0.15 kWh LED aydınlatmalar

3.11. Termodinamik ve Ekonomik Hesaplamalar

3.11.1. İletim yükü (Q_{iletim})

İletim yükü formülü aşağıda belirtilmiştir. U katsayısı polikarbonatın ve ısı transferi katsayısını göstermektedir. Bu veri üretici tarafından verilir ve gerekli dönüşümleri sağlayarak da bulunabilir. A değeri ise çatıdaki polikarbonat malzemenin alanını göstermektedir.

$$U=1.93 \text{ W/m}^2\text{K} , A=550\text{m}^2$$

Formül:

$$U\text{-Değeri W/m}^2\text{K}=0.34 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \times 5.678=1.93 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{iletim}} = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ kW} \quad (3.11)$$

3.11.2. Güneş kazancı ($Q_{\text{güneş}}$)

Pozitif olarak alınır. Güneş ışınımı sera içine ısı ekler.

- Yaz aylarında: Güneş şiddeti yüksek olduğu için $Q_{\text{güneş}}$ daha büyük pozitif değer alır.
- Kış aylarında: Güneş şiddeti azaldığı için $Q_{\text{güneş}}$ daha küçük pozitif değer alır.
 - $\text{SHGC} = 0.51$, $\tau = 0.26$, $A_{\text{çatı}} = 2115\text{m}^2$

Formül:

$$Q_{\text{güneş}} = SHGC \cdot \tau \cdot A_{\text{çatı}} \cdot I \cdot \frac{1}{1000} \text{ kW} \quad (3.12)$$

- I : Güneş ışınlam şiddeti (W/m^2), A : Çatı yüzey alanı (m^2),
- $SHGC$: Polikarbonat malzeme geçirgenliği ,
- τ : Çatının ışık geçirebilen alanı

3.11.3. Havalandırma ile ısı transferi ($Q_{\text{havalandırma}}$)

İşareti, iç-dış sıcaklık farkına göre değişir:

$$Q_{\text{havalandırma}} = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot ACH \cdot (T_{\text{iç}} - T_{\text{dış}})}{3600} \text{ kW} \quad (3.13)$$

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m^3), c_p : Özgül ısı ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$), V : Hava debisi (m^3/s).

Yaz Senaryosu:

Dış sıcaklık ($T_{\text{dış}}$) iç sıcaklıktan ($T_{\text{iç}}$) yüksek ise:

$$Q_{\text{havalandırma}} < 0 \quad (\text{Isı kazancı olduğu için negatif})$$

Örneğin: Dış 35°C , İç $25^\circ\text{C} \rightarrow$ Sera ısınır.

Kış Senaryosu:

Dış sıcaklık ($T_{\text{dış}}$) iç sıcaklıktan ($T_{\text{iç}}$) düşük ise:

$$Q_{\text{havalandırma}} > 0 \quad (\text{Isı kaybı olduğu için pozitif})$$

Örneğin: Dış 10°C , İç $25^\circ\text{C} \rightarrow$ Sera soğur.

3.11.4. Net termal yük (Q_{net})

$$Q_{\text{net}} = Q_{\text{güneş}} + Q_{\text{havalandırma}} \quad (3.14)$$

Yaz aylarında: $Q_{\text{güneş}}$ yüksek, $Q_{\text{havalandırma}}$ negatif olabilir.

Kış aylarında: $Q_{\text{güneş}}$ düşük, $Q_{\text{havalandırma}}$ pozitif olabilir.

Tablo 3.8. Sıcaklık farkına göre ısı kazancını belirleme koşulları

Parametre	Yaz (Dış Sıcak > İç Sıcak)	Kış (Dış Sıcak < İç Sıcak)
$Q_{\text{güneş}}$	Büyük pozitif	Küçük pozitif
$Q_{\text{havalandırma}}$	Negatif (Isı kazancı)	Pozitif (Isı kaybı)
Q_{net}	Negatif	Pozitif

3.11.5. ACH optimizasyon kriterleri

Saatlik hava değişimi (ACH) için gerekli sıcaklık parametreleri hesaplanarak i ve dış sıcaklık verileri ile gereken termodinamik hesaplamalar yapılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda ACH kriterleri belirlenmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.9.'da ACH optimizasyon kriterleri gösterilmektedir.

Tablo 3.9. ACH optimizasyon kriterleri tablosu

$\Delta T = T_{\text{dış}} - T_{\text{i}}$	ACH
$0^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < +2^{\circ}\text{C}$	10.03
$+2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < +4^{\circ}\text{C}$	5.0
$\Delta T \geq +4^{\circ}\text{C}$	1.0
$-2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 0^{\circ}\text{C}$	10.03
$-4^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < -2^{\circ}\text{C}$	5.0
$\Delta T < -4^{\circ}\text{C}$	1.0

3.11.6. Manisa ili için 12 aylık güneş ışınım değerleri (I)

Yıl boyu güneş ışınım değerleri meteoroloji verilerinden takip edilerek belirlenmektedir. Aylık olarak hesaplama yaparken bu parametrenin kullanımı önem taşımaktadır.

