



**T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**GÜNEŞ TAKİP ÖZELLİKLİ VAKUM TÜPLÜ PARABOLİK
KOLLEKTÖR DESTEKLİ SERA TİPİ KURUTMA SİSTEMİ
TASARIMI VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERVET KABLAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK

TOKAT – 2025



**Bu tez çalışması;
Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından 2022/46 nolu proje ile
desteklenmiştir.**

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Güneş Takip Özellikli Vakum Tüplü Parabolik Kollektör Destekli Sera Tipi Kurutma Sistemi Tasarımı ve İmalatı” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Servet KABLAN

JÜRİ KABUL VE ONAY

Servet KABLAN tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ TAKİP ÖZELLİKLİ VAKUM TÜPLÜ PARABOLİK KOLLEKTÖR DESTEKLİ SERA TİPİ KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE İMALATI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.12.2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan PEKTEZEL

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, araştırmalarımnda yapıcı katkıları ve desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK 'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında nem tayini deneylerinde sunduğu destekten dolayı Gıda Mühendisi Arş. Gör. İzzet TÜRKER 'e, projenin hayata geçirilmesi aşamalarında bizzat destek olan Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan PEKTEZEL 'e, deneysel verilerin düzenlenmesi ile çalışmamın raporlama aşamasına destek veren Doç. Dr. Mehmet DAŞ 'a, süreç boyunca sağladıkları yardımları için değerli büyüğüm Öğr. Gör. İbrahim Enes ÖNER 'e ve meslektaşım Mekatronik Mühendisi Berat ASLAN 'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca bana her zaman kol kanat oldukları gibi yine yüksek lisans eğitim sürecimde de her aşamada moral desteği veren sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi ifade ederim.

Bu tez, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'nin [Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Destekleme Programı Projeleri-2022/46] maddi desteğiyle gerçekleştirilmiştir. BAP Koordinasyon Birimi'ne, tez çalışmamın başarıyla tamamlanmasına olanak sağlayan katkıları için teşekkürlerimi sunarım. Sağladıkları bu destekler, araştırmamın her aşamasında ilerleme kaydetmemi mümkün kılmıştır.

ÖZET
GÜNEŞ TAKİP ÖZELLİKLİ VAKUM TÜPLÜ PARABOLİK KOLEKTÖR
DESTEKLİ SERA TİPİ KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE İMALATI

KABLAN, SERVET
Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK
Kasım 2024, 127

Bu tez çalışmasında, güneş takip özellikli, vakum tüplü parabolik kolektörlü, hava destekli sera tipi bir gıda kurutma makinesi geliştirilmiş ve yöresel patlıcan dilimi kurutma işlemi üzerinde uygulanmıştır. Araştırmanın amacı, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen gıda kurutma süreçlerine göre enerji verimliliğini artırmak, kurutma süresini kısaltmak ve ürün kalitesini koruyarak yöresel gıda değerlerini modern teknolojilerle desteklemektir. Geliştirilen sistemde, güneş enerjisi verimliliği için güneş takip mekanizması kullanılarak gün boyu optimum enerji elde edilmesi hedeflenmiştir. Parabolik kolektör ve vakum tüpleri, yüksek sıcaklık ve düşük enerji kaybı sağlarken; hava destekli kurutma mekanizması nemin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını mümkün kılarak kurutma işlemine destek sağlamıştır.

Araştırmada farklı dilim kalınlıkları, şekilleri ve güneş-takipli takipsiz konumlandırma üzerinde deneyler yapılmış, değişken fan hızlarının kurutma sürecine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, güneş takipli ve hava destekli bu sistemin, geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla yaklaşık %30-40 enerji tasarrufu sağladığını ve kurutma süresini önemli ölçüde kısalttığını göstermektedir. Ayrıca, ürünlerin besin değeri ve lezzet kaybı minimuma indirilmiş, daha kaliteli kurutma sonuçları elde edilmiştir. Bu bağlamda, çalışma hem enerji tasarruflu hem de yüksek kalitede kurutma sağlayan yenilikçi bir sistem geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, tarımsal üretimde enerji verimliliğini artırmayı ve kurutma sürecini daha verimli hale getirmeyi hedefleyen araştırmalara ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Takipli Kurutma, Vakum Tüplü Parabolik Kolektör, Enerji Verimliliği, Gıda Kurutma, Patlıcan Kurutma, Hava Destekli Kurutma Sistemi

ABSTRACT
SOLAR TRACKING VACUUM TUBE PARABOLIC COLLECTOR
SUPPORTED GREENHOUSE TYPE DRYING SYSTEM DESIGN AND
MANUFACTURING

KABLAN, SERVET
Master's Thesis, Department of Mechatronics Engineering
Advisor: Asst. Prof. Dr. Mithat ŞİMŞEK
November 2024, 127

In this thesis, an air-assisted greenhouse type food dryer with solar tracking, vacuum tube parabolic collector, and air-assisted air dryer was developed and applied on local eggplant slice drying process. The aim of the research is to increase energy efficiency compared to traditional food drying processes, to shorten the drying time and to support local food values with modern technologies while maintaining product quality. In the developed system, it is aimed to obtain optimum energy throughout the day by using a solar tracking mechanism for solar energy efficiency. Parabolic collectors and vacuum tubes provide high temperature and low energy loss, while the air-assisted drying mechanism supports the drying process by enabling effective moisture removal.

Experiments were conducted on different slice thicknesses, shapes and positioning with and without solar tracking, and the effects of variable fan speeds on the drying process were investigated. The findings show that this sun-followed and air-assisted system saves about 30-40% energy and significantly shortens the drying time compared to conventional drying methods. In addition, the loss of nutritional value and flavor of the products was minimized and better quality drying results were obtained. In this context, the study contributes to the development of an innovative system that provides both energy saving and high quality drying. The findings shed light on research aimed at increasing energy efficiency in agricultural production and making the drying process more efficient.

Keywords: Air Assisted Drying System, Eggplant Drying, Energy Efficiency, Food Drying, Solar Tracked Drying, Parabolic Collector With Vacuum Tube, Vacuum Tube

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	3
ÖZET	4
ABSTRACT	5
İÇİNDEKİLER	6
ŞEKİLLER LİSTESİ	8
SİMGELER LİSTESİ	10
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Gıda Kurutma İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
2.2. Gıda Kurutma İle İlgili Kuramsal Açıklamalar	24
3. MATERYAL YÖNTEM	44
3.1. Kurutma Sistemi Kontrol Birimi ve Bileşenlerin İncelenmesi	44
3.1.1. Arduino mikrodenetleyici kartı ve sistem kontrol paneli	44
3.1.2. NRF modülleri ile kablosuz haberleşme	44
3.2. Giriş (Sensör) ve Çıkış (Motor) Bileşenlerinin İncelenmesi	48
3.2.1. Anemometre sensör	48
3.2.2. Sıcaklık ve nem sensörleri	49
3.2.3. LDR sensör	50
3.2.4. UV sensör	51
3.2.5. Yük hücresi (Load cell) sensörü	52
3.2.6. Motor sistemleri ve yapının hareket kabiliyeti	55
3.3. Güneş Takip Algoritması	57
3.4. Proje Şase Yapısı ve Mekanik Sistemlerin İncelenmesi	60
3.4.1. Sera tipi kurutma sistemi kabin tasarımı	62
3.5. Fan Sistemi	70
3.6. Patlıcan Dilimi Kesim Aparatı İmalatı	71

3.7.	Kurutulacak Gıda Ürünü Seçimi	73
3.7.1.	Yöresel ve kültürel değerlendirilmesi	73
3.7.2.	Tarım ve erişilebilirlik değerlendirilmesi	74
3.7.3.	Gıda işleme özellikleri açısından patlıcanın değerlendirilmesi	74
3.8.	Gravimetrik Nem Tayini	75
3.9.	İl Geneli Aydınlanma Süreleri ve Deney Günlerinin Planlanması	76
3.10.	Gıda Kurutmanın Matematiksel Hesaplaması	77
3.11.	Deney Başlıklarının Belirlenmesi	80
3.12.	Deney Sonrası Grafik Oluşturma ve Analiz Süreci	82
4.	BULGULAR ve TARTIŞMA	85
4.1.	Tokat İli Karayatak Bölgesi Patlıcanı Nem Analizi	85
4.2.	Ultraviyole Işınım Yoğunluğu Ortalama Grafiği	88
4.3.	Deney Sürecinde Günlük Ortalama İç-Dış Hava Sıcaklığı Grafiği	89
4.4.	5 – 7 mm Kalınlık Patlıcan Dilimi Kurutma Deneyi Grafikleri	90
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER	107
6.	KAYNAKÇA	109
7.	EKLER	113
	Ek 1. Grafik Oluşturma Kodları	113
8.	ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 2.1. Gıda kurutma yöntemleri – güneşte yöresel kurutma örneği	25
Şekil 2.2. Gıda kurutma yöntemleri – fırında kurutma örneği	26
Şekil 2.3. Gıda kurutma yöntemleri – kükürtleme yöntemi ile kurutma örneği	26
Şekil 2.4. Gıda kurutma yöntemleri – liyofilizatör ile kurutma örneği	26
Şekil 2.5. Kollektörlü kurutma kabini çalışma prensibi (Güngör ve Özbalta, 2023)	28
Şekil 2.6. Aktif kurutma -güneş enerjili kollektörlü sera tipli kurutma tarlası	29
Şekil 2.7. Tipik güneş enerjisi kurutucu tasarımları (Güngör ve Özbalta,2023)	30
Şekil 2.8. Parabolik kollektör yatak destekli termal depolama modeli	31
Şekil 2.9. Doğrusal yatak destekli termal depolama modeli	31
Şekil 2.10. Güneş takipli ve takipsiz sistemde panellerin aydınlık kıyaslaması	32
Şekil 2.11. Güneş takibi sonucu parabolik kollektörün hareket modeli	35
Şekil 2.12. Kurutulmuş patlıcan ile çeşitli yöresel yemekler	36
Şekil 2.13. Geleneksel kesim ve dairesel kesim patlıcan dilimi örnekleri	38
Şekil 3.1. Arduino ve NRF modülün elektronik devre şeması	46
Şekil 3.2. Uzaktan veri takibi ve kaydı için bilgisayar gösterge programı	46
Şekil 3.3. Kurutma deneyi kontrol birimi ve takip istasyonu	47
Şekil 3.4. Arduino destekli dokunmatik kontrol istasyonu ve parametreleri	47
Şekil 3.5. Aduino ve DHT-11 elektronik devre şeması	50
Şekil 3.6. LDR sensör görseli	51
Şekil 3.7. UV sensör görseli	52
Şekil 3.8. Arduino ve Load cell sensör elektronik devre şeması	53
Şekil 3.9. Kurutma tepsileri ve Load cell sensörlerin yerleştirilmesi	54
Şekil 3.10. Sera içi kurutma tepsileri ve denek patlıcan dilimleri	54
Şekil 3.11. Yatay eksen sonsuz dişli DC motor	55
Şekil 3.12. Dikey eksen piston motor	56
Şekil 3.13. Parabolik yüzey ve vakum tüp 3D motor konumlamaları	57
Şekil 3.14. Güneş açısına göre yatay ve dikey eksen sistem hareketi	58
Şekil 3.15. Arduino güneş takip sistemi elektronik devre şeması	59
Şekil 3.16. Parabolik yüzey ve vakum tüp tanıtımı	61
Şekil 3.17. Kurutma makinasında parabolik yüzey ve vakum tüp gösterimi	61
Şekil 3.18. Fusion 360 programında sera kabini 1000*1000*1000 mm 3D tasarımı	62
Şekil 3.19. Fusion 360 programında sera kabini 1000*300*500 mm 3D tasarımı	63
Şekil 3.20. Fusion 360 programında sera kabini 1000*500*500 mm 3D tasarımı	63
Şekil 3.21. Sera kabini dikme profil ölçeklendirme ve kesim işlemi	64
Şekil 3.22. Sigma profil tıraşlama işlemi	64
Şekil 3.23. Zemin materyalinde kurutma tepsileri için oyuk açma işlemi	65
Şekil 3.24. Sera kabini dış profil montajı	65
Şekil 3.25. Sigma profil m6 vida kılavuz dişlisi açma işlemi	66
Şekil 3.26. Sera kabini çatı montajı ve havalandırma bölmesinin açılması işlemi	66
Şekil 3.27. Sera kabinin ana gövde montajı	67
Şekil 3.28. Kurutma tepsilerinin montaj işlemi	67
Şekil 3.29. Sera kabini kaplaması ve elektronik bileşenlerin yerleşimi	68
Şekil 3.30. Hava kanallarının bağlanması işlemi ve kabin yalıtımı	68
Şekil 3.31. Kabin hava kanallarının ısıcam malzemesi ile kaplama işlemi	69
Şekil 3.32. Kurutma sisteminin vakum tüp hava iletim hattı	69
Şekil 3.33. Kurutma sistemi elektrik bağlantı hattının çekilmesi işlemi	70
Şekil 3.34. Sistemin güneşe göre konumlandırılması işlemi	70
Şekil 3.35. Salyangoz fan motoru ve kurutma sisteminde gösterimi	71

Şekil 3.36. Autodesk programları aracılığı ile kesim yuvası modellemesi	72
Şekil 3.37. Creality dilimleme programı ile 3D baskı için g-code oluşturulması	72
Şekil 3.38. 3D baskı sonrası montajlanmış kesim tezgâhı	73
Şekil 3.39. Tokat ili 2022 yılı aylık ortalama güneşlenme süresi	77
Şekil 3.40. Tokat ili 2023 yılı aylık ortalama güneşlenme süresi	77
Şekil 3.41. Python yazılım dili kullanılarak deney verilerinin grafiğe dönüştürülmesi	83
Şekil 3.42. Örnek saatlik kuruma oranı grafiği	84
Şekil 4.1. Hassas terazide denek kabının darası alınması işlemi.....	85
Şekil 4.2. Patlıcan dilimlerinin kurutma öncesi ham ağırlık tartı işlemleri.....	86
Şekil 4.3. Endüstriyel kurutma kabinine deneklerin yerleştirilmesi	87
Şekil 4.4. 7 saatlik 105 derecede kurutma sonrası darası dahil son ağırlıklar.....	87
Şekil 4.5. Kuruma sonrası nemini tamamen kaybetmiş patlıcan dilimleri.....	88
Şekil 4.6. Deney sürecinde ortalama güneş ışını yoğunluğu grafiği.....	89
Şekil 4.7. Günlük ortalama kurutma sistemi sıcaklık grafiği.....	90
Şekil 4.8. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	91
Şekil 4.9. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	92
Şekil 4.10. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	92
Şekil 4.11. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında MR değer grafiği.....	93
Şekil 4.12. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	93
Şekil 4.13. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	94
Şekil 4.14. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	94
Şekil 4.15. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında MR değer grafiği.....	95
Şekil 4.16. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	95
Şekil 4.17. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	96
Şekil 4.18. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	97
Şekil 4.19. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında MR değer grafiği.....	97
Şekil 4.20. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	98
Şekil 4.21. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	99
Şekil 4.22. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	99
Şekil 4.23. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava MR değer grafiği	100
Şekil 4.24. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	100
Şekil 4.25. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	101
Şekil 4.26. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	102
Şekil 4.27. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında MR değer grafiği.....	102
Şekil 4.28. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği.....	103
Şekil 4.29. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği.....	104
Şekil 4.30. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği.....	104
Şekil 4.31. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında MR değer grafiği.....	105

SİMGELER LİSTESİ

Simge	Açıklama
°C	Santigrat derece (sıcaklık birimi)
η	Güneş Takip Sistemi ile Elde Edilen Enerji Verimliliği
m/s	Metre/Saniye (hava hızını gösteren birim)
%	Yüzde işareti
m_{final}	Son Kütle
M_f	Son Nem İçeriği
DR	Kurutma Hızı
DM	Kuru Madde Miktarı
M_i	Başlangıç Nem İçeriği
h_c	Konvektif Isı Transfer Katsayısı
MCd	Kuru baz nem içeriği
MR	Ayrılabilir Nem Oranı
rpm	Dakikadaki devir sayısı

KISALTMALAR LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklamalar
LDR	Işık Bağımlı Direnç
UV	Ultraviyole
DHT	Dijital Nem ve Sıcaklık Sensörü
NRF	Kablosuz Haberleşme Modülü
GTS	Güneş Takip Sistemi
PID	Oransal İntegral Türev kontrol
DC	Doğru Akım
3D	Üç Boyutlu
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama
m6	6mm Çapında Vida
m/s	Metre/Saniye (Hava hızı birimi olarak kullanılmıştır)
mm	Milimetre (Uzunluk birimi olarak kullanılmıştır)
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
GND	Toprak bağlantısı, elektrik devrelerinde ortak referans noktası.
SPI	Elektronik haberleşme protokolü.
STL	3D modelleme dosya formatı

1. GİRİŞ

Gıda kurutma, insanlık tarihi boyunca tarımsal ürünlerin saklanabilirliğini artırmak amacıyla kullanılan temel muhafaza yöntemlerinden biri olmuştur. Gıdaların nem içeriğinin azaltılmasıyla mikrobiyal bozulmaların önüne geçilmekte, raf ömrü uzatılmaktadır ve besin değerleri korunarak tüketiciye sunulmaktadır. Günümüzde bu geleneksel yöntemler, yenilikçi teknolojilerle birleştirilmiş hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha sürdürülebilir hale getirilmiştir. Özellikle güneş enerjisi -takipli- tabanlı kurutma sistemleri, düşük maliyetli ve enerji verimliliği yüksek bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmanın odak noktası da güneş takip özellikli vakum tüplü parabolik kolektör destekli sera tipi kurutma sistemi tasarım ve imalatıdır. Tokat ili yöresel patlıcanı üzerinde yapılan deneylerle, bu sistemin etkinliği ve avantajları detaylı şekilde incelenmiştir.

Gıda israfının önlenmesi ve tarımsal ürünlerin raf ömrünün uzatılması, modern tarım uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Tarımsal üretim süreçlerinde enerji verimliliği ve ürün kalitesinin korunması, sürdürülebilir kalkınma ve üretim hedefleri doğrultusunda kritik öneme sahiptir. Geleneksel kurutma yöntemleri, düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmakla birlikte çevresel faktörlere bağımlılıkları mevcuttur ve süreç kontrolü sınırlıdır. Bu durum, gıda kalitesinin düşmesine ve kurutma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Diğer yandan, yenilikçi teknolojilerle donatılmış güneş enerjisi destekli sistemler, hem çevresel faktörlerden bağımsız, üretici kontrollü çalışmakta hem de enerji verimliliğini artırarak kurutma sürecini optimize etmektedir.

Gıda kurutma teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar, güneş enerjisi tabanlı sistemlerin verimliliğini ve ürün kalitesini artırdığını göstermektedir. Alibaş ve arkadaşları (2021), güneş destekli kurutma sistemlerinin enerji tüketimini %45 oranında azalttığını ve ürün kalitesini %30'a kadar koruyabildiğini belirtmiştir. Martynenko ve Vieira (2023) ise vakum tüplü kurutma sistemlerinin, geleneksel sıcak hava kurutucularına göre %40 daha az enerji tükettiğini ve kurutma süresini %50 oranında kısalttığını vurgulamıştır. Bu bağlamda, mevcut çalışma, enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından önceki

araştırmalara kıyasla güneş takip özellikli sistemlerin performansını detaylandırarak literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Geleneksel yöntemlerden farklı olarak kullanılan sistem, güneşin hareketini takip eden bir mekanizma ile donatılmış, Sera etkisi ile gün boyu destekli kurutmayı hedefleyen bir kabin geliştirilmiştir. Bu sistem, gün boyu maksimum güneş ışığını toplayarak enerji verimliliğini %30-40 oranında arttırmakta ve kurutma süresini %35 oranında kısaltmaktadır. Ayrıca vakum tüplerinin sağladığı yüksek sıcaklık ve düşük ısı kaybı, kurutma işleminin daha kontrollü ve hızlı gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Bu alışmada, Tokat iline özgü patlıcan dilimleri üzerinde yapılan deneyler, güneş takip sistemleri ile donatılmış vakum tüplü parabolik kolektörlerin kurutma performansını ortaya koymaktadır. Araştırma, geleneksel yöntemlere kıyasla kurutma sresindeki hızlanma ve ürün kalitesindeki iyileşmeyi ele almaktadır. Ayrıca farklı dilim kalınlıkları, değişken fan hızları ve güneş takipli-takipsiz işlemlerinin kurutma performansı üzerindeki etkileri incelenerek optimum koşullar belirlenmiştir. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinin enerji verimliliği, kurutma süresi ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmayı hedeflemektedir. Özellikle Tokat yöresine özgü patlıcan dilimleri üzerinde yapılan deneylerle, dilim kalınlığının (5 mm ve 7 mm) ve fan hızının (1, 1.5 ve 2 m/s) kurutma performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada hem endüstriyel (dairese) hem de geleneksel (boyuna) kesim teknikleri kullanılmıştır. Deneyler, Tokat'ta yaz aylarında (Haziran, Temmuz ve Ağustos) gerçekleştirilmiş ve ortalama 50-60°C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Çalışmada, güneş takipli ve takipsiz kurutma yöntemlerinin enerji tüketimi, kurutma süresi ve ürün kalitesi açısından karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca vakum tüplü parabolik kolektörlerin sağladığı enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik vurgulanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları, güneş enerjisi destekli yenilikçi kurutma sistemlerinin tarımsal üretimde kullanımını teşvik ederek hem ekonomik hem de çevresel açıdan fayda sağlayacaktır. Tokat yöresine özgü patlıcan dilimlerinin optimum kurutma koşullarının belirlenmesi, yerel üreticilere yol gösterici bir kaynak sunacaktır. Ayrıca enerji tasarrufu sağlayan bu sistemler, kırsal ekonomiyi destekleyerek tarımsal sürdürülebilirliğe katkıda

bulunacaktır. Bu bağlamda, çalışma sonuçlarının tarımsal kurutma teknolojilerinin geliştirilmesine bilimsel bir referans sunması hedeflenmektedir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Gıda Kurutma İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yazıcı (2023) araştırmasında jeotermal ve güneş enerjili hibrit kabin tipi kurutucunun tasarımı ve performans analizi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, kesintisiz bir kurutma işlemi sağlayabilmek için jeotermal ve güneş enerjisini birlikte kullanarak daha verimli bir kurutma sistemi tasarlamak ve bu sistemin performansını geleneksel kurutma yöntemleriyle karşılaştırmaktır. Çalışmada, farklı boyutlardaki domates ve bamyaya numuneleri kullanılarak, jeotermal ve güneş enerjili hibrit kabin tipi kurutucunun performansı değerlendirilmiştir. Üç deney grubunda yapılan çalışmalar, kurutucunun çeşitli hava koşullarında (tamamen açık, parçalı bulutlu ve kapalı hava) nasıl performans gösterdiğini araştırmıştır. Kurutma hızı, enerji verimliliği, ekserji analizleri ve kurutulan ürünlerin renk analizleri gibi parametreler dikkate alınmıştır. Deneyler sonucunda, hibrit kurutucunun diğer geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı ve verimli olduğu, özellikle zorlanmış taşıma koşullarında kurutma hızının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, ekonomik analiz sonucunda hibrit kurutucunun geri ödeme süresi ürün türüne göre değişiklik gösterse de genel olarak 0,17 ile 0,63 yıl arasında olduğu tespit edilmiştir. Renk analizi sonuçlarına göre, hibrit kurutucuda kurutulan ürünlerin renk kalitesinin kabul edilebilir seviyenin üzerinde olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, çalışma hibrit sistemlerin jeotermal ve güneş enerjisini birleştirerek tarımsal ürünlerin kurutulmasında enerji verimliliğini artırdığını ve bu tür sistemlerin ekonomik olarak da avantaj sağladığını ortaya koymuştur.

Özdemir ve ark., (2022) yaptıkları araştırmada termal enerji depolama sistemlerinde kullanılan polimer-nano malzeme katkılı parafin vaks bazlı faz değişim malzemelerini (FDM) değerlendirmektedir. Faz değişim malzemeleri, enerji depolama teknolojilerinde önemli bir rol oynamakta ve enerji sistemlerinin verimliliğini artırmaya yardımcı olmaktadır. Parafin vaks, özellikle uygun maliyeti, kimyasal kararlılığı ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilme kapasitesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir faz değişim malzemesidir. Ancak, düşük termal iletkenlik ve sıvı fazına geçiş sırasında oluşan sızıntı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Çalışmada, polimer ve nanomalzemelerin parafin vaks

ile birleştirilerek bu dezavantajların nasıl giderilebileceği incelenmiştir. Özellikle polimer destekli kompozitler ve nano katkı malzemeleri kullanılarak yapılan araştırmalar özetlenmiş, termal performansın nasıl artırılabilir üzerine çözüm önerileri sunulmuştur. Polimerler, parafinin sıvı fazına geçişi sırasında oluşan sızıntıyı önlemek için kullanılırken, nano katkı maddeleri termal iletkenliği artırmada etkili olmuştur. Ayrıca, çalışmada çevre dostu malzemelerin kullanımı ve atık malzemelerin değerlendirilmesi üzerine de vurgu yapılmış, sürdürülebilir enerji depolama malzemeleri konusunda öneriler getirilmiştir. Sonuç olarak, çalışma polimer ve nanomalzemelerle geliştirilen parafin vaks bazlı faz değişim malzemelerinin, enerji depolama sistemlerinde hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantaj sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle küresel iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında bu tür malzemelerin daha geniş kullanım alanları bulacağı belirtilmiştir.

Ülker (2021) çalışmasında nanopartikül katkılı parafinin ısı performansını deneysel olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, faz değiştiren maddeler (FDM) olarak yaygın kullanılan parafinin (PW), termal özelliklerinin iyileştirilmesi için metaloksit nanopartiküller kullanılarak geliştirilmiş yeni malzemelerin ısı performansını incelemektir. Termal enerji depolama sistemlerinde parafin gibi faz değiştiren maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak bu maddelerin düşük ısı iletkenlikleri, enerji depolama süreçlerinde verimlilik kayıplarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, %2,5 kütle oranında Al_2O_3 , ZnO , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cu_2O ve grafen (GN) nanopartikülleri parafine eklenmiş ve bu maddelerin homojen dağılımını sağlamak için oleik asit (OA) ile iki farklı seri halinde numuneler hazırlanmıştır. Deneyler sonucunda, tüm nanopartikül katkılı numunelerin termal iletkenlik değerlerinin saf parafine göre artırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, DSC analizleri ile erime ve donma sıcaklıklarının düştüğü, bazı numunelerde ise erime gizli ısısının azaldığı gözlemlenmiştir. TGA analizleri ise nanopartikül katkılı parafinlerin termal kararlılıklarının saf parafine göre iyileştirildiğini göstermiştir. Çalışma, nanopartiküllerin homojen dağılımının termal performans üzerinde olumlu etkisi olduğunu ve özellikle Cu_2O , Fe_2O_3 ve GN katkılı numunelerin en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, nanopartikül katkılı parafinin ısı iletkenliğinin artırılmasının enerji depolama sistemlerinde önemli bir iyileştirme

sağladığı ve bu tür malzemelerin gelecekte daha geniş bir uygulama alanı bulabileceği belirtilmiştir.

Dal (2020) araştırmasında yüksek performanslı stabil faz değişim malzemesinin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada, enerji depolama uygulamaları için organik faz değişim malzemeleri (OFDM) üretilmiştir. Çalışmanın ana amacı, faz değiştiren maddelerin (FDM) ısı enerjisi depolama kapasitelerini artırmak ve bu malzemelerin termal özelliklerini optimize etmektir. Çalışmada, parafin (PAR), PEG600, çeşitli sürfaktanlar ve geri kazanılmış karbon (GKK) kullanılarak farklı OFDM kompozitleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, vakum emprenye yöntemiyle GKK'nın sürfaktan, PEG600 ve parafini absorplaması sağlanmış ve elde edilen kompozitlerin fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri incelenmiştir. Farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan numunelerin faz değişim sıcaklık farkları test edilmiştir ve en yüksek enerji depolama kapasitesine sahip numune (FM-26) belirlenmiştir. Bu numune, 85.6 J/g enerji depolama kapasitesi ile öne çıkmıştır. Ayrıca, sızdırmazlık testi, FT-IR ve DSC analizleriyle numunelerin termal güvenilirliği ve performansı detaylı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada geliştirilen OFDM kompozitlerinin, yüksek enerji depolama kapasiteleri ve termal kararlılıkları sayesinde, ısı enerjisi depolama sistemlerinde kullanılabilirliği başarılı bir şekilde kanıtlanmıştır.

Das ve Kavak Akpınar (2020)'ın gerçekleştirdiği çalışmada, güneş takip sistemi ile donatılmış bir güneş hava kurutucusunun termal ve kurutma performansları incelenmiştir. Bu çalışmada, güneş ışınlarını daha etkili bir şekilde toplamak amacıyla iki yönlü güneş takip özelliği olan bir güneş hava kolektörü (SAC) geliştirilmiştir. SAC, bir kurutma kabini ile birleştirilerek, hareketli ve sabit iki farklı sistemin performansı karşılaştırılmıştır. Her iki sistemde de aynı kalınlıkta (14 mm) elma dilimleri kurutulmuş, termal ve kurutma verimlilikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın ana amacı, güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmak ve kurutma sürecinde enerji tüketimini minimize ederek yüksek kurutma performansı elde etmektir. Araştırmada, güneş takip sistemi ve fan hızı gibi parametrelerin elma dilimlerinin kurutulması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler sırasında, hareketli ve sabit SAC sistemlerinde farklı fan

hızlarında (1690, 1400 ve 840 rpm) kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, fan hızının kurutma süresi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Hareketli SAC sisteminde, 1690 rpm hızında 390 dakika süren kurutma işlemi, sabit SAC sisteminde aynı hızda 780 dakika sürmüştür. Bu, güneş takip sisteminin kurutma performansını artırdığı ve kurutma süresini kısalttığını göstermektedir. Deneysel veriler, etkin nem difüzyon katsayısı (Deff), aktivasyon enerjisi (Ea) ve ısı verimliliği gibi parametreler üzerinden analiz edilmiştir. Hareketli SAC sisteminde Deff değerleri 0.062×10^{-7} ile 0.084×10^{-7} m²/s arasında değişirken, sabit sistemde bu değerler 0.031×10^{-6} ile 0.049×10^{-6} m²/s arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi, hareketli SAC sisteminde 33.2–40.01 kJ/mol arasında değişirken, sabit SAC sisteminde bu değerler 16.4–22.9 kJ/mol olarak ölçülmüştür. Ayrıca, konvektif ısı transfer katsayısı da hareketli SAC sisteminde 17.475–21.818 W/m²K aralığında bulunmuş, sabit sistemde ise bu değerler 13.215–20.846 W/m²K arasında değişmiştir. Bu veriler, hareketli sistemin kurutma performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, güneş hava kolektörünün termal verimliliğidir. Hareketli SAC sisteminde termal verimlilik %75.7 olarak bulunmuşken, sabit SAC sisteminde bu oran %51.7 olarak hesaplanmıştır. Güneş takip sistemi sayesinde hareketli SAC, sabit sisteme kıyasla %40 daha fazla enerji verimliliği sağlamıştır. Kurutma süreçlerinin modellenmesi için Midilli ve ark., modeli kullanılmış ve bu model, elma dilimlerinin kurutma davranışını en iyi şekilde yansıtan model olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, güneş takip sistemi kullanılarak kurutma süreçlerinde enerji verimliliğinin nasıl artırılabilirliğini göstermiştir. Sonuçlar, güneş takip sistemlerinin güneş hava kurutucularında hem ısı performansı hem de kurutma verimliliğini artırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu sistemlerin endüstriyel gıda kurutma süreçlerinde kullanılmasının, daha hızlı ve enerji tasarruflu kurutma işlemleri sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Eser ve ark., (2020) araştırmalarında, güneş enerjili bir kurutucuda elma kurutma işlemi sırasında ekserjetik faktörlerin hesaplanmasını ve yapay sinir ağı (YSA) kullanarak bu faktörlerin modellenmesini ele almaktadır. Çalışmanın temel amacı, ekserji analizinin termodinamik sistemlerde nasıl kullanılabileceğini göstermek ve bu analizlerle enerji verimliliğini artırmak için yapılacak iyileştirme potansiyelini belirlemektir. Ekserji

analizleri, enerji sistemlerinde verimliliği artırmanın ve atık enerjiyi en aza indirmenin bir yolunu sunmaktadır. Güneş enerjili kurutma sistemleri de bu bağlamda ele alınmış ve çeşitli ekserjetik parametreler incelenmiştir. Çalışmada, güneş enerjili bir kurutucuda elma kurutma süreci ele alınarak, atık ekserji oranı (AEO), ekserji verimi, çevresel etki faktörü (ÇEF), ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi (ESI) ve iyileştirme potansiyeli (IP) gibi ekserjetik göstergeler hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, kuruma süresi arttıkça AEO artmış, ancak ekserji verimliliği ve iyileştirme potansiyeli azalmıştır. Kurutma süresi boyunca güneş ışıınımı ve sıcaklık gibi değişkenler ölçülmüş ve bu parametrelerin ekserjetik göstergeler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmanın en dikkat çekici noktası, yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak atık ekserji oranını tahmin eden bir model geliştirilmiş olmasıdır. Modelin geçerliliği, ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hatası (RMSE) ve göreceli mutlak hata (RAE) gibi hata analizleri ile test edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen YSA modelinin AEO değerlerini başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini göstermiştir. Ayrıca, bu öngörücü modelin farklı kurutma sistemlerine ve ürünlere uygulanabileceği belirtilmiştir. Çalışmanın sonuçları, güneş enerjili kurutma sistemlerinin enerji verimliliğinin artırılması için ekserji analizlerinin önemli bir araç olduğunu ve yapay zekâ yöntemlerinin bu analizlerde kullanılabileceğini göstermektedir.

Ülker ve ark., (2020) araştırmalarında parafine eklenen farklı nanopartiküllerin ısı performans üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanmasında sıklıkla kullanılan faz değiştiren maddelerden (FDM) biri olan parafinin en büyük dezavantajı, düşük ısı iletkenliğidir. Bu sorunu çözmek amacıyla, nanopartiküller ile parafinin ısı iletkenliğini artırma çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmada, %1, %2.5 ve %5 oranlarında MgO, ZnO ve SiO₂ nanopartikülleri parafine eklenmiş ve bu katkıların parafinin şarj ve deşarj işlemleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, %1 oranındaki nanopartikül katkısının parafinin ısı performansını üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını göstermiştir. Ancak, %2.5 oranındaki ZnO katkısının en iyi sonuçları verdiği ve parafinin şarj ve deşarj işlemleri sırasında en yüksek performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Nanopartiküllerin katkısının, şarj işlemi sırasında erime üzerinde ve

deşarj işlemi sırasında donma üzerinde farklı etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. ZnO katkılı parafinin, diğer katkılarla karşılaştırıldığında hem erime hem de donma süreçlerinde daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada nanopartikül katkısının parafinin termal performansını artırdığı ve özellikle ZnO nanopartiküllerinin %2.5 oranında eklenmesiyle en verimli sonuçların elde edildiği gösterilmiştir. Gelecekte, nanopartikül katkılı parafinin enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Şevik ve ark., (2019) tarafından yapılan araştırma nane yaprakları ve elma dilimlerinin güneş enerjili ve güneş-infrared destekli kurutma sistemleri kullanılarak kurutulmasının enerji ve ekserji analizlerini incelemektedir. Araştırmada, çift geçişli güneş hava kurutucusu (DPSAD) ve infrared destekli çift geçişli güneş hava kurutucusu (DPSAIRD) tasarlanmış ve bu sistemlerin performansları karşılaştırmalı olarak yaz ve sonbahar aylarında değerlendirilmiştir. Infrared enerjisi, bulutlu havalarda güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmak üzere deneysel olarak test edilmiştir. Kurutma verimliliği, enerji tüketimi, ekserji kayıpları, kütle ve ısı transferi gibi parametreler, kurutma sistemlerinin termal performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışma, güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda infrared enerjisinin ürünlerin bozulmasını engelleyerek kolektörü desteklediğini ve kurutma sürelerini kısalttığını göstermiştir. DPSAIRD sisteminde en yüksek termal verimlilik %83,56 olarak elde edilmiştir. Ekserji verimlilik değerleri ise DPSAD ve DPSAIRD için sırasıyla %49,17 ile %69,35 arasında değişmiştir. Ayrıca, sonbahar aylarında düşük radyasyon değerlerine rağmen kurutma sürelerinin yaz aylarına göre neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir. Infrared lambanın enerji tüketimini artırmasına rağmen, kolektörün yetersiz kaldığı durumlarda destek sağlayarak ürünleri koruduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, güneş-infrared destekli kurutma sistemlerinin enerji verimliliğini artırmada etkili olduğunu ve kurutma süreçlerinde ürünlerin kalitesini korumada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları, hibrit kurutma sistemlerinin tarımsal ürünlerin kurutulmasında sürdürülebilir ve enerji verimli bir yöntem sunduğunu göstermektedir.

