

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI DOKTORA PROGRAMI
2025-DR-01

**TAM OTOMASYONLU BİR SERANIN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE HİBRİT OLARAK ENERJİ İHTİYACININ
BELİRLENMESİ**

Ali BÜYÜKMERT

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AYDOĞAN

AYDIN – 2025

KABUL VE ONAY

T.C. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Doktora Programı öğrencisi Ali BÜYÜKMERT tarafından hazırlanan “TAM OTOMASYONLU BİR SERANIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE HİBRİT OLARAK ENERJİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ” başlıklı tez, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 04/02/2025

Jüri Üyeleri

ONAY:

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AYDOĞAN
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. M. Bülent COŞKUN
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Faruk ŞEN
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun görülmüş ve Fen Bilimleri Enstitüsünün tarih ve sayılı oturumunda alınan numaralı Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ethem AKTÜRK
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Doktora sürecinde bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, gelecek hayatımda insani ve ahlaki değerleri ile örnek alacağım, çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam, Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AYDOĞAN'a

Değerli katkılarından dolayı Tez izleme komitesindeki Sayın Hocalarım; Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN ve Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN'a

Doktora eğitimim boyunca bilgilerini ve emeğini esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa Bülent ÇOŞKUN'a, Prof. Dr. İbrahim YALÇIN'a, Dr. Öğr. Üyesi Nurettin TOPUZ'a

Çalışmamın gerçekleştiği A&S Tarım'a ve tüm çalışanlarına, Deney düzeneklerinin montaj sürecinde bana yardımcı olan Mehmet ŞENTÜRK'e ve Eray BOZDAĞ'a

Ayrıca çalışmalarımda her zaman yanımda olan desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim İlknur BÜYÜKMERT'e teşekkür ederim.

Ali BÜYÜKMERT



BİLİMSEL ETİK BEYANI

“TAM OTOMASYONLU BİR SERANIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE HİBRİT OLARAK ENERJİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ” başlıklı Doktora tezimdeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Ali BÜYÜKMERT

04 /02 /2025



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	iii
BİLİMSEL ETİK BEYANI	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Enerji	3
2.1.1. Enerji Kaynakları.....	3
2.1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
2.1.1.1.1. Güneş Enerjisi	4
2.1.1.1.2. Rüzgâr Enerjisi.....	5
2.1.1.1.3. Jeotermal Enerjisi.....	8
2.1.1.1.4. Hidrolik Enerjisi.....	9
2.1.1.1.5. Biyokütle Enerjisi.....	10
2.1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	11
2.1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları	11
2.1.2.1.1. Petrol	12
2.1.2.1.2. Kömür	13

2.1.2.1.3. Doğalgaz	14
2.1.2.2. Nükleer Enerji Kaynağı	15
2.2. Seracılık.....	16
2.2.1. Türkiye’de Seracılık	16
2.2.2. Sera Tipleri	20
2.2.2.1. Cam ve Sert Plastik Örtülü Seralar	20
2.2.2.2. Alçak Tünel Seralar.....	21
2.2.2.3. Yüksek Tünel Seralar.....	22
2.3. Yapay Sinir Ağları	23
2.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı	23
2.3.1.1. Yapay Sinir Öğeleri.....	24
2.3.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme.....	26
2.3.2.1. Hebb Kuralı.....	26
2.3.2.2. Hopfield Kuralı	27
2.3.2.3. Delta Kuralı.....	27
2.3.2.4. Kohonen Öğrenme Kuralı.....	27
2.3.3. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	28
2.3.4. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	29
2.3.5. Makine Öğrenmesi	30
2.3.6. Weka	30
2.4. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	31
2.4.1. Güneş enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar	31
2.4.2. Rüzgâr enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar	39
2.4.3. Seralarda enerjisi tüketimi ve verimliliği ilgili yapılan çalışmalar	43
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	49
3.1. Materyal.....	49

3.1.1. Çalışmanın Yapıldığı Bölge	49
3.1.2. Çalışma Yapılan Seranın Özellikleri	51
3.1.3. Ölçüm Ekipmanları	56
3.2. Yöntem.....	61
3.3. Bulgular	65
3.3.1. Karar Ağacı ile Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi	65
3.3.2. Yapay Sinir Ağı ve Makine Öğrenmesi Uygulaması	67
3.3.3. Tahmini Tüketim	68
3.3.3. İhtiyaç Duyulan Enerjinin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Sağlanması....	73
3.3.3.1. Güneş Paneli Projelendirmesi	75
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	85
KAYNAKLAR	91
ÖZ GEÇMİŞ.....	103

SİMGELER DİZİNİ

Gt	: Giga Ton
CO₂	: Karbondioksit
Mt	: Milyon Ton
Mtep	: Milon Ton Eşdeğer Petrol
W	: Ağırlık matrisi
tq	: Desen Vektörü
Pq	: Karşılık vektörü
V	: Volt
A	: Amper
P	: Değişkenlerin Olasılığı
H	: Shannon Aksiyonu
Θ_{pk}	: Gizli Katman Sayısı
W_h	: Ağ Bağlantı Ağırlığı
f_l	: Gizli Katman Ünitelerinde Kullanılan Aktivasyon Fonksiyonu
X_m	: Giriş Verisi
G_T	: Eğimli Yüzeye Gelen Toplam Işınım
G_{bT}	: Eğimli Yüzeye Gelen Direkt Işınım
G_{dT}	: Difüz Ve Yansıyan Işın
G_{rT}	: Yansıyan Işını
G_d	: Yatay Düzleme Gelen Yayılı Radyasyon
G_o	: Atmosfer Dışı Güneş Işığ
α_s	: Güneş Yükseklik Açısı

KISALTMALAR DİZİNİ

GPL	: Genel Kamu Lisansı
YSA	: Yapay Sinir Ağı
GHG	: Sera Gazı Protokolü
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GWEC	: Küresel Rüzgar Enerji Konseyi
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
HES	: Hidroelektrik Santral
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinil Klorürün
LTA	: Havadan daha hafif platform
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
ANFIS	: Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemleri
SVM	: Destek Vektör Makineleri
OSC	: Yarı şeffaf organik güneş pilleri
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
DVBES	: Havalandırılmalı Ayrık Hacimli Bina Enerji Simülasyonu
LED	: Işık Yayan Diyot
IEF	: Işık Engelleyici Film
PV	: Fotovoltaik
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 1990 ve 2021 Yılları Arası Birincil Enerji Tüketimi	4
Şekil 2.2. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA).....	5
Şekil 2.3. Dünyanın Bölgelere Göre Teknik Rüzgâr Potansiyeli.....	6
Şekil 2.4. 2023 Yılında Kurulan Rüzgâr Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Oransal Dağılımı.....	6
Şekil 2.5. Türkiye Rüzgâr Atlası.....	7
Şekil 2.6. Yıllara Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Güç Değişimi.....	7
Şekil 2.7. Ülkemizde Yer Alan Jeotermal Kaynakların Dağılım Haritası.....	9
Şekil 2.8. Hidroelektrik Santralleri Kurulu Güç Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.	10
Şekil 2.9. Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.	11
Şekil 2.10. Petrol Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı	12
Şekil 2.11. Türkiye Kömür Tüketiminin Sektörel Dağılımı	14
Şekil 2.12. Doğalgaz Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı	15
Şekil 2.13. Türkiye'nin Yıllara Göre Örtülü Alan Miktarlarındaki Değişim Grafiği.	17
Şekil 2.14. Seralarda Üretilen Ürün Miktarının Yıllara Göre Dağılım Grafiği	18
Şekil 2.15. Sera Alanlarında Yetiştirilen Ürün Dağılımları	19
Şekil 2.16. Yay Çatılı Blok Plastik Sera.....	20
Şekil 2.17. Yay Çatılı Plastik Sera	21
Şekil 2.18. Geniş Açıklıklı Plastik Sera	21
Şekil 2.19. Alçak Tünel Sera.....	22
Şekil 2.20. Yüksek Tünel Sera.....	22
Şekil 2.21. Plastik Örtülü Sera.....	23
Şekil 2.22. Yapay Sinir Ağı örneği.....	24

Şekil 2.23. Biyolojik Beyin Hücresi.....	25
Şekil 2.24. Yapay Sinir Elemanı.....	25
Şekil 2.25. Biyolojik Beyin Hücresi İle Yapay Sinir Ağı Benzerliği	25
Şekil 2.26. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Yapısı.....	29
Şekil 2.27. Geri Beslemeli YSA Yapısı	30
Şekil 3.1. A&S Tarım Kuş Bakışı Görünüş.....	49
Şekil 3.2. Aydın İli Aylara Göre Hava Durumu.....	50
Şekil 3.3. Aydın İline Ait 1941-2023 Yılları Arası Mevsim Normalleri	50
Şekil 3.4. Aydın İline Ait Bulutluluk Örtüsü	51
Şekil 3.5. Domates gelişimi.....	54
Şekil 3.6. Meteoroloji istasyonu devre şeması	61
Şekil 3.7. Weka Veri Giriş Ekranı.	62
Şekil 3.8. Weka Programına Girilen Örnek Veri Seti.	62
Şekil 3.9. Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Mimarisi	64
Şekil 3.10. Rastgele Karar Ağacı Algoritması İle Elde Edilen Karar Ağacı	66
Şekil 3.11. Tek Katmanlı, 10 Nöronlu ve 500 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı	67
Şekil 3.12. Gizli Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı.....	68
Şekil 3.13. 2014-2028 Yılları Arası Hava Verileri Ve Son 5 Yıllık Tahmini.....	69
Şekil 3.14. 2024-2028 Yılları Arası Hava Veri Tahmini	69
Şekil 3.15. Son 10 Yıllık Hava Verileri İle Gelecek Beş Yıllık Tahmin Verileri	70
Şekil 3.16. 3 Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı.....	70
Şekil 3.17. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini	71
Şekil 3.18. 3 Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı.....	72
Şekil 3.19. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini	72
Şekil 3.20. 3 Katmanlı, 20 Nöronlu ve 50000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı.....	73
Şekil 3.21. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini	73

Şekil 3.22. Gelecek Tahmini Tüketim.....	74
Şekil 3.23. 2021-2023 Sezonu Saatlere Göre Aylık Tüketim tahminleri.....	74
Şekil 3.24. Sera Güneş Paneli Yerleşim Planı.....	78
Şekil 3.25. Kullanılabilir Enerji ve Kayıplar	79
Şekil 3.26. Performans Oranları.....	79
Şekil 3.27. Kayıp Diyagramı	81
Şekil 3.28. Güneş Panel Performansı.....	82
Şekil 3.29. Sistem Çıkış Kullanılabilir Güç Durumu	82
Şekil 4.1. Seranın Son 2022-2023 DönemAylık Elektrik Tüketimi Domatesin Gelişimi ve Dış Ortam Sıcaklıkları	86

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. 8 Ekim 2022, Ortalama Boy: 32 cm	52
Resim 3.2. 22 Kasım 2022, Ortalama Boy: 139 cm.....	53
Resim 3.3. 26 Kasım 2022, Ortalama Boy: 166 cm.....	53
Resim 3.4. 17 Aralık 2022, Ortalama Boy: 186 cm.....	54
Resim 3.5. Solüsyon Ünitesi	55
Resim 3.6. Boyler Sistemi.....	55
Resim 3.7. Sera Elektrik Sayacı.....	56
Resim 3.8. 12V, 130 W, 32 Hücreli Polikristal Yapılı Güneş Paneli.....	57
Resim 3.9. PWM Şarj Kiti ve Taşınabilir Modem.	58
Resim 3.10. Akü.....	59
Resim 3.11. Meteoroloji İstasyonu	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye'nin Yıllara Göre Örtülü Alan Miktarlarındaki Değişim.....	16
Çizelge 2.2. Seralarda üretilen ürün miktarının yıllara göre dağılımı	17
Çizelge 2.3. 2019 Yılı İllere Göre Örtülü Alan Miktarı (Dekar)	18
Çizelge 3.1. Serada Kullanılan Elektrik Motorları	56
Çizelge 3.2. Gelecek Yıllara Ait Tüketim Değerleri Ortalamaları.....	75
Çizelge 3.3. Güneş Enerji Sistemi Verileri	75
Çizelge 3.4. Genel Parametreler	77
Çizelge 3.5. Panel Dizi, Batarya ve İnvertör Özellikleri	77
Çizelge 3.6. Dizi Kayıpları	78
Çizelge 3.7. Sistem Üretimi	78
Çizelge 3.8. Aylara Göre Enerji Üretim Faktörleri	80
Çizelge 3.9. Sistem Maliyeti	83

ÖZET

TAM OTOMASYONLU BİR SERANIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE HİBRİT OLARAK ENERJİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Büyükmert A. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Programı, Doktora Tezi, Danışman: Aydoğan Y. Aydın 2025.

Amaç: Sera ortamından toplanan verileri yapay sinir ağı makine öğrenmesi teknikleriyle analiz edilerek enerji ihtiyacının belirlenmesi. Bu şekilde enerji tüketimini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak sera verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemektir.

Materyal ve Yöntem: Çalışma ülkemizin batısında yer alan Ege Bölgesi'nin Aydın ili Buharken ilçesinde bulunan 37°56'44.6"N 28°50'39.7"E koordinatlarındaki A&S Tarım bünyesindeki serada yapılmıştır. Sera gotik çatılı, yan duvarları sert plastik diğer yerleri ise yumuşak plastik (polietilen) örtülü, çelik konstrüksiyonlu 50000 m² kapalı alana sahip topraksız tarım yapan tam otomasyon bölmesiz blok seradır. Bu çalışmada domates gelişimi, 2021-2023 yılları arasındaki hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneşlenme süresi, radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri, bağıl nem, bulutluluk değeri, hava basıncı ve elektrik tüketim değerleriyle ilgili veriler kullanılmıştır. Bu süre zarfında her veri setinden yaklaşık 5808 adet veri elde edilmiştir. Bu veriler Yeni Zelanda'da bulunan Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilmiş, Java tabanlı ve açık veri kaynaklı olan Genel kamu lisansı (GPL) bulunan bir yazılım olan Weka programında analiz edilmiştir. Toplamda Weka ile yaklaşık 63888 adet veri analizi gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Weka programı kullanılarak sınıflandırma algoritması altında bulunan “Random Tree” (Rastgele karar ağacı) algoritması kullanılarak seranın elektrik tüketimi üzerine etkili olan faktörler belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda enerji tüketimini etkileyen faktörler sırasıyla domatesin olgunlaşma-hasat dönemi, dış ortam sıcaklığı, köklenme ve çiçeklenme süreci, yayılı radyasyon değeri ve rüzgâr hızı olarak tesbit edilmiştir. Multilayer Perceptron (çok katmanlı algılayıcı) algoritması ile farklı gizli katmanlar ve farklı makine öğrenmesi tekrar sayıları kullanılarak optimum hassasiyetli yapay sinir ağı (YSA) elde edilerek gelecek

5 sezon için ihtiyaç duyulan enerji tahmini yapılmıştır. Bu tahmin sonuçlarına göre saatlik 20 kW enerji üreten ve depolama sistemi bulunan güneş enerji sistemi ile seranın ihtiyacı olan enerjinin karşılanacağı bulunmuştur.

Sonuç: Daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde seranın enerji tüketiminin büyük bir kısmının ısıtma sistemlerinde gerçekleştiği sonucu vurgulanmıştır. Bu çalışmada önceki bulgulara ek olarak seranın enerji tüketimi üzerinde besin solüsyon sisteminin ısıtma sistemine göre daha etkili olduğu sonucu bulunmuştur. Enerji ihtiyacının tahmin sonuçlarına göre hesaplanan güneş enerji sisteminin maliyeti 132870\$ olarak bulunmuştur. Bu tesis yılda 836046 kW/yıl elektrik üretmekte, güncel elektrik fiyatına göre hesaplama yapıldığında 700 gün sonra tesisin kurulum giderlerini amorti ettiği hesaplanmıştır. Bu modele göre mevcut seranın yüzey alanının %4.6'sı kadar bir güneş paneli yüzey alanı ile elektrik ihtiyacının karşılanabileceği görülmektedir. Bu bölgenin sera bölgesi olması sebebiyle tespit edilmiş olan %4,6'lık oran bölgede aynı ürünü yetiştiren diğer seraların da enerji ihtiyacını karşılaması için panel yüzey alanı hesabında referans değer olarak alınabilir. Ayrıca bu çalışmayla tam otomasyon seralarda enerji verimliliği çalışması yapılırken ısıtma ve besleme solüsyon sisteminin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Sera, Yapay sinir ağı, Yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

DETERMINATION OF HYBRID ENERGY NEEDS OF A FULLY AUTOMATED GREENHOUSE WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Büyükmert A. Aydın Adnan Menderes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Agricultural Machinery, Doctorate Thesis, Supervisor: **Aydoğan Y. Aydın 2025.**

Objective: Determining the energy need by analyzing the data collected from the greenhouse environment with artificial neural network machine learning techniques. In this way, it is to reduce energy consumption, increase energy efficiency and increase greenhouse efficiency by using renewable energy sources and support sustainable agricultural practices.

Material and Methods: The study was carried out in the A&S Agriculture greenhouse in the coordinates of 37°5644.6"N 28°5039.7"E in the Aydin province of Bukharken district of Aegean Region, located in the west of our country. Greenhouse gothic roof, side walls hard plastic other places soft plastic covered, steel construction 50000 m2 closed area of soilless agriculture full automation partitionless block greenhouse. In this study, tomato development, air temperature between 2021-2023, wind speed, wind direction, sunbathing time, radiation value, radiated radiation value, relative humidity, cloudiness value, etc, data on air pressure and electricity consumption values were used. During this time, approximately 5808 data were obtained from each dataset. This data was analyzed in the Weka program, a software with General Public License (GPL) based on Java and open data, developed by Waikato University in New Zealand. In total, about 63888 data analyses were performed with Weka.

Results: Using the Weka program, the algorithm, which is “Random Tree” (Random decision tree) under the classification algorithm, determined the factors that affect the electricity consumption of the greenhouse. As a result of this analysis, the factors affecting energy consumption were determined as the maturation-harvest period of the tomato, the external environment temperature, the process of rooting and flowering, the radiated radiation value and wind speed. Multilayer Perceptron algorithm using different hidden layers and different machine learning repetitions to achieve optimum precision artificial neural network (ANN),

energy prediction needed for the next 5 seasons. According to these estimation results, it was found that the energy needed by the greenhouse with the solar energy system that produces 20 kW of energy per hour and has a storage system.

Conclusion: When the previous studies were examined, it was emphasized that a large part of the energy consumption of the greenhouse is realized in heating systems. In addition to previous findings, this study found that the greenhouse is more effective on energy consumption than the heating system of the nutrient solution system. The cost of the solar energy system, which is calculated according to the estimation results of energy needs, was found to be 132870\$. This facility produces 836046 kW/year of electricity per year, it was calculated that 700 days later the plant amortizes the installation costs when calculated according to the current electricity price. According to this model, it is seen that the electricity need can be met with a solar panel surface area up to 4.6% of the surface area of the existing greenhouse. Due to the fact that this region is a greenhouse region, the rate of 4.6 % can be taken as a reference value in the panel surface area account to meet the energy needs of other greenhouses growing the same product in the region. In addition, this study revealed that the heating and feeding solution system should be evaluated together while energy efficiency work is carried out in fully automation greenhouses.

Key Words: Energy, Greenhouse, Artificial neural network, Renewable energy

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir kalkınma için ülkeler gün geçtikçe daha da fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu durum enerjiye olan bağımlılığın daha da artacağını göstermektedir. Dünya çapında 2040 yılına kadar %37 oranında birincil enerji ihtiyacının artacağı öngörülmektedir (Raugei ve Leccisi, 2016; Jilani, 2024). Dünya çapında son 40 yıl içerisinde birincil enerji tüketimine bakıldığında ciddi bir artış olmuştur. Bu süreçte fosil yakıt kaynaklı enerjinin tüketiminde de artış olduğu görülmektedir. Enerji senaryolarına göre dünya çapında ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmenin hızıyla doğru orantılı olarak enerji tüketiminin daha da artacağı öngörülmektedir (Kober vd., 2020). Günümüzde fosil yakıtlar dünya genelinde sınırlı rezerve sahip olmasına rağmen birincil enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Ancak fosil yakıtların yakılmasıyla sera gazlarının atmosfere salınımı artmaktadır. Dünyanın 2050 yılına kadar birincil enerji ihtiyacının 1000 EJ olacağı ve 70 Gt CO₂-eq GHG emisyonları olacağı tahmin edilmektedir. Yaklaşık 10 yıl sonra fosil yakıt ve nükleer yakıt kullanımıyla ilgili karşılaşılabilecek olan problemlerden dolayı ihtiyaç duyulan enerjinin hemen hemen tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerekecektir (Jilani, 2024; Spreng, 2005; Moriarty ve Honnery, 2011; Kendirli ve Çakmak, 2010; Uddin ve Kumar, 2014).

Ülkemizde son zamanlarda nüfusun 87,5 milyondan fazla olması ve ekonominin hızlı büyümesinden dolayı her geçen gün enerjiye olan bağımlılık artmaktadır (Worldometer, 2021; Maizer, 2022). Türkiye 2020 yılında ihtiyaç duyduğu enerjinin %62'sini fosil yakıtlardan, yaklaşık %15'ini de yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamıştır. 1990'lı yıllardaki enerji ithalatı ile 2020'li yıllardaki ithalat karşılaştırıldığında %283'lük bir artış olduğu görülmektedir. Ekonomik büyüme, nüfus artışı ve artan enerji ithalatı açısından bakıldığında yakın gelecekte enerji ihtiyacının tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması mümkün gözükmemektedir. Türkiye bu nedenle CO₂ emisyonunu azaltmak için hem fosil yakıt hem de yenilenebilir enerji teknolojilerine ayrılan bütçeyi artırmıştır (Naimoglu ve Akal, 2023).

Türkiye'de birincil enerji tüketiminin sektörel dağılımına bakıldığında tarımsal faaliyetlerin yaklaşık %5'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir (Beyaz vd., 2017). Türkiye İstatistik Kurumu'nun 05 Haziran 2024 tarihli 53701 sayılı raporuna göre tarımsal

faaliyetlerde 1990 yılından 2022 yılına kadar olan süre zarfında CO₂ emisyonunda %37,9'luk bir artış olduğu ifade edilmektedir. 2021 yılı ile 2022 yılı arasında %5,1'lik bir azalışla 71,5 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğer (eşd.) emisyon olmuştur (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2024). Bu çerçevede tarımsal faaliyetler için harcanan enerjinin ve çevreye salınan CO₂ emisyonlarının göz ardı edilmeyecek kadar önemli olduğunu söylemek mümkündür.

Tarımsal faaliyetlerin yapıldığı önemli alanlardan bir tanesi de seralardır. Sera, dış ortamdan izole edilerek kapalı bir alan içerisinde uygun iklim şartlarının oluşturulması koşuluyla tarımsal üretim yapan tesislerdir. Her geçen gün enerjinin pahalandığı günümüzde seralarda bitki yetiştirmek oldukça zordur (Wang ve Jun, 2023). Tam otomasyon seralarda ısıtma ve besin solüsyonlarının hazırlanması, dağıtılması sebebiyle ürün yetiştirmek oldukça masraflıdır. Sadece ısıtma giderleri üretim giderlerinin yaklaşık %30-80'i arasındadır (Zaimoğlu, 2017). Tarım alanlarının kısıtlı olmasına rağmen her geçen gün gıda talebi de artmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için seralara yönelik özel önlemler alınmaktadır. Bu önlemler arasında düşük üretim giderleri ile efektif olarak meyve ve sebzelerin yetiştirilmesi de bulunmaktadır. Bu çerçevede seracılıkta üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve topraksız tarımın yaygınlaştırılması gibi gelişmeler teşvik edilmektedir (Baytorun ve Gügercin, 2015).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Enerji

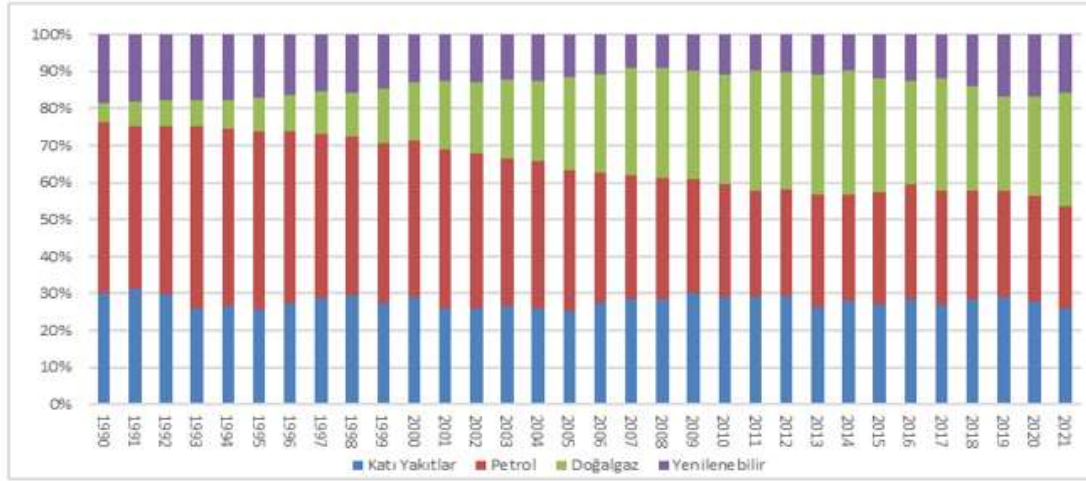
2.1.1. Enerji Kaynakları

Enerji; iş yapabilme yeteneğidir. Enerji yoktan var edilemez, var olan enerji de yok edilemez ancak farklı enerji türlerine dönüşebilir. Bu enerji türleri; potansiyel enerji, kinetik enerji, ısı enerjisi, ışık enerjisi, elektrik enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji ve benzerleridir (Übelacker, 2005).

Dönüştürülebilirlik açısından enerji kaynakları açısından bakıldığında birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Öncelikli olarak birincil enerji kaynaklarını doğrudan kullanılarak enerji elde edilen kaynaklar diye tanımlayabiliriz. Bunlar; doğalgaz, kömür, biyokütle, petrol, güneş, rüzgâr, nükleer, hidrojen ve dalga enerjisidir. Enerjinin dönüşümü sonucunda elde edilen kaynaklara ise ikincil enerji kaynakları denir. İkincil enerji kaynakları ise elektrik, benzin, mazot, hava gazı, vb. kaynaklardır (Şenel, 2012; Koç ve Kaya, 2015).

Enerji kaynakları rezerv durumuna bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, hidrojen, dalga, jeotermal, hidrolik, ve biyokütle enerjisidir. Yenilenemez enerji çeşitleri ise doğalgaz, kömür, petrol, uranyum ve toryumdur (Koç ve Kaya, 2015).

Ülkemizde birincil enerji tüketimi 34 yıl öncesinde 52,465 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) iken 2021 yılında yaklaşık %204 oranında artarak 159,432 Mtep olmuştur. 2021 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %15,6 doğalgazın %30,9 katı yakıtların %26 ve petrolün ise %27,6'dır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).



Kaynak: Arslan ve Terzioğlu, (2020)

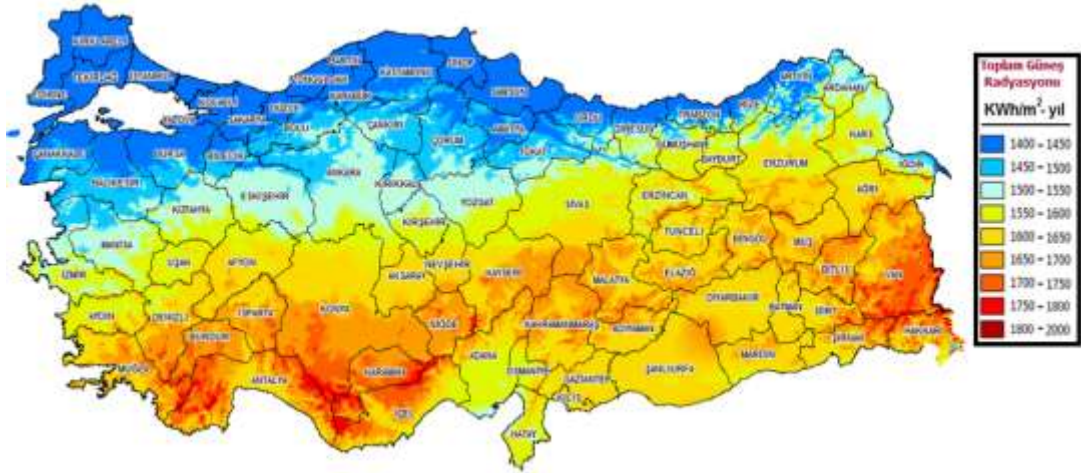
Şekil 2.1. 1990 ve 2021 Yılları Arası Birincil Enerji Tüketimi

2.1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2.1.1.1.1. Güneş Enerjisi

Dünyanın en yaygın görülen enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, çevreci ve uzun süre bakım gerektirmeyen sistemlerle enerji elde edebildiğimiz enerji kaynağıdır. Dünyamıza ulaşan güneş ışınlarının enerji potansiyeli fosil yakıtların rezervinin 160 katı olup diğer enerji kaynaklarının bir yılda ürettiği enerjiden 15000 daha fazla enerji potansiyeline sahiptir (Arslan ve Terzioğlu, 2020). 2050 yılında dünya enerjisinin %11'ini güneşten sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın %7,6 oranında olacağı da tahmin edilmektedir (Çanka Kılıç, 2015).

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir coğrafi konuma sahiptir. Ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1.527,46 kWh/m²'dir. (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024a).



Kaynak: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2024)

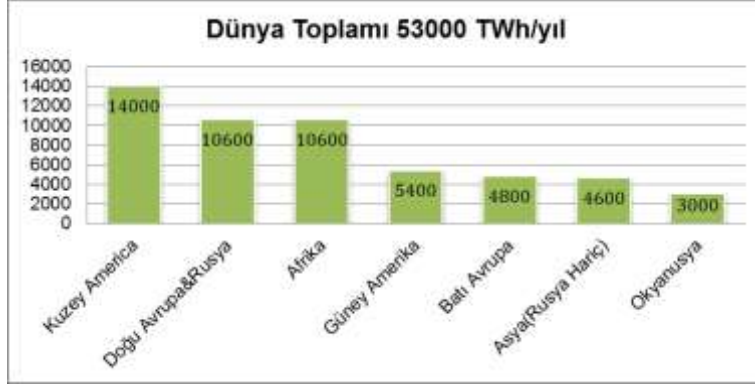
Şekil 2.2. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA).

Teknolojik gelişime paralel olarak güneş enerjisi kullanım alanları artmaktadır. Güneş enerjisi, bina ve seralar gibi çeşitli alanların ısıtılmasında, sıcak su elde etmek için, elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında, çevre aydınlatmasında, güneş ocağı ile yemek pişirmede, trafik sinyalizasyon sistemlerinde ve kurutma işlemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Çanka Kılıç, 2015).

2.1.1.1.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş kaynaklı yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünyamıza gelen güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Yer kürenin yüzeyinde oluşan ısı farklarından dolayı havanın sıcaklığı, nemi ve basıncı farklı olmaktadır. Bunun sonucunda rüzgâr oluşmaktadır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024a).

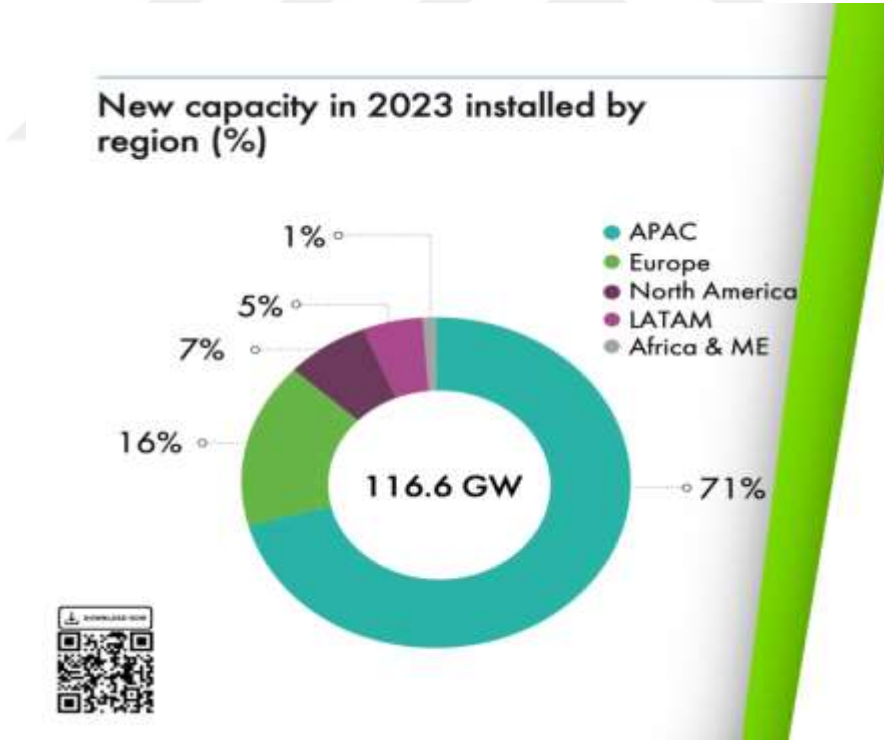
Dünyada yapılan çalışmalar sonucunda faydalanılabilir rüzgâr hızının 18,36 km/h üzerinde olması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Rüzgâr hızının 18,36 km/h den yüksek olduğu yerlerde uygulamadan kaynaklı kısıtlamalardan dolayı bu potansiyelin %4'ü faydalı enerjiye dönüştürülmektedir. Yapılan hesaplamalarda dünyanın 53000 TWh/yıl yararlanılabilir rüzgar enerjisi olduğu bulunmuştur (Elibüyük vd., 2016).



Kaynak: Elibüyük vd., (2016)

Şekil 2.3. Dünyanın Bölgelere Göre Teknik Rüzgâr Potansiyeli

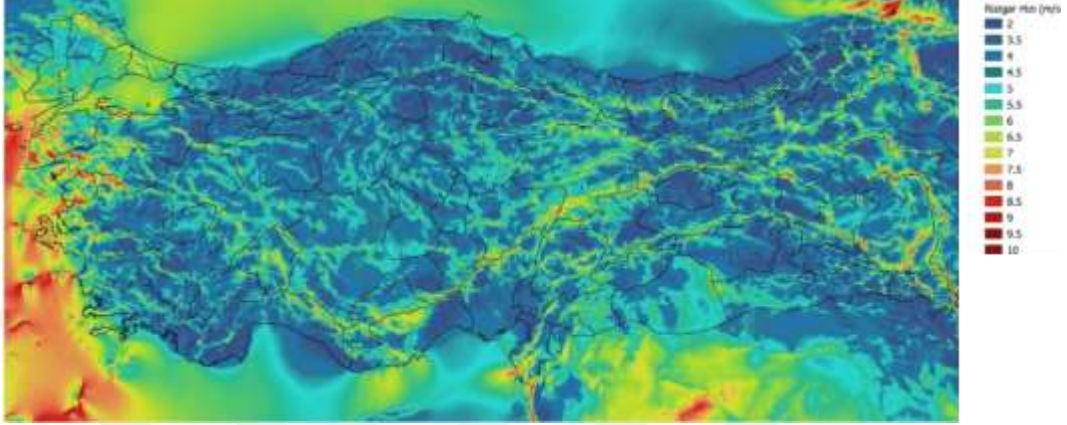
Küresel Rüzgar Enerji Konseyi'nin (GWEC) 2023 raporuna göre, 54 ülke toplam 117 GW enerji üreten yeni rüzgar enerji santrali kurarak bir önceki yıla göre %50'lik yıllık artış göstermiştir. GWEC, büyük ekonomilerde ulusal endüstriyel politikaların oluşturulması, açık deniz rüzgârından daha fazla yararlanarak 2024-2030 büyüme tahminini (1210 GW) %10 yukarı yönlü revize etti (Global Wind Energy Council, 2024).