Tablo 3.10. Manisa ili için 12 aylık güneş ışınım değerleri (I)

Ay	I (W/m ²)	Açıklama
Ocak	87	Kış aylarında düşük ışınım
şubat	105	Kış-İlkbahar geçişi
Mart	145	İlkbahar başlangıcı
Nisan	195	İlkbahar ortası
Mayıs	255	Yaz ncesi yüksek ışınım
Haziran	295	Yaz pik değeri
Temmuz	310	Maksimum yaz ışınımı
Ağustos	290	Yaz sonu
Eylül	220	Sonbahar başlangıcı
Ekim	160	Sonbahar ortası
Kasım	110	Sonbahar-Kış geçişi
Aralık	80	Kış aylarında minimum ışınım

3.11.7. Seradaki enerji tüketiminin ve üretiminin 12 aylık hesaplamaları

Tablo 3.11. Ocak ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 7.2\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -12.8^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 12.8) / 3600 = +45.34\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 12.8) / 1000 = 13.57\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 87) / 1000 = 24.40\text{ kW}$
Q_{net}	$13.57 + 45.34 - 24.40 = +34.51\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$34,51 / 4.9 \cdot 744 = 5,239\text{ kWh}$

Tablo 3.12. Şubat ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 8.5\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 21\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -12.5^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 12.5) / 3600 = +44.30\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 12.5) / 1000 = 13.23\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 105) / 1000 = 29.45\text{ kW}$
Q_{net}	$13.23 + 44.30 - 29.45 = +28.08\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$28,08 / 4.9 \cdot 672 = 3,850\text{ kWh}$

Tablo 3.13. Mart ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 12.1\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 23\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -10.9^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 10.9) / 3600 = +38.63\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 10.9) / 1000 = 11.52\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 145) / 1000 = 40.67\text{ kW}$
Q_{net}	$11.52 + 38.63 - 40.67 = +9.48\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$9,48 / 4.9 \cdot 744 = 1,439\text{ kWh}$

Tablo 3.14. Nisan ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 17.3\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 25\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -7.7^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 7.7) / 3600 = +27.29\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 7.7) / 1000 = 8.16\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 195) / 1000 = 54.69\text{ kW}$
Q_{net}	$8.16 + 27.29 - 54.69 = -19.24\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$19,24 / 3.7 \cdot 720 = 3,744\text{ kWh}$

Tablo 3.15. Mayıs ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 22.6\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 27\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -4.4^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 4.4) / 3600 = +15.59\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 4.4) / 1000 = 4.66\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 255) / 1000 = 71.52\text{ kW}$
Q_{net}	$4.66 + 15.59 - 71.52 = -51.27\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$51,27 / 3.7 \cdot 744 = 10,309\text{ kWh}$

Tablo 3.16. Haziran ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 27.8\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = -0.2^{\circ}\text{C} (-2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 0^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=10.03)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 10.03 \cdot 0.2) / 3600 = +7.10\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 0.2) / 1000 = 1.27\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 295) / 1000 = 82.74\text{ kW}$
Q_{net}	$1.27 + 7.10 - 82.74 = -74.37\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$74,37 / 3.7 \cdot 720 = 14,472\text{ kWh}$

Tablo 3.17. Temmuz ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 34.5\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 30\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +4.5^{\circ}\text{C} (\Delta T \geq +4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot (-4.5)) / 3600 = -15.95\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot (-4.5)) / 1000 = -4.77\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 310) / 1000 = 86.95\text{ kW}$
Q_{net}	$-4.77 - 15.95 - 86.95 = -107.67\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$110.32 / 3.7 \cdot 744 = 21,650\text{ kWh}$

Tablo 3.18. Ağustos ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 34.0\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 30\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +4.0^{\circ}\text{C} (+2^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < +4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot (-4.0)) / 3600 = -14.17\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot (-4.0)) / 1000 = -4.25\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 290) / 1000 = 81.34\text{ kW}$
Q_{net}	$-4.25 - 14.17 - 86.3 = -99.76\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$108.97 / 3.7 \cdot 744 = 20,059\text{ kWh}$

Tablo 3.19. Eylül ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 28.4\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +0.4^{\circ}\text{C} (0^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < +2^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=10.03)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 10.03 \cdot (-0.4)) / 3600 = -14.20\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot (-0.4)) / 1000 = -0.42\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 220) / 1000 = 61.71\text{ kW}$
Q_{net}	$-0.42 - 14.20 - 61.71 = -76.33\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$83.52 / 3.7 \cdot 720 = 14,853\text{ kWh}$

Tablo 3.20. Ekim ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 21.7\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 26\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +4.3^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 4.3) / 3600 = +18.98\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 4.3) / 1000 = 4.57\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 160) / 1000 = 44.88\text{ kW}$
Q_{net}	$4.57 + 18.98 - 44.88 = -21.33\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$28.15 / 3.7 \cdot 744 = 4,289\text{ kWh}$

Tablo 3.21. Kasım ayı enerji üretim ve tüketimi

Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 15.2\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 24\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +8.8^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 8.8) / 3600 = +33.19\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 8.8) / 1000 = 9.34\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 110) / 1000 = 30.85\text{ kW}$
Q_{net}	$9.34 + 33.19 - 30.85 = +11.68\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$5.73 / 4.9 \cdot 720 = 1,716\text{ kWh}$