Yıldız ve Gökayaz (2019) çalışmalarında, güneş enerjili kurutucuda kurutulan elma dilimlerinin kurutma koşullarının Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile optimizasyonunu ele almaktadır. Çalışmanın temel amacı, kurutma süreci boyunca optimum koşulların belirlenmesi ve bu koşulların ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Güneş enerjili kurutucular, ekonomik ve sürdürülebilir kurutma yöntemleri sunarken, kurutma süresi, dilim kalınlığı ve yükleme miktarı gibi parametreler kurutma verimliliğini ve ürün kalitesini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu çalışma, özellikle bu parametrelerin optimize edilerek enerji tüketiminin azaltılması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesini hedeflemektedir. Araştırmada, çok raflı bir doğal konvektif güneş enerjili kurutucu kullanılarak elma dilimleri kurutulmuş ve deneyler, dilim kalınlığı, kurutma süresi ve tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi değişkenleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yanıt Yüzey Yöntemi ile elde edilen verilere göre, kurutma süresi, nem kaybı ve büzülme oranı gibi yanıtlar optimize edilmiş ve ANOVA analizi ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, dilim kalınlığının azalması ve kurutma süresinin artması ile elma dilimlerinde daha fazla nem kaybı ve büzülme oranı gözlemlenmiştir. Özellikle optimum kurutma koşulları, % nem kaybı, büzülme oranı ve kurutma hızını en iyi düzeyde sağlayan koşullar olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, kurutma parametrelerinin ürün üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu ve dilim kalınlığı ile kurutma süresinin kurutma verimliliği üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesinin kurutma hızı ve büzülme oranı üzerinde nispeten daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjili kurutucunun, Türkiye gibi yüksek güneşlenme potansiyeline sahip ülkelerde enerji tasarrufu sağlayarak tarımsal ürünlerin kurutulmasında önemli bir avantaj sunduğu da vurgulanmıştır.

Üçler (2019) araştırmasında, güneş enerjisinin mekân ısıtmasında duyulur ısı depolama malzemeleri ve faz değiştiren maddelerle nasıl verimli bir şekilde depolanabileceğini incelemektedir. Tezin ana amacı, faz değiştiren malzemeler (FDM) ve duyulur ısı depolama malzemelerinin kullanıldığı bir sistemde, güneş enerjisiyle üretilen ısınn etkili bir şekilde nasıl depolanabileceğini araştırmaktır. Çalışmada bazalt taşı, su ve faz değiştiren maddeler (parafin wax) kullanılarak bir ısı deposu tasarlanmıştır. Bu ısı deposu, klasik tasarımlardan farklı olarak güney cepheden güneş ışığını direkt alacak şekilde cam

örtü ile donatılmıştır. Böylece, güneş ışığının taşlara direkt temasının ısı deposunun performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, güneşin taşlara doğrudan temas etmediği durumlarda taşların sıcaklığı maksimum 46.6 °C'ye kadar çıkarken, güneş ışığının taşlara doğrudan temas ettiği durumlarda bu sıcaklık 56.8 °C'ye ulaşmıştır. Bu sayede %11.7 oranında daha fazla enerji depolanabilmiştir. Ayrıca, faz değiştiren maddelerle desteklenen ısı deposunun daha uzun süreli enerji sağlayabildiği ve %9.9 daha fazla enerji depoladığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışması, güneş enerjisiyle mekân ısıtmasında, ısı depolama malzemeleri ile faz değiştiren maddelerin bir arada kullanılmasının verimliliği artırabileceğini göstermiştir. Çalışma ayrıca, Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkelerde, bu tür sistemlerin geniş ölçekli uygulanabilirliğine katkı sağlamaktadır.

Demirpolat (2019) çalışmasında güneş enerjili bir gıda kurutma sisteminde farklı modeller kullanılarak kütle transferinin incelenmesine odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı, elma dilimlerinin inceltilmiş katmanlarda kurutma davranışını incelemek ve bu süreçte oluşan kütle değişimlerini modellemektir. Araştırmada, 15 mm kalınlığında elma dilimleri, 46–63°C sıcaklık ve 0.7–1.8 m/s hava hızı aralığında kurutulmuş ve bu kurutma süreci üç gün boyunca takip edilmiştir. Kurutma davranışının belirlenmesi için çeşitli matematiksel modeller kullanılmış ve nem oranı (MR) değerleri 12 farklı model yardımıyla hesaplanmıştır. Çalışmanın en dikkat çekici yönlerinden biri, karar ağacı algoritması kullanılarak elma dilimlerinin kurutma sürecinde oluşan nem oranı tahminlerinin yapılmasıdır. Karar ağacı algoritması ile elde edilen nem oranı değerlerinin, kurutma sürecindeki deneysel verilere kıyasla daha düşük hata oranına sahip olduğu tespit edilmiştir (RMSE: 0.03). Yapılan analizler sonucunda, Midilli-Küçük modeli (RMSE: 0.09) ile karar ağacı algoritmasının sonuçları karşılaştırılmış ve karar ağacı algoritmasının nem oranını daha doğru tahmin ettiği gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, güneş enerjili kurutma sistemlerinde kütle transferinin başarılı bir şekilde modellenebileceğini ve bu süreçte karar ağacı gibi makine öğrenimi algoritmalarının kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca, çalışma kütle transferi sürecinin verimliliğinin artırılması için sistem özelliklerinin optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Çetin (2019) çalışmasında, farklı kurutma koşullarının elma ve portakalın renk özellikleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, tarımsal ürünlerin depolama ömrünü uzatmak ve pazar değerini artırmak için kurutma sürecinde renk değişimlerini analiz etmektir. Kurutma, tarımsal ürünlerin su içeriğini azaltarak depolama ömrünü uzatan bir işlemdir ve bu süreçte renk gibi fiziksel özelliklerin korunması, tüketicilerin tercihleri açısından önem taşımaktadır. Araştırmada, "Granny Smith" elma çeşidi ve "Valencia" portakal çeşidi kullanılmıştır. Farklı kurutma kalınlıkları (5, 7 ve 9 mm), süreler (8, 9 ve 10 saat) ve sıcaklıklar (50, 55 ve 60°C) kullanılarak kurutulan ürünlerin CIELab renk uzayındaki renk değişimleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, her iki üründe de optimum kurutma koşullarının 7 mm dilim kalınlığında, 8 saat sürede ve 50°C sıcaklıkta olduğu belirlenmiştir. Bu koşullarda, ürünlerin parlaklık değerlerinde artış gözlenmiş ve sarılık tonlarının arttığı tespit edilmiştir. Kurutma süresi ve sıcaklıklarının renk özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, kurutma süresi ve sıcaklıkları ürünlerin renk özelliklerini doğrudan etkilemekte, optimum kurutma parametrelerinin belirlenmesi ise ürün kalitesi açısından kritik önem taşımaktadır. Özellikle ürünlerin parlaklık ve sarılık değerleri gibi renk unsurlarının korunması, pazarda daha iyi kabul görmelerini sağlamaktadır.

Roknul Azam ve ark., (2019) tarafından yapılan çalışma, şeftali derisinin (*Prunus persica*) dört farklı kurutma yöntemi kullanılarak kurutulması sürecinde meydana gelen kalite değişikliklerini incelemektedir. Araştırmada, sıcak hava ile kurutma (AD), kızılötesi kurutma (IRD), radyo frekansı destekli sıcak hava kurutma (RFD) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma (MWD) yöntemlerinin, şeftali derisi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Kurutma işlemleri, 70°C sıcaklıkta, 1.0 m/s hava hızıyla ve RFD, IRD, MWD yöntemleri için 4 W/g sabit güç seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte şeftali derisinin nem dağılımı, dokusu, rehidrasyon oranı, rengi ve mikro yapısı incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, en kısa kurutma süresi 180 dakika ile MWD yönteminde elde edilmiştir, bunu sırasıyla IRD (210 dakika), RFD (210 dakika) ve AD (300 dakika) izlemiştir. Kurutma süresi açısından, MWD en hızlı yöntem olarak öne çıkmıştır. Mikro yapı ve tat analizleri, IRD'nin şeftali derisi için en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir.

Elektronik burun ve elektronik dil kullanılarak yapılan duyuşal testlerde, IRD yöntemiyle kurutulmuş şeftali derisinin en iyi kaliteyi sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın ana amacı, şeftali derisi üretiminde verimli bir kurutma yöntemi belirleyerek kalite özelliklerinin korunmasını sağlamaktır. Kurutma yöntemlerinin nem transferi, renk değişimi ve doku üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. IRD yöntemi, tat, doku ve renk açısından en iyi kaliteyi sunarken, MWD yöntemi daha hızlı bir kurutma süresi sağlamıştır. Çalışma, şeftali derisi üretiminde IRD yönteminin enerji verimliliği açısından avantajlı bir seçenek olduğunu ve endüstriyel meyve derisi üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir.

Yıldız ve Gökayaz (2019)'ın çalışmasında, elma dilimlerinin farklı güneş kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulması ve bu süreçte meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Çalışmanın amacı, güneş enerjili kurutucularla, doğrudan güneş ışığında ve gölgede kurutulan elmaların nem kaybı, kurutma hızı, büzölme oranı ve kuruma süresi gibi parametrelerini karşılaştırmaktır. Güneş enerjili kurutucular, herhangi bir yakıt veya elektrik kullanılmadan güneş enerjisini kullanarak daha ekonomik ve ekolojik bir alternatif sunmaktadır. Araştırmada starking cinsi elma dilimleri, doğal konvektif raflı güneş enerjili kurutucuda, açık havada güneş altında ve gölgede kurutulmuştur. Her üç kurutma yönteminde de 300 dakikalık süreç boyunca, elma dilimlerinin nem kaybı, kurutma hızı ve büzölme oranları belirlenmiştir. Sonuçlara göre, güneş enerjili kurutucuda kurutulan elmalar, diğer iki yönteme kıyasla daha kısa sürede ve daha fazla nem kaybı ile kurutulmuştur. Özellikle kurutucu kabinindeki hava sıcaklığının daha yüksek, nemin ise daha düşük olması nedeniyle, elmalar daha hızlı bir kuruma göstermiştir. Gölgede kurutulan elmalar ise en yavaş nem kaybını ve en düşük kurutma hızını sergilemiştir. Güneş enerjili kurutucunun, doğrudan güneş ışığına maruz bırakmadan kurutma sağlaması sayesinde, kurutulan elma dilimlerinde renk ve besin değeri kaybı da daha az olmuştur. Bu çalışma, tarım sektöründe güneş enerjili kurutucuların kullanımının, özellikle Mersin gibi güneşlenme süresi yüksek bölgelerde, ekonomik ve verimli bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır. Güneş enerjili kurutucuların, ürün kalitesini artırırken, kurutma süresini kısaltarak çiftçilere maliyet avantajı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Vakhshouri (2019) çalışmasında, parafinin faz değıştiren madde (PCM) olarak ısı 1 enerji depolama sistemlerindeki rolü incelenmiştir. Günümüzde enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin kullanmak amacıyla termal enerji depolama (TES) sistemleri oldukça önem kazanmıştır. Bu bağlamda, faz değıştiren malzemeler, enerjiyi sabit sıcaklıkta gizli ısı olarak depolayarak bu enerjiyi kristalleşme sürecinde geri salma yeteneğine sahiptirler. Çalışma, özellikle organik faz değıştiren maddeler kategorisinde yer alan parafinin avantajlarını vurgulamaktadır. Parafin, geniş sıcaklık aralıklarında yüksek gizli ısı 1 kapasiteye sahip olması, ekonomik ve güvenilir bir madde olması gibi özellikleriyle PCM sistemlerinde sıkça tercih edilmektedir. Bununla birlikte, parafinin düşük termal iletkenliği ve alevlenebilirliği gibi dezavantajlar da bulunmaktadır. Bu sorunları aşmak amacıyla yapılan çalışmalarda, nano katkı maddeleri ve çeşitli kapsülleme teknikleri kullanılarak parafinin ısı 1 iletkenliğinin artırılması ve yanıcılığının azaltılması hedeflenmiştir. Araştırma, parafin bazlı PCM'lerin kapsülleme ve şekil sabitliğine dayalı iki ana yöntemini ele almakta ve bu malzemelerin binalarda, güneş enerjisi sistemlerinde, otomotiv endüstrisinde ve medikal alanlarda geniş kullanım alanı bulunduğunu belirtmektedir. Çalışmada ayrıca, parafinin polimer matrislerle birleşerek şekil sabitliğini koruyan PCM'ler oluşturulmasının, bu malzemelerin kullanımını daha yaygın hale getirebileceği ifade edilmiştir.

Polatcı ve ark., (2018) yaptıkları araştırmalarında, şeftali posasının farklı sıcaklıklarda kurutulması sırasında oluşan kuruma parametrelerinin incelenmesine odaklanmıştır. Çalışmanın temel amacı, farklı sıcaklıklarda (60, 65 ve 70 °C) kurutma işlemleri uygulayarak, şeftali posasının nem kaybı, kuruma süreleri ve renk gibi kalite parametrelerini değerlendirmektir. Şeftali posası, besleyici içeriği nedeniyle hayvan yemi olarak kullanılmakta olup, yıl boyunca bozulmadan muhafaza edilebilmesi için uygun nem seviyesine kadar kurutulması gerekmektedir. Çalışmada, kuruma kinetiği ince tabaka kurutma modelleri ile modellenmiş ve kuruma eğrilerinin oluşturulmasında Page, Midilli-Küçük ve Lewis modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar, en uygun kurutma sıcaklığının 65°C olduğunu ve Midilli-Küçük modelinin en iyi tahmin eden kuruma modeli olduğunu göstermiştir. Kuruma süreleri sırasıyla 60°C'de 24 saat, 65°C'de 21 saat

ve 70°C’de 15 saat olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kroma ve toplam renk farklılıkları gibi ticari kaliteyi etkileyen parametrelerde en uygun sıcaklık 65°C olarak bulunmuştur. Kimyasal analizlerde ise pH, suda çözünebilir kuru madde miktarı (S.Ç.K.M.) ve titre edilebilir asitlik (T.A.) değerleri açısından en iyi sonuçların 60°C sıcaklıkta elde edildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, şeftali posasının kurutulması için en uygun sıcaklık aralığının 60-65°C olduğu ve bu sıcaklık aralığında hem nem kaybı hem de ürün kalitesinin korunduğu sonucuna varılmıştır.

Mert ve ark., (2018) yaptıkları araştırmada ısı enerjisi depolama sistemleri için kullanılan organik faz değiştirici maddelerin (FDM) mevcut durumu üzerine kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Gizli ısı enerjisi depolama, enerji verimliliğini artırmada etkili bir yöntem olarak öne çıkmakta ve özellikle yüksek ısı kapasiteye sahip FDM'lerin kullanılmasıyla enerji depolama süreçleri optimize edilmektedir. Bu çalışmada, organik FDM'lerin kapsüllenmesi, ısı iletkenliğinin artırılması ve ısı davranışlarının modellenmesi üzerine yapılan araştırmalar değerlendirilmektedir. Çalışmada, organik FDM'lerin küçük hacim değişimlerine sahip olmaları ve yüksek gizli ısı enerjisi kapasiteleri nedeniyle diğer FDM'lere göre daha çok tercih edildiği vurgulanmıştır. FDM'lerin verimliliğini artırmak amacıyla kapsülleme çalışmaları ve nano yapıdaki malzemelerin eklenmesi gibi yöntemler araştırılmıştır. Özellikle nano yapıların eklenmesi, ısı iletkenliği önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca, yapılan modelleme çalışmaları ile FDM'lerin enerji depolama sistemlerinde daha yaygın olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak, organik FDM'lerin enerji depolama sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulunduğu, kapsülleme ve ısı iletkenlik artırma çalışmaları sayesinde performanslarının iyileştirildiği görülmektedir. Bu çalışma, FDM'lerin özellikle binalarda, güneş enerjisi sistemlerinde ve soğutma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Taşkın (2018) araştırmasında hibrit (güneş paneli ve rüzgâr türbini) enerji sistemi destekli endüstriyel tip bir kurutucunun tasarımı ve performansını incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarını birleştirerek enerji verimliliğini artıran ve tarımsal ürünleri kurutmak için daha sürdürülebilir bir çözüm sunan bir hibrit kurutma

sistemi geliştirmektedir. Tez kapsamında, hibrit enerji sistemine sahip kurutucunun üç farklı kurutma havası sıcaklığı (50, 60 ve 70°C) ve iki farklı hava hızında (3 ve 4 m/s) mısır ve bezelye kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sırasında enerji tüketimi, kurutma süresi, renk değişimi ve rehidrasyon kapasiteleri gibi parametreler değerlendirilmiştir. Sonuçlar, mısır kurutma işlemi için toplam enerji tüketiminin %23,00 ila %9,81'inin güneş enerjisiyle, %2,17 ila %0,77'sinin ise rüzgâr enerjisiyle karşılandığını göstermiştir. Bezelye kurutma işlemlerinde ise %20,74 ila %9,84'ü güneş enerjisinden, %2,01 ila %0,85'i rüzgâr enerjisinden sağlanmıştır. Deneyler, farklı sıcaklık ve hava hızlarının kurutma süresi ve enerji verimliliği üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, güneş ve rüzgâr enerjisinden elde edilen enerji, kurutma sürecinde önemli katkılar sağlamıştır. Ancak, enerjinin tamamının bu yenilenebilir kaynaklardan karşılanması mümkün olmamış, bu nedenle şebekeye bağlı çalışmanın gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, hibrit sistemin diğer tarımsal ürünler üzerinde de kullanılabileceği ve ekonomik açıdan verimli bir çözüm sunduğu sonucuna varılmıştır.

Yazıcı ve Daş (2018) çalışmalarında, güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi kullanılarak elma ürünlerinin kurutulması ve elde edilen kurutma verilerinin yapay sinir ağı (YSA) ile modellenmesi üzerine odaklanmaktadır. Güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması, tarımsal ürünlerin düşük maliyetle ve çevre dostu yöntemlerle kurutulmasını sağlamaktadır. Çalışmada, güneş enerjisi destekli sistemle kurutulan elmaların performans verileri analiz edilmiş ve bu veriler YSA kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur. Deneysel süreçte, güneş kolektörü ile desteklenen bir kurutma sistemi tasarlanmış ve elmalar hem açık havada güneş altında hem de güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde kurutulmuştur. Kurutma sürecinde kuru baz nem içeriği (MCd), ayrılabilir nem oranı (MR), kurutma hızı (DR) ve konvektif ısı transfer katsayısı (hc) gibi değerler hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, güneş enerjisi destekli kurutma sistemi, açık havada yapılan kurutmaya göre daha hızlı ve verimli sonuçlar vermiştir. Özellikle güneş enerjisi destekli sistemde elmaların hc değerleri 15.5 – 13.5 (W/m²°C) arasında hesaplanmış, bu sistemin verimliliği ön plana çıkmıştır. Yapay sinir ağı kullanılarak elde edilen tahminsel hc değerleri, deneysel verilerle oldukça uyumlu bulunmuş ve modelin geçerliliği hata analizleri ile test edilmiştir. Ortalama kare hatası

(MSE), kök ortalama kare hatası (RMSE) ve bağıl mutlak hata (RAE) gibi hata analizleri sonucunda modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinin tarımsal ürün kurutma süreçlerinde enerji tasarrufu sağlayabileceğini ve yapay zekâ yöntemleriyle bu süreçlerin daha verimli hale getirilebileceğini göstermektedir.

Azarifar ve ark., (2017) araştırmada, faz değıştiren malzemelerle (FDM) ısı enerji depolamada kullanılan parafin-grafit, parafin-kanatçık ve saf parafin yapılarının performansını karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. Isıl enerji depolamada faz değıştiren malzemelerin kullanımı, yüksek enerji depolama kapasiteleri sayesinde enerji verimliliğini artıran en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Ancak, FDM'lerin düşük ısı iletkenlikleri, ısı şarj ve deşarj hızlarını sınırlamaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için parafinin ısı iletkenliğini artırma amaçlı parafin-grafit ve parafin-kanatçık yapılar geliştirilmiştir. Çalışmada, parafin-grafit, parafin-kanatçık ve saf parafin içeren iki boyutlu yapılar, ısı deşarj sırasında modellenmiş ve bu yapıların zamana bağılı sıcaklık dağılımları, deşarj edilen toplam ısı miktarı ve faz değıştirme hızları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, parafin-kanatçık yapıların hem yüksek ısı deşarj hızı hem de enerji depolama kapasiteleri bakımından, parafin-grafit ve saf parafin yapılarına göre daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle parafin-kanatçık yapının, kanatçıkların ısı iletkenliğini artırarak, faz değıştirme sürecini hızlandırdığı ve dolayısıyla enerji deşarj hızını artırdığı gözlemlenmiştir. Saf parafin, düşük ısı iletkenliği nedeniyle ısı dağılımını yavaşlatmış ve faz değıştirme sürecini uzatmıştır. Buna karşın, parafin-grafit yapılar, ısı iletimini artırarak daha hızlı bir faz değıştirme süreci sağlamıştır, ancak aynı hacimde depolayabildikleri enerji miktarı, parafin-kanatçık yapılara göre daha düşüktür. Bu sonuçlar, parafin-kanatçık yapıların, enerji depolama uygulamalarında daha verimli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, ısı enerji depolama sistemlerinde kullanılan malzemelerin tasarımında önemli bir yol gösterici olmakta, özellikle güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının depolanmasında etkinlik sağlanabileceğini göstermektedir.

Gürel ve ark., (2016) araştırmalarında, meyve ve sebzelerin kurutma parametrelerini detaylı bir şekilde incelemektedir. Çalışmanın ana amacı, tarımsal ürünlerin kurutulması sürecinde uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin, bu ürünlerin kalite özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Kurutma, tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatmak için kullanılan en eski yöntemlerden biri olup, gıdaların nem içeriğini azaltarak bozulma sürecini yavaşlatır. Ancak, kurutma işlemi karmaşık bir süreçtir ve ürünlerin kalitesini doğrudan etkileyen birçok faktör içerir. Çalışmada, kurutma işlemi üç temel aşamada ele alınmıştır: kurutma öncesi işlemler, kurutma sırası ölçümler ve kurutma sonrası analizler. Kurutma öncesinde uygulanan ön işlemler, özellikle sebzelerde, enzim aktivitesini durdurmaya yardımcı olmakta ve renk kayıplarını minimize etmektedir. Meyvelerde ise, kurutma öncesinde asidik solüsyonlara daldırma işlemi uygulanarak ürünün renk ve lezzet kaybı engellenmiştir. Bu süreçte ürünlerin nem içeriğı, su aktivitesi, renk değişimi, gözeneklilik, tat ve doku gibi kalite parametreleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle renk değişimi, tüketiciler açısından en önemli kalite kriterlerinden biri olarak ele alınmış ve CIELab renk uzayında yapılan ölçümlerle analiz edilmiştir. Sonuçlar, kurutma sürecinde kullanılan sıcaklık, süre ve hava hızı gibi parametrelerin, ürünlerin renk ve doku özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kurutma sonrası rehidrasyon oranı ve ürünlerin besin değerlerindeki değişiklikler de değerlendirilmiş ve uygun kurutma koşullarının seçilmesinin ürün kalitesini doğrudan etkilediğı vurgulanmıştır.

Özkan ve ark., (2015) araştırmalarında, mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutma işleminin çeşitli meyve ve sebzelerin kalite parametreleri üzerindeki etkilerini incelemektedir. Kurutma, gıdaların dayanıklılığını artırmak için kullanılan en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Mikrodalga kurutma, yüksek frekanslı dalgaların materyal içerisindeki suyu buharlaştırması ile gerçekleşir ve bu yöntem, kurutma sürecini hızlandırarak daha dinamik bir ısı transferi sağlar. Çalışmanın temel amacı, mikrodalga kurutmanın meyve ve sebzelerin renk, tekstür, kurutma süresi ve kurutma hızı gibi kalite parametreleri üzerindeki etkilerini analiz etmektir. Çalışmada, mikrodalga kurutma işlemi çeşitli meyve ve sebzelerde uygulanmış ve bu yöntem, konvansiyonel kurutma yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde, mikrodalga destekli kurutmanın,

kurutma süresini ve enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Ancak, mikrodalga gücünün artışıyla birlikte ürünün renk ve doku gibi kalite parametrelerinde olumsuz etkiler de gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutmanın hızlı kurutma süresi ve enerji verimliliği avantajları olmasına rağmen, bazı ürünlerde kaliteyi olumsuz etkileyen sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, mikrodalga destekli kurutma yöntemlerinin diğer kurutma teknikleriyle kombine edilmesiyle daha kaliteli ürünler elde edilebileceği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutma, geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve enerji verimli bir süreç sunmakta, ancak ürünlerin kalite özellikleri üzerinde dikkatle kontrol edilmesi gereken etkileri bulunmaktadır.

Atalay (2015) araştırmasında güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli bir kurutma sistemi kullanılarak elma kurutulmasının performansı incelenmiştir. Bu çalışma, enerji tasarruflu ve çevre dostu bir yöntemle tarımsal ürünlerin kurutulmasını amaçlamaktadır. Güneş enerjili kurutma sistemleri, tarımsal ürünlerin hijyenik koşullarda kurutulmasına olanak sağlayarak ürün kalitesini artırmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada çakıl taşı tabanlı bir enerji depolama sistemi ve ısı geri kazanım ünitesi kullanılarak güneş enerjisinden maksimum verim elde edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, elma dilimlerinin kuruma davranışı 5 ila 10 mm arasında değişen kalınlıklarda incelenmiş, sistemin giriş ve çıkışındaki sıcaklık, bağıl nem, basınç ve hava hızları ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, ısı depolama sisteminin etkinliğini ortaya koymuş, enerji tüketimi açısından elektrikli kurutma sistemlerine göre %76,8 oranında tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, elma dilimlerinin kuruma süreleri 6 saat olarak belirlenmiş, düşük nem ve sıcaklık değerleri arasında sistemin başarılı bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Ürün kalitesi testlerinde, kurutulan elma dilimlerinin %10'un altında nem içeriğine ve 0.7'nin altında su aktivitesi değerlerine sahip olduğu, bu nedenle uzun süre bozulmadan saklanabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, güneş enerjili ve enerji depolama sistemli kurutma sistemlerinin hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu göstermekte ve özellikle Türkiye gibi güneş potansiyeli yüksek ülkelerde tarımsal ürün kurutma süreçlerinde uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır.

Aslan (2014) yaptığı araştırmada faz değıştiren malzemeler (FDM) kullanarak güneş enerjisinin depolanması üzerine çalışılmıştır. Tezin ana amacı, pomza ve zeolit gibi doğal malzemelere, yağ asidi ve parafin bazlı sentetik faz değıştiren malzemelerin emdirilmesi yoluyla enerji depolama kapasitelerini artırmaktır. Araştırmada, vakum emdirme yöntemi ile farklı boyutlardaki pomza ve zeolit granüllerine faz değıştiren malzemeler yüklenmiş ve bu malzemelerin enerji depolama kapasiteleri incelenmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, pomza ve zeolit üzerine farklı sıcaklıklarda ve vakum altında faz değıştiren malzemeler emdirilmiş, bu malzemelerin depolama kapasiteleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, güneş enerjisinin ve binalardaki atık ısının depolanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular, pomza ve zeolit faz değıştiren malzemeleri tutma kapasitelerinin farklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, mikrokapsüllerin ısı depolama kapasiteleri değerlendirilmiş ve bu yöntemle faz değıştiren malzemelerin erime ve katılaşma süreçlerinde yüksek verimlilik elde edilmiştir. Araştırmada kullanılan vakum emdirme yöntemi, özellikle güneş enerjisinin daha verimli bir şekilde depolanabilmesi için pomza ve zeolit faz değıştiren malzemeleri tutma kapasitesini artırmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, bu doğal malzemelerle faz değıştiren malzemelerin birleştirilmesi, ısı enerji depolama sistemlerinde kullanım için umut vaat eden bir çözüm sunmaktadır. Bu tez çalışması, gelecekte enerji depolama teknolojilerinde faz değıştiren malzemelerin kullanımına yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

Utlu ve ark., (2013) araştırmalarında, yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Yeşil bina konseptleri, sürdürülebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını hedeflerken, ısıtma ve soğutma için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çalışmada güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompalarının yeşil binalarda ısıtma amaçlı kullanımı sırasında ısı enerji depolama sistemlerinin gerekliliği vurgulanmıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde bulunan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompaları ile çalışan bir ısıtma sisteminde gizli ısı depolamanın verimliliği incelenmiştir. Sistemde, parafin bazlı bir faz değıştiren madde (PCM) kullanılarak gizli ısı depolaması yapılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompalarının özellikle kış döneminde yüksek enerji

tüketimi nedeniyle kullanım süresinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, güneş enerjisi ile desteklenen bir sistemin, daha düşük enerji tüketimi ile ısı enerjisi ihtiyacını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma ayrıca, gizli ısı depolama sistemlerinin binalardaki enerji tüketimini azaltarak enerji verimliliğini artırdığı ve yenilenebilir kaynakların kullanımını optimize ettiği sonucuna varmıştır.

G. Romano ve ark., (2009) tarafından yapılan çalışma, tarımsal ürünlerin güneş enerjisi kullanılarak kurutulması sırasında enerji tüketimi ve çevresel parametrelerin nasıl değiştiğini incelemektedir. Bu araştırmanın temel amacı, güneş dolap kurutucusu ile elma ve havuç gibi ürünlerin kurutulmasında enerji verimliliğini artırmak, çevresel faktörlerin (örneğin sıcaklık ve nem) kurutma süreci üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu süreçlerin tarımsal ürünlerin nem içeriği üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmada kullanılan güneş dolap kurutucusu, modüler bir yapıya sahip olup çeşitli tepsi düzenlemeleri ve farklı ürün boyutları (dilimler ve küpler) üzerinde deneyler yapılmasına imkân tanımıştır. Deneyler sırasında elma ve havuç parçalarının nem değişiklikleri dikkatle izlenmiş, sıcaklık, güneş ışınımı ve hava nemi gibi çevresel parametreler sürekli olarak ölçülmüştür. Bu sayede, güneş enerjili kurutmanın etkinliğini belirlemek için geniş çapta veri toplanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, güneş enerjisiyle kurutma sürecinde sıcaklık ile hava nemi arasında güçlü bir negatif korelasyon bulunmaktadır. Elma kurutma sırasında sıcaklık ile nem arasındaki korelasyon katsayısı ($R^2=0.91$) yüksek bulunurken, havuç kurutma sürecinde bulutlu hava koşulları nedeniyle bu ilişki daha zayıf çıkmıştır ($R^2=0.36$). Deney sonuçları ayrıca, elma ve havuçların kurutulması için gereken enerji miktarlarının belirlenmesine olanak tanımıştır; elma kurutma işlemi için 3300.19 kJ, havuç için ise 7428.28 kJ enerji gerektiği hesaplanmıştır. Bu farklılıklar, kullanılan numunelerin özelliklerine, kurutma koşullarına ve çevresel etkilere bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmada, kurutma sürecinin verimliliği üzerinde numune kalınlığı ve şeklinin önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Özellikle ince dilimlenmiş havuçların daha kalın dilimlere ve küplere göre çok daha hızlı kurutulduğu gözlemlenmiştir. Ancak elmalarda, dilim kalınlığının ve şeklinin kurutma süresi üzerindeki etkisi havuçlara göre daha az belirgin olmuştur. Havuç kurutma sürecinde bulutlu hava koşullarının kurutmayı geciktirdiği ve düşük sıcaklıkların havuçların nem içeriğinin daha yavaş azalmasına

neden olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışma güneş dolap kurutucularının tarımsal ürünlerin kurutulmasında enerji tasarrufu ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, çevresel faktörler (rneğin bulutluluk ve hava nemi) ve numune kalınlığı gibi değişkenlerin kurutma süreci üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bulgular, tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında enerji verimliliğini artırmak ve daha homojen kurutma sonuçları elde etmek için çevresel koşulların dikkatle izlenmesi ve kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Alkan ve ark., (2009) araştırmasında ısıl enerji depolama sistemlerinde kullanılmak üzere form-stabil parafin/polipropilen (PP) kompozitlerinin hazırlanması, termal özellikleri ve termal güvenilirliği üzerine odaklanmaktadır. Parafin, faz değiştiren madde (PCM) olarak enerji depolamada yaygın olarak kullanılmasına rağmen, düşük ısıl iletkenliği ve sıvı fazına geçişte sızıntı yapma gibi dezavantajları vardır. Bu çalışmada, polipropilen destekli form-stabil parafin kompozitleri hazırlanmış ve bu kompozitlerin termal davranışları incelenmiştir. Farklı oranlarda (%50, %60, %70, %80 ve %90 w/w) parafin içeren kompozitler zlti döküm yöntemi ile hazırlanmış ve %70 parafin içeren kompozitin maksimum sızıntı yapmadan stabil kaldığı tespit edilmiştir. Fourier Dönüşüm Infrared Spektroskopisi (FTIR), optik mikroskopi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal gravimetrik analiz (TGA) ile karakterize edilen bu kompozitin erime sıcaklığı 44.77-45.52°C, kristalizasyon sıcaklığı ise 53.55-54.80°C olarak belirlenmiştir. Form-stabil kompozit, 136.16 J/g erime ve -136.59 J/g kristalleşme gizli ısısına sahip olup, bu özellikleriyle güneş enerjili ısıtma uygulamaları gibi gizli ısıl enerji depolama sistemlerinde potansiyel bir PCM olarak değerlendirilmiştir.

Karaipekli (2006) Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde hazırladığı yüksek lisans tezinde, faz değişimli enerji depolama maddelerinin ısıl iletkenliklerinin zenginleştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Tezin ana amacı, düşük ısıl iletkenliğe sahip faz değişim maddelerinin (FDM), enerji verimliliğini artırmak amacıyla ısıl iletkenliklerinin iyileştirilmesidir. Çalışmada, özellikle parafin ve stearik asit gibi yaygın kullanılan FDM'lerin genişletilmiş grafit (GG) ve karbon fiber (Kf) katkıları ile ısıl iletkenliklerinin nasıl artırılabilceği araştırılmıştır. Parafin ve stearik asidin içine farklı oranlarda GG ve Kf eklenmiş, bu kompozit karışımların ısıl iletkenlikleri sıcak tel metodu ile ölçülmüştür.

Elde edilen bulgulara göre, her iki katkı maddesinin de FDM'lerin ısı iletkenliğini belirgin ölçüde artırdığı bulunmuştur. %10 GG ve %10 Kf ilavesi ile parafinin ısı iletkenliği %272,7, stearik asidin ısı iletkenliği ise %217,2 oranında artmıştır. Ayrıca, bu katkı maddelerinin FDM'lerin erime ve katılaşma süreleri üzerindeki etkileri de deneysel olarak test edilmiştir. Sonuçlar, GG ve Kf ilavesi ile FDM'lerin erime ve katılaşma sürelerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile, GG ve Kf ilavesinin FDM'lerin erime sıcaklığı ve gizli ısıları üzerindeki etkileri de değerlendirilmiştir. Deneysel bulgular, özellikle %10 oranında GG ve Kf katkılı kompozit maddelerde, erime gizli ısısında önemli bir azalma olmadan ısı iletkenliğinin önemli ölçüde artırılabilceğini göstermektedir. Bu durum, faz değişimli enerji depolama sistemlerinde daha verimli enerji depolama ve geri kazanımı için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu tez çalışması, FDM'lerin ısı iletkenliklerinin artırılmasına yönelik katkı maddeleri kullanımının enerji depolama sistemlerinde verimliliği artırabileceğini göstermektedir ve bu tür kompozit malzemelerin gelecekteki enerji depolama teknolojilerinde yaygın olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Öztürk (2006) araştırmasında güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması üzerine odaklanmaktadır. Güneş enerjisinin ısı olarak depolanması, özellikle düşük sıcaklıktaki uygulamalar için önem taşımaktadır ve bu çalışmada faz değiştiren materyaller (PCM) kullanılarak bu enerjinin nasıl verimli bir şekilde depolanabileceği incelenmiştir. Çalışmanın amacı, güneş enerjisinin faz değişim materyalleri aracılığıyla depolanarak enerji verimliliğinin artırılması ve bu süreçte karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik öneriler getirilmesidir. Gizli ısı depolama yönteminin avantajları arasında, yüksek depolama kapasitesi, sabit sıcaklıkta ısı depolama yeteneği ve uygulama kolaylığı öne çıkmaktadır. Araştırma kapsamında, gizli ısı depolama için kullanılan faz değiştiren materyallerin özellikleri incelenmiş, bunların katı-sıvı faz değişimlerinin enerji depolama süreçlerindeki önemi vurgulanmıştır. Çalışmada katı-sıvı faz değişimi geçiren malzemelerin, düşük hacim değişimiyle yüksek miktarda enerji depolayabilmeleri nedeniyle pratikte tercih edilen bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Parafin ve tuz hidratları gibi malzemelerin gizli ısı depolama kapasiteleri üzerine detaylı analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, çalışma gizli ısı depolama sistemlerinin güneş enerjisi uygulamalarında

kullanılarak enerji verimliliğinin artırılabilirliğini ortaya koymuş, faz değişimi sırasında karşılaşılan aşırı soğuma, hacim değişikliği ve kimyasal kararsızlık gibi sorunlar için çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur.