Kaynak: Global Wind Energy Council, (2024)

Şekil 2.4. 2023 Yılında Kurulan Rüzgâr Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Oransal Dağılımı

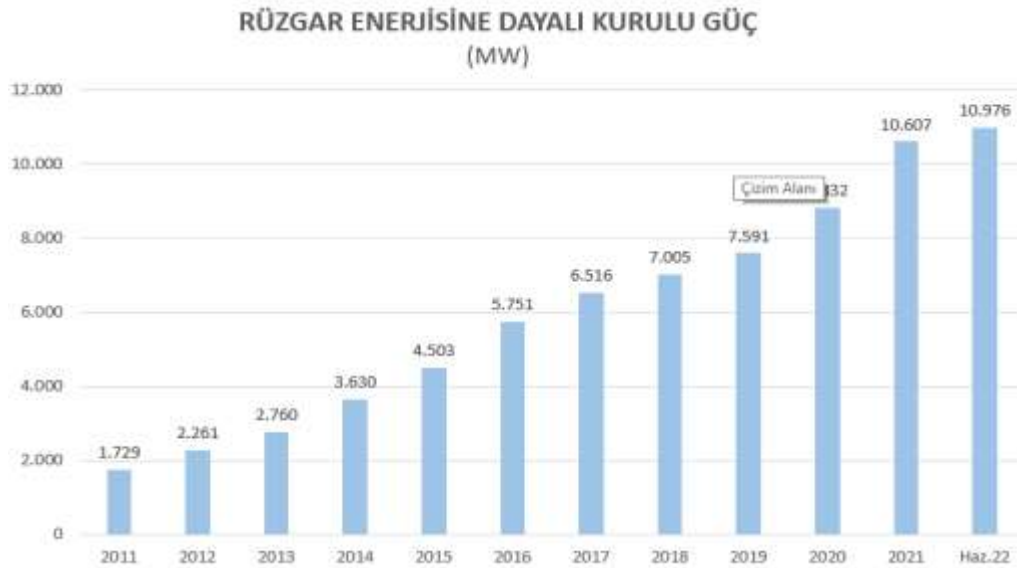
2006 yılında hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre 50 m yükseklikte yıllık ortalama 27 km/h rüzgâr hızından fazla olduğu yerlerde kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği hesaplanmıştır. Bu durum ülkemizde 47849,44 MW olup bu potansiyele karşılık gelen alan ülkemizin alanının%1,3 olarak hesaplanmıştır. (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024).



Kaynak: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2024)

Şekil 2.5. Türkiye Rüzgâr Atlası.

Haziran 2022 tarihi itibariyle rüzgâr enerjisinden elde edilen kurulu gücümüz 10976 MW'dır. Yıllara göre kurulu güç değişimi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024a).



Kaynak: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2024a)

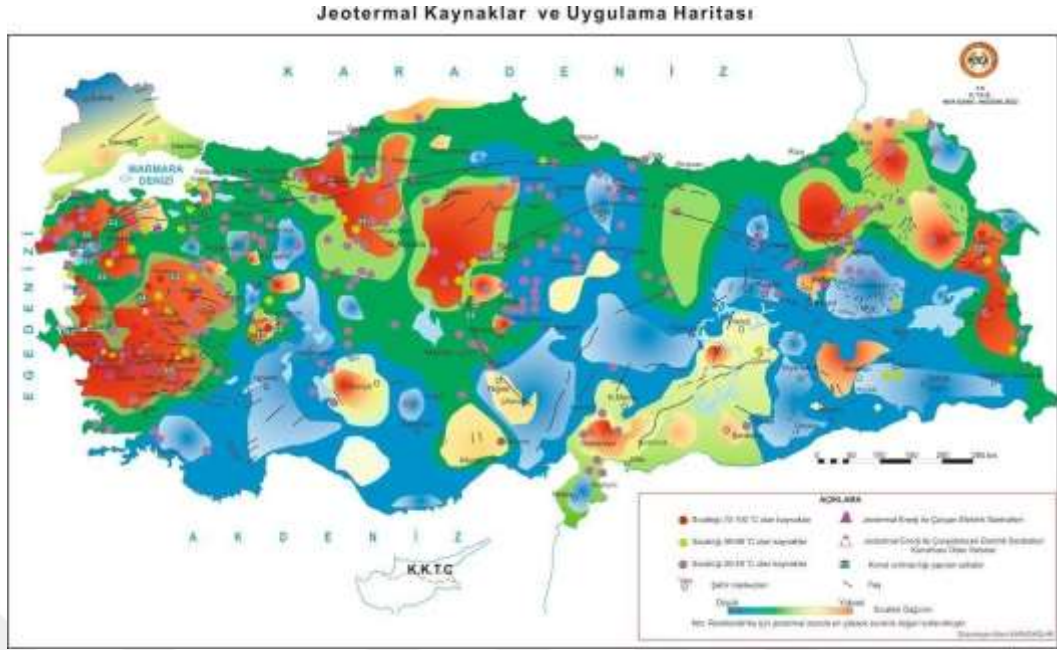
Şekil 2.6. Yıllara Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Güç Değişimi.

2.1.1.1.3. Jeotermal Enerjisi

Dünyanın derinliklerinde bulunan magmadan ortaya çıkan ısı etkisiyle oluşan enerji türüne jeotermal enerji denmektedir. Jeotermal kaynaklar akışkanların sıcaklıklarına göre düşük ısılı (25°C den küçük), orta ısılı (125-225°C arasında) ve yüksek sıcaklıklı olarak sınıflandırılır (225°C den büyük) (Erkul, 2012).

İlk olarak İtalya’da jeotermal enerjiden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Dünyada 2000 yılında jeotermal enerjiden 7974 MW elektrik elde edilmekteydi ve bu da kullanılan elektrik enerjisinin %1,6’sına denk gelmektedir (Arslan vd., 2001). Dünyada diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre jeotermal enerji kaynakları daha az kullanılmaktadır. 2020 yılında jeotermal enerji kurulu enerji santrali gücü 14.939 MW olmuştur. ABD 3700 MW jeotermal kurulu gücüyle 1. sırada bulunmaktadır. Bu sıralama Endonezya (2289 MW), Filipinler (1918 MW), Türkiye (1570 MW) ve Kenya (1193 MW) şeklinde devam etmektedir. Bu beş ülke “Binler Kulübü” olarak adlandırılır Uluslararası Enerji ajansı 2050 yılında dünyanın elektrik ihtiyacının %3,5’inin jeotermal enerjiden sağlanacağını öngörmektedir (Tunçbilek ve Yılmaz, 2021).

Jeotermal enerji kaynakları, çevre dostu, ucuz ve sürekli bir yeraltı enerji kaynağıdır. Türkiye tektonik kuşak üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle jeotermal enerji açısından önemli bir konuma sahiptir. Ülkemizde yaklaşık olarak 1000 adet doğal olarak çıkan jeotermal kaynak vardır. Söz konusu enerji potansiyeli açısından Avrupa’da en fazla potansiyele sahiptir. Kurulu güç açısından ise dünyada 4. sıradadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024b).



Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2024b)

Şekil 2.7. Ülkemizde Yer Alan Jeotermal Kaynakların Dağılım Haritası.

Ülkemizin jeotermal potansiyeli dağılımı şu şekildedir; %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Bu kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta, %10'u ise elektrik enerjisi üretimi için uygundur. Jeotermal enerji uygulamalarında ilk elektrik üretimi 1975 yılında 0,5 MWe güce sahip Kızıldere Santrali ile başlatılmıştır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin 35500 MW olduğu, elektrik üretim potansiyelinin de 4500 MW olduğu tahmin edilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024b).

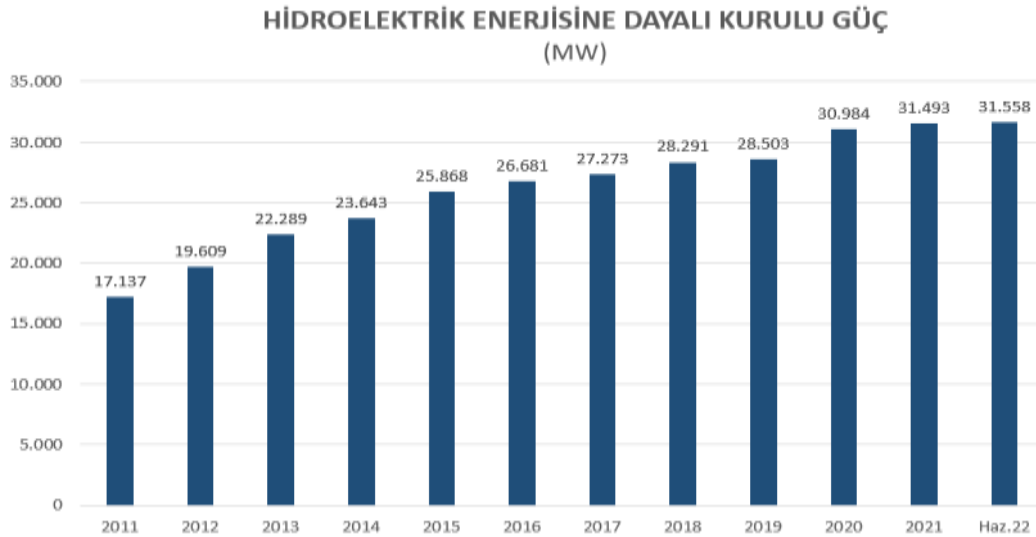
2.1.1.1.4. Hidrolik Enerjisi

Yeryüzünde döngü içerisinde olan su sürekli olarak hareket etmektedir. Suyun hareketini türbinler aracılığıyla ile enerjiye dönüştüren tesislere hidrolik enerji tesisi denmektedir. Suyun bitmeyen döngüsü ve su oranının değişmemesi nedeniyle hidrolik enerji de bitmeyen bir enerji kaynağıdır (Tunçbilek ve Yılmaz, 2021; Özbek ve Rüstemli, 2023).

Hidroelektrik santrallerden (HES) 2020 yılında dünya elektrik ihtiyacının %16'sını karşılamıştır (Özbek ve Rüstemli, 2023). Dünyada 100'den fazla ülke HES'lerden enerji temin etmektedir. Dünyadaki HES Kurulu güç kapasitesi açısından ülke bazlı bir sıralama

yapılırsa Çin, Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya ve Kanada şeklinde yapılabilir. Mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin %76'sı HES'lerden sağlanmaktadır. Pekin'de gerçekleştirilen Hidroelektrik Kongresi'nde sunulan Dünya Enerji Konseyi Raporu'na (Charting the Upsurge in Hydropower Development) göre 2050 yılında HES'lerin kurulu güç kapasitesinin 2000 GW olarak iki katına çıkacağı öngörülmektedir (World Energy Council, 2024).

Ülkemizde ise HES'lerden 2021 yılında 55,5 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. 2022 Mayıs sonu itibarıyla da 35,2 milyon kWh'lik elektrik üretilmiştir. 2022 Haziran ayı sonu verilerine göre HES Kurulu güç kapasitesi 31558 MW olarak toplam kurulu gücün %31'ini oluşturmuştur. Aşağıdaki grafikte Türkiye'nin yıllara göre HES Kurulu güç değişimi verilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2024c).



Kaynak: (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2024c)

Şekil 2.8. Hidroelektrik Santralleri Kurulu Güç Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.

2.1.1.1.5. Biyokütle Enerjisi

Tarımsal, hayvansal, kentsel, ormansal ve endüstriyel atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle enerji elde edilmesine Biyokütle Enerjisi denir. Biyokütle enerjisi çevre dostu yenilenebilir bir enerji türüdür (Yapraklı ve Bayramoğlu, 2014)

Biyokütle tesisleri birinci nesil ve ikinci nesil olarak sınıflandırılır. Birinci nesil biyokütle tesislerinin verimleri ikinci nesle göre daha düşüktür. Enerji kaynakları

sıralamasında dünyada 4. sırada bulunan biyokütle enerjisiyle İsveç enerjisinin %16'sını, Avusturya %13'ünü karşılamaktadır (Karabaş, 2019). Günümüzde enerji potansiyelinin %7'si kullanılan biyokütle enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin toplam enerji eşdeğeri 65376 Mtep'tir (Acaroğlu ve Ültanır, 2000).

Ülkemizde 2022 yılı Haziran ayı itibarıyla verilerine göre biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç 2,172 MW ve toplam kurulu güce oranı ise %2,14'tür (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024d).



Kaynak: (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024d)

Şekil 2.9. Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.

2.1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları

2.1.1.2.1. Fosil Enerji Kaynakları

Dünya enerjisinin %86'sını yenilenemez enerji kaynaklarından toplam tüketimin %81'ini de fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Kullanılan fosil yakıtların %38'petrol, %33'ü kömür %29'u da doğalgazdan oluşmaktadır (Arı ve Yılmaz, 2023).

Dünyadaki fosil yakıt rezervleri incelendiğinde ülkelere göre dağılımı şu şekildedir. Petrol rezervinin dağılımı, Venezuela %17,07, Suudi Arabistan %14,53, İran %11,72, Kanada

%9,57, Irak %8,15, Kuveyt %5,7, Birleşik Arap Emirlikleri %5,5, Rusya %4,5, Libya %2,72 ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) %2,64 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

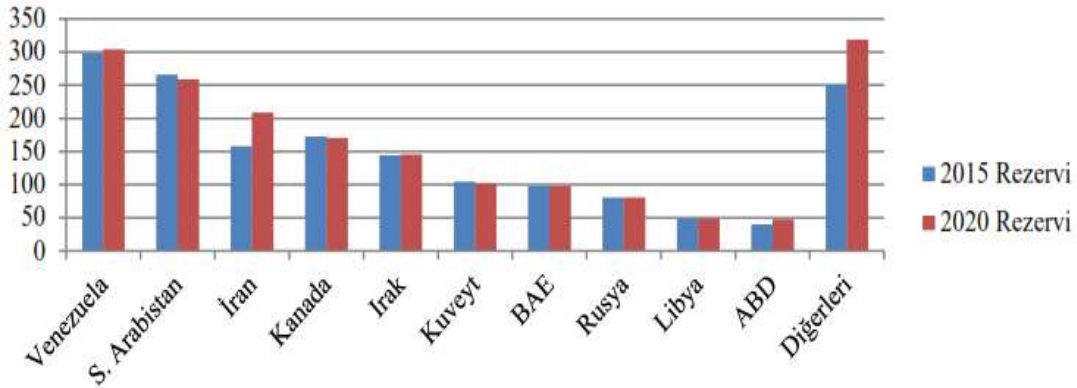
Doğalgaz rezerv dağılımı, Rusya %23,68, İran %16,49, Katar %11,53, Türkmenistan %7,43, ABD %6,27, Suudi Arabistan %4,08 ve Birleşik Arap Emirlikleri %3,74 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

Kömür rezerv dağılımı, ABD %23, Rusya %15, Avustralya %14, Çin %13, Hindistan %10 ve Almanya %4 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

2.1.2.1.1. Petrol

Petrol, hızla küreselleşen dünyada uluslararası ilişkilerde ve bölgesel entegrasyonda önemli rol oynamaktadır. Petrol rezervlerinin dünyadaki dağılımı ve sınırlı olması, petrol endüstrisinin yönetimi tüm dünya ülkeleri için önem arz etmektedir. Bunun üzerine Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) kurulmuştur (Elmas, 2019).

Dünyada kullanılan enerjinin yaklaşık %81'i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin %38'i de petrolden karşılanmaktadır (Arı ve Yılmaz, 2023).



Kaynak: Arı ve Yılmaz, (2023)

Şekil 2.10. Petrol Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı

Dünyadaki petrol rezervleri incelendiğinde ülkelere göre dağılımı şu şekildedir, Venezuela %17,07, Suudi Arabistan %14,53, İran %11,72, Kanada %9,57, Irak %8,15, Kuveyt %5,7, Birleşik Arap Emirlikleri %5,5, Rusya %4,5, Libya %2,72 ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) %2,64 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

Petrolün dünya enerji ihtiyacının karşılanmasındaki payının yüksek olması ve yaygın tüketim ağının olması sebebiyle ülkemizde de önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde 2022 yılında 3,58 milyon ton ham petrol üretimi yapılmasına karşın 33,49 milyon ton ham petrol ithalatı yapılmıştır. Türkiye'nin üretilebilir rezervi 2022 itibarıyla yaklaşık 70 milyon tondur. 2022 yılında ülkemizde 421.408 metre sondaj yapılarak 191 ham petrol kuyusu açılmıştır. Bu verilerden yola çıkarak ülkemizin %90 oranında ham petrol ithalatına bağımlı olduğu sonucuna varılmaktadır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2024e).

2.1.2.1.2. Kömür

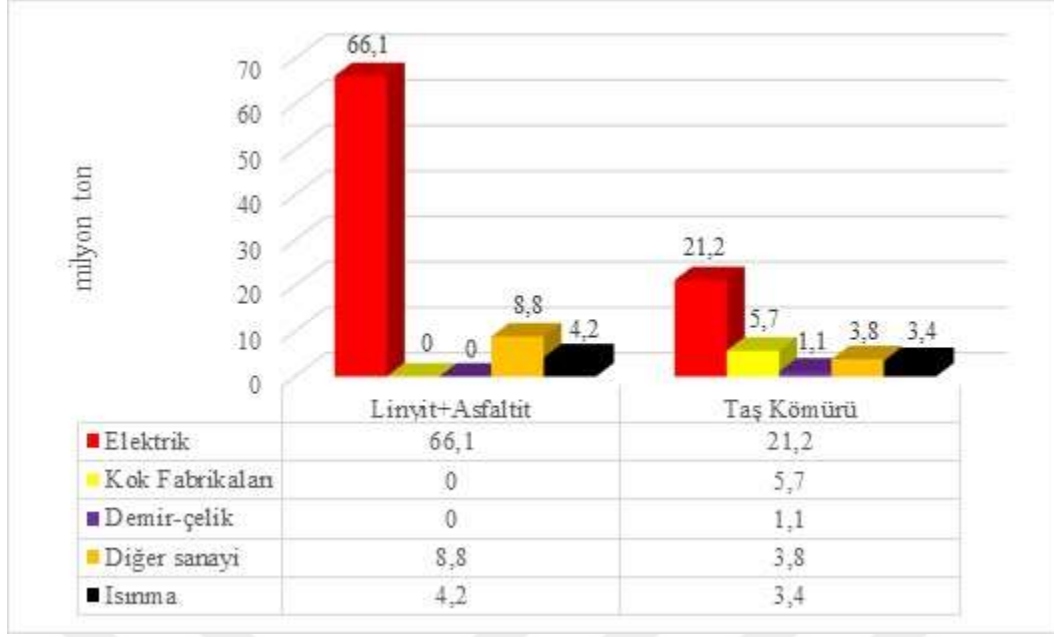
Dünyanın enerji ihtiyacının önemli bir kısmını oluşturan kömürün rezervinin 1069 milyar ton olacağı ve dünyanın birincil enerji tüketiminin %27'sini karşılayacağı tahmin edilmektedir (Thomas, 2023).

Dünyada kullanılan enerjinin yaklaşık %81'i fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin %33'ü de kömürden karşılanmaktadır. Dünyadaki kömür rezervleri incelendiğinde ülkelere göre dağılımı şu şekildedir, ABD %23, Rusya %15, Avustralya %14, Çin %13, Hindistan %10 ve Almanya %4 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

Dünya genelinde birçok ülkenin desteklediği sıfır emisyon hedefleri ve Paris Antlaşması'nın şartları nedeniyle kömür kullanımı dünya genelinde 2060 yılına kadar %16 oranına kadar gerileyeceği tahmin edilmektedir (Reyseliani, 2024).

Ülkemizde ise toplam kömür kaynağı 20,84 milyon ton dur. 2022 yılı verilerine göre ülkemizde 112815,81 GWs kömür kaynaklı elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bunun 49556,15 GWs'i yerli üretimden, 63259,66 GWs'ise ithal kömürden üretilmiştir (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024f).

Ülkemizin kömür tüketimin sektörel dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



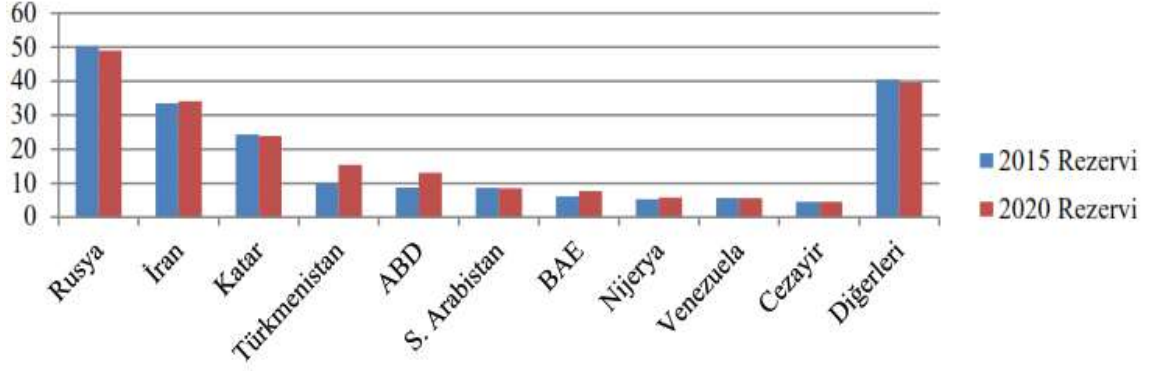
Kaynak: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, (2024f)

Şekil 2.11. Türkiye Kömür Tüketiminin Sektörel Dağılımı

2.1.2.1.3. Doğalgaz

Fosil yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan iklim değişikliği tehdidi ve jeopolitik sorunlar sebebiyle bu enerji kaynaklarının kullanımında bir düşüş olacaktır. Bu nedenle yakın gelecekte fosil yakıt rezervine sahip ülkeler sıkıntı yaşarken, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olan ülkeler ciddi kalkınmalar yaşayacaktır (Dekker ve Missemmer, 2024).

Doğalgaz fosil yakıtlar içerisinde birim enerji başına en az karbondioksit yayması sebebiyle endüstride ve konutlar ile ticari mekân ısıtmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dünyanın doğalgaz rezervi 185,7 trilyon metreküp ve rezerv/üretim oranı 55,1'dir (Esen ve Oral, 2016).



Kaynak: Arı ve Yılmaz, (2023).

Şekil 2.12. Doğalgaz Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı

Doğalgaz rezerv dağılımı, Rusya %23,68, İran %16,49, Katar %11,53, Türkmenistan %7,43, ABD %6,27, Suudi Arabistan %4,08 ve Birleşik Arap Emirlikleri %3,74 şeklindedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

Ülkemiz doğalgaz konusunda %99 oranında doğalgaz ithalatına bağımlıdır. 2022 yılı itibarıyla 408 milyon m³ doğalgaz üretilirken 54,6 milyar m³ ithal edilmiştir. Karadeniz’de keşfedilen 544 milyar m³’lük rezervle birlikte önemli bir enerji kaynağı sağlanmış olacak (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2024g).

2.1.2.2. Nükleer Enerji Kaynağı

Nükleer enerji, çevre dostu olması ve küresel ölçekte temiz enerji arayışı nedeniyle dünya çapında ilgi görmektedir. Dünya çapında 2020 yılı itibarıyla 27 ülke nükleer enerji santralinden enerji temin etmektedir (Bozkay vd, 2025). 2023 yılı itibarıyla nükleer santrale sahip ülke sayısı 31 olurken nükleer santral sayısı da 410 olmuştur.

Günümüzde nükleer santrallerden üretilen elektrik, dünya elektrik ihtiyacının %10’unu karşılamaktadır. Nükleer santralleri olan ülkeler elektrik arzları incelendiğinde, Fransa elektrik arzının %63’ünü, Slovakya %59’unu, Macaristan %47’sini, Belçika %46’sını, Güney Kore %30’unu ve ABD %18’ini nükleer santrallerden karşılamaktadır. Şu an dünya genelinde inşa halinde olan nükleer santral sayısı 42 ve bunların 4’ü ülkemizdedir.

2.2. Seracılık

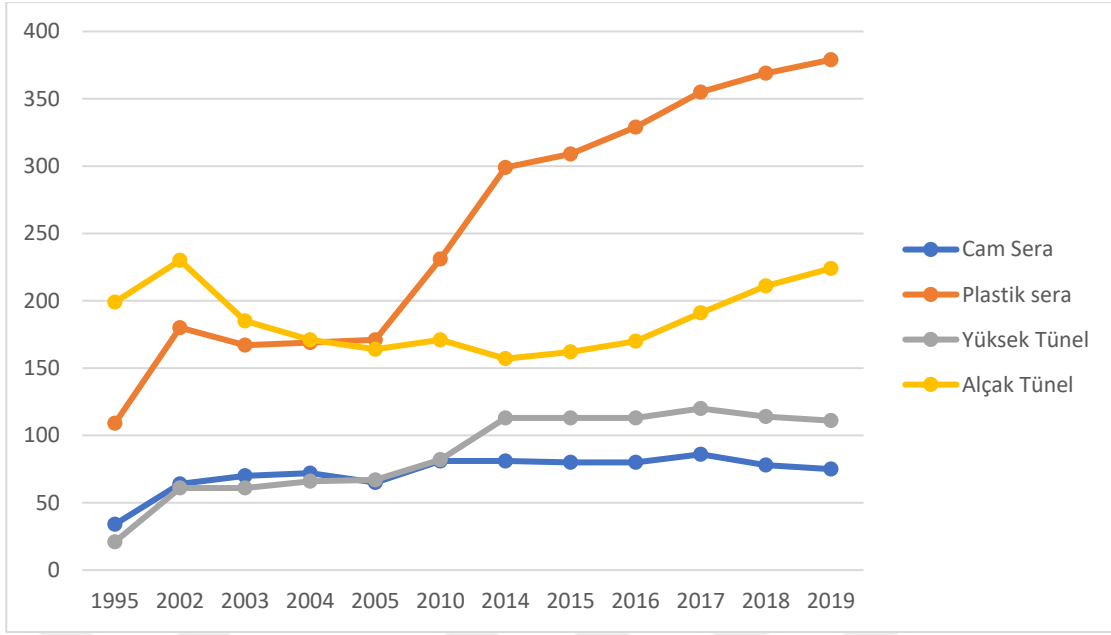
2.2.1. Türkiye’de Seracılık

Ülkemizde ilk olarak seracılık 1940 yılında Antalya’da yapılmıştır ve daha sonra Marmara ve Ege bölgelerine yayılmıştır (Zaimoğlu, 2017). Günümüzde ülkemiz örtü altı bitkisel üretimde dünyada 4. sırada, Avrupa’da ise 2. sıradadır. 2019 yılında Türkiye’de 31 milyon ton sebze üretilmiştir. Bu üretimin %25,16’sı 790 bin dekarlık bir alanda seralarda üretilmiştir. Seralarda iller bazında sebze üretimine bakıldığında 1. sırada 3,8 milyon ton ile Antalya, 2. sırada 1,2 milyon ton ile Mersin, 3. sırada 1 milyon ton ile Adana ve 4. sırada da 690 bin ton ile Muğla bulunmaktadır (Erdal vd., 2024; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

Çizelge 2.1. Türkiye’nin Yıllara Göre Örtülü Alan Miktarlarındaki Değişim

Yıllar	Cam Sera	Plastik sera	Yüksek Tünel	Alçak Tünel	Toplam
1995	34	109	21	199	363
2002	64	180	61	230	536
2003	70	167	61	185	483
2004	72	169	66	171	478
2005	65	171	67	164	468
2010	81	231	82	171	564
2014	81	299	113	157	649
2015	80	309	113	162	664
2016	80	329	113	170	692
2017	86	355	120	191	752
2018	78	369	114	211	772
2019	75	379	111	224	790

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, (2024).



Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, (2024).

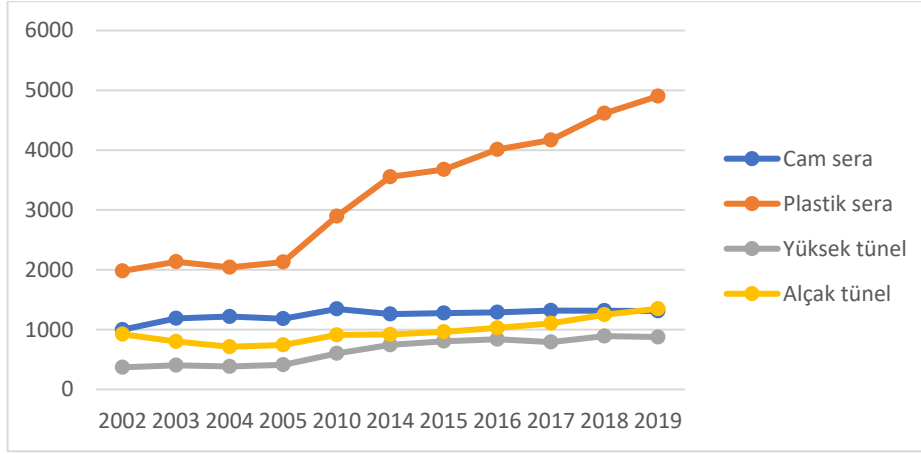
Şekil 2.13. Türkiye'nin Yıllara Göre Örtülü Alan Miktarlarındaki Değişim Grafiği.

Grafikten de anlaşılacağı üzere 1995 ile 2019 yılları arasında plastik sera sayısında %247,7'lik bir artış olurken diğer sera türlerinde fazla bir artış olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.2. Seralarda üretilen ürün miktarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	Cam sera	Plastik sera	Yüksek tünel	Alçak tünel	Toplam
2002	999	1.980	369	923	4.271
2003	1.188	2.134	404	801	4.528
2004	1.218	2.041	383	713	4.354
2005	1.182	2.129	412	743	4.465
2010	1.345	2.895	601	910	5.750
2014	1.259	3.554	744	919	6.482
2015	1.276	3.676	805	963	6.720
2016	1.289	4.011	838	1.028	7.165
2017	1.319	4.168	792	1.104	7.383
2018	1.316	4.615	891	1.249	8.071
2019	1.311	4.902	875	1.349	8.437

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, (2024).



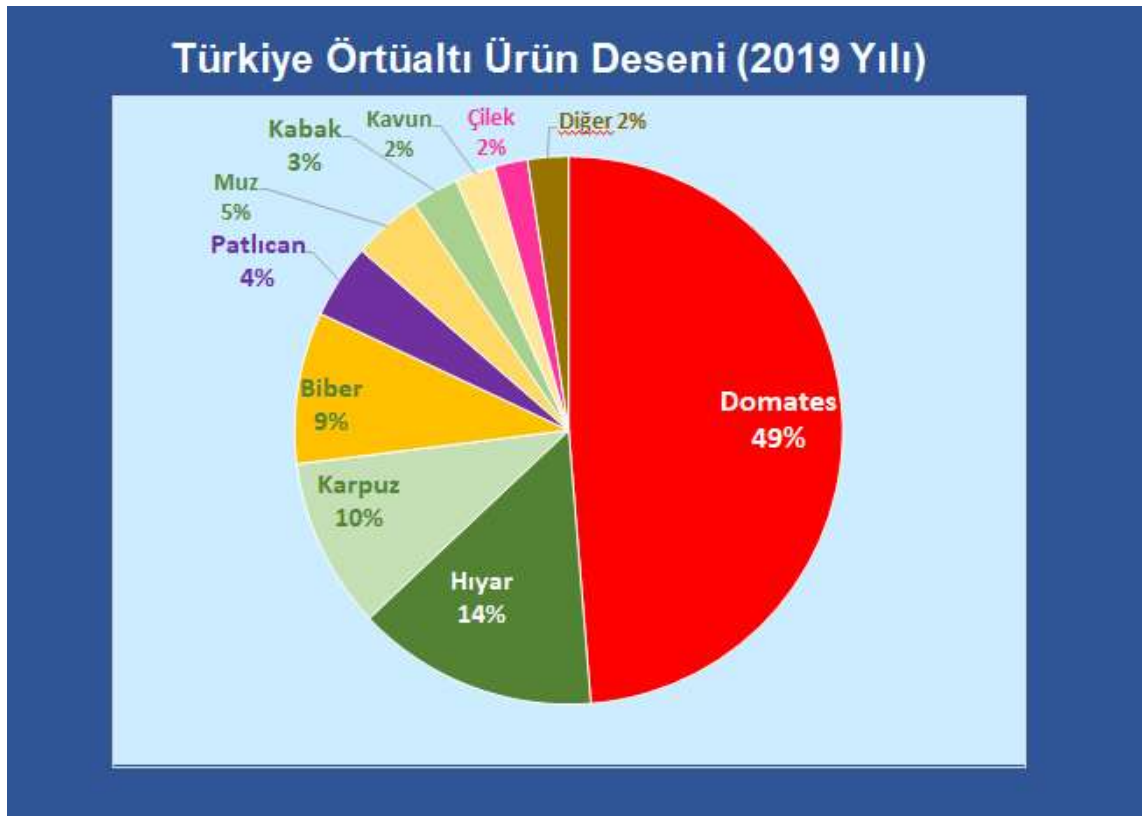
Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024).