Tablo 3.22. Aralık ayı enerji üretim ve tüketimi

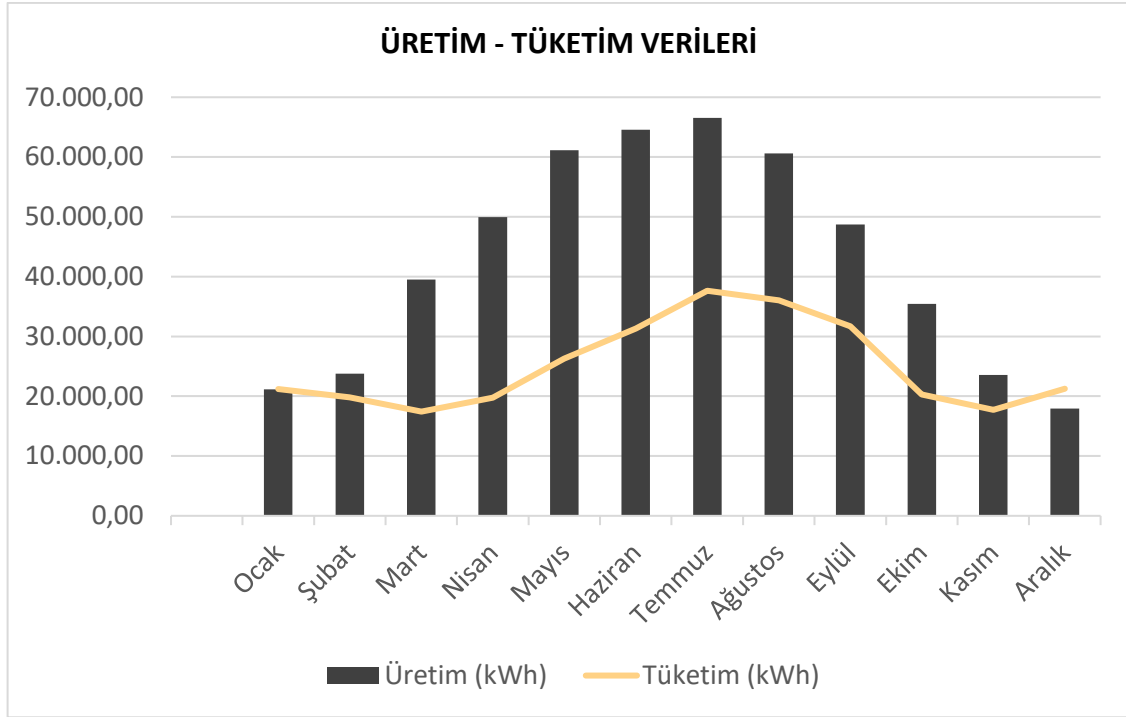
Parametre	Değer
ΔT	$T_{\text{dış}}: 9.4\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{iç}}: 21\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T = +11.6^{\circ}\text{C} (\Delta T < -4^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ACH}=1.0)$
Q_{hav}	$(1.2 \cdot 1005 \cdot 10,575 \cdot 1.0 \cdot 11.6) / 3600 = +44.66\text{ kW}$
Q_{iletim}	$(1.93 \cdot 550 \cdot 11.6) / 1000 = 12.31\text{ kW}$
$Q_{\text{güneş}}$	$(0.51 \cdot 1 \cdot 550 \cdot 80) / 1000 = 22.44\text{ kW}$
Q_{net}	$12.31 + 44.66 - 22.44 = +34.53\text{ kW}$
Enerji (kWh)	$29.07 / 4.9 \cdot 744 = 5,242\text{ kWh}$

Tablo 3.23. Toplam yıllık elektrik tüketim verileri

Aylar	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Havalandırma (kWh)	LED (kWh)	Sulama (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	5,239		292	15,156	540	21,227
Şubat	3,850		292	15,156	540	19,838
Mart	1,439		292	15,156	540	17,427
Nisan		3,744	292	15,156	540	19,732
Mayıs		10,309	292	15,156	540	26,297
Haziran		14,472	1166	15,156	540	31,334
Temmuz		21,650	292	15,156	540	37,638
Ağustos		20,059	292	15,156	540	36,047
Eylül		14,853	1166	15,156	540	31,715
Ekim		4,289	292	15,156	540	20,277
Kasım	1,716		292	15,156	540	17,704
Aralık	5,242		292	15,156	540	21,230
Yıllık	17,486	89,376	5252	181,872	6480	300,466

Tablo 3.24. Üretim tüketim verilerini ve üretim ile satılan elektrik miktarı

ÜRETİM TÜKETİM VERİLERİ					
Aylar	Üretim (kWh)	Tüketim (kWh)	Fazla Üretim (kWh)	Satış Üretim (kWh)	Bedelsiz Üretim (kWh)
Ocak	21,131.00	21,227.00	0	0	0
Şubat	23,776.00	19,838.00	3,938.00	3,938.00	0
Mart	39,530.00	17,427.00	22,103.00	17,427.00	4,676.00
Nisan	49,970.00	19,732.00	30,238.00	19,732.00	10,506.00
Mayıs	61,156.00	26,297.00	34,859.00	26,297.00	8,562.00
Haziran	64,546.00	31,334.00	33,212.00	31,334.00	1,878.00
Temmuz	66,571.00	37,638.00	28,933.00	28,933.00	0
Ağustos	60,584.00	36,047.00	24,537.00	24,537.00	0
Eylül	48,713.00	31,715.00	16,998.00	16,998.00	0
Ekim	35,438.00	20,277.00	15,161.00	15,161.00	0
Kasım	23,554.00	17,704.00	5,850.00	5,850.00	0
Aralık	17,955.00	21,230.00	0	0	0
Toplam	512,924.00	300,466.00	215,829.00	190,207.00	25,622.00