2.2. Gıda Kurutma İle İlgili Kuramsal Açıklamalar

Gıda kurutma, besinlerin ömrünü uzatma amacıyla eski dönemlerden bu yana kullanılan bir muhafaza tekniği olmuştur. Bu işlemin amacı, mikroorganizma gelişimini yani besinde bozunumu önlemek ve gıda değerlerini koruyarak besinlerin daha uzun süre saklanabilirliğini sağlamaktır. Özellikle günümüzde gelişen teknoloji ile tarımsal ürünlerin yenilikçi ve enerji verimli sistemlerle kurutulması, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir noktaya gelmiştir. Gıda kurutma teknolojileri ve yenilikçi yöntemler; düşük maliyet, yüksek verimlilik, gıda güvenliği ve kalite gibi avantajlar sunma hedefindedir.

Gıda kurutma süreci, gıda israfını önlemenin yanı sıra tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatma ve sürdürülebilir enerji kaynaklarını teşvik etme açısından önemlidir. Güneş enerjili kurutma sistemlerinin enerji verimliliği, geleneksel elektrikli kurutma sistemlerine göre %45 daha yüksektir; çevresel etkiyi azaltma açısından büyük bir avantaj sağlayan bu yöntemler için Alibaş ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, güneş destekli sistemlerin enerji verimliliğinin yüksek olduğu ve ürün kalitesini %30'a kadar koruyabildiği gösterilmiştir (Alibaş ve ark., 2021).

Gıda kurutma işlemleri, tarım ürünlerinin raf ömrünü uzatarak besinlerin tazeliğini korumasını sağlar. Geleneksel güneşte kurutma yöntemi, en eski kurutma tekniklerinden biridir. Ancak çevresel kontaminasyon riski ve işlem süresinin uzun olması gibi sorunlar, modern teknolojilerle çözülmeye çalışılmaktadır. Bugün, vakum tüplü veya parabolik kolektör destekli sistemler gibi yeni yöntemler, kurutma işlemini hızlandırırken ürün kalitesini de koruma avantajına sahiptir. Güneş enerjisi destekli sistemlerin kullanımı, sürdürülebilirlik açısından avantaj sunmakta ve tarımın enerji maliyetlerini düşürmektedir. Gıda kurutma teknolojilerinin önemi bu bağlamda artmakta; enerji tasarrufu sağlarken, çevresel etkileri de olabildiğine minimize etmektedir.

Bir makalede, Güneş enerjili vakum tüplü kurutma sistemlerinin, geleneksel sıcak hava kurutucularına göre %40'a varan daha az enerji tükettiği de gözlemlenmiştir (Martynenko ve Vieira, 2023).

Gıda kurutma tarihsel olarak, eski medeniyetlerde ürünlerin bozulmadan saklanabilmesi için yaygın bir yöntem olarak kullanılmıştır. Antik Mısır ve Çin gibi medeniyetlerde kullanılan bu teknik, güneş enerjisi ile doğal kurutmaya dayanmaktadır. Bu geleneksel yöntem, yüksek enerji gerektirmeyen basit bir yöntem olması nedeniyle binlerce yıldır tercih edilmiştir. Günümüzde ise kurutma işlemi, endüstriyel ve mekanik sistemlerle desteklenmektedir. Bu kapsamda vakum tüplü veya sıcak hava üfleli sistemler gibi uygulamalar, kurutma sürecini hızlandırarak işlemdeki faaliyeti artırmıştır. Ayrıca bu sistemler, ürünlerin doğal formuna daha yakın özelliklerde kalmasını sağlamaktadır. Örneğin, mikrodalga ile kurutma veya güneş takipli kurutma gibi yeni teknikler, hız ve enerji tasarrufu sağlarken, besin değerlerini bozmadan kurutmaya olanak sağlamaktadır. Şekil 2.1-4 arasında çeşitli gıda kurutma yöntemleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Gıda kurutma yöntemleri – güneşte yöresel kurutma örneği



Şekil 2.2. Gıda kurutma yöntemleri – fırında kurutma örneği



Şekil 2.3. Gıda kurutma yöntemleri – kükürtleme yöntemi ile kurutma örneği



Şekil 2.4. Gıda kurutma yöntemleri – liyofilizatör ile kurutma örneği

Mevsimsel gıda saklama teknikleri, tarımsal ürünlerin bol olduğu dönemlerde üreticilerin hasat fazlasını daha sonra tüketebilmek veya pazarlayabilmek amacıyla

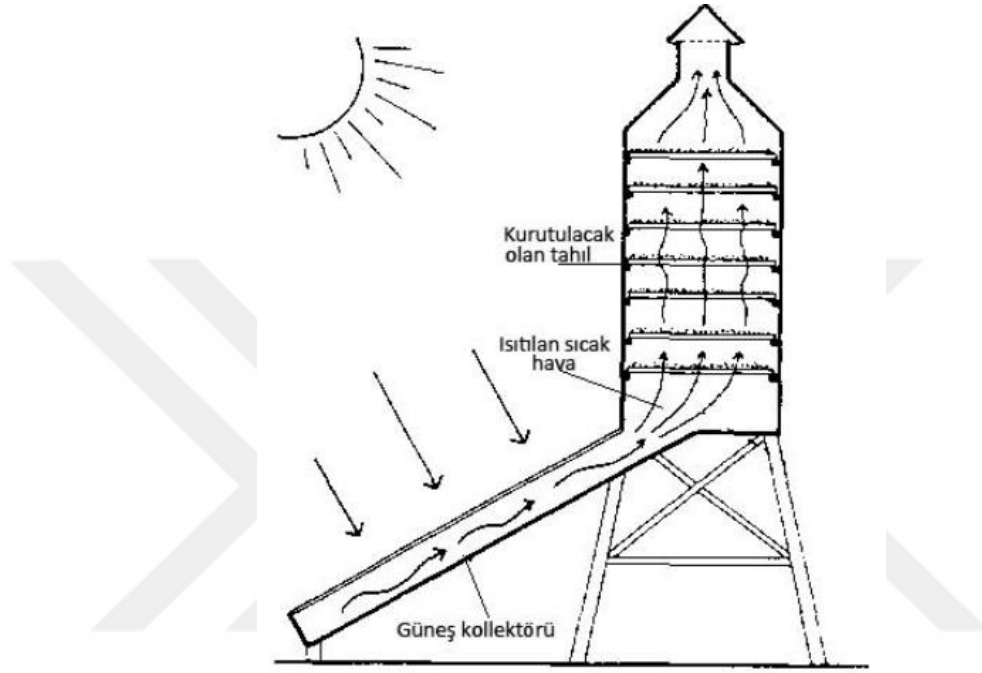
depolayabilmesini sağlamaktadır. Gıda kurutma işlemleri, bu kapsamda ürünlerin uzun süre saklanabilmesini sağlayarak mevsim dışı dönemlerde bile taze gıda sunulmasına katkı sağlar. Ayrıca, bu teknik gıda israfını azaltmada da oldukça önemlidir. Gıdaların bozulmadan muhafaza edilebilmesi sayesinde atık miktarı azalır ve kaynak verimliliği artar. Endüstriyel boyutta bu yöntemlerin kullanımının artması, gıda kayıplarını azaltarak sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği hedeflerini desteklemektedir. Gıda kurutma teknolojilerinin yalnızca haftalık veya aylık saklama değil, mevsimsel gıda saklamayı da kapsayarak oluşturduğu katkı, özellikle geleneksel ve modern yöntemlerin entegrasyonu ile daha etkili hale gelmiş ve sürekli gelişen bir alan yaratmaktadır.

Doğal kurutma yöntemleri, düşük maliyetli ancak çevresel koşullara bağımlı olması nedeniyle bazı kısıtlamalara sahiptir. Güneşte-yöresel kurutma gibi geleneksel yöntemler basit ve erişilebilir olmasına rağmen, kontrolsüz sıcaklık ve nem koşulları nedeniyle kalite kayıpları yaşanabilir. Endüstriyel kurutma yöntemleri ise daha kontrollü koşullarda kurutma işlemini gerçekleştirme imkânı sunar. Özellikle sıcak hava üfleme veya vakum tüplü sistemler, hızlı ve homojen bir kurutma sağlar ve ürün kalitesini optimize edebilir. Endüstriyel sistemlerin yüksek verimlilik sunması, tarımsal üreticiler için avantajlıdır. Bu yüzden endüstriyel kurutma ve muhafaza yöntemleri, enerji verimliliği yönünden daha önde olması ve kontrol avantajına olanak sağladığından, gıda sanayisinde tercih edilme oranını artırmaktadır.

Güneş enerjisinin tarımsal süreçlerde kullanımı, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri ise tarım ürünlerinin kalitesini koruyarak verimlilik sağlar.

Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri, doğrudan güneş ışığından veya sıcak hava üfleme sistemlerinden faydalanarak gıdaları kurutmaktadır. Bu sistemler, tarımsal üretimde enerji bağımlılığını azaltırken, ürünlerin doğal özelliklerini de korumaktadır. Sistemlerin temel yapısında, güneş enerjisinin verimli kullanımı ve kurutma işleminin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenir. Güneş enerjili kollektör destekli gıda kurutma makine modeli Şekil 2.5'te görselleştirilmiştir. Bu kurutma sistemlerinde

sıcaklık ve nem oranları izlenebilir ve kontrol edilebilir, böylece ürünler bozulmadan saklanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları yüksek maliyetli enerji kaynaklarına alternatif olarak kullanılabilirliği, özellikle kırsal bölgelerde de güneş enerjisi destekli tarımsal üretim avantajlı hale gelecektir.



Şekil 2.5. Kollektörlü kurutma kabini çalışma prensibi (Güngör ve Özbalta, 2023)

Güneş takip sistemlerinin kullanımı, enerji verimliliğini %30-40 artırarak kurutma süresini %35 oranında kısaltabilir ve bu da özellikle kırsal alanlarda enerji maliyetlerinin düşmesine olanak sağlayacağı, bir akademik kaynakta ifade edilmiştir (Kang ve ark., 2022).

Doğrudan güneş enerjisi kullanımı, en basit kurutma yöntemlerinden biridir ve geleneksel tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu süreçte, ürünler güneş ışığı altında serilerek kurutularak doğal yollarla nemini kaybetmektedir. Ancak doğrudan güneş enerjisi kullanımı, çevresel faktörlere olan bağımlılığı nedeniyle dezavantajlar içerir. Örneğin hava şartlarının kontrol edilememesi, ürünlerin kuruma sürecini yavaşlatabilir veya kalitesini etkileyebilir. Bu yöntemin düşük maliyetli ve basit bir uygulama modeli sunması avantajlı görülebilir, fakat modern teknoloji desteği ile tarımda

daha kontrollü ve hızlı yöntemlerin gerekliliği bir ihtiyaç haline gelerek, doğrudan güneş enerjisi kullanımının sınırlılığını ortaya koymaktadır.

Güneş enerjili kurutma sistemleri, pasif ve aktif olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Pasif kurutma sistemleri, güneş enerjisinden doğrudan yararlanarak düşük maliyetli kurutma sağlar, ancak kontrol edilebilirlik açısından sınırlıdır. Ürünlerin doğal hava şartlarınca kurumaya bırakıldığı bu sistemlerde nemin uzaklaştırılması yavaş ve kontrolsüz gerçekleşmektedir.

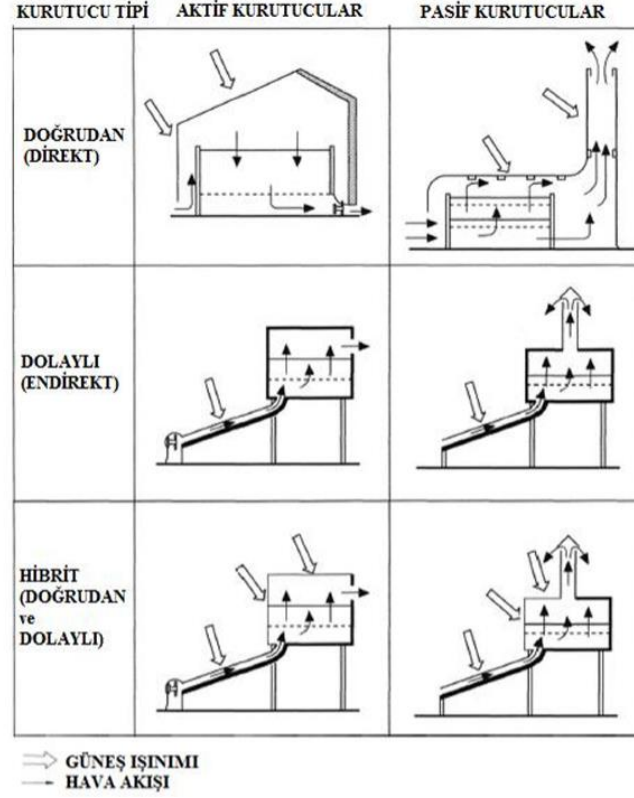
Aktif kurutma sistemleri ise fanlar ve güneş panelleri gibi donanımlar kullanarak daha hızlı ve kontrollü bir kurutma süreci sağlar. Bu sistemlerde, sıcaklık ve hava akışı kontrol edilerek ürün kalitesi korunur, haliyle işlem süresi de kısalmaktadır. Aktif sistemler daha maliyetli olsa da enerji verimliliği ve kurutma kalitesi hatta kontrol edilebilirlik imkânı açısından avantaj sunarak tarım ürünlerinin kalite kaybı yaşamadan kurutulma kolaylığını kullanıcıya sunmaktadır. Şekil 3.6'da aktif kurutma örneği sera tipli kurutma tarlası sunulmaktadır.



Şekil 2.6. Aktif kurutma -güneş enerjili kollektörlü sera tipli kurutma tarlası

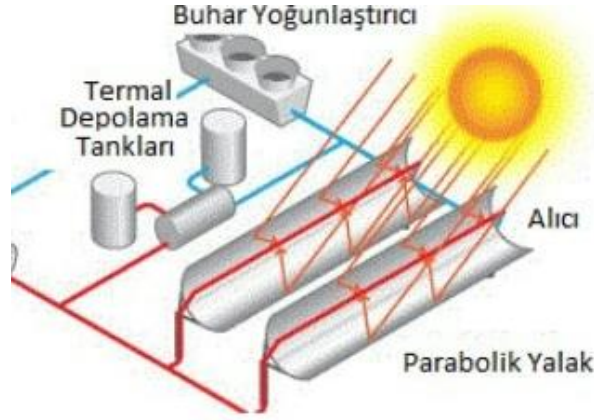
Bir makalede, Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri, tarımsal kurutma sürecini hızlandırmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için önemli olduğu, Pasif kurutma

sistemlerinin verimliliği %20-25 seviyelerinde kalırken, aktif sistemlerde bu oranın %60'a kadar çıktığını belirtilmektedir (Martynenko ve Vieira, 2023). Şekil 2.7'de çeşitli aktif ve pasif güneş enerjili kurutma sistemlerine örnek modeller bulunmaktadır.

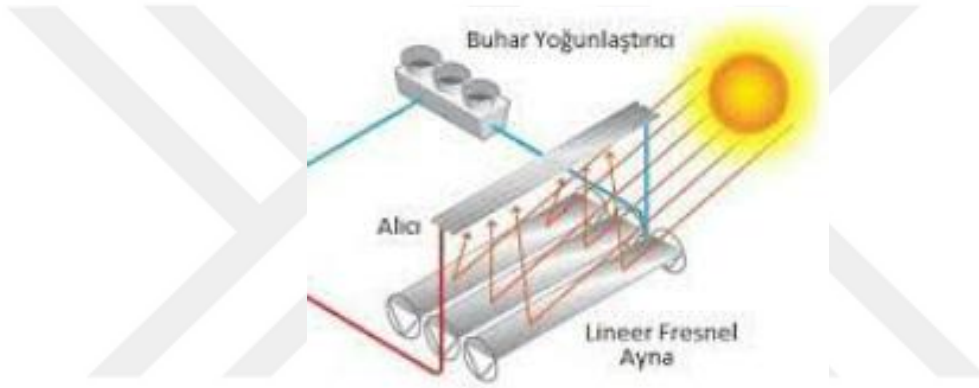


Şekil 2.7. Tipik güneş enerjisi kurutucu tasarımları (Güngör ve Özbalta,2023)

Yenilikçi güneş enerjili kurutma sistemleri, teknolojik gelişmelerle daha verimli hale gelmiştir. Bu sistemler, güneş takip sistemleriyle donatılarak gün boyu maksimum güneş ışığını toplar ve verimliliği artırmaktadır. Örneğin, vakum tüplü sistemler, yüksek sıcaklıkta ve düşük basınçta suyu buharlaştırarak ürünler daha hızlı kuruyabilir. Ayrıca, parabolik kolektörler ve sıcak hava üfleme sistemleri gibi teknikler sayesinde, tarım ürünleri besin değerinin korunması sağlanabilir. Bu yenilikçi sistemler, kurutma işlemini çevresel faktörlerden bağımsız hale getirerek ve tarımsal verimliliği artırır. Şekil 2.8'de parabolik ve Şekil 2.9'da doğrusal güneş enerjisi kullanımı için modeller yer almaktadır.



Şekil 2.8. Parabolik kollektör yatak destekli termal depolama modeli



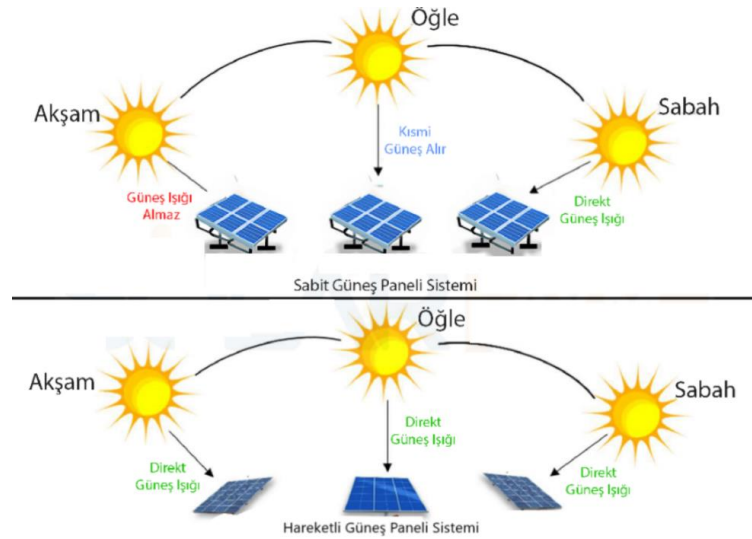
Şekil 2.9. Doğrusal yatak destekli termal depolama modeli

Güneş takip sistemleri, kurutma işleminin daha verimli hale getirilmesi için kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemler, güneş panellerinin güneşi gün boyunca takip etmesini sağlar. Güneş ışığından maksimum düzeyde yararlanılır. Tarımda güneş takip sistemlerinin kullanımı, kurutma sürecini hızlandırarak enerji maliyetlerini düşürür. Özellikle gün içinde ışık miktarının düşük olduğu sabah ve akşam saatlerinde de enerji elde edilmesini sağlayarak yöreselde elde edilen verimliliği kat be kat artırmaktadır.

Güneş takip sistemleri, güneşin konumuna göre hareket eden mekanizmalardan oluşur. Bu sistemlerde kullanılan giriş elemanları yani sensörler, güneş ışığını algılar ve çıkış elemanı yani motorlar, panellerin pozisyonunu otomatik olarak ayarlarlar. Güneşin açısına göre hareket eden paneller, gün boyu optimum yani güneş ışınlarına dik açıda kalarak maksimum enerji toplanmasına olanak sağlar. Mekatronik tabanlı olan bu sistemler, güneş enerjisinin verimli kullanımı açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

Güneş takip sistemleri, enerjiyi sabit sistemlere kıyasla %30 ila %40 oranında daha verimli kullanır. Takip sistemleri, gün boyunca güneşten maksimum oranda yararlanılmasını sağlayarak enerji maliyetlerini azaltır ve çevresel sürdürülebilirliği destekler. Özellikle tarımsal alanlarda kullanılan bu sistemler, daha az enerji tüketimi ile yüksek verim sağlar. Tarımsal kurutma işlemlerinde güneş takip sistemlerinin kullanılması hem ürün kalitesini korur hem de enerji tasarrufu sağlar.

Güneş takip sistemleri, sabit sistemlere göre daha fazla enerji toplama kapasitesine sahiptir. Sabit sistemler, güneşin gün boyunca değişen açısına uyum sağlayamazken, güneş takip sistemleri hareketli yapıları sayesinde sürekli olarak maksimum ışık açısında konumlanır. Bu durum, güneş enerjisinin verimliliğini artırır ve enerji maliyetlerini düşürür. Tarımsal kurutma işlemlerinde, sabit sistemlerle elde edilemeyen yüksek sıcaklıklar, takip sistemleri sayesinde sağlanır. Enerji verimliliğini artıran bu sistemler, uzun vadede işletme maliyetlerini düşürerek tarım sektörü için önemli bir avantaj sunar. Şekil 2.10'da takipli ve takipsiz sistemin gün boyu ışık olma sürelerini ifade eden şema yer almaktadır.



Şekil 2.10. Güneş takipli ve takipsiz sistemde panellerin aydınlık kıyaslaması

Vakum tüplü parabolik kolektörler, güneş enerjisinin yüksek verimde kullanılabilmesi için geliştirilmiş yenilikçi sistemlerdir. Bu kolektörler, odaklanmış güneş ışığını bir vakum tüpüne yönlendirerek ısı transferi verimliliğini artırır ve enerji maliyetlerini

düşürür. Bu bölümde, vakum tüplerinin yapı özellikleri, çalışma prensipleri ve tarımsal kurutma uygulamalarında sağladıkları avantajlar ele alınacaktır.

Vakum tüplerinin temel özelliği, ısı ve ısıнын verimli şekilde emilerek yüksek sıcaklıklara ulaşılmasını sağlamalarıdır. Tüplerin içindeki vakum, ısı kaybını minimuma indirir ve elde edilen sıcaklığı korur. Güneş ışığı vakum tüpü içerisinde yoğunlaşarak yüksek sıcaklık yaratır, bu sıcaklık ise kurutulacak tarım ürünlerine doğrudan veya dolaylı olarak aktarılır. Vakum tüplü sistemlerde sıcaklık kayıpları oldukça düşüktür, bu da onları sürdürülebilir tarımsal uygulamalarda değerli bir araç haline getirir.

Vakum tüpler, çift cam tabakalı ve vakumla yalıtılmış yapıları sayesinde yüksek verimlilikte çalışırlar. İç yüzey, güneş ışığını maksimum seviyede emen özel bir kaplamaya sahiptir. Bu kaplama, gelen ışığın iç yüzeyde yoğunlaşmasını sağlar. Dış yüzey ise, ısı kaybını önleyen malzemeden yapılmıştır. Böylece, vakum tüpler güneş enerjisini minimum kayıpla ısıya dönüştürebilir. Tasarımları, farklı iklim koşullarında bile sabit sıcaklık sağlamalarına olanak tanır. Vakum tüplü sistemlerin tasarım avantajları, geleneksel güneş kolektörlerinden daha yüksek sıcaklık üretmelerini sağlar ve kurutma sürecinde etkinliklerini artırır.

Vakum tüpler, güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Tüplerin vakumla yalıtılmış yapısı, güneş enerjisinin daha az enerji kaybıyla iletilmesini sağlar. Bu sistemler, geleneksel sistemlere göre %30-40 daha fazla enerji verimliliği sunar. Isı kaybını en aza indirmeleri sayesinde, düşük güneş ışığı altında bile etkin bir kurutma süreci yürütülebilir. Böylece, tarımsal kurutma gibi enerji yoğun işlemler, daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir. Vakum tüplerinin sunduğu yüksek enerji verimliliği, özellikle büyük ölçekli kurutma işlemlerinde avantaj sağlamaktadır.

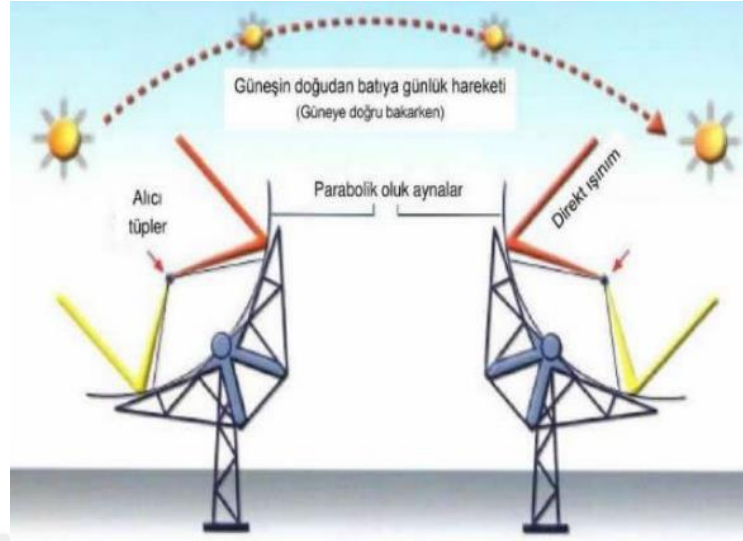
Vakum tüplü kurutma sistemleri, ısı kaybını %95 oranında azaltır ve iç sıcaklığı 100°C'nin üzerinde tutarak hızlı kuruma sağlar. Bu sistemler, kurutma işlemini geleneksel sistemlere göre %50 daha hızlı tamamlar ve enerji verimliliğini %30'a kadar artırır. Parabolik kolektörlerin güneş ışığını %90 oranında odaklayabilmesi de sistemin

etkinliğini artıran önemli bir faktördür (Alibaş ve ark., 2021; Kang ve ark., 2022).

Vakum tüplü sistemlerde ısı transferi, iç yüzeyin ışığı emilmesiyle başlar ve tüp içinde yüksek sıcaklıklara ulaşır. Isı transferi verimliliği, vakum ortamı sayesinde maksimuma çıkar. Vakum tüpler, ortam sıcaklığından bağımsız olarak yüksek sıcaklıklara ulaşabildiği için, tarımsal kurutma işlemlerinde sürekli bir ısı kaynağı sağlar. Yapılan analizlerde, vakum tüplerin kullanıldığı sistemlerin enerji maliyetlerinde %30'a varan bir azalma olduğu gösterilmiştir. Bu sistemlerin termal verimliliği ve homojen ısı dağılımı, özellikle tarımsal ürünlerin kalite kaybını önler ve kurutma işlemlerini hızlandırır.

Parabolik kolektörler, güneş ışığını belirli bir noktada yoğunlaştırarak yüksek sıcaklıklar elde edilmesini sağlar. Bu kolektörler, odaklanmış güneş enerjisi sayesinde, tarımsal kurutma gibi işlemlerde kullanılan ısıнын daha verimli elde edilmesine katkı sağlar. Parabolik yapısı, enerji verimliliğini artırmakta ve daha az enerji kaybıyla yüksek sıcaklık sağlamaktadır. Böylece, tarımsal üretimde enerji verimliliği artarken, maliyetler düşer.

Parabolik kolektörlerin yapısal özellikleri, güneş ışığını odaklayarak enerji verimliliğini artırır. Kolektör yüzeyi, yansıtıcı bir kaplamayla donatılmıştır ve gelen güneş ışığını tek bir odak noktasına yoğunlaştırır. Bu odaklanma, Şekil 2.11'de görüldüğü üzere parabolik yüzey, hareket doğrultusu sayesinde sürekli ışıını merkezde toplar ve kolektör geleneksel sistemlere göre çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşır. Parabolik kolektörlerin ışık odaklama yetenekleri, tarımsal ürünlerin kurutulmasında veya gıda işleme işlemlerinde yüksek enerji gereksinimlerini karşılayacak kapasiteye sahiptir.



Şekil 2.11. Güneş takibi sonucu parabolik kollektörün hareket modeli

Parabolik kolektörler, yüksek sıcaklık elde etmenin yanı sıra sıcaklığın kontrol edilmesine de katkı sağlar. Parabolik yapının odaklama kabiliyeti, sıcaklığın istenen seviyelerde tutulmasını sağlar ve bu durum, kurutulacak ürünlerin zarar görmesini engeller. Sıcaklık kontrolü, özellikle hassas tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında büyük önem taşır. Parabolik kolektörler, bu işlemi daha kontrollü hale getirerek ürünlerin besin değeri kaybetmeden kurutulmasını mümkün kılar.

Parabolik kolektörler, gıda kurutma ve tarım ürünleri işleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Tarım teknolojilerinde bu kolektörler, meyve ve sebze kurutma işlemlerinde enerji maliyetlerini düşürmekte ve daha yüksek verim sağlamaktadır. Yüksek sıcaklık ihtiyaçlarını karşılama kapasiteleri, kolektörleri tarım sektöründe popüler hale getirmiştir. Parabolik kolektörlerin tarımsal kurutma işlemlerindeki başarısı, enerji verimliliği ve düşük maliyet avantajı sayesinde, bu sistemlerin tarımsal üretim ve kurutma uygulamalarında kullanımını artırmaktadır.

Tokat patlıcanı, Türkiye'nin yöresel gıda ürünlerinden biri olarak öne çıkmakta ve kurutulmuş formuyla yaygın bir tüketim alanı bulmaktadır. Kurutma süreci, bu ürünün daha uzun süre saklanabilmesine ve pazarda mevsim dışı dönemlerde de bulunabilmesine katkı sağlar. Tokat patlıcanı, kurutma işlemi sayesinde lezzet ve besin değerini koruyarak daha geniş bir pazar alanına hitap edebilir. Bu bölümde, Tokat patlıcanının tarımsal ve

ekonomik önemi, yöresel gıda ürünlerinin korunması ve pazarlanması ile patlıcanın kurutma sürecindeki uygunluk özellikleri ele alınmaktadır.

Tokat patlıcanı, coğrafi işaret tesciliyle korunmuş bir ürün olup hem yerel hem de ulusal ekonomiye katkı sağlar. Kurutma yöntemi, bu ürünün yıl boyunca saklanabilmesi ve kırsal ekonomiye katkıda bulunması açısından önemlidir. Kurutma işlemi ayrıca, patlıcanın mevsim dışı dönemlerde de pazarda yer bulmasını sağlayarak tarımsal sürdürülebilirliği desteklemektedir. Şekil 2.12’de genelde kış mevsiminde tüketilen kurutulmuş patlıcan kullanılarak yapılabilen çeşitli yemek türleri yer almaktadır.



Şekil 2.12. Kurutulmuş patlıcan ile çeşitli yöresel yemekler

Tokat patlıcanı, yüksek besin değeri ve benzersiz aroması ile özellikle Tokat ilinde yoğun şekilde yetiştirilen ve yöresel mutfakın vazgeçilmez bir parçası olan bir üründür. Bu patlıcan çeşidi, özellikle kurutulmuş formuyla pazarda değer kazanır. Tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olan Tokat patlıcanı, kurutma sayesinde uzun süre saklanabilir ve yöre halkı için ekonomik bir değer yaratır. Kurutulmuş Tokat patlıcanı, geleneksel yemeklerde kullanılması sayesinde kültürel değeri de korur ve bu durum, ürünün pazarlanabilirliğini artırır. Tokat patlıcanının kurutulma yoluyla sağlanan katma değeri hem yerel üreticiler hem de bölge ekonomisi için oldukça önemlidir.

Yöresel gıda ürünlerinin korunması ve pazarlanması, kültürel mirasın devam ettirilmesi açısından önemlidir. Tokat patlıcanı gibi coğrafi işaretli ürünlerin geleneksel yöntemlerle üretilip korunması, bu ürünlerin yerel halk için ekonomik fayda sağlamasına olanak tanır. Ayrıca, kurutma gibi geleneksel yöntemlerin bu ürünlerde kullanılması, doğallık ve sağlık açısından tüketicilerde güven oluşturur. Tokat patlıcanı gibi ürünlerin korunarak pazarlanması, kırsal turizmi destekler ve yerel ekonomiyi güçlendirir. Yöresel gıdaların ulusal ve uluslararası pazarlara açılabilmesi, kırsal kalkınmayı destekler ve kültürel ürünlerin tanıtımını artırır.

Tokat patlıcanı, yapısal özellikleri sayesinde kurutma işlemine oldukça elverişli bir üründür. Yüksek su içeriği, kurutma işlemi sırasında etkin bir nem uzaklaştırılması sağlar ve patlıcanın besin değeri korunur. Ayrıca patlıcanın lifli yapısı, kurutma işlemi sırasında bozulmadan kalmasını kolaylaştırır. Bu bağlamda, Tokat patlıcanı kurutma işlemi için uygun bir ürün olarak değerlendirilir. Geleneksel olarak güneşte kurutulabildiği gibi, parabolik kolektör destekli sistemlerle de kurutulabilmektedir. Bu sayede kurutma işlemi daha kısa sürede tamamlanabilir.

Tokat patlıcanı gibi yöresel ürünlerin kurutulmasında kullanılan geleneksel yöntemler, uzun süreli deneyime dayanan doğal yöntemlerdir. Ancak, modern kurutma teknolojileri ile bu işlemler hızlandırılabilir ve daha kontrollü hale getirilebilir.

Geleneksel kurutma yöntemleri, genellikle güneşte kurutma şeklinde uygulanır ve düşük maliyetlidir. Ancak, bu yöntemlerde çevresel faktörlere bağımlılık yüksektir. Güneş ışığı, sıcaklık ve nem koşullarının değişkenliği, kurutma sürecini olumsuz etkileyebilir ve kurutma süresini uzatabilir. Modern yöntemler ise, kontrollü ortamda kurutma işlemi sağlayarak çevresel etkileri minimize eder. Vakum tüplü veya parabolik kolektör destekli kurutma sistemleri, modern kurutma yöntemlerine örnek olarak verilebilir ve ürün kalitesini koruyarak kurutma süresini kısaltan sistemler olduğu gözlemlenmektedir.

Parabolik kolektör destekli kurutma sistemleri, güneş enerjisinin verimli kullanımını sağlayarak geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve kontrollü bir kurutma işlemi sunar.

Parabolik yapının ışık odaklama özelliği sayesinde yüksek sıcaklıklara ulaşılır ve bu durum, ürünlerin kısa sürede kurumasına katkıda bulunur. Tokat patlıcanı gibi ürünlerde kullanılan parabolik kolektör destekli sistemler, geleneksel kurutma yöntemleri ile elde edilemeyen yüksek kalite ve hız sağlar. Bu sistemler, enerji verimliliği sağlarken ürün kalitesini de üst düzeyde tutar.

Yöresel kurutma yöntemleri, genellikle doğal koşullara bağımlı olarak gerçekleşirken, endüstriyel kurutma yöntemleri kontrollü ortamlar sağlar. Yöresel yöntemler daha düşük maliyetli ve doğal bir süreç sunarken, endüstriyel yöntemler daha hızlı sonuç verir ve ürün kalitesini artırır. Tokat patlıcanı gibi ürünlerin kurutulmasında, endüstriyel kurutma sistemleri ürünün bozulmadan uzun süre saklanmasını sağlar ve kurutma sürecini hızlandırır. Bu karşılaştırma, kurutma işlemi için uygun yöntemin seçilmesinde belirleyici olur ve kurutma işleminde kalite, hız ve maliyet unsurlarının optimize edilmesini sağlar.

Dilim kalınlığı ve şekli, kurutma sürecinde nem kaybını ve kurutmanın homojenliğini belirleyen temel unsurlardandır. Dilimleme, özellikle tarımsal ürünlerde, kurutma süresini doğrudan etkileyerek ürün kalitesinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Şekil 2.13'te geleneksel (yatayda) ve endüstriyel (dairesel) kesim patlıcan dilimleri görülmektedir.



Şekil 2.13. Geleneksel kesim ve dairesel kesim patlıcan dilimi örnekleri

Dilim kalınlığı ve şekli, kurutulacak ürünün nem kaybını ve kuruma sürecini doğrudan etkiler. İnce dilimler, geniş yüzey alanları sayesinde daha hızlı kururken, kalın dilimler daha fazla nem içerdiği için daha uzun süre kurur. Bu nedenle, dilim kalınlığının belirlenmesi, ürünün kuruma süresini optimize etmek için önemlidir. Ayrıca, dilimlerin şekli de nemin dışarı çıkış hızını ve kurutma kalitesini etkiler. Farklı kalınlıklarda dilimlenen ürünlerin kuruma süreleri, yüzey alanına bağlı olarak değişiklik gösterir. İnce dilimler, yüksek yüzey alanları nedeniyle daha hızlı kurur ve bu da enerji tasarrufu sağlar. Örneğin, 3 mm kalınlığındaki patlıcan dilimleri 5 mm kalınlığındaki dilimlere göre daha hızlı kuruyarak zaman ve enerji açısından avantaj sağlar. Bu ilişki, özellikle yüksek hacimde kurutma yapılan endüstriyel süreçlerde önem kazanır. Kalın dilimlerin ise iç kısımlarındaki nemin buharlaşması daha uzun sürer, bu da kurutma süresini artırarak işlem verimliliğini düşürür.

Dilim kalınlığının kurutma süresi üzerinde doğrudan etkisi vardır. 3 mm kalınlığındaki patlıcan dilimlerinin, 5 mm dilimlere göre %50 daha hızlı kuruduğu ve enerji tasarrufu sağladığı gösterilmiştir (Pacherrez ve ark., 2022). Endüstriyel dilimlerin homojen kalınlığı sayesinde %20 daha yüksek kurutma verimliliği sağlanmaktadır (Kang ve ark., 2022).