Şekil 2.14. Seralarda Üretilen Ürün Miktarının Yıllara Göre Dağılım Grafiği

Çizelge 2.3. 2019 Yılı İllere Göre Örtülü Alan Miktarı (Dekar)

Sıra	İl	Alan (da)	Sıra	İl	Alan (da)	Sıra	İl	Alan (da)
1	Antalya	286522	26	Afyonkarahisar	1161	51	Van	163
2	Mersin	201060	27	Konya	752	52	Artvin	148
3	Adana	160493	28	Çanakkale	738	53	Gümüşhane	124
4	Muğla	39048	29	Sakarya	689	54	Çankırı	120
5	İzmir	14016	30	Balıkesir	663	55	Düzce	106
6	Aydın	12717	31	Uşak	624	56	Nevşehir	90
7	Hatay	11456	32	Kütahya	618	57	Kırklareli	89
8	Burdur	9843	33	Karabük	584	58	Edirne	85
9	İsparta	4942	34	Ankara	572	59	Kayseri	58
10	Amasya	4881	35	Çorum	564	60	Bolu	57
11	Eskişehir	3882	36	Diyarbakır	469	61	Siirt	56
12	Yalova	3879	37	Kastamonu	380	62	Osmaniye	50
13	Bilecik	3692	38	Sinop	359	63	Ağrı	48
14	Samsun	2929	39	Batman	350	64	Bingöl	44
15	Manisa	2738	40	Tekirdağ	317	65	Iğdır	42
16	Kocaeli	2470	41	Mardin	269	66	Bayburt	29
17	Bartın	1768	42	Ordu	266	67	Karaman	29
18	İstanbul	1737	43	Erzincan	242	68	Yozgat	28
19	Denizli	1683	44	Aksaray	202	69	Kırıkkale	16
20	Elazığ	1446	45	Trabzon	201	70	Kilis	13
21	Zonguldak	1253	46	Erzurum	192	71	Hakkari	8
22	Kahramanmaraş	1243	47	Adıyaman	187	72	Malatya	7
23	Şanlıurfa	1223	48	Sivas	173	73	Tunceli	6
24	Bursa	1193	49	Kırşehir	170			
25	Tokat	1170	50	Giresun	166			
Toplam Alan: 789608								

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024).



Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024).

Şekil 2.15. Sera Alanlarında Yetiştirilen Ürün Dağılımları

Seralarda domates, hıyar, biber kavun, karpuz, vb. yüksek sıcaklık ihtiyacı olan ılıman iklim bitkileri üretilmektedir. Bu ürünler en az 12°C en fazla 32°C değerlerinin dışında strese girerler ve düşük sıcaklıklarda da don sebebiyle bitkilerde geri dönüşü olmayan hasarlar oluşur. Bu nedenle sera sıcaklığı 12°C'nin altına düşmesi durumunda ısıtma yapılması gerekir. Seraların ısıtılması, ürünün kalitesini ve verimini olumlu yönde etkilerken bazı düşük sıcaklıklarda karşılaşılabilecek hastalıkları önlediği için de ek ilaç kullanımını da önlemektedir. Fazladan ilaç kullanımı, ürün kalitesini ve insan sağlığını olumsuz etkilediği gibi ek masrafa sebep olmaktadır. Isıtma giderleri, seranın fiziksel yapısına, çevre koşullarına ve yetiştirilen bitkiye göre değişmekte olup, işletme giderlerinin yaklaşık %30-80 arasında değişmektedir (Zaimoğlu, 2017; Üstün, 2024).

Soğuk iklim şartlarının hâkim olduğu bölgelerdeki seralarda daha uzun dönemlerde ısıtma yapılması gerekmektedir. Güney İtalya'da 1 ha'lık çiçek serası için 167 kWh/m² ısı enerjisi gerekmektedir. Adana ise 90 kWh/m² gerekmektedir. Seralarda sıcaklığın istenilen düzeye çıkarılması yanı sıra istenilen düzeyde tutulması da oldukça önemlidir. Bu konuda enerjinin korunumu amacıyla seralarda ısı kaybına neden olan yüzey alanlarının küçülmesi,

ısı direnci yüksek olan örtü malzemelerinin kullanılması, gerektiğinde ısı perdelerinin kullanılması, ısıtma sistemlerinin mühendislik hesaplarının iyi yapılması ve uygun ısıtma sistemi seçiminin yapılması enerjiden ciddi oranda tasarruf edilmesini sağlayacaktır (Zaimoğlu, 2017).

2.2.2. Sera Tipleri

Sera, dış ortamdan izole edilerek kapalı bir alan içerisinde uygun iklim şartlarının oluşturulması koşuluyla tarımsal üretim yapan tesislerdir (Wang ve Jun, 2023). Sera dört farklı başlık altında sınıflandırılabilir.

2.2.2.1. Cam ve Sert Plastik Örtülü Seralar

Cam ve sert plastik örtülü seralar yaygın olarak orta ve kuzey Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Cam seralar güneş ışığının yetersiz olduğu durumlarda seranın mümkün olduğu kadar ışık almasını sağlamaktadır. Serada camların macunsuz olarak yerleştirilmesi amacıyla özel standartlarda çelik ya da alüminyum profiller kullanılır. Örtü malzemesi olarak tek katlı ya da çift katlı cam kullanılır (Baytorun, 2016).



Kaynak: Baytorun, (2016).

Şekil 2.16. Yay Çatılı Blok Plastik Sera



Kaynak: Baytorun, (2016).

Şekil 2.17. Yay Çatılı Plastik Sera



Kaynak: Baytorun, (2016).

Şekil 2.18. Geniş Açıklıklı Plastik Sera

2.2.2.2. Alçak Tünel Seralar

Yumuşak plastik örtü, bitki sıraları üzerine yerleştirilen 2,5-3 mm kalınlığında yerden yüksekliği 30-100 cm, 1-3 m genişliğinde belirli aralıklarla yarım daire şeklinde bükülmüş demir çubuklar üzerine kapatılması ile oluşturulan sistemlerdir. Alçak tüneller genellikle 2-3 m genişliğinde ve 60-80 cm yüksekliğinde yapılırlar (Büyüktaş, 2023).



Kaynak: Büyüктаş, (2023)

Şekil 2.19. Alçak Tünel Sera

2.2.2.3. Yüksek Tünel Seralar

Yüksek tünel sera, insanın içerisine rahatça girebildiği genişlikte ve yükseklikte yapılan tarımsal mekanizasyona imkân sağlayan ısıtma ve havalandırma sistemi olmayan yarım daire kesitli sistemlerdir. Genişlikleri 5-6 m, yükseklikleri 2-2,5 m ve yarım daire şeklinde bükülmüş çelik borulardan oluşan bir iskelet sistemi bulunan, plastik örtüyle örtülmüş yapılardır (Büyüктаş, 2023).



Kaynak: Büyüктаş, (2023)

Şekil 2.20. Yüksek Tünel Sera

2.2.2.4. Plastik Seralar

Sera örtüsü olarak PE, PVC gibi yumuşak plastiklerin kullanıldığı seralardır. Plastikler vurma ve çarpma gibi darbelere dayanıklıdır, biyolojik zararlılardan etkilenmez, paslanmaz ve ekonomiktir, kolay temizlenebilir, istenilen şekle kolayca girebilir, güneş ışığını iyi geçirir, kimyasallara karşı dayanıklıdır ve renklendirme özellikleri iyidir. Bu sebeplerden dolayı genellikle plastik örtüler tercih edilmektedir.



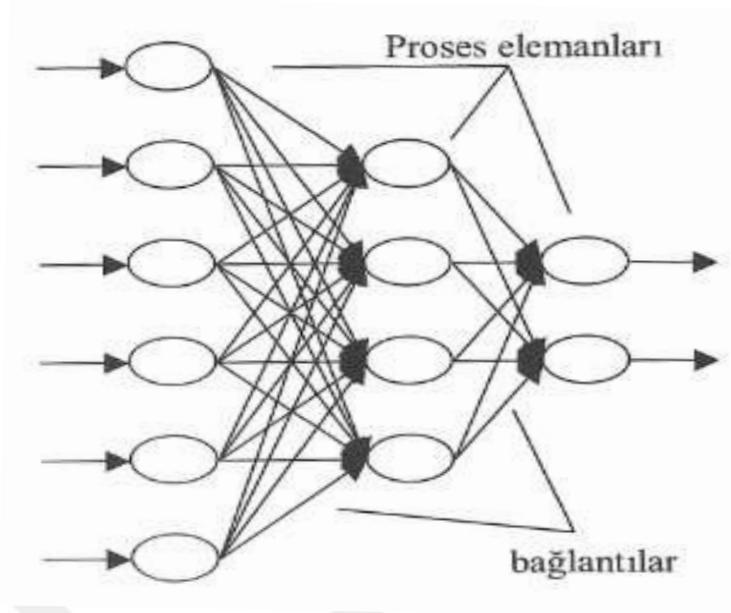
Kaynak: Büyüktaş, (2023)

Şekil 2.21. Plastik Örtülü Sera

2.3. Yapay Sinir Ağları

2.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beynini taklit ederek herhangi bir yardım almadan öğrenme yoluyla yeni bilgi, keşfedebilme ve yeni tecrübeleri otomatik olarak oluşturmak için tasarlanmış bilgisayar sistemleridir. YSA, insan beyninin öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi özelliklerini başarılı bir şekilde uygulayabilmektedir. Örneklerden elde edilen bilgilerle yukarıda belirtilen yetenekleri sayesinde kendi deneyimlerini oluşturarak benzer konularda benzer kararlar verir (Öztemel, 2003)



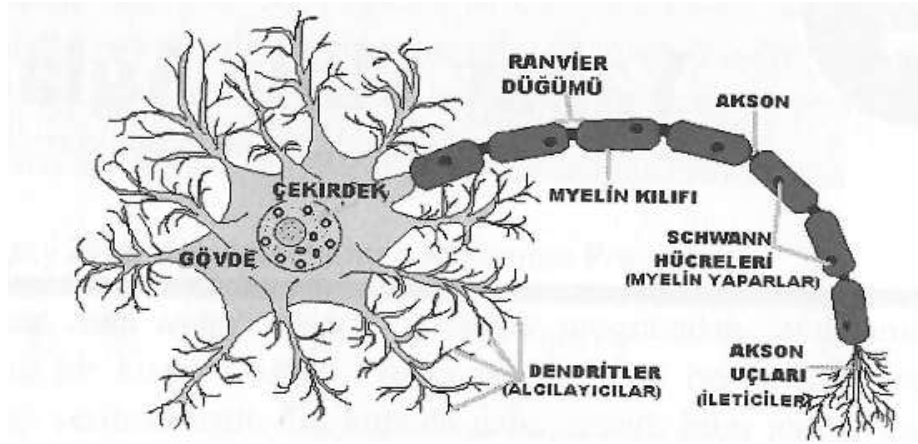
Kaynak: Öztemel, (2003)

Şekil 2.22. Yapay Sinir Ağı örneği

YSA birbirine hiyerarşik bir şekilde bağlı ve pareler olarak çalışan hücrelerden oluşur ve günümüzde birçok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahiptir. Bu hücreler birbirine bağlantılıdır ve her bağlantının bir değeri vardır. Bilginin öğrenme yoluyla elde edildiği ve hücrelerin bağlantı değerlerinin saklandığı dağıtık bir hafızanın ortak noktaları oluşturmaktadır. Söz konusu hücrelerin birbiriyle bağlantıları sonucu oluşan ağa yapay sinir ağı denir (Öztemel, 2003).

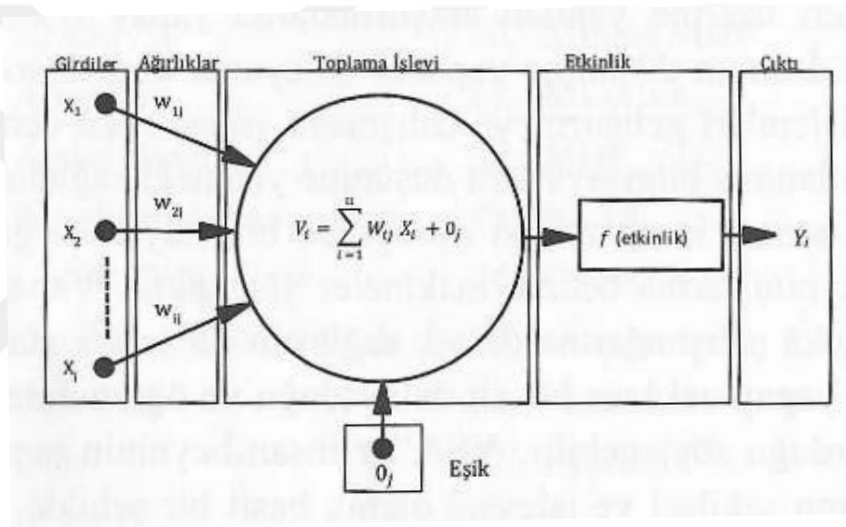
2.3.1.1. Yapay Sinir Öğeleri

Biyolojik beyin hücrelerinin işlevini taklit eden yapay sinir hücreleridir. Aşağıdaki şekillerde biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir ağı şekilsel olarak gösterilmiştir.



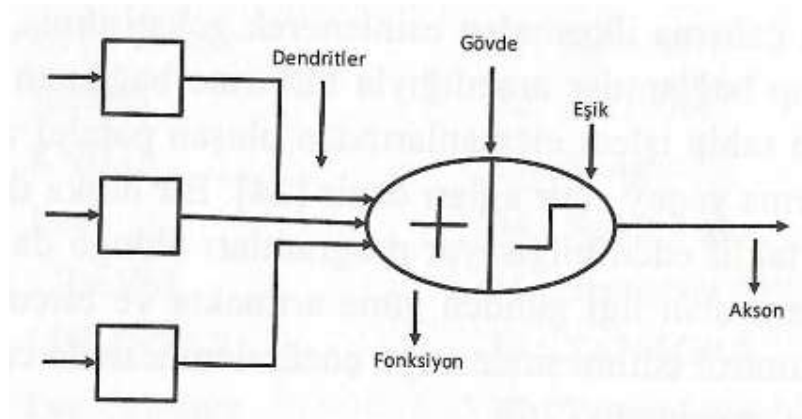
Kaynak: Aydemir, (2019)

Şekil 2.23. Biyolojik Beyin Hücresi



Kaynak: Aydemir, (2019)

Şekil 2.24. Yapay Sinir Elemanı



Kaynak: Aydemir, (2019)

Şekil 2.25. Biyolojik Beyin Hücresi İle Yapay Sinir Ağı Benzerliği

2.3.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağlarında temelde öğrenmeyi danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme diye ikiye ayırabiliriz. Danışmanlı öğrenmede girdi ve çıktı verileri sisteme girilerek sistemin girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanır. Danışmansız öğrenmede ise sadece girdi verileri girilerek problemin çözümü ağdan istenir (Aydemir, 2019).

YSA öğrenmesinde birçok algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritmaların birçoğu Hebb kuralından türetilmiş olup, YSA'nın matematiksel olarak daha güçlü olmasını amaçlamaktadır. Öğrenme algoritmalarında Hebb, Delta, Kohonen ve Hopfield kurallarından yararlanılmaktadır (Aydemir, 2019).

2.3.2.1. Hebb Kuralı

Donald HEBB, 1949 yılında beyindeki sinaptik düzenlemeler ile ilgili olarak sunmuş olduğu yaklaşım o zamandan beri YSA'nın eğitilmesinde kullanılmıştır. Hebb'in öğrenme yasası ile doğrusal oluşturulabilir ve Hebb kuralının vektörel gösterimi şu şekildedir;

$$W^{new} = W^{old} + t_q P_q^T \quad (1)$$

W: Ağırlık matrisi, t_q : desen vektörü, P_q : karşılık vektörü

Ağırlık matrisinin sıfırdan başlayarak $Q_{giriş - çıkış}$ çiftlerinin denklemi:

$$W = t_1 P_1^T + t_2 P_2^T + \dots + t_Q P_Q^T \quad (2)$$

Bu matris biçiminde şu şekilde sunulur:

$$W = TP^T \quad (3)$$

Veri küme elemanlarının koordinat sistemindeki dağılımı ortogonal olmadığı durumda Hebb kuralı hatalı sonuçlar vermektedir. Bu hatalar test kuralı uygulanarak şu şekilde hesaplanır:

$$W = TP^+ \quad (4)$$

P^+ Moore–Penrose tersi

Matrisin tersi:

$$P^+ = (P^T P)^{-1} P^T \quad (5)$$

4 numaralı denklem ağırlık matrisini bulmak için kullanılır. Ağırlık matrisi kullanılarak hedef fonksiyon bulunur ve bu fonksiyonda amaç fonksiyonu için kullanılır (Bedekar vd., 2011).

2.3.2.2. Hopfield Kuralı

Günümüzde YSA'larında çok yaygın olarak kullanılan Hopfield kuralı ilk defa 1985 yılında Hopfield ve Tank tarafından ortaya atılmıştır (Guo vd., 2024). Hebb kuralına göre girdi ve çıktı her ikisi de aktif ise ya da pasif ise öğrenme oranı tarafından ağ değerleri artırılır, diğer durumlarda ise azaltılır. Birçok öğrenme algoritmasında öğrenme katsayısı ya da oranı 0 veya 1 arasında bir değerdir (Aydemir, 2019).

2.3.2.3. Delta Kuralı

Delta kuralı, öğrenme algoritmaları içerisinde en sık kullanılanıdır ve Hebb kuralının farklı bir versiyonudur. Bu kural nöronların gerçek çıktısı ile istenilen çıktı değeri arasındaki farkı azaltarak girdi bağlantılarını sürekli değiştirerek güçlendiren bir yapıya sahiptir. Bu nedenle Delta kuralı, ortalama hatayla bağlantılı ağırlık değerlerinin değiştirilmesi prensibine bağlıdır. Hata önceki katmanlara geri yayılarak azaltılır ve bu işlem çıktı katmanından girdi katmanına varıncaya kadar yapılır. Bu geri yayılım Window-Holff veya En küçük ortalama karesel öğrenme olarak da adlandırılır (Aydemir, 2019).

2.3.2.4. Kohonen Öğrenme Kuralı

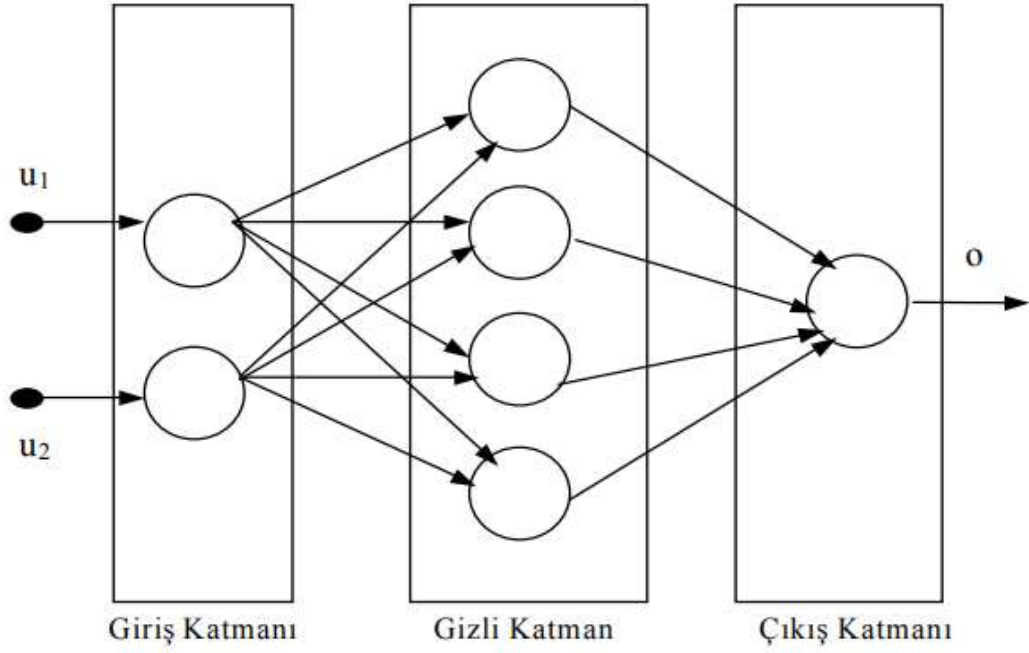
Kohonen kendi kendini organize eden haritası (self-organising map), standart ileri beslemeli ağlardan sonra en popüler sinir ağı biçimidir. Kendi kendini organize eden harita, her bir veri bölgesinin prototipini temsil eden, uzamsal olarak ilişkili nöronlardan oluşan bir ağıdır (Curry ve Morgan, 2004). Burada nöronlar eğitilmek için yarışdırılır, her seferinde ağı ağırlığı değiştirilir ve çıktı büyüklüğüne göre bir başarı sıralaması yapılır. Bu sinir

komşularını uyarma ve sınırlama kapasitesine sahiptir. Bu kuralı hedef çıktı gereksinimi olmadığından danışmansız öğrenme metoduna girmektedir (Aydemir, 2019).

2.3.3. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli yapay sinir ağı, tanıma, tanımlama, sınıflandırma ve sinyal işlemleri gibi birçok konuda kullanılmaktadır. Bu ağlarda veriler girdi biriminden çıktı birimine doğru akmaktadır. Veriler katman şeklinde düzenlenir. Bir önceki katmanın çıktısı, kendisinden sonra gelen katman için girdi verisi olur (Aydemir, 2019; Asilkan ve Irmak, 2009).

Veriler, giriş katmanı, ara katman (gizli katman) ve çıktı katmanı üzerinde işlenerek ağ çıkış verileri belirlenir. Bu şekliyle lineer olmayan bir durum ortaya koymaktadır (Fırat ve Güngör, 2004). Aşağıda belirtilen 3 katmanlı bir YSA görülmektedir. İki katmanlı YSA ağının, tek gizli katmanda yeterli nöron olduğu sürece oldukça fazla sayıda doğrusal olmayan fonksiyonu yaklaşık olarak hesaplayabilme yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Ogunbo, 2020). Çalışmaların çoğunda gizli katman sayısı ve nöron sayısı keyfi olarak verilir ve birkaç keyfi mimari denenerek en iyi performansı veren seçilir. Bu durumda bazen gereğinden fazla sayıda nöron olması nedeniyle aşırı parametrelendirilmiş ve dolayısıyla tutumlu olmayan sinir ağı modelleriyle sonuçlanabilir. Bu durum, ağın genelleme yeteneğini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, tek gizli katmanlı sinir ağlarında ardışık öğrenme ile bu sorun çözülebilmektedir. Bu durum, nöronların aynı anda oluşturulmasına ve eğitilmesine imkân tanır. Sigmoid fonksiyonlu nöronlar için radyal tabanlı ve karışık tipte gizli nöronlara sahip sinir ağlarına sahip tek gizli katmanlı ileri beslemeli ağları eğitmek için kullanılabilir.



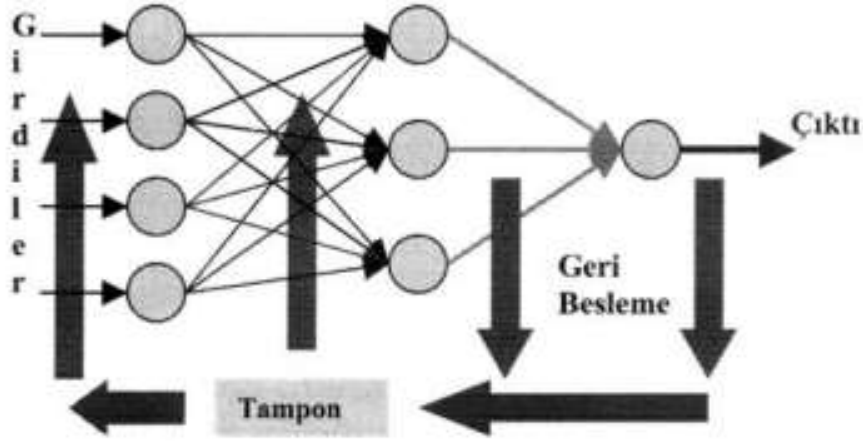
Kaynak: Fırat ve Güngör (2004)

Şekil 2.26. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Yapısı

2.3.4. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İçerisinde en az bir tane geri besleme çevrimi olan, veri akışının sadece ileri yönde değil, geri yönde de olduğu yapay sinir ağlarına geri beslemeli yapay sinir ağı denir. Geri besleme aynı ya da farklı katmanlarda bulunan nöronlar arasında olabilir. Bu yapısı sebebiyle ağın parametrelerinin güncellemesini sağlayan dinamik bir davranış gösterir (Aydemir, 2019; Asilkan ve Irmak, 2009; Yüksek, 2007).

Bu ağ yapısında tampon aracılığıyla çıktıdan alınan veriler gizli katmanlara ve giriş katmanlarına aktarılır. Bu şekilde ağa yeni bilgi girişi olurken geri besleme verileri de hesaplama katılmış olur. Böylece daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. Geri beslemeli YSA'larının yapısı aşağıdaki şekilde gibidir (Aydemir, 2019; Diler, 2003).



Kaynak: Diler, (2003)

Şekil 2.27. Geri Beslemeli YSA Yapısı

2.3.5. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, öğrenme stratejilerini araştırır ve mevcut verilere dayalı karmaşık örüntüleri keşfeder. İlgili mekanizmalarla bağlantılı tahminler ve analizler yapar. Yapay zekâ ve istatistik kökenli makine öğrenimi, çok çeşitli uygulamalar için çözümler sunar. Veri madenciliğinden sosyal medyaya, doğal dil işlemeden biyometrik tanımaya, trafik uyarılarından otonom sürüşe, ürün önerilerinden dinamik fiyatlandırmaya kadar toplumun birçok yönü makine öğreniminden etkilenmektedir (Lu vd., 2024). Makine öğrenmesi yapay zekanın bir alt dalıdır. Veriler arasındaki karmaşık ilişkilerin ortaya çıkarılması için bilgisayar tabanlı matematiksel modeller kullanılır. Veri kümelerini analiz ederek veriler arasındaki karmaşık ve gizli ilişkileri tespit edip karar verme sürecine yardımcı olan tahminler yapan yöntemlere makine öğrenmesi denir (Aydemir, 2019).

2.3.6. Weka

Weka Yeni Zelanda'da bulunan Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilmiş, Java tabanlı ve açık veri kaynaklı olan Genel Kamu Lisansı (GPL) bulunan bir yazılımdır. Weka, "Waikato Environment for Knowledge Analysis" ifadesinin baş harflerinden oluşmuştur (Aydemir, 2019).

Veri madenciliği ve makine öğrenmesi ile ilgili hemen hemen tüm algoritmaları bünyesinde bulundurması sebebiyle çok yaygın bir şekilde kullanılan bir paket programdır. Bünyesinde bulundurduğu algoritmalarla veri kümelerini hızlı bir şekilde deneyimleyerek elde edilen sonuçları da detaylı bir şekilde analiz edebilme olanağı sağlamaktadır. Bu program ile sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik gibi veri madenciliği işlemleri yapılabilir (Aydemir, 2019).

Veri madenciliğin bir süreci olan verilerin hazırlanması, girdi ve öğrenme verilerinin görselleştirilmesi ve öğrenme ağlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi gibi tüm deneysel veri madenciliği sürecinde destek sağlar. Çok çeşitli ön işlemlerin yanı sıra çok sayıda öğrenme algoritması da sunmaktadır. Bu sebeple problemin farklı yöntemlerle çözümüne ulaşılabilirken yöntemler arasında kıyaslama yapılarak en ideal yöntemin tercih edilmesine imkân tanır. Weka kullanarak veri kümesine herhangi bir öğrenme algoritmasını uygulayarak çıktı hakkında bilgi elde edilerek detaylı analiz yapılabilir. Bir diğeri yeni verilere yönelik tahmin üretmek için daha önce öğretilmiş ve kaydedilmiş yöntemleri kullanarak sonuçlar üretir. Bir diğeri ise birçok farklı öğrenme algoritmasını kullanarak bunların performanslarını karşılaştırılabilir (Aydemir, 2019).

2.4. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

2.4.1. Güneş enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar

Huang ve Marefati (2020) çalışmalarında, farklı güneş panellerinin enerji, ekserji çevre ve ekserji ekonomik durumları araştırılmış. Panel geometrisi olarak düzlemsel, doğrusal Fresnel reflektör, parabolik ve çan şeklinde paneller arasında analiz yapılmıştır. Isı transfer sıvısı olarak içerisinde CuO ve Al₂O₃ nano parçacığı bulunan su ve yağ akışkanları kullanılmıştır. Çalışma yapılan tüm panellerin, yüzey alanı aynı olup 7.14 m² ve sistem sıvı sıcaklığı 318.15 K'dir. Bu çalışma Tahran ve Tebriz'de Şubat ve Haziran aylarında yapılmıştır. Belirtilen zamanlarda bu 4 farklı panelle ısı transfer sıvılarının performans değerleri incelenmiş. İletme sıcaklığı 45°C olduğunda CuO nano parçacıklı suyun iletkenliğinin %20,83 arttığı, Al₂O₃ parçacıklı suyun ise %20,33 arttığı, yağda ise sırasıyla %21,31 ve %21,22 sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir. Isı transfer sıvısı olarak nano parçacıklı

termal yağların kullanıldığı düz panellerde en yüksek verim elde edildiği tespit edilmiş. Dört farklı güneş kolektörlerinde yapılan çalışmada suyun yağa göre daha iyi ısı performansına sahip olduğu, ancak yağın ekserji performansının suya göre daha iyi olduğu sonucu ifade edilmiştir. Bu nedenle, güneş termal kolektörünün ekserji performansının ısı transfer sıvısı seçimine büyük ölçüde bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tervo vd. (2020) çalışmalarında, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürüp depolandıktan sonra anlık ya da daha sonra termoradyatif ve fotovoltaiklerle enerji üretimini incelemiştir. Termoradyatif panel üzerine düşen termal kızılötesi fotonlardan elektrik üretebilen gece de çalışabilen bir çeşit fotovoltaik paneldir. Bu şekilde yenilenebilir enerji sistemlerinin en büyük problemi olan kesikli enerji kaynağı sorununu bertaraf edileceği düşünülmüştür. Tek başına fotovoltaik panellerle veya termoradyatiflerle enerji elde eden sistemlere göre fotovoltaik ve termoradyatiflerin birlikte kullanıldığı sistemlerin daha performans avantajına sahip olduğu belirtilmiştir. Bu ikili sistemin aralıklı güneş ışığının olduğu durumlarda bile güvenilir elektrik üretimi için termal depolama sistemlerine entegre edilebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca fotovoltaik ve termoradyatiflerin birlikte kullanıldığı sistemlerin diğer sistemlere nazaran daha ekonomik, pratik ve verimli olduğu da ifade edilmiştir.

Gupta vd. (2020) çalışmalarında, havadan daha hafif platformlar (Lighter Than Air Platform) üzerine entegre edilmiş hafif ve esnek fotovoltaik panellerle elde edilecek olan enerjiyi olumsuz yönde etkileyen bulutluluk ve rüzgar hızı gibi çevresel faktörlerin etkilerini azaltacak tasarım ve modelleme üzerine bir araştırmadır. Bu çalışmada kullanılan havadan daha hafif platform (LTA) 22 m uzunluğunda ve 8 m genişliğindedir. Her senaryo için güneş ışınlarının fotovoltaik panellere dik olarak geldiği kabul edilmiştir. Bulutun doğu, batı, güney ve kuzey yönlerinden sekiz farklı yönden hareket etmesine göre iki farklı model geliştirilmiştir. Rüzgâr hızının 9,5 m/s olduğunda platformun yöneliminde bozulmalar olmakta ve bu da enerji verimini olumsuz etkilemektedir. Rüzgâr hızı ve gölgelenmelerden dolayı platformda ortalama olarak %22'lik bir enerji kaybı gerçekleştiği belirtilmiştir.

Eshra ve Salem (2020) çalışmalarında, drenaj pompalarını enerji ihtiyacının güneş panelleri ile sağlayarak hem CO₂ salınımını azaltmak hem de su tasarrufu yapmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak bir çalışma alanı seçilerek bu çalışma alanına ait iklim verileri toplanmış. Seçili bölgenin pompa drenaj ağı hakkında veriler alınmış. Bölgedeki pompa istasyonlarında tüketilen yakıt ve güç hesaplaması yapılarak CO₂ emisyon miktarları tahmin edilmiş. Son olarak da pompalar için gerekli olan enerjiyi karşılayacak

güneş panel sistemi hesaplaması yapılmış. Sonuç olarak dizel yakıtla çalışan pompalara doğal gaz dönüşümü yapıldığında CO₂ emisyonunun 184,31 ile 672,49 ton/yıl arasında azaldığı tahmin edilmiştir. Dizel motorların ihtiyacı olan enerjinin fotovoltaiik pillerden sağlanması durumunda ise 737,23 ile 2689,95 ton/yıl arasında CO₂ emisyonunda azalma olacağı hesaplanmıştır.

Dong vd. (2020) çalışmalarında, geniş bant kamuflajı için yaygın olarak kullanılan çok katmanlı tek tip tabaka direnç mimarisinin güneş enerjisi güç dönüşüm sistemlerinin verimliliğini olumsuz yönde etkilerini ortadan kaldıracak değişen levha direncine sahip yeni bir mimari önermektedir. Metalik nano tel tabanlı devrelerle %88 şeffaflık ve 2,7 mm kalınlığa sahip levha dirençli bir güneş enerjisi kamuflaj kaplaması, konseptin bir kanıtı olarak deneysel olarak gösterilmiştir. Kamuflaj 7,2 ile 18,5 GHz arasında olduğunda numune güneş pili %95'lik güneş enerjisi güç dönüşüm verimini sağladığı belirtilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalara göre bu çalışmada kullanılan numunenin performansının %8,3 oranında geliştirilebileceği ifade edilmiştir. Bu çalışma çok katmanlı tek tip tabaka direnci mimarisinden değişken levha direnci mimarisine geçişin yanı sıra güneş enerjisi ile beslenen uydu ve enerji tesislerinin de daha iyi kamufle edilmesine olanak sunduğu belirtilmiştir.

Kong vd. (2021) çalışmalarında, turp dilimlerinin doğal kurutma yöntemi ve güneş enerjili kurutma sistemiyle kurutulması arasındaki bir kıyaslama yapılmıştır. Güneş kurutma sisteminde bir adet mono-si fotovoltaiik kolektör ile bir adet amorf silikon fotovoltaiik kolektör kullanılmıştır. Güneş kurutma sistemi doğal kurutmaya göre daha hızlı bir kurutma gerçekleştirdiği ifade edilmiştir. Doğal kurutmaya turp dilimlerinin nem oranı 21,31'den 0,25'e düşerken güneş kurutma makinası ile 20,37 den 0,197'ye düştüğü saptanmış. Ayrıca her iki kurutma şekliyle elde edilen turp dilimleri mikroskop altında incelendiğinde güneş enerjili kurutma makinasında kurutulan turp dilimlerinin daha düzgün hücre yapısına sahip olduğu tespit edilmiş. Doğal kurutmaya göre güneş enerjili makinede kurutulan turp dilimlerinin daha kaliteli olduğu ifade edilmiştir. Özellikle bulutlu havalarda güneş enerjili kurutma makinasında kurutulan ürünlerin doğal kurutmaya göre daha kaliteli olduğu vurgulanmıştır.