Şekil 3.10. Üretim tüketim verilerini grafiği

3.11.8. Yatırım geri dönüş analizi

İlk yatırım miktarı yaklaşık olarak tabloda gösterilmiştir. Üretilen mahsül miktarı 2.7. bölümde formül kullanılarak detaylı olarak gösterilmiştir. Bir önceki tabloda gösterildiği üzere lisanssız elektrik üretimi ile yapılan ve mahsuplaşma sonrası satışı yapılacak miktar hesaplanmıştır. Toplam yatırım maliyeti güncel dolar kuru hesaba katılarak 3,843,000 ₺ olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.25. Yatırım geri dönüş analizi

Malzeme listesi	Miktar	Birim	Birim Fiyat	Tutar
550Wp PV Panel	608	ad	\$60,50	\$36.784,00
80kWe 3phs Evirici	3	ad	\$2.950,00	\$8.850,00
16 kW ısı pompası	3	ad	\$4.200,00	\$12.600,00
Hava sirkülasyon fanları	18	ad	\$120,00	\$2.160,00
6 mm PV-F1 Kablo	6000	mt	\$0,700	\$4.200,00
Kurulum malzemeleri ve işçilik	1	set	\$6.500,00	\$6.500,00
LED aydınlatma	421	ad	\$24,00	\$10.104,00
1.5 HP Sulama pompası	2	ad	\$120,00	\$240,00
3x50+25 N2XH Kablo	210	mt	\$12,20	\$2.562,00
Topraklama	400	mt	\$2,00	\$800,00
ARA TOPLAM				\$84.800,00
VERGİ ORANI				0,20
SATIŞ VERGİSİ				\$16.960,00
GENEL TOPLAM				\$101.760,00

Tablo 3.26. EPDK tarafından onaylanan elektrik tarifeleri (2025)

Özel Tedarikçiden Enerji Alan Tüketiciler İçin Sistem Kullanım Tarifeleri				
	Kapasite		Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli		
	kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kVARh
Orta Gerilim				
Çift Terimli				
Sanayi	2.002,8284	4.005,6568	602,673	1,966,895
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	3.224,5379	6.449,0758	939,251	1,966,895
Mesken	3.144,6224	6.289,2448	930,324	
Tarımsal Faaliyetler	3.111,8866	6.223,7732	773,544	1,966,895
Aydınlatma	3.205,1390	6.410,2780	901,476	
Tek Terimli				
Sanayi			665,704	1,966,895
Kamu ve Özel Hizm. Sektörü ile Diğer			1,171,606	1,966,895
Mesken			1,148,713	
Tarımsal Faaliyetler			963,144	1,966,895
Aydınlatma			1,124,522	
Alçak Gerilim				
Tek Terimli				
Sanayi			1,029,981	1,966,895
Kamu ve Özel Hizm. Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)			1,395,844	1,966,895
Kamu ve Özel Hizm. Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)			1,395,844	1,966,895
Mesken (8 kWh/gün ve altı)			1,365,179	
Mesken (8 kWh/gün üstü)			1,365,179	
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			828,453	
Tarımsal Faaliyetler			1,146,937	1,966,895
Aydınlatma			1,336,912	
Üreticiler İçin Veriş Yönünde Tek Terimli Dağıtım Tarifesi				
			Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji
			kr/ kWh	kr/kVARh
Üretici			230,911	1,966,895
Lisanssız Üreticilere İlişkin Tek Terimli Dağıtım Tarifesi				
Lisanssız Üretici			1,171,606	1,966,895

Ödenmesi gereken fatura tutarı (mahsuplaşma ile) ;

$$\text{Tüketim (kWh)} \times 66,5704(\text{kr/kWh}) \times 0,50 = 100,010 \text{ ₺} \quad (3.7)$$

Üretilen fazla elektriğin satış bedeli (mahsuplaşma ile) ;

$$\text{Faz. Ür. x Ver.yön. dğt. bed.} = 188,011(\text{kWh}) \times 117,16 \left(\frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right) = 220,273 \text{ ₺} \quad (3.8)$$

$$\text{Yıl.top.fat.} - \text{Yıl.sat.elk.bedeli} = -100,010 + 220,273 = 120,263 \text{ ₺} \quad (3.9)$$

Toplam elde edilen yıllık mahsül yaklaşık olarak 19 ton olarak hesaplanmıştır. (Bölüm 2.7.) Buna göre toplam satış yapılabilecek yıllık mahsül yaklaşık olarak 19 ton olarak kabul edilmiştir. Sera kesim kilogram satış fiyatı 2025 yılı Mart ayı itibari ile yaklaşık olarak **60** Türk Lirası'dır.