Endüstriyel kurutma işlemlerinde dilimlerin homojen kalınlıkta olması ve standart şekillerde kesilmesi, kurutma performansını artırır. Bu dilimler, modern kurutma sistemlerinde eşit hava akışı sağlanarak daha hızlı kuruma sağlar. Geleneksel kurutma yöntemlerinde ise dilimler çoğu zaman elle hazırlandığı için kalınlık ve şekil açısından homojenlik sağlanamaz. Bu durum, kuruma süresini uzatabilir ve dilimlerin farklı hızlarda kurumaya yol açabilir. Endüstriyel dilimlerin kurutma süresini kısaltması ve enerji maliyetini düşürmesi, büyük ölçekli tarımsal kurutma işlemlerinde önemli bir avantajdır.

Dilim boyutları, kurutma sırasında nem kaybı ve ürün kalitesinin korunmasında kritik rol oynar. İnce dilimlerde nemin daha hızlı dışarı çıkması nedeniyle kurutma süreci hızlanırken, lezzet ve besin değerlerinin korunması sağlanır. Ancak aşırı ince dilimlerin

kuruma sırasında yapısal bozulma ve lezzet kaybı yaşama riski yüksektir. Kalın dilimlerde ise nem iç kısımlarda daha uzun süre kalarak, lezzet kaybını minimize eder ancak kuruma süresini uzatır. Bu nedenle, optimum dilim kalınlığının belirlenmesi, ürün kalitesini korumak için önemlidir. Lezzet koruma açısından, özellikle yöresel ürünlerde doğru dilim kalınlığı büyük önem taşır.

Dilimleme tekniklerinin kurutma etkinliği üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, farklı gıda ürünlerinde değişen dilim kalınlıklarının ve şekillerinin kurutma sürecini nasıl etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bölümde, farklı gıda ürünleri için yapılan araştırmalar incelenerek, tarımsal kurutma süreçlerinde dilimleme tekniklerinin verimlilik üzerine etkileri ele alınacaktır. Yöresel ürünler üzerindeki çalışmalara da yer verilerek, endüstriyel ve geleneksel yöntemlerin karşılaştırması yapılacaktır. Farklı gıda ürünleri üzerinde yapılan çalışmalar, dilim kalınlığının kurutma süresi üzerinde belirgin etkileri olduğunu göstermiştir. Örneğin, elma ve havuç gibi ürünlerin ince dilimlenmiş halleri, kalın dilimlere göre daha hızlı kurur. Bu ürünlerde yapılan deneysel çalışmalar, her bir kalınlık seviyesinin kuruma süresi üzerinde nasıl bir fark yarattığını ortaya koymaktadır. Literatürde yer alan bu araştırmalar, kurutma süresi açısından optimum dilim kalınlıklarının belirlenmesine katkı sağlar ve enerji tasarrufu sağlar.

Dilimleme teknikleri, tarımsal ürünlerin kurutma verimliliğini artırmak amacıyla farklı şekillerde uygulanmaktadır. Endüstriyel kesim makineleri, dilim kalınlığını hassas bir şekilde kontrol ederek homojen bir kurutma sağlar. Geleneksel yöntemlerde ise bu homojenlik sağlanamayabilir ve bu durum, kurutma süresinin artmasına yol açabilir. Tarım ürünlerinde dilimleme teknikleri üzerine yapılan çalışmalarda, modern kesim teknolojilerinin kurutma verimliliğini artırarak ürün kalitesini koruduğu belirtilmiştir. Bu da tarımsal süreçlerin daha verimli hale gelmesini sağlar.

Yöresel ürünlerin kurutulması ve dilimlenmesi üzerine yapılan çalışmalar, geleneksel yöntemlerin endüstriyel tekniklerle nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koyar. Örneğin, Tokat patlıcanı gibi yöresel ürünlerde geleneksel dilimleme yöntemleri kullanılırken, endüstriyel işlemler daha kontrollü sonuçlar sağlar. Dilimleme ve kurutma yöntemleri

üzerine yapılan karşılaştırmalar, yöresel ürünlerin özgün lezzetini korurken aynı zamanda kaliteyi artırmanın yollarını araştırmakla beraber, dilimleme tekniğinin hem yöresel hem de endüstriyel uygulamalarda ürün kalitesine olan etkisini açıklar ve optimum kurutma sürecinin belirlenmesine katkıda bulunur.

Kurutma sistemlerinde fan hızının ayarlanması, kurutma sürecinin verimliliği ve homojenliği açısından kritik bir rol oynar. Fan hızı, kurutma kabinde hava akışını artırarak nemin dışarıya hızlıca taşınmasını sağlar ve bu da kuruma süresini kısaltır. Fan hızı, kurutma kabinde hava dolaşımını artırarak nemin etkili şekilde uzaklaştırılmasına olanak tanır. Yüksek fan hızı, havanın daha hızlı hareket etmesini sağlayarak nemi dışarı taşır ve kuruma süresini kısaltır. Ancak, fan hızının çok yüksek olması ürünün yüzeyinde kuruma hızını artırırken iç kısımların yavaş kurumasına sebep olabilir, bu da homojenliği olumsuz etkileyebilir. Farklı fan hızlarının kullanılması, kurutma süresi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Düşük fan hızlarında kurutma süresi uzarken, yüksek hızlarda nemin hızlı bir şekilde dışarı taşınması sağlanır ve bu da kurutma süresini kısaltır. Ancak, fan hızının optimal değerden fazla artırılması, enerji tüketimini artırır ve ürün yüzeyinde hızlı kuruma nedeniyle bazı kalite sorunlarına yol açabilir. Örneğin, tarımsal ürünlerde yüzeyde meydana gelen hızlı kuruma, iç kısmın nemli kalmasına neden olarak homojen bir kuruma sürecini engeller. Fan hızı, kurutma kabindeki sıcaklık dağılımını dengeleyerek sıcaklık homojenliğini sağlar. Yüksek fan hızları, sıcak havanın kabin içerisinde eşit şekilde dağılmasını sağlayarak tüm ürünlerin aynı oranda ısınmasını ve kurumasını mümkün kılar. Sıcaklık homojenliği, özellikle hassas tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında önem taşır. Fan hızının düşük olduğu durumlarda sıcaklık dağılımında dengesizlikler oluşabilir ve bu da ürünlerin farklı hızlarda kurumasına yol açabilir. Fan hızının artırılması, kabindeki hava dolaşımını hızlandırarak kurutma süresini %20'ye kadar kısaltabilir ve sıcaklık homojenliğini %15 artırır (Martynenko ve Vieira, 2023; Alibaş ve ark., 2021). Ancak yüksek fan hızları enerji tüketimini artırdığından optimum fan hızının belirlenmesi önemlidir.

Optimum fan hızının belirlenmesi, kurutma sürecinin verimliliği açısından kritik bir faktördür. Fan hızı, enerji maliyetlerini ve ürün kalitesini doğrudan etkiler. Yapılan

verimlilik analizleri, enerji tasarrufu sağlayacak ve ürün kalitesini koruyacak en uygun fan hızını belirlemeye yöneliktir. Bu analizler, farklı fan hızlarında enerji tüketimi ve kuruma süresi gibi faktörlerin değerlendirilmesiyle yapılır. Optimum fan hızının belirlenmesi, tarımsal kurutma süreçlerinde verimliliği artırırken enerji maliyetlerini düşürerek çevresel sürdürülebilirliği destekler.

Bu çalışma, güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırarak, enerji tasarrufu sağlamak ve ürün kalitesini korumak amacıyla geliştirilmiştir. Araştırma, tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan yenilikçi teknolojilerin değerlendirilmesiyle gıda israfını azaltmayı ve raf ömrünü uzatmayı hedeflemektedir. Yöresel ürünlerin kalitesini koruyarak ekonomik katkı sunmak ve güneş enerjisinin tarımsal uygulamalarda kullanımını yaygınlaştırmak, çalışmanın temel hedeflerindendir. Tarımsal kurutma işlemlerinin daha verimli hale getirilmesi için belirlenen hedefler; kurutma süresini kısaltmak, enerji tasarrufu sağlamak ve yöresel ürünlerin kalitesini koruyarak gıda israfını azaltmaktır. Çalışma, bu hedefler doğrultusunda tarımsal kurutma teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik bilimsel katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Kurutma süresini kısaltmak, enerji maliyetlerini düşürmenin ve süreç verimliliğini artırmanın en önemli yollarından biridir. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri, enerjiyi verimli kullanarak düşük enerji tüketimi sağlar ve çevresel sürdürülebilirliği destekler. Optimum kurutma süresi ve fan hızının belirlenmesi yoluyla, tarımsal kurutma işlemlerinde enerji tasarrufu sağlamayı ve işletme maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Yöresel ürünlerin kurutulması sırasında kalitenin korunması, ürünlerin pazar değeri açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, Tokat patlıcanı gibi yöresel ürünlerin doğal lezzet ve besin değerlerinin korunması için, optimum sıcaklık ve fan hızının belirlenmesi sağlanacaktır. Yöresel ürünlerin kalite kaybı yaşamadan kurutulması, ürünlerin hem yerel hem de ulusal pazarda rekabet gücünü artırır. Gıda israfını azaltmak ve ürünlerin raf ömrünü uzatmak, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önemlidir. Kurutma işlemi, mevsimsel

olarak üretilen gıdaların daha uzun süre muhafaza edilmesini sağlayarak, israfın önlenmesine katkı sunar. Tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatarak hem tüketiciye hem de üreticiye uzun vadeli ekonomik faydalar sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın tarımsal üretim ve enerji alanlarına olan katkıları, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal uygulamalarda kullanımını teşvik etmek, bölgesel ekonomiyi desteklemek ve yenilikçi kurutma teknolojilerini yaygınlaştırmak şeklinde özetlenebilir. Çalışmanın sonuçları, güneş enerjisinin tarımsal alanda kullanım potansiyelini ortaya koyarak, enerji verimliliği ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemli kazanımlar sunacaktır.

Güneş enerjisinin tarımda kullanımı, enerji maliyetlerini düşürerek sürdürülebilir bir üretim sağlar. Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinin verimliliği değerlendirilerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda daha yaygın kullanılmasına yönelik bilimsel kanıtlar sunulacaktır. Bu teşvik hem enerji maliyetlerini düşürmekte hem de çevresel etkileri azaltmaktadır. Yöresel ürünlerin kalitesini koruyan kurutma sistemleri, yerel üreticilere ekonomik katkı sağlayarak, Tokat patlıcanı gibi ürünlerin yüksek kalitede kurutulmasını ve bölgesel ekonomiye katkıda bulunulmasını amaçlamaktadır. Üreticilerin daha kaliteli ürün sunmaları, ekonomik olarak kazançlarını artırarak yerel halkın geçim kaynaklarını güçlendirir.

Yenilikçi kurutma teknolojileri, tarımda verimliliği artırarak enerji maliyetlerini düşürür ve daha kaliteli ürünler sunar. Bu çalışmanın sonuçları, tarım sektöründe yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi ve güneş enerjisi destekli sistemlerin yaygınlaştırılması için bir referans olarak kullanılabilir. Tarımsal üretim sürecinde enerji verimliliğini artırmak, çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunup ve sektördeki yenilikçi uygulamaların önünü açmaktadır.

3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Kurutma Sistemi Kontrol Birimi ve Bileşenlerin İncelenmesi

Arduino, mikrodenetleyici temelli bir geliştirme platformudur. Özellikle elektronik projeler geliştirmek için hem donanım hem de yazılım sunar. Arduino kartı ve Arduino IDE (Entegre Geliştirme Ortamı) kullanarak çeşitli birçok büyüklü küçüklü proje ortaya koyulabilir.

3.1.1. Arduino mikrodenetleyici kartı ve sistem kontrol paneli

Arduino ile sensörlerden doğrulanabilmekte ve çeşitli donanımları (LED, motor, vb.) kontrol edebilmektedir. Arduino'nun popüler olma sebeplerinden biri, birçok sensör ve modülün platformu ile uyumlu olması ve geniş bir bölüm desteğine sahip olmasıdır. Bu minvalde projelerin prototipleri içinde kullanımda tercih edilebilmektedir. Projede oldukça fazla sensör olduğu için iki farklı Arduino'yu haberleştirip bir diğeri aracılığı ile uzaktan bağlantı kontrol ünitesine sağlanmıştır. Bu sayede anlık veri takibi için dokunmatik panelden fan hızı, sensör çıkış bilgileri, takip sistemi gibi birçok senkron kontrol yapılabilmektedir.

Arduino mikrodenetleyicisinde toplam 13 dijital pin bulunmakta ama okunabilir PWM pin sayısı 6 adettir. Ek olarak 6 adette analog pin bulunmaktadır. Kullanılan sıcaklık sensörü ve ldr sensör sayımız birden fazla olması ve motor sürücü devreleri, nem ölçer sensörler de devreye girdiği taktirde gerekli güç yönetiminin sağlanması, sensör bağlantıları için yeterli pin çıkışı olması ve çekilen akım güç dağılımını dengelemek için işlem biriminde de 2 adet mikrodenetleyici ile elektronik sistemin kurulması uygun görülmüştür.

3.1.2. NRF modülleri ile kablosuz haberleşme

nRF24L01 modülleri, düşük takviye ve düşük güç tüketimine sahip kablosuz iletişim modülleridir ve genellikle Arduino'lar arasında kablosuz veri aktarımı yapmak için kullanılırlar. Bu modül, **2,4 GHz** frekans bandında çalışır ve veri alışverişi için **SPI (Seri Çevre Birimi Arayüzü)** protokolünü kullanır. nRF24L01 modülleri, Arduino kartları

arasında basit bir kablosuz ağ kurulumu sağlar ve çoklu cihazla iletişim yeteneği sunarak birden fazla giriş çıkış verisinin aktarımını sağlanabilmektedir.

3.1.2.1. Haberleşme prensibi

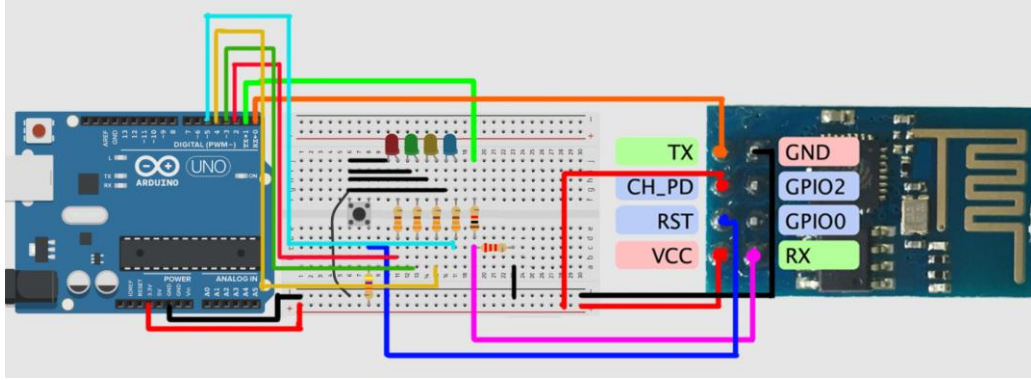
nRF24L01 modülleri, kablosuz veri iletimini sağlar ve genellikle çok sayıda Arduino kartı arasında eş zamanlı haberleşmeyi mümkün kılmak için kullanılır. Her modül, gönderici veya alıcı modunda çalışır ve belirli bir adresleme sistemi ile diğer modüllerle veri alışverişinde bulunur. Devre tasarımı Şekil 3.2’de gösterilmektedir. İşleyiş şu adımlarla gerçekleşmektedir:

Bağlantı: Her Arduino kartına bağlı olan nRF modülü, SPI üzerinden Arduino ile haberleşir. Modüller birbirlerine adres atandığında, bu adresler üzerinden veri transferi kesilir. Bir modül veri gönderici olarak ayarlandığında, diğer modül veya modüller alıcı olarak dağıtılır.

Veri Gönderme ve Alma: Bir modül verisi istendiğinde; Alıcı modülü, kendisine gelen veriyi tanır ve bu veriyi Arduino'ya aktarır. Gönderim modülü, veri gönderiminin başarılı olup olmadığının anlaşılması için bir **ACK (onay sinyali)** bekler. Eğer başarılı bir şekilde iletilirse, ürün modülü onay sinyalini geri gönderir.

Çoklu Cihaz Desteği: nRF24L01, bir dağıtımçıya bağlı olarak birden fazla cihaza veri göndermeyi kullanıma sunar. Bu sayede bir ana merkez (master) modül, aynı anda birçok farklı modül veri gönderebilir ve bir ağ sistemi oluşturulabilir. Her alıcı modülü, belirli bir adres üzerinden veri alır ve bu şekilde karışıklık önlenir.

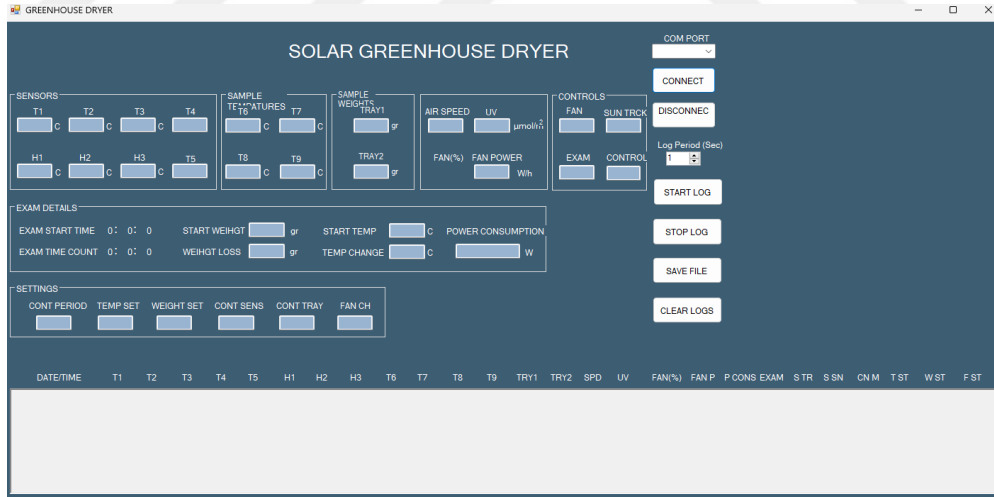
Mesafe ve Güç Tüketimi: Bu modüller, açık alanlarda 100 metreye kadar iletişim dağıtımı sunar. nRF modüllerinin düşük güç tüketimi, özellikle batarya ile çalışan sistemler için ideal bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 3.1. Arduino ve NRF modülün elektronik devre şeması

Görselde görüldüğü üzere NRF modül eklentisi ile dışarıya veri aktarımı ve reset butonu için gerekli devre bağlantı şeması gösterilmiştir. Bu komponent aracılığı ile bir diğer işlem birimindeki veriler haberleşmede karışmadan bu Arduino kart üzerinden dokunmatik ekrana aktarılmaktadır.

C# dilinde hazırlanmış arayüz sayesinde izlenecek veriler textbox olarak, kontrolü sağlanacak veriler butonbox olarak arayüz programı Şekil 3.2 görselinde olduğu gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Uzaktan veri takibi ve kaydı için bilgisayar gösterge programı

PC ekranındaki denetleme arayüzünü yukarıda ki gibidir. Gün içinde tüm veri değişimi anlık olarak kontrol ünitesinden bir usb tip-b veri aktarım kablosu aracılığı ile takip edilebilmektedir. Çalışma ortamı ve yer istasyonu görseli Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Kurutma deneyi kontrol birimi ve takip istasyonu

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dekanlık binası çatısında gerçekleşen deneyde, görselde görüldüğü üzere veri paylaşımı kontrol paneli ile proje ürünü arasında kablosuz, bilgisayar arasında kablolu kayıt ve takip gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4 görselinde yazılımsal istasyon görseline yer verilmiştir.



Şekil 3.4. Arduino destekli dokunmatik kontrol istasyonu ve parametreleri

Kontrol ünitesi temel amacı, uzaktan veri kontrolüdür. Güneş takibi için motor komutu, fan sisteminin çalışması ve gücünün artırılıp azaltılması kontrol edilebilmektedir. Özellikle denek gıdanın gün içi ağırlık durumu, ağırlık farkı, güneşten gelen UV değeri

ve sıcaklık bilgileri burada gözlemlenebilmektedir.

3.2. Giriş (Sensör) ve Çıkış (Motor) Bileşenlerinin İncelenmesi

3.2.1. Anemometre sensör

Anemometre, rüzgâr sınırları veya hava akışlarını paylaşmak için kullanılan bir cihazdır. Meteoroloji, alarm ve endüstriyel proseslerde hava hızının ölçümü amacıyla kullanılır. Anemometreler mekanik veya elektronik olabilir. Mekanik, dönen pervaneler ya da kaplar kullanarak hava dağılımı hesapları, elektronik anemometreler ise sıcak tel veya ultrasonik sensörler gibi merkezde daha hassas ölçümler yapabilirler. Bu sensörler hava oranları metre/saniye (m/s) biriminde ölçülür ve elde edilen veriler genellikle bir kontrol sistemi tarafından işlenir.

Projede Anemometre Sensörünün Kullanımı: Gıda kurutma projelerinde, anemometre sensörleri kritik bir role sahiptir. Kurutma işlemi sırasında hava hızı, nemin gıdanın uzaklaştırılması ve su buharının merkezi olarak dağılma süreci önemli bir parametredir. Anemometre sensörleri, hava dağılımının kurutma ortamındaki dağılımını izlemek ve bu hızın etkili bir şekilde olup olmadığının belirlenmesi için kullanılabilir. Literatürde belirtildiği üzere, hava hızı, kurutma sürecinin nemin uzaklaştırılması hızlandırılmakta ve gıdanın daha homojen bir şekilde kurutulmasına yardımcı olmaktadır. Hava hızı, nemi ürün yüzeyinden daha etkili bir şekilde uzaklaştırarak kuruma hızının artırılmasında temel faktörlerden biri olarak görülmektedir (Doe, 2020).

Kurutma Kabini İçerisinde Hava Akışının Kontrolü: Anemometre sensörleri, kurutma kabini içerisinde hava hızının ölçümünde, kurutma ortamındaki hava oranlarının homojen olup olmadığı denetlemektedir. Homojen hava dağılımı, tümünün eşit düzeyde kurumasını sağlayarak kalite kayıplarını önler. Ayrıca, hava hızının düşük olduğu bölgelerde tespit edilerek daha verimli kurutma için bölgelere izolasyon desteğinde yol gösterici olmaktadır.

Fan Hızının Ayarlanması: Kurutma sürecinde, kurutma kabininde bulunan fanların hava ölçümleri ne kadar hızlandırıldığı anemometreler ile izlenebilir. Projemizde üç farklı fan hızı kullanılmıştır. Bunlar 1 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s hava hızlarıdır. Anemometreler

sayesinde hava hızındaki değişiklikler gerçek zamanlı olarak kontrol ünitesinden izlenmektedir. Uygun hava hızı, etkili nem giderme için kritik öneme sahiptir ve yüzey sertleşmesini önleyerek verimlilik artışında dikkat edilmesi gereken temel etmenlerdendir. (Smith ve ark., 2019).

Enerji Verimliliğinin Optimize Edilmesi: Hava verileri doğru şekilde yönetildiğinde, kurutma harcaması enerji tüketimi artırılabilir. Anemometreler, hava hızının ne kadar olduğu tespitini dolayısı ile kullanılacak güç hesabını yapmakta destekleyici analog bir girdi verisi oluşturur (Jones, 2021).

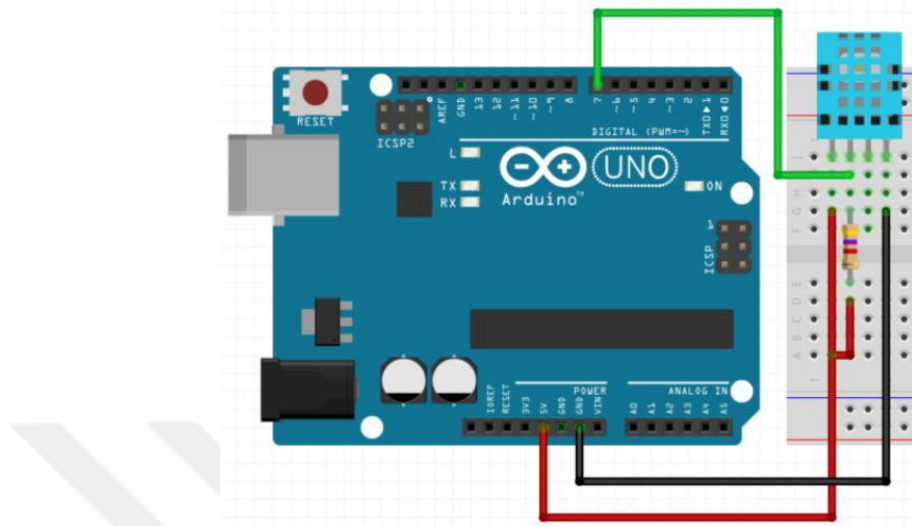
Hava Akışının Yönlendirilmesi: Kurutma kabiniinde belirli bir hava akışı yönünün istendiğinden, bu yönlendirmeyi sağlamak için anemometre sensörü kullanılır. Hava gücünün yalnızca belirli bir yönde ilerlemesi, gıdanın her durumun eşit şekilde kurumasına yardımcı olur ve lokal nem birikimlerini engeller.

3.2.2. Sıcaklık ve nem sensörleri

Sıcaklık sensörleri, ortam düzeni belirlemek için kullanılırken, nem sensörleri havadaki nem miktarını kullanmak için tasarlanmıştır. Bu iki sensör türü, ortam koşullarının sürekli kontrol edilmesi gereken şartlarda kritik sistemlere sahiptir. Sıcaklık sensörleri, termistörler veya termokupllar gibi cihazlarla çalışırken, nem sensörleri kapasitif veya dirençli tabanlı teknolojilerle nem miktarını tespit eder. Gıda sıcaklıklarının hem sıcaklık hem de nem, kurutma sıcaklıkları ve ürünlerin doğrudan etkilerinin temel etkileridir. Gıda kurutma sıcaklıklarında sıcaklık ve nem, kurutma işlemi sırasında kalıcılığı en önemli etkidir. Sıcaklık sensörleri, dayanıklılığının korunmasını sağlar ve istenmeyen şekilde doğru şekilde kurumasını garanti eder. Nem sensörleri ise, gıdadan uzaklaştırılan su buharının etkin bir şekilde dağıtılıp dağılmadığını denetler. Kurutma sırasında yüksek nem seviyesi, gıdadan suyun uzaklaştırılması zorlaşabilir, bu nedenle ortamın düşük nemli kalması gerekir.

Sera kabini içi, giriş ve çıkış hava sıcaklıkları, kabin içi nem oranı, dış saf hava sıcaklığı, aktarılan (yalıtımlı boru) hava sıcaklığı, fan ile yalıtımlı boruya ilk giriş hava sıcaklığı ve kollektör tüp hava sıcaklığı Arduino kontrol kartı aracılığı ile ölçülerek kontrol paneline iletilmektedir. Şekil 3.5'te verilen devrede ise nemölçer ve sıcaklık ölçer sensörümüz

DHT-11 ile Arduino elektronik devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Aduino ve DHT-11 elektronik devre şeması

3.2.2.1. Sıcaklık ve nem sensörünün gıda kurutma sistemindeki rolü

Sıcaklık, gıda kurutma sürecinde önemli bir role sahiptir. Yeterli sıcaklık sağlanamadığında, kurutma işlemi yavaşlar ve ürün kalitesinde bozulmalar meydana gelir. Öte yandan, fazla sıcaklık da ürünün besin değeri ve olumsuz etkileri olabilir. Sıcaklık sensörleri, kurutma kabini içerisindeki ısının ideal aralıkta kalmasına yardımcı olmaktadır. Gıdanın kurutulma sürecinde, ortamda nem seviyesi kontrol edilmezse, su buharı gıdanın çevresinde birikerek kurutma süreci uzatılabilir. Sıcaklık ve nem değerleri sensörlerle sürekli izlenerek, sistemdeki fanlar ve ısıtıcılar sıcaklık-nem seviyesi dengelenecek şekilde çalıştırılır. Böylece bozulma olmaz. Kurutma süresi kısılırken, ürün kalitesi değişmemesi hedeflenmektedir.

3.2.3. LDR sensör

LDR (Işığa Bağımlı Direnç), yani sıcaklığa dayanıklı direnç, üzerine düşen ışık miktarına bağlı olarak elektriksel dirençli bir sensördür. Işık yoğunluğunun direnci azaldığında, kendi iç direnci artar. Güneş enerjisi uygulamaları sıklıkla kullanılır, çünkü bu tür sistemlerde ortamın ışığının önemi büyüktür. Güneş takip sistemleri, güneş ışığını gün boyunca izleyerek enerji alanlarını maksimize etmek amacıyla kullanılır. Şekil 3.6'da

görseli verilen LDR sensörleri, özelliklerini genişleterek, sistemin doğru yönlendirilmesine olanak tanır ve bu sayede güneşten alınan enerjinin en üst düzeye çıkarılması sağlanır.



Şekil 3.6. LDR sensör görseli

3.2.3.1. LDR sensörün güneşin takip sistemindeki rolü

LDR sensörleri, farklı açılarda güneş ışığını algılamalar ve gelen verilerdeki değişiklikleri sistem, farklı hareketleri takip eder. Bu sensörlerin sürekli olarak ışık miktarını izleyip gün boyunca yönlendirmesi, güneş enerjisinin üretimini arttırır. Doğu, batı, kuzey, güney yönlerini algılamak üzere 4 farklı ldr sensör ile projemiz projenin gün boyu en verimli noktalarda izlenim göstermesi hedeflenmiştir. Çeşitli çalışmalar, LDR sensörlerinin güneş takip bölgelerinde enerji sınırlarını artırdığını göstermektedir. (Doe ve Smith, 2018).

LDR Sensörünün Gıda Kurutma Projesindeki Spesifik Görevi Güneş takipli gıda kurutma projelerinde, LDR sensörleri yönlendirme yönünü belirleyerek kurutma sistemi İçindeki güneş kolektörlerinin en fazla ışık alanına açığa doğru yönlendirilmesini sağlar. Bu, güneş enerjisinin daha verimli saklanması sağlayarak kurutma işlemini hızlandırır ve enerji tasarrufu sağlar. Literatürde, güneş takip sonuçlarının sabit sistemlere göre daha verimli olduğu vurgulanmaktadır. (Jones, 2020).

3.2.4. UV sensör

UV sensörleri, ultraviyole (UV) ışınımı algılayan ve ölçen elektronik cihazlardır.

Güneşten gelen UV ışınlarının parçaları tespit edilir ve genellikle konsantrasyonun izlenmesi, güvenlik sistemleri ve sağlık uygulamaları kullanılır. UV ışınlarının zararlı etkilerinin önlenmesi veya bu enerjiden faydalanmak amacıyla bu sensörlerden yararlanır. UV ışınları, farklı dalga boylarında bulunur (UVA, UVB, UVC) ve UV sensörleri bu dalga boylarını algılayabilir. Deneyde kullanılan sensör Şekil 3.7’de verilmiştir.

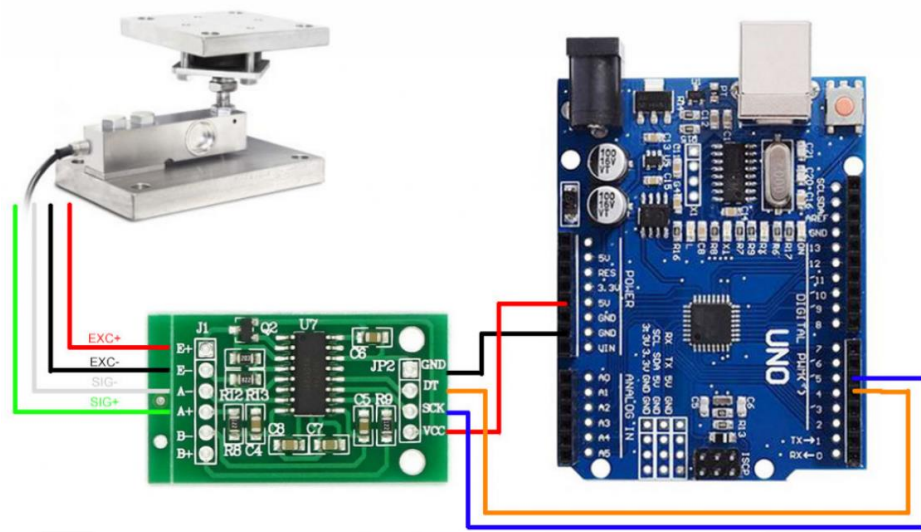


Şekil 3.7. UV sensör görseli

UV sensörleri, güneş enerjisi ile çalışan gıda kurutma projelerinde, UV ışınımının kıyafetlerini ölçerek, güneş ışığının ne kadar verimli çalışmasını belirlemek amacıyla kullanılır. Güneş ışığının güçlü olduğu zamanlarda sistem UV enerjisini etkin bir şekilde kullanmaya yardımcı olur ve kurutma sürecini optimize eder. Ayrıca UV sensörleri, UV ışınlarının zararlı etkilerini önlemek için de sistem koruyucu önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır.

3.2.5. Yük hücresi (Load cell) sensörü

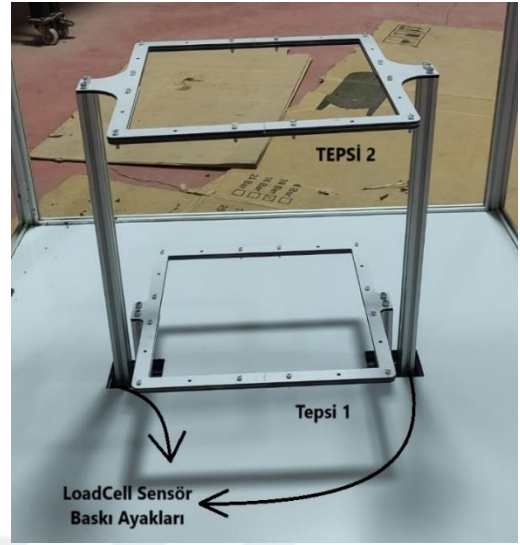
Yük hücresi sensörleri, ağırlık ve kuvvet ölçümlerini yüksek hassasiyetle gerçekleştiren cihazlardır. Bloğu üzerindeki kuvvetinin mekanik deformasyonunu elektrik sinyaline çevirerek çalışırlar. Hassas ölçüm yeteneği sayesinde endüstriyel tartım sistemleri, yük ölçümlerinde ve farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Bu sensörler, özellikle kurutma gibi işlemlerinde ağırlık değişimlerini sürekli ve doğru bir şekilde izlemek için oldukça uygundur. Şekil 3.8 görseli yük hücresi ile devre şeması görselleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Arduino ve Load cell sensör elektronik devre şeması

Gıda kurutma projelerinde, ürün ağırlığı değişimlerini hassas bir şekilde izlemek amacıyla yük hücresi sensörleri kullanılmaktadır. Kurutma kabiniinde yer alan iki adet yük hücresi, tepsilere bağlanarak, kalıcı ağırlık kaybı sürekli olarak izlenir. Bu sistemin, kurutulup saklanamayacağı ne kadar su kaybolduğunu sürekli olarak hesaplamaya olanak tanır. Hassas ve dengeli ölçüm yapabilen yük hücreleri, kurutmanın homojenliğini ve dağılımını sağlamak için kritik bir rol oynar.

Yük hücresi sensörleri, gıdaların kurutulmasını, nemin tükenmesini doğrudan ölçerek, sürecin daha kontrollü ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlar. Şekil 3.9’da görüldüğü üzere tepsi başına iki adet load cell sensör, tabana gelmesi için aynı profil üzerinde yerleşimi yapılmıştır.



Şekil 3.9. Kurutma tepsileri ve Load cell sensörlerin yerleştirilmesi

Bununla beraber tepsilerin her bir ayağı da bir yük hücresine tekâmül etmiş bulunmaktadır. Bu sayede ölçümler de ortak şekilde terazi kefesi gibi ölçüm alınmaktadır. Denek yerleştirilmesi ile teraziye binen yük Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Sera içi kurutma tepsileri ve denek patlıcan dilimleri

Tepsilere yerleştirilecek olan kurutma denekleri, sık gözenekli ızgaralı tepsiler aracılığı ile alt çerçeveden girişi olan sıcak hava gıda ürününün her alanına rahatlıkla teneffüs edecek, haliyle homojen bir şekilde kurutma gerçekleşmiş olacaktır. Kurmanın başlaması ile hassas ağırlık sensörlerinin ani nem kayıplarını kontrol ederek zamanla değişim gösteren kuruma verilerini kontrol ünitesi aracılığı ile bilgisayara aktaracaktır. Bu sayede

kaydedilen veriler arası değişimler saptanarak kurutma süresi boyunca oluşan nem kaybı yaklaşık 8 saatlik sürede ki kurutma veriminin ortaya koyulmasına yardımcı olacaktır.

3.2.6. Motor sistemleri ve yapının hareket kabiliyeti

Tasarlanan materyal iki eksenli bir güneş takip platformudur. Yatay ve dikey eksen motorları güneş takipli gıda kurutma makinelerinde kritik öneme sahiptir. Günün içindeki güneş hareketine göre parabolik kollektörün açısı otomatik olarak dikeyde ve yatayda ayarlanır. Bu makineler, güneşin konumunu sürekli olarak takip ederek maksimum enerji verimliliği için açı sağlarlar.

3.2.6.1. Yatay eksen elektrik motoru

Yatay eksen elektrik motorları, dönen bir şaftı yatay bir eksende hareket ettiren elektromekanik cihazlardır. Bu motorlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür ve özellikle dönme hareketinin gerektiği uygulamalarda kullanılır. Yatay eksen motorlarının en yaygın kullanımı, doğrusal olmayan hareketlerin gerektiği sistemlerde bulunur. Şekil 3.11’de sonsuz dişli motor görselleştirilmiştir. Motorun rotoru yatay bir eksende döner ve genellikle kayışlar, dişliler veya doğrudan bağlantılar yoluyla hareketi başka bileşenlere iletir.



Şekil 3.11. Yatay eksen sonsuz dişli DC motor

Projede yatay eksen elektrik motoru, güneşin doğu-batı yönündeki hareketini takip etmek için kullanılır. Motor, güneş ışınlarının en yoğun olduğu yönde güneş kolektörlerini döndürerek enerjiyi maksimum seviyede kullanmayı amaçlar. Böylece, güneşin yatay ekseninde hareketi boyunca güneş kolektörlerinin optimal açıda kalması sağlanır.

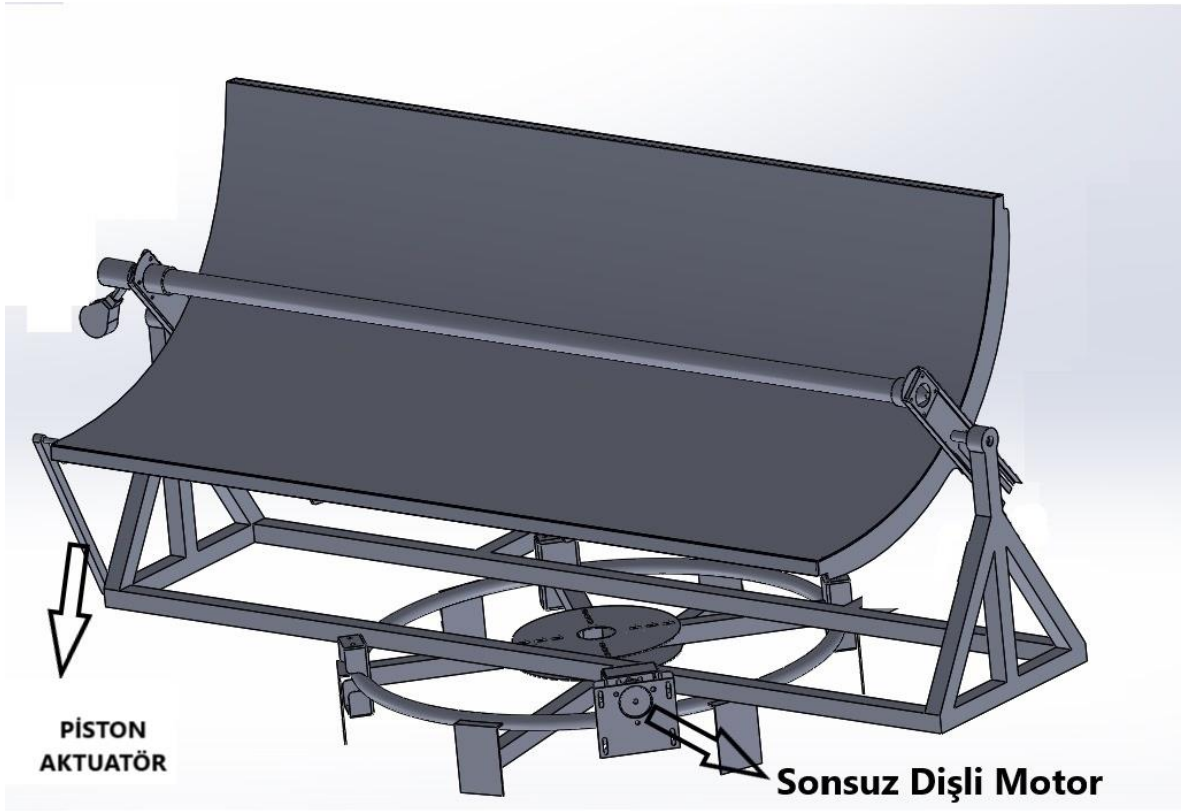
3.2.6.2. Dikey eksen piston motoru

Dikey eksen piston motorları, pistonun yukarı ve aşağı yönlü hareketini sağlayan bir mekanizmaya sahiptir. Bu motorlar, doğrusal hareket üretmek için kullanılır ve genellikle bir piston mekanizmasıyla çalışırlar. Şekil 3.12’de kullanılan piston motoru gösterilmiştir. Piston hareketi sayesinde dikey eksende kuvvet uygulanarak belirli bir sistemin yukarı veya aşağı hareket etmesi sağlanır. Bu motorlar, genellikle kaldırma, itme veya pozisyon değiştirme işlemlerinde tercih edilir.



Şekil 3.12. Dikey eksen piston motor

Dikey eksen piston motorları ise, güneşin yüksekliğiyle birlikte yukarı-aşağı yönlü hareketini takip eder. Gün içerisinde güneşin eğimi değiştikçe, piston motoru reflektörlerin veya güneş panellerinin dikey eksen boyunca hareket etmesini sağlar. Bu sayede, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik açıyla gelmesi sağlanarak, enerjiden elde edilen verim artırılır. Ayrıca, dikey eksen motorlarının kullanımı ile güneşin sabah ve öğleden sonraki farklı yükseklik seviyelerine uyum sağlanabilir. Şekil 3.13’te piston ve sonsuz dişli motorların 3D modellemelerine yer verilmiştir.

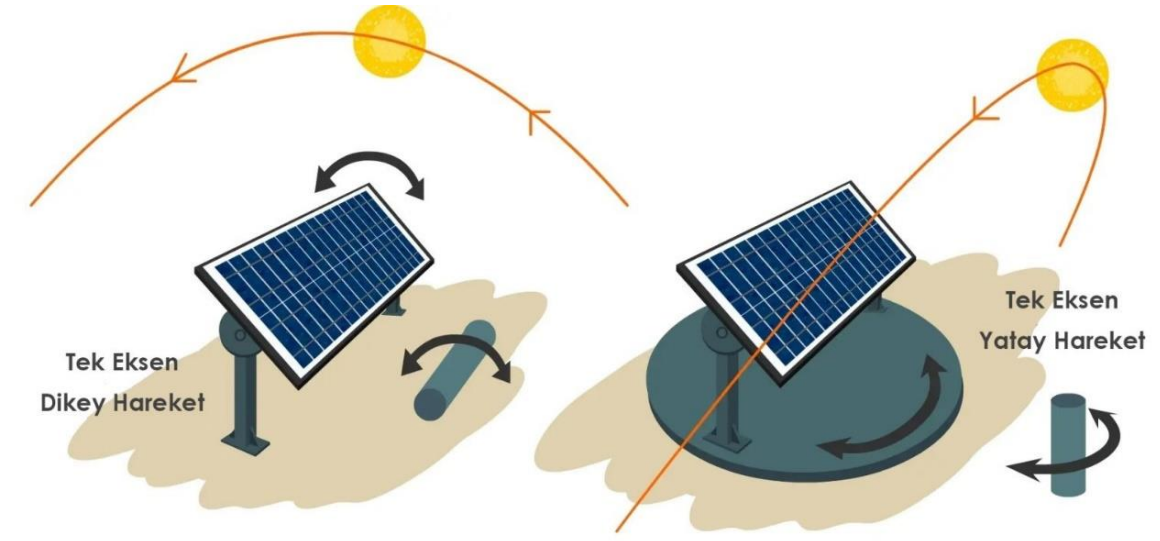


Şekil 3.13. Parabolik yüzey ve vakum tüp 3D motor konumlamaları

Yukarıda görüldüğü üzere Fusion 360 3D cad programında çizimi yapılmış ilgili parabolik ayna ve kolektörün dikeyde ve yatayda motor bağlantı aksamaları ve hareket aktivasyonları belirtilmiştir.

3.3. Güneş Takip Algoritması

Bir güneş takip sistemi, güneş ışınlarını vakum tüpe minimum hatayla dik açıda toplayıp ulaştırmak için parabolik kolektörün gün boyunca güneşi en verimli şekilde takip etmesi için tasarlanmıştır. İlgili modelin anlatım şeması Şekil 3.14'te verilmiştir. Bu sayede enerji doğrudan havalı vakum tüpe ardından fan yardımı ile seraya aktarımı yapılacaktır.



Şekil 3.14. Güneş açısına göre yatay ve dikey eksen sistem hareketi

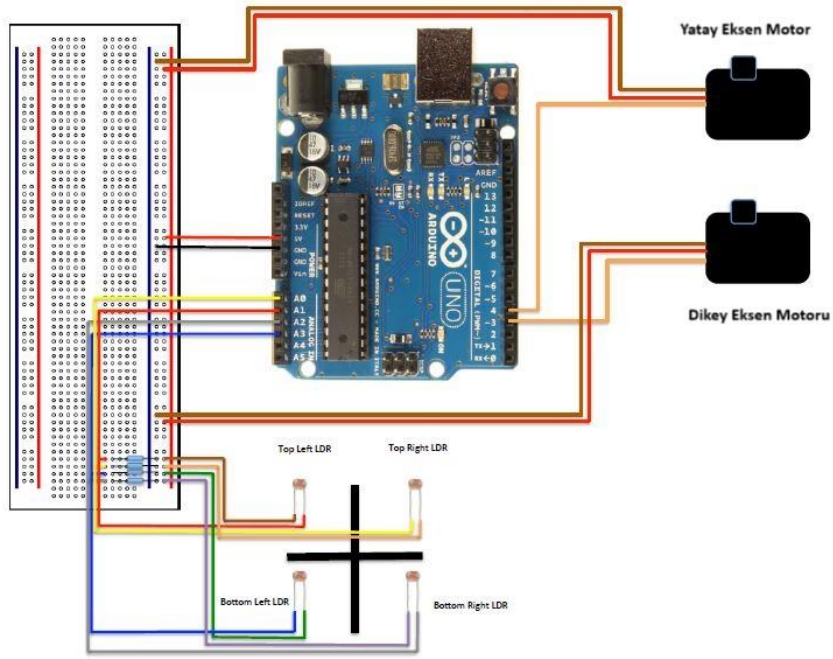
LDR'lerden Veri Toplama: Sistemde dört farklı LDR sensörü kullanılır. Her bir LDR'nin aldığı ışık miktarına göre doğu-batı-kuzey-güney yönlerinde ortalama yoğun ışık olan bölümün tespitini bu sensör yapmaktadır.

Veri Karşılaştırması ve Karar Verme: Arduino, bu dört LDR'den gelen ışık yoğunluğunun sürekli olarak okur ve karşılaştırır. Eğer belirli bir LDR dışında daha fazla ışık yer alıyorsa, farklı yönler anlaşılabilir ve sistemdeki eksenel motorları ilgili pozisyon için hareket etmektedir.

Motor Kontrolü: Arduino, dikey (piston) ve yatay (dc) motorları aracılığıyla parabolik panelini en yoğun ışık alanına doğru hareket ettirir. Bu sayede güneş paneli gün boyunca güneşi takip ederek vakum tüpte ısınan hava maksimum verim sağlar.

Kodlama: Arduino İDE programı kullanılarak aşağıda yer alan C++ dilinde yazılan kodlar aracılığı ile ilgili giriş ve çıkış verilerini kontrol etmektedir.

Uygulama için genel kullanım devre şeması Şekil 3.15'te görselleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Arduino güneş takip sistemi elektronik devre şeması

// LDR Pin tanımlamaları

int ldrEast = A0; // Doğu yönü LDR

int ldrWest = A1; // Batı yönü LDR

int ldrNorth = A2; // Kuzey yönü LDR

int ldrSouth = A3; // Güney yönü LDR

// Motor Pin tanımlamaları

int motorHorizontal = 9; // Yatay motor kontrol pini

int motorVertical = 10; // Dikey motor kontrol pini

void setup() {

pinMode(motorHorizontal, OUTPUT);

pinMode(motorVertical, OUTPUT);

Serial.begin(9600);}

void loop() {

// LDR analog değerlerini okuma

int eastValue = analogRead(ldrEast);

int westValue = analogRead(ldrWest);

int northValue = analogRead(ldrNorth);

int southValue = analogRead(ldrSouth);

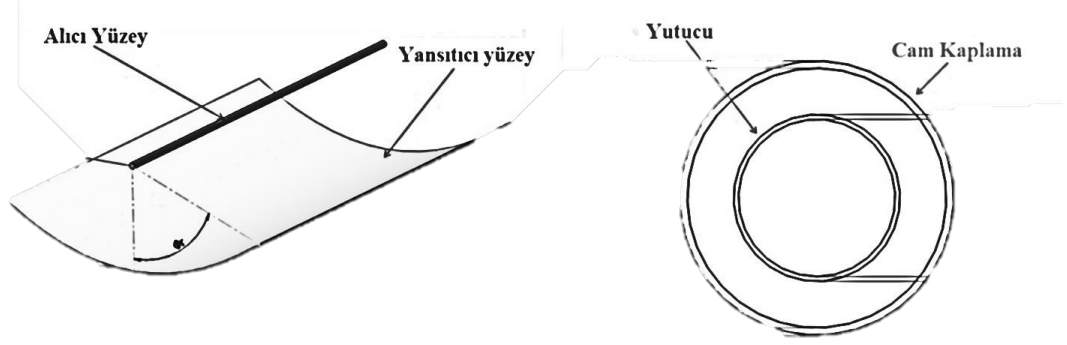
```
// Yatay eksen kontrolü (doğu-batı)
if (eastValue > westValue + threshold) {
    digitalWrite(motorHorizontal, HIGH); // Doğuya hareket }
else if (westValue > eastValue + threshold) {
    digitalWrite(motorHorizontal, LOW); // Batıya hareket }
// Dikey eksen kontrolü (kuzey-güney)
if (northValue > southValue + threshold) {
    digitalWrite(motorVertical, HIGH); // Yukarı hareket }
else if (southValue > northValue + threshold) {
    digitalWrite(motorVertical, LOW); // Aşağı hareket }
delay(1000); // 1 saniyelik gecikme}
```

3.4. Proje Şase Yapısı ve Mekanik Sistemlerin İncelenmesi

Demir profillerce genel aksamaları, zeminle temas eden, elektrik motorunun üzerinden yatayda eksen uzuvlarında, taşıyıcı ve koruyucu destek yüklerde tamamen demir profil kullanılmıştır. Her ne kadar projenin sunumunu ve taşınmasını zorlaştırmış olsa da dayanım yönü ve gizlenme itibarıyla avantaj sağlamaktadır.

Sera kabini dikmeleri ve iskeleti hem taşınabilirlik avantajı hem yapboz şeklinde kur ve yenile gibi güncelleme imkanı ile hem de hareket uzuvlarını taşıyan hareketli yük aksamalarında ve kolay işlenebilme özelliğinden dolayı alüminyum profil kullanılmıştır.

Vakum tüplü parabolik kolektör, güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak ısı enerjisine dönüştürüldüğü gelişmiş bir termal enerji toplama sistemidir. Parabolik şekle sahip yansıtıcı yüzey, güneş ışınlarını bir odak noktasında toplar. Bu sistemde, odak noktasına yerleştirilmiş vakum tüpleri, güneş ışınlarını soğurarak ısı enerjisini toplar ve bu enerjiyi bir sıvı veya gaz ile taşıyarak ısı transferini sağlar. Vakum tüpleri, dış ortam ile iç ortam arasında mükemmel bir yalıtım sağlar, bu da sıcaklık kayıplarını en aza indirir. Vakum tüpleri içerisinde genellikle bakır veya metalik borular kullanılır ve bu borular aracılığıyla ısıtılan sıvı veya gazın, sistemde dolaşımı sağlanır. Vakum tüp kesiti ile parça şeması Şekil 3.16'da görselleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Parabolik yüzey ve vakum tüp tanıtımı

Gıda kurutma projemizde, vakum tüplü parabolik kolektörler, güneş enerjisinin daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Bu sistem, güneş ışığını toplamak ve bu enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek kurutma sürecine entegre olması hedeflenmektedir. Projenin imalat sonrası ulaşılabilmiş son hali Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Kurutma makinasında parabolik yüzey ve vakum tüp gösterimi

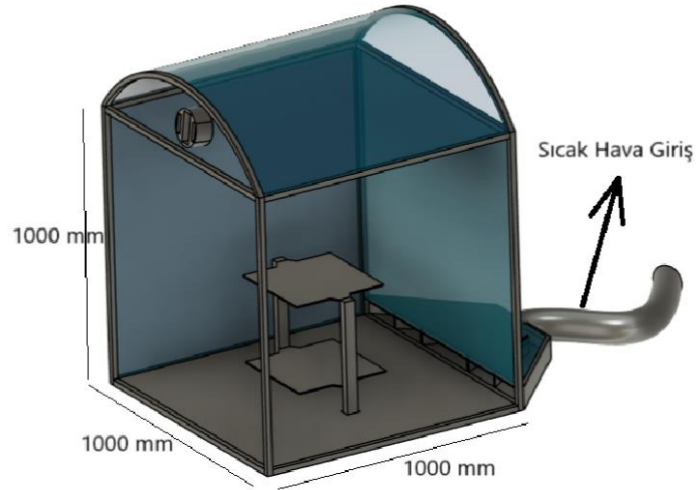
Güneş ışınları kolektör tarafından yoğunlaştırılır ve odak noktasında bulunan vakum tüplerinde depolanır. Bu tüpler, sıcak havayı ısıtarak, kurutma sera kabininde kullanılan hava sirkülasyonuna fan aracılığı ile ısı sağlar.

3.4.1. Sera tipi kurutma sistemi kabin tasarımı

Üç farklı model üzerinde çalışma yürütülen kabin modellemesi Fusion 360 3D cad programında tasarlanmıştır.

Model 1:

Şekil 3.18’de gösterilen, 1000*1000*1000 mm büyüklüğünde bir kabin ile hedeflenen daha fazla gıda ürünü için alan olması ve deney işlemleri için alan sorunu yaşanmadan çalışmaların gerçekleştirilmesidir. Tasarım büyüklüğü, taşıma zahmeti ve sıcak havanın fan aracılığı ile yeterli dağılım göstermemesini de beraberinde getirdiğinden bu model uygun görülmemiştir.

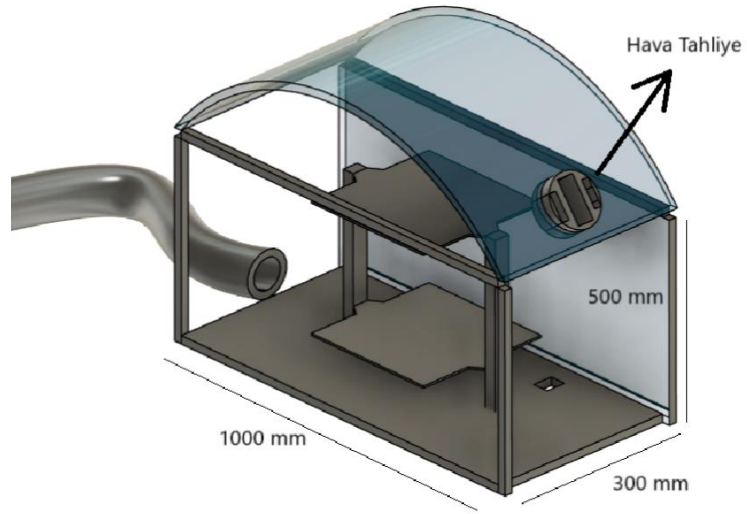


Şekil 3.18. Fusion 360 programında sera kabini 1000*1000*1000 mm 3D tasarımı

Model 2:

Şekil 3.19’da gösterilen, 1000*300*500 mm tasarımda hedeflenen daha minimalist taşıma kolaylığı olan bir ve sıcak havanın doygun olarak bulunması hedeflenmiştir.

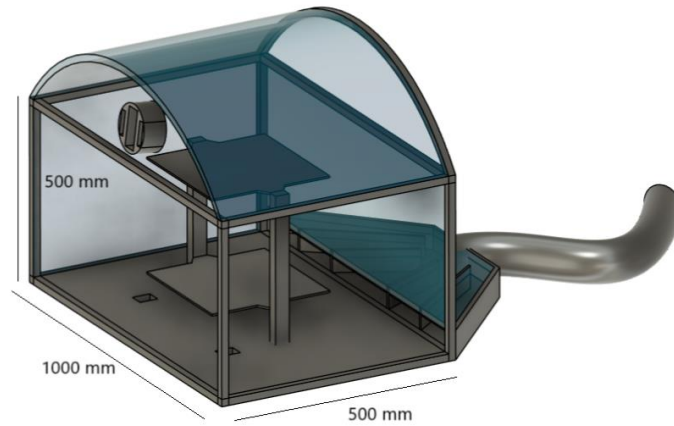
Ancak bu tasarım, gerekli denek kontrolü ve deneklerin analizi sorunu yaşanması ihtimali ile uygun görülmemiştir.



Şekil 3.19. Fusion 360 programında sera kabini 1000*300*500 mm 3D tasarımı

Model 3:

Şekil 3.20’de gösterilen, 1000*500*500 mm kabin tasarımı gerek kolay taşınabilirlik, gerek profil boyu oranınca simetrik inşa imkanı sunması, gerek ürünler üzerinde rahat çalışma oranı ve sıcak hava için uygun hacimde bulunması sebepleri ile tercih edilmiştir.



Şekil 3.20. Fusion 360 programında sera kabini 1000*500*500 mm 3D tasarımı

3.4.1.1. Kabin modeli imalat süreci

1000 mm lik 40*20 mm alüminyum sigma profillerin temini sonucu ölçümler ve kesim işlemleri ile kabin iskeleti ortaya çıkarılmıştır. Şekil 3.21-32’ görsellerinde yer verilen

ilgili imalat ve montaj süreci Mühendislik ve mimarlık fakültesi konstrüksiyon ve imalat atölyesinde yürütülmüştür.



Şekil 3.21. Sera kabini dikme profil ölçeklendirme ve kesim işlemi

Tepsi cihazı ile kesim işlemi sırasında oluşan çapaklar tıraşlanmıştır.



Şekil 3.22. Sigma profil tıraşlama işlemi

Yalıtım desteği olması ve işleme kolaylığı sebebi ile kabin alt tablasında alüminyum kompozit plaka tercih edilmiştir. Aşağıda ki görselde ilenen bölge load cell sensörlere bağlı alüminyum dikmelerin boşluklarının açıldığı işlemidir. Bu sayede load cell sensörler sistemden mekaniğinde görüntüden ve sarsıntıdan bağımsız şekilde tepsilerdeki verileri

alabilmesi hedeflenmiştir.

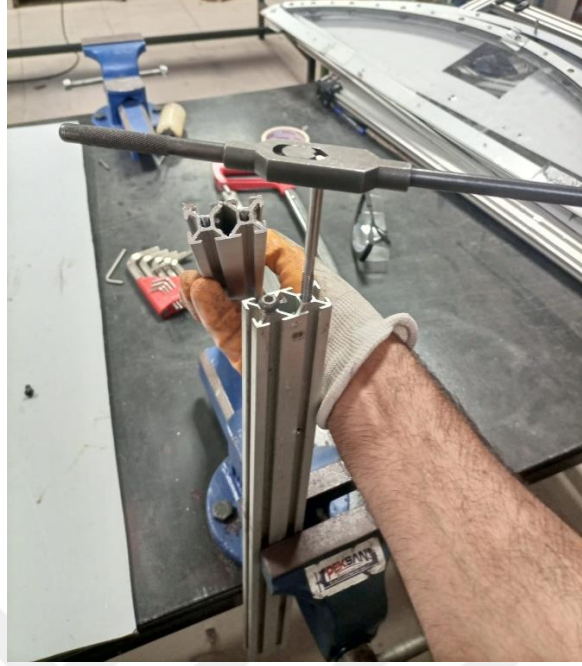


Şekil 3.23. Zemin materyalinde kurutma tepsileri için oyuk açma işlemi

40*20 Sigma profil tercihi sebebi hafif olması yanında kabin iskeletinin metrik 6 vida oyukları için iç kısmında yuva bulundurması ve buralara açılacak dişler sayesinde yapboz şeklinde birbirine geçmeli bir tasarım ortaya çıkarılmasıdır.



Şekil 3.24. Sera kabini dış profil montajı



Şekil 3.25. Sigma profil m6 vida kılavuz dişlisi açma işlemi

Kabin tavanı, sera etkisi yaparak havanın daha homojen dağılıp tahliye olması ve estetik bir görünüm sunması açısından hilal şeklinde tasarlanmıştır.



Şekil 3.26. Sera kabini çatı montajı ve havalandırma bölmesinin açılması işlemi

Hareket uzuvları ana gövdeye montesi için ek uzatma demirleri kullanılmıştır. İlgili monte sağlandıktan sonra sensör bağlantıları, elektronik alt yapının kurulması ve ek olarak tepsilerin yerleştirilmesi le devam etmiştir.



Şekil 3.27. Sera kabinin ana gövde montajı

Tepsilerin yere paralel yerleştirilmesi ve load cell sensörlerin işlemlerden etkilenmeden monte edilmesi montajda en büyük öneme sahip çalışmadır. Tepsi ve profil darası alınarak kullanılacak ağırlık verilerinin sağlığı bu aşamaya bağlıdır.

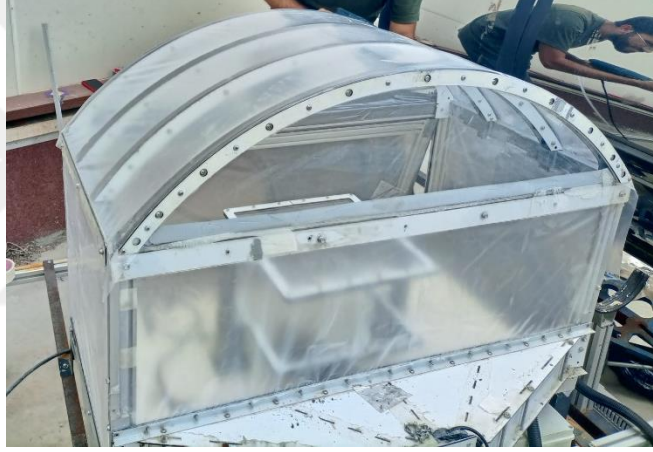


Şekil 3.28. Kurutma tepsilerinin montaj işlemi

Sera tipli bir modellemesi oluşması adına iskelet bağlantıları ardından diğer bir mekanik işlem olan sera filmlerinin kabin yüzeylerine yerleştirilmesidir. Projede her ne kadar güneş takibi ile hava ısıtılması sonucu kabine sıcak hava gönderilse de aynı zamanda kabin içi sera etkisi bununla doğru orantılı kabin içi ısı yalıtımı bu bağlantılarla hedeflenmektedir. Bu aşamada yoğun olarak streçlerin köşe bağlantılarında köşebent ve çita eklemleri eklenmiş, ek olarak silikon ile yalıtım desteklenmiştir.



Şekil 3.29. Sera kabini kaplaması ve elektronik bileşenlerin yerleşimi



Şekil 3.30. Hava kanallarının bağlanması işlemi ve kabin yalıtımı

Panel ve kabin ısı iletim boru hattının izolasyonu işleminde ısıcam yalıtım malzemesi dış kaplamada ve ek birleşim yerlerinde alüminyum bant kullanılmıştır. Bu aralıkta kabine iletilecek sıcak havada kayıp olmaması hedeflenmektedir.



Şekil 3.31. Kabin hava kanallarının ısıcam malzemesi ile kaplama işlemi



Şekil 3.32. Kurutma sisteminin vakum tüp hava iletim hattı

Elektrik elektronik bağlantılarının kontrolü gerçekleştirilen Gıda Kurutma Makinası, Mühendislik ve Mimarlık Fakültemiz çatısında ilgili imalat ve montaj çalışmaları tamamlanarak Şekil 3.33 ve 3.34’te görüldüğü gibi gün boyu güneş ışığı alabileceği bir alana konumlandırılmıştır.



Şekil 3.33. Kurutma sitemi elektrik bağlantı hattının çekilmesi işlemi



Şekil 3.34. Sistemin güneşe göre konumlandırılması işlemi

3.5. Fan Sistemi

Fan sistemleri, belirli bir ortamda hava akışını kontrol etmek ve yönlendirmek için kullanılan mekanik cihazlardır. Fanlar, havayı bir noktadan diğerine taşımak, sıcaklık, nem ve hava sirkülasyonunu kontrol etmek için kullanılır. Salyangoz fan ise adını salyangoz şekline benzeyen spiral tasarımından alır. Bu tip fanlar, özellikle hava basıncının artırılması gereken sistemlerde, verimli bir şekilde yüksek hacimde hava akışını sağlamada kullanılır. Yüksek basınç ve hacimde hava hareketi, salyangoz fanların en önemli özelliklerinden biridir ve bu nedenle kurutma gibi uygulamalarda tercih edilir. Gıda kurutma projelerinde, fan sistemleri kurutma kabinindeki havanın dolaşımını sağlamak ve sıcak havayı gıda yüzeylerine yönlendirmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu proje kapsamında, patlıcan kurutma işlemi sırasında farklı hava hızları (1, 1.5, 2 m/s)

kullanılarak fan sistemi test edilmiştir. Hava akışının hızının artırılması, nemin gıda yüzeyinden daha hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını ve kurutma sürecinin hızlanmasını sağlar. Hava hızı, kurutma sürecinin kritik bir parametresidir çünkü nemin buharlaşma hızını ve ürünün kuruma süresini doğrudan etkiler. Şekil 3.35'te projede kullanılan salyangoz fan motoru görülmektedir.



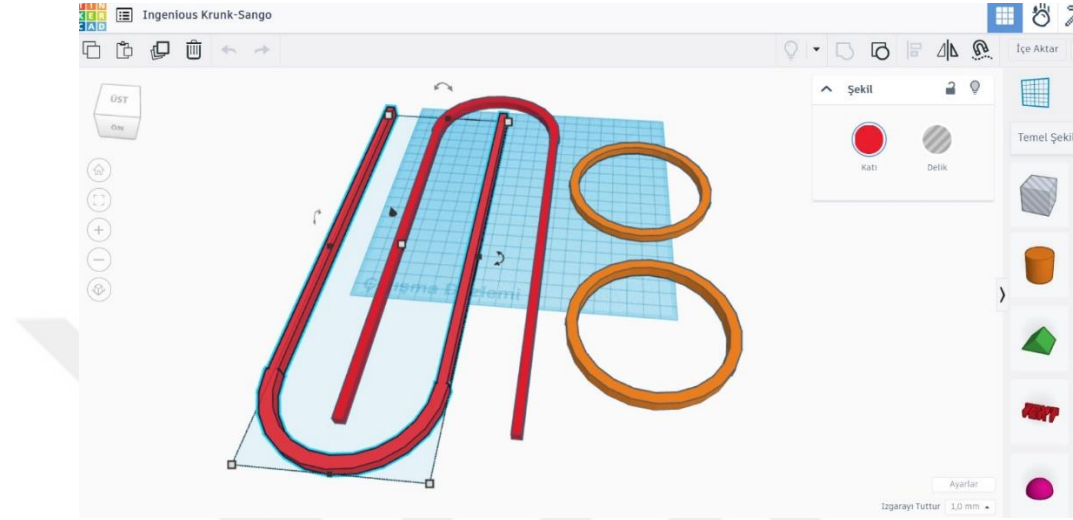
Şekil 3.35. Salyangoz fan motoru ve kurutma sisteminde gösterimi

Görsellerde projede kullanılan fan motoru ve kullanıldığı monte yeri gösterilmiştir. Bu aralıkta vakum tüpten ısıyarak havanın girişi ve sera kabineye iletimi sağlanmaktadır. Fan sistemleri, belirli birleşimlerin hava dağılımını kontrol etmek ve yönlendirmek için kullanılan mekanik cihazlardır. Fanlar, havayı bir arada tutmak, sıcaklık, nem ve hava sirkülasyonunu kontrol etmek için kullanılır. Salyangoz fanının adı salyangoz şekline benzer spiral tasarımından alır. Bu tip fanlar, özellikle hava basıncının gerektirdiği sistemlerde, verimli bir şekilde yüksek hacimde hava dağıtımını sağlamada kullanılır. Yüksek basınç ve hacimde hava hareketi, salyangoz fanlarının en önemli merkezlerinden biridir ve bu şekilde kurutma gibi uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

3.6. Patlıcan Dilimi Kesim Aparatı İmalatı

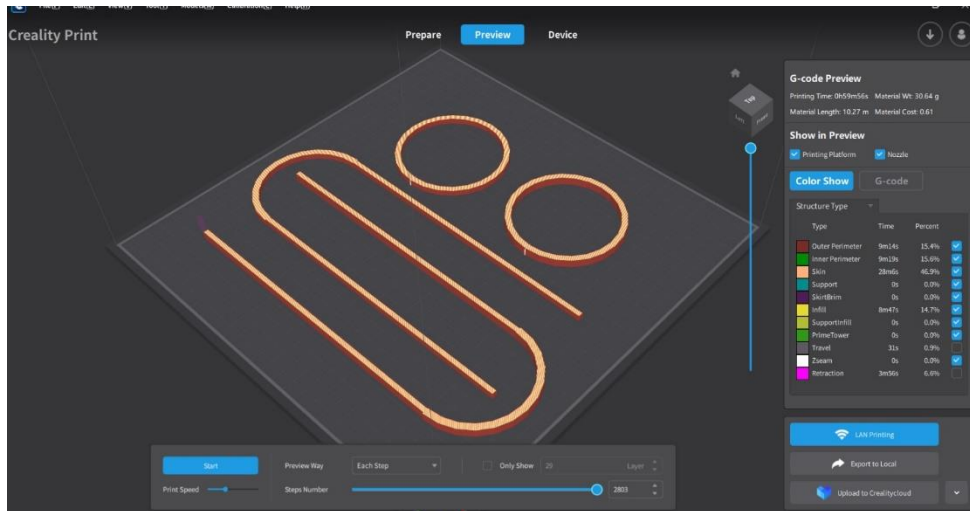
Tez deneği patlıcan dilimlerimiz için 5 mm ve 7 mm kalınlıklarda, endüstriyel (dairesel) ve geleneksel (yatay) kesim dilimlerin hazırlanması için kesim tezgâhı oluşturulmuştur.

3D modelleme Tincercad programı üzerinden kalınlık hesaplaması yapılarak yükseltilmiş dilim aralığı belirlenmiştir. Ardından ilgili çizim modeli STL (Stereolitografi) dosyaya çevrilmiştir. Şekil 3.36’da modelleme simülasyonu görülmektedir.



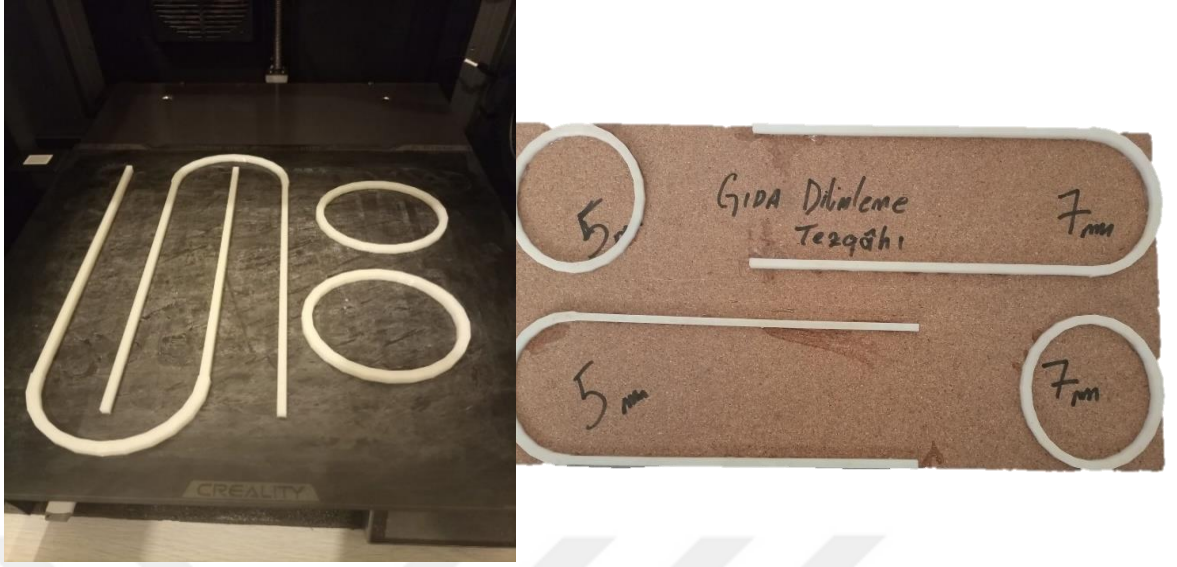
Şekil 3.36. Autodesk programları aracılığı ile kesim yuvası modellemesi

PLA+ filament aracılığı ile Creality Print programında dilimlemesi yapıлып G-kod çıktısı belirlenmiş, Creality K1 MAX 3D yazıcısı kullanılarak model baskısı Şekil 3.37’de olduğu gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.37. Creality dilimleme programı ile 3D baskı için g-code oluşturulması

Baskısı alınan dilimleme tezgahı son halli Şekil 3.38’de görülmektedir.



Şekil 3.38. 3D baskı sonrası montajlanmış kesim tezgâhı

Keskin bir bıçak (düzenekte maket bıçağı kullanılmıştır) yardımı ile dairesel ve yatayda 5-7 milimetre kalınlıkta kesim sağlanabilmektedir.

3.7.Kurutulacak Gıda Ürünü Seçimi

3.7.1. Yöresel ve kültürel değerlendirmesi

Tokat ilinde ve genel olarak Türkiye'nin mutfağında usta olan patlıcan, önemli bir yere sahiptir. Özellikle Tokat gibi tarıma dayalı bir ekonomiye sahip sistemler, yerel mutfağın temel taşlarından biri olarak kabul edilir. Patlıcan, Tokat'ın yöresel yemeklerinde sıklıkla kullanılan bir sebzedir ve bu anlamda kültürel kültürün bir parçası olarak kullanılır. Örneğin, Türkiye genelinde “Tokat Kebabı” gibi yöresel yemeklerde patlıcan, hem lezzeti hem de görsellik açısından öne çıkıyor.

Literatürde belirtildiği üzere, bir bölgesel tarımın örgütlenmesi, o bölgedeki yemeklerin zenginliği ve gastronomi geçmişine sıkı sıkıya bağlıdır. Örneğin, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki tarım ve mutfak kuralları çerçevesinde kurutma yöntemleri farklılık gösterir ve her bölgede, kendi başlarına uygun sebzeler kurutmayı tercih eder (Kaya ve Öztürk, 2019).

3.7.2. Tarım ve erişilebilirlik değeri

Tokat ve çevresindeki patlıcan, yerel tarım ürünleri arasında önemli bir yere sahiptir ve bölgesel iklim koşulları patlıcan için uygundur. Tokat'ın iklim özellikleri, yaz mevsiminde güneş ışığının bol olduğu uzun günler ve sıcaklık artışları ile patlıcan gibi güneş yedi sebze için idealdir. Bu bağlamda, patlıcanın yetiştirilmesi, domates, biber veya kabak gibi diğer sebzelerle karşı iklimsel ve ekonomik koşullar açısından daha uygun koşullar sunmaktadır.

Tokat'ta yetiştirilen diğer yönetim ürünleriyle karşı ürünlerle, patlıcan üretiminin çiftçilerin gelir kaynakları arasında öne çıktığı da görülmektedir. Patlıcan, diğer kurutulmuş gıdalara kıyasla daha yüksek kalitede üretilir ve pazarda da yüksek talep görür. Çalışmalar, Türkiye'nin patlıcanının dünyanın önde gelen ülkelerinden biri olduğunu ve bölgesel olarak da Tokat'ın bu üretimde rol oynadığını göstermektedir (TÜİK, 2022).

3.7. 3. Gıda işleme özellikleri açısından patlıcanın değerlendirilmesi

Patlıcan, gıda kurutma sürecinde, işlem özellikleri saklama süresi açısından öne çıkan bir üründür. Yüksek su içeriğine sahip olması, kurutma işlemiyle kolaylıkla uzaklaştırılabilir ve miktarının artması sağlanır. Kurutulmuş patlıcanın içeriğindeki suyun minimuma indirilmesi, mikroorganizma gelişimini engeller ve besinin uzun süre bozulmadan saklanması sağlar. Patlıcanın içeriğinde bulunan vitaminler ve fenolik bitkiler kurutma sürecinde korunur, bu da onun besin değeri diğer bazı gıdalara göre daha yüksek tutar.

Besin değeri açısından, patlıcanın olgunlaşması sonucunda oluşan ürün, taze patlıcana göre daha yoğun bir besin içeriği sunar ve bu durum patlıcanı uzun süre saklanabilen yüksek besin değerli bir gıda haline gelir. Çevresel uyum ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, patlıcanın Tokat gibi güneş enerji potansiyelinin yüksek tutulması, enerji verimliliği sağlar ve karbon ayak izini azaltır. Güneşle yapılan kurutma işlemi, enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda aktiviteyi minimumda tutar. Patlıcanın yönetim planı üretim anlayışında yer alımı ve kolay temin edilebilir olması, sürdürülebilir tarım uygulamalarına uygunluğunu artırır. Bu saklama yöntemi, kurutma işlemiyle uyumlu ve ekonomik bir saklama yöntemi olarak öne çıkar. Literatürde, güneş enerjisinin verimli bir

kurutma kaynağı olduğu ve kurutmanın doğal olarak korunmasına katkı sağladığı belirtilmektedir. Bu göz önüne alındığında, patlıcan, hem besin değerini koruma açısından etkili bir kurutma ürünü olarak değerlendirilebilir hem de sürdürülebilir bir kurutma yöntemiyle uzun vadeli saklama ve enerji tasarrufu sağlamada diğer seçeneklere göre daha karlıdır.

Yine literatürde, HGK destekli sera kurutma sistemi, ürünlerin nem oranı ve kuru baz nem içeriği açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Akpınar ve Daş'ın (2024) çalışmasında, ürünlerin denge ağırlığına ulaşma süresinin HGK destekli sistemlerde daha kısa olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuç, HGK'nın yalnızca enerji verimliliği açısından değil, aynı zamanda kurutulan ürünlerin kalite ve dayanıklılık özelliklerini optimize etmek için de kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Patlıcan dilimleri, farklı işlemlerde (40-70°C) kurutulduğunda, kurutma süresi sıcaklığına bağlı olarak düşmektedir. Yüksek sıcaklık, kurutmayı koruma sürecini daha verimli hale getireceğini dile getirmektedirler (Doymaz ve Aktaş, 2018).

Tokat gibi uygun iklim koşullarına sahip kurutma işlemi, düşük dayanıklılık, sürdürülebilir bir saklama yöntemi olarak patlıcan için uygundur. Enerji tasarrufunun yüksek olması, sürdürülebilirliğe katkı sağlandığı belirtilmektedir (Doymaz ve Aktaş, 2018).

Bir gıdanın nem oranının belirlenmesi, laboratuvar ortamında çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir ve genellikle gravimetrik analiz yöntemi kullanılır. Bu yöntem, numunenin belirli bir sıcaklıkta kurutularak ağırlık kaybının ölçülmesi prensibine dayanır. Kurutma işlemi sonucunda, numunenin kaybettiği su miktarı hesaplanır ve bu veri, numunenin başlangıç ağırlığına oranlanarak nem içeriği belirlenir.

3.8. Gravimetrik Nem Tayini

Gravimetrik nem tayininde numune, genellikle 105 °C'de sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulur. Bu sıcaklık, suyun buharlaşmasını sağlarken ürünün yapısını fazla bozmadan

nem oranını belirlemek için ideal kabul edilir. Kurutma sonrasında yapılan ağırlık ölçümü, numunedeki su içeriğini hesaplarken kullanılır.

Nem oranı hesaplaması, aşağıdaki matematiksel ifade ile gösterilir:

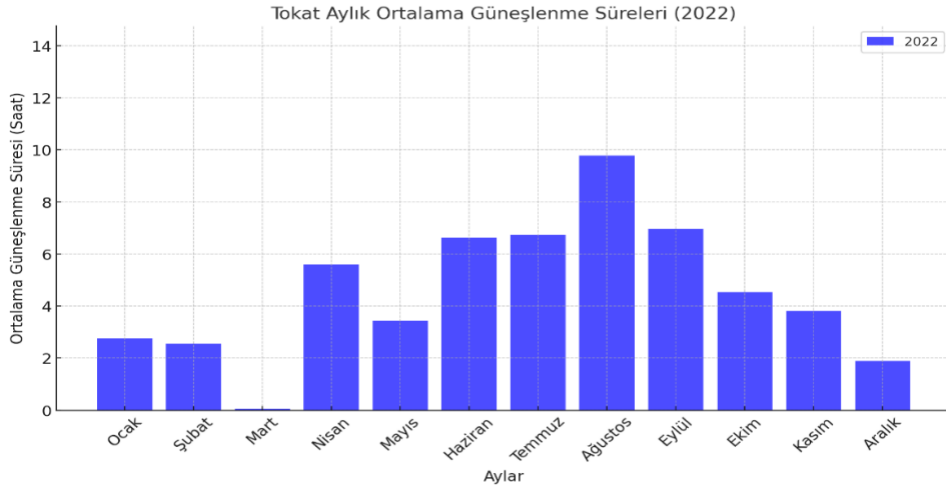
$$\text{Nem Oranı (\%)} = \frac{\text{Numunenin Başlangıç Ağırlığı} - \text{Kurutma Sonrası Ağırlık}}{\text{Numunenin Başlangıç Ağırlığı}} \times 100 \quad (3.1)$$

Formül (1), numunenin ne kadar su kaybettiğini gösteren basit bir oran hesaplamasıdır. Burada başlangıç ağırlığı, numunenin kurutma işleminden önceki ağırlığıdır; kurutma sonrası ağırlık ise tüm suyun buharlaştırılmasından sonra elde edilen nihai kütledir.

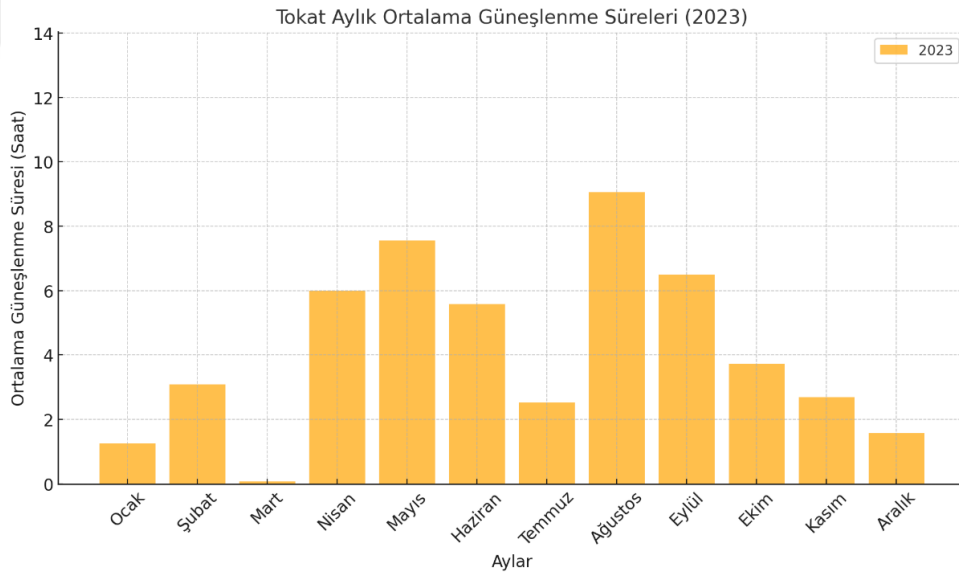
3.9. İl Geneli Aydınlanma Süreleri ve Deney Günlerinin Planlanması

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden eğitim amaçlı talep sonucu 2023 yılı sonunda 2022 ve 2023 yılı Tokat İli Güneşlenme süreleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler grafiğe dönüştürülerek saatlik bazda aylara göre en yoğun-uzun güneşlenme süresine sahip aralıklar tespit edilmiştir.

2022 ve 2023 yıllarına ait güneşlenme verilerinin analizi, Şekil 3.39 ve 3.40'ta görüldüğü üzere belirli dönemlerdeki güneşlenme süresi trendlerinin sürdürülebilir bir veri sağladığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, 2024 yılında gıda kurutma deneylerinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında planlanması, maksimum güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak açısından bilimsel bir dayanak oluşturmaktadır.



Şekil 3.39. Tokat ili 2022 yılı aylık ortalama güneşlenme süresi



Şekil 3.40. Tokat ili 2023 yılı aylık ortalama güneşlenme süresi

Grafikler, her iki yılda da yaz döneminin güneşlenme açısından en yoğun dönem olduğunu açıkça göstermekte ve bu durumu desteklemektedir. Dolayısıyla, 2024 yılında benzer güneşlenme koşulları göz önünde bulundurulduğunda, bu aylar, güneş enerjisi ile kurutma projelerinin verimliliğini artırmak için en uygun dönemler olarak öne çıkmaktadır. Bu verilere dayanarak, 2024 yılı gıda kurutma deneylerinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yapılması, enerji verimliliğini ve kurutma sürecinin etkinliğini en üst düzeye çıkarması hedefiyle deney aralığı bu şekilde belirlenmiştir.

3.10. Gıda Kurutmanın Matematiksel Hesaplaması

Kurutma sırasında ürünün kütle değişimi düzenli aralıklarla ölçülerek nem oranı belirlenir. Kurutma işleminin sonlandırılacağı noktayı belirlemek için ürün kütlelerinin sabitlenmesi esastır. Kurutma süreci, ürünün kütle değişiminin %1'den az olduğu ana kadar devam eder (Gürel ve ark., 2016).

Kurutma sürecinde kullanılan matematiksel formüller ve açıklamaları

Başlangıç nem içeriği

Bir ürünün başlangıçtaki nem oranı, kurutma sürecinin en kritik değişkenlerinden biridir ve şu şekilde hesaplanır:

$$M_i = \frac{m_{su}}{m_{toplam}} \quad (3.2)$$

M_i : Başlangıç nem oranı (yüzde olarak verilir)

m_{su} : Ürünün içerdiği toplam su miktarı (g)

m_{toplam} : Ürünün yaş ve kuru baz toplam kütlesi (g)

Bu değer, kurutma işlemine başlamadan önce ürünün sahip olduğu nem oranını temsil eder.

Kuru madde miktarı

Kurutma süreci boyunca ürünün kuru madde miktarı sabit kalır. Başlangıç kuru madde miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$DM = m_{toplam} \times (1 - M_i) \quad (3.3)$$

DM : Üründeki kuru madde miktarı (g)

M_i : Ürünün başlangıç nem içeriği

Kuru madde miktarı kurutma işlemi boyunca sabit kaldığından, son nem oranı ve son kütlenin hesaplanmasında kullanılır.

Kurutma sonrası nem içeriği

Kurutma sonrası ulaşılmak istenen hedef nem oranı olarak adlandırılır ve ürünün stabil

depolanabilmesi için genellikle %10 veya daha düşük bir seviyeye indirilmeye çalışılır.

$$M_f = \frac{m_{su \text{ sonrası}}}{m_{toplam \text{ sonrası}}} \quad (3.4)$$

M_f : Kurutma işlemi sonundaki nem oranı

$m_{su \text{ sonrası}}$: Kurutma işleminden sonra kalan su miktarı

$m_{toplam \text{ sonrası}}$: Kurutma işleminden sonra ürünün toplam kütlesi

Kurutma sonrası kütle

Kurutma işleminin sonunda ürünün toplam kütlesi, kuru madde miktarı ve hedef nem oranına göre hesaplanır:

$$m_{final} = \frac{DM}{1-M_f} \quad (3.5)$$

M_{final} : Kurutma sonrası ürünün toplam kütlesi

Bu denklem, nihai nem oranı sağlandığında ürünün ne kadar kütleye sahip olacağını belirlemek için kullanılır.

Kurutma hızı

Kurutma hızı, birim zamanda kaybedilen nem miktarı olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$DR = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (3.6)$$

DR : Kurutma hızı (g/s)

ΔM : Belirli bir kurutma periyodu içinde kaybedilen nem miktarı

Δt : Kurutma periyodunun süresi

Kurutma hızı, ürünün kurutma kabindeki sıcaklık, hava akış hızı ve nem içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Güneş takip sistemi ile elde edilen enerji verimliliği

Güneş takip sisteminin verimliliği, sistemin topladığı güneş enerjisi ve ürüne aktarılan enerji arasındaki oranla belirlenir:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ürün}}}{Q_{\text{güneş}}} \quad (3.7)$$

η : Güneş takip sisteminin enerji verimliliği

$Q_{\text{ürün}}$: Ürüne aktarılan ısı enerjisi miktarı

$Q_{\text{güneş}}$: Toplam güneş enerjisi miktarı

Bu verimlilik, ürünün ısınma ve su buharlaştırma süreçlerine daha fazla enerji aktarılmasını sağlayarak kurutma sürecinin hızlanmasına katkıda bulunur.

Bu formüller, kurutma sürecinin temel işleyişini tanımlamaktadır. Özellikle, kurutma hızı, sıcaklık ve nem oranı gibi parametrelerin doğru şekilde modellenmesi, kurutma performansını artırmak ve son ürün kalitesini iyileştirmek açısından önemlidir.

3.11. Deney Başlıklarının Belirlenmesi

Bu tez kapsamında, Tokat ilinde güneş takipli parabolik kollektörlü vakum tüplü sera tipi gıda kurutma kabininde, fan hızları, dilim kalınlıkları ve kesim şekillerinin verimlilik üzerindeki etkilerini değerlendiren kapsamlı bir deney programı yürütülmektedir.

3.11.1. Hazırlık aşaması

Kesim şekli ve kalınlık belirlenmesi: Patlıcanlar endüstriyel (dairesel) ve geleneksel (yatay uzunlamasına) olarak 5 mm ve 7 mm kalınlığında kesilir. Bu farklı kalınlıklar ve kesim şekilleri, kurutma verimliliğine etkilerini analiz etmek için seçilmiştir.

Nem oranı belirleme: Başlangıçta her bir dilim için nem oranı belirlenir. %93.05 başlangıç nem oranı varsayımı yapılır ve bu nem oranının nihai olarak %15 seviyesine indirilmesi hedeflenir.

3.11.2. Deneysel kurulum ve kombinasyonların belirlenmesi

Güneş takipli ve takipsiz sistem: Her kurutma koşulu için güneş takipli ve takipsiz kurulumlar yapılır. Güneş takipli sistem, maksimum güneş enerjisi verimliliğini sağlarken takipsiz sistem, doğal koşullarda kurutma performansını ölçmeye olanak tanır.

Fan hızlarının ayarlanması: 1, 1.5 ve 2 m/s hız seçenekleriyle kurutma sürecine başlanır. Fan hızlarının farklı kombinasyonlarda kullanılması, hava akışının kurutma üzerindeki etkisini analiz etmeye yöneliktir.

3.11.3. Kurutma aşaması ve ölçümler

Kütle ve nem ölçümleri: Belirli aralıklarla (örneğin her saat başı) kütle ölçümü yapılır. Bu ölçümler, nem oranının kuruma süresi boyunca takibi ve verimliliğin analiz edilmesi açısından kritiktir.

Sıcaklık ve nem verileri: Kabin içindeki sıcaklık (50-60°C) ve nem verileri izlenir. Bu ölçümler, patlıcanın hedef nem oranına ulaştığında kurutma sürecini sonlandırmak için gereklidir.

3.12.4. Son analiz ve verimlilik değerlendirmesi

Kesim şekli ve kalınlık karşılaştırması: Elde edilen veriler, 5 mm ve 7 mm kalınlıklarla endüstriyel ve geleneksel kesimlerin performansını değerlendirmek için karşılaştırılır. Kalınlık ve kesim şeklinin kuruma süresi ve nihai nem oranına etkileri bu aşamada analiz edilir.

Fan hızı ve güneş takip sistemi karşılaştırması: Farklı fan hızları ve güneş takipli/takipsiz koşullar altında elde edilen verimlilik sonuçları değerlendirilir.

3.8.2. Deneyde kullanılan parametrelerin seçimi ve gerekçesi

Kesim şekli ve kalınlık: Endüstriyel ve geleneksel kesim şekilleri ile 5 mm ve 7 mm dilim kalınlıklarının seçilmesi, dilim yüzey alanı ve su kaybı dinamiklerinin verimliliğe olan etkilerini analiz etmeye yöneliktir. Farklı kesim kalınlıklarının kurutma sürecini

nasıl etkilediği literatürde incelenerek patlıcanın karakteristik yapısına uygun olarak bu iki kalınlıkta test yapılması planlanmıştır.

Fan hızı: Hava akış hızı, nemin gıdadan uzaklaştırılma hızını doğrudan etkileyen bir faktördür. 1, 1.5 ve 2 m/s hız seçenekleri imalatla kullanılan salyangoz fanın çekeceği enerji üzerine ulaşabileceği nominal değerlerdir ki yine literatürde de tercih edilen fan hızı bu şekildedir. Bu hızların seçimi, patlıcan dilimlerinin hızlı veya yavaş kurumasının enerji verimliliği ve kalite üzerindeki etkisini anlamak için önemlidir.

Güneş takipli ve takipsiz sistem: Güneş takip sisteminin enerji verimliliğini artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle, güneş takipli sistemin kurutma sürecindeki etkinliğini, güneş takip etmeyen bir sisteme kıyasla değerlendirmek üzere her iki koşulda denemeler yapılması hedeflenmiştir.

Bu planlama çerçevesinde yapılacak olan deneyler, patlıcan dilimlerinin verimlilik analizini sağlayarak, endüstriyel kurutma uygulamalarında optimum kurutma koşullarını belirlemek amacıyla kapsamlı bir veri seti sunacaktır.

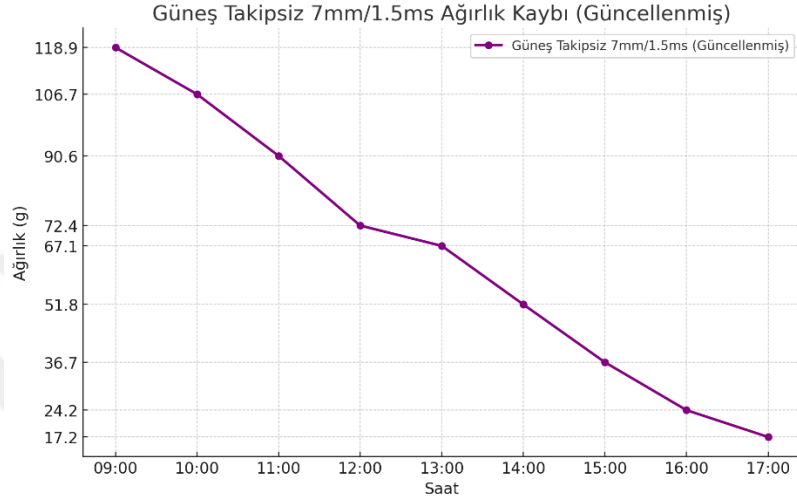
3.8.3. Farklı dilim kalınlığı ve şekline göre kurutma deneyi

- İmalatın ve izolasyonun tamamlanması sonrası,
- Deney başlıklarının ve ortalama deney başlangıç tarihinin belirlenmesi,
- Kullanılacak materyallerin netleştirilmesi,
- Patlıcan üreticisi ile görüşerek her güne en az 2 adet benzer boy ve ağırlıkta patlıcan temini,
- Patlıcan dilim tezgahının tamamlanması,
- Projenin fakülte çatısında uygun konumlandırılması,
- Kontrol ünitesi ve kurutma kabini elektrik bağlantılarının denetlenmesi,
- İlgili tarihlerin de taslak olarak belirlenmesi ile deneylerin başlaması ve analiz aşamasına geçilmiştir.

3.12. Deney Sonrası Grafik Oluşturma ve Analiz Süreci

Deney boyunca verilerimizi bilgisayar kaynağında kaydedip sonrasında karşılıklı analizi

yapılacak verilerin Python kodlaması ile grafikleri çıkarılıp analizlerinin yapılması süreci gerçekleştirilmiştir. Ek 1 de kodları verilmiş yazılım içeriğinde hedef kurutma verileri sonucu ağırlık-saat grafiğini çıkarmaktadır. Bu işlem sonucu örnek grafik Şekil 3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.41. Python yazılım dili kullanılarak deney verilerinin grafiğe dönüştürülmesi

Şekil 3.41’deki grafik, 9 ile 17 saat arasında güneş takipsiz kurutmada 7 mm dilim kalınlığında zaman -ağırlık değişimini görselleştirmektedir.

Bu şekilde desteleme ile deney verileri incelenmesi daha etkin hale getirilmiştir. Excel formunda veri tabloları ve grafik oluşturma eklentisi ile asli kıyaslamalar bulgular kısmına eklenmiştir.

Saatlik kuruma oranı hesaplama

Saatlik kuruma oranını hesaplamak için bir önceki saat dilimindeki ağırlık kaybı verisi ile mevcut saat dilimindeki ağırlık kaybı verisi arasındaki fark kullanılmaktadır. Bu işlem, her bir saat dilimindeki ağırlık kaybını yüzdelik olarak ifade eder.

Matematiksel olarak saatlik kuruma oranı:

$$Saatlik\ Kuruma\ Oranı = \frac{Önceki\ Saat\ Ağırlığı - Mevcut\ Saat\ Ağırlığı}{Önceki\ Saat\ Ağırlığı} \times 100 \quad (3.8)$$

Bu formülde:

Önceki Saat Ağırlığı: Bir önceki saat diliminde ölçülen dilim ağırlığıdır.

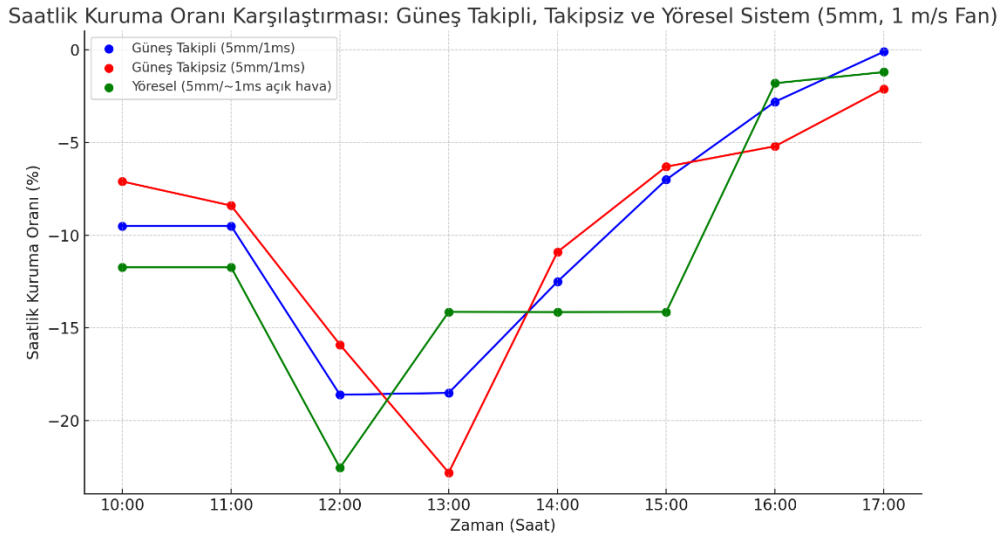
Mevcut Saat Ağırlığı: Mevcut saat diliminde ölçülen dilim ağırlığıdır.

Zaman ve kuruma oranı verilerinin grafikte gösterilmesi

Zaman (Saat): X ekseninde gösteriliyor ve her bir saatlik dilimi temsil ediyor.

Saatlik Kuruma Oranı (%): Y ekseninde gösterilmekte ve yukarıdaki formül ile hesaplanan yüzdelik değerleri ifade etmektedir.

Grafiklerde, her saat diliminde hesaplanan kuruma oranları, çizgi grafiği kullanılarak görselleştirilecektir. Bu sayede, farklı sistemlerin (güneş takipli ve takipsiz) kuruma hızlarındaki değişiklikler saat bazında izlenebilecektir. Kırmızı çizgi güneş takipli sistemi, mavi çizgi güneş takipsiz sistemi, yeşil çizgi ise yöresel yerde kurutma işlemi temsil etmektedir. Bulgular ve analiz bölümünde kullanılacak bu grafiğin kodlama gösterimi ve karşılık örneği Şekil 3.42’de ki gibidir;



Şekil 3.42. Örnek saatlik kuruma oranı grafiği

Grafikte görüldüğü üzere renklerle ayrılmış şekilde güneş takipli ve takipsiz ve yöresel yerde kurutma deneylerinde saatlik kuruma oranları görselleştirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Tokat İli Karayatak Bölgesi Patlıcanı Nem Analizi

Tokat ilinde yetiştirilen patlıcanların nem oranı analiz edilirken, yukarıdaki gravimetrik yöntem uygulanmıştır. Patlıcan dilimleri önceden belirlenmiş bir ağırlıkta tartıldıktan sonra laboratuvar ortamında 105 °C sıcaklıkta, iki farklı zaman diliminde 6 şar saat boyunca kurutulmuştur. Bu süreç, patlıcanın içerdiği tüm serbest suyun buharlaşmasını sağlayarak, kuru ağırlık ile başlangıç ağırlığı arasındaki farkın doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanıyabilmektedir.

Bu tür analizler, Tokat iline özgü patlıcanların su içeriğinin belirlenmesi ve kurutma sürecinin verimliliğini artırmak adına önemli veriler sağlayacaktır. Ayrıca, bu veriler gıdanın kurutma süresini, enerji gereksinimini ve kurutma işlemi için optimum koşulları belirlemeye katkıda bulunacaktır.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi hassas terazide denek kabı ağırlığı ölçülmüştür ve gerekli optimum koşullar sağlanarak deney ortamı hazırlanmıştır. Ardından ilgili işlem aşağıdaki adımlarla devam etmektedir.



Şekil 4.1. Hassas terazide denek kabının darası alınması işlemi

İki ayrı patlıcandan iki benzer gramaj da örnek dilim alınır ve darası hesaplanmış hassas teraziye yerleştirilir. Her aşamada verilerin kaydedilmesi büyük önem arz etmektedir. İlk yaş ve son kuru baz ağırlıkların farkı ile nem oranı hesaplaması sağlanacaktır. İki farklı dilimin ilk ağırlıkları Şekil 4.2’deki gibi ölçülmüştür.



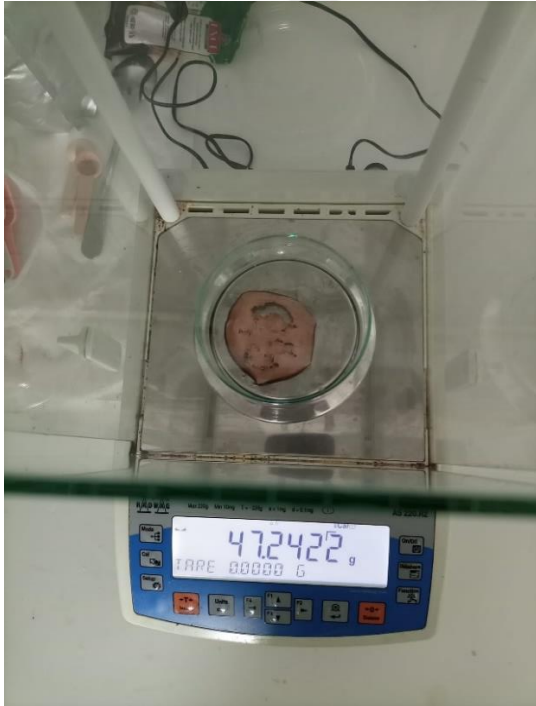
Şekil 4.2. Patlıcan dilimlerinin kurutma öncesi ham ağırlık tartı işlemleri

Darası alınarak, gramajların not alınması ile birlikte önceden hazırlanmış sterilize edilmiş kapalı kurut fırınına denekler Şekil 4.3’te olduğu gibi yerleştirilerek, yaklaşık 6 saatlik sürede içlerinde bulunan nemin tamamen buharlaşması ve geriye saf (nemsiz) patlıcan ağırlığının kalması hedeflenir.



Şekil 4.3. Endüstriyel kurutma kabinine deneklerin yerleştirilmesi

105 °C’de 6 saatlik fırında yoğun ısı sonucu içindeki nemi tamamen kaybeden deneklerin yine aynı şekilde darası alınmış terazide son ağılıkları Şekil 4.4’te olduğu gibi ölçülmüştür. Ardından formül uygulanarak nem oranı belirlenmiştir.



Şekil 4.4. 7 saatlik 105 derecede kurutma sonrası darası dahil son ağırlıklar

Patlıcan nem oranı hesaplaması

İlgili literatüre uygun şekilde üniversitemiz Gıda mühendisliği bölümü laboratuvarında yapılan, 6 saat süren çalışmada, deneylerde yer alacak Tokat ili Karayatak bölgesi patlıcanı nem oranı belirlenmiştir. Şekil 4.5'e kuruma sonrası içinde hiç nem kalmamış patlıcan dilimleri görülmektedir.



Şekil 4.5. Kuruma sonrası nemini tamamen kaybetmiş patlıcan dilimleri

Tokat ilinde yetiştirilen patlıcan diliminin başlangıç ağırlığı 100 g ve kurutma sonrası ağırlığı 20 g olarak ölçülmüş, nem oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Nem\ Oranı\ (\%) = \frac{Numunenin\ Baslangıç\ Ağırlığı - Kurutma\ Sonrası\ Ağırlık}{Numunenin\ Baslangıç\ Ağırlığı} \times 100 \quad (4.1)$$

$$1-Patlıcan\ deneği = \frac{52.5589 - 47.2423}{5.7183} (g) \times 100 = \%92.98$$

$$2-Patlıcan\ deneği = \frac{52.1396 - 46.8640}{5.6656} (g) \times 100 = \%93.12$$

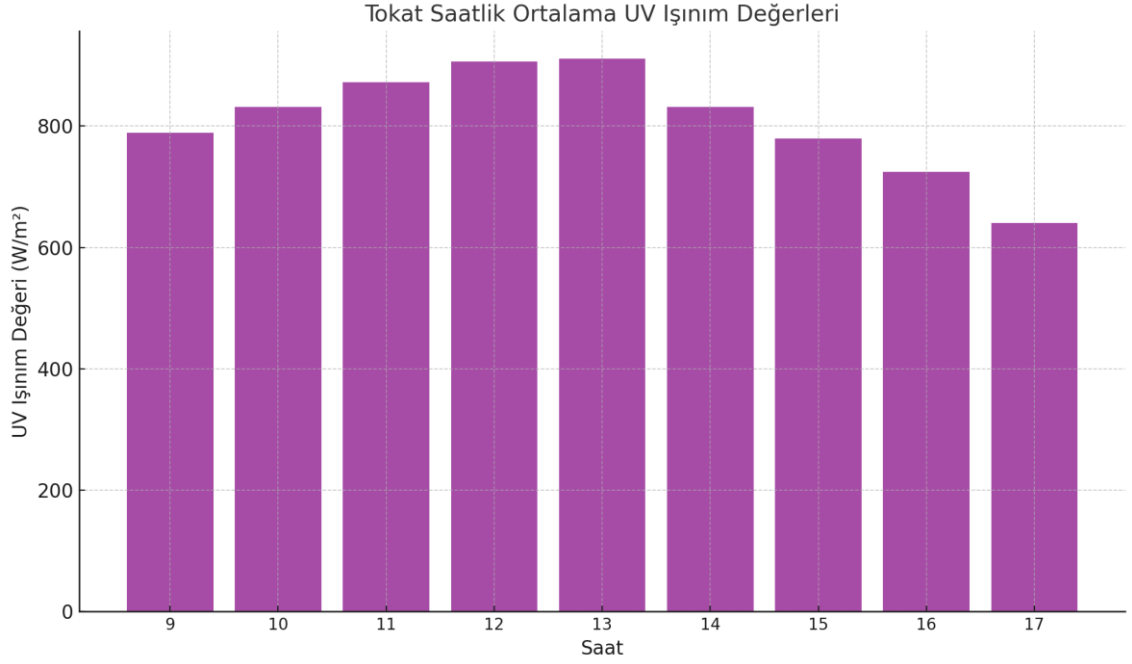
Bu sonuçların ortalaması alındığında Tokat Merkez Karayatak Bölgesi Patlıcan Dilimi %93.05 oranda su içerdiği belirlenmiştir.

4.2. Ultraviyole Işınım Yoğunluğu Ortalama Grafiği

Bu çalışmada elde edilen saatlik ortalama UV yoğunluğu verileri, sistemin gün içindeki

ışınım değişimlerine duyarlılığını göstermektedir. Bu ölçüm Temmuz ve Ağustos aylarında 24 günlük deney sürecinde ortalama olarak ölçülmüştür.

Grafikteki değerler, özellikle saat 11:00-15:00 aralığında UV ışıınının Şekil 4.6’da görüldüğü üzere yoğunlaştığını ve sistemin bu saatlerde daha yüksek enerji elde etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

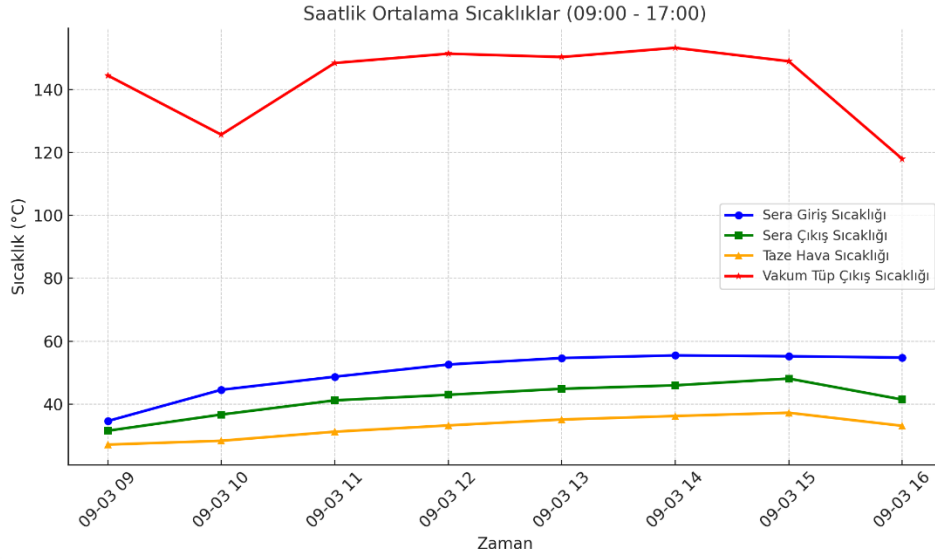


Şekil 4.6. Deney sürecinde ortalama güneş ışıını yoğunluğu grafiğı

Günün ilerleyen saatlerinde UV ışıınıını düşüş göstermekte olup, bu durumda sistemin enerji üretim kapasitesinde de azalma gözlenmektedir. Ayrıca, 17:00 saatine kadar olan UV yoğunluğunun tahmin edilmesiyle, güneş takipli sistemin gün sonunda azalan ışıınıına rağmen verimliliğini sürdürebildiğı sonucuna ulaşılmaktadır.

4.3. Deney Sürecinde Günlük Ortalama İç-Dış Hava Sıcaklığı Grafiğı

Gıda kurutma işleminde sera giriş, sera çıkış, taze hava, vakum tüp çıkış gibi birden çok sıcaklık parametresi takibi için sisteme sensörler yerleştirilmiştir. Bu veriler ışığında deney günleri boyunca ilgili verilerin takibi ve kaydı alınmış ardından ortalama günlük deney saati boyunca sıcaklık grafiğı Şekil 4.7’deki veriler ile ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4.7. Günlük ortalama kurutma sistemi sıcaklık grafiği

Sera Giriş ve Çıkış Sıcaklıkları: Giriş ve çıkış sıcaklıkları, sera içindeki sıcaklığın gün boyunca arttığını, öğle saatlerinde zirveye ulaştığını ve akşama doğru azaldığını gösteriyor. Çıkış sıcaklığı, giriş sıcaklığına kıyasla sürekli daha yüksek kalmaktadır.

Taze Hava Sıcaklığı: Dış ortam sıcaklığını temsil eden taze hava sıcaklığı, gün içerisinde nispeten sabit seyretmektedir.

Vakum Tüp Çıkış Sıcaklığı: Vakum tüpünün çıkış sıcaklığı diğer sıcaklık değerlerine kıyasla oldukça yüksek olup, güneş enerjisini etkin bir şekilde yoğunlaştırdığını ve kurutma verimliliğini artırdığını gösteriyor.

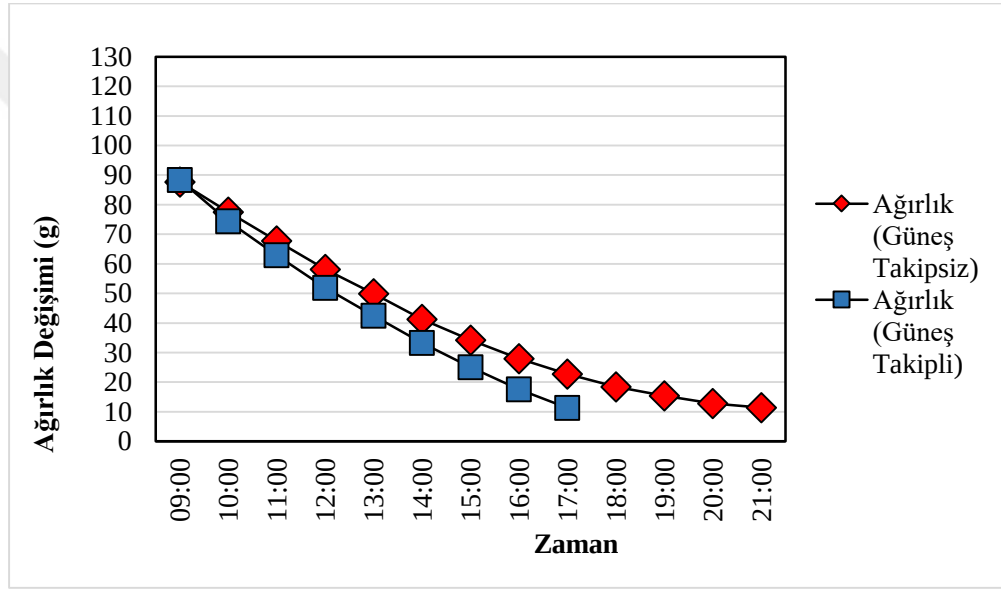
Bu veriler, vakum tüpü ve sera kombinasyonunun kurutma sürecini hızlandırma ve enerji kullanımını optimize etmede etkili olduğunu bir kez daha göstermektedir.

4.4. 5 – 7 mm Kalınlık Patlıcan Dilimi Kurutma Deneyi Grafikleri

Kurutma makinasında değişken fan hızlarında gözlemlenerek elde edilen günlük kuruma değerleri kontrol ünitesi ile bilgisayara kaydedilmiştir. Bu değerlerin ilgili formüllerle hesaplamaları sonucu Takipli ve takipsiz dilim kalınlığına göre yaş baz, kuru baz, ağırlık değişimi, nem oranı karşılaştırma grafikleri elde edilmiştir. Bu verilerin kıyaslanması sonucu ortaya çıkacak bulgular ile birlikte sistemin verimliliği ispatlanması hedeflenmiştir.

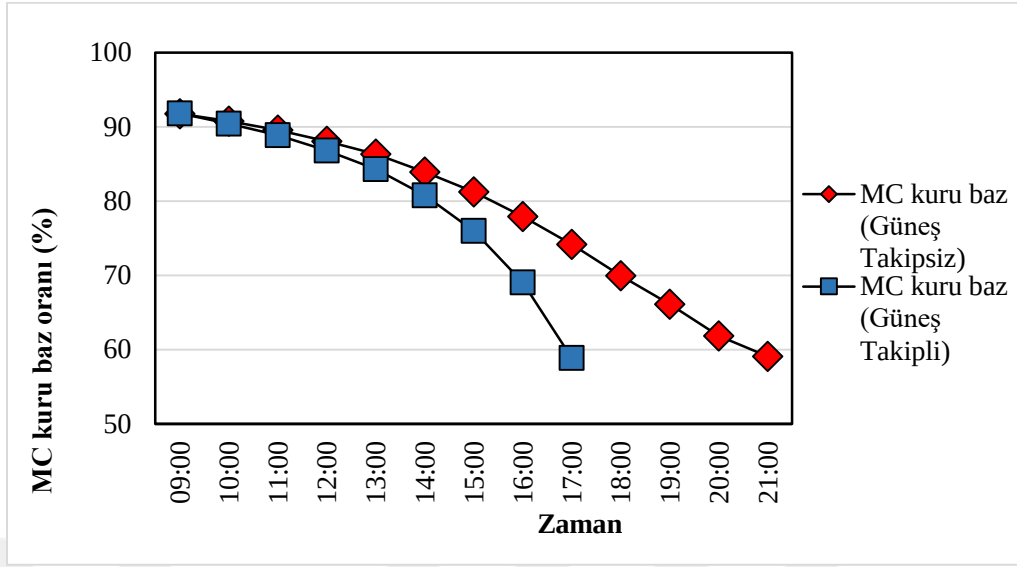
4.4.1. 5 mm kalınlık 1 m/s fan hızı güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

Güneş takipli sistem, takip edilmeyen sisteme kıyasla kurutma işlemi boyunca daha hızlı bir ağırlık kaybı sağlandığı Şekil 4.8’de görülmektedir. Bu durum, takipli sistemin daha etkin bir enerji transferi sağladığını ve dilimlerin içerisindeki nemin daha hızlı buharlaştırıldığını göstermektedir. Özellikle kurutmanın ilk saatlerinde gözlenen ağırlık kaybındaki artış, sistemin başlangıçtaki yüksek enerji kapasitesine işaret eder. Takipli sistemde toplam ağırlık kaybı yaklaşık %17 daha fazladır.



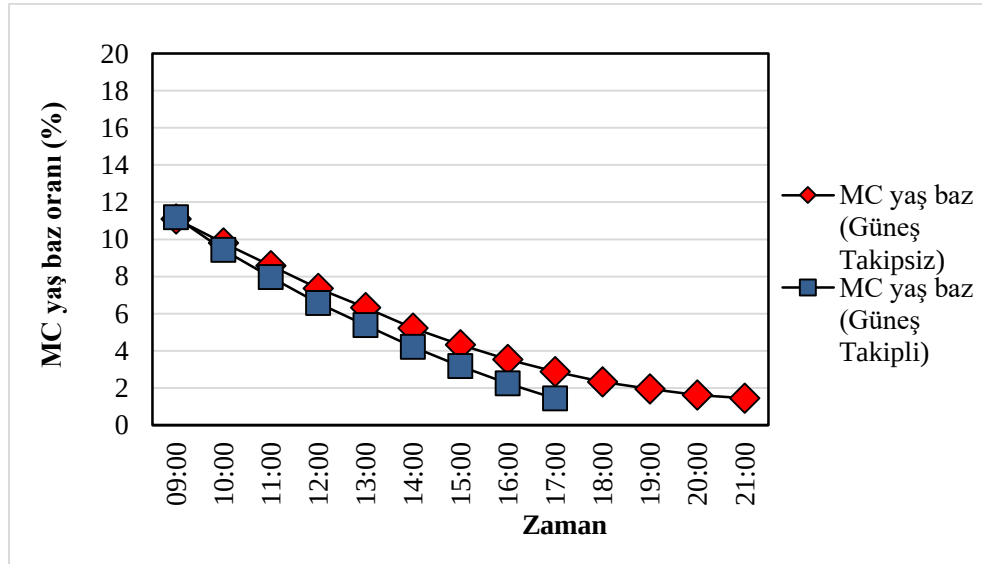
Şekil 4.8. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Kuru baz değerleri, güneş takipli sistemde daha hızlı bir şekilde sabit bir seviyeye ulaştığı Şekil 4.9’da görülmektedir. Bu durum, kurutma işlemi süresince nemin daha verimli şekilde uzaklaştırıldığını ve kuru madde oranının daha erken stabilize olduğunu göstermektedir. Takipsiz sistemde ise, kuru baz değerinin aynı seviyeye ulaşması daha uzun zaman almıştır.



Şekil 4.9. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

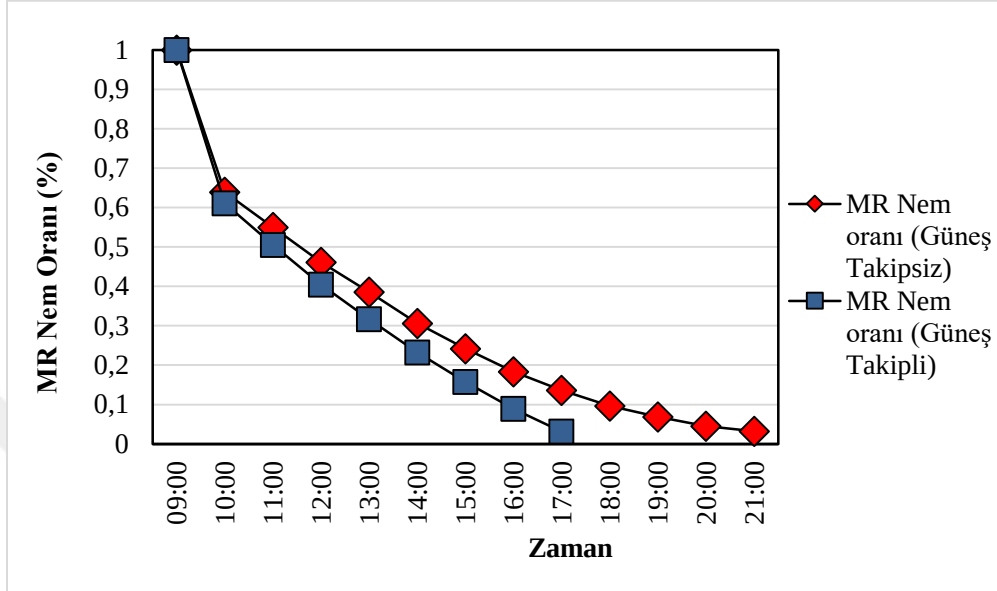
Takipli sistemde yaş baz nem oranı, kurutma sürecinin başında daha hızlı bir şekilde, Şekil 4.10'da görüldüğü üzere düşüş göstermiştir. Bu, sistemin güneş enerjisini daha etkin bir şekilde kullanarak dilim içerisindeki serbest nemi hızla uzaklaştırma kapasitesini doğrulamaktadır. Takipsiz sistemde ise daha yavaş bir azalma eğrisi gözlenmiştir.



Şekil 4.10. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

Takipli sistemde, nem oranı (MR) değeri daha düşük seviyelere daha hızlı ulaştığı Şekil 4.11'de gözlenmektedir. Bu, kurutma etkinliğinin önemli bir göstergesidir. Takipsiz

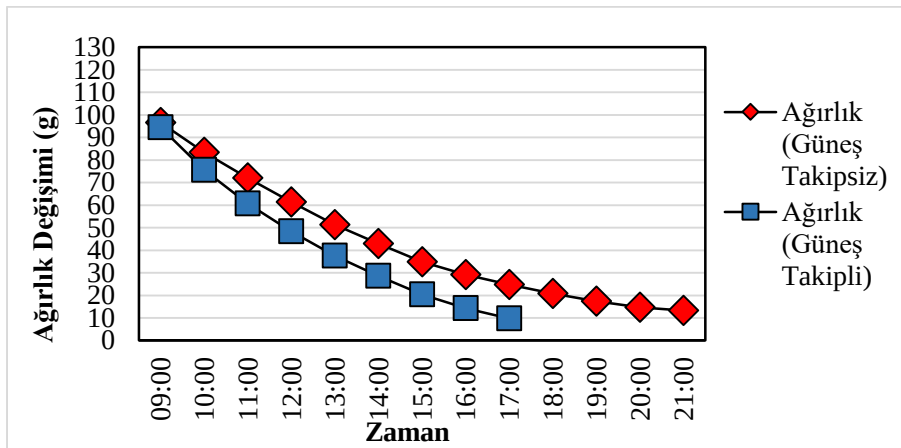
sistemde ise MR değeri daha yavaş bir azalma göstermiş, bu da kurutma süresinin daha uzun sürdüğünü ifade etmektedir.



Şekil 4.11. 5 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında MR değer grafiği

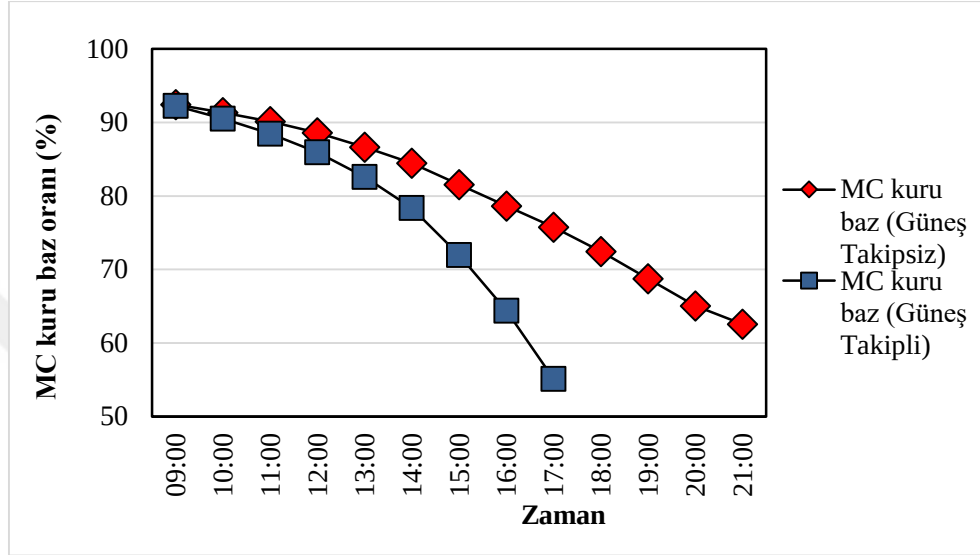
4.4.2. 5 mm kalınlık 1.5 m/s fan hızı Güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

Fan hızının 1.5 m/s 'e çıkması, hem takipli hem de takipsiz sistemlerde kurutma hızını artırmıştır. Ancak, güneş takipli sistemde ağırlık kaybı daha erken saatlerde daha yüksek oranlara ulaştığı Şekil 4.12'de görülmektedir. Bu durum, artırılmış hava akışıyla birleşen güneş takipli sistemin ısıyı daha etkin kullanarak kurutmayı hızlandırdığını göstermektedir. Özellikle ilk 4 saatteki hızlı düşüş dikkat çekicidir.



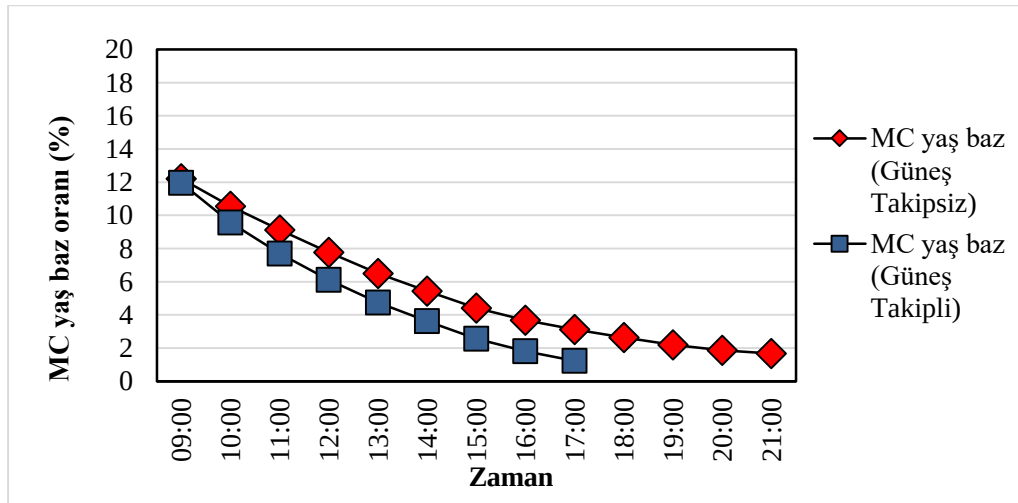
Şekil 4.12. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi kuru baz değerlerinde takipli sistem, erken saatlerde daha yüksek bir stabilize eğilimi göstermiştir. Takipsiz sistem ise kuru baz değerinde benzer seviyelere ancak daha uzun sürede ulaşmıştır. Bu, takipli sistemin enerji kullanımındaki üstünlüğünü ve kurutma sürecini optimize etme kapasitesini bir kez daha kanıtlamaktadır.



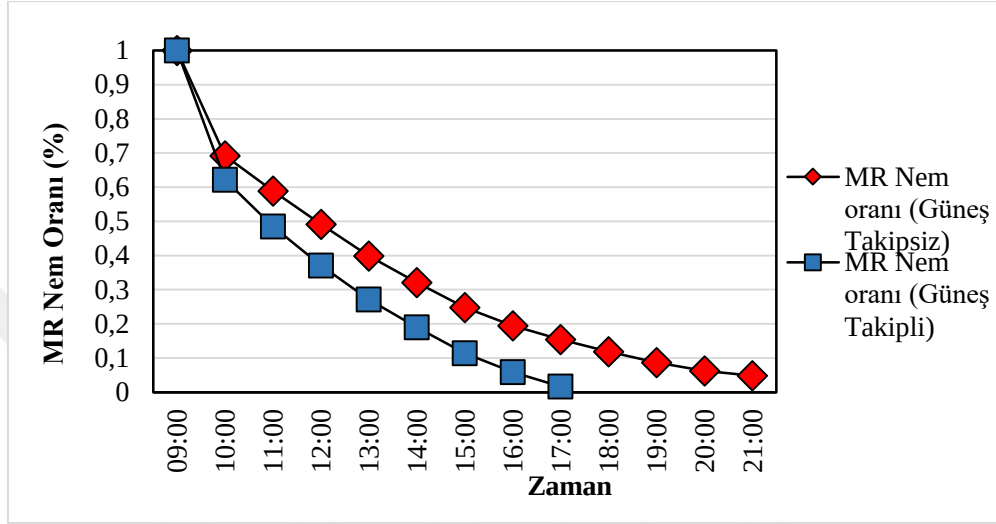
Şekil 4.13. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

Takipli sistemde yaş baz nem oranındaki düşüş daha keskin bir eğriyle ilerlerken, takipsiz sistemde eğri daha yatay bir seyir izlediği Şekil 4.14'te gözlemlenmektedir. Bu durum, takipli sistemin hem fan hızından hem de güneş enerjisinin etkili kullanımından kaynaklanan üstün performansını göstermektedir.



Şekil 4.14. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

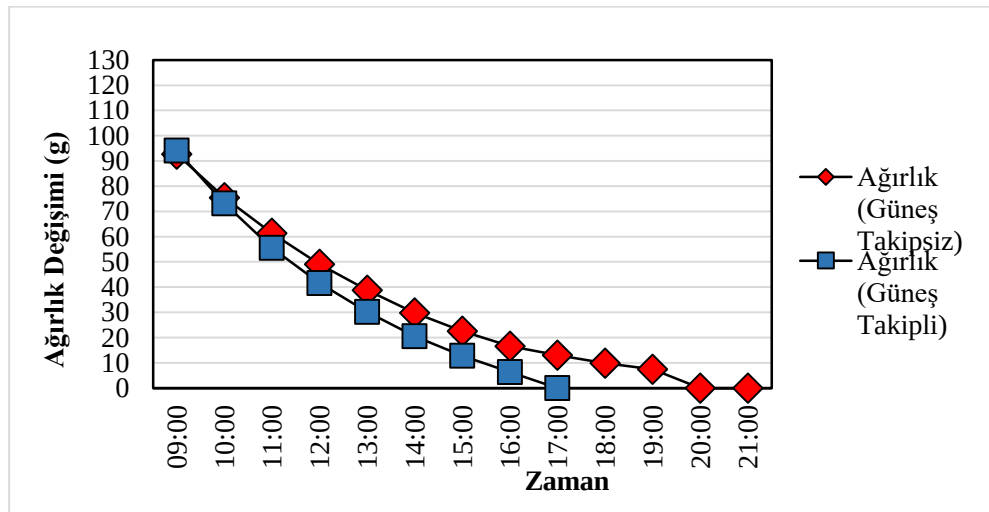
Güneş takipli sistem, nem oranı (MR) değerini çok daha erken saatlerde düşürerek kurutmayı hızlandırmıştır. Şekil 4.15’de 1.5 m/s fan hızında, takipli sistemde MR değeri, kurutma işleminin yarısında kritik seviyelere düşerken, takipsiz sistemde bu seviyeye ulaşılması daha uzun sürdüğü görülmektedir.



Şekil 4.15. 5 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında MR değer grafiği

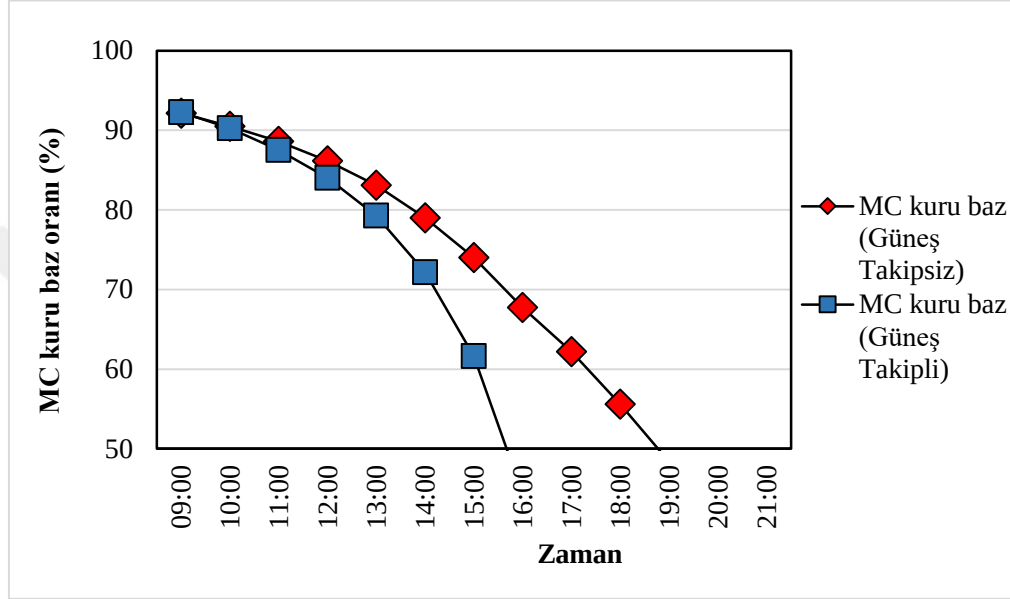
4.4.3. 5 mm kalınlık 2 m/s fan hızı güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

Şekil 4.16’da 2 m/s fan hızında güneş takipli sistem, dilimlerin ağırlık kaybını daha hızlı bir şekilde tamamladığı görülmektedir. Ağırlık değişiminde takipli sistemdeki toplam kayıp, takipsiz sisteme kıyasla yaklaşık %25 daha fazla olmuştur.



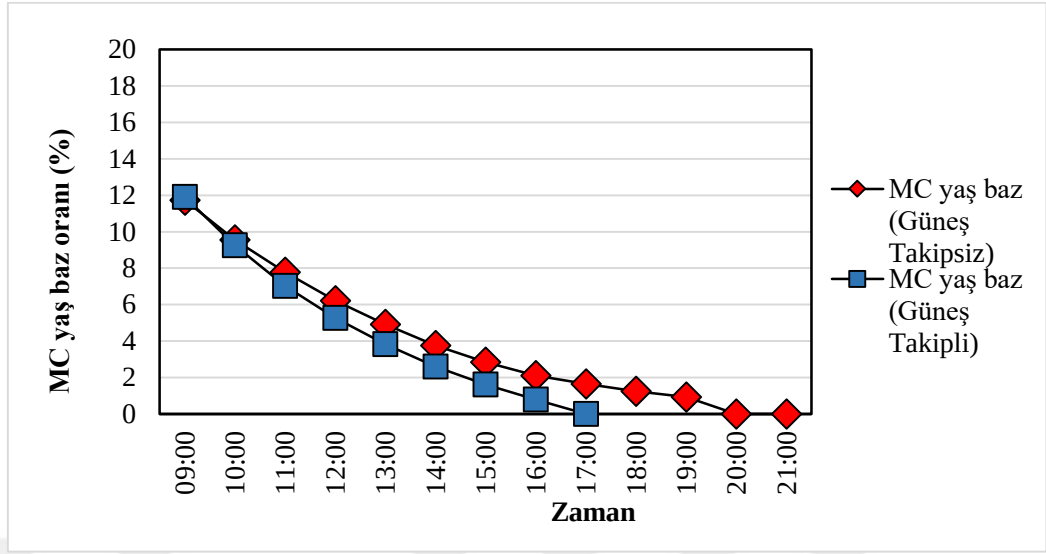
Şekil 4.16. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Kuru baz değerleri Şekil 4.17’de görüldüğü gibi, güneş takipli sistemde hızlı bir şekilde sabit bir noktaya ulaşmıştır. Bu sonuç, sistemin dilim içindeki nemi daha kısa sürede uzaklaştırarak kuru madde oranını optimize ettiğini göstermektedir. Takipsiz sistemde benzer bir stabiliteye ancak daha uzun süre sonunda ulaşılmıştır, bu da enerji verimliliği açısından takipli sistemin üstünlüğünü ortaya koymaktadır.



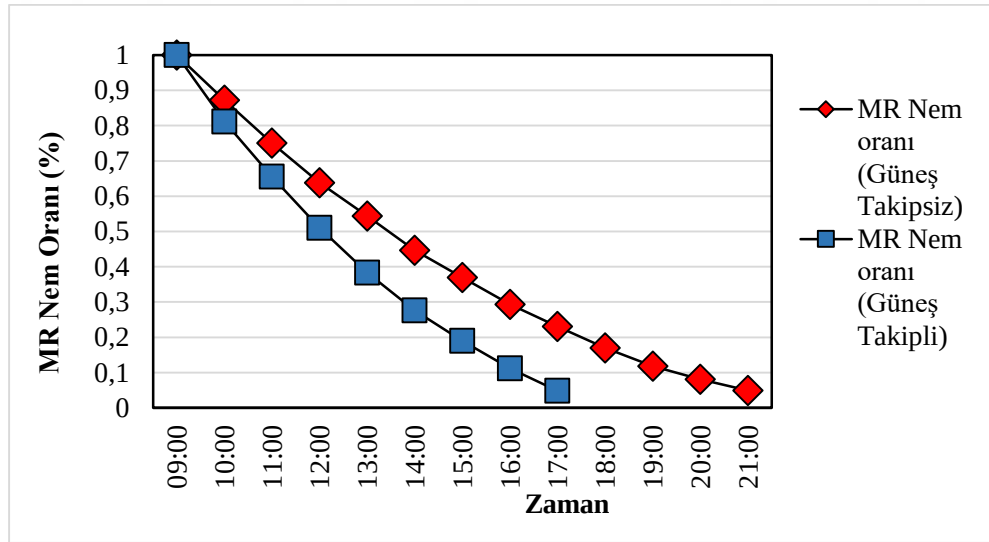
Şekil 4.17. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

Şekil 4.18’de yaş baz değerlerinde, takipli sistemin nemi uzaklaştırma hızı takipsiz sisteme kıyasla çok daha yüksektir. Takipli sistemdeki eğri, ilk saatlerde hızlı bir azalma gösterirken, takipsiz sistemde daha yavaş bir azalma eğrisi gözlemlenmiştir. Bu, güneş takipli sistemin yüksek sıcaklık ve hava akışı kombinasyonundan faydalandığını doğrulamaktadır.



Şekil 4.18. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

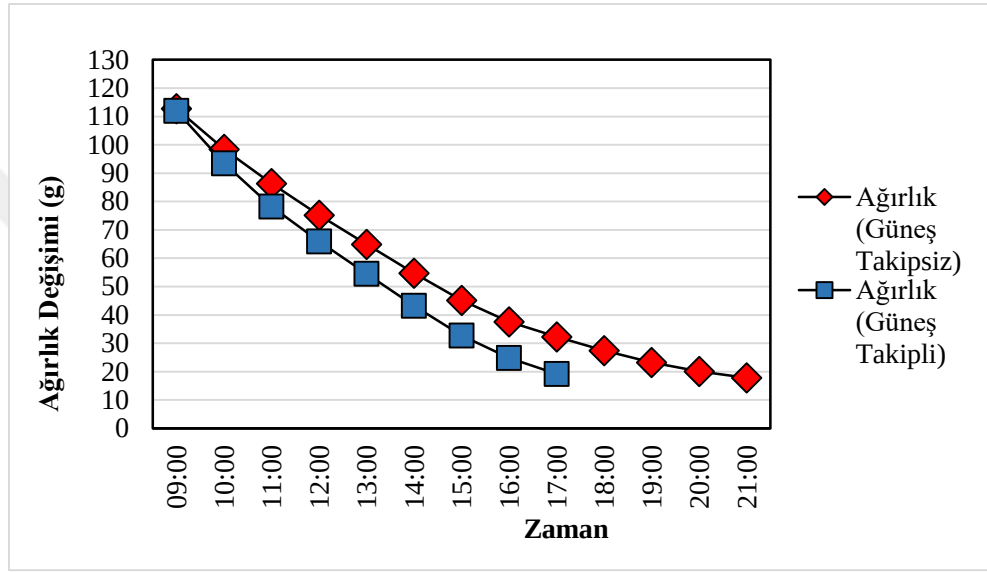
MR değerinde takipli sistemin kurutma etkinliği açıkça Şekil 4.19’da görülmektedir. 2 m/s fan hızında MR, takipli sistemde daha hızlı düşüş göstermiş ve kritik seviyelere erken ulaşılmıştır. Takipsiz sistemde MR değeri aynı seviyeye ancak daha uzun sürede inmiştir, bu da kurutma süresinin takipli sistemde ciddi oranda kısaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.19. 5 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında MR değer grafiği

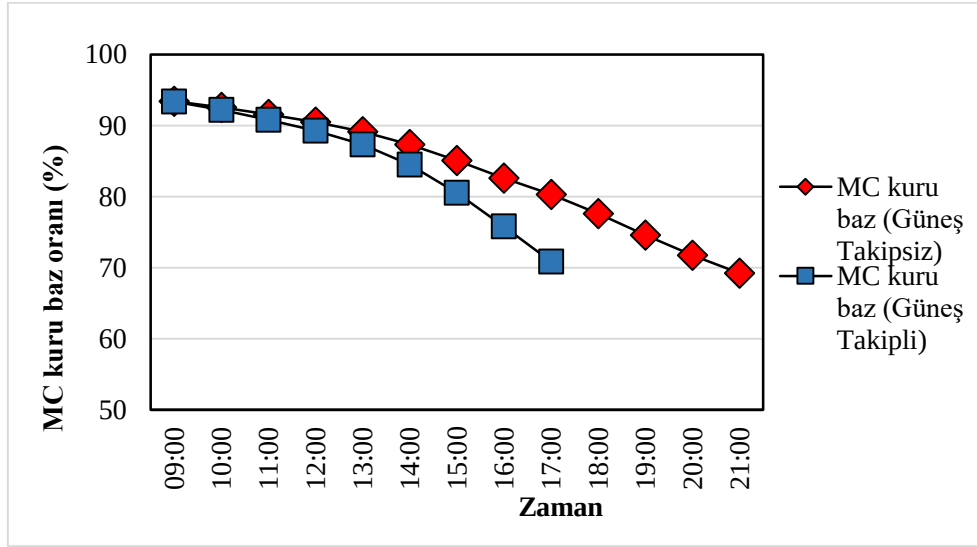
4.4.4. 7 mm kalınlık 1 m/s fan hızı güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

7 mm kalınlıktaki dilimlerde, Şekil 4.20’de görüldüğü gibi güneş takipli sistemde ağırlık kaybı daha belirgin ve hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Dilimlerin daha kalın olması, nemin uzaklaştırılmasında ek süre gerektirse de takipli sistemin enerji verimliliği sayesinde toplam kurutma süresi önemli ölçüde kısalmıştır. Takipli sistemde ağırlık kaybı, ilk 6 saatte takipsiz sisteme kıyasla yaklaşık %15 daha fazladır.



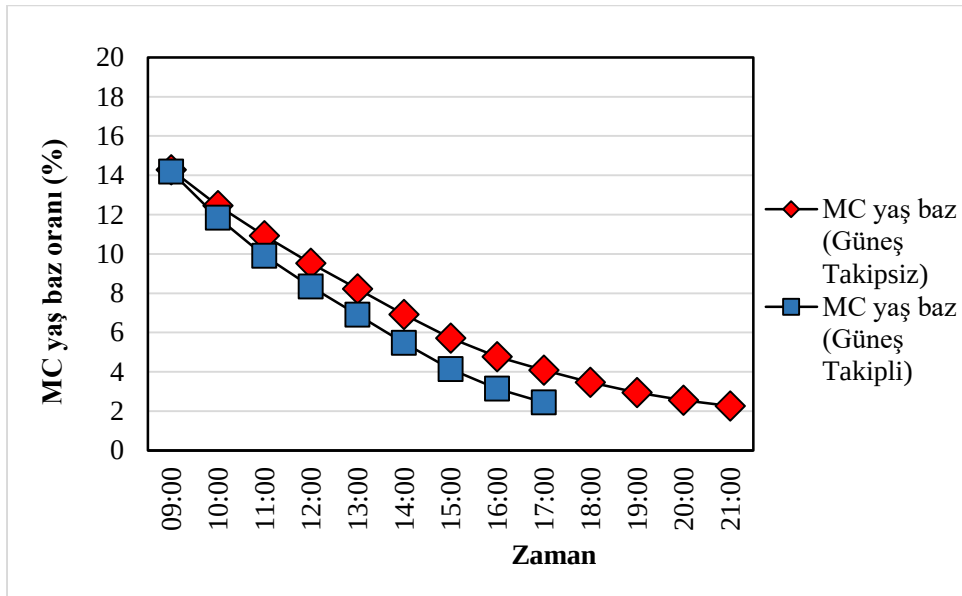
Şekil 4.20. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Kuru baz değerlerinde Şekil 4.21’de, güneş takipli sistemin daha erken stabilite sağladığı gözlemlenmiştir. Kalın dilimler nemi daha zor kaybetse de takipli sistemin sıcaklık ve hava akışı avantajı, takipsiz sisteme göre daha etkin bir kuruma sağlamıştır. Özellikle 8. saatten itibaren takipli sistemdeki kuru baz değerleri, takipsiz sisteme göre %20 daha yüksek seviyelerdedir.



Şekil 4.21. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

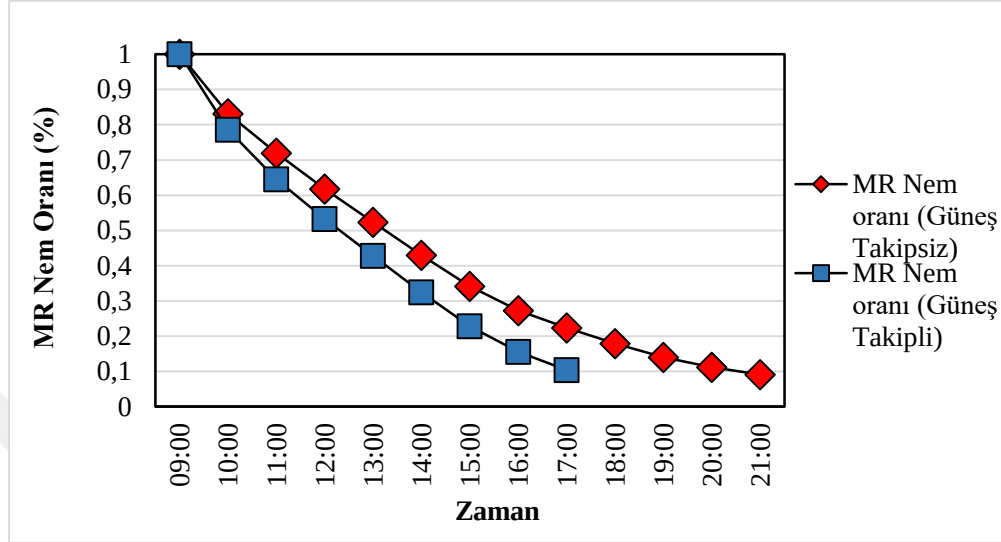
Şekil 4.22'deki yaş baz değerlerinde, güneş takipli sistem daha keskin bir düşüş eğrisi sergilemiştir. Kalın dilimlerde nemin uzaklaştırılması daha uzun sürdüğü için takipsiz sistemde yaş baz oranı sabit bir seviyeye ancak daha uzun süre sonunda ulaşmıştır. Takipli sistemde bu süre, %30 oranında kısalmıştır.



Şekil 4.22. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

Güneş takipli sistem, MR değeri, Şekil 4.23'te görüldüğü üzere hızlı bir azalma sağlayarak kurutma süresini önemli ölçüde kısaltmıştır. Özellikle 1 m/s fan hızında takipli

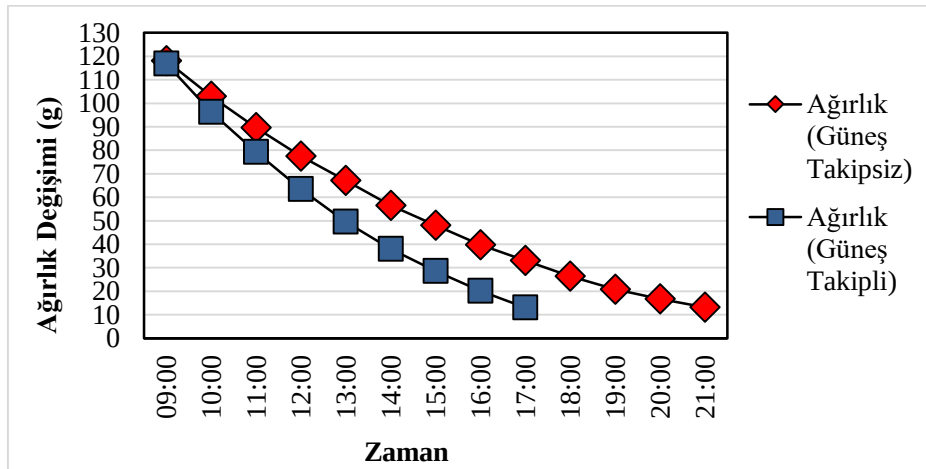
sistemde MR değeri kritik seviyelere 2 saat daha erken ulaşmıştır. Takipsiz sistemde ise MR değerinin azalması daha yavaş bir eğriyle ilerlemiştir.



Şekil 4.23. 7 mm kalınlık ve 1 m/s hava MR değer grafiği

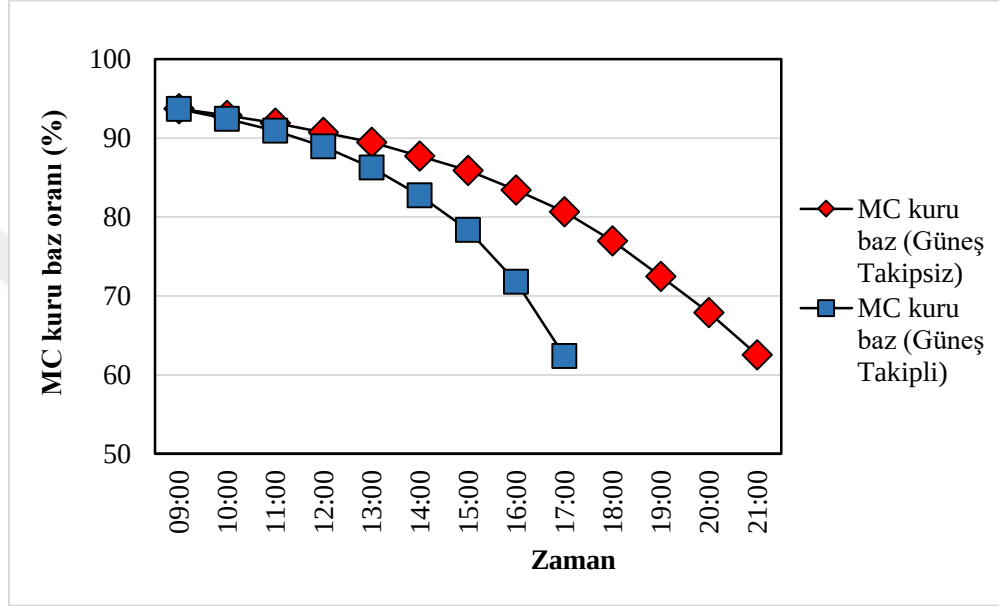
4.4.5. 7 mm kalınlık 1.5 m/s fan hızı güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

1.5 m/s fan hızında güneş takipli sistem, daha yüksek bir enerji verimliliği sunarak 7 mm dilimlerde hızlı bir ağırlık kaybı sağlamıştır. Şekil 4.24'te görüldüğü gibi ilk 6 saatte takipli sistemdeki ağırlık kaybı, takipsiz sisteme göre %18 daha fazla gerçekleşmiştir. Bu sonuç, artırılmış hava akışının güneş takibiyle birleşerek kurutma performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.



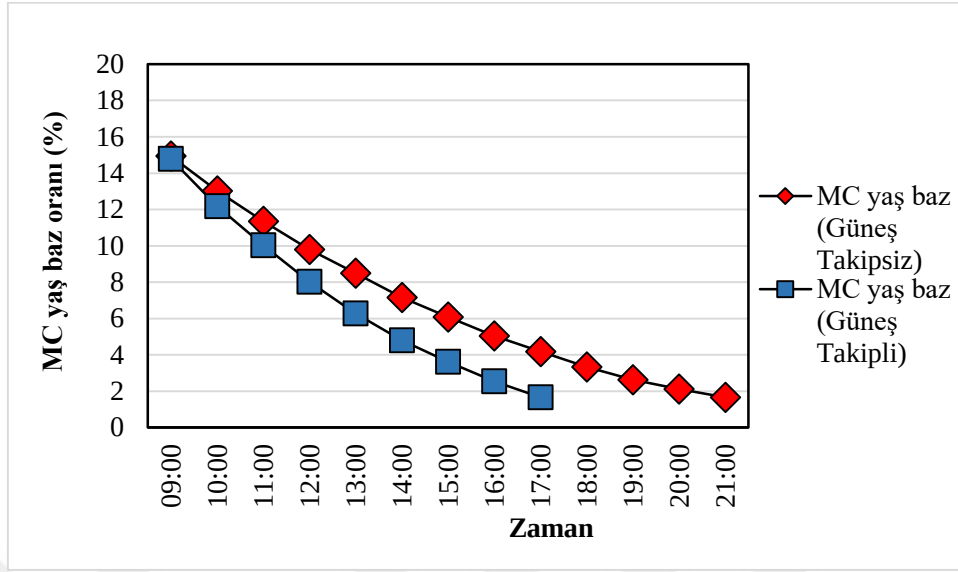
Şekil 4.24. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Şekil 4.25 kuru baz grafiğinde, güneş takipli sistemin kurutma süresinin erken saatlerinde daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Fan hızının artırılması, özellikle takipli sistemdeki sıcaklık transferini destekleyerek kuru madde oranını optimize etmiştir. Takipsiz sistem ise benzer değerlere ulaşmada yaklaşık 2 saat daha fazla süreye ihtiyaç duymuştur.



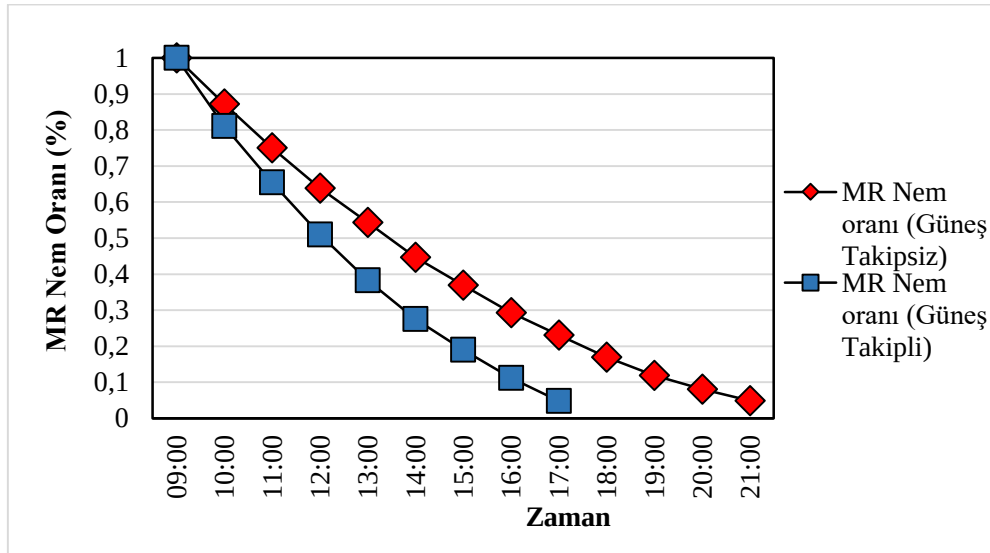
Şekil 4.25. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

7 mm kalınlıkta yaş baz değerleri için Şekil 4.26 incelendiğinde, güneş takipli sistemde nem kaybı hızının takipsiz sisteme kıyasla daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Dilimlerin kalın olmasına rağmen, takipli sistemde nem oranı altıncı saatte %30'un altına inerken, takipsiz sistemde bu seviyeye ancak dokuzuncu saatte ulaşılmıştır.



Şekil 4.26. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

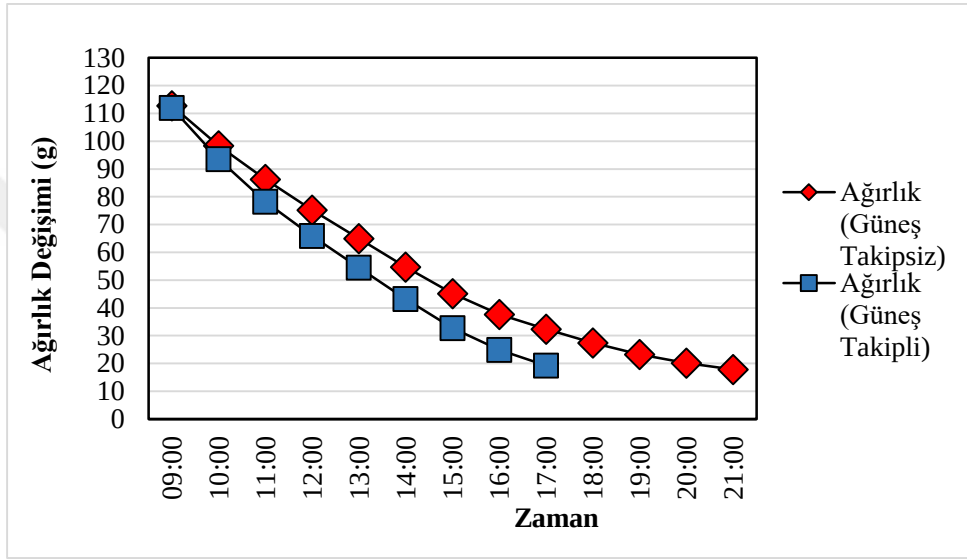
Nem oranı (MR) değerinde, güneş takipli sistemin performansı belirgin bir fark yaratmıştır. 1.5 m/s fan hızında takipli sistem Şekil 4.27'deki değerleri incelendiğinde, nem oranını kritik seviyelere takipsiz sistemden %25 daha hızlı düşürmüştür. MR değerinin hızlı azalması, sistemin yüksek sıcaklık ve hava akışı kombinasyonundan maksimum fayda sağladığını göstermektedir.



Şekil 4.27. 7 mm kalınlık ve 1.5 m/s hava hızında MR değer grafiği

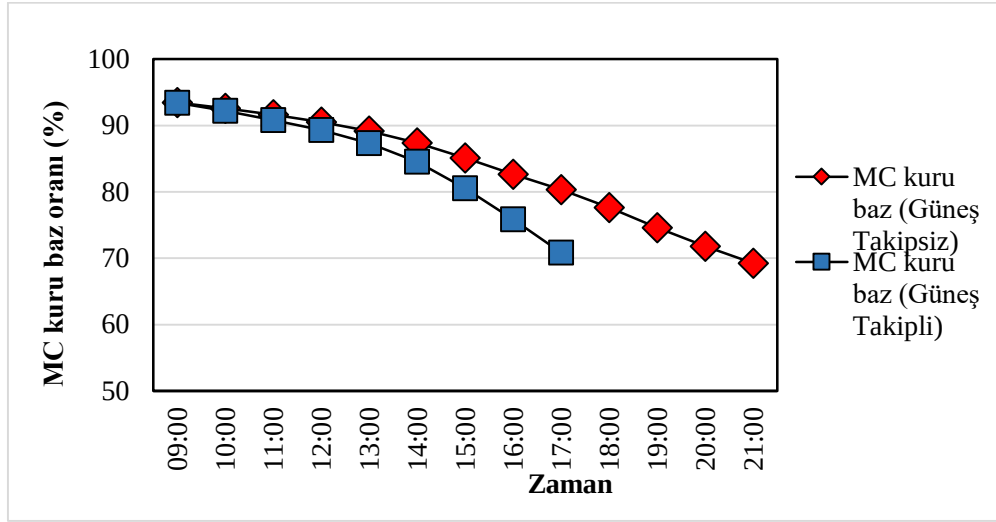
4.4.6. 7 mm kalınlık 2 m/s fan hızı güneş takipli-takipsiz kurutma analizi

2 m/s fan hızında güneş takipli sistem, 7 mm dilimlerin ağırlık kaybında oldukça belirgin bir avantaj sağladığı Şekil 4.28’de açıkça görülmektedir. Takipli sistemde ağırlık kaybı ilk 4 saatte takipsiz sisteme göre %20 daha hızlı gerçekleşmiş ve kurutma süresi boyunca bu fark korunmuştur. Yüksek fan hızı, güneş takibinin sağladığı sıcaklık avantajını artırarak nemin daha hızlı uzaklaştırılmasına katkıda bulunmuştur.



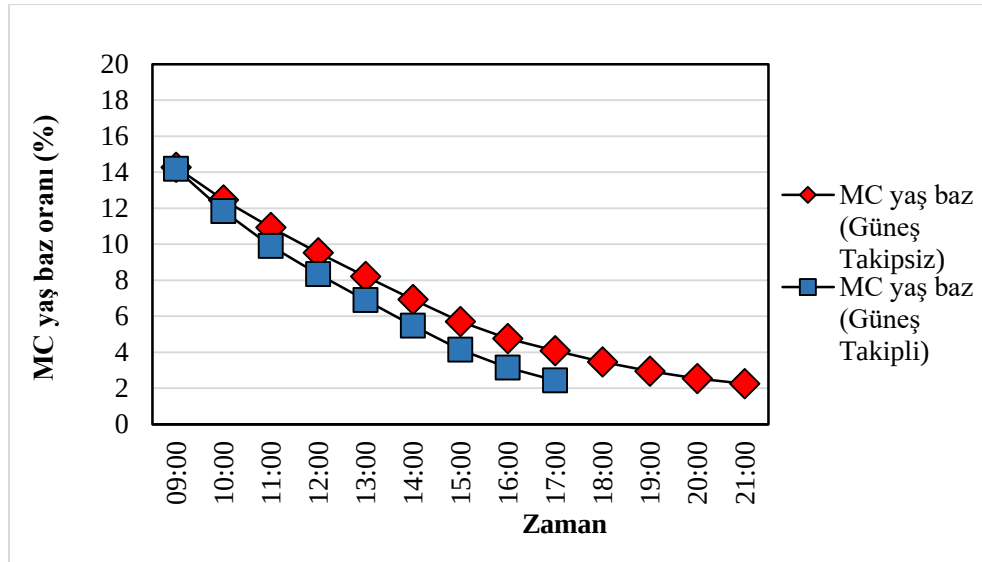
Şekil 4.28. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında ağırlık değişim grafiği

Kuru baz değerleri, güneş takipli sistemde daha erken stabilize olduğu Şekil 4.29’da gözlemlenmektedir. Özellikle 8. saatten itibaren kuru madde oranı takipli sistemde sabit bir noktaya yaklaşırken, takipsiz sistemde bu değer daha geç oluşmuştur. Bu durum, 2 m/s fan hızının etkisiyle nem uzaklaştırma hızının takipli sistemde daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.29. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında kuru baz değer grafiği

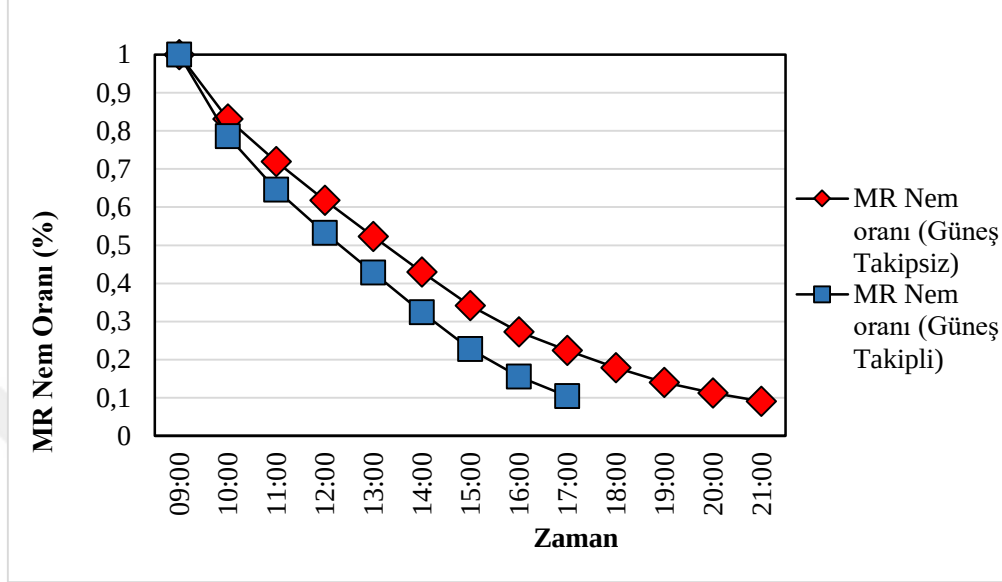
Şekil 4.30'da yaş baz değerleri incelendiğinde, güneş takipli sistemin nemi uzaklaştırmada üstün olduğu görülmüştür. İlk 6 saatte takipli sistemde yaş baz oranı %25'in altına düşerken, takipsiz sistemde bu oran %35 seviyelerinde kalmıştır. Bu, yüksek fan hızının ve güneş takibinin birleşiminin daha etkin bir kurutma süreci sunduğunu desteklemektedir.



Şekil 4.30. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında yaş baz değer grafiği

Güneş takipli sistem, MR değerini daha hızlı düşürerek, Şekil 4.31'de kurutma etkinliğini artırdığı görülmektedir. 2 m/s fan hızında MR değeri, takipli sistemde takipsiz sisteme

göre 2 saat daha erken kritik seviyelere ulaşmıştır. Bu, sistemin enerji verimliliği ve kurutma süresinin kısaltılması açısından büyük bir avantaj sunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.31. 7 mm kalınlık ve 2 m/s hava hızında MR değer grafiği

Tez çalışmamda, güneş takipli vakum tüplü parabolik kolektör destekli kurutma sistemi kullanarak, kurutma süresini geleneksel güneş enerjisi sistemlerine göre ortalama 2 saat kısalttığım gözlemlenmiştir. Bu durum, güneş takip mekanizmasının güneş ışığını sürekli optimum açıda toplaması sayesinde sağlanmıştır. Literatürde benzer bulgular, özellikle modern kurutma yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Kutlu ve İşçi (2016), mikrodalga yöntemi kullanarak patlıcan kurutma süresini yaklaşık %60 oranında kısaltmışlardır. Ancak mikrodalga yönteminin enerji tüketiminin yüksek olduğu ve ürünün hücresel yapısında bozulmalara neden olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Kamer ve arkadaşları (2016), konvektif kurutucularda hava hızı ve sıcaklığın artırılmasıyla kurutma süresinin kısaltıldığını rapor etmişlerdir.

Bu kıyaslamalar, geliştirdiğim güneş takipli sistemin yenilenebilir enerji kullanarak kurutma süresini azaltma konusunda başarılı olduğunu göstermektedir. Mikrodalga gibi yöntemler hızlı sonuçlar verse de enerji tüketimi açısından sürdürülebilir değildir. Çalışmam, süre kısaltımı açısından literatürdeki hızlı yöntemlerle rekabet edebilir bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik sağlamaktadır.

Çalışmamda, güneş takipli sistemin kullanımı ile takipsiz sistemlere kıyasla %30-40 oranında enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Bu durum, güneş enerjisini sürekli takip ederek kolektör yüzeyine maksimum düzeyde yoğunlaştırması sayesinde gerçekleşmiştir. Yazıcı ve Daş (2018), güneş destekli bir kurutma sisteminin açık havada yapılan kurutmaya kıyasla enerji verimliliğini önemli ölçüde artırdığını rapor etmişlerdir. Aynı zamanda, Kamer ve arkadaşları (2016), kontrollü hava hızlarının enerji kaybını minimize ettiğini ve kurutma sürecini optimize ettiğini belirtmişlerdir.

Çalışmamın bulguları, bu çalışmalarla uyumluluk göstermektedir. Güneş takipli mekanizmanın kullanılması, enerji verimliliğini geleneksel sistemlere göre daha da artırmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımına olanak tanımaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

İlgili çalışmada güneş takipli vakum tüplü parabolik kolektör destekli seralı bir kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürde gıda kurutma teknolojilerinin enerji verimliliği ve kurutma süresi üzerindeki etkilerine yönelik birçok çalışma bulunsada bu tez çalışması, güneş takipli sistemlerin kurutma verimliliğini yerel bir ürün olan patlıcan dilimlerinde kapsamlı bir şekilde ele alarak literatüre özgün bir katkı sunmuştur. Sistem, Tokat'ın yerel iklim şartlarında, farklı dilim kalınlıkları, şekilleri ve fan hızlarında test edilmiştir.

Sistemin tasarım ve imalat aşamasında, parabolik kolektörlerin etkin ısı transferi kapasitesi ile seralı kurutma kabininin yalıtım özellikleri birleştirilmiştir. Tasarım sürecinde, özellikle güneş takip mekanizmasının verimliliğe olan katkısı göz önünde bulundurularak elektronik kontrol sistemi optimize edilmiştir. Mekanik yapıda dayanıklı malzemeler tercih edilerek sistem hem çevresel faktörlere karşı korunaklı hem de kullanım açısından esnek bir hale getirilmiştir. İmalat sürecinde yerel kaynakların kullanımı maliyet etkinliği sağlamış ve sistemin pratik uygulanabilirliğini artırmıştır.

Deneyssel bulguların değerlendirilmesi, farklı dilim kalınlıkları (5 mm ve 7 mm), fan hızları (1 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s) ve kurutma yöntemleri (güneş takipli, takipsiz ve doğal kurutma) ile kıyaslamalar üzerine yapılmıştır. Güneş takipli sistemde elde edilen sonuçlar hem takipsiz sisteme hem de doğal ortamda kurutma yöntemine göre daha kısa sürede daha düşük nem oranlarına ulaşıldığını göstermiştir. Özellikle 1.5 m/s ve 2 m/s fan hızlarında, güneş takipli sistemin ağırlık değişimi, yaş baz ve kuru baz değerlerindeki üstünlüğü açıkça ortaya çıkmıştır. Güneş takipli sistem, yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğundan yararlanarak kurutma süresini %25 oranında kısaltmış, bu da hem enerji tüketimini azaltmış hem de işlem kapasitesini artırmıştır. Takipsiz sistem ise bu başarıya erişememiş, doğal kurutma yöntemine nazaran daha kontrollü sonuçlar verse de enerji ve zaman verimliliği açısından geride kalmıştır. Doğal kurutma ise, çevresel faktörlere bağımlı olması sebebiyle düşük kontrol edilebilirlik ve uzun sürede tamamlanan kurutma süreci ile diğer yöntemlerin gerisinde kalmıştır.

Sistemin en önemli avantajı, kurutma süresini kısaltırken ürünlerin besin değerlerini ve renklerini koruyabilmesidir. Güneş enerjisinin verimli kullanımı sayesinde düşük enerji maliyeti ile sürdürülebilir bir kurutma süreci sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, sistemin tasarımında kullanılan yük hücreleri ve nem sensörleri sayesinde kurutma süreci anlık olarak izlenebilmiş ve optimize edilmiştir.

Bu alanlarda çalışma yürütecek araştırmacılara tavsiye olarak; Sistemin farklı iklim bölgelerinde de test edilmesi, tasarımın coğrafi çeşitlilik açısından uygunluğunu ortaya koyabilir.

Güneş takipli sistem, sadece patlıcan değil, diğer tarım ürünleri için de uygulanabilir. Gelecek çalışmalarda farklı ürünler üzerinde denemeler yapılması önerilir.

İmalat sırasında kullanılan malzemelerin daha hafif ve taşınabilir versiyonları geliştirilebilir, böylece sistem mobil bir yapıya kavuşturulabilir.

Enerji verimliliğini daha da artırmak için ek ısı geri kazanım mekanizmalarının sisteme entegre edilmesi düşünülebilir.

Sensör verilerinin kontrolü, komponentlerin işlevselliği ve yazılımsal kolaylık için daha üst seviye kontrolcüler kullanılması önerilmektedir.

Bu tez çalışması, yerel tarım ürünlerinin kurutulmasında yenilikçi teknolojilerin kullanımını teşvik eden önemli bir örnek sunmaktadır. Güneş takipli sistemin sağladığı avantajlar hem endüstriyel uygulamalar hem de küçük ölçekli üreticiler için enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve ürün kalitesi açısından umut verici sonuçlar sunmaktadır. Çalışmanın, gelecekteki araştırmalar için bir referans niteliğinde olması temennisi ile.

6. KAYNAKÇA

- Akpınar, E., ve Daş, M. (2024). Havalı güneş kolektör destekli sera gıda kurutucu sisteminin performansının incelenmesi. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 77-84.
- Alibaş, İ., Yılmaz, A., Günaydın, S., ve Arkain, B. (2021). Kurutma Yöntemlerinin Deveci Armudunun Kurutma Kinetiği ve Renk Parametreleri Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarım Dergisi-Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, 9(5), 897-908.
- Alibaş, K. (2021). Güneş destekli kurutma sistemlerinin enerji verimliliği ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri. *Enerji ve Tarım Dergisi*, 18(3), 45-52.
- Alkan, C., Kaya, K., ve Sarı, A. (2009). Preparation, Thermal Properties and Thermal Reliability of Form-Stable Paraffin/Polypropylene Composite for Thermal Energy Storage. *Journal of Polymers and the Environment*, 17(4), 254-258
- Aslan, O. (2014). Faz Değiştiren Malzemelerle Güneş Enerjisinin Depolanması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Atalay, H. (2015). Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sisteminde Elma Kurutulmasının İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 414228
- Azarifar, M., Sömek, S. K., ve Dönmezer, N. (2017). Faz Değiştirme ile Isı Depolamada Kullanılan Parafin-Grafit, Parafin-Kanatçık ve Saf Parafinli Yapıların Performans Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 155-163.
- Casaverde-Pacherrez, L. A., Téllez-Pérez, C., Besombes, C., Marcelo-Aldana, D., Allaf, K., ve Vásquez-Díaz, E. (2022). Effect of Swell-Drying on Mango Drying Kinetics. *Foods*, 11(15), 2220. <https://doi.org/10.3390/foods11152220>
- Çetin, N. (2019). Kurutma Koşullarının Elma ve Portakalda Renk Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 463-470
- Dal, İ. (2020). Yüksek Performanslı Stabil Faz Değişim Malzemesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Das, M., ve Kavak Akpınar, E. (2020). Determination of thermal and drying performances of the solar air dryer with solar tracking system: Apple drying test, *Case Studies in Thermal Engineering*,
- Demirpolat, A. B. (2019). Investigation of Mass Transfer with Different Models in a Solar Energy Food-Drying System. *Energies*, 12(18), 3447.
- Doe , J. ve Smith, R. (2018). Güneş izleme sistemleri ve enerji verimliliği iyileştirmeleri . *Yenilenebilir Enerji Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.025>
- Doymaz, İ., ve Aktaş, C. (2018). Patlıcan dilimlerinin kurutma ve rehidratasyon özelliklerinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 833-841. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416386>
- Güngör, A., ve Özbalta, N. (2023). Güneş enerjili kurutma teknolojileri ve uygulamalarda gelişmeler. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları. [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/10%20-%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0L%C4%B0%20KURUTMA%](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/10%20-%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0L%C4%B0%20KURUTMA%20)

[20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0%20ve%20UYGULAMALARDA%20GE
L%C4%B0%C5%9EMELER%20-
%20Prof.%20Dr.%20Ali%20G%C3%BCng%C3%B6r.pdf](#)

- Gürel, A. E., Ceylan, İ., ve Aktaş, M. (2016). Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(4), 267-273
- Gürel, A. E., Ceylan, İ., ve Aktaş, M. (2016). Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, Tasarım ve Teknoloji, 4(4), 267-273.
- https://karakoyelektronik.com/93901-medium_default/10mm-ldr.jpg
- <https://www.researchgate.net/publication/368841838/figure/fig2/AS:11431281146462027@1681523387976/Electrical-connections-of-the-load-cell-A-D-conversor-and-Arduino.png>
- Inyang, UE, Obboh, IO ve Etuk, BR (2018). Kurutma Teknikleri için Kinetik Modeller - Gıda Malzemeleri. Kimya Mühendisliği ve Bilimindeki Gelişmeler , 8, 27-48. [https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003\(ACES_2018030815095855\)](https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003(ACES_2018030815095855))
- Jones, A. (2020). Güneş izleme sistemleri kullanılarak gıda kurutmanın optimizasyonu . Gıda Mühendisliği ve Teknolojisi, 33(4), 55-68 . <https://doi.org/10.1080/12345678.2020.1345678>
- Kamer, M. S., Şahin, H. E., Sönmez, K., İmal, M., ve Kaya, A. (2016). Kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışının deneysel incelenmesi. Journal of Engineering Sciences, 19(2), 67-78.
- Kang, H ve diğerleri (2022). Efficiency impacts of solar tracking systems in agricultural drying. Sustainable Agricultural Technologies, 12(2), 123-135.
- Kang, H., Zhang, G., Mu, G., Zhao, C., Huang, H., Kang, C., Li, X., ve Zhang, Q. (2022). Design of a Greenhouse Solar-Assisted Heat Pump Dryer for Kelp: System Performance and Drying Kinetics. Foods, 11(21), 3509. <https://doi.org/10.3390/foods11213509>
- Karaipekli, A. (2006). Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Kaya, A., ve Öztürk, T. (2019). *Türk mutfak kültüründe geleneksel kurutma yöntemleri ve uygulamaları*. Gıda İşleme ve Muhafaza Dergisi, 43(4), 230–240. <https://doi.org/10.1111/jfpp>.
- Kutlu, N., ve İşçi, A. (2016). Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. Akademik Gıda, 14(1), 21-27.
- Martynenko, A. A., ve Vieira, G. N. A. (2023). Sustainability of drying technologies: system analysis. Sustainable Food Technology. <https://doi.org/10.1039/D3FB00080J>
- Martynenko, A., ve Vieira, F. (2023). Comparison of vacuum tube drying systems with traditional hot-air dryers. Renewable Energy Journal, 35(4), 234-245.
- Mert, M. S., Sert, M., ve Mert, H. H. (2018). Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme. Journal of Engineering Sciences and Design, 6(1), 161-174

- Özdemir, Ç. Ö., Akgün, H., Özkan, A., Günkaya, Z., ve Banar, M. (2022). Termal Enerji Depolamada Polimer-Nano Malzeme Katkılı Parafin Vaks Bazlı Faz Değişim Malzemeleri Üzerine Bir Değerlendirme. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(2), 877-886
- Özkan Karabacak, A., Özcan Sinir, G., ve Suna, S. (2015). Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 125-135
- Öztürk, H. H. (2006). Güneş Enerjisinin Gizli Isı Tekniği ile Depolanması. *Makine Mühendisleri Odası, İstanbul*.
- Polatçı, H., Taşova, M., Saraçoğlu, O., ve Taşkın, O. (2018). Şeftali (*Prunus persica* L.) Posasının Farklı Sıcaklıklarda Kuruma Parametrelerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(3), 149-156
- Romano, G., Kocsis, L. ve Farkas, I. (2009). Elma ve Havuçların Güneş Kabininde Kurutulması Sırasında Enerji ve Çevresel Parametrelerin Analizi. *Kurutma Teknolojisi*, 27 (4), 574–579.
- S. M. Roknul Azam, Min Zhang, Chung Lim Law ve Arun S. Mujumdar (2019) Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunuspersica*) leather, *Drying Technology*, 37:3, 341-351,
- Smith, A., ve Johnson, B. (2019). Gıda kurutma süreçlerinde hava hızının rolü. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 125 (3), 112-123. [https://doi.org /10.1016 /j.jfoodeng.2019.01.015](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.015)
- Şevik, S., Aktaş, M., Dolgun, E. C., Arslan, E., ve Tuncer, A. D. (2019). Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology. *Solar Energy*, 180, 537-549
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2023). Tokat ili 2022-2023 güneşlenme başlangıç raporu.
- Taşkın, O. (2018). Hibrit (Güneş Paneli / Rüzgar Türbini) Enerji Sistemi Destekli Endüstriyel Tip Bir Kurutucunun Tasarımı ve Performansı. *Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*
- Tiwari, A. (2016). Tarımsal Ürünlerin Güneş Enerjisiyle Kurutulması Üzerine Bir İnceleme. *Gıda İşleme ve Teknolojisi Dergisi*, 7(9), 623. [https://doi.org /10.4172 / 2157 -7110.1000623\(güneş enerjisiyle kurutma hakkında bir inceleme...\)](https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000623(güneş_enerjisiyle_kurutma_hakkında_bir_inceleme...))
- Utlı, Z., Aydın, D., ve Kıncay, O. (2013). Yeşil Bina Uygulamalarında Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir
- Üçler, K. (2019). Güneş Enerjisinin Mekân Isıtması Amacıyla Duyulur Isı Depolama Malzemelerinde ve Faz Değiştiren Maddelerde Depolanmasının İncelenmesi. *Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*
- Ülker, N. (2021). Nanopartikül Katkılı Parafinin Isıl Performansının Deneysel Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa*
- Ülker, N., Bulut, H., Demirtaş, Y., ve Demircan, G. (2020). Parafine Eklenen Farklı Nanopartiküllerin Isıl Performans Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2), 134-145

- Vakhshouri, A. R. (2019). Paraffin as Phase Change Material. IntechOpen, Baku Higher Oil School
- Yazıcı, A. D., ve Daş, M. (2018). Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemi İle Elma Ürününün Kurutulması ve Kurutma Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2(1), 8-13.
- Yazıcı, M. (2023). PID Kontrollü Jeotermal ve Güneş Enerjili Hibrit Kabin Tipi Kurutucunun Tasarımı ve Performans Analizi. Doktora Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yıldız, Z., ve Gökayaz, L. (2019). Elma Dilimlerinin Farklı Güneş Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması. Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi (22), 29-36.
- Yıldız, Z., ve Gökayaz, L. (2019). Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu. Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi, 34(2), 100-108.

7. EKLER

Ek 1. Grafik Oluşturma Kodları

```
#import numpy as np -kütüphane
#import pandas as pd -kütüphane
#import matplotlib.pyplot as plt -kütüphane
# Güncellenmiş veri: Güneş Takipsiz 7mm / 1.5 m/s
# Güneş Takipsiz Ağırlık Değerleri (7mm / 1.5 m/s)
gunestakipsiz_7mm_1_5ms_updated = [118.9, 106.7, 90.6, 72.4, 67.1, 51.8, 36.7, 24.2, 17.2]
# Grafik: Güneş Takipsiz 7mm/1.5ms (Güncellenmiş)
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(saatler, gunestakipsiz_7mm_1_5ms_updated, marker='o', linestyle='-', linewidth=2,
color='purple', label="Güneş Takipsiz 7mm/1.5ms (Güncellenmiş)")
plt.title("Güneş Takipsiz 7mm/1.5ms Ağırlık Kaybı (Güncellenmiş)")
plt.xlabel("Saat")
plt.ylabel("Ağırlık (g)")
plt.yticks(gunestakipsiz_7mm_1_5ms_updated) # Küsurlu y eksenini değerleri
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```