Du vd. (2021) çalışmalarında, fotovoltaiik güneş panellerinden elde edilen enerji ile doğrudan tahrik edilen soğuk depolama sistemi için yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu sistemde, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi doğrudan bir fotovoltaiik panel dizisi tarafından tahrik edilir ve bir pil yerine enerji depolama birimi olarak buz termal enerji depolaması kullanılmış. Sistemin dinamik enerji verimliliği modeli son derece küçük bir çözünürlükte kurulmuş. Bu şekilde sistemin performansını etkileyen temel faktörler incelenmiş. Ayrıca,

farklı hava koşullarında yapılan deneyler modelin doğruluğunu ortaya koymuş. Bulunan sonuçlara göre sistemin güneş-soğuk enerji dönüşüm verimliliğinin, aynı buharlaşma sıcaklığındaki güneş radyasyonu yoğunluğu ile negatif ilişkili olduğunu tespit edilmiş. Güneş radyasyon yoğunluğu buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi çalıştırmak için gereken minimum değere ulaştığında, sistemin ortalama güneş-soğuk enerji dönüşüm verimliliği %2,28 - 2,62% oranında azaldığı belirtilmiştir. Daha düşük radyasyon koşullarında, buharlaşma sıcaklığının güneş-soğuk dönüşüm verimliliği üzerindeki etkisi zayıfladığı ifade edilmektedir. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, simülasyon sonuçlarının ortalama günlük sapması, açık günlerde yaklaşık %2,8–3,2 ve bulutlu günlerde %4,4–5,1 olarak bulunmuş. Deneysel sonuçlar, güneşli ve kısmen bulutlu havalarda soğuk enerjilerin sırasıyla 128.83 ve 122.00 MJ ve ortalama güneş-soğuk enerji dönüşüm verimliliklerinin sırasıyla 0.30 ve 0.31 olduğunu saptanmıştır.

Hassan vd. (2021) çalışmalarında, ile potansiyel güneş enerjisini değerlendirmeyi ve Irak'taki maksimum güneş ışıınının optimum eğim açılarını belirlemeyi amaçlamışlar. Güneye bakan optimum eğim açısı, güneş ışıının kapasitesini tahmin etmek için Irak'ın on sekiz şehri için belirlenmiş. Optimizasyon işlemi, on dokuz yıl boyunca saatlik deneysel güneş radyasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş. Sonuçlar, maksimum güneş radyasyonunun, optimum açının değerlendirildiği 0°'den 64°'ye kadar olan eğim açısı ile toplanabileceğini gösterdi; 1° çözünürlüğü ile maksimum toplam saatlik günlük ışıının değerlerini arayarak belirlenmiş. Optimum eğim açısı değerleri kış aylarında artmış ve yaz aylarında azalmış, Ocak ve Aralık aylarında en yüksek değerleri ve Haziran ve Temmuz aylarında tüm şehirler için en düşük değerler bulunmuş. Irak'ın kuzeyindeki şehirler, orta ve güney kısımlarındakilere göre daha yüksek optimum eğim açı değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Ahmadi vd. (2021) çalışmalarında, güneş enerjisiyle çalışan tarımsal ürün kurutma teknolojilerini sunmuş ve tartışılmış. Doğrudan, dolaylı ve karışık modlara dayalı farklı güneş kurutucusu türleri tarif edilmiş. Ayrıca, bu teknolojiler için enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel analizler, kurutucu performansını etkileyen ana parametreleri belirlemek için sunulmuş. Sonuçlar, hava kütlesi akış hızı, sıcaklık, nem içeriği ve kuruma süresinin güneş kurutucu performansındaki en önemli parametreler olduğunu göstermektedir. Son olarak, mevcut farklı güneş kurutma makinelerinin performansının karşılaştırmalı bir değerlendirmesi, gelecekteki çalışmaların ayrıntılı bir kapsamı ile vurgulanmış. Bu çalışmanın sonunda, kurutma işlemi kalitesinin iyileştirilmesinin, güneş kolektörü

verimliliğini artırarak elde edilebileceği; ekonomik faydaların ve üretkenliğin iyileştirilmesinin, çok fonksiyonlu bir güneş kurutma makinesi uygulanarak elde edilebileceği; kararlı kurutucu performansı için enerji depolama ve enerji geri kazanım üniteleri için verimli bir yöntem uygulanması gerektiği ve emiciliği artırmak için alüminyum emici plaka kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ewe vd. (2022) çalışmalarında, mühendislik ve endüstride çok kullanılan jet soğutma sistemiyle ilgili Scopus ve Web of Science veri tabanlarında 32 ilgili çalışma inceleyerek literatür çalışması yapmıştır. Tematik analiz sonucunda seçilen beş başlık altında tartışma yapılmıştır. Güneş Enerjisi Teknolojileri, Soğutucu Tipleri, Jet Sıkıştırma Yöntemleri, Araştırma Tasarımı ve Performans Analizi. Beş tema 22 alt temadan oluşur. Çalışma, araştırma boşluklarını ortaya çıkardı, araştırma modellerini vurguladı ve güneş enerjisi teknolojilerindeki jet soğutma uygulamalarındaki gelişmeleri ortaya çıkardı. Bu çalışmanın sonuçlarından elde edilen alanlar ve değişkenler, gelecekteki akademik çabalar için ek bilgi sağlayabilir ve incelenen konudaki ampirik boşlukları doldurmuştur. Sonuçlarda güneş kollektörlerinin en sık jet çarpması çalışması için seçildiği ve daha az karmaşıklık ile daha erişilebilir tasarım nedeniyle jet plakalı hava jetli soğutma sistemlerinin tercih edildiği bulgularına ulaşılmıştır. Buna ek olarak, bu sistematik inceleme çalışması, güneş enerjisi teknolojilerindeki jet sıkışma soğutma uygulamalarını daha iyi anlamak için ilgili bilgileri sağlayabilir.

Mannepalli vd. (2022) çalışmalarında, pil enerji depolama sistemlerinin optimal dağıtımının geliştirilmesi ve çok nesnel bir kısıtlama modellemesi kullanarak kapasitenin tahmini yapılması konusu incelenmiştir. Pil enerji depolama sistemleri geleneksel olarak güneş çiftliklerinde güneş yoluyla ekstra elektriğin anında depolanmasına ve iletim hattı kayıplarının mutlak minimumda tutulmasına izin vermektedir. Bu yerleştirme stratejisine göre, pil enerji depolama sistemleri sadece güneş enerjisi santrallerinin yakınında inşa edilmiştir. Bu şekilde, pil enerji depolama sistemlerinin ağ topolojisi göz önünde bulundurulmadan konuşlandırılması ve arasındaki işbirliği, fotovoltaiik panellerden gelen fazla elektriği depolamak için kapasite havuzlaması ile sınırlandırıldığı belirtilmiş. Yumuşak marj sınıflandırıcı, hem güç akışı kısıtlamasını hem de ağ topolojisini göz önünde bulunduran güneş enerjisi ile ilişkili kısıtlamayı en aza indirdiği ifade edilmiştir. Tüm modelin sonuçları, önerilen yumuşak marj sınıflandırıcısının, meyilli cihazlarda fazla gücü depoladığı diğer yöntemlere göre verimli olduğu ifade edilmiştir.

Islam vd. (2022) çalışmalarında, Uzak Kuzey Queensland uzak bölgelerindeki güneş ve rüzgar enerjisi gelişmeleri için uygun yerlerin seçilmesini amaçlamışlardır. İklimsel, teknik, topografya, sosyal, çevresel, gibi çeşitli yönleri göz önünde bulundurarak güneş ve rüzgâr için potansiyel yerleri haritalamak için Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı çok kriterli bir yaklaşım getirilmiş. Güneş ve rüzgâr enerjisinin uygun arazi alanlarındaki potansiyeli, teknolojilere ve saha koşullarına göre değerlendirilmiş. Bu çalışmanın analizi, seçilen bölgelerdeki toplam uygun alanların 57.705.46 km² (toplam seçilen arazi alanının %70.56) olduğunu göstermektedir 5,956,14 GW güneş enerjisi ve 58,482,79 km² (toplam seçilen arazi alanının %71,51) güç potansiyeli ile rüzgâr enerjisi gelişmeleri için 421,12 GW güç potansiyeline sahip olduğu ifade edilmiş. Carpentaria bölgesinin güneş enerjisi için 45,689.55 km² ve rüzgâr enerjisi için 46,115.27 km² ile en yüksek uygun alana sahip olduğu, Injinoo bölgesinin ise güneş enerjisi için 105.74 km² ve rüzgâr enerjisi için 137.75 km² ile en düşük uygulanabilir alana sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, Far North Queensland (FNQ) bölgesinde yenilenebilir enerji yatırımlarıyla ilgilenen taraflar için önemli bir yol haritası sunmuştur.

Kwasi-Effah vd. (2022) çalışmalarında, boyutsuz analiz yöntemiyle termal enerji depolama sisteminde ısı birikimini etkileyen parametrelerin belirleme çalışması yapılmış. Güneş ışıınının ve depolama ortamının hacminin, bir termal enerji depolama ortamının ısı birikimini elde etmek ve geliştirmek için önemli önlemler olduğu sonucuna varılmış. Sonuçlar ayrıca, ısı transfer sıvısının özgül ısı kapasitesinin, toplayıcı alanın ve çevresel sıcaklığın, termal enerji depolama ortamının bir sistem uygulaması için gereken belirli ısı enerjisi miktarına uygun tasarım ölçeklendirilmesinde kritik öneme sahip olduğu saptanmış. Bunun yanı sıra enerji birikimini daha da artırmak için optik konfigürasyon ve malzeme türlerinde iyileştirme yapılması önerilmiştir.

Katepalli vd. (2023) çalışmalarında, 3D çok panelli güneş hasat sisteminin avantajlarını incelemiştir. Ayrıca 2 boyutlu fotovoltaik güneş panellerinin yerine 3 boyutlu güneş panellerinin kullanılması ile şehirlerde yaşanan 2 boyutlu panel için gerekli olan alan sorununun da çözülebileceği vurgulanmıştır. Şeffaflık düzeyleri birbirinden farklı fotovoltaik paneller üst üste konulmuş 5 panel ve bu sıralamada en şeffaf panel en üste en az şeffaf panel de en alta konulmuştur. Bu şekilde elde edilen enerjinin normal panellere göre %233 daha fazla olacağı vurgulanmış. Saydamlık derecesine göre üstten başlayarak en şeffaftan en az şeffaf panel diziliminin de verimi %33 arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Pourasl vd. (2023) çalışmalarında, 235 ülke için yayınlanan güneş enerjisi potansiyeli değerlendirme makaleleri ile birlikte dünyanın güneş enerjisi durumu incelenmiş. Her kıta için yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ve fotovoltaik kurulu kapasiteleri göz önüne alınarak ülkeler ve bölgeler arasındaki güneş enerjisi durumunun karşılaştırılması yapılmış. 2021-2022 yılları arasında küresel güneş enerjisi kurulu gücünde yaklaşık %22'lik ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiş. Ancak literatür araştırmalarının güneş enerjisi alanında hala eksikliklerin olduğunu gösterdiğini vurgulamaktalar. Gelecek otuz yılda, güneş fotovoltaik alanının, daha fazla güneş çiftliği inşa ederek ikinci önemli üretim kaynağı haline gelebileceği ve bu da ülkelerin 2050 yılına kadar dünyanın toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %25'ini üretmesine olanak tanıyabileceği ifade edilmiştir.

Brown ve Beausoleil-Morrison (2023) çalışmalarında, pasif güneş enerjisiyle karşılanabilecek konut ısıtma taleplerinin oranını artıran yeni bir mekanik sistem (PiSCES adı verilen) üzerinde 250 günlük bir çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır. PiSCES, yüksek derecede camlı alanlarda aşırı ısınmayı önlemek amacıyla fazla güneş enerjisi kazanımlarını yakalamak için hidronik zemin soğutmasını kullanıyor ve çıkarılan bu enerji, bir ısı pompası aracılığıyla termal enerji depolama sistemlerine aktarılıyor. Depolanan enerji daha sonra ihtiyaç halinde aktif alan ısıtma ve kullanım sıcak suyu ısıtma taleplerini karşılamak için kullanılabilir. Bu çalışmada, aktif soğutma, test evine giren pasif güneş enerjisi kazançlarının %54'ünü ortadan kaldırdığı ve şartlandırılmış alanlarda kalan kazanımların %93'ü, aşırı ısınmaya neden olmadan aktif ısıtma taleplerini dengelediği ifade edilmiştir. PiSCES tarafından toplanan gündüz güneş enerjisi kazanımlarının fazlası, aktif ısıtma talepleri için kullanıldığı ve aktif alan ısıtması için %51 ile %54 arasında ve sıcak kullanım suyu talepleri için %30 ile %39 arasında güneş enerjisi kullanım çeşitliliği sunduğu ifade edilmiştir. Pasif güneş enerjisi kazanımlarının ısıtma taleplerine yönelik kullanımı, gelen kazanımların yönetilmesi ve dağıtılması için PiSCES'in eklenmesiyle %49'dan yaklaşık %70'e çıkmış. PiSCES'in şu anda yapılandırıldığı şekliyle test merkezi için net bir enerji faydası görülmemesine rağmen (sistem, yeniden sağlayabileceği güneş enerjisinden daha fazla elektrik enerjisi tüketiyor), termal enerji depolama sistemlerinin verimliliğini artırdığından şüphelenilmiş. Artan termal enerji depolama sistemlerinin kapasitesi ve değiştirilmiş bir ısı pompası tasarımı, gelecekteki çalışmalarda performansı önemli ölçüde artırabilir önerisinde bulunulmuş.

Xu vd (2023) çalışmalarında, bir ailenin yaşadığı bir konut için uzun vadeli ve kısa vadeli enerji depolama tanklarıyla birleştirilmiş, sistem stabilitesini daha da artırmak için

destekli su kaynaklı ısı pompası kullanan mevsimsel güneş enerjisi depolama sistemi önerilmiş. Güneş enerjisi kullanım verimliliğinin artırılması ve birincil enerji tüketiminin azaltılması amacıyla “ısı toplama-ısı depolama-ısı tedarik” sisteminin yıl boyunca durağan olmayan sınır koşulları altında dinamik simülasyon modeli kullanılmış. Her bir alt sistemin enerji transferi ve dönüşüm kanunu ile dinamik çalışma özellikleri simülasyon yöntemiyle analiz edilmiş. Sistemin ortak kontrol stratejisi önerilmiş ve parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiş. Sonuç olarak, su kaynaklı ısı pompası kompozit sisteminin yıllık ısı toplama verimliliğinin, elektrikli yardımcı ısıtma sistemine kıyasla %2,2 oranında arttığı sonucuna ulaşılmış. Isı depolama verimliliğinde ise %5,8 güneş enerjisi oranında ise % 8,3 artış tespit edilmiş. Optimum su kaynaklı ısı pompası kompozit sistemi, elektrikli yardımcı ısıtma sistemine kıyasla yalnızca enerji verimliliğini artırmakla ve maliyet tasarrufu sağlamakla kalmamış, aynı zamanda enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı açısından büyük avantajlara sahip olan karbondioksit emisyonunu da %10,3 oranında da azalttığı vurgulanmıştır.

Chisale vd. (2024) çalışmalarında, Hava Durumu Araştırma ve Tahmin modelinin yüksek çözünürlük özelliklerini kullanarak güneş kaynaklarını değerlendirilmiş. İki yıllık veriler kullanılarak simüle edilen yıllık enerji üretimi, kapasite faktörü ve küresel yatay ışıınım değişimine odaklanılmış ve güneş fotovoltaik enerjisinin teknik potansiyelinin hesaplanmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Coğrafi bilgi sistemi ve uzman tabanlı bulanık analitik hiyerarşi süreci, sekiz temel kısıtlamayı dikkate almış ve en uygun güneş enerjisi fotovoltaik panel sahalarını belirlenmiş. Bulgular, yıllık ortalama günlük en yüksek küresel yatay ışıının $1106,45 \text{ W/m}^2$ olduğunu ve günlük enerji girişinin $6,76 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ olduğunu, Ekim ayında zirve yaptığını ve %10,61’lik yaygın bir dağılım olduğunu sonucuna ulaşılmış. Ortalama yıllık enerji verimi %21,48 kapasite faktörüyle yaklaşık $14,11 \text{ TWh}$ bulunmuş. $10.288,2 \text{ km}^2$ veya kabul edilebilir arazinin %15,6’sını kapsayan güneş fotovoltaik paneller için en uygun araziler ağırlıklı olarak güney bölgesinde olduğu sonucuna varılmış. Böylece, bu güneş enerjisi potansiyellerinin CO_2 emisyonlarını önemli ölçüde azaltma olanağı sunduğu ve Malawi’yi dünya çapındaki sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirdiği ifade edilmiştir.

Zäll vd. (2024) çalışmalarında, çok duvarlı karbon nanotüplere ve silikaya (SiO_2) dayalı seçici bir kaplama yapılmış olan tüpler kullanılmıştır. Karbon nanotüplerin (CNTF) karboksil fonksiyonallizasyonu ile sağlanan su bazlı bir dispersiyon, paslanmaz çelik (SS) bir substrat üzerine spreyle kaplanmış ve sol-jel daldırma kaplı silika ile sabitlenmiş. Paslanmaz çelik karbon nanotüplerin SiO_2 yüzeyi, karbon nanotüplerin alan yüküne bağlı bir optik

seçicilik sergileyerek $0,83 \text{ gm}^{-2}$ ile sırasıyla 0,94 ve 0,40'lık bir güneş soğurma ve termal yayılım elde edilmiş. Kaplama aynı zamanda $\leq 222^\circ\text{C}$ alışma sıcaklıklarında en az 25 yıllık tahmini kullanım ömrüyle mükemmel termal stabilite gösterdiği ifade edilmiş. Sürdürülebilir malzemeler ve basit bir yapısal tasarımıla eş zamanlı olarak ölçeklenebilir ve ucuz teknoloji kullanarak, düşük ile orta sıcaklık uygulamalarına uygun özellikler sergileyen bir kaplama üretilebileceği dile getirilmiştir. Bu çalışmayla karbon bazlı güneş emicilerin potansiyeli vurgulanmıştır.

2.4.2. Rüzgâr enerjisi ile ilgili yapılan alışmalar

Arslan vd. (2020) alışmalarında, 1980-2013 dönemi için Türkiye genelinde rüzgâr hızının değişkenliği ve bunun elektrik üretimine etkisi incelenmiş. 335 istasyonun saatlik rüzgâr hızı verileri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınarak kalite kontrol çalışmasından sonra 77 istasyona ait veriler güvenilir bulunarak kullanılmış. 1980–2013 döneminde $3,80 \text{ m/s}$ 'ye eēit veya daha yüksek saatlik ortalama rüzgâr hızı değerleri, Türkiye'nin Ege, Marmara ve Güneydoğu bölgelerinde yer alan Gökçeada, anak kale ve Mardin istasyonlarında bulunmuştur. Aylık ortalama rüzgâr hızının en yüksek olduğu ay 2,22 m/s ile Temmuz olarak gözlemlenmiş. Otomatik Hava Gözlem Sistemi (AWOS) olarak 2007–2013 döneminde en yüksek ortalama rüzgâr hızı $7,08 \text{ m/s}$ ile Çatalca-Radar olarak ifade edilmiştir. Rüzgâr enerjisi Weibull dağılımı ile analiz edildiğinde çanak kale'nin mevsimsel güç yoğunluğu analizinde ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimsel ortalama güç yoğunluklarının $49,11 \text{ W/m}^2$, $51,12 \text{ W/m}^2$ ve $50,16 \text{ W/m}^2$ olduğu, kış maksimumunun ise $81,68 \text{ W/m}^2$ olduğu sonuçları bulunmuş. Sonuçlara göre Çatalca, Türkiye'deki en büyük rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip, sadece en yüksek rüzgar hızına sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda olası rüzgar santrali kurulumu için geniē kırsal bölgelere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Supciller ve Toprak (2020) alışmalarında, Türkiye'nin önde gelen şirketlerinden biri için en iyi rüzgâr türbininin seçimini yapmayı amaçlamışlar. Literatürde rüzgar türbinleri üzerine yapılan çalışmalar, bu çalışmalarda kullanılan kriterler ve firmanın uzmanlarıyla görüşmeler yapılarak 21 kriter ve türbin alternatifleri belirlenmiş. Kriterlerin birden fazla olması ve bazılarının birbiriyle çelişmesi nedeniyle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanılması tercih edilmiş. Kriterler daha önceki türbin çalışmalarında kullanılmayan SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmış. Alternatiflerin kriter ağırlıkları, ilk kez

bir rüzgar türbini seçiminde dilsel değişken tanımlı nütrosifik sayılar kullanılarak uzmanlar tarafından verilmiş. Tek değerli nütrosifik sayılarla entegre çözüm yöntemleri olarak TOPSIS ve EDAS yöntemleri kullanılmış. Çalışma sonucu olarak düşük kriter ağırlığına “estetik” kriteri, en yüksek kriter ağırlığına ise “yerine uygunluk” kriteri bulunmuştur.

İskeceli vd. (2020) çalışmalarında, Türkiye’de rüzgar enerjisinin düzensiz dağıtımı nedeniyle ortaya çıkan gün öncesi teklif değişikliklerini ve pazar entegrasyon sorunlarını azaltmak için lityum iyon pil depolama sisteminin kullanımını incelemektedir. Çalışmada, 30 MW’lık bir rüzgar çiftliğinden elde edilen verileri kullanıyor ve eklenen lityum-iyon pilleri dikkate alınıyor. Lityum iyon yatırımı, değişken maliyetler ve güncel piyasa fiyatları dikkate alınarak finansal analizler yapılmıştır. Her iki sistemin net bugünkü değeri pozitif olarak bulunmuştur. Çalışmada sonuç olarak, rüzgarın belirsizliği nedeniyle rüzgar enerjisi üretim tahminlerinin hatalı olmasının sistem sahiplerine önemli bir mali yük getirebileceği belirtilmiştir. Rüzgar santrali için 4 MW/12 MWh’lik bir batarya depolama sisteminin kullanılması, güç dalgalanmasının miktarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir.

Yang vd. (2021) çalışmalarında, iz kaybı, eklenen türbülans ve iz süperpozisyon modelini dikkate alan birleşik analitik iz modeli, sayısal simülasyon verileriyle karşılaştırılarak sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Farklı senaryolar altında enerjinin seviyelendirilmiş maliyetini en aza indirmek için genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonunu birleştiren hibrit bir optimizasyon stratejisi önerilmiş ve kullanılmış. Sonuçlar, eklenen türbülans modeli ve birleşik analitik iz modelinin ihmal edilmesi halinde enerji üretiminin %31’e kadar eksik tahmin edildiğini ortaya koymuş. Ortalama %3’lük bir hataya sahiptir. 49 rüzgâr türbini ile çeşitli rüzgar senaryolarının tamamı için yerleşim optimizasyonu sonrasında enerjinin seviyelendirilmiş maliyeti %1,9 oranında azaltılmış ve yıllık enerji üretimi, kapasite faktörü ve verimlilik sırasıyla %2,3, %2,3 ve %1,3 oranında iyileştirilmiştir. Önerilen hibrit optimizasyon stratejisi, bireysel genetik algoritma stratejisiyle karşılaştırıldığında optimizasyon etkisini %0,9’a kadar artırdığı ve bireysel parçacık sürüsü optimizasyon stratejisine göre verimliliği %26’ya kadar artırdığı ifade edilmiştir.

Gormo vd. (2021) çalışmalarında, Garoua ve Guider bölgeleri için 2005’ten 2019’a kadar on beş yıllık bir süre boyunca yerden 10 m yükseklikte toplanan iki saatlik verileri kullanarak rüzgâr enerjisi üretimini değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın yeniliği, Garoua ve Guider rüzgâr kaynağının 2 boyutlu ve 3 boyutlu topografik haritalarının yanı sıra WASP yazılımı kullanılarak üretilen rüzgar enerjisi haritasının rüzgar hızı, rüzgar gücü yoğunluğu ve üretilen enerjinin doğru bir şekilde belirlenmesiyle hesaplanmış olmasıdır. Sonuçlara göre,

eğer optimum yer seçimi yapılırsa rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji üretimi için güvenilir bir alternatif olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Škvorc ve Kozmar (2021) çalışmalarında, kentsel rüzgâr ortamı, rüzgâr kaynağı değerlendirmesi ve rüzgâr türbini tasarımıyla ilgili konulara yer verilmiştir. Tüm bu özelliklerin kentsel ortamlardaki yüksek binalarda rüzgâr enerjisinden yararlanma üzerindeki birleşik etkisi, ayrı bir bölümde bir örnek olay çalışması olarak analiz edilmiştir. Rüzgâr kaynağı değerlendirmesi, saha ölçümleri, rüzgâr tüneli deneyleri ve hesaplamalı modelleme yoluyla yapılabilirken, en uygun yaklaşım, her üç yöntemin birleştirilmiş sonuçlarına dayalı olarak yerel rüzgâr kaynaklarının belirlenmesi ifadesi kullanılmıştır. Kentsel yapı çevrelerde, atmosferik sınır katmanındaki küresel rüzgâr özellikleri ağırlıklı olarak büyük ölçekli mühendislik yapılarının aerodinamik performansı ile alakalıyken, yüksek binaların üzerine inşa edilen küçük rüzgâr türbinleri için ilgili aerodinamik özellikler daha çok yerel rüzgâr özelliklerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çalışma yapılan binaların boyutundan ve şeklinden etkilenen binaların arasında dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin genellikle kentsel ortamlardaki yüksek binalarda rüzgâr enerjisi kullanımı için daha uygun olduğu kanıtlanmıştır. Bunun sebebi olarak da türbülanslı akışta daha verimli oldukları ve aynı zamanda daha az gürültülü olması ifade edilmiştir. Kentsel yapı çevrelerde, ısının sınır bölgelerindeki küresel rüzgâr özellikleri yapılarının performans dinamikleri ile olduğu belirtilmiştir. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin genellikle dayanıklı, yüksek binalarda rüzgâr enerjisi kullanımı için daha uygun olduğu ifade edilmektedir.

Tan vd. (2022) çalışmalarında, kanyon köprüsü sağlık izleme sistemlerine güç sağlamak için elektromanyetik indüksiyon tabanlı rüzgâr enerjisi toplama sistemi kullanarak gerekli enerjinin sağlanmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada rotor yarıçapı 2,42 cm olan üç kanatlı H tipi Darrieus rüzgâr türbini kullanılmıştır. Türbin 461 yüksekliğe konumlandırılmıştır. Bu sistemle harici depolama sistemi (kimyasal piller) olmadan köprünün sağlık izleme sisteminin ihtiyacı olan enerji karşılanmaya çalışılmış. Uyarlanabilir güç üretim modülü, rüzgâr hızına göre mevcut en uygun elektromanyetik indüksiyon modunu ayarlayarak elektrik enerjisi üretir. Enerji depolama modülü elektrik enerjisini düzeltir ve köprünün sağlık izleme sistemine güç sağlamak için elektrik süper kapasitörde depolanmıştır. Bu çalışmada sistemin fizibilitesi, karışık rüzgâr alanlarının birleştirme etkisi ve çift katmanlı disk jeneratörünün elektromanyetik özellikleri simüle edilerek analiz edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tek bir rüzgâr türbininin 14 m/s rüzgar hızında 471,56 mW'lık bir güç üretebildiği tespit edilmiştir.

Wang vd. (2022) çalışmalarında, Çin'in Xincbeng Şehiri'nin hemen dışında bulunan daha az binaların olduğu yerleşim yerinde yapılmıştır. Bu çalışmada, rüzgar enerjisi karakteristikleri ve rüzgar hızı dağıtım fonksiyonunun parametreleri hakkında daha kapsamlı bir anlayışa sahip olmanın yanı sıra rüzgar türbini çıkış karakteristiklerini ve güvenlik performansını daha iyi tahmin etme amaçlanmıştır. Bu bölgeden "ZephIR 300 LİDER" rüzgar ölçüm sistemi kullanılarak 11-199 m yüksekliklerden rüzgar verileri alınmıştır. Karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılarak şekil parametresindeki değişimi ortaya koyan parametreler arasındaki fonksiyonel ilişki hesaplanmıştır. 1,05–1,25 aralığında rüzgar gücü yoğunluğunda ani değişikliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Ölçek parametresi ile rüzgar gücü yoğunluğu arasındaki pozitif orantılı ilişki ve boy ile korelasyonu da elde edilmiştir. Ölçek parametresi 1,18'den 2,50'ye yükseldikçe türbülans yoğunluğu azalmış ve ölçek parametresi 2,50'den 5,58'e artmaya devam ettikçe %10,54 aralığında dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir. Her yükseklikte minimum türbülans yoğunluğu değerine karşılık gelen ölçek parametresi sağlanmıştır.

Ağbulut (2022) yılında çalışmasında, yeni bir model - varyansa duyarlı üstel düzeltme modeli üzerine bir çalışma yapılmıştır. Literatürde iyi bilinen üç model olan Trigg & Leach (T-L), Pantazopoulos ve Pappis (P-P) ile karşılaştırılarak optimize edilmiştir. Daha sonra Çeşme ilçesinin (İzmir, Türkiye) 30 dakikalık, 1 saatlik ve 3 saatlik zaman dilimlerindeki rüzgâr hızı veri seti bu dört modelle test edilmiştir. Modellerin karşılaştırılmasında dört istatistiksel kriter kullanılmıştır. Bunlar Mutlak Sapma, ortalama mutlak yüzde hatası, ortalama kare hatası ve kök ortalama kare hatası incelenmiştir. Sonuçlarda, tüm modellerin kare hatası değeri, tüm tahmin ufukları için 0,9 m/s'den küçük çıkmıştır. Bu çalışmada önerilen varyansa duyarlı üstel yumuşatma modeliyle, 30 dakika ve 0,382 m/s için sırasıyla 0,318 m/s, 0,183 m/s, %14,60 ve 0,427 m/s'lik sonuçlar elde edilmiştir. Mutlak Sapma, ortalama kare hatası, ortalama mutlak yüzde hatası ve kök ortalama kare hatası değerleri sırasıyla 1 saat süreyle 0,258 m/s, %16,29 ve 0,506 m/s sonuçlarına ulaşılmıştır. Diğer bir bulgu ise 3 saatlik zaman içinde en iyi model, en iyi Mutlak Sapma, ortalama kare hatası, ortalama mutlak yüzde hatası ve kök ortalama kare hatası değerleri olan 0,574 m/s, 0,543 m/s, %26,38 ve 0,729 m/s ile P-P modeli için elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 0,601 m/s, 0,614 m/s ile VSES modeli takip etmektedir. Sırasıyla %26,72 ve 0,775 m/s. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen varyansa duyarlı üstel yumuşatma modelinin bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde başarıyla uygulanabileceği ve özellikle çok kısa vadeli rüzgâr hızı tahminlerinde gün içi piyasalarda etkin bir şekilde kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

Külüm vd. (2023) çalışmalarında, LIDAR (Işık Algılama ve Mesafe Belirleme) ve rüzgâr ölçüm direği ile ölçüm yapılmıştır. Rüzgâr kesme oluşumu ve analiz faktörleri literatürde ilk kez rüzgar hızı, rüzgar yönü, rüzgâr kesme katsayısı, pürüzlülük, türbülans yoğunluğu ve korelasyon faktörü kullanılarak çok kriterli yöntemle değerlendirilmiştir. Kuvvet kanunu ve log kanunu kullanılarak tahmin edilen 245 veri seti ve ölçülen veri seti, verimli bir tahmin yöntemi bulmak için bir anemometre ve LIDAR ölçümleri ile ilişkilendirilmiştir. Direk-direk, LIDAR-LIDAR, direk-LIDAR ve LIDAR-direk rüzgâr hızı ölçümü kullanılarak 20 adet rüzgâr kesme katsayısı (WSC) hesaplanmıştır. Daha sonra bu WSC'ler ölçülen çeşitli rüzgâr hızları için uygulanarak test edilmiş ve WSC değerleri ile anlık rüzgâr hızı tahmin edilmiştir. Eş zamanlı olarak farklı pürüzlülük değerleri için logaritmik yasa yöntemi tekrarlanmış ve saha spesifikasyonları için ideal pürüzlülük değeri hesaplanmıştır. Bu tahminlerin, LIDAR ve anemometreler tarafından desteklenen rüzgar kesme yüksekliği ve türbülans yoğunluğu yüksekliği hakkında spesifik bilgiler sağladığı ifade edilmiştir. Güç kanunu ve log kanunu yöntemleriyle tahmin edilen verilerin ölçümlerle karşılaştırılmasında 0,999'un üzerinde korelasyon katsayısı ile iyi ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bouabdallaoui vd. (2023) çalışmalarında, destek vektör makineleri (SVM'ler), karar ağaçları, uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) ve yapay sinir ağları (YSA) algoritmaları ile yapay zeka yaklaşımını kullanarak Yalova da bir rüzgar çiftliğinde rüzgar enerjisi üretimini tahmin etmişlerdir. Bu karşılaştırmalı analizin temel amacı, metasezgisel algoritmalar gibi optimizasyon algoritmalarıyla birleştirerek en az verimli yöntemleri iyileştirmede bir sonraki adıma geçmek için modelleri sıralamak olarak belirtilmiştir. Rüzgâr hızı ve yönü, hedef parametre olarak rüzgar enerjisi ile temel girdi parametreleri olarak kabul edilmiş ve modellerin ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE), saptama katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi ölçümler kullanılarak kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gerçek değerlerle karşılaştırıldığında en düşük MAE %2,42, en yüksek R^2 %0,95 ve en düşük MAE %71,21 sağlayan SVM'nin üstün performansını gösterdiği, ANFIS'in bu bağlamda daha az etkili olduğu bulgularına ulaşılmıştır.

2.4.3. Seralarda enerjisi tüketimi ve verimliliği ilgili yapılan çalışmalar

Zhang vd. (2020) çalışmalarında, özellikle düşük enerjili seralar için enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik kontrol stratejileri metodolojilerini sistematik olarak

gözden geçirilmesi amaçlanmıştır. Seralarda kontrol stratejileri için inceleme metodolojisi ve kısa metodoloji açıklamasını içeren yöntemler bölümü ilk kez sunulduğu iddia edilmiştir. Eylül 2019 ile 2020 tarihleri arasında *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, *Research Gate* ve *Google Scholar* literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca sera performansını etkileyen 30'dan fazla parametre analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Seçilen makalelerin% 60'ı, sıcaklık ve nemi, mahsullerin verimini doğrudan etkileyen ve ana enerji tüketimi değişkenleri olan sera ikliminde kontrollü parametreler olarak görülmüştür. Seçilen literatürün yaklaşık% 30'u seralarda kontrol stratejisini araştırmaya yönelik en popüler metodoloji, MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan sayısal simülasyonu göstermiştir. Ancak kontrol stratejileri için matematiksel modellerin ve sayısal simülasyonların inandırıcılığını doğrulayabilecek gerçek fiziksel deney yöntemlerinin çok az olduğu ifade edilmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA) akıllı algoritmalarla birleştirilmiş geleneksel bir kontrol stratejisiyle daha temiz üretim, enerji tüketiminin azalması ve seralardaki iç mikro iklimin eş zamanlı olarak mahsuller için uygun yetiştirme ortamının ayarlanmasında yeni bir trend haline geldiği belirtilmiştir.

Ravishankar vd. (2020) çalışmalarında, standart bir ticari seranın temsili olarak 3 m'lik bir oluk yüksekliğine sahip $29,4 \times 7,3$ m tek açıklıklı gable-roof serası analiz edilmiştir. Yarı şeffaf organik güneş pillerinin (OSC'ler) net sıfır enerjili seraları mümkün kılabileceğini ve dolayısıyla çevresel açıdan sürdürülebilir tarımı ilerletmek için önemli bir fırsat sağlayabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, organik güneş pillerinin benzersiz özelliklerinin, OSC'lerin geniş çapta ticari olarak benimsenmesi için potansiyel bir yol sağlayan sinerjik sera entegrasyonu için çok uygun olduğunu gösterilmiştir.