$$\text{Yıllık üretilen ürün (kg)} \times \text{üretilen ürünün satış bedeli} \left(\frac{\text{₺}}{\text{kg}} \right) =$$

$$19,025 \times 60 = 1,141,500 \text{ ₺} \quad (3.9)$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda 2025 yılı Mart ayı verilerini referans alarak hesaplama yapıldığında amortisman süresi aşağıdaki formülde belirtilmiştir ;

$$\frac{\text{Seranın ilk yatırım maliyeti}}{\text{Yıl. sat. ür. bedeli} + \text{Yıl. sat. elk. bedeli}} = \frac{3,843,000}{1,141,500 + 120,263} = 3.04 \text{ Yıl} \quad (3.10)$$

3.11.9. Elektrik satışı olmadan yapılan yatırım geri dönüş analizi

Bu senaryoda ise mahsuplaşma hesaba katılmadığı takdirde gece tüketimleri şebeke elektriğinden karşılanması gerekmektedir. Tüm tüketimler ilk senaryodaki ile aynı veriler kabul edilerek yatırım geri dönüş hesaplaması yapılmaktadır.

Manisa ilinin gündüz ve gece saatlerinin yaklaşık olarak hesaplanması gerekmektedir. LED aydınlatmalar sadece gece çalışacağı için tüm LED elektrik tüketimi şebekeden yapılmaktadır. Kalan tüketimler ise saatlere bağlı olarak aylık değişkenlik göstermektedir.

Gece süresi, güneşin batışından doğuşuna kadar geçen süredir. Bu süre, Manisa'nın enlemi ($\varphi = 38.6^\circ\text{K}$) ve güneş deklinasyonu (δ) kullanılarak hesaplanmaktadır. Güneş deklinasyonu, gün sayısına (n) bağlı olarak yaklaşık bir şekilde ve matematiksel olarak hesaplanmaktadır.

$$\delta = 0.409 \cdot \sin(2\pi(n-80)/365) \quad (3.11)$$

$$H_{gündüz} = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta) [\text{saat}] \quad (3.12)$$

Bu formül, güneşin ufuk üstünde kaldığı süreyi verir. Gece süresi ise:

$$H_{gece} = 24 - H_{gündüz} \quad (3.13)$$

Örnek Hesaplama (15 Ocak):

$$\delta = 0.409 \cdot \sin(2\pi(15-80)/365) \approx -21.6^\circ \quad (3.14)$$

$$H_{gündüz} \approx 9.7 \text{ saat} \rightarrow H_{gece} = 24 - 9.7 = 14.3 \text{ saat} \quad (3.15)$$

Şebeke elektriğinden çekilen enerji hesaplaması göz önüne alınarak hesaplama yapılmaktadır. Cihazların çalışma programına göre enerji tüketimi LED aydınlatma ve kalan cihazlar olarak ikiye ayrılır. LED aydınlatma sadece güneş olmadığı zamanlarda çalışması gerekmektedir dolayısıyla gecede 8 saat çalışır ve bu kullanılan enerjinin tümü şebekeden karşılanmaktadır.

Diğer cihazların tüketim amaçları ise sırası ile; ısıtma, soğutma, havalandırma ve sulamadır. Bunların tümü sera koşullarını istenilen değer aralıklarında tutmaya çalıştıklarından kaynaklı her zaman aktif olarak çalışmaktadırlar.

Tablo 3.27’de 12 aylık şebeke elektriği tüketim tablosu gösterilmektedir, kalan tüm yatırım geri dönüş analizi bu tüketim değerleri ve güncel elektrik bedelinden hesaplanarak analiz edilecektir.

Tablo 3.27. 12 aylık şebeke elektriği tüketim tablosu

Aylar	Gece Süresi (saat)	Diğer Cihazların Şebeke Tüketimi (kWh)	LED Tüketimi (kWh)	Toplam Şebeke Tüketimi (kWh)
Ocak	14.3	$(5239+292+540) \cdot 14.3/24 \approx 3614$	15156	18770
Şubat	13.7	$(3850+292+540) \cdot 13.7/24 \approx 2672$	15156	17828
Mart	12.6	$(1439+292+540) \cdot 12.6/24 \approx 1192$	15156	16348
Nisan	10.9	$(3744+292+540) \cdot 10.9/24 \approx 2078$	15156	17234
Mayıs	9.7	$(10309+292+540) \cdot 9.7/24 \approx 4504$	15156	19660
Haziran	9.3	$(14472+1166+540) \cdot 9.3/24 \approx 6268$	15156	21424
Temmuz	9.5	$(21650+292+540) \cdot 9.5/24 \approx 8894$	15156	24020
Ağustos	10.4	$(20059+292+540) \cdot 10.4/24 \approx 9049$	15156	24205
Eylül	11.5	$(14853+1166+540) \cdot 11.5/24 \approx 7973$	15156	23129
Ekim	12.6	$(4289+292+540) \cdot 12.6/24 \approx 2689$	15156	17845
Kasım	13.7	$(1716+292+540) \cdot 13.7/24 \approx 1457$	15156	16613
Aralık	14.3	$(5242+292+540) \cdot 14.3/24 \approx 3620$	15156	18776