Lin vd. (2021) çalışmalarında, sera sistemlerinin işletme verimliliğini arttırmaya yönelik dört optimizasyon stratejisi incelemesi yapılmıştır. Strateji 1'de sera ısıtma, soğutma, havalandırma ve sulama için tüketilen enerjinin en aza indirilmesi. Strateji 2'de sulama için tüketilen suyun en aza indirilmesi. Strateji 3'de sera zenginleştirilmesi için tüketimi en aza indirmek. Strateji 4'te ise enerji, su ve tüketilen toplam maliyetin en aza indirmeye yönelik çalışma yapılmıştır. Bu optimizasyon stratejilerinin, çok girişli çok çıkışlı bir iklim modeline ve değiştirilmiş bir buharlaşma-terleme modeline dayandığı ifade edilmiştir. Ayrıca, elektrik fiyatı, su fiyatı, fiyat ve sistem kısıtlamalarının aralığının optimizasyon sonuçları üzerindeki etkisini incelemek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Sistem bozukluklarını ortadan kaldırmak ve model tesis uyumsuzluğunu gidermek için bir model tahminli kontrolör tasarlanmıştır. Model tahminli kontrolör denetleyicisi yaygın olarak kullanılan açık döngü denetleyiciyle karşılaştırılmış. Önerilen model tahminli kontrolörün ve karşılaştırılan açık

döngü kontrolünün izleme performansını değerlendirmek için bir performans endeksi bağıl ortalama sapması tanıtılmıştır. Simülasyon sonuçları, Strateji 4'ün toplam maliyetinin Strateji 1, Strateji 2 ve Strateji 3'e göre sırasıyla %66,60, %92,68 ve %68,83 oranında azalttığını gözlemlenmiştir. Elektrik fiyatındaki değişiklikler, optimizasyon sonuçları üzerinde su fiyatı ve fiyatındaki değişikliklerden daha büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Hem sıcaklık kısıtlamaları hem de bağıl nem kısıtlamaları optimizasyon sonuçları üzerinde büyük etkiye sahip çıkmıştır. Tasarlanan kontrolörün etkili olduğu doğrulanmıştır.

Banakar vd. (2021) çalışmalarında, enerji sağlamada sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanması ve Tahran'ın iklim koşullarında kapalı sera sistemlerinin potansiyelinin sağlanmasıyla ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bu sistemde seranın soğutulması ve nem alınması için kullanılan doğal havalandırmanın yerine aktif sistemler kullanılmış ve seradan alınan ısı enerjisi tekrar kullanılarak toplam ısı yük azaltılmış. Bu çalışmanın temel amacı geleneksel sera, yarı kapalı sera ve ideal kapalı sera olmak üzere üç tip serada enerji analizi yapmak. Bu nedenle, farklı seraların performansını değerlendirmek amacıyla TRNSYS yazılımı kullanılarak geçici bir model tasarlanmış ve önerilen modelin doğruluğu referans serada (konvansiyonel sera) ölçülen veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Sonuçlar, kapalı seradaki termal talebin geleneksel seraya göre yaklaşık 2 kat daha düşük olduğunu ve bu tür seralarda soğutma ihtiyacının geleneksel seraya göre yaklaşık üç kat daha fazla olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca yarı kapalı serada iç nem seviyesini düzenlemek için farklı havalandırma oranları kullanılarak fazla enerji oranı $0,5 \text{ h}^{-1}$, 1 h^{-1} ve $1,5 \text{ h}^{-1}$ havalandırma oranları için incelenmiştir. Sonuçlar seradaki fazla enerji oranının kontrollü havalandırma oranına güçlü bir şekilde bağlı olduğunu göstermiş. Burada $0,5 \text{ h}^{-1}$ ve $1,5 \text{ h}^{-1}$ kullanıldığında değerler ideal kapalı seraya göre sırasıyla yaklaşık %34 ve %67 oranında azalmıştır.

Baytorun ve Üstün (2022) çalışmalarında, Antalya ve Afyonkarahisar bölgelerinde uzun yıllık iklim verileri alınarak bir günlük sabit ve dinamik sıcaklık toplamına göre yapılan sıcaklık denetiminde sağlanan ısı tasarrufu belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada ılıman iklime sahip Antalya bölgesinde dinamik kontrol ile statik kontrol stratejisine göre serada istenen gece sıcaklığına bağlı olarak en fazla %30 ve karasal iklimin hâkim olduğu Afyonkarahisar koşullarında %9 enerji tasarrufunun sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Zhang vd. (2022) çalışmalarında, sera tasarımından işletme aşamasına kadar önemli enerji tasarrufu stratejileri hakkında kapsamlı bir inceleme sunmayı amaçlanmıştır. Bu katkı, sera yapıları, havalandırma ve aydınlatma sistemlerini dikkate alarak sera tasarımında etkili enerji tasarrufu yöntemlerini analiz edeceği ifade edilmektedir. Fotovoltaik modüller, güneş

kollektörleri, ısı pompaları ve diğer entegre modüller dahil olmak üzere yenilenebilir enerji teknolojilerini ve entegrasyon sistemlerini özetleyerek seraların enerji tasarrufu operasyonunu detaylandırılmış. Araştırma bulguları, seranın uygun şekilde yenilenmesiyle enerjinin yarısından fazlasının tasarruf edildiğini ortaya koymuştur. İzleme sistemi yönetimi ve kontrol algoritmaları açısından seranın enerji verimliliğini artırmaya yönelik kontrol stratejileri de tartışılmıştır. Diğer kontrol algoritmalarıyla birleştirilmiş sinir ağı, doğrusal olmayan kontrol problemlerini iyi bir kontrol doğruluğu ile çözmek için uygun bir yaklaşım kullanılmıştır. Seranın yaşam döngüsü çevresel etkileri ve çevresel ayak izi değerlendirmesi ele dikkate alınmış. Seraların yönelimi, farklı iklim koşullarında farklı bölgelere göre Doğu-Batı yöneliminin çoğunlukla tüm enlemler için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Orta ve büyük ölçekli seralar için eliptik şekilli ve çok açıklıklı seraların kullanılması tavsiye edilmektedir. Kaplama malzemelerinin seçiminde seranın farklı yapıları ve fonksiyonları dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir. Cam, %75–92% aralığı ile en yüksek ışık geçirgenliğine sahip olduğu ve polietilen camdan daha iyi plastisite sağladığı belirtilmiştir. Nanopartiküllerin eklenmesiyle kaplama malzemelerinin yüzey gerilimi değiştirilmekte ve güneş ışıınımı geçirgenliği nanopartikülsüz olana göre %10 daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Mousavi vd. (2023) çalışmalarında, çilek üretiminde kullanılan iki tip sera yapısının (Quonset ve İspanyol) çevresel etkilerini değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yöntemini kullanılmıştır. Fonksiyonel birim olarak 1 hektarlık seranın çevresel etkilerini ölçmek için IMPACT World + metodu kullanılmıştır. Enerji sonuçları, ortalama toplam enerji tüketiminin Enerji sonuçları, ortalama toplam enerji tüketiminin Quonset için $388.898 \text{ MJha}^{-1}$ ve İspanyol yapıları için $658.646 \text{ MJha}^{-1}$ olduğunu bulmuşlardır. Her iki yapı türünde de toplam enerji tüketimine en yüksek katkıyı insan emeğinin $197.655 \text{ MJha}^{-1}$ ve elektriğin $214.922 \text{ MJha}^{-1}$ sağladığı tespit edilmiştir. Çevresel sonuçlar, Quonset ve İspanyol yapıları için insan sağlığı indeksinin ve ekosistem kalitesinin sırasıyla 0,019 ve 0,042 DALY.ha⁻¹ ve 4592 ve 10,169 PDF.m².yr.ha⁻¹ olduğu ifade edilmiştir. İspanyol yapılarının çevresel etkilerinin, polietilen ve çelik kullanımının daha fazla olması nedeniyle Quonset yapılarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İklim değişikliği (kg CO₂eq), fosil-nükleer kaynaklar (MJ'den yoksun) ve ozon tabakasının incilmesi (kg CFC-11eq) değerleri, Quonset için hektar başına 12.818, 142.109 ve 0,002 ve İspanyol yapıları için 30.094, 400.251 ve 0.004 olduğu ifade edilmiştir.

Ogunlowo vd. (2023) çalışmalarında, sera enerji talebinin performansını ve bunun mahsul verimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için seranın enerji davranışını ve bunun

ilek verimi üzerindeki doğrudan etkisini kapsayan bir temel durum senaryosu oluşturularak simüle edilmiş bir çalışmadır. Bu çalışmayla bir seranın enerji talebini, sıcaklığını ve bağıl nemini tahmin eden havalandırılmalı ayrıık hacimli bina enerji simülasyonu (DVBES) geliştirilerek ve ilek verimini tahmin ederek tahmine dayalı bir ilek verimi modeli geliştirmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada farklı özelliklere sahip iki adet tek açıklıklı, çift katmanlı deneysel sera kullanılmış. Deneyler 2021–2022 ve 2022–2023 kış sezonunda gerçekleştirmiştir. DVBES modelini doğrulamak için saatlik sıcaklık, bağıl nem ve günlük yakıt tüketimi kullanılmıştır. ilek verim modelini doğrulamak için haftalık sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu ve verim kullanılmıştır. Çalışma sonucunda küçük hatalarla birlikte yüksek tahmin doğruluğuna ulaşılmıştır. Doğu - Batı (90°) yönelimli tek açıklıklı, çift katmanlı bir sera için toplam enerji talebi ve ilek verimi sırasıyla 113.861 MJ.m⁻² ve 0.466 kgplant–1.sezon–1 bulunmuştur.

Trépanier vd. (2024) alışmalarında, enerji tüketiminin ve domates veriminin nasıl etkileneceğini belirlemek amacıyla, RCP8.5 iklim yörüngesine dayalı olarak Kanada'nın sekiz şehrinde mevcut ve 2080 iklim koşullarında domates üreten bir sera simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ısıtma ihtiyaının azalması nedeniyle ortalama olarak enerji tüketiminin %11 oranında azaldığı, daha yüksek gölgelik sıcaklığı nedeniyle verimin ise %17 oranında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Işık yayan diyotların (LED) kullanımı, hem mevcut hem de gelecekteki hava koşullarında yüksek basınçlı sodyum aydınlatmaya göre daha düşük enerji tüketimiyle sebep olduğu ifade edilmiştir. Bu alışma, sera endüstrisinin muhtemelen iklim değişikliğine karşı bazı adaptasyonlara ihtiyaç duyacağını ve enerji tüketimi ile üretkenlik arasında bir dengeye ulaşmanın zor olacağını ne srmektedir. Mekanik soğutma ve nem alma sisteminin eklenmesi simüle edildiğinde ve daha yüksek enerji tüketimi pahasına, 2080 iklim değişikliği senaryosunda dahi mevcut duruma kıyasla verimin artmasına olanak sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak iklim değişikliğinin sera üretimi üzerindeki etkilerini hafifletmeye yönelik en iyi uyarlanabilir stratejileri belirlemek için daha derinlemesine bir analize ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir.

He vd. (2024) alışmalarında, Avustralya'daki yüksek teknolojikli seralarda Işık Engelleyici Film (IEF) ve farklı soğutma teknolojilerinin marul üretimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. IEF'nin soğutma enerjisinin azaltılması ve ürün verimi değişimi üzerindeki etkisi, üç üretim periyodunda marul denemesinde değerlendirilmiş ve sonuçlar, ticari fizibiliteyi değerlendirmek için kullanılmıştır. IEF'nin ortalama soğutma enerjisi harcamasını ve ortalama gübreleme kullanımını %24,2 oranında hafif bir şekilde azalttığı

bulunmuştur. Bu tasarruflara rağmen IEF, üç sezonda ve üç farklı çeşitte mahsul veriminin %6,2 ila %14 oranında azalmasına yol açarak, kaynak kullanımı verimliliği ile üretkenlik arasındaki dengeyi ortaya çıkardığı ifade edilmiştir. Ekonomik modelleme, IEF'nin fan pad sistemleriyle entegre edilmesinin, m² başına 1013 ABD doları net bugünkü değere ve kullanım ömrü boyunca 2,11 fayda-maliyet oranına ulaşabileceğini vurgulanmıştır. Buna karşılık, IEF'yi fan-coil üniteleriyle birleştiren sistem, 17 yıldan daha uzun bir geri ödeme süresi gösterdi ve bu da sistem uyumluluğunun önemine dikkat çekilmiştir. Çalışmada, enerji ve kaynak sürdürülebilirliğini mahsul verimliliğiyle dengelemek için sera teknolojilerinin seçiminde hassasiyetin gerekliliğinin önemine değinilmiştir. Bu bulguların, tarımsal, çevresel ve ekonomik faydaları en üst düzeye çıkarmak için korumalı mahsul sistemlerinde teknoloji kullanımının optimize edilmesi için bir rehber görevi göreceği iddia edilmiştir.

Ghaffarpour vd (2024) çalışmalarında, “doğu-batı yönlü, düzensiz yapılı, fotovoltaiik panellerle donatılmış bir sera, matematiksel bir model geliştirilerek incelenmiş. Gerekli soğutma ve ısıtma yükleri, olgun domates üretimi ve elektrik üretimi, enerji, büyüme ve güneş fotovoltaiik panel modelleri entegre edilerek hesaplanmıştır. Fotovoltaiik (PV) panel sayısının değiştirilmesinin enerji tüketimine, fotosentetik aktif radyasyona, domates ve elektrik üretimine etkisi incelenmiştir. Tahran yakınlarındaki bir konumdaki PV serasının değerlendirmeleri, 25° güney çatı açısının ve %25 PV kaplama oranının daha iyi sonuçlar sağladığını ifade edilmiştir. %25 PV kaplama oranında 1,0 kg domates üretimi başına enerji tüketimi 14,88 kWh olarak hesaplanmış; bu sonuca göre panelsiz senaryoya göre %15,06 daha az olduğu vurgulanmıştır. Bu durumda, 9 aylık bir büyüme dönemi boyunca toplam domates verimi ve enerji üretimi sırasıyla 15,52 ton ve 46,4 MWh olmuştur. Düzgün doğal güneş ışığı dağılımı elde etmek için sera çatısındaki fotovoltaiik panellerin çeşitli konfigürasyonları incelenmiştir. Bulgular en uygun düzenlemenin asimetrik dama tahtası düzeni olduğu sonucuna varılmıştır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmanın Yapıldığı Bölge

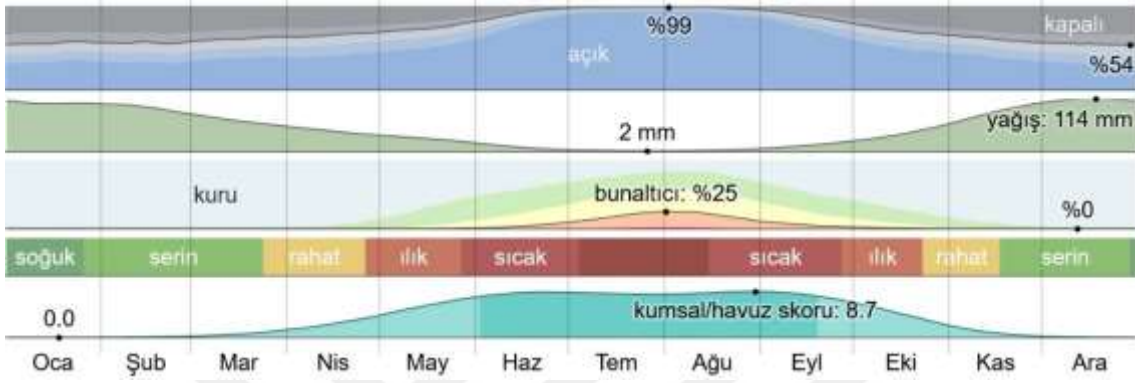
Çalışma, ülkemizin batısında yer alan Ege Bölgesi'nin Aydın ili Buharken ilçesinde, Denizli il sınırında bulunan 37°56'44.6"N 28°50'39.7"E koordinatlarında A&S Tarım bünyesindeki serada yapılmıştır. Aydın ili, tarihi ve coğrafi açıdan her zaman önemli bir yeri olan, 2024 yılı itibarıyla 1161702 kişilik nüfusuyla Ege Bölgesi'nin üçüncü büyük ilidir (TÜİK, 2024). Aydın ili batı sınırları Ege Denizi ile çevrili olup, komşuları Denizli, Muğla, İzmir ve Manisa illeridir. Aydın ilinin denizden yüksekliği 40 m'dir. Aydın ili, Akdeniz iklimi etkisi altında olması sebebiyle topografik yapısı maki ve orman oluşturmaktadır. Yer yer bazı bölgelerinde zeytin, incir, turuncgiller vb. kırsal kesimde ise çam ve benzeri türler bulunmaktadır. En fazla yağış kış mevsiminde görülmektedir. Yaz aylarında ise yok denecek kadar az yağış almaktadır. Aydın, özellikle batıdan gelen hava akınlarına açık olması sebebiyle rüzgâr yönü daha çok doğu – güneydoğusunda olmaktadır. Bunu güneybatı (lodos) ve batı rüzgârları izlemektedir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).



Şekil 3.1. A&S Tarım Kuş Bakışı Görünüş.

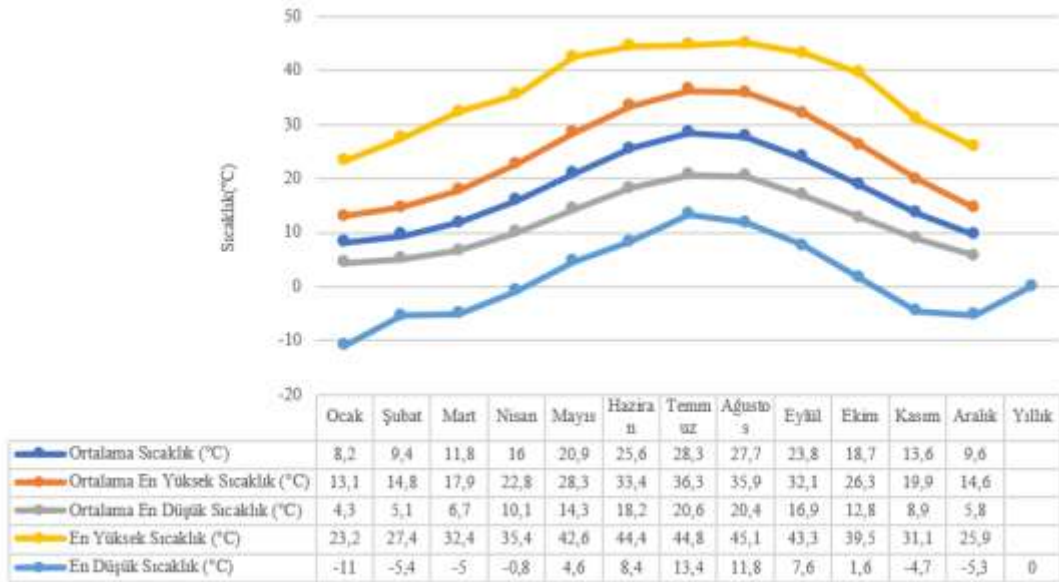
Aydın bölgesinde 1941-2023 yılları arasındaki hava sıcaklıkları incelendiğinde yıl içerisinde sıcaklık değerleri ortalama olarak 4,3°C ile 36,3°C arasında değişirken bu yıllar

arasında en düşük sıcaklık -11°C ve en yüksek de $45,1^{\circ}\text{C}$ olmuştur. Bu verilere göre sıcak mevsim 3,3 ay uzunluğundadır ve günlük ortalama yüksek sıcaklık 31°C üzerindedir. Bu bölgenin en sıcak ayı Temmuz ayıdır; bu ayda ortalama yüksek sıcaklık 35°C iken en düşük sıcaklık 21°C 'dir. Serin mevsim 3,8 ay uzunluğundadır, günlük ortalama yüksek sıcaklık 17°C altındadır. Aydın bölgesindeki en soğuk ay Ocak ayıdır; bu ayda ortalama düşük sıcaklık 4°C iken yüksek sıcaklık 13°C 'dir.



Kaynak: Weather Spark, (2024)

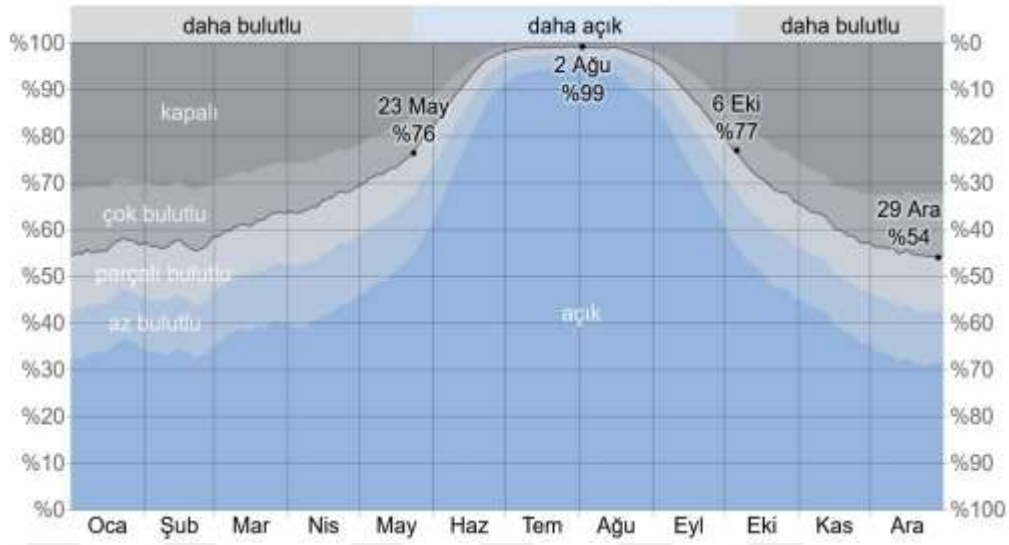
Şekil 3.2. Aydın İli Aylara Göre Hava Durumu



Kaynak: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2024)

Şekil 3.3. Aydın İline Ait 1941-2023 Yılları Arası Mevsim Normalleri

Yukarıda verilmiş olan grafik, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden alınan verilerle oluşturulmuştur.



Kaynak: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2024)

Şekil 3.4. Aydın İline Ait Bulutluluk Örtüsü

Bu bölgenin bulutluluk durumu yıl boyunca çok farklılıklar göstermektedir. Aydın bölgesinde yıl içerisinde bulutluluğun olmadığı zaman aralığı olarak yaklaşık 23 Mayıs ile 6 Ekim civarına kadar olan 4,5 aylık bir periyodu kapsadığı söylenebilir. Yılın en açık ayının Temmuz ayı olduğunu söylemek mümkündür; bu ay boyunca gökyüzü %99 oranında açık olmaktadır. Yılın parçalı bulutlu olan zamanı yaklaşık 6 Ekim civarında başlayıp 23 Mayıs civarında biterek 7,5 aylık bir periyodu kapsar. Aydın bölgesinde yılın en bulutlu ayı Aralık ayıdır; bu ay boyunca gökyüzü %45 oranında kapalıdır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

3.1.2. Çalışma Yapılan Seranın Özellikleri

Sera gotik çatılı, yan duvarları sert plastik, diğer yerleri ise yumuşak plastik (polietilen) örtülü çelik konstrüksiyonlu 50000 m² kapalı alana sahip topraksız tarım yapan tam otomasyon bölmesiz blok seradır. Serada daimî olarak bir tane işletme müdürü, bir tane ziraat mühendisi ve 3 çalışanla birlikte toplamda 5 çalışanı mevcuttur. Ancak seranın hazırlanmasından hasat zamanına kadar (yaklaşık 11 ay) 25 – 30 işçi çalışmaktadır. Sera elektrik ihtiyacını şebekeden sağlamaktadır. Seranın ısıtılması, Jeotermal tesislerden gelen

sıcak suyun ısısı, sera bölgesinde bulunan bir boyler vasıtasıyla ısıtma suyuna aktarılmakta ve sirkülasyon pompaları aracılığıyla ısıtılması istenilen bölgelere gönderilmektedir. Sera iç sıcaklığı, otomatik sistemler aracılığıyla kontrol altında tutulmaktadır.

Serada domates yetiştirilmekte ve yılda bir ürün alınmaktadır. Sera, Eylül ayından başlayarak mayıs ayına kadar olan 9 aylık sürede faaldır. İhtiyaç duyulan ısı, jeotermal tesislerinden gelen sıcak sudan sağlanmaktadır. 22 Eylül 2022 tarihinde 115000 adet domates fidesi dikilmiştir.



Resim 3.1. 8 Ekim 2022, Ortalama Boy: 32 cm



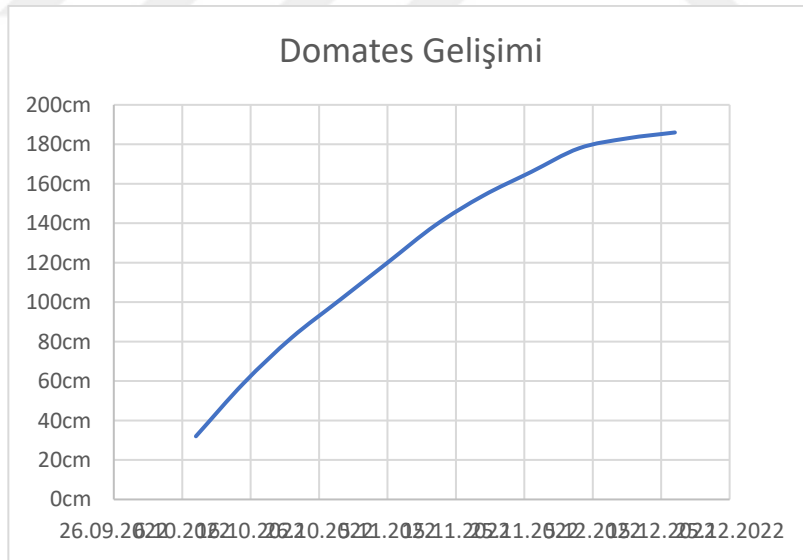
Resim 3.2. 22 Kasım 2022, Ortalama Boy: 139 cm



Resim 3.3. 26 Kasım 2022, Ortalama Boy: 166 cm



Resim 3.4. 17 Aralık 2022, Ortalama Boy: 186 cm



Şekil 3.5. Domates gelişimi

Serada iki adet besleme solüsyonu ünitesi ve 1 adet boyler sitemi bulunmakta



Resim 3.5. Solüsyon Ünitesi



Resim 3.6. Boyler Sistemi

Çizelge 3.1. Serada Kullanılan Elektrik Motorları

	Adet	Güç (kW)	Toplam (kW)
Boyle sistemi	4	5,5	22
	1	2,5	2,5
Besleme solüsyonu Ünitesi 1	3	7,5	22,5
	4	2,2	8,8
Besleme solüsyonu Ünitesi 2	3	7,5	22,5
	4	2,2	8,8
Su havuzu	1	5,5	5,5
Genel Toplam			92,6

3.1.3. Ölçüm Ekipmanları

Seranın bulunduğu bölgedeki hava verileri Arduino kart aracılığıyla alınmıştır. Hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, radyasyon değerleri, bağıl nem, güneşlenme süresi, bulutluluk ve güneş ışıınım değerleri 5 dakikalık periyotlarla kaydedilmiştir. Daha sonra bu verilerin saatlik ortalamaları alınmıştır. Tüm bu veriler Excel formatında Arduino kart üzerinde bulunan micro SD karta kaydedilmiştir. Verilerin kayıt anı tarih ve saatleriyle birlikte kaydedilmiştir.



Resim 3.7. Sera Elektrik Sayacı

Sayaç veri kayıtları için TAPO C210 marka model Wi-Fi kamera kullanılmıştır. Veriler anlık telefondan takip edilebildiği gibi aynı zamanda kamera üzerindeki micro SD karta (256 GB) kaydedilmektedir. Wi-Fi kamera aracılığıyla seranın elektrik sayacı üzerinden 2 yıl boyunca saatlik olarak tüketim değerleri alınmıştır. Tüketim değerleri saatlik olarak Excel dosyasına kaydedilmiştir. Modem aracılığıyla da mobil cihazlar üzerinden kamera kayıtları anlık olarak kontrol edilmiştir. Kamera, hava istasyonu ve Wi-Fi modem için gerekli olan enerji 130 W'lık 12 V polikristal yapılı güneş paneli ve 5 adet 12V – 7 amperlik bataryalar kullanılarak kesintisiz ve temiz enerji ile sağlanmıştır.



Resim 3.8. 12V, 130 W, 32 Hücreli Polikristal Yapılı Güneş Paneli

TAPO C210 Wi-Fi kamerasının (9V), taşınabilir modem (5V) ve hava istasyonunun ihtiyacı olan enerji (5V) karşılamak için 32 hücreden oluşan 130 W'lık 12V polikristal yapılı güneş paneli kullanılarak kesintisiz ve temiz enerji elde edilmiştir.



Resim 3.9. PWM Şarj Kiti ve Taşınabilir Modem.

Akü şarj kiti olarak 40A Lexron marka PWM (Pulse Width Modulation) tip şarj kiti kullanılmıştır. Bilgisayar, cep telefonu gibi cihazlara Wi-Fi bağlantısı sağlamak için taşınabilir modem kullanılmıştır. Modemin ihtiyacı olan enerji (5V) akülerden sağlanmaktadır. Taşınabilir modem, operatör kartı sayesinde herhangi bir elektrik bağlantısı olmadan operatörün kapsama alanı içindeki cihazlara ağ sunucusu sağlamaktadır.



Resim 3.10. Akü

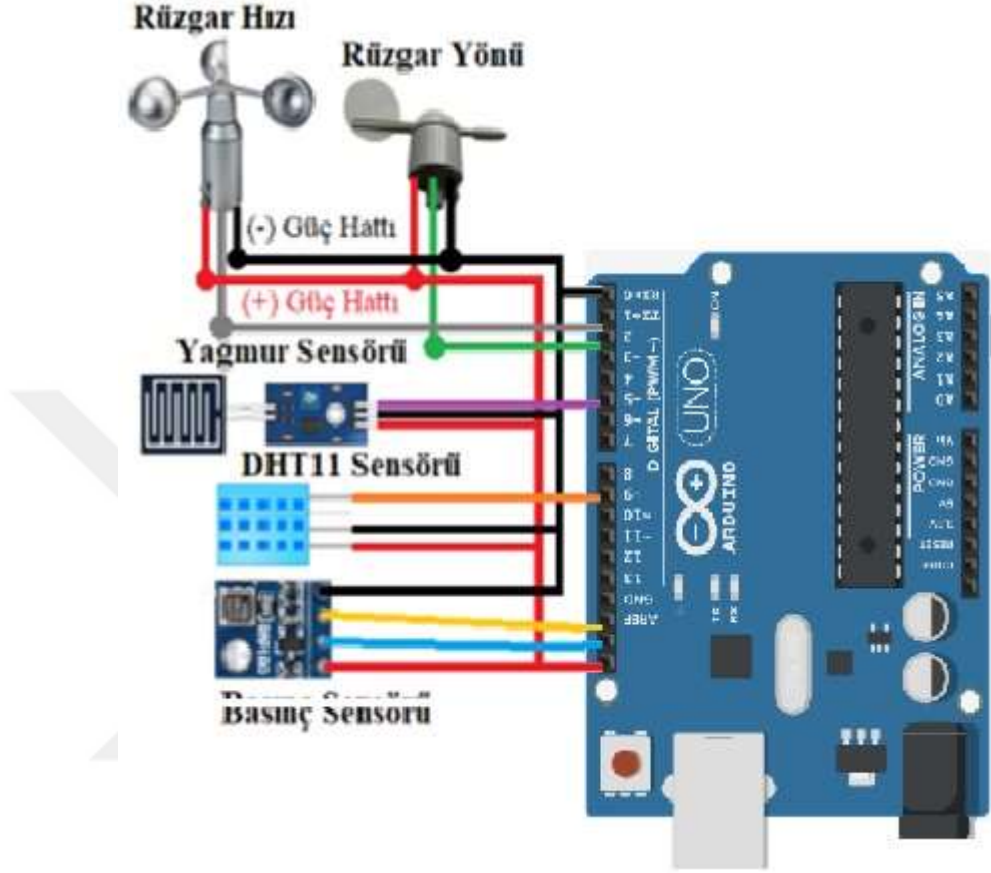
Enerji depolamak için 5 adet 12 Volt, 7 Amper kuru akü kullanılmıştır. Aküler paralel bağlanarak 12 Volt 35 Amperlik bir kapasite oluşturulmuştur. Bu sayede sorunsuz bir şekilde tüm sistemin enerjisi karşılanmıştır.



Resim 3.11. Meteoroloji İstasyonu

Hava istasyonu, sera idari binası yakınında 40 cm ye 40 cm ve yaklaşık 1 m ebatlarında bir çukura beton dökülerek sabitlenmiş olan 6 m'lik boru üzerine monte edilmiş ve sistemin beslenmesi 12V, 35 Amperlik batarya ile sağlanmaktadır. Sitem her 5 dakikada

bir rüzgâr hızı (km/h), Rüzgâr yönü (360°), hava sıcaklığı (°C), Havanın nemi, basıncı (Pa), güneş ışınım değeri (lux) ve yağış durumunu ölçmekte ve micro SD karta anlık olarak tarih saat bilgileriyle birlikte kaydetmektedir.



Şekil 3.6. Meteoroloji istasyonu devre şeması

3.2. Yöntem

Çalışmada 2021-2023 yılları arası iki yıl boyunca elde edilen veriler Weka programı ile analiz edilmiştir. Weka versiyon 3.9.6 – 1999-2022 kullanılmıştır. İlk etapta Weka programına veri girişi Explorer menüsü içerisinde Excel’de hazırlanmış olan verilerin CSV (comma separated values) formatında girişleri yapılmıştır. Open File seçeneği ile Weka’ya girilen verilerin veri sütunları nümerik ya da nominal şeklinde kategorize edildikten sonra Weka dosyası (arff) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.7. Weka Veri Giriş Ekranı.

Viewer

İstisnai Makine Öğrenmesi Veri Seti

No.	1: GELISIM	2: SICAKLIK	3: BAGIL NEM	4: RUZGAR HIZI	5: RUZGAR YONU	6: BULUTLULUK	7: GUNESLENME SURESI	8: RADYASYON	9: D RADYASYON	10: BASINC	11: TUKETIM
	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal
1	B	18.53	72.3	4.3	210.0	97.0	0.0	0.0	0.0	1013.7	0.22
2	B	18.46	74.6	3.8	181.0	97.0	0.0	0.0	0.0	1013.8	0.27
3	B	17.70	78.4	1.82	222.0	29.0	0.0	0.0	0.0	1019.5	0.51
4	O	14.80	84.3	1.93	111.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1016.1	0.56
5	O	16.23	78.8	2.3	85.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1015.8	0.61
6	O	16.19	94.2	1.96	156.0	96.0	3.9	0.0	0.0	1012.9	0.66
7	O	16.35	93.9	2.01	153.0	97.0	16.3	31.0	24.0	1012.9	0.67
8	O	15.9	94.8	2.12	171.0	93.0	0.0	0.0	0.0	1013.2	0.69
9	O	16.82	88.4	2.5	94.0	0.0	11.6	0.0	0.0	1015.0	0.7
10	O	15.57	94.2	1.74	166.0	91.0	0.0	0.0	0.0	1012.8	0.7
11	O	16.56	93.4	1.81	173.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1016.4	0.7
12	O	15.95	94.9	1.96	165.0	77.0	0.0	0.0	0.0	1013.2	0.71
13	O	15.21	95.4	1.82	128.0	90.0	0.0	0.0	0.0	1012.9	0.72
14	O	16.58	92.8	1.86	147.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1015.7	0.72
15	O	16.1	92.5	1.81	150.0	95.0	0.0	0.0	0.0	1011.9	0.73
16	O	15.95	94.6	1.84	163.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1016.5	0.73
17	O	15.48	88.7	1.0	126.0	84.0	0.0	0.0	0.0	1020.6	0.73
18	O	17.88	71.9	2.4	88.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1016.1	0.74
19	O	14.03	87.0	1.64	104.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1016.0	0.74
20	O	15.84	94.3	0.8	172.0	85.0	0.0	0.0	0.0	1013.5	0.74
21	O	24.5	47.7	2.45	78.0	13.0	35.1	389.0	124.0	1013.8	0.75
22	O	21.05	60.1	2.1	95.0	0.0	35.1	45.0	23.0	1015.5	0.75
23	O	13.41	88.1	1.82	96.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1015.6	0.75
24	O	15.74	95.1	1.3	157.0	79.0	0.0	0.0	0.0	1013.3	0.76

Add instance Undo OK Cancel

Şekil 3.8. Weka Programına Girilen Örnek Veri Seti.

Bu çalışmada domates gelişimi, 2021-2022 yılları arasındaki hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, güneşlenme süresi, radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri, bağıl nem, bulutluluk değeri, hava basıncı ve elektrik tüketim değerleriyle ilgili veriler kullanılmıştır. Bu süre zarfında her veri setinden yaklaşık 5808 adet veri elde edilmiştir. Bu veriler Yeni Zelanda’da bulunan Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilmiş Java tabanlı ve açık veri kaynaklı olan GPL bulunan bir yazılım olan Weka programında analiz edilmiştir. Toplamda Weka ile yaklaşık 63888 adet veri analizi gerçekleştirilmiştir.

İlk etapta sınıflandırma algoritması altında bulunan “Random Tree” (Rastgele Karar Ağacı) algoritması kullanılarak seranın elektrik tüketimi üzerine etkili olan faktörler belirlendi. Weka, karar ağacı algoritmalarıyla büyük veri kümelerinin analizi anlamlı sonuçlar vermekte ve tahminler yapılabilmesini sağlamaktadır. En yaygın kullanılan karar ağacı algoritmaları J48 ve Rastgele Karar Ağacı algoritmalarıdır. Burada karar ağacı algoritmasında Shannon teorisi ile veri sınıflarının en az entropi ve olasılık değerleri hesaplanarak yapılan “böl ve yönet” yöntemine göre yukarıdan aşağıya doğru bir karar ağacı yapısı oluşturulur (Nalçakan vd., 2015).

Shannon teorisi;

$$P_1 \cdot \log_2 P_1 + P_2 \cdot \log_2 P_2 + P_3 \cdot \log_2 P_3 + \dots + P_n \cdot \log_2 P_n \quad (1)$$

$$H = -k \sum_{i=1}^n (P_i \cdot \log_2 P_i) \quad (2)$$

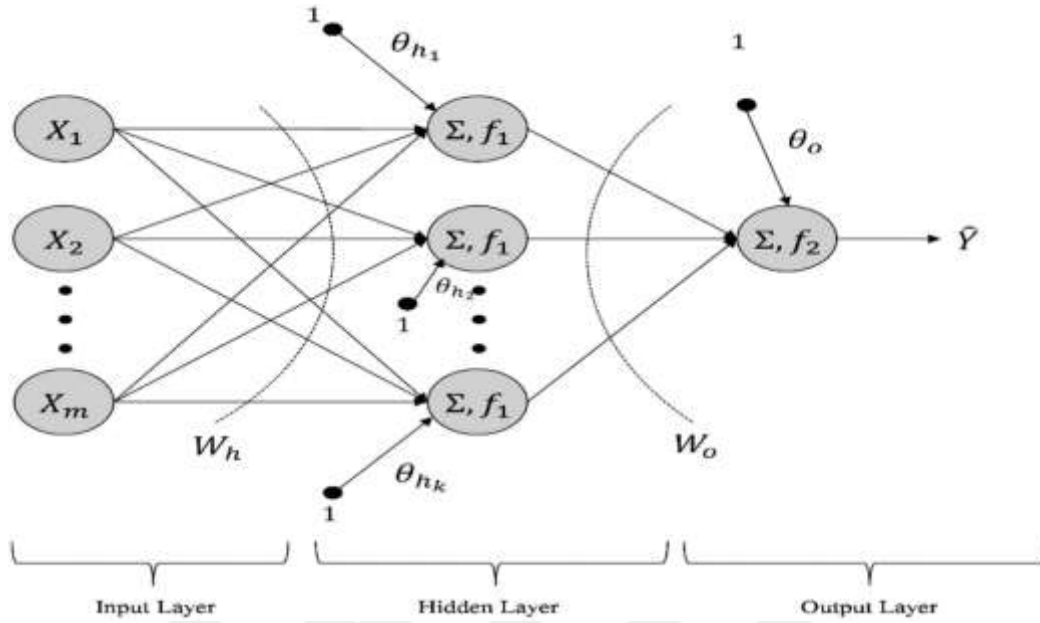
P, değişkenlerin olasılığı; H, Shannon aksiyonu (Olayın seçimindeki frekans değerini ifade eder).

Shannon, üretilen bir bilgi için doğruluk derecesini ölçen bir tanım yapmıştır. Shannon teorisine göre entropi, veriler içerisindeki belirsizlikler sayısallaştırılarak rastgele değişkenlerin tahmini yapılır. Bu şekilde Shannon teorisi, makine öğrenmesi karar ağacı oluşturulmasında entropi hesabıyla ağaç oluşumundaki kök düğümlerin tespit edilmesine imkân tanır (Bahadır ve Türkmençalıkoğlu, 2021).

İkinci aşamada fonksiyonların altında bulunan “Multilayer Perceptron” (çok katmanlı algılayıcı) algoritması ile farklı gizli katmanlar ve farklı makine öğrenmesi tekrar sayıları kullanılarak optimum hassasiyetli YSA elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin özelliklerinden biri olan öğrenme yoluyla yeni bilgiler elde edebilme, aynı zamanda yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi becerilerin otomatik olarak gerçekleştirilmesi için geliştirilmiş bilgisayar sistemleri olarak tanımlanabilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü amacıyla Werbos tarafından 1974 yılında önerilen ve 1986 yılında Rumelhart ve arkadaşları tarafından yeniden ele alınan çok katmanlı algılayıcı sinir ağları (MLP). (1986), tahmin, modelleme ve sınıflandırma gibi problemlerde en yaygın kullanılan YSA türlerinden biridir. Çok katmanlı algılayıcı sinir ağları, bir veya daha fazla gizli katmanın yanı sıra bir giriş ve bir çıkış katmanı içerir. MLP, gizli katmanları içeren mimari yapısı nedeniyle veri odaklı bir özelliğe sahip olduğundan,

doğrusal olmayan problemler için esnek ve uyarlanabilir modeller sunmaktadır. MLP için varsayımsal bir mimari Şekil 3.9’teki gibi verilebilir (Temel vd., 2021).



Şekil 3.9. Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Mimarisi

Yukarıdaki şekilde görülmekte olan MLP sinir ağı $X_1, X_2, \dots, X_m$ giriş verilerini, $\Theta_{n1}, \Theta_{n2}, \Theta_{n3}, \dots, \Theta_{nk}$ gizli katman sayılarını ifade etmektedir. Burada giriş verileri ile gizli katman arasındaki bağlantıların ağırlıkları W_h matrisi ile ifade edilmiştir. Bu matrisin elemanları ω_{hij} , $i=1,2,3,\dots, m; j=1,2,3,\dots, k$ ve dir ve giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlığı ifade eder. f_1 gizli katman ünitelerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonlarını gösterir. W_o gizli katman üniteleri ve çıkış tabakası arasındaki ağırlıkları temsil eder. $\hat{Y}$ ise MLP’nin çıkışını temsil eder.

Elde edilen MLP sinir ağları içerisinde en az hataya sahip olan ağ-ağlar şablon olarak kaydedildikten sonra Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan bölgeye ait son 10 yılın saatli hava verileri Weka programında bulunan “Forecast” algoritması kullanılarak gelecek 4 sezon (2024-2027) için hava tahmin verileri elde edilmiştir.

2021-2023 tarihleri arasındaki sera enerji tüketiminin yapay sinir ağıyla elde edilen modeline 2024-2027 tarihleri arası tahmin edilen hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, radyasyon değerleri, bağıl nem, güneşlenme süresi, bulutluluk ve güneş ışıınım değerleri verileri eklenerek tüketim değerleri MLP algoritmasıyla oluşturulan YSA makine öğrenmesi modeli ile 2024-2027 yılları için tahmini tüketim verileri elde edilmiştir.

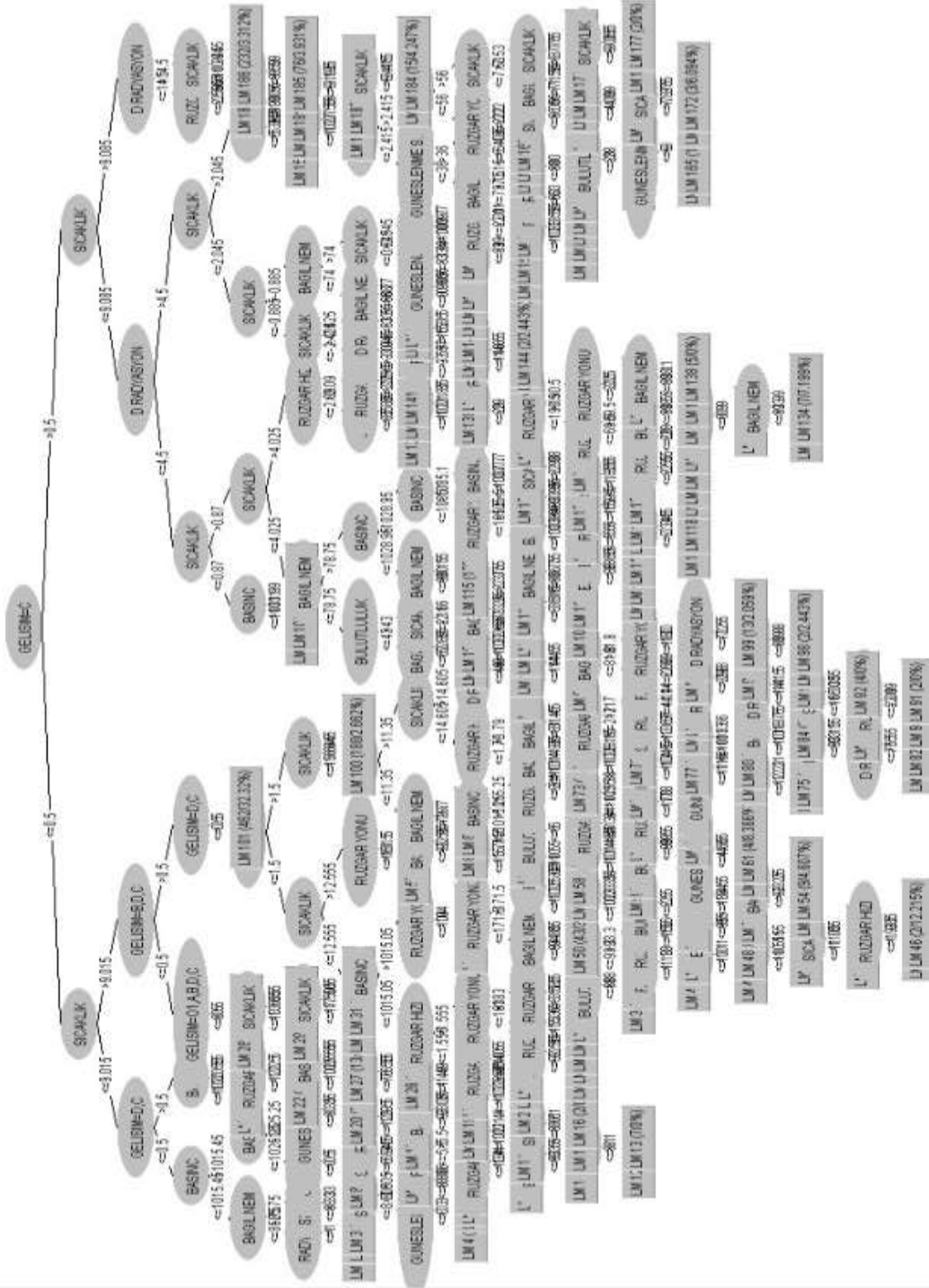
Elde edilen tahmin verileri referans alınarak seranın aktif olduğu aylardaki ortalama tüketime göre gerekli saatlik elektrik ihtiyacı belirlenmiştir. Bu elektrik ihtiyacının bölgenin rüzgâr hızı ortalamasının düşük çıkmasından fotovoltaik panellerle karşılanmasının uygun olacağına karar verildi. Bu kapsamda paket program kullanılarak depolama sistemi olan ve gerektiğinde fazla elektriğı şebekeye veren bir fotovoltaik panel sistemi tasarlanmıştır.

3.3. Bulgular

Bu çalışmada domates gelişimi, 2021-2023 yılları arasındaki hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneşlenme süresi, radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri, bağıl nem, bulutluluk değeri, hava basıncı ve elektrik tüketim değerleriyle ilgili veriler kullanılmıştır. Bu süre zarfında her veri setinden yaklaşık 5808 adet veri elde edilmiştir. Bu veriler Yeni Zelanda’da bulunan Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilmiş Java tabanlı ve açık veri kaynaklı olan GPL bulunan bir yazılım olan Weka programında analiz edilmiştir. Toplamda Weka ile yaklaşık 63888 adet veri analizi gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Karar Ağacı ile Tüketimi Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi

Weka programına veri girişi Explorer menüsü içerisinde Excel’de hazırlanmış olan verilerin CSV (comma separated values) formatına girişleri yapılmıştır. Open File seçeneğı ile Weka’ya girilen verilerin veri sütunları nümerik ya da nominal şeklinde kategorize edildikten sonra Weka dosyası (arff) olarak kaydedildi. Daha sonraki süreçte sınıflandırma algoritması altında bulunan “Random Tree” (Rastgele Karar Ağacı) algoritması kullanılarak seranın elektrik tüketimi üzerine etkili olan faktörler belirlendi.



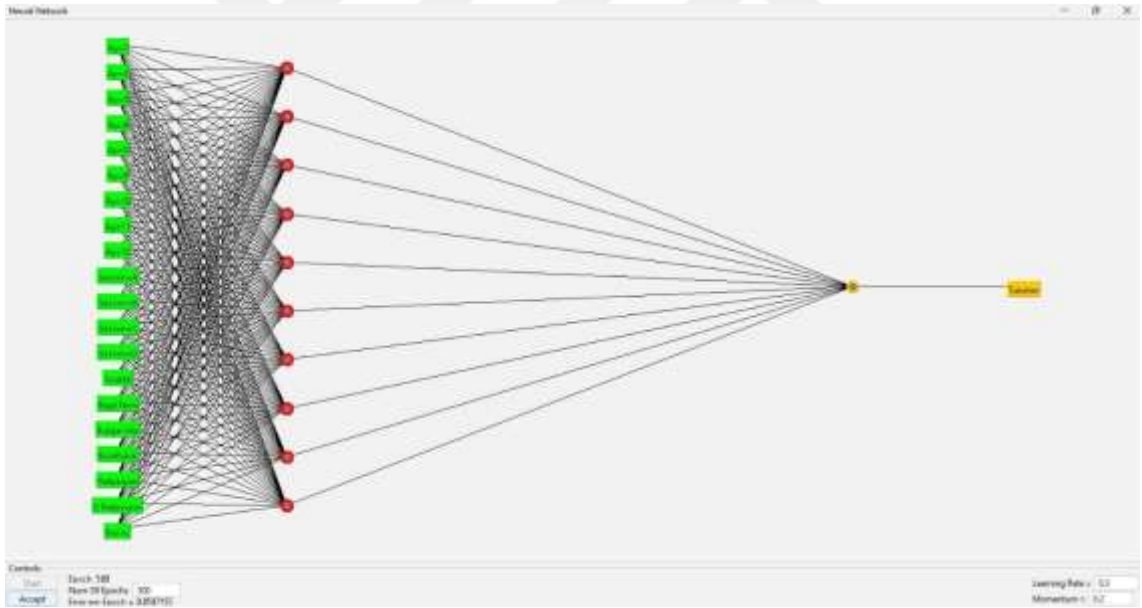
Şekil 3.10. Rastgele Karar Ağacı Algoritması İle Elde Edilen Karar Ağacı

Karar ağacının incelendiğinde, yukarıda belirtilen veri setlerinin tüketimi etkileyen en önemli faktörün domates fidesinin gelişim periyodu olduğu açıkça görülmektedir. Weka programına domatesin gelişimi; köklenme, çiçeklenme, meyve oluşumu ve meyve gelişim-hayat dönemi şeklinde nominal olarak girilmiştir. Bu çerçevede domatesin olgunlaşma-hayat döneminin enerji tüketimi üzerine etkili olduğunu söylemek mümkündür. Tüketimi etkileyen

ikinci faktör ise dış ortam sıcaklığıdır. Dış ortam sıcaklığının özellikle 9,01°C ile 9,85°C arasında iken tüketim üzerinde etkili olduğunu söylemek mümkündür. Diğer bir faktör ise, domatesin köklenmesi ve çiçeklenme süreci ile yayılı radyasyon değeridir olduğu görülmektedir. Etki eden diğer faktörler sırasıyla rüzgâr hızı, hava basıncı ve bağıl nem olmuştur.

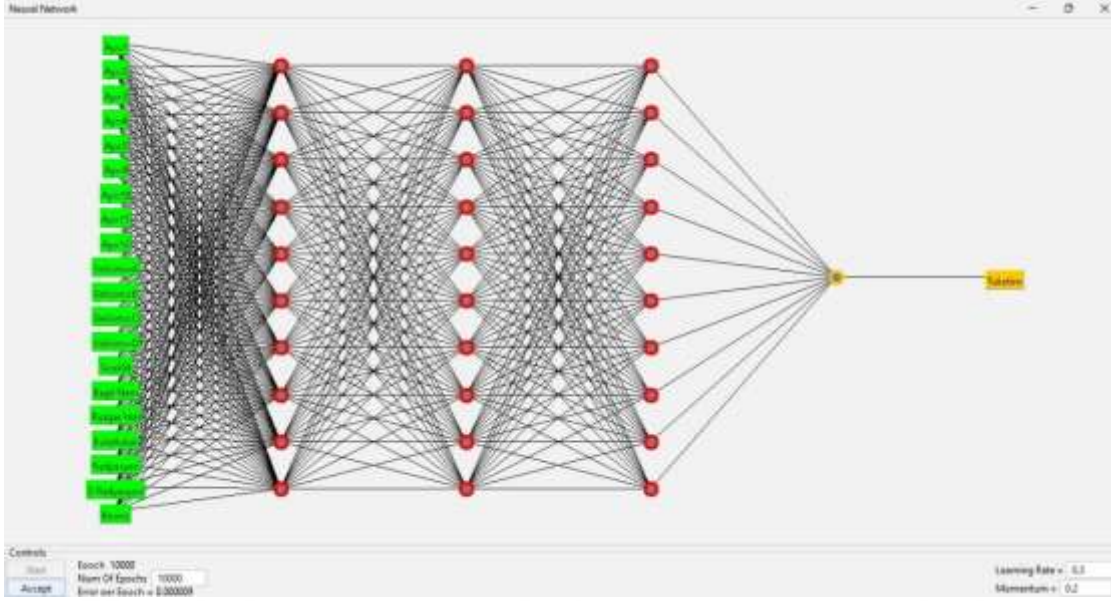
3.3.2. Yapay Sinir Ağı ve Makine Öğrenmesi Uygulaması

Doğrusal regresyonun yanı sıra yapay sinir ağlarının görselleştirilmesi de yapılmaktadır. MLP algoritması YSA ve makine öğrenmesinde en çok kullanılan algoritmadır. Bu çalışmada da MLP algoritması kullanılmıştır. Weka programında classify menüsü altında functions > Multilayer Perceptron modeli seçilerek ilk etapta tek katmanlı 500 tekrarlı makine öğrenmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Tek Katmanlı, 10 Nöronlu ve 500 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı

Burada MLP algoritması kullanılarak tek katmanlı sinir ağı oluşturulmuş ve makine öğrenmesi 500 tekrarla sağlanmıştır. Şekle bakıldığında hata oranının yaklaşık 0,0587 civarında olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenler domates gelişimim aşamaları, dış ortam sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, bulutluluk oranı, güneş radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri ve basınç değerleri kullanılmıştır.

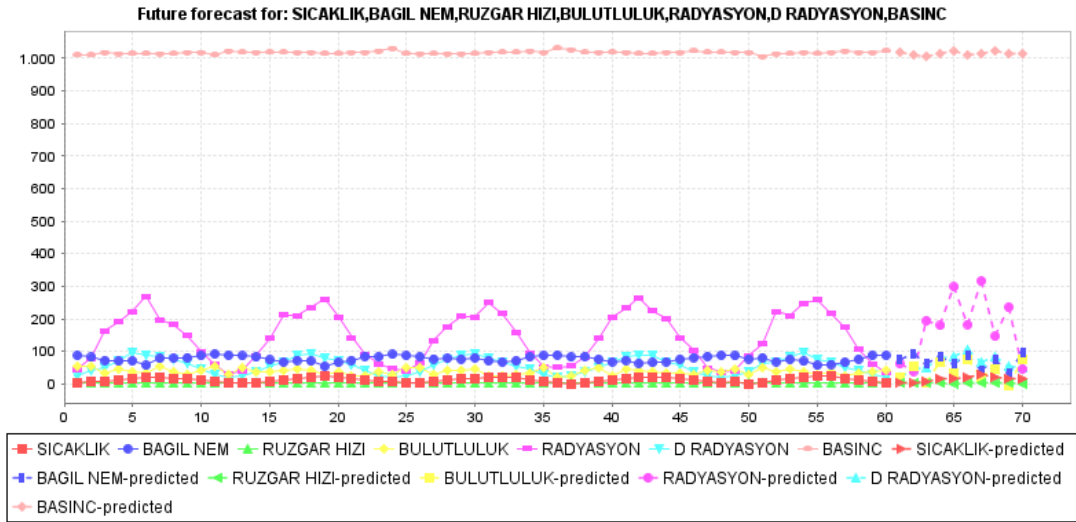


Şekil 3.12. Gizli Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı

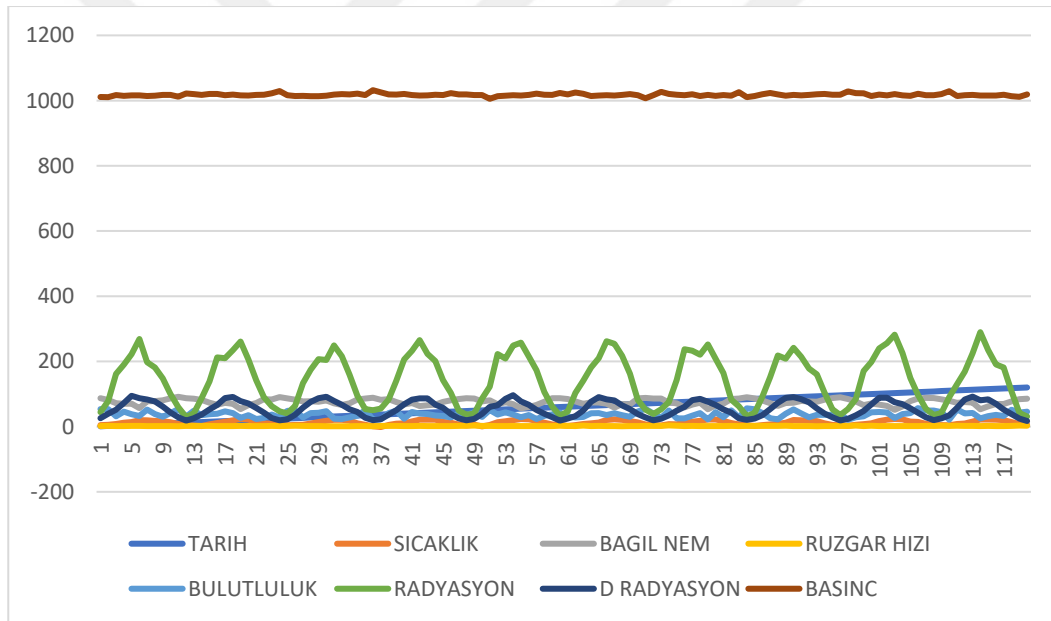
3 katmanlı, 10 nöronlu ve 10000 tekrarlı yapılan sinir ağı makine öğrenmesinde ise hata oranı 0,000009 olarak çıkmıştır. Burada korelasyon katsayısı 1 olarak çıkmıştır bu da bu veriler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bağlı mutlak hata %0,5816 ve kök hata ise %0,7558 olarak çıkmıştır. Bu nedenle söz konusu yapay sinir ağı model olarak alınmıştır.

3.3.3. Tahmini Tüketim

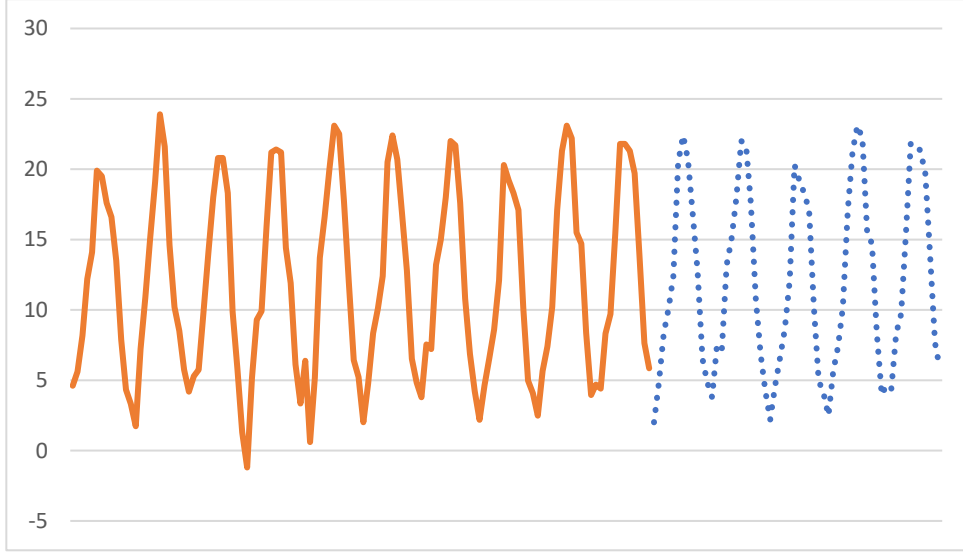
Function Linear Regression algoritmasıyla geçmiş 10 yıllık (2014-2023 tarihleri arası) hava sıcaklığı, bağlı nem, rüzgâr hızı, bulutluluk oranı, güneş radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri ve hava basınç değerleri ile zaman serisi oluşturularak gelecek beş yılın (2024-2027) tahmini yapılmıştır.



Şekil 3.13. 2014-2028 Yılları Arası Hava Verileri Ve Son 5 Yıllık Tahmini



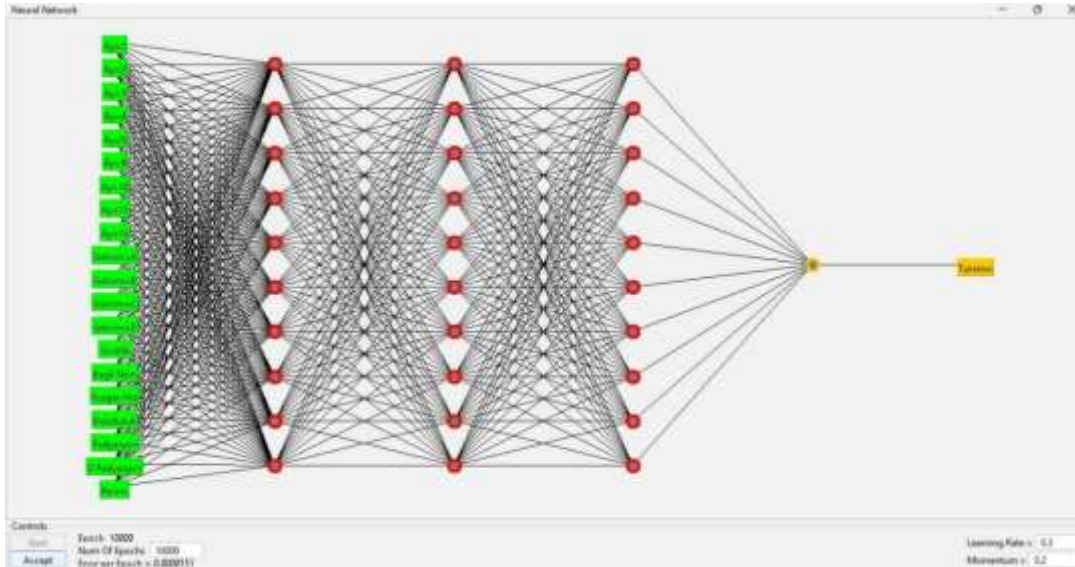
Şekil 3.14. 2024-2028 Yılları Arası Hava Veri Tahmini



Şekil 3.15. Son 10 Yıllık Hava Verileri İle Gelecek Beş Yıllık Tahmin Verileri

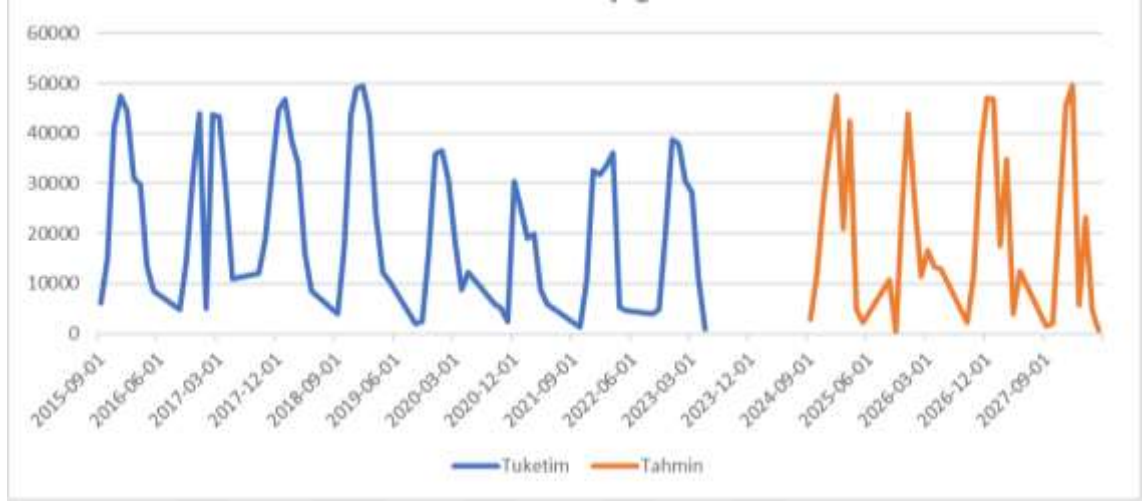
Bu grafikte sadece sıcaklık verileri ile tahmin verileri gösterilmiştir. Burada tahmin ile geçmiş veriler arasındaki ilişki daha net görülmektedir.

2021-2023 tarihleri arasındaki sera enerji tüketiminin yapay sinir ağıyla elde edilen modeline 2024-2027 tarihleri arası tahmin edilen hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, radyasyon değerleri, bağıl nem, güneşlenme süresi, bulutluluk ve güneş ışıınım değerleri verileri eklenerek tüketim değerleri MLP algoritmasıyla oluşturulan YSA makine öğrenmesi modeli ile 2024-2027 yılları için tahmini tüketim verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.16. 3 Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı

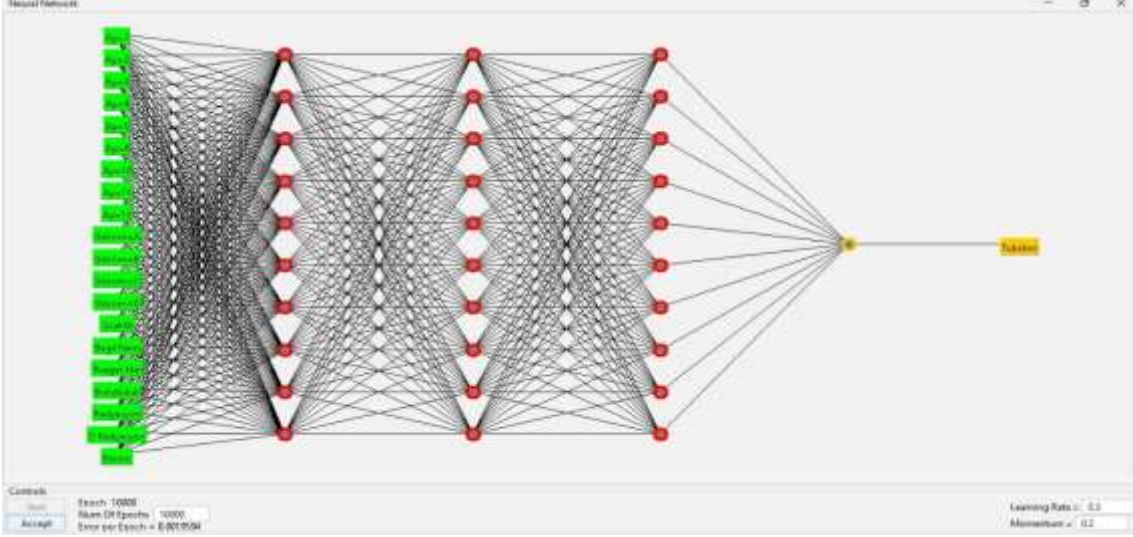
3 katmanlı, 10 gizli nöronlu, 10000 tekrarlı makine öğrenmesi yapıldığında korelasyon katsayısı 0,9999 olarak çıkmıştır; bu da bu veriler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bağlı mutlak hata %1,2294 ve kök hata ise %1,6345 olarak çıkmıştır.