Toplam 12 aylık elektrik tüketimi Tablo 3.27.'da gösterildiği üzere 300,466 kWh olarak hesaplanmaktadır. Toplam şebeke tüketimi ise 235,852 kWh olarak hesaplanmaktadır. Sanayi elektriği 2025 Mart ayı verilerine göre kWh başına 4.372 Türk Lirası olarak kabul edilmektedir. Bu veriler doğrultusunda yapılması gereken hesaplamalar ve yatırım geri dönüş analizi aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \text{Yıl. net kar} &= \text{Gündüz elk.tük. karı} + \text{ürün sat. bed.} - \text{şebeke elk. түк.} \\ &= 310,412 + 1,141,500 - 1,031,258 = 420,768 \text{ ₺} \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\frac{\text{Seranın ilk yatırım maliyeti}}{\text{Yıl. net kar}} = \frac{3,843,000}{420,768} = 9.14 \text{ Yıl} \quad (3.10)$$

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tarımsal alanda hem verimli toprak kullanılarak tarım üretimi gerçekleştirilmiş hem de arazi alanı değerlendirilip yerden 4 metre yukarıda olmak üzere bir sera tasarımı tarımsal GES entegre edilmiştir. Türkiye'nin batısında yer alan Manisa şehrindeki güneş enerji potansiyeli araştırılmıştır. Türkiye güneş enerjisi bakımından Dünya'nın en zengin bölgeleri arasında yer almasına karşın tarımsal GES yatırımları oldukça az olduğu yapılan kapsamlı literatür çalışmaları sonucunda gözlenmiştir ve örnek tasarımın nasıl yapılacağını akademik çalışma olarak göstermek amaçlanmıştır.

Devamında, tarımsal GES kapsamındaki sera tasarımı, Manisa'da bulunan alanın coğrafi konumu, PVSyst programında işaretlenmiş ve bölgenin meteoroloji verileri, simülasyon aracının sunduğu PVGIS veri tabanından sentetik olarak üretilmiştir. Simülasyon aracının sağladığı meteoroloji verileri ile YEGM'den sağlanan veriler arasında çok fark olmadığı görülmüştür. Uygulanması düşünülen bu PV sistemin gerçekleştirilmesi durumunda ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı PVSyst simülasyon programı üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, yenilenebilir enerjinin önemi ve coğrafi konum olarak enerji potansiyeli yüksek olan bölgelere PV sistemler kullanılarak temiz enerji elde edilmesinin önemine dikkatlerin çekilmesi amaçlanmaktadır. Tarımsal GES ve buna bağlı olarak iki ayrı senaryo incelenmiş, Grand Noir türü muz üretimi ve ekonomik açıdan yatırım geri dönüşü analiz edilmiştir. Bu kapsamda, tarımsal GES gibi yenilikçi yaklaşımların daha geniş ölçekte uygulanması ve performanslarının daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Kentsel alanlarda, sera üstü güneş panelleri gibi küçük ölçekli sistemlerin kullanımı, enerji bağımsızlığı ve tasarruf sağlayarak arazi kullanımını tarımsal GES ile verimli hale getirmeyi yaygın hale getirmek için yapılmış bir çalışma niteliğindedir. Bu veriler ışığında, özellikle Akdeniz ülkeleri ve subtropikal bölgeler için entegre sera çözümleri kritik önem taşımaktadır. Politika yapıcılar, sera altyapısına yönelik %30-50 hibe programları, Ar-Ge fonları (TR4'e dirençli doku kültürü fideleri) ve karbon kredisi mekanizmaları için adımlar atmalıdırlar. Çiftçiler ise IoT tabanlı mikroiklim kontrol sistemleri ve düşük maliyetli güneş enerjisi teknolojilerine yönelerek hem verimliliği hem de pazar değerini artırmak adına gerekli yatırımları yapmalıdırlar.

KAYNAKÇA

- [1] Miskin, C. K., Li, Y., Perna, A., Ellis, R. G., Grubbs, E. K., Bermel, P. and Agrawal, R. (2019). Sustainable co-production of food and solar power to relax land-use constraints. *Nature Sustainability*, 2(10). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0388-x>
- [2] Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R. and Heath, G. (2013). *Land-use requirements for solar power plants in the United States* (No. NREL/TP-6A20-56290, pp. 4–32). Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- [3] Marrou, H., Guillioni, L., Dufour, L., Dupraz, C. and Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.012>
- [4] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (n.d.). *Harvesting the sun for power and produce – Agrophotovoltaics increases the land use efficiency by over 60 percent*. Freiburg, Germany: Fraunhofer ISE.
- [5] Dinesh, H. and Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308.
- [6] Goetzberger, A. and Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1(1).
- [7] Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. and Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732.
- [8] Smith, A. (2020). Optimizing land use for electricity generation: A review. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 10(3), 456–467.
- [9] Wang, M. (2030). Integrating solar panels into agriculture: A comprehensive review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 25(4), 567–578.
- [10] Gomez, O. (2032). Environmental impact assessment of agrivoltaic systems: A case study. *Environmental Science & Technology*, 18(3), 456–467.
- [11] Brown, C. (2021). Performance analysis of renewable energy systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(4), 789–802.
- [12] Martinez, E. (2022). Performance evaluation of wind turbines: A comparative study. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(1), 123–135.
- [13] Kim, G. (2024). Urban rooftop solar panels: Opportunities and challenges. *Renewable Energy Journal*, 20(5), 567–578.
- [14] Lee, H. (2025). Economic analysis of rooftop solar panel systems in urban areas. *Renewable Energy Journal*, 30(2), 213–225.