Şekil 3.17. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini

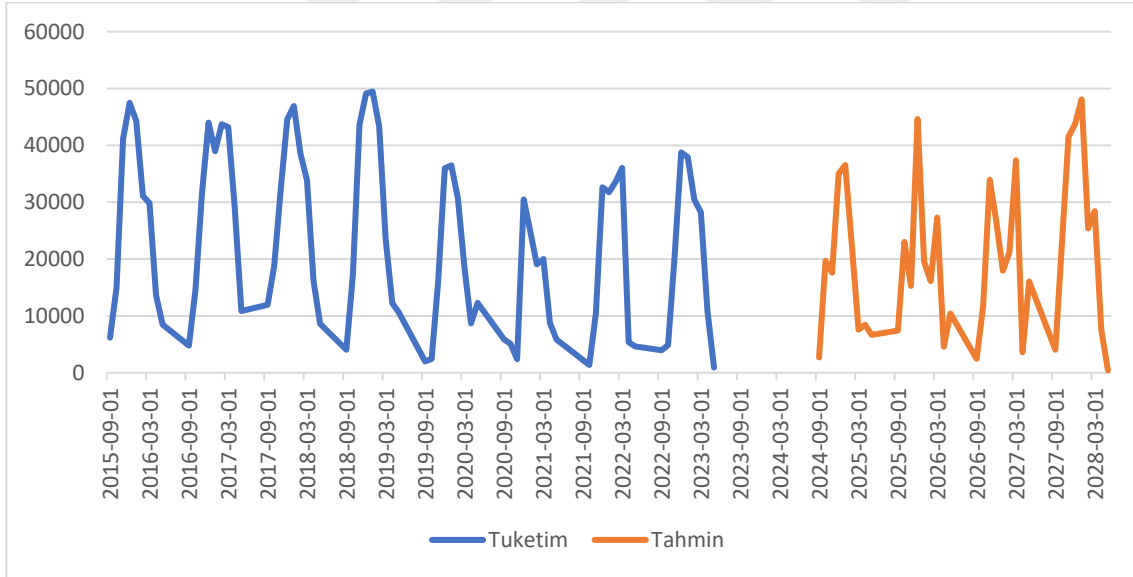
Yukarıdaki grafikte seranın 2015-2020 yılları arası aylık tüketim değerleri ile tahmin değerleri gösterilmektedir. 2017 yılında sera elektrik sisteminde yaşanan bir arıza sonucunda seraya belirli bir süre şebekeden elektrik temin edilememiştir. Bu nedenle grafikte 2017 yılında tüketimde ciddi bir düşüş gözlemlenmektedir.

Seranın 2015 yılı itibariyle aylık tüketimleri dikkate alınarak MLP algoritması ile YSA makine öğrenmesi yapılmıştır. Ancak burada 2017 yılı arıza kaynaklı tüketimin tahmini olumsuz etkilememesi sebebiyle arızanın olduğu aylar için diğer yıllardaki ayların ortalama elektrik tüketimi alınarak YSA makine öğrenmesi yapılmıştır.



Şekil 3.18. 3 Katmanlı, 10 Nöronlu ve 10000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı

3 katmanlı, 10 nöronlu, 10000 tekrarlı makine öğrenmesi yapıldığında korelasyon katsayısı 0,9999 olarak çıkmıştır; bu da bu veriler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bağıl mutlak hata %1,2294 ve kök hata ise %1,6345 olarak çıkmıştır.

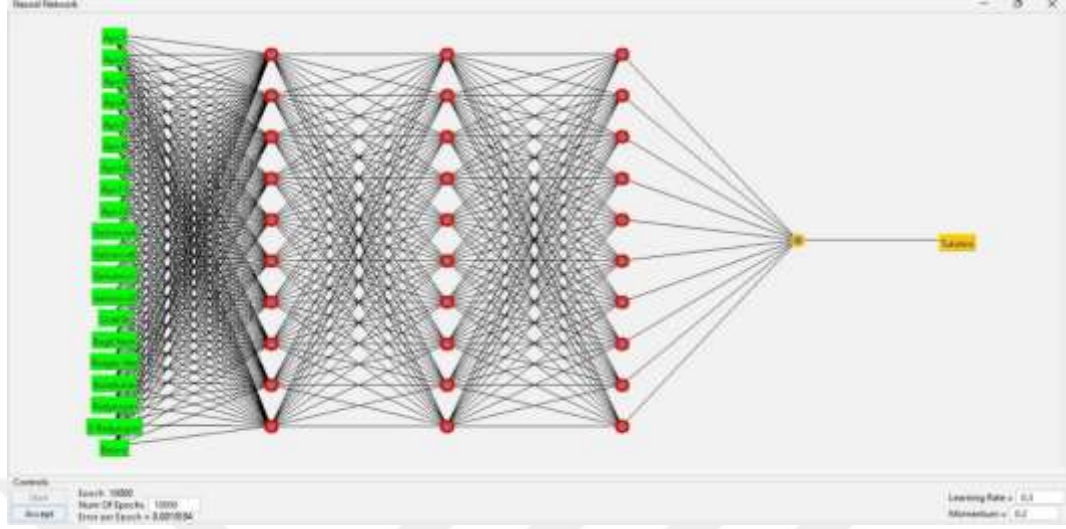


Şekil 3.19. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini (Düzeltilmiş)

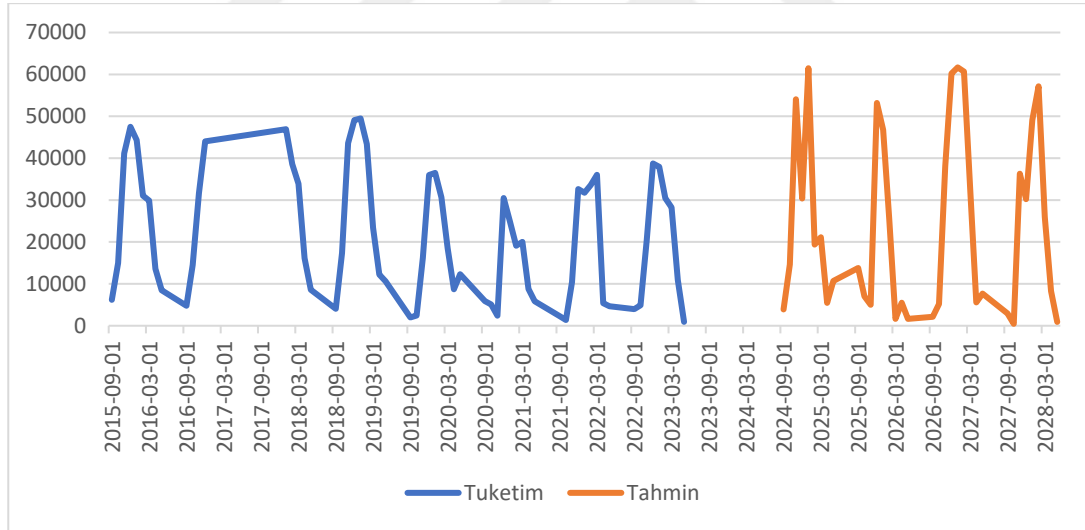
2017 yılının aritmetik ortalamaları alındığında bu durumda tahminlerdeki dalgalanmanın devam ettiğini söylemek mümkündür.

Bu nedenle 2017 yılı veri setinden tamamen çıkartılarak tekrar MLP algoritması ile YPA, 3 gizli katmanlı, 20 nöronlu ve 50000 tekrarlı makine öğrenmesi gerçekleştirildiğinde korelasyon katsayısı 1 olarak çıkmıştır; bu da bu veriler arasında doğrusal bir ilişkinin

olduğunu göstermektedir. Bağıl mutlak hata %0,0009 ve kök hata ise %0,0011 olarak çıkmıştır. Bu sonuçlardan hata oranının oldukça düşük olduğunu söyleyebiliriz.



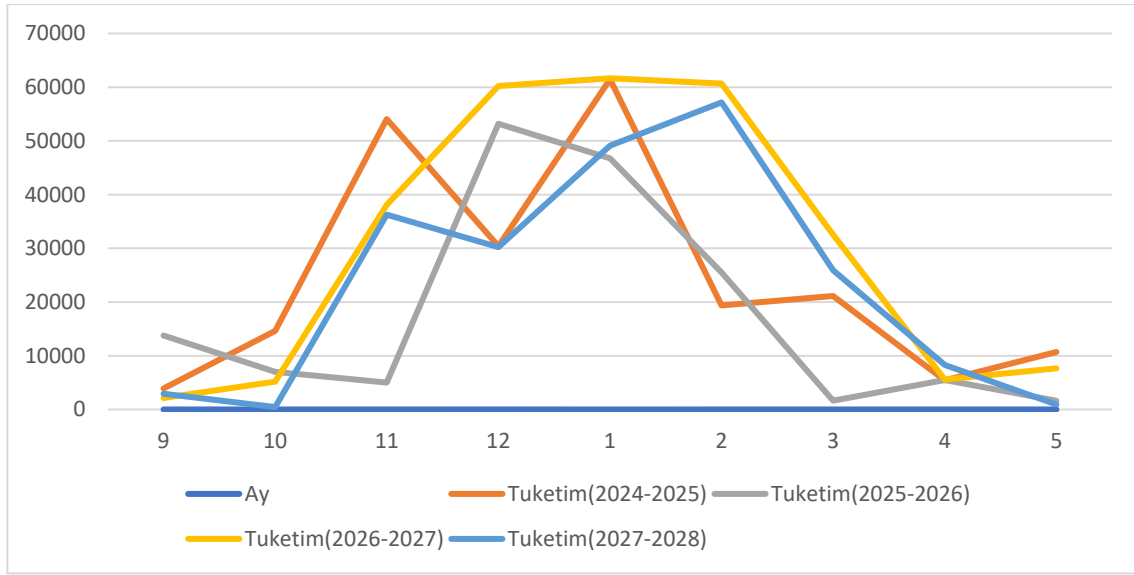
Şekil 3.20. 3 Katmanlı, 20 Nöronlu ve 50000 Tekrarlı Yapay Sinir Ağı



Şekil 3.21. Geçmiş Tüketim ve Gelecek Tüketim Tahmini (Çıkartılmış)

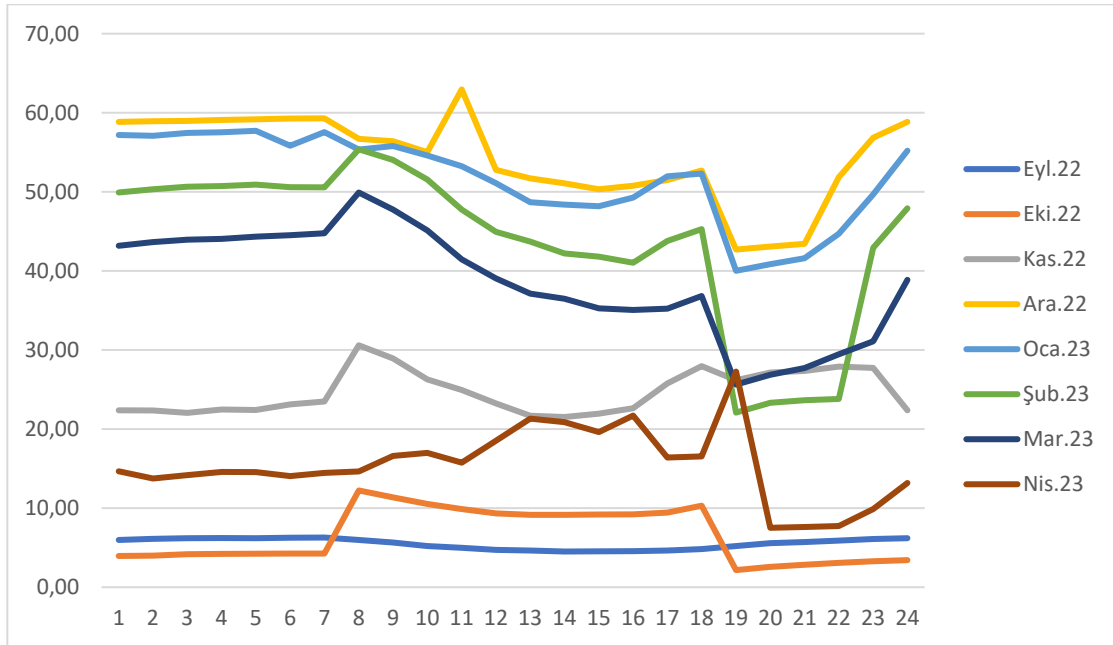
3.3.3. İhtiyaç Duyulan Enerjinin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Sağlanması.

2024-2027 tarihleri arasında tüketim değerleri incelendiğinde en yüksek tüketim değerinin 61668,61 kW'lık aylık tüketimin olacağı öngörülmüştür. Ancak her ay bu kadar tüketim olacak diye enerji üretim sistemini buna göre modellemek doğru olmayacaktır.



Şekil 3.22. Gelecek Tahmini Tüketim

Seranın ihtiyacı olan elektrik değerlerinin karşılanmasına yönelik veriler incelendiğinde, bölgenin yenilenebilir enerji kaynaklarına bakıldığında bölgede ortalama olarak rüzgâr hızının 2,1 m/s olduğu tespit edilmiştir. Rüzgârdan enerji üreten tesislerin verimli çalışma bilmesi için bölgenin ortalama rüzgar hızının 5,4 m/s'den az olmaması gerekmektedir. Bu nedenle enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisini kullanmak doğru olmayacağı için enerji ihtiyacının güneş enerji sistemiyle (GES) karşılanması gerekmektedir.



Şekil 3.23. 2021-2023 Sezonu Saatlara Göre Aylık Tüketim tahminleri

Çizelge 3.2. Gelecek Yıllara Ait Tüketim Değerleri Ortalamaları

Sezon	5 Aylık Tüketim kW	8 Aylık Tüketim kW	5 Ay, Saatlik Tüketim kW	8 Ay, Saatlik Tüketim kW
2024-2025	18785,74	20381,34	26,09	28,31
2025-2026	19826,21	22303,94	27,54	30,98
2026-2027	19501,08	18202,57	27,08	25,28
2027-2028	22836,89	15144,51	31,72	21,03

Bu tabloda bir domates üretim sezonundaki en fazla tüketimin olduğu beş ayın (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart) ve sezonun tamamının ortalaması alınarak saatlik ortalama tüketim ile sezonun ortalama tüketim verileri görülmektedir.

3.3.3.1. Güneş Paneli Projelendirmesi

Yukarıda belirtilen verilere bakıldığında seranın elektrik tüketiminin çok değişken olduğunu söylemek mümkündür. Yapılan incelemeler sonucunda seranın saatlik ortalama elektrik ihtiyacının 20 kW olarak tespit edilmiştir. Saatlik ihtiyaca göre yılın tamamından yararlanacak, depolama sistemi olan ve gerektiğinde fazla elektriği şebekeye veren bir sistem tasarlanmıştır.

Sistem tasarımı ve hesaplamasında paket program kullanılmıştır. Sistem türü şebeke bağlantılı sistemdir, paneller yere sabitlenmiş ve panel açısı 36°'dir. Panel sayısı 960 adet toplam sistem gücü 479 KW/p olan 500W, 36V güneş paneli olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Güneş Enerji Sistemi Verileri

Tür	Şebeke Bağlantılı Sistem
Sistem Gücü	480kWp/gün
Üretim	836 MWh/yıl
Sistem Performansı	0,856
Panel Tür	500Wp 36V
Panel Sayısı	960 adet
Panel Dizilişi	15x64
Sistemsal kayıp	0,08 kW/gün
panel diziliş kaybı	0,72 kW/gün
İnverter	400kW 50/60 Hz 270V
Batarya	25,6V; 840AH Li LFP
Batarya Ünitesi	2 Modül (128x2 Adet)

Panel eğim açısı değişik hesaplamalara bulunabilmektedir. Bu çalışmada güneşten yıl boyunca yararlanmak istenmiştir ve eğim açısı buna göre bulunmuştur.

Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen ve herkesin ücretsiz olarak kullanabildiği PVGIS simülasyon programına göre;

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT} \quad (1)$$

G_T eğimli yüzeye gelen toplam ışıınım, G_{bT} eğimli yüzeye gelen direk ışıınım, G_{dT} difüz ve yansıyan ışıın, G_{rT} yansıyan ışıını ifade etmektedir. Bunların birimi W/m^2 dir (Dal, A. R. (2021)).

$$G_{bT} = G_b \frac{\cos \theta}{\cos \sigma_z} \quad (2)$$

G_b yatay düzleme direkt gelen güneş ışığı (W/m^2), θ güneş ışığı geliş açısı, σ_z zenit açısıdır(Dal, A. R. (2021)).

$$G_{rT} = G \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te eğimli yüzeylerden yansıyan güneş ışıını formül ifade edilmiştir. G yatay düzleme gelen güneş ışığı (W/m^2), β panel yüzeyi açısıdır (Dal, 2021).

Yayıllı güneş ışıınımları gökyüzünde homojen bir dağılım göstermezler, bu nedenle yayıllı radyasyonu hesaplamak için izotropik ve anizotropik olmak üzere iki model geliştirilmiştir. PVGIS metoduna göre anizotropik modelle hesaplama yapılmaktadır. Bu modelde gökyüzünün açık, bulutlu, güneşli ve gölgeli durumlarıyla ilgili hesaplamalar yapılır (Dal, A. R. (2021)).

$$G_{dT} = G_d \left[\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + 0,25227 \cdot \left(\sin \beta - \beta \cdot \cos \beta - \pi \cdot \left(\sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \right] \quad (4)$$

$$G_{dT} = G_d \left[\left(\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \left(\sin \beta - \beta \cdot \cos \beta - \pi \left(\sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \cdot \left(0,0263 - 0,712 \cdot \frac{G_b}{G_o} - 0,6883 \cdot \left(\frac{G_b}{G_o} \right)^2 \right) \right) \cdot \left(1 - \frac{G_b}{G_o} \right) + \left(\frac{G_b}{G_o} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \sigma_z} \right) \right] \quad (5)$$

G_d yatay düzleme gelen yayıllı radyasyon (W/m^2), G_o atmosfer dışı güneş ışığı(W/m^2), güneş yükseklik açısı $\alpha_s < 0,1$ (rad) olduğunda G_{dT} 6. eşitlikle hesaplanır (Dal, A. R. (2021)).

$$G_{dT} = G_d \left[\left(\left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \left(\sin\beta - \beta \cdot \cos\beta - \pi \left(\sin\frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \cdot \left(0,0263 - 0,712 \cdot \frac{G_b}{G_o} - 0,6883 \cdot \left(\frac{G_b}{G_o} \right)^2 \right) \right) \cdot \left(1 - \frac{G_b}{G_o} \right) + \left(\frac{G_b}{G_o} \cdot \frac{\sin\beta \cdot \cos(\gamma-\gamma_s)}{0,1-0,008\alpha_s} \right) \right] \quad (6)$$

Burada çalışma yapılan seranın bulunduğu yerde hesaplamalar sonucunda panel eğim açısı 36° olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.4. Genel Parametreler

Şebek Bağlantı Sistemi	Enerji sağlam stratejisi
Sabit düzlem	İhtiyaç duyulduğunda
Panel Eğim açısı 36°	

Çizelge 3.5. Panel Dizi, Batarya ve İnvertör Özellikleri

Panel Modülü		İnvertör	
Model	MS-500-MB-40H-150 hücre	Model	FreeSun FS0400 HE/HEC 270V
Birim Nominal Güç	500 Wp	Birim Nominal Güç	400 kW
Panel Modül Sayısı	960 adet	İnvertör sayısı	1
Nominal Güç	480 kWp	Toplam Güç	400 kW
Modüller	80 tel x 12 seri halinde	Çalışma Gerilimi	430-820 V
		Pnom Oranı (DC:AC)	1,2
Çalışma Koşulları		Toplam İnvertör Gücü	
Pmpp	439 kWp	Toplam Güç	400 kW
U mpp	470 V	İnvertör sayısı	1
I mpp	935 A	Pnom Oranı (DC:AC)	1,2
Toplam Panel Gücü		Akü Depolama	
Nominal Güç	480 kWp	Üretici firma	DEYE
Toplam Panel	960 modül	Model	BOS-G
Modül Alanı	2303 m²		
Batarya Takımı		Pil Paketi Özellikleri	
Boşalta min.	20%	Gerilim	26 V
Depolanmış şarj	34,4 kWh	Nominal Kapasite	1680 Ah
Akü Şarj		Akü den İnvertöre Enerji Geçişi	
Maksimum Şarj Gücü	20 kW dc	Maks. Güç	8,5 kWac
Maks./Euro effec.	95-97%	Maks./Euro effec.	95-97%



Şekil 3.24. Sera Güneş Paneli Yerleşim Planı

Panel dizilişi 15x64 şeklinde planlanmıştır. 960 adet panelin bu dizilişe göre kayıpları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

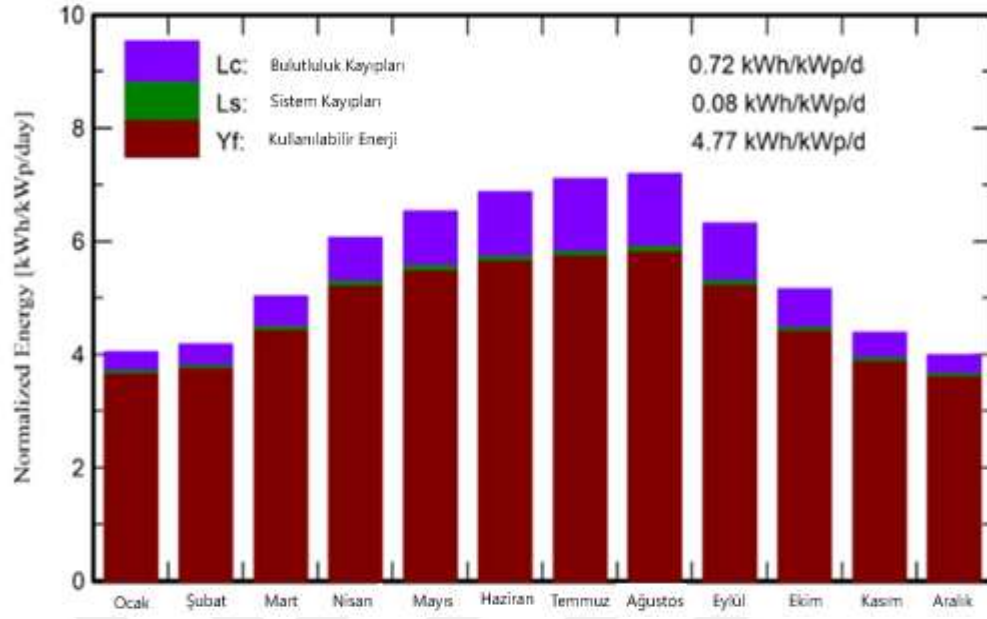
Çizelge 3.6. Dizi Kayıpları

DC kablolama kayıpları		Modül Kalite kayıp oranı	
Kayıp oranı	1,50%	Kayıp oranı	0,50%
Modül Uyumsuzluk kayıpları		Diziliş Uyum Kayıp	
Kayıp oranı	2,00%	Kayıp oranı	0,20%

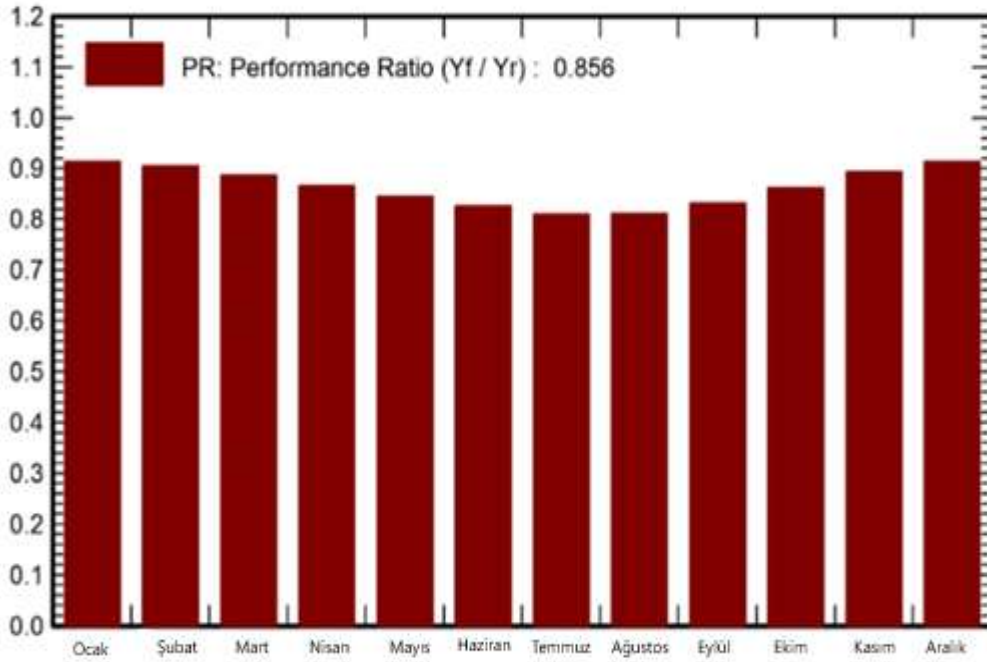
Çizelge 3.7. Sistem Üretimi

Üretim		Batarya Yaşlanması	
Sistem Üretimi	836046 kWh/yıl	Döngüsel	98,20%
Şebekeye Gönderilen	17664 kWh/yıl	Statik	90%
Özgül üretim Performansı	1742 kWh/kWp/yıl		

Normalleştirilmiş üretimler (kurulu kWp başına)



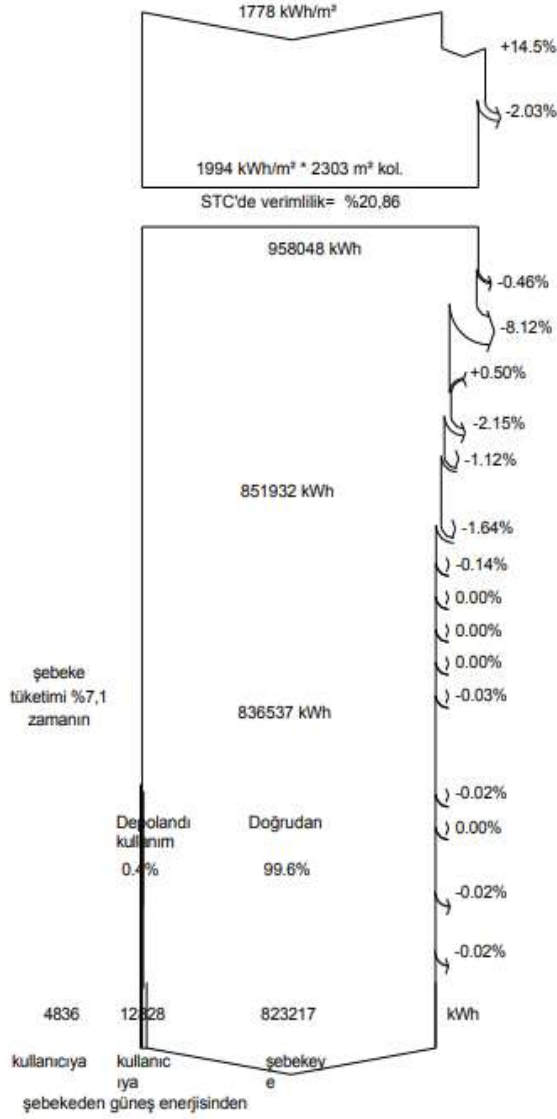
Şekil 3.25. Kullanılabilir Enerji ve Kayıplar



Şekil 3.26. Performans Oranları

Çizelge 3.8. Aylara Göre Enerji Üretim Faktörleri

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	Earray	E_User	E_Grid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh
Ocak	73,6	26,52	7,95	125,4	123,8	55893	0	54951
Şubat	83,2	38,25	9,46	117	115,3	51695	0	50844
Mart	126,4	57,46	12,65	156	153,1	67477	0	66360
Nisan	170,6	71,66	16,26	181,7	177,6	76741	0	75487
Mayıs	212,7	72,64	21,57	202,5	197,3	83453	0	82071
Haziran	229,7	66,61	26,17	206	200,4	83167	5760	77353
Temmuz	238,8	62,93	29,96	220,3	214,6	87282	5952	81289
Ağustos	215,8	58,59	29,48	222,8	217,7	88377	5952	82647
Eylül	160,5	51,58	24,21	189,3	185,3	76873	0	75574
Ekim	116	42,18	18,84	159,8	157,4	67247	0	66143
Kasım	82	31,74	13,36	131,4	129,7	57260	0	56319
Aralık	69,1	25,16	9,17	123,6	122,2	55081	0	54179
Yıl	1778,5	605,33	18,31	2035,6	1994,4	850548	17664	823217
GlobHor Yatay düzleme düşen toplam güneş radyasyonu DiffHor Difüz radyasyon T_Amb Dış Ortam Sıcaklığı GlobInc Yüzeye gelen toplam güneş radyasyonu GlobEff Gölgeleme faktörüyle düzeltilmiş güneş radyasyonu Earray Güneş Panel dizisinin ürettiği toplam enerji E_User Şebekeye gönderilen enerji E_Grid Kullanıcıya iletilen enerji								



Küresel yatay ışınım Çarpışma uçağında küresel olay

Küresel IAM faktörü

Kolektörler üzerinde etkili ışınlama

PV dönüşümü

Dizi nominal enerjisi (STC verimliliğinde)

Işınım seviyesine bağlı PV kaybı

Sıcaklık nedeniyle PV kaybı

Modül kalite kaybı

Uyumsuzluk kaybı, modüller ve dizeler

Ohmik kablo kaybı

MPP'de dizi sanal enerjisi

Çalışma sırasında invertör kaybı (verimlilik)

Nominal inv. gücü üzerinde invertör kaybı

Maks. giriş akımı nedeniyle inverter kaybı

Nominal inv. gerilimi üzerinde invertör kaybı

Güç eşiği nedeniyle invertör kaybı

Gerilim eşiği nedeniyle inverter kaybı

Invertör Çıkışında Mevcut Enerji

Akü GİRİŞİ, şarj cihazı kaybı

Batarya Depolanan Enerji dengesi

Akü Depolama

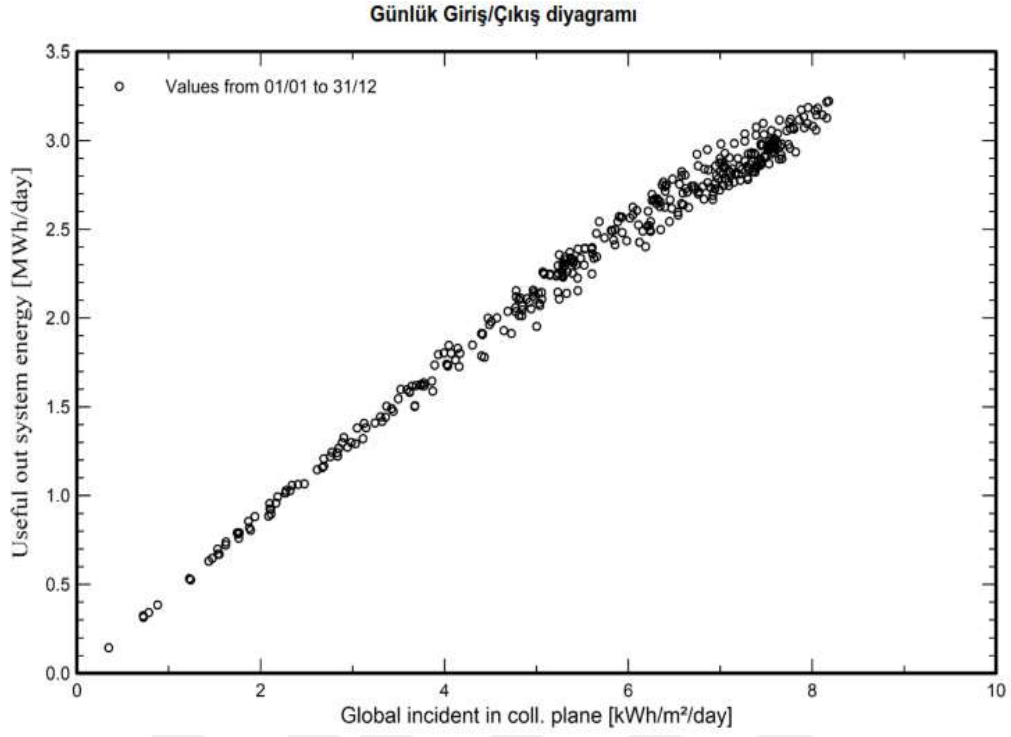
Batarya küresel kaybı

(batarya katkısının %6,05'i)

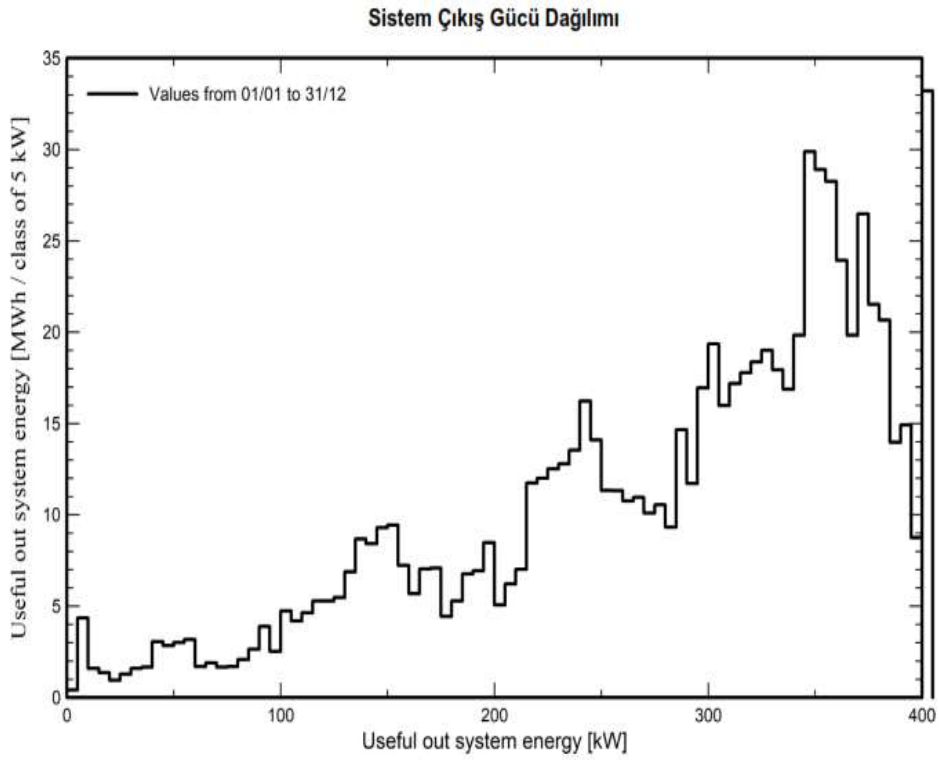
Akü ÇIKIŞI, invertör kaybı

Sevkiyat: kullanıcı ve şebeke yeniden enjeksiyonu

Şekil 3.27. Kayıp Diyagramı



Şekil 3.28. Güneş Panel Performansı



Şekil 3.29. Sistem Çıkış Kullanılabilir Güç Durumu

Çizelge 3.9. Sistem Maliyeti

	Miktar	Birim Fiyatı (Dolar \$)	Toplam
Güneş Paneli	960	105	100800
Akü sistemi	2	9500	19000
İnvertör	1	11420	11420
Kurulum-Bakım	1	650	650
Sigorta	1	1000	1000
TOPLAM		\$132.870,00	

Bu tesis yılda 836046 kW/yıl elektrik üretmekte, güncel elektrik fiyatına göre hesaplama yapıldığında 700 gün sonra tesisin kurulum giderlerini amorti edebilmektedir. Bu da böyle bir yatırımın ekonomik olduğunu göstermektedir.



4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Aydın ili Buharken ilçesinde bulunan tam otomasyon topraksız tarım yapan A&S Tarım'a ait 50000 m² kapalı alana sahip serada gerçekleştirilmiştir. 2021 ve 2023 yılları arasında iki yıl boyunca sera bölgesinden hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, güneşlenme süresi, radyasyon değeri, yayılı radyasyon değeri, bağıl nem, bulutluluk değeri, hava basıncı ve elektrik tüketim değerleriyle ilgili saatlik veriler toplanmıştır. Bu verilerle Weka programında YSA ve makine öğrenmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra tüketim değerleriyle ilgili tahminleme yapılmıştır. Bu tahmin sonuçlarına göre ihtiyacı karşılayacak güneş enerji sistemi modellenmiş ve maliyetlendirilmiştir.

Enerjinin her geçen gün arttığı günümüzde mevcut enerjinin de etkin kullanımı oldukça önemlidir. Bir tesiste enerji tüketimini etkileyen faktörler iyi bilinirse tüketimi azaltıcı doğru ve etkin kararlar alınabilir. Bu çerçevede çalışma yapılan seranın enerji tüketimini etkileyen faktörler incelendiğinde domatesin meyve oluşumu ve olgunlaşma sürecinin enerji tüketiminde etkin olduğu söylenebilir. Bunun sebebi, bitkinin meyve olgunlaşma sürecinde daha fazla besin solüsyonuna ihtiyaç duymasıdır.

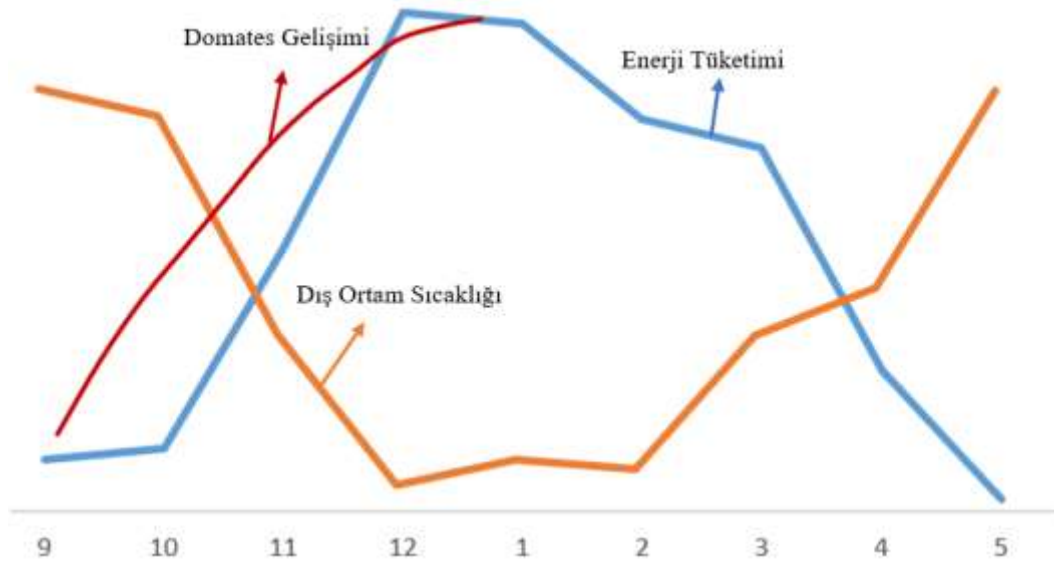
Tüketimi etkileyen diğer önemli faktör ise dış ortam sıcaklığı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun nedeni ise dış ortam sıcaklığının düşmesiyle beraber sera iç sıcaklığının da düşmesinden dolayı ısıtma sisteminin devreye girmesidir. Dış ortam sıcaklığı seralarda enerji tüketimini etkileyen önemli bir faktördür.

Domates fidesinin, köklenme ve çiçeklenme sürecinde ekstra besine ihtiyaç duymasından dolayı bu dönemin ve yayılı radyasyonun enerji tüketiminde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Yayılı radyasyonun da sıcaklığın 9.085°C üzerinde olduğunda ve radyasyon değerinin 4,5 W/m² değerinin üzerinde olduğu durumda enerji tüketimini artırdığı gözlemlenmiştir.

Çalışma yapılan sera ısı kaynağı olarak jeotermal sıcak su kullanmaktadır. Bu nedenle seranın kullandığı enerjinin çoğu besin solüsyon sisteminde tüketilmektedir. Bu sebepten dolayı üretim sürecinde toplam enerji tüketiminin çoğunluğunun domates fidesinin gelişim sürecinde harcandığı görülmüştür. Bu da domates fidesinin köklenme, çiçeklenme,

meyve oluşumu ve olgunlaşma süreçlerinde besleme solüsyonuna daha fazla ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

Seranın her ay için saatlik enerji tüketimi incelendiğinde enerji tüketiminin ortalama olarak saat 18 ile 05 arasında düştüğü, 07 ile 17 arasında artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Seralarda akşam vakitlerinde enerjiden tasarruf yapabilmek için sera iç sıcaklığının bitkinin ihtiyaç duyduğu en düşük sıcaklıklarda olmasına müsaade edilmektedir. Bu da saat 18 ile 05 arasındaki enerji düşüşünü açıklamaktadır. Saat 07 ile 17 arasında ise ısıtma sistemi devreye girmekte ve bunun sonucu olarak ortam nemi azalmaktadır; bu da bitkinin solüsyon ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu nedenle söz konusu saatler arasında tüketim artmaktadır.



Şekil 4.1. Seranın Son 2022-2023 Dönem Aylık Elektrik Tüketimi Domatesin Gelişimi ve Dış Ortam Sıcaklıkları.

Şekilde de grafiğin dikey skalaları eşit değildir. Görsel olarak fikir vermesi açısından üç grafik aynı anda aylar baz alarak gösterilmiştir. Şekle bakıldığında 9. ve 1. aylar arasında domates gelişimi ile birlikte elektrik tüketiminin de arttığı görülmektedir. Bu aylar arasında elektrik tüketiminin dış ortam sıcaklığı ile ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Elektrik tüketimi 12. ayın ortalarından itibaren düşüşe geçerken bu zamanda dış ortam sıcaklığının 2. aya kadar minimum olmasına rağmen tüketimdeki düşüş devam etmektedir. Bu da enerji tüketiminde tamamen dış ortam sıcaklığının değil domates gelişiminin de etkili bir rolünün olduğunu göstermektedir.

MLP algoritmasıyla YSA makine öğrenmesi yapılarak gelecek 5 sezon için tüketim tahmini yapılmıştır. Bu tahmin sonuçlarına göre bir sezon boyunca gerçekleşecek olan tüketim ile sezon içerisinde en çok tüketimin olduğu aylar değerlendirilerek saatlik ortalama olarak 20 kW enerjinin yeterli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Saatlik 20 kW enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması için bölgede yapılan incelemelerde ortalama rüzgâr hızının 2,1 m/s çıkmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalara göre rüzgâr tesisi için minimum rüzgâr hızının 3-5 m/s olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu da bölgedeki rüzgâr potansiyelinin yetersiz olduğunu göstermektedir.

Bu nedenle bölgeye güneş santralinin kurulmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Bölge için GES modellemesi yapılmıştır. Bu modellemede GES'ten yıl boyunca optimum enerji sağlayacak, gerektiğinde şebekeden enerji alabilecek ya da fazla enerjiyi şebekeye gönderebilecek ve fazla enerjiyi depolayabilecek bir sistem tasarlanmıştır. Bu çerçevede yapılan hesaplamalarda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Sistem Gücü 480 kWp/gün
- Sistemin yıllık üretimi 836 MWh/yıl
- Sistemin performansı %85,6
- Panel türü 500Wp 36V polikristal
- Panel sayısı 960 adet
- Panel açısı 36°
- Panel dizilişi 15x64
- Sistem kayıpları 0,08 kW/gün
- Panel diziliş kayıpları 0,72 kW/gün
- İnvertör 400kW 50/60 Hz 270V
- Batarya 26V, 840 Ah Li LFP
- Batarya ünitesi 20 Modül (128x2 adet)

Modellenen bu sistemde yılda 836046 kWh/yıl elektrik üretilmekte ve üretilen bu elektriğin 17664 kWh/yıl kısmı satılabilmektedir. Bu modele göre mevcut seranın yüzey alanının %4,6'si kadar bir güneş paneli yüzey alanı ile elektrik ihtiyacının karşılanabileceği görülmektedir. Bu bölgenin sera bölgesi olması sebebiyle tespit edilmiş olan %4,6'lık oran,

bölgede aynı ürünü yetiştiren diğer seraların enerji ihtiyacını karşılaması için panel yüzey alanı hesabında referans değer olarak alınabilir. Burada sabit panel sistemi kullanılmıştır. Bunun yerine tek eksenli güneş takip sistemi ya da iki eksenli güneşi takip eden panel sistemleri kullanılsaydı verimi yaklaşık %40 oranında artacaktı. Ancak bu tarz sistemlerin ilk yatırım maliyeti ve her beş yılda bir bakım giderlerinin olması sebebiyle tercih edilmemiştir.

Daha önce yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu bitkinin toprakta yetiştirildiği seralarda yapılmış ve kullanılan enerjinin hemen hemen hepsinin ısıtma sisteminde tüketildiği vurgulanmış. Ancak bu çalışma topraksız tarım yapan serada yapılmış ve daha önceki çalışma sonuçlarına ek olarak enerjinin sadece ısıtma sisteminde değil besin solüsyon sisteminde de çok fazla tüketildiğini ortaya koymuştur. Jeotermal kaynaklı ısıtma sistemi olan seralarda enerji tüketiminde besleme solüsyon sisteminin ısıtma sistemine göre daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma topraksız tarım yapan ve jeotermalle ısıtılan seraların enerji ihtiyacını ve tüketimini yapay sinir ağı ve makine öğrenmesi ile modelleyerek gelecekte ihtiyaç duyulan enerji miktarını tahmin edip bunu karşılayacak güneş enerji sistemi tasarlayan ilk çalışma olmasının yanında bahsi geçen tipteki seralarda tüketilen enerjide ısıtma sistemi kadar besin solüsyon sisteminin de etkili olduğunu ortaya atan ilk çalışma olması dolayısıyla bu alanda yapılacak çalışmalara referans olmaktadır.

Çalışma yapılan seranın enerji tüketiminin büyük kısmı santrifüj pompaları tahrik eden elektrik motorlarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle kullanılan pompaların elektrik faz frekans değerleri değiştirilerek optimum verim elde edilebilir. Ayrıca büyük alanlara sahip seralarda solüsyon dağıtım sistemi mühendislik çalışmaları yapılarak optimum zonlara ayrılarak daha etkin ve verimli hale getirilebilir. Seranın otomasyon sisteminde belirli periyotlarla bakım ve kalibrasyonların yapılması da enerji tüketimini azaltacaktır.

Serada yapılan incelemede dış ortam sıcaklığında aşırı düşme olmadığı durumlarda ortalama saat 18'den sonra serada ısıtma sistemi genelde çalışmamakta, bu şekilde sera iç sıcaklığı bitkinin solunum yaptığı süre zarfında yaşamını sürdürebileceği alt sıcaklıklara yakın değerlere kadar düşmesine müsaade edilerek enerji tasarrufu yapılmaktadır. Ancak bu yöntemin gün aydınlandıktan sonra çoğu zaman ısıtma ve besin solüsyon sisteminin aynı anda çalışmasına sebep olmaktadır. Bu da seranın gereğinden fazla enerji tüketmesine neden olmaktadır. Bu olumsuz durumun giderilmesi için besin solüsyon sistemini devreye sokan kriterlerin incelenerek, ısıtma sisteminin devreye girme prosesine göre tekrardan şekillendirilebilir. Bunun yanı sıra ısıtma ve besin solüsyon sisteminin aynı algoritma tarafından kontrol edilmesinin enerji tüketimini azaltacağı düşünülmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda daha uzun vadede sera ve bölgesinden veri toplanarak YSA ve makine öğrenmesi modelleri ile daha detaylı sonuçlar elde edilebilir. Elde edilen bu verilerde bitkinin gelişim periyotlarına göre sınıflandırılarak analiz edildiğinde daha az enerji ile daha önce elde edilen miktarda ürünü elde edebilmek için ideal mevsimsel üretim periyodu başlama ve bitiş tarihleri belirlenebilir.

Serada enerji tüketen sistemler üzerinde kayıt mekanizmaları kullanarak enerji tüketim miktarları ve zamansal verileri elde edilip üretim sürecindeki en çok enerji tüketen sistemler belirlenmiş olur ve bu şekilde enerjiyi fazla tüketen sistemlerle ilgili iyileştirici çalışmalar yapılabilir.





KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., ve Ültanır, M. Ö. (2000). Türkiye’de biyokütle (biomas) enerji potansiyeli ve değerlendirilmesi için öneriler. *Türkiye*, 8, 161-171.
- Ağbulut, Ü. (2022). A novel stochastic model for very short-term wind speed forecasting in the determination of wind energy potential of a region: A case study from Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101853.
- Ahmadi, A., Das, B., Ehyaei, M. A., Esmaeilion, F., Assad, M. E. H., Jamali, D. H., ... & Safari, S. (2021). Energy, exergy, and techno-economic performance analyses of solar dryers for agro products: A comprehensive review. *Solar Energy*, 228, 349-373.
- Arı, F., ve Yılmaz, V. (2023). Türkiye’de ve Dünya’da enerji kaynaklarının genel görünümü ve alternatif enerji kaynaklarının önemi. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (34), 496-519.
- Arslan, H., Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., Karanfil, S., ve Tayanc, M. (2020). Wind speed variability and wind power potential over Turkey: Case studies for Çanakkale and İstanbul. *Renewable Energy*, 145, 1020-1032.
- Arslan, M., & Terzioğlu, H. (2020). Estimation of Solar Radiation Value using Artificial Intelligence Networks. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 488-497.
- Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç. (2001). Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli. *Jeotermal Enerji Semineri*, 21-27.
- Asilkan, Ö., ve Irmak, A. G. S. (2009). İkinci el otomobillerin gelecekteki fiyatlarının yapay sinir ağı ile tahmin edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 375-391.
- Aydemir, E. (2019). *Weka ile Yapay Zekâ*. Seçkin Yayıncılık,
- Bahadır, O., ve Türkmençalıkoğlu, H. (2021). Bilgi Kuramında Shannon Entropisi ve Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 491-497.
- Banakar, A., Montazeri, M., Ghobadian, B., Pasdarshahri, H., & Kamrani, F. (2021). Energy analysis and assessing heating and cooling demands of closed greenhouse in Iran. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25, 101042.

- Baytorun, A. N., ve Gügercin, Ö. (2015). Seralarda enerji verimliliğinin artırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 125-136.
- Baytorun, A. N., ve Üstün, S. (2022). Seralarda Bir Günlük Toplam Sıcaklığa Göre Yapılan Dinamik Kontrol Stratejisine Bağlı Enerji Tasarrufunun Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(5), 1119-1126.
- Baytorun, A.N. (2016). *Seralar Sera Tipleri, Donanımı ve İklimlendirmesi*. Nobel
- Bedekar, P. P., Bhide, S. R., & Kale, V. S. (2011). Fault section estimation in power system using Hebb's rule and continuous genetic algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(3), 457-465.
- Beyaz, A., Onurbaş Avcıoğlu, A., Dayıoğlu, M. A., ve Türker, U. (2017). Tarımsal üretimde enerji verimliliğinin planlanması ve sağlanması. 8. *Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı*, 2017, Turkey.
- Bouabdallaoui, D., Haidi, T., Elmariami, F., Derri, M., & Mellouli, E. M. (2023). Application of four machine-learning methods to predict short-horizon wind energy. *Global Energy Interconnection*, 6(6), 726-737.
- Bozkay, Ş., Onifade, S. T., ve Duran, M. S., (2025) Nuclear energy utilization and the expectations of emission-reduction gains: Empirical evidence from economic trajectory of selected utilizing states, *Progress in Nuclear Energy* 178, 105526.
- Brown, S., & Beausoleil-Morrison, I. (2023). Experimental performance of a full-scale solar thermal system designed to meet residential heating demands with passive solar energy. *Solar Energy*, 264, 112044.
- Büyüktaş, K. (2023). *Seralarda planlama ve otomasyon*, *Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü*. Antalya.
- Chisale, S. W., Lee, H. S., Calvo, M. A. S., Jeong, J. S., Williams, Z., & Cabrera, J. S. (2024). Advanced Solar Energy Potential Assessment in Malawi: Utilizing High-Resolution WRF Model and GIS to Identify Optimal Sites for Photovoltaic Generation. *Renewable Energy*, 122084.
- Curry, B., & Morgan, P. H. (2004). Evaluating Kohonen's learning rule: An approach through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 191-205.

- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *Coğrafi konum*. 12 Aralık 2024 tarihinde <https://aydin.csb.gov.tr/cografikonumu-i-1111> adresinden alınmıştır.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). Yakıta göre birincil enerji tüketimi. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yakita-gore-birincil-enerji-tuketimi-i-85801> adresinden alınmıştır.
- Dal, A. R. (2021). *Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi*. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 241-250.
- Dekker, H. J., & Missemmer, A. (2024). Resource booms and the energy transition: What can we learn from Dutch economists’ response to the discovery of natural gas reserves (1959–1977)?. *Energy Economics*, 134, 107636.
- Diler, A. İ. (2003). İmkb ulusal-100 endeksinin yönünün yapay sinir ağları hata geriye yayma yöntemi ile tahmin edilmesi. *Türkiye’de Bankalar, Sermaye Piyasası ve Ekonomik Büyüme: Koentegrasyon Ve Nedensellik Analizi (1989-2000)*, 81.
- Dong, F. Y., Xu, S., Guo, W., Jiang, N. R., Han, D. D., He, X. Y., ... & Sun, H. B. (2020). Solar-energy camouflage coating with varying sheet resistance. *Nano Energy*, 77, 105095.
- Du, W., Li, M., Wang, Y., Ma, X., Hu, C., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2021). Dynamic energy efficiency characteristics analysis of a distributed solar photovoltaic direct-drive solar cold storage. *Building and Environment*, 206, 108324.
- Elibüyük, U., Yakut, A. K., & Üçgül, İ. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi rüzgâr enerjisi santrali projesi. *Yekarum*, 3(2).
- Elmas, M. (2019). Petrol Endüstrileri ve Petrol İhraç Eden Ülkeler. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(3), 29-41.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024a). Bilgi merkezi. *Güneş enerjisi*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024b). Yenilenebilir enerji kaynakları. *Jeotermal*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal#:~:text=T%C3%BCrkiye'nin%20muhtemel%20jeotermal%20%C4%B1s>

- %C4%B1,4500%20MWe%20olarak%20tahmin%20edilmektedir. adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024c). Bilgi merkezi. *Hidroelektrik enerji*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024d) Yenilenebilir enerji kaynakları. *Biyokütle*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle> adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024e). Bilgi merkezi. *Petrol*. 13 Kasım tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol> adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024f). Bilgi merkezi. *Kömür*. 13 Kasım tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-komur#:~:text=%C3%9Clkemizinde%2019%20C32%20milyar%20ton,7.250%20kcal%20Fkg%20aras%C4%B1nda%20de%C4%9Fi%C5%9Fmektedir.> adresinden alınmıştır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024g). Bilgi merkezi. *Doğalgaz*. 13 Kasım tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> adresinden alınmıştır.
- Erdal, G., Tekin, M., & Gündüz, K. (2024). Doğa Olaylarının Tokat İli Gümenek Bölgesindeki Seralara Etkileri ve Çiftçilerin Davranışlar. *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 3(1), 99-110.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 115-133.
- Esen, V., ve Oral, B. (2016). Natural gas reserve/production ratio in Russia, Iran, Qatar and Turkmenistan: A political and economic perspective. *Energy Policy*, 93, 101-109.
- Eshra, N. M., & Salem, M. G. (2020). Solar energy application in drainage pumping stations to save water and reducing CO2 emission. *Energy Reports*, 6, 354-366.
- Ewe, W. E., Fudholi, A., Sopian, K., Solomin, E., Yazdi, M. H., Asim, N., ... & Abimanyu, H. (2022). Jet impingement cooling applications in solar energy technologies: Systematic literature review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 34, 101445.
- Fırat, M., ve Güngör, M. (2004). Askı madde konsantrasyonu ve miktarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi. *Teknik Dergi*, 15(73).

- Ghaffarpour, Z., Fakhroleslam, M., & Amidpour, M. (2024). Calculation of energy consumption, tomato yield, and electricity generation in a PV-integrated greenhouse with different solar panels configuration. *Renewable Energy*, 120723.
- Global Wind Energy Council. (2024). *Wind Energy Report*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://gwec.net/global-wind-report-2024/> adresinden alınmıştır.
- Gormo, V. G., Kidmo, D. K., Ngoussandou, B. P., Bogno, B., Raidandi, D., & Aillerie, M. (2021). Wind power as an alternative to sustain the energy needs in Garoua and Guider, North Region of Cameroon. *Energy Reports*, 7, 814-829.
- Guo, Y., Zamri, N. E., Kasihmuddin, M. S. M., Alway, A., Mansor, M. A., Li, J., & Zhang, Q. (2024). Dual optimization approach in discrete Hopfield neural network. *Applied Soft Computing*, 164, 111929.
- Gupta, S., Rajhans, C., & Duttagupta, S. P. (2020). Harvesting solar energy onboard LTA systems: Modeling and design. *Energy Reports*, 6, 3399-3411.
- Hassan, Q., Abbas, M. K., Abdulateef, A. M., Abdulateef, J., & Mohamad, A. (2021). Assessment the potential solar energy with the models for optimum tilt angles of maximum solar irradiance for Iraq. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100140.
- He, J., Lin, T., Liang, W., Chavan, S., Sethuvenkatraman, S., Goldsworthy, M., ... & Chen, Z. H. (2024). Energy and fertigation consumption and economic viability of a light blocking film in greenhouse lettuce production. *Journal of Cleaner Production*, 479, 144013.
- Huang, W., & Marefati, M. (2020). Energy, exergy, environmental and economic comparison of various solar thermal systems using water and Thermia Oil B base fluids, and CuO and Al₂O₃ nanofluids. *Energy Reports*, 6, 2919-2947.
- Islam, M. K., Hassan, N. M. S., Rasul, M. G., Emami, K., & Chowdhury, A. A. (2022). Assessment of solar and wind energy potential in Far North Queensland, Australia. *Energy Reports*, 8, 557-564.
- İskeceli, B. D., Kayakutlu, G., Daim, T. U., ve Shaygan, A. (2020). Optimization of battery and wind technologies: Case of power deviation penalties. *Technology in Society*, 63, 101322.

- Jilani, M. N. H. (2024). Optimizing sustainability: Exergy, energy analysis and CO₂ mitigation of greenhouse integrated with thin-film photovoltaic and earth-to-air heat exchanger. *Renewable Energy*, 121662.
- Karabaş, H. (2019). Sakarya ilinin bitkisel biyokütle açısından atık miktarının ve enerji potansiyelinin araştırılması. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1), 35-43.
- Katepalli, A., Wang, Y., & Shi, D. (2023). Solar harvesting through multiple semi-transparent cadmium telluride solar panels for collective energy generation. *Solar Energy*, 264, 112047.
- Kendirli, B., ve Çakmak, B. (2010). Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 95-103.
- Kober, T., Schiffer, H. W., Densing, M., & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060—WEC's World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100523.
- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Kong, D., Wang, Y., Li, M., Liu, X., Huang, M., & Li, X. (2021). Analysis of drying kinetics, energy and microstructural properties of turnips using a solar drying system. *Solar Energy*, 230, 721-731.
- Külüm, E., Genç, M. S., & Karagöz, F. (2023). Evaluation of wind measurement methods for determination of realistic wind shear: A case study in Aksaray, Turkey. *Flow Measurement and Instrumentation*, 93, 102408.
- Kwasi-Effah, C. C., Ighodaro, O., Egware, H. O., & Obanor, A. I. (2022). A novel empirical model for predicting the heat accumulation of a thermal energy storage medium for solar thermal applications. *Journal of Energy Storage*, 56, 105969.
- Lin, D., Zhang, L., & Xia, X. (2021). Model predictive control of a Venlo-type greenhouse system considering electrical energy, water and carbon dioxide consumption. *Applied Energy*, 298, 117163.
- Lu, W., Lu, Y., Li, J., Sigov, A., Ratkin, L., & Ivanov, L. A. (2024). Quantum Machine Learning: Classifications, Challenges, and Solutions. *Journal of Industrial Information Integration*, 100736.

- Maizer, A. A. (2022). The effects of energy consumption and carbon emissions on Turkey's initiatives in promoting sustainable environmental and economic development, *Sustain. Futures*, 4, 100089.
- Mannepli, K., Vinoth, K., Mohapatra, S. K., Rahul, R., Gangodkar, D. P., Madduri, A., ... & Mohanavel, V. (2022). Allocation of optimal energy from storage systems using solar energy. *Energy Reports*, 8, 836-846.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2011). *Rise and fall of the carbon civilisation: resolving global environmental and resource problems*. Springer..
- Mousavi, M., Taki, M., Raeini, M. G., & Soheilifard, F. (2023). Evaluation of energy consumption and environmental impacts of strawberry production in different greenhouse structures using life cycle assessment (LCA) approach. *Energy*, 280, 128087.
- Naimoglu, M., ve Akal, M. (2023). The relationship between energy technology, energy efficiency, renewable energy, and the environment in Türkiye. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138144.
- Nalçakan, Y., Bayramoğlu, Ş. S., ve Tuna, S. (2015). *Sosyal Medya Verileri Üzerinde Yapay Öğrenme ile Duygu Analizi Çalışması*. Technical Report.
- Ogunbo, J. N., Alagbe, O. A., Oladapo, M. I., & Shin, C. (2020). N-hidden layer artificial neural network architecture computer code: geophysical application example. *Heliyon*, 6(6).
- Ogunlowo, Q. O., Akpenpuun, T. D., Na, W. H., Adesanya, M. A., Rabi, A., Dutta, P., ... & Lee, H. W. (2023). Simulation of greenhouse energy and strawberry (Seolhyang sp.) yield using TRNSYS DVBES: A base case. *Solar Energy*, 266, 112196.
- Özbek, G., ve Rüstemli, S. (2023). Hidrolik Türbin Performans Testlerinin Yapılmasında Boya Seyreltme Metodunun Kullanılması-Saha Çalışması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 973-992.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık.
- Pourasl, H. H., Barenji, R. V., & Khojastehnezhad, V. M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474-3493.

- Rajasekaran, S., Suresh, D., & Pai, G. V. (2002). Sequential learning artificial fuzzy neural networks (SLAFNN) with single hidden layer. *Neurocomputing*, 42(1-4), 287-310.
- Raugei, M., & Leccisi, E. (2016). A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom. *Energy Policy*, 90, 46-59.
- Ravishankar, E., Booth, R. E., Saravitz, C., Sederoff, H., Ade, H. W., & O'Connor, B. T. (2020). Achieving net zero energy greenhouses by integrating semitransparent organic solar cells. *Joule*, 4(2), 490-506.
- Reyseliani, N., Pratama, Y. W., Hidayatno, A., Mac Dowell, N., & Purwanto, W. W. (2024). Power sector decarbonisation in developing and coal-producing countries: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 454, 142202.
- Škvorc, P., & Kozmar, H. (2021). Wind energy harnessing on tall buildings in urban environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111662.
- Spreng, D., (2005). Distribution of energy consumption and the 2000 W/capita target. *Energy Policy*, 33(15), 1905-1911.
- Supciller, A. A., ve Toprak, F. (2020). Selection of wind turbines with multi-criteria decision making techniques involving neutrosophic numbers: A case from Turkey. *Energy*, 207, 118237.
- Şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Tan, X., Fang, Z., Pan, Y., Zhang, Z., Wu, X., Wang, J., ... & Li, D. (2022). A self-adapting wind energy harvesting system for application in canyon bridge. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102878.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). Bitkisel üretim. *Tarla ve bahçe bitkileri*. 14 Kasım 2024 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Ortu-Alti-Yetistiricilik> adresinden alınmıştır.
- Temel, F. A., Yolcu, Ö. C., ve Kuleyin, A. (2021). A multilayer perceptron-based prediction of ammonium adsorption on zeolite from landfill leachate: Batch and column studies. *Journal of Hazardous Materials*, 410, 124670.

- Tervo, E. J., Callahan, W. A., Toberer, E. S., Steiner, M. A., & Ferguson, A. J. (2020). Solar thermoradiative-photovoltaic energy conversion. *Cell Reports Physical Science*, 1(12).
- Thomas, L. P. (2023). Global standardization of coal resources and reserves. In *The Coal Handbook* (pp. 53-83). Woodhead Publishing.
- Trépanier, M. P., Schwarz, P. O., & Gosselin, L. (2024). Simulating the impact of climate change on energy consumption and yield in Canadian greenhouse horticulture. *Sustainable Futures*, 8, 100354.
- Tunçbilek, Ö. F., ve Yılmaz, M. (2021). Türkiye’de jeotermal elektrik enerjisi üretimi içinde Aydın ilinin yeri ve önemi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(2), 138-150.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701> adresinden alınmıştır.
- Uddin, M. S., & Kumar, S. (2014). Energy, emissions and environmental impact analysis of wind turbine using life cycle assessment technique. *Journal of cleaner production*, 69, 153-164.
- Übelacker, E. (2005). *Enerji*. Tudem Publishing.
- Üstün, S. (2024). Batman Yöresi Modern Seracılık İşletmelerinin Isı Gereksinim Değerlerinin Hesaplanması, Isı Koruma Önlemlerinin Isı Tüketimine Etkilerinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(3), 644-655.
- Wang, L., & Jun S. (2023) Digital economy, entrepreneurship and energy efficiency, *Energy* 269, 126801.
- Wang, W., Qin, C., Zhang, J., Wen, C., & Xu, G. (2022). Correlation analysis of three-parameter Weibull distribution parameters with wind energy characteristics in a semi-urban environment. *Energy Reports*, 8, 8480-8498.
- Weather Spark. (2024). *Ortalama hava durumu*. 12 Aralık 2024 tarihinde <https://tr.weatherspark.com/y/94298/Ayd%C4%B1n-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca> adresinden alınmıştır.

- World Energy Council. (2024). *World energy report*. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://www.worldenergy.org/news-views/entry/new-report-hydropower-as-big-surge-set-to-double-by-2050> adresinden alınmıştır.
- Worldometer. (2021, July 1). *Turkey population*. Retrieved from Worldometer. 12 Kasım 2024 tarihinde [https:// www. worldometers. info/world-population/turkey-population/](https://www.worldometers.info/world-population/turkey-population/) adresinden alınmıştır.
- Xu, B., Zhang, T., Wang, S., & Chen, Z. (2023). Dynamic characteristics and energy efficiency evaluation of a novel solar seasonal thermal storage-heating system. *Applied Thermal Engineering*, 234, 121223.
- Yang, Q., Li, H., Li, T., & Zhou, X. (2021). Wind farm layout optimization for levelized cost of energy minimization with combined analytical wake model and hybrid optimization strategy. *Energy Conversion and Management*, 248, 114778.
- Yapraklı, S., ve Bayramoğlu, T. (2014). Biyokütle enerjisi potansiyeli ve ekonomik etkileri: TRA1 Bölgesi üzerine bir saha araştırması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 319-336.
- Yüksek, A. G. (2007). *Hava kirliliği tahmininde çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağıları yönteminin karşılaştırılması*. Doktora Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Zaimoğlu, Z. (2017). Farklı iklim bölgelerindeki seralar için ısı gereksinimlerinin modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 79-86.
- Zaimoğlu, Z. (2017). Farklı İklim Bölgelerindeki Seralar için Isı Gereksinimlerinin Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 79-86.
- Zäll, E., Segervald, J., Mahmoodi, H., Perivoliotis, D., Edman, L., & Wågberg, T. (2024). Achieving optically selective coatings of silica fixated carbon nanotubes for solar energy applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 278, 113202.
- Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112602.

Zhang, S., Guo, Y., Zhao, H., Wang, Y., Chow, D., & Fang, Y. (2020). Methodologies of control strategies for improving energy efficiency in agricultural greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122695.





ÖZ GEÇMİŞ

Soyadı, Adı : Büyükmert, Ali
Yabancı Dil : YÖKDİL 2018 (İngilizce) 63,73
E-posta Adresi :

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet tarihi (Yıl)
Doktora	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Tarım Makinaları	
Y. Lisans	Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Makine Eğitimi	2006
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi/ Tesisat Öğretmenliği	1998
Lisans	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi/ Makine Mühendisliği	2018

BURSLAR ve ÖDÜLLER

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer/Kurum	Unvan
2006	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Nazilli Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi

AKADEMİK ÇALIŞMALAR

1.PROJELER

1. Leonardo Hareketlilik Projesi, Avrupa Birliği, Uzman, 2009-2009 (uluslararası)

2. MAKALELER

1. Büyükmert Ali, Aydoğan Yüksel (2024). Otomasyonlu Bir Seranın Weka Programı İle Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 164-171., Doi: 10.62301/usmtd.1569748 (Yayın No: 9294903)

2. Büyükmert Ali (2016). Aydın İli Güneş Işınım Değerlerinin Analizi Ve Değerlendirilmesi. *III. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi*, 457-461. (Kontrol No: 3094819)
3. Doğan Hulusi, Durukal Esmâ, Büyükmert Ali (2013). Eğitimde Yeşil İnsan Tüketimde Yeşil Ürün Nazilli İİBF Ve Nazilli MYO Öğrencilerine Yönelik Bir Duyarlılık Analizi Çalışması. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(2) (Kontrol No: 791136)
4. Özkaymak M, Büyükmert A, Kadı I (2006). Use Ability Of A Heat Pump Geared By Wind Mill. *Z.K.Ü Teknoloji*, 1(4), 278-282. (Kontrol No: 110222)
5. Özkaymak Mehmet, Büyükmert Ali, Kadı İbrahim (2006). Rüzgar Türbini Tahrirli Bir Isı Pompasının Kullanılabilirliği. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 9(4), 278-282. (Yayın No: 1747162)

3. BİLDİRİMLER

A) Uluslararası Kongrelerde Yapılan Bildiriler

B) Ulusal Kongrelerde Yapılan Bildiriler