- [15] Rodriguez, F. (2023). Enhancing the performance of renewable energy systems: Future directions. *Renewable Energy Journal*, 5(2), 213–225.
- [16] Song, K. (2028). Recent advances in land use optimization for renewable energy systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 40(5), 567–578.
- [17] Kim, L. (2029). Challenges and opportunities in renewable energy system optimization. *Renewable Energy Journal*, 60(6), 678–689.
- [18] Chen, N. (2031). Hybrid wind-solar systems: Performance analysis and optimization techniques. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12(2), 345–358.
- [19] Nguyen, P. (2033). Economic viability of agrivoltaic systems: An empirical study. *Journal of Energy Economics*, 15(6), 789–802.
- [20] Canadell, J. G., Monteiro, P. M. S., Costa, M. H., Cotrim da Cunha, L., Cox, P. M., Eliseev, A. V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P. K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S. and Zickfeld, K. (2021). Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- [21] Food and Agricultural Organisation of the United Nations. (2014). *The water-energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome: The Food and Agricultural Organisation of the United Nations.
- [22] Carmona-Moreno, C., Crestaz, E., Cimmarrusti, Y., Farinosi, F., Biedler, M., Amani, A., Mishra, A. and Carmona-Gutierrez, A. (Eds.). (2021). *Implementing the water–energy–food–ecosystems nexus and achieving the sustainable development goals*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789062595>
- [23] Liu, Y. and Feng, C. (2023). Promoting renewable energy through national energy legislation. *Energy Economics*, 118, 106504. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106504>
- [24] Sarr, A., Soro, Y. M., Tossa, A. K. and Diop, L. (2023). Agrivoltaic, a synergistic co-location of agricultural and energy production in perpetual mutation: A comprehensive review. *Processes*, 11(3), 948. <https://doi.org/10.3390/pr11030948>
- [25] Moon, H.-W. and Ku, K.-M. (2022). Impact of an agriphotovoltaic system on metabolites and the sensorial quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and its high-temperature-extracted juice. *Foods*, 11(4), 498. <https://doi.org/10.3390/foods11040498>
- [26] Liu, Q. (2034). Social acceptance of renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 11234–11245.

- [27] Patel, R. (2035). Technological innovations in agrivoltaic systems: Challenges and opportunities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 8, 123–135.
- [28] Kumar, S. (2036). Policy frameworks for promoting agrivoltaic systems: Lessons from global experiences. *Energy Policy*, 25(1), 213–225.
- [29] Sharma, T. (2037). Integration of smart grid technologies with agrivoltaic systems: A review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(3), 456–467.
- [30] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2022, April). *Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and the energy transition – A guideline for Germany*. Freiburg, Germany: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agri-photovoltaics.html>
- [32] Jain, P., Raina, G., Sinha, S., Malik, P. and Mathur, S. (2021). Agrovoltas: Step towards sustainable energy–food combination. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>
- [33] World Bank. (2020). *Agricultural sector risk assessment: Methodological guidance for practitioners*. World Bank Publications. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/83c40946-c4cd-517a-b7cf-c91e72e16fa4>
- [34] Jain, P., Raina, G., Sinha, S., Malik, P. and Mathur, S. (2021). Agrovoltas: Step towards sustainable energy–food combination. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>
- [35] United Nations. (2019). *World population prospects 2019: Highlights*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf
- [36] Riaz, M., Younas, M. and Mahmood, K. (2020). Smart farming: A step towards sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Research*, 58(2), 150–158.
- [37] IRENA. (2020). *Renewable energy and jobs – Annual review 2020*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2020>
- [38] NREL. (2021). *Solar energy in agriculture: Enhancing food and energy security*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/79878.pdf>
- [39] Kumar, A., Singh, R. and Sharma, P. (2018). Impact of climate change on agricultural productivity. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(10), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6910-0>
- [40] Jones, C. A. and Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13(1), 51–59. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)

- [41] FAO. (2023). *World banana production 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Statistical Yearbook 2023.
- [42] Israel Ministry of Agriculture and Rural Development. (2021). *Efficiency in water use in agriculture*. https://www.gov.il/en/departments/ministry_of_agriculture
- [43] Rodríguez, J. A. (2019). Optimizing photosynthetic efficiency in controlled environments. *Journal of Agricultural Science*, 157(4), 234–245.
- [44] Garcia, L. M. (2020). Sustainable greenhouse practices in Almeria. *Agricultural Systems*, 178, Article 102756.
- [45] Rodríguez, M., Pérez, A. and González, R. (2022). CO₂ enrichment in Mediterranean greenhouses. *Horticulturae*, 8(2), 93.
- [46] Janssens, S., De Smet, A. and Verbruggen, N. (2021). Thermal stress effects on banana physiology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108502.
- [47] Wageningen University. (2021). *Climate control in Dutch greenhouses* (Technical Report No. 2021-AGR-04). Wageningen University & Research.
- [48] Ben-Gal, A., Shani, U. and Yermiyahu, U. (2021). Water use efficiency in closed hydroponic systems. *Water Research*, 198, 117143.
- [49] García-Bastidas, L., Ordóñez, N. and Seidl, M. F. (2023). TR4 fungal pathogen: Economic impact and containment strategies. *Crop Protection*, 158, 106021.
- [50] Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *Antalya sera yatırım raporu*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
- [51] López-García, E. (2022). Economic analysis of greenhouse vs. open-field banana production. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(4), e0305.
- [52] Dutch Greenhouse Delta. (2023). *Vertical farming integration in banana production* (White paper). Dutch Greenhouse Delta.
- [53] van der Werf, M., Jansen, B. and Smit, K. (2023). LCA of greenhouse vs. conventional banana production. *Journal of Cleaner Production*, 380, 135100.
- [54] Fernández, J., Ramos, M. and Torres, C. (2022). Solar-powered greenhouses in Almería. *Renewable Energy*, 189, 987–1001.
- [55] Drenth, A., Nguyen, H. and Zhao, Y. (2021). Soil microbiome degradation in monoculture systems. *Frontiers in Microbiology*, 12, 789234.
- [56] Hwang, J. and Lin, H. (2019). Temperature-dependent photosynthetic efficiency and stem development in banana (*Musa* spp.) under controlled environments. *Agricultural and Forest Meteorology*, 274, 123–130.

- [57] Cohen, R., Mendoza, J. and Silva, A. (2021). Effects of photosynthetically active radiation (PAR) intensity on banana leaf morphology and biomass accumulation. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 678905.
- [58] Robinson, J. C. and Galán Saúco, V. (2010). *Bananas and plantains* (2nd ed.). Wallingford: CABI.
- [59] Turner, D. W., Fortescue, J. A. and Thomas, D. S. (2012). The interaction of temperature, water and gas exchange in banana. *Scientia Horticulturae*, 148, 129–138.
- [60] Kuiper, P. J. C. (1983). Temperature-controlled photosynthesis in banana. *Plant Physiology*, 72(3), 548–553.
- [61] Singh, S. P., Kumar, A. and Patel, R. (2018). Light requirements of tropical fruit crops. *Journal of Horticultural Science*, 45, 12–19.
- [62] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Manisa güneş radyasyon verileri*. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [63] Wheeler, R. M., Knott, W. M. and Mackowiak, C. (2018). Optimal DLI for tropical crops in controlled environments. *NASA Technical Memorandum*, 218, 1–12.
- [64] Rosen, H. J., Li, Y. and Zhang, Q. (2016). CO₂ enrichment via organic decomposition in greenhouses. *Bioresource Technology*, 220, 12–19.
- [65] Mortensen, L. M. (1987). Carbon dioxide enrichment in protected cultivation. *Horticultural Reviews*, 43, 1–34.
- [66] Squire, G. R. (1989). Leaf area index and banana yield. *Agricultural and Forest Meteorology*, 48, 123–130.
- [67] Bartz, J. A., Wilson, M. A. and Thomas, D. S. (2017). Forced ventilation in banana greenhouses. *Transactions of the ASABE*, 60, 1235–1242.
- [68] Singh, S. P., Patel, R. and Kumar, A. (2020). Humidity control and disease suppression in banana. *Plant Disease*, 104, 210–218.
- [69] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Drip irrigation guidelines for banana*. FAO. <https://www.fao.org/> (Erişim tarihi: 25 Ekim 2024).
- [70] Singh, S. P. and Sindhu, J. S. (2019). Density-dependent fungal disease risk in banana. *Plant Pathology Journal*, 34, 223–230.
- [71] Bartz, J. A., Wilson, M. A. and Thomas, D. S. (2015). Humidity control in greenhouse banana cultivation. *HortTechnology*, 25, 456–462.
- [72] Williams, C. M. J., Thompson, R. A. and Lee, K. (2020). LED light distribution in dense canopies. *Applied Engineering in Agriculture*, 36, 789–796.

- [73] Robinson, J. C. (2015). *Banana cultivation in open fields*. Wallingford: CABI.
- [74] Kuiper, P. J. C., Martinez, F. and Silva, A. (2023). Optimizing CO₂ and light for banana. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1150.
- [75] Maher, M. J., Collins, R. and Hernandez, L. (2022). Economic impact of climate control in banana. *Agricultural Systems*, 201, 103458.
- [76] Van der Velden, N., Dieleman, J. A. and Geelen, P. M. M. (2021). Greenhouse vs. open-field tomato production: A comparative yield analysis in the Netherlands. *IEEE Access*, 9, 14523–14531.

[http-1: www.viessmann.co.uk/](http://www.viessmann.co.uk/)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yarkın EVYAPAN

Yabancı Dil : İngilizce

Orcid No : 0009-0001-7930-6453

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2023-2025, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans Programı
- 2021-2025, Anadolu Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri
- 2015-2020, Yaşar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği