



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TARIMDA ENERJİ SİSTEMLERİ DOKTORA PROGRAMI

**GÜNEŞ ENERJİLİ VAKUM TÜPLÜ KURUTUCU TASARIMI VE
KARADUTUN (*Morus nigra* L.) FARKLI KOŞULLARDA KURUMA
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Muhammed TAŞOVA

Danışman: Doç. Dr. Hakan POLATCI

TOKAT - 2023



Bu tez çalışması;

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 2019/45 nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK SÖZLEŞMESİ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Hakan POLATCI danışmanlığında hazırlamış olduğum “Güneş Enerjili Vakum Tüplü Kurutucu Tasarımı ve Karadutun (*Morus nigra* L.) Farklı Koşullarda Kuruma Performansının Belirlenmesi” adlı Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

10/05/2023

Muhammed TAŞOVA



ÖZET

GÜNEŞ ENERJİLİ VAKUM TÜPLÜ KURUTUCU TASARIMI VE KARADUTUN (*Morus nigra* L.) FARKLI KOŞULLARDA KURUMA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Taşova, Muhammed

Doktora, Tarımda Enerji Sistemleri Bilim Dalı

Tez Danışmanı: DOÇ. DR. HAKAN POLATCI

MAYIS 2023, x + 96

Geniş bir ekolojik üretim alanına sahip olan dut meyvesinin yaklaşık 68 türü bulunduğu bilinmektedir. Özellikle reçel olarak tüketilen dut meyvesi, meyve suyu yapılarak da oldukça fazla tercih edilen bir üründür. Bu çalışmada, karadut meyvesi yarı ve tam olgun şekilde kurutulmuştur. Meyvelerin ilk nem içerikleri yarı olgunlukta % 86.74 ve tam olgunlukta ise % 82.95 olarak tespit edilmiştir. Kurutma işlemlerinde meyvelerin ilk nem değerleri % 10-13 nem aralığına düşene kadar etüvde, vakumlu etüvde, hassas kurutucuda, güneş enerjili kurutucuda; 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarında ve güneşte kurutulmuştur. Karadut meyvelerinin kuruma süresi, ince tabaka kuruma modelleri, efektif difüzyon, aktivasyon enerjisi, özgül enerji tüketimi, renk ve fitokimyasal özellikleri incelenerek olgunluk seviyesi ve kurutma yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Kuruma süresi açısından tam olgun meyveler daha kısa sürede kururken, efektif difüzyon, aktivasyon enerjisi ve özgül enerji tüketim değerleri ise yarı olgun meyveye göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Tüm renk özellikleri birarada değerlendirildiğinde yarı olgun meyveler için en uygun kurutma yöntemi güneş enerjili kurutucuda 60 °C, tam olgun meyveler için ise vakumlu etüvde ve güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklığın daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Fitokimyasal özellikleri açısından yarı olgun meyveler için hassas ile etüvde kurutucuda 70 °C sıcaklığın daha uygun olduğu belirlenmiştir. Tam olgun meyveler için ise en uygun kurutma yönteminin hassas 70 °C, vakumlu etüvün tüm sıcaklıkları ve güneş enerjili kurutucuda 50 °C sıcaklığın daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Vakum Tüpü, Karadut, Modelleme, Özgül Enerji Tüketimi, Kalite Analizi

(*) Bu çalışma, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2019/45).

ABSTRACT

DETERMINATION OF DRY PERFORMANCE IN DIFFERENT CONDITIONS OF BLACK MULBERRY (*Morus nigra* L.) AND SOLAR ENERGY VACUUM TUBE DRYER DESIGN

Taşova, Muhammed

Doctoral Thesis, Department of Energy Systems in Agriculture

Advisor: Assoct. Prof. Dr. Hakan Polatc1

May 2023, x + 96 pages

It is known that there are approximately 68 types of mulberry fruit, which has a wide ecological production area. Especially mulberry fruit consumed as jam is a highly preferred product by making fruit juice. In this study, black mulberry fruit was dried semi and fully ripe. Initial moisture content of the fruits was determined as 86.74% in the semi-mature and 82.95% in the complete case. In the drying process, the first moisture values of the fruits are reduced to 10-13% moisture range in the oven, vacuum oven, precision dryer, solar dryer; It was dried at 50, 60 and 70 °C and in the open sun. Drying time, thin layer drying patterns, effective diffusion, activation energy, specific energy consumption, color and phytochemical properties of black mulberry fruits were examined, and the maturity level and the effect of drying methods were investigated. In terms of drying time, while fully ripe fruits dried in a shorter time, effective diffusion, activation energy and specific energy consumption values were found to be higher than semi-ripe fruit. When all the color properties are evaluated together, it has been determined that the most suitable drying method for semi-ripe fruits is 60 °C in a solar dryer, and 60 °C in a vacuum oven and a solar dryer for fully ripe fruits. In terms of phytochemical properties, it has been determined that a temperature of 70 °C in a sensitive oven dryer is more suitable for semi-ripe fruits. For fully ripe fruits, it was determined that the most suitable drying method is 70 °C sıcaklık sensitive, all temperatures of vacuum oven and 50 °C temperature in solar dryer.

Keywords: Drying, Vacuum Tube, Black Mulberry, Modeling, Specific Energy Consumption, Quality Analysis

ÖNSÖZ

Doktora eğitimime başladığım günden bugüne bilgi ve yol göstericiliğini hiçbir zaman esirgemeyen ayrıca yardımseverlik ve insanlık konusunda örnek bir kişiliğe sahip olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Hakan POLATCI' ya teşekkürü bir borç bilir ayrıca tez çalışmalarım esnasında teknik destek sunan İlkay ERTEM ve Ahmet Duran YALÇIN Beyler'e ve fitiokimyasal analizlerde yardımcı olan Doç. Dr. Onur SARAÇOĞLU ve Arş. Gör. Osman ÖCALAN hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi ve manevi desteğini hiç bir zaman esirgemeyen aileme ve eşim Rabia TAŞOVA' ya sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.



Muhammed TAŞOVA

10 Mayıs 2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Materyal.....	32
3.2. Yöntem.....	42
3.3. Vakum destekli güneş enerji destekli kurutma sisteminin imalatı.....	42
3.4. Termal verimlilik analizi.....	42
3.5. Meyvelerin olgunluk seviyelerine ayrılması.....	44
3.6. Nem tayini işlemi.....	44
3.7. Kurutma işlemi.....	45
3.8. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	45
3.9. Efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisinin hesaplanması.....	46
3.10. Enerji tüketim değerlerinin ölçülmesi.....	46
3.11. Meyvelerin renk ölçümleri.....	47
3.12. Kimyasal analizler.....	48
3.13. İstatistiksel analiz.....	50
4. BULGULAR veya BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Termal verimlilik analizine ait bulgular.....	50
4.2. Kuruma performans değerleri.....	54
4.3. İnce tabaka kuruma modelleri.....	56
4.4. Efektif difüzyon değerleri.....	67
4.5. Özgül enerji tüketim değerleri.....	70
4.6. Renk ve kimyasal analiz bulguları.....	72
5. SONUÇ (TARTIŞMA VE SONUÇ).....	76
KAYNAKLAR.....	77

EKLER.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	96



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrad
°K	Kelvin
\$	Dolar
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
R ²	Kararlılık değeri
π	Pi
R	Rydberk sabiti
k	Model sabiti
l	Model sabiti
m	Model sabiti
h	Model sabiti
Pa	Paskal
pH	Asitlik
J	Joule
g	Gram
kg	Kilogram
W	Watt
kJ	Kilojoule
s	Saat
sa	Saat
ml	Mililitre
mL	Mililitre
sn	Saniye
MJ	Megajoule
mm	Milimetre
kWh	Kilowattsaat
GPa	Giga paskal

eq	Equivalent
dk	Dakika
T	Sıcaklık
V	Volt
Ah	Amper
Qu	Sistemden kazanılan faydalı enerji
Qi	Gelen enerji
n	Termal verimlilik
m	Hava debisi
Cp	Havanın özgül ısısı
To	Ortam sıcaklığı
Ti	Kabin iç sıcaklığı
Ac	Kolektör alanı
G	Işınım şiddeti
M	Anlık nem içeriği
Me	Denge nem içeriği
Mo	İlk nem içeriği
exp	Epsülon
ln	e tabanlı logaritma
L	Kurutma materyalinin kalınlığı
t	Saat
Ea	Aktivasyon enerji
L	Parlaklık
a	Kırmızı/Yeşil
b	Sarı/Mavi
C	Kroma
hue°	Hue açısı
N	Normalite
mM	Mikromol
mL	Mikrolitre
μ	Mikro
vb.	Ve benzeri

Kısaltmalar	Açıklama
TEP	Ton eş değer petrol
SÇKM	Suda çözünebilir kuru madde
TA	Tirede edilebilir asit
TAK	Toplam antioksidan kapasitesi
TF	Toplam fenol
TAD	Toplam antosiyanin değeri
TAK	Toplam antosiyanin kapasitesi
IDM	Isı depolama materyali
FDM	Faz değişim materyali
Mol	Molarite
TMAB	Toplam mezofilik aerob bakteri
HA	Sıcak hava
FD	Dondurarak kurutma
EPD	Patlatmalı puf kurutma
ANO	Alınabilir nem oranı
ÖET	Özgül enerji tüketimi
TEET	Toplam elektrik enerjisi tüketimi
TSK	Toplam su kaybı

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Vakum tüplü güneş enerjili kabin tipi kurutma sistemi.....	32
Şekil 3.2. Vakum tüplü güneş enerji sistemi.....	33
Şekil 3.3. Kompresör.....	33
Şekil 3.4. Kabin kurutucu.....	34
Şekil 3.5. Kontrol paneli ve sıcaklık sensörleri.....	35
Şekil 3.6. Jel akümülatör.....	36
Şekil 3.7. Şarj kontrol cihazı.....	36
Şekil 3.8. Fotovoltaik pil.....	37
Şekil 3.9. Döşürücü.....	37
Şekil 3.10. Işınım ölçer.....	38
Şekil 3.11. Isı depolama materyali-mono etilen glikolin.....	38
Şekil 3.12. Eşanjör boru.....	39
Şekil 3.13 Kurutma materyali.....	39
Şekil 3.14. Kurutma cihazları ve kurutma rafı.....	40
Şekil 3.15. Renk ölçer.....	41
Şekil 3.16. Güç analizörleri.....	41
Şekil 3.17. Güneş enerji sistemi ve kabin kurutucunun imalatı ve montajı...	42
Şekil 3.18. Güneş enerji sisteminin IDM ve suyla doldurulması.....	43
Şekil 3.19. Farklı olgunluk seviyelerine ayrılan karadut meyveleri.....	44
Şekil 3.20. Taze ve kurutulan meyvelerin fitokimyasal analizleri.....	48
Şekil 4.1. % 25 IDM-% 75 su karışımında ölçülen ortalama değerler.....	50
Şekil 4.2. % 50 IDM-% 50 su karışımında ölçülen ortalama değerler.....	51
Şekil 4.3. % 75 IDM-% 25 su karışımında ölçülen ortalama değerler.....	51
Şekil 4.4. % 100 IDM karışımında ölçülen ortalama değerler.....	52
Şekil 4.5. % 100 su karışımında ölçülen ortalama değerler.....	53
Şekil 4.6. Hassas kurutucuda kurutulan yarı olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrileri.....	68
Şekil 4.7. Güneşte kurutulan yarı olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrisi.....	68
Şekil 4.8. Vakumlu etüv kurutucuda kurutulan yarı olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrisi.....	69
Şekil 4.9. Güneşte kurutulan tam olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrisi.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kullanılan modellere ait eşitlikler.....	45
Çizelge 3.2. Hesaplanan renk eşitlikleri.....	47
Çizelge 4.1. Meyvelerin ortalama kurutma süreleri ve son nem değerleri....	55
Çizelge 4.2. Page modeline ait bulgular.....	56
Çizelge 4.3. Midilli-Küçük modeline ait bulgular.....	58
Çizelge 4.4. Yağcıoğlu ve ark. modeline ait bulgular.....	60
Çizelge 4.5. Lewis modeline ait bulgular.....	62
Çizelge 4.6. Wang-Sing modeline ait bulgular.....	63
Çizelge 4.7. Jena-Das modeline ait bulgular.....	64
Çizelge 4.8. Efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerleri.....	67
Çizelge 4.9. Özgül enerji tüketim değerleri.....	70
Çizelge 4.10. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen renk değerleri....	72
Çizelge 4.11. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen renk değerleri...	73
Çizelge 4.12. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri	74
Çizelge 4.13. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri	74
Çizelge 4.14. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri	75
Çizelge 4.15. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri	76

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Küresel boyutta enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil enerji kaynaklarından (odun, kömür, petrol) sağlanmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjiler hem mevcut miktarlarının gittikçe azalması hem de atmosfere saldığı sera gazlarından dolayı oluşan kirlilik (toprak, su, hava vb.) küresel ısınma ve sağlık sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Belirtilen sorunları azaltmak ve gelecekte daha iyi senaryolarla karşılaşabilmek için şimdiden yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir.

Küresel olarak toplam tüketilen enerji miktarının yaklaşık % 90'nı 2100 yılına kadar güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacağı tahmin edilmektedir (Trostle 2008; Alimohammadi ve ark., 2020). Dünyaya yüzeyine gelen enerji miktarı, kullanım alanı çeşitliliği ve sağladığı birçok avantajlardan dolayı güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha popülerdir (Özsoy ve Galip, 2018).

Güneş enerjisinden genellikle ısı ve elektrik ihtiyaçlarının karşılanması için yararlanılmaktadır. Ülkemizde ise elektrik üretim alanındaki kullanımı, son yıllarda artmasına rağmen daha çok ısı enerjisi ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. Isı enerjisi olarak ülkemizde 2003 yılında 350 bin ton eş değer petrol (TEP), 2010 yılında 432 bin TEP, 2014 yılında 795 bin TEP (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2015; Özdemir ve ark., 2017) olarak yararlanılırken, 2018 yılında ise bu değer 823 bin TEP olarak belirtilmiştir (Anonim, 2018). Isı enerjisi olarak yararlanılırken bu durum en basit ifadeyle güneşten gelen enerji bir emici yüzey tarafından tutulup akışkana (hava, sıvı) aktarılarak gerçekleşir. Bu amaç için geliştirilen sistemlerin ortak özellikleri düz yüzeyli ve vakum tüplü olmak üzere iki tip güneş enerjisi kolektörleri imal edilmektedir. Isı enerjisi için düz yüzeyli kolektörler kullanıldığında ortam ile kolektör sıcaklıkları arasındaki farkın yüksek olması durumunda, verimliliklerinde önemli seviyede düşüşler meydana gelmektedir.

Vakum tüplü sistemlerde ise ısı kayıpları daha az olmakta ve daha yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir (Lee, 2013). Vakum tüpleri, borosilikat materyalden yapılmış ve iç içe geçmiş iki borulu cam arasının 5×10^{-3} Pa değerine kadar vakumlanmasıyla

üretilmektedirler. Bu özelliğinden dolayı vakum tüplü kolektörler düz yüzeyli kolektörlere göre daha avantajlıdır (Özsoy ve Galip, 2018).

Vakum tüplü güneş enerji sistemlerinde, daha da yüksek sıcaklık değerine sahip akışkan elde edebilmek için ısı depolama (hissedilir ısı) veya faz değiştiren materyaller (gizli ısı) kullanılmaktadır. Bu konuyla ilgili, Adetifa ve Aremu (2018), çalışmalarında yüksek sıcaklık değerlerine sahip su elde etmek amacıyla, vakum tüplü güneş enerji sistemde faz değişim materyalleri olarak benzoik ve sterik asit kullanmışlardır. Benzoik asitin kullanıldığı uygulamada, diğer materyale göre daha yüksek ısı enerji depolandığını belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada, gece esnasında su sıcaklığının yaklaşık 50 °C sıcaklık değerini bulduğu ve gündüz ise 80 °C sıcaklığın üzerinde seyrettiğini ifade etmişlerdir. Swami ve ark. (2018), çalışmalarında iki farklı parafin vaks maddesini faz değişim materyali olarak kullanmışlardır. Klorinet C-23 parafin vaks materyalinin ısı değeri açısından diğer maddeden daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde literatürde; Zhu ve ark. (2020), Xie ve ark. (2020a), Sun ve ark. (2019), Navarrete ve ark. (2019), Panchal ve ark. (2018), Ma ve ark. (2018) bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların genellikle ortak özelliği su ısıtma ihtiyaçlarının giderilmesi için gerçekleştirilmiştir.

Trostle (2008)'ye göre, dünyada üretilen enerji miktarının % 30'undan fazlası tarım sektöründe kullanıldığı ve bu değerinde sadece % 3.6'sı ise kurutma işlemlerinde tüketildiğini ifade etmiştir. Kurutma, hasat edilen tarımsal ürünlerin bozulmaması için bünyelerindeki serbest nemin uzaklaştırılarak su aktivitesinin mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerinin en aza indirileceği bir aralığa kadar düşürülmesi işlemidir (Xiao ve Mujumdar, 2014; Won ve ark., 2015; Deng ve ark., 2018). Kurutma işlemindeki en önemli iki kriterden birisi ürünün son kalite değerinin yüksek olması ve diğeri ise en az enerji tüketerek kurutma işleminin gerçekleştirilmesidir.

Bu doğrultuda, tarımsal ürünlerin kurutulması işlemlerinde güneş enerjisinden yararlanmak hem kurutma maliyetlerini azaltır, hem de küresel enerji tüketim miktarının azaltılmasına katkı sağlar. Amer ve ark. (2018), ürünler güneşe serilerek kurutma işlemi yapıldığında sıcaklık, rüzgar ve çevresel etkiler kontrol edilemediğinden dolayı üründe bazı kalite kayıpları meydana gelmektedir. Bu sebeple güneş enerjili

kurutucularla ilgili çalışmalar sürekli artmaktadır. Bu konuda özellikle termal verimlilik değerleri daha yüksek olan vakum tüplü güneş enerjisi kolektörlerin kullanıldığı kurutma çalışmaları ise gelişme aşamasındadır. Vakum tüplü kolektörler kullanılarak elde edilen sıcak havayla yapılan kurutma işlemleri konusunda; Vijayan ve ark. (2016) ve Braham ve ark. (2018), çalışmalarında olduğu gibi örnekler mevcuttur. Gıda ve enerji sorunlarının gittikçe arttığı günümüzde güneş enerjisi destekli kurutma çalışmalarının daha da geliştirilmesi önem arz etmektedir. Özellikle yüksek nem içeriğine sahip tarımsal ürünlerin kurutulması için gerekli yüksek sıcaklık değerlerinin sağlandığı ve yapay kurutucularda olduğu gibi kurutma havası sıcaklığının kontrol edildiği kurutma sistemlerine daha fazla ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, vakum tüplü güneş enerji sisteminde ısı depolama materyali olarak mono etilen glikolinin (1,2-Dihydroxyethane) kullanıldığı, kurutma havası sıcaklığının kontrol edildiği ve güneş piliyle çalışan güneş enerjili kabin kurutucu imal edilmiştir. Güneş enerjili kurutucuda optimum termal verimlilik değerini belirlemek için güneş enerjisi deposu % 100 su, % 100 ısı depolama materyali (IDM) ve suyla 25, 50, % 75 oranlarında doldurulmuştur. Herbir % oran değerinde 5'er gün boyunca sıcaklık ve ışınım şiddeti değerleri kayıt edilmiştir. Belirlenen en uygun % oran değerinde güneş enerji deposu tekrar doldurularak iki farklı olgunluk seviyesinde toplanan karadut meyveleri, imal edilen vakum tüplü güneş enerjili kurutucuda, etüvde, vakumlu etüvde, hassas kurutucuda 50, 60 ve 70 °C kurutma sıcaklıklarında ve güneşte kurutulmuştur. Kuruma parametresi ve kuru ürünlerin kalite özellikleri olarak; kuruma süresi, ince tabakalı kuruma modelleri, özgül enerji tüketimi, renk, asitlik (pH), suda çözünebilir kuru madde (SÇKM), titrede edilebilir asitlik (TA), toplam antioksidan kapasitesi (TAK), toplam fenol (TF) ve toplam antosiyanin değerleri (TAD) tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Güneş enerji sistemlerinde ısı depolama veya faz değişim materyallerinin kullanılması

Abuşka ve ark. (2020), ısı depolama materyali (IDM) olarak kiraz çekirdeğini tane ve toz halinde olmak üzere düz yüzeli kolektörde kullanarak sistemin termal verimlilik değerlerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, en yüksek termal verimlilik değeri % 27.03 ile kiraz çekirdeğinin tane halinde kullanıldığı denemede belirlemişlerdir. Sistemlerin dış ortam sıcaklıklarıyla dengeye gelme süreleri ise kontrol sisteminde (ısı depolama materyalinin kullanılmadığı) 46 dakika, IDM dane olarak kullanıldığında 200 dakika ve toz halinde kullanıldığında 270 dakika olarak tespit etmişlerdir.

Alimohammadi ve ark. (2020), çalışmada % 4'lük Al_2O_3 , motor yağı, gliserin ve su kullanarak vakum tüplü güneş enerjisi sisteminde oluşan termal verimlilik değerlerini incelemişlerdir. En düşük verimlilik değerini suda tespit ederken, % 4'lük Al_2O_3 , motoryağı, gliserin materyallerinde ise bu değerler sırasıyla, % 9.7, % 20.2 ve % 12.4 olarak belirlemişlerdir.

Azaizia ve ark. (2020), faz değişim materyali (FDM) olarak kullandıkları parafin vaks maddesinin termal verimlilik değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, FDM'li seranın, FDM'siz seraya göre, gece esnasında 7.5 °C sıcaklığın daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Bununla beraber FDM'nin sera içerisindeki bağıl nem değerini de % 18.6 oranında daha düşük bir seviyeye getirdiğini ifade etmişlerdir.

Chopra ve ark. (2020), SA-67 faz değişim materyalini (FDM) saatte 8, 12, 16 ve 24 litre akış oranlarında kullanarak vakum tüplü kolektördeki termal verimlilik değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. FDM'nin kullanılmadığı kolektördeki termal verimlilik değerlerinin % 42-55 arasında, FDM'nin kullanıldığı kolektörde ise termal verimlilik değerlerinin % 79-87 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Das ve ark. (2020), ısı depolama materyaline sümbül bitkisinden elde ettiği biyoçar maddesini ısı destekleyici olarak vakum tüplü güneş enerji sisteminde kullanmışlardır. Çalışmada, biyoçar kullanıldığında toplam ısı enerjisinin 179 J/g olarak hesaplandığını

ve tek başına FDM kullanıldığı duruma göre ise termal iletkenlik değerini ortalama 13.82 kat artırdığını tespit etmişlerdir.

Guerraiche ve ark. (2020), çalışmalarında güneş enerji sisteminde suyla % 60 NaNO₃ ve % 40 KNO₃ oranlarında tuzları karıştırmışlardır. 21 Temmuz ve 21 Ekim tarihlerindeki faz değişim materyallerinin (FDM) termal verimlilik değerlerine etkisinin sırasıyla, % 16.80 ve % 14.86 oranlarında suya göre daha fazla elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Xie ve ark. (2020b), tanksız su ısıtma sisteminde steraik asit materyaline biyokompozit hindistan cevizi kömürünü % 5, 10 ve 15 oranlarında karıştırılarak termal verimlilik değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, biyokompozit materyali % 15 oranında kullanıldığında ortama yayılan gizli ısı enerji değeri 76.69 J/g ve elde edilen sıcaklık değeri ise 52.52 °C olarak bulmuşlardır.

Patel ve ark. (2020), granit ve ısı taşları vakum tüplü güneş enerji sisteminde ısı depolama materyali (IDM) olarak kullanmışlardır. Altı ay boyunca yapılan araştırmada tuzlu suyu damıtarak elde edilen ortalama günlük temiz su miktarını belirlemişlerdir. En yüksek verimlilik değerini granit taşının kullanıldığı sistemde günlük 19 kg/m² olarak tespit etmişlerdir.

Ergün (2020), çalışmada fotovoltaiik ve ısı destekli üç hibrit sistem geliştirmiştir. 1. sistemde nano materyal destekli (alüminyum oksit) faz değişim materyali (FDM), 2. sistemde sadece FDM, 3. sistemde ise FDM'siz yani sadece su (kontrol) kullanmıştır. Kontrol sistemine (FDM'siz) göre, nano madde katkılı FDM'li sistem ile sadece FDM'li sistemde % 8 oranında daha fazla elektrik enerjisi elde etmiştir. Nano madde katkılı FDM'li sistemde ise sadece FDM'li sisteme göre, ekserji verimlilik değerinin % 14 daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Elashmawy (2020), güneşi takip eden ve yoğunlaştırıcı ısı depolama materyalli (IDM) bir güneş enerji sistemi imal etmiştir. Sistemde IDM olarak 3 kg ısı özellikli çakıl taşlarını kullanarak, IDM'siz sisteme (kontrol) göre, günlük tuzlu sudan damıttığı su miktarını araştırmıştır. Çakıl taşlarının kullanıldığı sistemde günlük 4.51 litre/m² su damıtıldığını, çakıl taşsız sistemde ise günlük 3.96 litre/m² su damıtıldığını tespit

etmiştir. Çakıl taşlı ve taşsız sistemlerin verimlilik oranlarını da sırasıyla, % 36.34 ve % 31.90 olarak bulmuştur.

Dhandayuthabani ve ark. (2020), güneş enerjili sistemlerde daha fazla ısı tutabilmek için genellikle faz değişim materyalleri (FDM) kullanılmaktadır. Ancak FDM'leri, IDM'lerine göre, ısı iletim katsayıları açısından daha düşük olduğu için bu çalışma kapsamında, FDM olarak seçilen parafin maddesine mikro grafit parçacıklarını eklemişlerdir. Oluşan sıcaklık değerleri sensörlerle ölçülerek verimlilik değerini araştırmışlardır. En yüksek hızdaki akış oranında, sistem ortalama % 40 civarında daha fazla ısı depoladığı ve yine yaklaşık aynı oranda ısıyı daha fazla sürede soğutmadan tutabildiğini tespit etmişlerdir.

Rajamanickam ve ark. (2020), çift ve tek taraf eğimli bir tuzlu su havuzunda temiz su elde etme çalışması yapmışlardır. Nisan ayında sabah 09.00 ile akşam 17.00 saatleri arasında yürütülen bu çalışmada farklı havuz derinlikleri ve çatı eğim durumlarının temiz su miktarına etkisini incelemişlerdir. Maksimum verimin, çift taraf eğimli çatı düzeni ile 0.1 m derinlikteki düzenekte elde etmişler. En iyi verimin bulunduğu koşulda elde edilen temiz su miktarı ise 3025 ml/m²gün olarak bulmuşlardır.

Tiari ve Mahdavi (2020), güneş enerji sisteminde faz değişim materyali (FDM) ve ısı iletimini hızlandırmak için de metal talaşını birlikte kullanmışlardır. FDM olarak potasyum nitrat (KNO₃) ve bakır köpük kullanarak ANSYS 19. programında termal davranışına olan etkisini araştırmışlardır. Bakır köpük ve potasyum nitratın ısı depolama miktarlarına etkilerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde olduğunu belirlemişlerdir.

Messaouda ve ark. (2020), güneş enerji sisteminde sabah ve akşam saatlerinde oluşan ısı kayıplarını azaltabilmek için parabolik yoğunlaştırıcı bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada, parabolik yoğunlaştırıcı kullanıldığında gece esnasındaki ısı kayıp katsayısının 5.41 W/m²°K' den 3.34 W/m²°K değerine düştüğünü tespit etmişlerdir. Bununla beraber günlük verimlilik değerini ise % 58.62 olarak bulmuşlardır.

Saxena ve ark. (2020a), vakum tüplü güneş enerji sisteminde sıcak hava elde etme için FDM'lerini kullanmışlardır. Sistem A; referans olarak yani sadece su doldurularak termal analizini araştırmışlardır. Sistem B ve C'de sırasıyla; parafin vaks, graniler

karbon tozu kullanılarak termal analizlerini incelemişlerdir. Çalışmada, sistem C'nin, A ve B'ye göre, verimlilik açısından daha uygun olduğunu bulmuşlar. Isı transfer katsayı değerleri ise A, B ve C için sırasıyla, 249.19, 389.00 ve 411.05 W/m²°K olarak tespit etmişlerdir.

Saxena ve ark. (2020b), güneş enerji sisteminde sıcak hava elde etme için granüler karbon tozu (B), parafin vaks (C) ve bu iki materyal karıştırılarak (D), kontrole (A) göre termal verimlilik değerlerini kıyaslamışlardır. Kontrole göre, diğer tüm koşullar altında ölçülen verimlilik değerlerinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Özellikle sistem D'nin (karışıklı) daha da iyi olduğu bunun yanında ısı transfer katsayısı, termal verimlilik ve çıkış sıcaklık değerlerinin ise sırasıyla, 485.31 W/m²°K, % 78.31 ve 50 °C olarak bulmuşlardır.

Hosseinzadeh ve ark. (2020), vakum tüplü güneş enerjili pişiricide gıda ürünü pişirilerek sistemin verimlilik parametrelerini ölçmüşlerdir. Tüp içerisindeki basınç değeri 0.01 Pa değerinden 100 Pa değerine çıkartıldığında pişiricinin verimliliğinin ortalama % 23.07 civarında azaldığını belirlemişlerdir. Tüp üzerindeki absorber katsayı değeri 0.75 yerine 0.95 değerine sahip bir materyal ile örtüldüğünde faydalı güç ortalama 33.76 W değerine yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Balachandran ve ark. (2020), düz yüzeyli güneş enerji sisteminde FDM olarak yumurta kabuğunu kullanmışlardır. Arıtılan saf su miktarı açısından kontrol sistemine göre verimlilik düzeylerini kıyaslamışlardır. Kontrol sisteminde 1 m² alanda elde edilen saf su miktarı 2.07 litreken yumurta kabuğunun kullanıldığı sistemde bu değer 2.46 litre olarak ölçmüşlerdir. Aynı şekilde günlük enerji verimlilik değerlerini de sırasıyla, % 26.07 ve % 22.25 olarak belirlemişlerdir.

Tony (2020), güneş enerji sisteminde yüksek sıcaklık değerlerine sahip su depolayabilmek için FDM olarak kullandığı parafin vaks maddesine şeker kamışından arta kalan organik atıkları destek olarak kullanmıştır. Sistemde parafin vaks materyalini tek başına kullandığında dakikada 7 kJ enerji depolandığını bulurken, organik kökenli artığı destek olarak kullandığında ise dakikada 72 kJ enerji depolandığını bulmuştur.

Saravanan ve ark. (2020), saf su elde etmek için tasarlanan çift taraf eğimli çatı havuzunda ısı depolayabilmek için küçük yuvarlak cam misketleri kullanmışlardır. Isı depolama materyalinin kullanıldığı su arıtma sistemindeki verimlilik oranının geleneksel sisteme (kontrol) göre, % 16.32 oranında daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Wu ve ark. (2020), güneş enerji sisteminde yüksek ısı depolayabilmek için alüminyum potasyum sülfat dodekhidrat tuzu ve bu tuzla grafit maddesi karıştırarak oluşan verimlilik değerlerini kıyaslamışlardır. Sadece hidrat tuzunun kullanıldığı sistemde elde edilen ısı enerjisi değeri 473.52 J/g olarak bulmuşlarken, grafit destekli uygulamada ise elde edilen ısı enerjisini 641.75 J/g olarak bulmuşlardır.

Kalaierasi ve ark. (2020), düz yüzeyli güneş enerji sisteminde yüksek ısı değerine sahip hava elde etmek için kontrol sistemine kıyasla terminol-55 sentetik yağını kullanmışlardır. Isının depo edileceği sıvı akış oranları saniyede 0.017, 0.02 ve 0.028 kg olmak üzere üç farklı değerde sistemin verimliliklerini araştırmışlardır. Bulgular arasında en yüksek verimlilik değerini % 67.70 olarak belirlenirken, bu değeri 0.028 kg/s akış oranında terminol-55 yağının kullanıldığı çalışmada tespit etmişlerdir.

Shafieian ve ark. (2019), güneş enerjisi sisteminde sabit akış oranında su, IDM'ni sabit akış oranında (I) ve IDM'yi değişken akış oranında (II) kullanarak sistemin ekserji verimliliğine olan etkisini araştırmışlardır. Suyun kullanıldığı kontrol sistemine göre, durum I ve II'nin ekserji verimlilikleri sırasıyla, % 1.58 ve % 2.66 oranında artırdığını belirlemişlerdir.

Yang ve ark. (2019), metal köpük malzemesinin içerisine parafin FDM'ni koyarak farklı eğim açılarının erime süresine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 30, 60 ve 90° eğim açılarında parafin materyalinin erime sürelerini belirtilen açılar için sırasıyla, % 12.28, 22.81 ve 34.21 oranlarında azalttığını bulmuşlardır.

Mousa ve ark. (2019), FDM olarak kullandıkları organik trikosanı, suyla belirli oranlarında karıştırdıklarında elde ettikleri sıcaklık değerinin 45 °C'nin altına düşme süresini araştırmışlardır. Sistemde sadece su bulunduğu duruma kıyasla, değerinin

0.95 olduğunda 45 °C'nin altına düşme süresi iki katına ulaştığını belirlemişlerdir. Trikosan maddesinin sistemdeki suyu daha geç soğuttuğunu ifade etmişlerdir.

Asgharian ve Baniyadi (2019), çalışmada FDM'ni fotovoltaik pillerde yüzey soğutma amacıyla kullanmışlardır. Güneş pillerinde yüzey soğutma işlemi verimlilik değerlerine önemli seviyede olumlu katkılar sunduğunu ifade etmişlerdir. Panel yüzey sıcaklığının sadece % 9.7 oranında azalması verimliliği olumlu düzeyde etkilemeye yeterli olduğunu tespit etmişlerdir.

Kabeel ve ark. (2019), Mısır'ın Birkat Elsab şehrinde yansıtıcı ve ısı depolama materyalli güneş enerji sisteminin termal verimlilik analizini belirlemişlerdir. Çalışmada, faz değişim materyali ile kompozit siyah renkli ısı taşları kullanmışlardır. Sistemde sadece siyah renkli kompozit taş materyalini kullanmaktan ziyade faz değişim materyalini de destek olarak kullandıklarında enerji ve ekserji değerlerinin sırasıyla, % 37 ve % 38 oranlarında iyileştğini belirlemişlerdir.

Li ve ark. (2019), vakum tüplü güneş enerji sisteminde yaptıkları verimlilik analiz çalışmasında, stearik asit materyaline % 2, 6 ve 10 oranlarında grafit maddesini eklemişlerdir. Sistemin faz değişim sıcaklığı, gizli ısı ve termal iletkenlik değerlerini belirlemişlerdir. Stearik asit materyaline % 6 oranında grafit maddesi eklendiğinde karışımın erime ve donma ısı değerleri sırasıyla 163.50 J/g ve 167.30 J/g olarak bulmuşlardır. Aynı oranda belirlenen termal iletkenlik değerinin ise sadece stearik asit maddesi kullanıldığı duruma göre, 9.6 kat daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Mofijur ve ark. (2019), güneş enerjili güç üretimi, pişiriciler, hava-su ısıtma sistemleri vb. uygulamalar için kullanılan faz değiş materyalleri ve kullanım şekilleri hakkında literatür bilgileri vermişlerdir. Dünyada güneş enerjisinden efektif bir şekilde ısı kazanmak için faz değişim materyallerinin yaygın bir şekilde kullandığından bahsetmişlerdir. Ticari amaçlı geliştirilebilecek güneş enerjili kurutucu, pişirici ve ısıtma-soğutma sistemlerine değinilerek faz değişim materyallerinin etkililiğini ortaya koymuşlardır.

Carmona ve Palacio (2019), düz yüzeyli güneş enerjisi sisteminde faz değişim materyalini kullanarak, sistemde oluşan kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon enerji

değerlerini yarı deneysel termal dinamik modellerle ile tahmin etmişlerdir. Sistemde bulunan faz değişim materyali, çıkış su sıcaklığı, absorber tabakası ve cam örtü yüzeylerinde tahmin edilen ortalama sıcaklık hata değerlerini % 4.62 olarak bulmuşlardır.

Chen ve ark. (2019), termoelektrik, termal depolama ve termal dönüşüm için ısı depolama materyali olan parafine çok küçük miktarlarda gümüş oksit tozlarını ekleyerek termal verimlilik analizini belirlemişlerdir. Parafin maddesine % 0-0.1 oranlarında gümüş oksit eklendiğinde saf parafine göre, ortama verilen gizli ısı değerinin yaklaşık 2.3 kat daha arttığını belirlemişlerdir.

Wang ve ark. (2019a), ısı depolama teknolojilerinde önemli rol oynayan faz değişim materyallerinden biriside baryum hidroksit oktahidratıdır. Bu maddenin erime ısı 78 °C ve yaklaşık 233 ile 332 kJ/kg arasında ısı depoladığı bilinmektedir. Çalışmada, baryum hidroksit oktahidrat materyaline % 1 bakır tozu, % 1 kalsiyum florid ve % 1 kalgon maddeleri ayrı ayrı katıldığında oluşan süper soğutma derecelerini bulmuşlardır. Sırasıyla, 2.7, 1.8 ve 2.3 °C sıcaklıklarda soğumanın gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.

Zou ve ark. (2019), nitrat tuzunun farklı bir formuna sahip olan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ katkılı hitek tuzu endüstriyel tip güneş enerji sisteminde kullanılarak erime, kristalleşme ve geri dönüşüm sıcak değerlerini araştırmışlardır. Belirlenen sıcaklık değerlerinin sırasıyla, 83.10, 163.10 ve 628.50 °C olarak bulmuşlardır. Tuz için uygun çalışma sıcaklık değerinin 200-565 °C aralığında olduğu belirlenirken, ortalama özgül ısı ve termal iletkenlik değerleri ise sırasıyla, 1.52 J/g.°K ve 0.655 W/m.°K olarak tespit etmişlerdir.

Bilal ve ark. (2019), tek eğimli bir güneş enerji havuzundan elde edilen arıtılmış su miktarı açısından verimliliği kıyaslanmıştır. Hindistan'da yapılan bu çalışmada, IDM olarak kireç taşı kullanılmıştır. IDM'siz ve IDM'li olarak ise 5 kg, 10 kg taşlarla havuz doldurulmuş ve günlük arıtılan su miktarları sırasıyla 1950, 1748 ve 1618 ml olarak bulmuşlardır. Verimlilik oranlarını da sırasıyla, 35.10, 29.30 ve % 28.80 olarak tespit etmişlerdir.

Abuşka ve ark. (2019), çalışmalarında petek yapılı-FDM' li (I), sadece FDM' li (II) ve kontrol sistemi yani petek yapısız ve FDM' siz olarak üç farklı yapıda oluşan ısı

özellikleri araştırmışlardır. Sistemlerdeki hava hızları 0.008 kg/s ile 0.048 kg/s arasında değişmektedir. Bu koşullar altında 0.032, 0.04 ve 0.048 kg/s hava akış hızları için belirlenen verimlilik değerleri % 8.40 ile % 9.00 arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Sarbu ve Dorca (2018), termal enerji depolama için kullanılan P116-Waks, tıbbi parafin, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ gibi daha birçok faz değişim materyalleri konusunda genel bir bilgi vermişlerdir. Özellikle hacim ve alan ısıtma, soğutma, iklimlendirme gibi birçok enerjinin yoğun olarak kullanıldığı uygulama alanların da faz değişim materyallerinin ne boyutta etkilerinin gözlemlendiğine dair bilgilendirme yapmışlardır.

Wu ve ark. (2018), kontrol olarak su ve faz değişim materyali (FDM) olarak ise parafin vaks materyalini kullanarak termal verimlilik çalışması yapmışlardır. FDM'li sistemdeki ısı dalgalanması, suyun kullanıldığı güneş enerji sistemine göre % 30 oranında daha az olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında FDM'li sistemin çıkış noktasındaki su sıcaklık değeri kontrol sistemine göre, daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Li ve ark. (2018), polietilen glikol ve mezopore yapılı madde (ZSM-5) materyallerini bir arada kullanarak bir IDM oluşturmuşlardır. Çalışmada, ZSM-5 maddesi vakumlama ve akışkanı destekleme materyali olarak kullanmışlardır. Özel olarak hazırlanan bu karışım materyali sistemin termal iletkenlik değerini ortalama % 200 artırdığını tespit etmişlerdir.

Essa Mohamed ve ark. (2018), parafin vaks maddesini faz değişim materyali (FDM) olarak kullandıkları çalışmada, termal verimlilik değerini en düşük akış oranında % 21.9 olarak belirlemişlerdir. Günlük 1.2 litre akış miktarında ise verimlilik değerinin ortalama % 6.8 olarak tespit etmişlerdir.

Dehghani-Ashkezari ve Salimpour (2018), yüzme havuzunun yüzeyini üçgen, yarı daire ve köşeli kare şekillerde saf su ve titanyumoksitli suyun havuzdaki termal verimlilik değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Üçgen yiv şeklinin ısı transfer katsayısına etkisi % 120 olarak belirlenirken, saf su ile titanyumlu suyun etkileri sırasıyla, % 83.60 ve % 65.60 olarak bulmuşlardır. Yarı daire şeklin etkisi % 50.60 ve saf su ile titanyumlu suyun etkileri ise sırasıyla, % 40.90 ve % 34.70 olarak tespit etmişlerdir.

Bai ve ark. (2018), vakum tp güneş enerji sisteminde farklı eğim açıları ile FDM'ni tüpün farklı noktalarına yerleştirildiğindeki verimlilik değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Temmuz ve ağustos aylarında yapılan çalışmada optimal eğim açısının 60° olduğunu bulmuşlardır. Bununla beraber 18 °C sıcaklıkta ısı yayılım oranını 414 W ve genel ısı yayım verimlilik oranını ise % 97 olarak belirlemişlerdir.

Zhang ve ark. (2018), ısı depolamak için kullanılan katı ve sıvı hallerdeki FDM'leri hakkında bilgi vermişlerdir. Kullanılan FDM'lerinin ısı kapasiteleri, özgül ısı değerleri ve ısı iletkenlikleri konusunda detaylı bir şekilde açıklama yapmışlardır. Bununla beraber verimlilik değerleri açısından olumsuz durum yanlarına da değinmişlerdir.

Kılıçkap ve ark. (2018), çalışmalarında kalsiyum klorid hegzahidrat FDM'li ve FDM'siz düz yüzeyli güneş enerji sistemlerinin verimlilik seviyelerini araştırmışlardır. FDM'li güneş enerji sisteminde termal verimlilik değerini % 58 FDM'siz sistemde ise verimlilik değeri % 56 olarak belirlemişlerdir.

Poole ve ark. (2018), güneş kolektöründe FDM olarak 80 kg tuz hidratı kullanılarak, nisan ayında sistemin verimlilik değerlerine olan etkisi araştırılmış. Çalışmada, toplam ısı enerjisinin % 34' gece esnasında kullanılarak 0.033, 0.045, 0.053 ve 0.063 m³/sn debilerinde hesaplanan teorik ısı depolama miktarının % 76-% 107 oranları arasında FDM'li sistemin depoladığını belirlemişlerdir.

Madhu ve ark. (2018), üzeri tek eğimli şekilde kapatılmış havuz düzeneğinde IDM'li ve IDM'siz olarak ayrı ayrı kullanılan sistem, arıtılan saf su miktarları açısından performanslarını belirlemişlerdir. Sekiz saat boyunca çalışan güneş enerjisi sisteminde arıtılan su miktarları sırasıyla 3.3 kg/m² ve 1.89 kg/m² olarak bulmuşlardır. Ekserji enerji verimlilik değerleri açısından kıyaslandığında ise geleneksel (IDM'siz) sisteme göre, % 30 oranında daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Bataineh ve Gharaibeh (2018), güneş enerji sisteminde yaklaşık 250-300 °C sıcaklık aralığında bir akışkan elde edebilmek için tasarlanan sistemde hissedilir ısı için üç farklı IDM materyali kullanmışlardır. Üç saat içerisinde 136.70 MW enerji depolayabilmek için sistemin özellikleri ve parametreleri üzerinde 3-D matematiksel model kullanılarak simüle etmişlerdir.

Abokersh ve ark. (2017), parafin vaks materyalini (FDM) vakum tüp kolektöründe kullanarak kontrol sistemiyle termal verimlilik değeri açısından bir kıyas çalışması yürütmüşlerdir. FDM'li sistemin termal verimlilik değerinin % 14 daha fazla ve ortalama ısı kayıp katsayısının ise % 22.5 daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Felinski ve Sekret (2017a), bir yıl boyunca IDM olarak kullandığı parafin maddeli güneş enerjisi sistemi ile IDM'siz güneş enerji sistemlerini kıyaslamışlardır. Çalışmada IDM'nin vakum tüp kolektör sistem verimliliğini % 33-66 oranları arasında artırıcı bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır.

Felinski ve Sekret (2017b), çalışmalarında FDM olarak parafin vaks ve ısı toplama için ise parabolik yoğunlaştırıcı ekipmanı monte edilmiş. Sistemin verimliliği ortalama % 40'dan % 49'a ve % 31'den % 36'ya yükselttiğini belirlemişlerdir.

Li ve Zhai (2017), FDM olarak grafit ve eritrol kullanarak ortalama termal verimlilik ve ısı depolama değerlerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, ışınım şiddeti değeri ortalama metre kareye 12.88 MJ enerji düştüğünde, verimlilik değerinin % 40.17 ve depolanan ısı enerjisinin değerinin ise metre karede 5.17 MJ olduğunu tespit etmişlerdir.

Naghavi ve ark. (2017), gizli ısı depolama materyali olarak parafinin kullanıldığı çalışmada, bulutlu ve yağmurlu günlerde verimlilik oranını % 34-36 arasında değiştirirken, güneşli günlerde ise % 38-42 arasında değiştirdiğini belirlemişlerdir.

Giovannelli ve Bashir (2017), ısı transfer akışının maksimum sıcaklık seviyesindeki ani büyük dalgalanmalar sistemin verimliliğinde olumsuz değişimlere neden olmaktadır. Bu sebeple yaklaşık 20-30 dakika süre içerisinde ani sıcaklık değişimden kaynaklanacak olası bir verimlilik düşünü engelleyebilecek aynı zamanda üniform bir ısı ve sıcaklık dağılımı da sağlamak için FDM'li bir güneş enerjisi sistemi geliştirmişlerdir.

Deshmukh ve Thombre (2017), su havuzunda ısı depolama materyali olarak kum ve ısı yağ kullanarak havuzda derinlikle olan bağlantısını termal verimlilik değerlerini etkisini araştırmışlardır. Çalışma, Hindistan'nın Marastra bölgesinin Chandrapur şehrinde yaz aylarında gerçekleştirilmiş. Kum, ısı yağ ve düşük derinlik seviyelerinde diğer uygulama seçeneklerine göre, daha optimal değerler elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Faegh ve Shafii (2017), ısı depolamak için güneş enerji sisteminde FDM kullanılarak buharlaşan sudaki ısı enerjisini yine FDM'lin de depo edildiği bir sistem tasarlamışlardır. Sistem verimliliği FDM'siz sistemde % 50 seviyesine ulaştığında FDM'li sistemde ise verimlilik değeri % 86'lara ulaştığını tespit etmişlerdir.

Papadimitratos ve ark. (2016), üç farklı vakum tüp güneş sistemi kullanarak termal verimlilik seviyeleri kıyaslanmış. Kolektör (I)'de su, (II)'de tiritiriaseton, (III)'de ise eritrol faz değişim materyallerini (FDM) kullanmışlardır. Kolektör (I)'e göre, (II) ve (III)'de sırasıyla, verimlilik değerleri % 26 ve % 66 oranlarında arttığını belirlemişlerdir.

Kuhe ve ark. (2016), çalışmalarında düz yüzeyli bir kolektörde FDM'nin sistem verimliliğine olan etkisini araştırmışlardır. Isı tutucu tabakanın altına 14 kg ağırlığında bal mumu kullanmışlardır. FDM'nin ısı depolama verimliliğine olan etkisinin % 62 oranında yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Mosleh ve ark. (2015), parabolik yoğunlaştırıcı bir vakum tüp güneş enerji sisteminde alüminyum talaşı ile ısı yağ maddelerini kullanarak elde edilen suyun termal verimlilik değerlerini araştırmışlardır. İki vakum tüp arasına alüminyum talaşı konulduğunda 0.27 kg (m²/h) su taşındığı ve verimlilik oranının ise % 22.10 arttığını gözlemlemişlerdir. Isıl yağ maddesinde ise taşınan su miktarının 0.933 kg (m²/s) olduğu ve verimlilik değerinin ise % 65.20 oranında yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Güneş enerjili kurutma çalışmaları

Silva ve ark. (2020), güneş enerji destekli düz yüzeyli bir kabin kurutucu tasarlamışlar. Kurutma sistemi temelde güneş pili, kolektör, fan ve kabin kısımlarında oluşmaktadır. Tasarladıkları bu sistemde mısır danelerini kurutarak başlangıç nem içeriği % 23' den % 13 nem seviyesine düşürülene kadar 8.5 saat bekletilmiştir. Kurutma sisteminin ortalama termal ve kuruma verimlilik oranları sırasıyla, % 27 ve % 6 olarak belirlemişlerdir.

Erick César ve ark. (2020), karşık mod (indirekt+direkt) ve indirekt güneş enerjili kurutucularda domates meyvesi kurutmuşlardır. Karşık mod da kabin iç sıcaklığı öğlen saatlerinde 65-70 °C sıcaklıklara ulaşırken, indirekt mod da ise 55-60 °C sıcaklıklara

ulaştığını bildirmişlerdir. Bu sistemlerde domatesin kuruma süreleri sırasıyla ortalama 17 ve 26 saat sürdüğünü tespit etmişlerdir. Kurutucu verimlilikleri ise karışık mod ve indirekt mod için sırasıyla, % 10.66 ve % 8.80 olarak bulmuşlardır.

Fudholi ve ark. (2020), deniz kabuğunun güneş enerjili bir kurutucuda kurutularak elde edilen kuruma eğrileri ince tabakalı kuruma modellerinde işlendikten sonra en uygun modeli tespit etmişlerdir. Kurutma sıcaklığı ortalama 50 °C ve hava akış miktarı ise 0.054 kg/saat değerinde 15 saat boyunca kurutmuşlardır. Başlangıç nem içeriği yaş baza göre % 84 olarak belirlenen kuruma materyalinde en uygun ince tabaka kuruma modelinin Modified Page olduğu tespit etmişlerdir.

Hung ve ark. (2020), ıstiridye mantarını güneş enerjili bir kurutucuda başlangıç nem içeriği % 90 olan ürünü son nem içeriği % 8-10 seviyelerine kadar kurutmuşlardır. Toplam nemin ilk % 40-60 oranı 2-4 saat içinde uzaklaştırılırken kuruma oranı % 10-20/saat olduğunu tespit etmişlerdir. Kuruma oranı % 2-10 aralığına ise 4-6 saatlik kuruma süresinde ulaştığını bildirmişlerdir. Çalışmada, toplam enerji tüketimi 4.57 MJ olduğu, 0.33 kg CO_{2e}, yaydığını ve ürünü kurutma için gerekli girdi maliyeti ise 1.86 \$ olduğunu bildirmişlerdir. Kuru ıstiridye mantarının kilogram fiyatı 10-12 \$'dan satıldığını varsayarak net kara göre, maliyetini 1.3-4.0 yıl arasında amorte edeceğini tespit etmişlerdir.

Suherman ve ark. (2020a), başlangıç nem içeriği % 54.15 olan kahve tanelerinin son nem içeriği % 11-12 aralığına düşene kadar tasarladıkları güneş enerjili hibrit kurutucuda kurutmuşlardır. Kahve daneleri 40, 50 ve 60 °C kurutma sıcaklıklarında kurutularak en uygun ince tabaka kuruma modelini belirlemişlerdir. İşlemler esnasında 1. tepside 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda kurutulurken materyalin su içeriği diğer tepsilere göre daha hızlı azaldığını belirlemişlerdir. Kuruma modelleri arasında ise verileri en iyi tahmin eden modelin Page olduğunu bildirmişlerdir.

Nimnuan ve Nabnean (2020), çalışmalarında güneş enerjili sera tip bir kurutucu tasarlayarak yaklaşık 300 kg zencefil kurutmuşlardır. Sera tip kurutucuda havayı sirküle edebilmek için 9 adet doğru akım (DC) fan kullanmışlardır. Fanların elektrik ihtiyaçları 3 adet 50-W güneş pilinden üretilen elektrikle sağlamışlardır. Tasarladıkları sera tip kurutucu ile zencefilin sahip olduğu % 90 nem içeriği sadece bir gün

kurutularak % 10 nem seviyesine düşürüldüğünü bildirmişlerdir. Güneşe sererek yapılan kurutma işleminde ise bir günde zencefilin sahip olduğu nemin sadece % 40'ı düşürülebildiğini tespit etmişlerdir.

Mohammed ve ark. (2020), mango ve ananas meyvelerini güneşe sererek, konvansiyonel güneşli kurutucuda, siyah ve beyaz gölgeli kurutma dolaplarında ve vakum tüplü güneş enerjili kurutucularda % 8 nem seviyelerine kadar kurutmuşlardır. Güneşe serilerek yapılan kurutma işleminde ortalama hava sıcaklığı, 26.80 °C, siyah ve beyaz gölgeli dolaplarda 26.70 °C ve 24.50 °C, konvansiyonel güneş enerjili kurutucuda 32.60 °C ve vakum tüplü kurutucuda ise 40.30 °C sıcaklık değerine sahip hava elde etmişlerdir. Kurutulan ürünler mineral, renk, aroma, koku ve tat kalite kriterleri açısından değerlendirildiğinde en uygun yöntemin vakum tüplü kurutucuda elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Amjad ve ark. (2020), çalışmalarında güneş enerjisi, gaz ve ikisinin bir arada kullanıldığı bir kurutucu tasarlamışlardır. Yeşil şili biberi 60 °C sıcaklık değerine ayarlanarak kurutulduğunda enerji kaynaklarından faydalanma miktarları sırasıyla, 0-13, 0-16 ve 0-17 kJ/dk arasında değiştiğini bulmuşlardır. Nemin buharlaştırılması için gerekli enerji değerleri ise sırasıyla, 5.16, 5.77 ve 4.45 MJ/kg olarak belirlemişlerdir.

Argo ve Ubaidillah (2020), manyok bitkisinin meyvesini 50 °C sıcaklıkta konvektif tip bir tepsi kurutucuda kurutularak cips elde edilmeye başlamışlardır. Kurutma işlemine ait enerjiden faydalanma, ekserji iç akışı, ekserji dış akışı, ekserji verimlilik değerleri gibi bazı parametreleri araştırmışlardır. Çalışmada, ölçülen parametrelerin sırasıyla, 9.53-24.66, 5.67-11.34 ve 2.21-8.04 kJ/s ve % 38.90-70.86 aralığında kuruma süresinin artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir.

Kouhila ve ark. (2020), Akdeniz midyesini tasarladıkları güneş enerjili bir konvektif kurutucuda 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda 300 ile 150 m³/h hava akış miktarlarında kurutmuşlardır. Dokuz farklı ince tabaka kuruma modelleri arasında logaritmik modelin kuruma verilerini en iyi tahmin eden eşitlik olarak tespit etmişlerdir. Efektif difüzyon katsayı değerini ise 1.14x10⁻⁹ ile 3.61x10⁻⁹ m²/s arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Hamza ve ark. (2020), geliştirdikleri güneş enerjili bir konvektif kurutucuda hamsi kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sabit hava akışı Şeklinde 300 m³/h değerinde 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kurutularak 30, 40 ve 50 °C sıcaklık değerlerindeki nem desorpsiyon eğrilerini oluşturmuşlardır. Hamsilerin optimum koşullarda saklanabilmesi için su aktivite değerinin 0.30 olması gerektiğini belirlerken, efektif difüzyon değerini de 3.84x10⁻⁹ ile 5.60x10⁻⁹ m²/s arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Kurutulan hamsi örneklerinin aktivasyon enerji değeri ise 12.90 kJ/mol olarak bulmuşlardır.

Tagnamas ve ark. (2020a), güneş enerjili bir konvektif kurutucuda 3, 6, 8 ve 10 mm kalınlıklarında ve 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde Fas trüfü meyvesini kurutmuşlardır. Çalışmada, 0.0416 ve 0.0833 m³/s hava debilerinde kurutma işlemlerini yürütmüşlerdir. Midilli-Küçük modeli kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden model olarak bulmuşlardır. Bununla beraber efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerleri ise sırasıyla, 7.9705x10⁻¹⁰-1.3720x10⁻⁹ m²/s ve 76.37 kJ/mol olarak bulmuşlardır.

Quaabou ve ark. (2020), tasarladıkları güneş enerjili bir kurutucuda Burlat eşidi tatlı kiraz meyvesini 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kuruttuktan sonra bir yıl boyunca depolamışlardır. Belirli sürelerde meyvelerin toplam fenol, antioksidan, toplam flavanoid ve toplam antosiyanin değişimini araştırmışlardır. Çalışmada, efektif difüzyon değerini 2.85x10⁻⁹ ile 6.51x10⁻⁹ m²/s aralığında değiştiği ve aktivasyon enerji değeri ise 2338.67 kJ/kg olarak tespit etmişlerdir. On iki ay süresi boyunca depolanan kiraz meyvesinde en iyi değerler toplam fenol ve toplam antioksidan özellikleri olduğunu belirlemişlerdir.

Viyajan ve ark. (2020), Afrika' ya özgü olan bir çeşit armut meyvesini tasarladıkları 2 m² alana sahip güneş enerjili kurutucuda ortalama 4 kg örnek kullanılarak kurutma işlemi seyrince 723 g' a kadar ağırlığı azaltmışlardır. Materyalin ortalama kuruma süresi 7 saat olup, ortalama ekserji verimlilik değerleri ise % 28.74 ile % 40.67 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Efektif difüzyon değerini ise 8.6293x10⁻¹⁰ m²/s ile 12.9558x10⁻¹⁰ m²/s arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Maliyet analizi açısından incelendiğinde 2.21 yıl içerisinde amorte ettiğini bildirmişlerdir.

Arun ve ark. (2020), muz ve Afrika kökenli özel bir armut çeşidi meyveleri düze yüzeyli güneş enerjili bir kabin kurutucuda kurutulmuşlardır. Meyveler istenilen nem seviyelerine sırasıyla, 10 ve 18 saatte geldiğini bildirmişlerdir. Çalışmada, meyveler 0.015-0.03 kg/s hava akış değerlerinde kurutularak enerji faydalanma oranlarının % 45.30 ve % 47.90 olarak tespit etmişlerdir. Ekserji kayıp değerleri ise hava akış miktarlarının artmasıyla azaldığını bulmuşlardır.

Ekka ve ark. (2020), çalışmalarında siyah zencefil meyvesini sabit 0.062 kg/saat hava akış miktarında ve başta 0.062 kg/saat daha sonra azalan periyot esnasında 0.018 kg/saat hava hızında olmak üzere iki mod da kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Özgül enerji tüketim değeri birinci mod da 1.07 kWh/kg olarak ölçülürken, ikinci mod da 0.56 kWh/kg olarak ölçmüşlerdir. Efektif difüzyon değeri ise ikinci mod da yapılan kurutma işleminde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Bahammou ve ark. (2020), çalışmalarında güneş enerjili bir kurutucu tasarlayarak deli yaran (*Herniaria hirsuta* L.) bitkisini 50, 60 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve 0.09 ile 0.18 m/sn hava hızlarında kurutmuşlardır. Kuruma eğrilerini modellemek için kullandığı ince tabaka kuruma modelleri arasında Midilli-Küçük modelinin en iyi tahmin ettiğini tespit etmişlerdir. Kurutma sıcaklıkları altındaki ürünlerin efektif difüzyon değerleri 2.5312×10^{-9} ile 18.0511×10^{-9} m²/s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Materyalden bir kilogram su uzaklaştırabilmek için gerekli aktivasyon enerji değerini ise 2838.46 kJ olarak bulmuşlardır.

Jha ve ark. (2020), çeltik materyalini hibrit güneş enerjili bir kurutucuda kurutulduktan depolamışlardır. Örnekleri daha sonra öğütme işlemine tabi tuttuklarında öğütme verimliliğinin % 71.48 olduğu yani % 1-1.26 oranında kurutma yönteminin iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada, maksimum sertlik +5 °C sıcaklıkta 0.15 ± 0.02 GPa olduğunu bulmuşlardır.

Dutta ve ark. (2020), Hindistan'ın doğu bölgesinde yetişen *Garcinia pedunculata* bitkisini güneşe sererek fakat güneş enerjilerinde kullanılan absorber tabakasıyla desteklenerek telli kafeste kurutmuşlardır. Başlangıç nem içeriği % 88 olan bitkinin son nem değerini % 7 civarlarına kadar kurutmuşlardır. Güneşte yere sererek kurutulduğunda ürünün kuruma süresi 55 saat olarak belirlenirken tasarlanan güneş

enerjili kurutucuda ise 28 saat istenilen nem seviyesine düşmüştür. Tasarlanan kurutucunun maliyet analizi yapıldığında 0.6 yıl içerisinde amorte edebileceğini bulmuşlardır.

Hidar ve ark. (2020), şeker içeriği düşük olan ve doğal bir bitki olan stevia yapraklarını tasarladıkları güneş enerjili konvektif kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde 150 ve 300 m³/s hava akış miktarlarında kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Ürünün efektif difüzyon değeri 5.07x10⁻¹¹ ile 3.14x10⁻¹⁰ m²/s arasında kurutma sıcaklıklarına bağlı olarak değerler alındığını belirtmişlerdir. Aktivasyon enerji değeri ise 37.81 kJ/mol olarak bulmuşlar. Bitkinin kalite değeri olarak toplam fenol, flavanoid ve klorofil içerikleri araştırmışlar ve kurutma sıcaklığının artmasıyla bu değerlerin azaldığını tespit etmişlerdir.

Tagnamas ve ark. (2020b), keçi boynuzu pulpunu güneş enerjili bir kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kurutuma çalışması yapmışlardır. Sıcaklık ve farklı hava hız değerlerinin kullanıldığı çalışmada, efektif difüzyon değerinin 1.56x10⁻⁹ ile 6.98x10⁻⁹ m²/s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Güneş enerjili kurutucunun enerji ve ekserji analiz değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Enerji verimlilik oranlarının % 4.23-7.25 arasında değiştiği ve ekserji verimlilik oranlarının ise % 30.12-80.50 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Nwadike ve ark. (2020), tatlı patates meyvesini güneş enerjili bir kurutucuda farklı dilim kalınlığı, örnek ağırlığı, bandırma ve bandırmaz uygulamaların etkisini yüzey metodoloji yöntemi kullanılarak nem içeriğiyle arasındaki ilişkiyi tahmin etmişlerdir. Bandırma uygulaması yapılamayan örneklerde R² değeri 0.9828 ve 0.9991 olarak belirlemişlerdir. Optimum kurutma işlemi ise bandırma uygulaması yapılanlarda 71 g örneğin kullanıldığı 3.2 mm kalınlıkta dilimlenen ve 1.5 m/s hava hızının kullanıldığı araştırmada belirlemişlerdir. Bandırma uygulaması yapılamayan örneklerde ise optimum kurutma işlemi 70 g örneğin kullanıldığı, 3.0 mm kalınlıkta dilimlenen ve 1.5 m/s hava hızının kullanıldığı araştırmada en uygun yöntemi bulmuşlardır.

Suherman ve ark. (2020b), tasarladıkları doğal gaz yakıtıyla güçlendirilmiş güneş enerjili hibrit bir kurutucuda şeker kamışını kurutmuşlardır. Kurutucuda 40, 60, 80 ve 100 °C sıcaklık değerlerinde kurutma çalışması yapmışlardır. İki saat kuruma

süresinde güneşe serilerek ve güneş enerjili kurutma işlemlerinde son nem değerine ulaşamazken, doğal gaz destekli hibrit kurutucuda iki saat süre sonunda istenilen nem değerine ulaşıldığını tespit etmişlerdir. İşlemler esnasında sıcaklık değeri 40 °C sıcaklıktan 100 °C sıcaklık değerine yükseltildiğinde kurutma verimliliği, enerji faydalanma oranı ve ekserji verimlilik değerleri sırasıyla, % 13.02'den % 17.02'ye, 0.18'den 0.32'ye, % 67.40'dan % 83.60'a yükseldiğini belirlemişlerdir.

Prenafeta-Boldú ve ark. (2020), çalışmalarında atmosferik emisyon değerleri kontrol edilebilen biyofiltre ile kombine edilmiş sera tip bir güneş enerjili kurutucu tasarlamışlardır. Eylül ayın maksimum üretimi olan Akdeniz şarap üretim sürecinde oluşan atık su kurutularak değerlendirilmesini amaçlamışlardır. İlk 10 gün süre içerisinde çözeltideki su miktarı % 90'dan % 67'ye düştüğünün tespit etmişlerdir. Kurutma işlemi esnasın ortaya çıkan emisyon miktarları çevre açısından değerlendirildiğinde biyofiltrasyon işleminin etkili olduğu ve bu değeri 57 g CO₂eq/m²d olarak belirlemişlerdir.

Silva ve ark. (2020), mangaba meyvesini (*Hancornia speciosa*) güneş enerjili bir kurutucuda kurutarak kuruma verileri ile efektif difüzyon değerlerini belirlemişlerdir. Gün içerisinde 30 ile maksimum 70 °C sıcaklık değerlerine çıkan bir kurutma ortamında meyveyi kurutmuşlardır. Kurutma işleminde önce sakkaroz ile bir ozmatik ön işlem uygulamışlardır. Kuruma süresi günde yaklaşık 16 saat kurutarak 6. günün sonunda denge nemine ulaştığını tespit etmişlerdir. Bununla beraber yapılan kurutma şartları altın meyvenin sergilediği efektif difüzyon değerleri ise 3.30×10^{-10} m²/s olarak bulmuşlardır.

Wang ve ark. (2019b), mango dilimlerini güneş enerji destekli ısı pompalı bir kurutucuda 45 °C sıcaklık değerinde kurutmuşlardır. Güneş enerjisi modun da meyve 6.5 saatte kururken, ısı pompası modun da ise 10.70 saatte kurduğunu belirlemişlerdir. Kurutma verimliliği açısından değerlendirildiğinde güneş enerji destekli mod % 6 daha yüksek bir verimlilik oranına sahip olduğunu bulmuşlardır. Yapılan tüm çalışma boyunca atık ısının dönüştürülmesi için eşanjörün verimlilik oranını % 41.70 olarak tespit etmişlerdir.

Komolafe ve ark. (2019), düz yüzeyli güneş enerji sisteminden yararlanılarak doğal akışlı ve fanlı bir kabin kurutucuda fasulye meyvesini kurutmuşlardır. Materyalin kuruma eğrilerini modelleyebilmek için 11 adet ince tabaka kurutma modelleri oluşturulmuşlardır. Modeller arasında Lewis, kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden model olarak bulmuşlardır. Fanlı sistemde elde edilen efektif difüzyon değeri $2.73496 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ve doğal akışlı sistemde belirlenen değer ise $1.82331 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulmuşlardır. Aktivasyon enerji değerini de 21.65 kJ/mol olarak belirlemişlerdir.

Sharma ve ark. (2019), tasarladıkları güneş enerjili bir kurutucuda zencefil meyvesini kurutmuşlardır. Kurutma işlemi esnasında örneklerde meydana gelen alan, uzunluk, çap, katılık ve yoğunluk gibi morfolojik özellikler ile parlaklık, kırmızılık ve sarılık renk değerleri bilgisayarda görüntü işleme programıyla belirlemişlerdir. Görüntü işleme programı olarak RGB ImageJ yazılımını kullanmışlardır. Dört saatlik kurutma sürecinde parlaklık değeri % 5.55 oranında azalırken, kırmızılık ve sarılık değerleri ise sırasıyla, % 117.06 ve % 278.26 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Alan, uzunluk, çap, katılık ve yoğunluk özelliklerinde ise sırasıyla, % 83.72, % 60.69, % 22.34, % 6.12, % 83.72 oranlarında kurutmayla beraber azalmalar meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Koua ve ark. (2019), kakao danelerini tasarladıkları güneş enerjili bir kurutucuda kurutarak bazı fiziksel ve termal özelliklerini belirlemişlerdir. Başlangıç hacim ağırlığı $825.10 \text{ kg}/\text{m}^3$ olan kakao daneleri kurutma işlemi neticesinde bu değer $696.25 \text{ kg}/\text{m}^3$ düştüğünü tespit etmişlerdir. Kurutma işlemiyle beraber nem uzaklaşmış, oluşan porozite değeri % 25 civarında olduğunu bulmuşlardır. Isı ve kütle transfer bulguları da sırasıyla, 1.94×10^{-4} - $8.08 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 1.88×10^{-7} - $7.88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bunun yanında, efektif difüzyon değeri ise 5.49×10^{-10} - $4.26 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değerler aldığını bildirmişlerdir.

Bahammou ve ark. (2019), doğal güneş ortamı ve fanla yönlendirilen güneş enerjili kurutucularda morakan yapraklarını kurutmuşlardır. Konvansiyonel bir kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde doğal ortamda ise 26-37 °C sıcaklık aralıklarında kurutma çalışmaları yapmışlardır. Güneş enerjili yapay kurutucuda sıcaklık değeri 50 °C sıcaklıktan 80 °C sıcaklığa çıkartıldığında kuruma süresinin 4 saatten 0.34 saate düştüğünü belirlemişlerdir. Kullanılan ince tabaka kuruma modelleri arasında en iyi

tahmin eden eşitliğin Midilli-Küçük olduğu ve ortalama aktivasyon enerji değerinin ise 2938.46 kJ/kg olarak bulmuşlardır.

Khadraoui ve ark. (2019), kırmızı biberleri güneşe serilerek ve tasarladıkları güneş enerjili bir sera tip kurutucuda depo edilebilir bir nem seviyesine kadar kurutmuşlardır. Örnekler güneşte ortalama üç gün süre zarfında kururken tasarlanan kurutucuda ise yaklaşık iki gün içerisinde kurduğunu tespit etmişlerdir. Kurutucunun 0.047 kg/s hava akış miktarındaki verimlilik oranı % 34 olduğunu belirlemişlerdir. Maliyet analizi neticesinde güneş enerjili sera tip kurutucunun kullanım ömrü yaklaşık 20 yıl olarak belirlenirken, 1.02 yıl içerisinde ise toplam maliyeti amorti ettiğini ifade etmişlerdir.

Bhardwaj ve ark. (2019), Batı Himalaya bölgesinde yetişen aromatik hint kedi otu bitkisini geliştirdikleri güneş enerjili bir kabin kurutucuda kurularak kuruma kinetiği değerlerini tespit etmişlerdir. Başlangıç nem içeriği % 89 olarak bulunan bitki % 9 son nem değerine kadar kurutulmuş ve kuruma oranı değerini 0.051 kg/h olarak bulmuşlardır. Gölgede yapılan kurutma işleminde kuruma oranı değerini 0.018 kg/h olarak tespit etmişlerdir. Kuruma süreleri ise sırasıyla 120 saat ve 336 saat olarak bulmuşlardır. Güneş enerjili kabin tip kurutucunun enerji ve ekserji verimlilik oranlarını ise sırasıyla, 26.10 ve 0.81 olarak belirlemişlerdir.

Badaoui ve ark. (2019), çalışmalarında sera tip bir güneş enerjili kurutucu tasarlayarak domates atıklarını 40-58 °C sıcaklık aralıklarında değişen koşulda kurularak kuruma süresi, en uygun ince tabaka kuruma modeli, efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerlerini belirlemişlerdir. Kuruma süresinin 5 saat olduğu, yeni model 2'nin en iyi tahmin ettiği, efektif difüzyonun değerinin 3.20×10^{-9} - 4.70×10^{-10} m²/s değerler arasında olduğu bununla beraber aktivasyon enerjisinin ise 75.60 kJ/mol olduğunu bulmuşlardır.

López-Vidaña ve ark. (2019), güneş enerjili direkt, indirekt ve dondurarak yapılan kurutma işlemlerinde karadut meyvesi kurutularak toplam antioksidan ve toplam fenol özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Altı farklı ince tabaka kuruma modelleri arasında en uygunun Midilli-Küçük olduğunu bulmuşlardır. Denemeler arasında indirekt güneş enerjili kurutucuda kurutulan örneklerin antioksidan seviyesi diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu ve kurutma sıcaklığı yükseldikçe antioksidan ve toplam fenol değerleri hafif bir şekilde arttığını belirlemişlerdir.

Murugavelh ve ark. (2019), düz yüzey güneş enerjili bir tünel kurutucuda domates artıklarını kurutarak kuruma kinetiğini belirlemişlerdir. Yaklaşık 2 kg domates artığının kullanıldığı çalışmada, başlangıç nem içeriğini % 71.10 olarak belirlemişlerdir. Hindistan’ da yürütülen güneş enerjili kurutma çalışmasında ürün 7 saatte kururken, güneşe serilerek kurutulduğunda 15 saatte kurduğunu belirlemişlerdir. Kurutma tüneli içerisindeki havanın sıcaklık değeri ise gün içerisinde dalgalanmaların olduğu ve 42-67 °C sıcaklıklar arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Mahapatra ve Tripathy (2019), havucu 0.03 ve 0.005 m kalınlıklarında dilimleyerek güneş enerjili bir kurutucularda (direk, indirekt ve karışık mod) kurutmuşlardır. Elde edilen enerji değerleri kıyaslandığında karışık mod da 24.95 W/m²°C iken direkt ve indirekt sitemlerde ise sırasıyla 13.52 W/m²°C ve 15.80 W/m²°C olarak ölçmüşlerdir. Kurutma çalışmasındaki belirsizlik analiz değerini % 0.073-% 2.70 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Fudholi ve Sopian (2019), güneş enerjili kurutucular hakkında derleme çalışması yaparak genel bilgiler vermişlerdir. Güneş kolektörün performansını değerlendirmek için tipik iki metot kullanıldığını belirtmişlerdir. Bunlardan birisi enerji analizi diğeri de ekserji analizi olduğunu ifade etmişlerdir. Düz yüzeyli güneş enerjili havalı kolektörlerin enerji ve ekserji verimlilik oranlarının sırasıyla, % 30-79 ve % 8-61 değeri arasında değiştiğini ve literatürde biyomas, ısı pompası, akışkan yatak destekli ve tipinde güneş enerji kolektörlerinin bulunduğunu bildirmişlerdir.

Arul ve ark. (2019), çeltik danelerini çift akışlı ve çift titreşime sahip güneş enerjili bir kurutucu tasarlayarak kurutma denemesi yapmışlardır. Çalışmada, ortalama 45 kg çeltik kullanılarak 2.75 Hz titreşim değerinde kuruma çalışmasını gerçekleştirmişler. Ürünlerin son nem değerini ortalama % 13.55 seviyesine kadar kurutmuşlardır. Kurutucunun termal verimlilik oranını % 28.79 olarak belirlemişlerdir.

Şevik ve ark. (2019), tasarladıkları güneş enerjili kurutucuda ürün kurutma performansının düşük olmasında dolayı destek olarak infrared kurutma yöntemini eklemişlerdir. Çalışma kapsamında kuruttukları elma ve nane yaprakları işlemlerinde belirledikleri en yüksek termal verimlilik değerini % 83.56 olarak bulmuşlardır. Güneş enerjili ve infrared destekli kurutma sistemlerinde belirlenen ekserji verimlilik oranları

elma ve nane yaprakları için sırasıyla, % 49.17, % 59.07 ve % 59.06, % 69.35 olarak tespit etmişlerdir. Enerji verimlilik oranları ise sırasıyla 1.15, 8.59, 2.20 ve % 26.46 olarak belirlemişlerdir.

Malan ve ark. (2019), güneş enerjili çanak tip yansıtıcı kullanılarak güneş ışınlarının yönlendirildiği alıcı bir merkez içerisine odaklatılarak tuz kurutulmuştur. Kuruma oranının hızlı olmasından dolayı ağırlık değişimleri ve kuruma parametreleri her 10 dakikada bir tartılmış. Kuruma verileri 12 farklı ince tabaka kuruma modellerinde işlenerek kuruma değerlerini en iyi tahmin eden matematiksel modeli belirlemişlerdir. Çalışmada, Midilli-Küçük modelinin daha iyi tahmin ettiği bununla beraber 100 dakika süre içerisinde çözelti ağırlığının % 15.97' sinin azaldığını bildirmişlerdir.

Demirpolat (2019), güneş enerjili bir kurutucuda elma meyvesini kurutmuştur. Kurutma sisteminde oluşan havanın sıcaklığı 46-63 °C olduğu ve 0.7 ile 1.8 m/s hava hızı arasında değerler aldığını belirlemiştir. Elmalar 15 mm kalınlığında dilimlendikten sonra kurutulmuştur. Kuruma seyri boyunca oluşan boyutsuz nem değerleri ince tabaka kuruma eşitliklerinde işlendikten sonra en uygun Midilli-Küçük modeli olduğunu bulmuştur.

Islam ve ark. (2019), elma, muz, ananas, ve bir tür nar meyvesini kurutma için güneş enerjili bir kurutucu tasarlamışlardır. Çalışmada, kurutucunun üst yüzeyleri dik baca şeklinde, ara boşluk kısmında ve doğal sirkülize olan lokasyonlara örnekleri yerleştirerek kurutmuşlardır. Bu noktalarda ilk 6 saat süre sonunda örneklerden uzaklaşan nem oranları sırasıyla, 44.50, 33.30 ve % 58.90 olarak tespit etmişlerdir.

Seerangurayar ve ark. (2019), halil, rutap ve tamr çeşidi hurmaları güneş ortamında, sera tip tünel kurutucuda ve konvektif güneş enerjili bir kurutucuda kurutma işlemleri yapmışlardır. Sera tip tünel kurutucuda yapılan kurutma işlemleri güneşe serilerek yapılan kurutma işlemine göre belirtilen meyveler için kuruma süreleri sırasıyla, 37, 38 ve % 38 oranlarında daha kısa sürdüğünü belirlemişlerdir. Güneş enerjili kurutucuda ise 15, 29 ve % 30 oranlarında daha da kısa sürdüğünü tespit etmişlerdir. Mikroyapı analizi açısından kıyaslandığında ise güneş enerjili konvektif kurutucuda deformasyonun en az olduğunu bulmuşlardır.

Amer ve ark. (2018), güneş enerjili hibrit bir kurutucu tasarlayarak papatya çiçeği olarak bilinen bitkiyi kurutmuşlardır. Çalışmada, 32-35 kg aralığında materyal kullanılarak başlangıç nem içeriği % 72-75 aralığında değişen su içeriğini % 9-10 aralığına düşüne kadar güneş enerjili kurutucuda bekletmişlerdir. Kuruma süresi değerinin 30 ile 33 saat aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Dokuz farklı kuruma modeli arasında en iyi tahmin eden eşitliğin Midilli-Küçük olduğunu ifade etmişlerdir.

Ndukwu ve Bennamoun (2018), çalışmalarında sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorit ısı depolama materyallerini kullanarak düz yüzeyli güneş enerjili kurutucuda kırmızı şili biberini kurutmuşlardır. Sodyum sülfat dekahidrat ısı depolama maddesi kullanıldığında örneğin kuruma süresi kontrol ve sodyum kloritin kullanıldığı kurutma işlemlerine göre sırasıyla % 39 ve % 26.70 oranlarında azaldığını belirlemişlerdir. Isı ve kütle transfer değerleri sırasıyla 0.0036-0.035 W/m².K ve 6.09x10⁻⁹-6.20x10⁻⁸ m/s aralıklarında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Singh ve ark. (2018), bazı aromatik bitkileri güneşte ve vakum tüp güneş enerjili kurutucuda belirli nem seviyesine kadar kurutmuşlardır. Güneş ile kurutucu arasındaki sıcaklık farkının maksimum 35.40 °C sıcaklık olduğunu bulmuşlardır. Tasarlanan kurutucuda belirlenen örneklerin kuruma oranları güneşe göre daha yüksek olup sırasıyla 0.46, 0.44 ve 0.39 g/dk olarak bulmuşlardır. Kurutucunun maksimum verimlilik değerini ise % 55 olarak tespit etmişlerdir.

Mahapatra ve Tripathy (2018), çalışmalarında direkt, indirekt ve karışık modda tasarladıkları güneş enerjili kurutucularda 0.03 m ve 0.005 m kalınlıklarında dilimledikleri havucu meyvesini kurutmuşlardır. Kurutma işlemlerinde elde edilen havucun efektif difüzyon değerleri 2.59x10⁻⁸-6.36x10⁻⁸ m²/s ve 3.15x10⁻⁷-4.28x10⁻⁷ m²/s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ölçülen kuruma verilerini ise 10 farklı ince tabaka kuruma modellerinde işlemişler ve Wang ve Singh modelinin en uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Quaabou ve ark. (2018), çalışmalarında Burlat ve Van çeşidi kiraz meyvelerini tasarladıkları düz yüzeyli güneş enerjili kurutucuda ve güneşte kurutmuşlardır. Başlangıç nem içerikleri yaş baza göre sırasıyla, % 82.12 ve % 85.45 olarak belirlenen örnekler % 23.30 nem seviyesine kadar kurularak kuruma verilerini ölçmüşlerdir.

Güneş enerjili kurutucuda 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda 150 ve 300 m³/h ve güneşte ise 34-40 °C arasında değişen sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Kurutma işlemleri arasında belirlenen en düşük kuruma süresi 80 °C sıcaklıkta 300 m³/h hava debisinde 240 dakika olarak tespit etmişlerdir.

Téllez ve ark. (2018), çalışmalarında stevia bitkisine ait yaprakları güneş enerjili direkt, indirekt ve güneşe sererek kurutma yöntemi uygulamışlardır. Kurutma yöntemlerine göre kuruma süreleri değişmekle birlikte 240 dakika ile 360 dakika arasında değiştiğini belirlemişlerdir. İndirekt kurutma yönteminde kurutulan yapraklardaki renk değişimi diğer yöntemlere göre daha az gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Araştırılan en uygun ince tabaka kuruma modelleri arasında direkt yöntem için Weibull, İki terimli üssel fonksiyon ve indirekt yöntem için ise Weibull fonksiyonunun kuruma verilerini daha iyi tahmin ettiğini bildirmişlerdir.

Iwe ve ark. (2018), manyok meyvesini tasarladıkları güneş enerjili kabin kurutucuda ve açık ortamda güneşte kurutmuşlardır. Meyveyi 40, 60 ve 80 mm kalınlıklarında, 330, 530, ve 730 g/mm² ve 57.80, 67.30 ve % 75.60 oranlarına sahip değerlerde kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Page ve Modified Page modelleri ürünün kuruma değerlerini en iyi tahmin eden matematiksel modeller olarak bulmuşlardır.

Mghazli ve ark. (2017), güneş enerjili ve elektrik ısıtıcılı tasarlanan bir kabin kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değeriyle 300 ve 150 m³/h hava akış oranlarında biberiye yapraklarını kurutmuşlardır. Kuruma verilerini modellemek için dokuz farklı ince tabaka kurutma eşitliklerini kullanmışlar ve Midilli-Küçük modeli en iyi tahmin eden model olarak belirlemişlerdir. Bununla beraber efektif difüzyon değeri ise 9.74x10⁻¹¹ m²/s ile 1.40x10⁻¹⁰ m²/s arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Aktivasyon enerji değerini ise 54.37 kJ/mol olarak bulmuşlardır.

Rabha ve ark. (2017), güneş enerjili konvektif bir kurutucu tasarlayarak çalışmada, şili biberi ve dilimlenmiş zencefil kurutmuşlardır. Şili biberi kurutma çalışmasında sıcak havanın değeri 42-61 °C sıcaklıkları arasında değişirken zencefil kurutma işleminde ise 37-57 °C sıcaklıklar arasında değerler aldığını belirlemişlerdir. Çalışma boyunca tespit edilen ortalama termal verimlilik değeri % 22.95-% 23.30 arasında değiştiğini

bildirmişlerdir. Şili biberi ve zencefil için ölçülen özgül enerji tüketim değerleri sırasıyla, 18.72 kWh/kg ve 8.82 kWh/kg olarak tespit etmişlerdir.

Dhanushkodi ve ark. (2017), güneş enerjili ve biyomas kaynaklı bir kurutucu tasarlayarak kaju danelerini kurutmuşlardır. Meyvenin en iyi ince tabaka kuruma modelini tahmin edebilmek için 15 farklı eşitlik kullanmışlardır. X^2 , R^2 ve ortalama kareler hata (RMSE) değerlerine göre en uygun kuruma modelini Page olarak belirlemişlerdir.

Lingayat ve ark. (2017), güneş enerjili bir kabin tip kurutucuda muz kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kurutma kabini 1x0.4x1 m ölçülerinde olup, toplam kolektör alanı ise 2 m² şeklinde tasarlamışlardır. Kolektör ve kurut verimliliklerinin oranları sırasıyla, % 31.50 ve % 22.38 olarak tespit etmişlerdir.

Yahya ve ark. (2016), güneş enerjili ve ısı pompası destekli güneş enerjili kurutucuları tasarlayarak manyok bitkisinin yapraklarını kurutmuşlardır. Kurutucuların verimlilikleri sırasıyla % 25.60 ve % 30.90 olarak bulmuşlardır. Kurutulan materyalin yaş baza göre belirlenen (% 10.50) nem değerine düşürülmesi için gerekli süre sırasıyla, 13 ve 9 saat olarak bulmuşlardır. Çalışmada belirlenen kuruma ile özgül nem oranı değerleri sırasıyla, 1.33 kg/h ve 0.38 kg/kWh, 1.93 kg/h ve 0.47 kg/kWh olarak belirlemişlerdir.

Dejchanchaiwong ve ark. (2016), tasarladıkları güneş enerjili kurutma sisteminde karışık ve indirekt mod olmak üzere iki farklı düzende kuruttıkları materyalinin ortalama kuruma süreleri ve en uygun ince tabaka kuruma modelini belirlemişlerdir. Örnekler güneş serilerek kurutulduğunda ortalama 7 günde kururken güneş enerjili sistemlerde 4 günde kurduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında Page ve İki terimli üssel modellerinin birleştirilmesiyle oluşan Hii ve arkadaşları modelini de kullanmışlardır. Bu modelin kuruma verilerini en iyi tahmin eden model olduğunu bildirmişlerdir.

Karadut ve benzeri üzüksü meyvelerin kurutulması

Kıpçak ve Doymaz (2020), üç farklı mikrodalga güç seviyesinde (90, 180 ve 360 W) karadut meyvesini kurutarak 7 farklı ince tabaka kuruma modelinde işleyerek en uygun ince tabaka kuruma modeli, efektif difüzyon değeri ve aktivasyon enerji değerini

belirlemiştir. En uygun modelin Midilli-Küçük olduğu, efektif difüzyonun 4.79×10^{-8} ve 2.60×10^{-7} m²/s olarak bulmuşlardır. Aktivasyon enerji değerini ise 13.15 kW/kg olarak belirlemiştir.

Doymaz ve Kıpçak (2019), kızılötesi kurutucu ile karadut meyvesi kurutularak kurutma davranışlarını araştırmışlardır. Uygulanan güç etmeni ürünün kuruma süresinde önemli bir faktör olduğunu ve ayrıca kızılötesi güç değerinin biraz artırılmasıyla kuruma süresi önemli düzeyde azaldığını ifade etmişlerdir. Beş farklı matematiksel model kullanılarak, doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemiyle nem kayıp oranları modellenmiştir. Parabolik model, tüm deney koşulları altında elde edilen kuruma verilerini en iyi tahmin eden eşitlik olarak belirlenmiştir. Efektif nem difüzyon değerleri $1.14-3.08 \times 10^{-9}$ m²/s arasında değiştiğini tespit edilmiştir. Aktivasyon enerjisi değeri ise 2.015 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

Khatakk ve ark. (2019), güneş, sıcak havalı yapay ve mikrodalga kurutucular kullanılarak, potasyum metabisülfid, sodyum benzoat ön uygulamaları yapmışlardır. *Morus alba*, *Morus nigra* ve *Morus laevigata* dut meyvelerini kurutarak tekstür, antioksidan ve kuruma kinetiği değerlerine kurutma yöntemi ve ön işlemlerin etkilerini araştırmışlardır. Kurutma yöntemlerinin, kuruma süreleri ve kalite parametrelerine etkisi istatistiksel açıdan önemli olduğunu belirlemiştir. Bununla beraber ön uygulamaların kuruma sürelerine etkisininide önemli bulurlarken, kalite özelliklerine ise etkisinin önemli düzeyde olmadığını tespit etmişlerdir.

Akbal ve Vural (2018), araştırma kapsamında kurutulmuş kayısı, incir, siyah üzüm, beyaz üzüm, elma, erik ve dut meyvelerine ait toplam mezofilik aerob bakteri (TMAB) içerikleri açısından kıyaslanmıştır. TMAB kontaminasyonu kurutulmuş kayıslarda % 50, kurutulmuş erik ile kurutulmuş sarı üzüm örneklerinde % 70 ve diğer meyvelerde ise % 100 olarak belirlenmiştir. En yüksek TMAB değeri siyah üzümde (9.9×10^3 kob/g), en düşük değer ise kurutulmuş incirde (7.3×10^2 kob/g) elde edilmiştir. Bu etkilerin farklılığının birçok sebebi olduğu ancak en önemli etkinin kurutma yöntemiyle açıklanabileceği belirtilmiştir.

Rad ve ark. (2018), çalışmalarında 500, 1000 ve 1500 W infrared güç değerleri ile 40, 55 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve 0.4 ,1, 1.6 m/s hava hız değerlerinde kurutma

işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Kuruma değerleri 5 farklı ince tabaka kuruma modellerinde işlenerek en uygun modelin Midilli ve arkadaşları olduğunu bulmuşlardır. Yapay sinir ağları ve fuzzy lojic yöntemleriyle girdi parametrelerine göre nem oranı değerleri tahmin etmişlerdir. Fuzzy lojic yönteminin yapay sinir ağlarından daha iyi nem oranlarını tahmin ettiğini tespit etmişlerdir.

Mahmood ve ark. (2017), farklı kurutma koşulları ve farklı olgunluk seviyelerinin kurutulan karadutun besin değerlerine etkisi araştırmışlardır. Güneşte kurutma işleminin toplam antioksidan değerlerini kısmen azaltırken, olgunluk kriteri ise antioksidan seviyesini artırıcı bir etkiye sahip olduğu belirlemişlerdir.

Chen ve ark. (2017), sıcak hava (HA), dondurarak (FD), sıcak hava-patlamalı puf kurutma (HA-EPD) ve dondurarak-patlamalı puf kurutma (FD-EPD) yöntemlerinin karadutun fizikokimyasal özelliklerine etkisini araştırmışlardır. FD-EPD yönteminde kurutulan ürünlerin en iyi doku (sertlik 29.46 N, gevreklik 30, rehidrasyon oranı 1.65, renk (tonu 0.03) ve en yüksek duyuşal değerlendirme puanına sahip olduğu belirlemişlerdir. FD örneklerinde ise en yüksek toplam antosiyanin içeriği ve toplam antioksidan aktivite değerleri bulunmasına rağmen, bu yöntemde ürünler en düşük 3 olan gevreklik değerine sahip olduğu tespit etmişlerdir.

Zhou ve ark. (2017), antosiyanin parçalanma kinetiği üzerine kurutma yöntemlerinin etkisi araştırmışlardır. Sıcak hava ve vakum kurutucularda 60 ve 75 °C sıcaklık değerlerinde dut meyvelerini kurutmuşlar ve aktivasyon enerjisi, entalpi ve entropi değişim parametreleri açısından yöntemler arasında önemli düzeyde bir farklılığın olduğunu belirtmişlerdir. Bulgular doğrultusunda katı maddelerdeki antosiyanin parçalanması sıvı ve gaz maddelerinden farklı olarak parçalanma olayında bir kataliz varmış gibi bir durum sergilediğini tespit etmişlerdir.

Tao ve ark. (2016), dut yapraklarını ultrason ön uygulamasıyla işledikten sonra sıcak hava ile yöntemiyle kurutmuşlardır. Toplam enerji tüketimi ve kuruma verimliliği açısından kıyaslandığında kontrol örneklerine göre, ultrason ön işleminin etkisinin önemli seviyede olduğunu tespit etmişlerdir.

Darvishi ve ark. (2014), çalışmalarında beyaz dut meyvesini mikrodalga kurutma yönteminde belirli bir nem seviyesine kadar düşürülerek ekserji ve enerji oranlarını belirlemişlerdir. Bu oranlar sırasıyla, % 31.85-55.56 ile % 33.63-57.08 arasında değerler aldığını tespit etmişlerdir. Kurutma işleminde uygulanan güç değeri arttıkça özgül enerji güç tüketimin de arttığını bildirmişlerdir. En iyi enerji ve ekserji oranları 100 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminde belirlemişlerdir. Bununla beraber efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerleri ise sırasıyla, 1.06×10^{-8} - 3.45×10^{-8} m²/s ve 3.986 W/g olarak bulmuşlardır.

Adabi ve ark. (2013), çalışmada bazı ön işlemlerin dut meyvesinin kuruma özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ön işlemler arasında mikrodalga yönteminin kuruma süresini azaltılmasında daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Kızılötesi enerjili kurutucu ile konvektif yöntemin birlikte kullanılması durumunda ise kuruma süresi açısından en uygun kurutma yöntemi olarak belirlemişlerdir.

Dobooğlu (2012), tarafından yapılan çalışmada, karadut meyvelerini liyofilizasyon, konvansiyonel ve vakumlu etüv yöntemlerinde kuruttuktan sonra ürünün toplam antosiyanin, nem içeriği, rehidrasyon kapasitesi ve renk parametreleri analiz edilmiştir. Vakumlu etüv yönteminde kurutulan örneklerin konvansiyonel yöntemdekilere göre, kalite değerleri açısından genel olarak daha iyi sonuçların alındığını bildirmiştir. Konvansiyonel ve vakum yöntemlerinde yüksek sıcaklıklarda kurutulduklarında toplam antosiyanin ve uçucu bileşik değerlerinin yoğunlaştığını tespit etmiştir. Liyofilizasyon yönteminde kurutulan dutların diğer yöntemlere göre daha fazla koyulaştığını bulmuştur.

Fazaeli ve ark. (2012), püskürtmeli kurutma yönteminin, karadut meyve tozu eldesin de kullanarak kurutma verimi, nem içeriği, su aktivitesi, kütle yoğunluğu ve çözünürlük kriterlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma veriminde artış, kütle yoğunluğu, nem içeriği ve su aktivite değerlerinde ise azalmalara sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Chottamom ve ark. (2012), sükroz, sorbitol ve maltoz maddelerini kullanarak dut meyvesini ozmotik ön işlemin kuruma özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ozmotik işlem uygulanan meyvelerin 8 ile 12 saat arasında kuruma sürelerini kısaltmıştır. Ön

işlem uygulandıktan sonra 60 °C'de kurutulan meyvelerde fenolik ve antosiyanin içeriklerinin önemli seviyede azaldığı tespit edilmiştir. Maltoz işlemi ile osmoz ön uygulaması yapılan materyaller 60 °C' de kurutulduklarında ise antioksidan maddelerinin daha sevilere sonuç verdiği belirlenmiştir.

Evin (2011), beyaz dut meyvesini mikrodalga ile kurutarak yöntemin kurutma kinetiğine etkisini araştırmıştır. Çalışmada materyalin nem içeriğini 3.76' dan 0.25' e (g nem/g kuru madde) düşene kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Mikrodalga çıkış gücüne (90-800 W) bağlı olarak ürünün kuruma süresi 58 ile 7 dakika arasında değiştiği ve güç değeri 90 W' tan 800 W' a çıkartıldığında kuruma süresinin % 88 oranında azaldığını belirtmiştir.

Akbulut ve Durmuş (2009), Elazığ ilinden topladığı dut meyvelerini güneş enerjili bir kurutucuda kurutarak kuruma performans değerlerini araştırmışlardır. Kurutma hava debisi 0.0015-0.036 kg/s arasında değişen 7 farklı şartta kurutmuşlardır. Zamana bağlı kuruma verileri 10 farklı ince tabaka kurutma eşitliklerinde işleyerek en uygun kurutma modellerinin Page ve bu çalışmada geliştirdiği yeni model olduğunu tespit etmişlerdir. Ürünün efektif difüzyon değerleri ise $3.47 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1.46 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Kavak Akpınar (2008), beyaz dut meyvesini güneşte ve güneş enerjili kurutucuda kurutarak kuruma verilerini belirlemiştir. En uygun ince tabaka kuruma modeli olarak Verma ve arkadaşları modelini bulmuştur. Kurutulan beyaz dutun efektif difüzyon değeri ise $3.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $2.40 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini tespit etmiştir.

Taşer ve ark. (2007), karadut meyvelerini farklı kimyasallara bandırarak ve bandırmadan (kontrol), yapay kurutucuda, güneş enerjili kurutucuda ve güneşte kurutarak kuruma performanslarını araştırmışlardır. Yapay kurutucuda meyveler 22 saatte kururken, güneş enerjili kurutucularda 90 saatte kurduğunu belirlemişlerdir. Kurutma yöntemi ve bandırma ön uygulamalarının karadut meyvesinin renk değerlerine etkisinin istatistiksel açıdan etkisini önemli düzeyde bulmuşlardır.

Doymaz (2004a), dut meyvesini etiloleat çözeltilisine bandırılmış ve bandırılmamış olarak güneşte kurutma çalışması yapmıştır. Etiloleat çözeltilisine bandırıldıktan sonra

kurutulan meyvelerin bandırılmamış örneklere göre daha kısa süre içerisinde istenilen nem seviyesine ulaştığını bildirmiştir. Kurutma verileri ince tabaka kuruma modellerinde işlemiş ve Page ile Ekspansiyon modellerinin en iyi tahmin ettiğini tespit etmiştir. Ön işlem yapılan dut meyvelerin efektif difüzyon değeri 4.69×10^{-10} m²/s ön işlem yapılmayan meyvede ise 4.26×10^{-11} m²/s olarak bulmuştur.

Doymaz (2004b), çalışmasında beyaz dut meyvesini ısı şoklaması, etiloleat çözeltisine bandırma, askorbit asit ve etiloleat çözeltisine bandırma, sitrikasit ve etiloleat çözeltisine bandırma, ısı şoklaması ve etiloleat çözeltisine bandırma ve kontrol örnekleri olmak üzere güneş ortamında kurutmuştur. Ortalama kuruma süreleri sırasıyla, 18, 22.50, 18, 19, 12.5 ve 36 saat olarak belirlemiştir. Kurutulan meyvenin efektif difüzyon değeri ise 2.231×10^{-10} m²/s ile 6.609×10^{-10} m²/s arasında değerler aldığını tespit etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Vakum tüplü güneş enerji destekli kabin kurutucu

Sistemin termal verimliliğini belirlemek ve tarımsal ürünleri kurutabilmek için vakum tüplü güneş enerji destekli kabin tipi bir kurutucu tasarlanıp imal edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Vakum tüplü güneş enerjili kabin tipi kurutma sistemi

Kurutma işlemi için gerekli olan sıcak hava, vakum tüplü güneş enerji deposunda bulunan ısı depolama materyalinden temin edilmiştir. Akışkan içerisinden geçirilen eşanjör bakır boru aracılığıyla absorbe edilen ısı kabin kurutucuya aktarılmıştır. Kabin içerisindeki üst kurutma sıcaklık değerlerini kontrol etmek için kullanılan sıcaklık

sensörlerinin, eşanjör boru içerisindeki havanın dolaştırılması için kullanılan kompresörün ve invertörün elektrik ihtiyacıda fotovoltaik güneş pillerinden sağlanmıştır.

Kurutma sisteminde ve çalışmada kullanılan bazı alet-ekipmanlar

Kurutma sistemi 8 parçadan oluşmaktadır ve işlemler için bazı alet-ekipmanlar kullanılmıştır. Bunlar;

Vakum tüplü güneş enerji sistemi

Sıcak hava elde etmek için 30 adet vakum tüpten oluşan bir güneş enerji sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Vakum tüplü güneş enerji sistemi

Kullanılan güneş enerjisinin deposu krom nikel malzemeden olup, vakum tüplerin uzunluğu 1650 mm, dış ve iç çap değerleride sırasıyla, 47 mm ve 37 mm'dir.

Kompresör

Ortamdan aldığı havayı, güneş enerji deposu içerisindeki eşanjör boru içerisinde dolaştırarak kabin kurutucuya aktarılması için kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kompresör

Kompresör 4 BG gücünde olup, ilk kalkışta (boşta) 2.5 amperlik akım çekerken, sonraki süreçte ise bu değer 1.9 ampere düşmektedir.

Kabin kurutucu

Tarımsal materyalleri kurutmak için tasarlanmıştır. Kabinin toplam uzunluğu 1900 mm olup kullanım alanının ölçüleri 600x600x1200 mm'dir. Yerden 100 mm yüksekliğinde bir tekerlek ve üzerinde de 500 mm uzunluğunda ayaklar mevcuttur. Kabinin üst (tavan) kısmından itibaren nemli havanın çıkışı için 100 mm yüksekliğinde bir baca bulunmaktadır (Şekil 3.4).

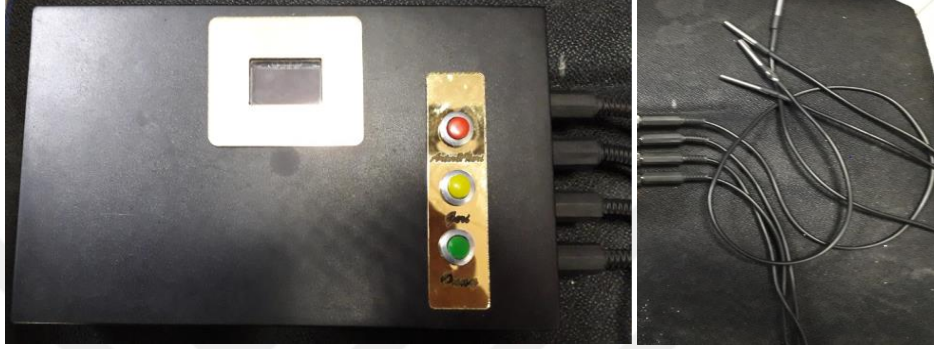


Şekil 3.4. Kabin kurutucu

Kurutucunun dış yüzeyini paslanmaya karşı korumak için siyah renkli statik boya ile boyanmıştır. İç kısmında ise biyolojik materyaller kurutulurken, ürünlerin yüzeyle temas edip oksitlenmesinin önüne geçmek için krom malzemedan yapılmış 4 adet kurutma rafı bulunmaktadır. Kabin içerisinde oluşan havanın sıcaklık değerlerini ölçmek için 4 noktaya sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir (Şekil 4). 1 numaralı sensör, ilk rafın altına yerleştirilmiş olup, güneş enerji deposundan gelen havanın sıcaklığını T1 olarak ölçmektedir. 2 numaralı sensör, üçüncü rafın altına yerleştirilmiş olup, kabin iç sıcaklığını T2 olarak ölçmektedir. 3 numaralı sensör, bacadan çıkan havanın sıcaklığını T3 olarak ölçmektedir. 4 numaralı sensör ise dış ortamdaki havanın sıcaklığını T4 şeklinde ölçmektedir. Sıcaklık kontrolü kabinin hem merkezinde olması hem de ön denemelerde en yüksek sıcaklık değerlerinin ölçülmesinden dolayı T2 sensörüne göre yapılmıştır.

Kontrol paneli ve akümülatörler

Güneşten gelen ışıının değeri gün içerisinde sürekli değıştiği için kurutma sıcaklıklarında sabit tutma şeklinde değil de o değeri aşmamak üzere (üst eşik) kontrol kontrolü sağlanmıştır. Bu şekilde dört noktadan sıcaklık değeri ölçülerek değeri kayıt edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kontrol paneli ve sıcaklık sensörleri

Kontrol paneli üzerinde, istenilen kurutma sıcaklık değeri ayarlanabildiği gibi aynı zaman da sıcaklık değeri kayıtlarında ayarlanabilmektedir. Sıcaklık değeri ölçülmesinde K-tipi vidalı sensörler kullanılmıştır.

Sistem için gerekli elektrik enerjisi fotovoltaik güneş pillerinden sağlanarak depo edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Jel akümülatör

Çalışmada, iki adet ORBUS marka 6-DZM-14 model 12V/14Ah özelliğinde jel aküler kullanılmıştır.

Şarj kontrol cihazı

Güneşten elde edilen elektrik enerjisinin akümülatörlerde şarj seviyesinin durumunu gösteren TOMMATECH marka LS05112E model şarj kontrol cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Şarj kontrol cihazı

Bu cihaz, sistemin şarj olup olmadığını ve şarj seviyesinin ne durumda olduğunu izleyebilmek için kullanılmıştır.

Fotovoltaik güneş pilleri

Sistemin elektrik ihtiyacını karşılamak için SUNENG marka SE85-36P ve SE20-36P model fotovoltaik piller kullanılmıştır (Şekil 3.8).



a) 85Wp

b) 20 Wp

Şekil 3.8. Fotovoltaik pil

Sistemin gerekli elektrik ihtiyacını ergonomik ölçüde sağlayabilmek için polikristal özellikte 2 adet güneş pili kullanılmıştır. Bu güneş pillerinin kapasiteleri sırasıyla, 85 Wp ve 20 Wp olup, boyut ölçüleride sırasıyla, 785x675 mm ve 420x360 mm'dir.

İnvertör

Sistemde kullanılan kompresörün elektrik ihtiyacı, güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisiyle besleyebilmek için invertör (dönüştürücü) kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. İnvertör (dönüştürücü)

Akümülatörlerde depo edilen elektrik enerjisi 12 V olup bu değer komprösere aktarılmadan önce invertörle 220 V yükseltilecek şekilde sağlanmıştır. Kullanılan invertör Carspa marka olup 1200 W kapasitesinde bir cihazdır.

Piranometre (Işınım ölçer)

Termal verimlilik analizi ve kurutma işlemi esnasında güneşten gelen küresel ışınım şiddetini ölçmek için Kimo marka SL200 model piranometre kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Piranometre (Işınım ölçer)

Bu cihazla sistemin termal verimliliğini belirlemek için sıcaklık değerlerine karşılık belirli sürelerdeki ışınım şiddeti değerleri kayıt edilmiştir.

Isı depolama materyali (IDM)

Kurutma işlemlerinde ve termal verimlilik analizlerinde kullanılmak üzere güneş enerjisinden yeterli sıcaklığa sahip bir hava sağlanamadığı için sıvı halde bulunan mono etilen glikolin (1,2-Dihydroxyethane) (CH_2OH)₂ ısı depolama materyali kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Isı depolama materyali-mono etilen glikolin

Isı depolama materyali olarak kullanılan bu kimyasal sıvı, diğer ısı depolama materyallerine göre, hem ekonomik hem de termik özelliklerinin daha iyi olmasından dolayı kullanılmıştır. Bu kimyasal, suya göre daha yoğun olup, suda çözünebilen bir sıvıdır. Suyu göre özgül ısı değeri düşük ve ısı sığası ise daha yüksek bir maddedir.

Eşanjör boru

Güneş enerji deposu içerisinde bulunan ısı depolama materyalinden kurutma havasına ısıyı absorbe edebilmek için serpantin tipli kanatlı bir eşanjör boru kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Eşanjör boru

Eşanjör boru içten yivli ve dıştan kanatlı olup bu özellik boru içerisinde dolaşan havanın sürtünerek boru içerisinde daha yavaş geçmesine ve dolayısıyla da ısıyı daha iyi absorbe etmesi için tasarlanmıştır.

Kurutma materyali

Vakum tüplü güneş enerjili kurutma sistemin performansını diğer kurutma yöntemleriyle kıyaslamak için karadut meyvesi kurutulmuştur (Şekil 3.13). Kurutma materyali Tokat ili Kemalpaşa mahallesi 721 rakımda yetiştirilen Kem genotipidir.



Şekil 3.13. Kurutma materyali

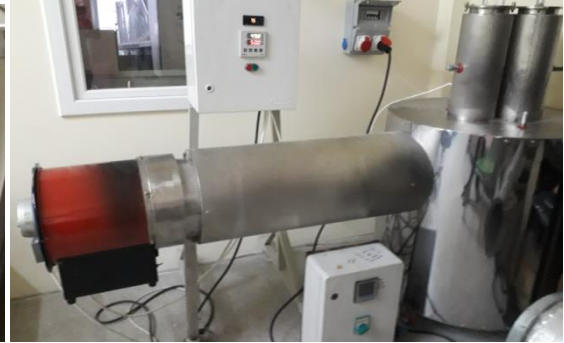
Karadut meyveleri iki farklı olgunluk seviyesinde toplanarak çalışmada kullanılmıştır.

Kurutma cihazları ve tel örgülü raf

Karadut meyvelerinin kurutulması işlemlerinde etüv, vakumlu etüv, hassas kurutucu ve menteşeli tel örgülü kurutma rafları kullanılmıştır (Şekil 3.14).



a) Etüv



b) Hassas kurutucu



c) Menteşeli-tel örgülü raf



d) Vakumlu etüv

Şekil 3.14. Kurutma cihazları ve kurutma rafı

Kullanılan etüv Şimşek Labor teknik marka ST-120 tipidir. Etüvde kurutma havasının sıcaklığı cihaz üzerinde bulunan PID kontrol denetleyicilerle sağlanmaktadır. Vakumlu etüv, CLS marka olup, CLVO-64T modelidir. Cihaz üzerinde sıcaklık ve vakum basınç değerleri ayarlanabilmektedir. Tel örgülü rafların dış ölçüleri 75×75 cm ve çitaların kalınlıkları ise 3.5 cm' dir. Kurutma raflarının iç ölçüleri 70×70 cm olup dışarıya doğru olan çita payları ise 2.5 cm' dir. Hassas kurutucu ise üç ana kısımdan oluşmakta ve bunlar kurutma odası, kurutma kanalları ve kontrol panosudur.

Renk ölçüm cihazı

Taze ve kurutulmuş karadut meyvelerin renk değerleri HunterLab Kromametre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Renk ölçer

Kullanılan renk ölçer CR300 model olup, parlaklık (L), kırmızı-yeşil (a) ve sarı-mavi (b) renk değerlerini ölçmektedir.

Güç analizörü

Kurutulan yarı ve tam olgun karadut meyvelerinin ilk nem içerikleri belirlenen nem aralığına düşene kadar cihazların tükettiği toplam elektrik enerjisi değerlerini (kWh) ölçmek için güç analizörleri kullanılmıştır (Şekil 3.16).



a) Hassas kurutucuda

b) Diğer kurutucularda

Şekil 3.16. Güç analizörleri

Hassas kurutucuda kullanılan güç analizörünün üzerinde Elimko marka kontrol paneli mevcut olup, ölçülecek güç değerinin birimi istenildiği şekilde seçilebilmektedir. Diğer kurutma işlemlerinde ise Polaxtor marka PLX-15366 model güç analizörü kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Vakum tüplü güneş enerji destekli kurutma sistemin imalatı ve montajı

Güneş enerjili kabin tip kurutucunun imalat ve montajı önceden belirlenen ölçülere göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).

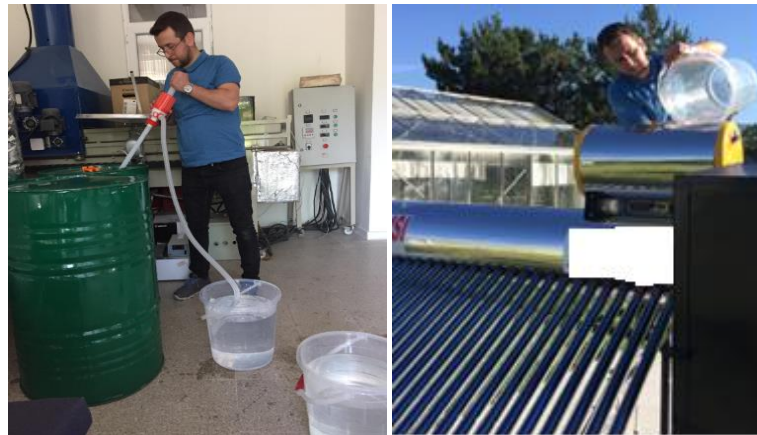


Şekil 3.17. Güneş enerji sistemi ve kabin kurutucunun imalatı ve montajı

Güneş enerji sistemi 30 adet vakum tüpten oluşmaktadır. Isıl özellikli eşanjör borunun girişi ve çıkışı için birer adet boru iptal edilerek 28 adet vakum tüp boru kullanılmıştır. Bunun yanında enerji sisteminin güneşten maksimum şekilde yararlanabilmesi için uygun yönde montajı yapılmıştır. Kurutma işlemleri esnasında oluşan nemin doğal yolla dışarı atılabilmesi için çatı yüzeyi kubbeli ve içerisindeki raflarda gözenekli şekilde tasarlanmıştır.

3.2.2. Termal verimlilik analizi

Termal verimlilik analizine başlamadan önce güneş enerji deposu, ısı depolama materyali (IDM) suyla % 25, 50 ve 75 oranlarında karıştırılarak daha sonra % 100 su ve yalnız % 100 IDM oranlarında ayrı ayrı doldurulmuştur (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Güneş enerji sisteminin IDM ve suyla doldurulması

Termal verimlilik analiz denemeleri 10/06/2020-08/07/2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Her bir % oran için 5'er gün boyunca 09:00-17:00 saatleri arasında belirtilen T1, T2, T3 ve T4 ortam ışınlam şiddeti ve ortam bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Herbir % oran değeri için ölçülen bulgular excel programında işlendikten sonra elde edilen ortalama sıcaklık ile meyvelerin kurutma sıcaklık değerleri bir arada değerlendirilerek optimum % oran değerine karar verilmiştir. Güneş enerji deposu farklı oranlarda su ve IDM ile doldurulup 5' er günlük süreçlerde ortalama termal verimlilik değerlerini tespit etmek için eşitlik 1 kullanılmıştır (Hayek ve ark., 2011; Tiwari ve ark., 2013, Mahendran ve ark., 2014; Sabiha ve ark., 2015).

$$Q_u = m \times C_p \times (T_o - T_i)$$

$$Q_i = A_c \times G$$

$$n = \frac{Q_u}{Q_i}$$

(3.1)

Burada;

Q_u : Sistemden kazanılan faydalı enerji, Q_i : Gelen enerji, n : Termal verimlilik, m : Kabine aktarılan havanın debisi, C_p : havanın özgül ısısı, T_o : Ortam sıcaklığı, T_i : Kabine gelen havanın sıcaklığı, A_c : Kolektör alanı, G : Işınlam şiddeti.

3.2.3. Meyvelerin olgunluk seviyelerine ayrılması

Tokat/Kemalpaşa Mahallesi 14 Temmuz 2020 tarihinde temin edilen Kem genotipli karadut meyveleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi kurutma laboratuvarına getirilerek ezik ve kötü olanlar seçilerek ayrılmıştır. Meyveler kurutuma işlemleri sonlanana kadar $+4 \pm 0.5$ °C sıcaklıktaki buzdolabı ortamında saklanmıştır. Meyveler olgunlaştıkça parlaklık değeri azaldığından dolayı iki farklı olgunluk seviyesine ayırmak için renk ölçüm cihazı ile parlaklık (L) değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Farklı olgunluk seviyelerine ayrılan karadut meyveleri

Daha sonra meyvelerin parlaklık değerleri kategorize edildikten sonra 29.44-40.26 arasında değer alanlar yarı olgun, 18.33-29.44 arasında değerler alanlar ise tam olgun olarak şeklinde sınıflandırılmıştır.

3.2.4. Nem tayini işlemi (%)

İki farklı olgunluk seviyesine ayrılan karadut meyvelerinin kurutma işlemi öncesinde yaş baza göre % ilk nem içerikleri tespit edilmiştir. Nem tayini işlemi etüvde 70 °C sabit sıcaklığa ayarlanmış ortamda ürünlerin ağırlık değişimi sabitlene kadar bekletilmiştir (Pixton ve Warburton, 1973). Nem tayini işlemi için yarı olgun ve tam olgun karadut meyvelerinden sırasıyla 30 ± 0.69 ve 39 ± 0.52 g örnek kullanılmıştır.

3.2.5. Kurutma işlemleri

Meyveler yarı olgun ve tam olgun olmak üzere etüvde, vakumlu etüvde, hassas kurutucu ile imal edilen vakum tüplü güneş enerjili kabin kurutucularda 50, 60 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve güneş ortamında üçer tekerür halinde kurutulmuştur. Vakum tüplü güneş enerjisiyle yapılan kurutma işlemlerinde güneşten gelen ışıma değerleri gün içerisinde sürekli değiştiği için kurutma sıcaklıklarını sabit tutma şeklinde değil de sıcaklık değerini aşmamak üzere (üst eşik) kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yarı ve tam olgun meyvelerden sırasıyla ortalama, 32 ± 0.66 ve 41 ± 0.39 g meyve kullanılmıştır. Kurutma işlemlerinde meyvelerin ilk nem içerikleri % 10-15 seviye aralığına kadar kurutulmuştur (Polatçı ve Tarhan, 2009). Kurutma esansında örneklerin ağırlık değişimlerini takip etmek için 0.01 g hassasiyetinde AND marka GF-3000 model ile RADWAG marka PS4500.R1 model hassas teraziler kullanılmıştır.

3.2.6. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Kurutulan yarı ve tam olgun karadut meyvelerinden kuruma süresi boyunca uzaklaşan nem değerleri ayrılabilir nem oranı (ANO) şeklinde elde ettikten sonra ince tabaka matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Alınabilir nem oranı değerleri belirlenirken 2 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

Burada;

ANO: Ayrılabilir nem oranı

M: Ürünün anlık nem içeriği (g nem/g kuru madde)

M_e: Ürünün denge nemi (g nem/g kuru madde)

M₀: Ürünün ilk nem içeriği (g nem/g kuru madde)

Kurutulan meyvelerin kuruma oranlarını matematiksel modellemek için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan modellere ait eşitlikler

Model ismi	Eşitlik	Kaynak
Jena ve Das	$MR = k.exp(-h.t + j.(t^{1/2}) + m)$	Jane ve Das (2007)
Lewis	$MR = exp(-k.t)$	Lewis (1921)
Wang Sing	$MR = 1 + k.t + h.t^2$	Wang ve Sing (1978)
Midilli-Küçük	$MR = h.exp(-j.t^k) + mt$	Midilli ve ark. (2002)
Page	$MR = exp(-kt^h)$	Page (1949)
Yağcıoğlu ve ark.	$MR = k.exp(-h.t) + j$	Yağcıoğlu ve ark. (1999)

Kurutulan meyvelerin kuruma oranları modellenirken literatürde yaygın olarak kullanılan Jena-Das, Lewis, Wang-Sing, Midilli ve ark., Page, Yağcıoğlu ve ark. modelleri seçilmiştir.

3.2.7. Efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerlerinin hesaplanması

Kurutma işlemleri esnasında meyvelerden uzaklaşan nemin süre bağlı yayılan alanın miktarını belirtmektedir. Efektif difüzyon değerleri hesaplanırken 3 numaralı eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (Crank, 1979).

$$\ln ANO = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (3.3)$$

Burada;

Deff; efektif difüzyon değerini (m²/s), L; ürünün kalınlık değerinin (m) yarısını ifade etmektedir. Belirlenen efektif difüzyon değerinin sıcaklığa bağlı değişimi Arrhenius eşitliği kullanılarak ifade edilmektedir. Aktivasyon enerjisi değeri hesaplanırken 4 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.4)$$

Burada;

Do; difüzyon değeri (m²/s), R; gaz sabiti (8.3143 kJ/molK), Ea; aktivasyon enerjisi (kJ/mol) ve T (K^o) ise kurutma havası sıcaklığını ifade etmektedir. Aktivasyon enerjisi (Ea) değeri, efektif difüzyon (Deff) katsayısının matematiksel olarak doğal logaritması hesaplandıktan sonra 1/T değerlerine karşı çizilen doğru eğiminden hesaplanmaktadır.

3.2.8. Enerji tüketim değerlerinin ölçülmesi

Kurutucuların tükettiği elektrik enerjisi değerleri kWh birimi cinsinden ölçülerek meyvelerin nem miktarları istenilen nem aralığına ulaştığında nihai değer kayıt edilmiştir. Böylece toplam elektrik enerjisi tüketim değeri kullanılarak uzaklaşan su miktarlarına göre, özgül enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Özgül enerji tüketim değerleri 5 numaralı eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$\text{ÖET} = \frac{\text{TEET}}{\text{TSK}} \quad (3.5)$$

Burada;

ÖET: Özgül enerji tüketimi (kWh/kg nem), TEET: Toplam elektrik enerjisi (kWh), TSK: Toplam nem kaybı (kg) miktarlarını temsil etmektedir.

3.2.9. Meyvelerin renk ölçümleri

Taze ve kurutulmuş yarı olgun ve tam olgun meyvelere ait L, a ve b renk ölçümleri Minolta marka CR300 model cihaz kullanılarak geręekleřtirilmiřtir. Ölçülen bu değerler; L; parlaklık değerini temsil ederken, 0-100 arasında değerler almaktadır. L değeri 0 değerini aldığında meyve renginin siyah, 100 değerini aldığında beyaz olduğunu göstermektedir. Renk değerlerinden a; kırmızı-yeşil, b; sarı-mavi renkleri temsil etmektedir. Cihazda ölçülen a değeri eksi işaretili olursa yeşil rengin daha yoğun,

artı işaretli olursa kırmızı rengin daha yoğun olduğunu belirtmektedir. Ölçülen a ve b renk değerleri sıfıra eşit olduğunda ise örneklerin gri renkte olduğunu göstermektedir (McGuire, 1992). Cihazda ölçülen L, a ve b değerleri kullanılarak belirlenen ve ürün hakkında daha net bilgi içeren kroma, hue ve toplam renk değişimi parametreleride hesaplanmıştır. Kroma; taze ve kurutulmuş yarı olgun ve tam olgun meyvelere ait rengin tonunu göstermektedir. Kroma değeri solgun renklerde düşük, canlı renklerde yüksek değerler hesaplanmaktadır. Hue; renk değerlerinin 360°'lik renk radyantındaki yerini belirtmektedir. Sınır açısı değerlerinden 0°; kırmızı, 180°: yeşil, 90°: sarı ve 270° ise mavi ana renkleri temsil etmektedir. Toplam renk değişimi; kurutma işlemleri esnasında ısıyla beraber enzimatik olmayan renk değişiminin tazeye göre farklılaşma miktarını belirtmektedir.

Hesaplanan renk değerlerinden kroma, hue ve toplam renk değişim kriterlerine ait eşitlikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Hesaplanan renk eşitlikleri

Renk değeri	Eşitlik	Kaynak
Kroma, C	$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$	Ramallo ve Mascheroni (2012)
Hue açısı, °	$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$	Alemrajabi ve ark. (2012)
Toplam renk değişimi, ΔE	$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}$	Tan ve ark. (2001)

Burada; L, a ve b değerleri taze yarı olgun ve tam olgun karadut meyvelerine ait ölçülen renk değerlerini temsil ederken, L*, a* ve b* ise kurutulmuş yarı olgun ve tam olgun karadut meyvelerine ait ölçülen renk değerlerini temsil etmektedir.

3.2.10. Kimyasal analizler

Taze ve kurutulan yarı olgun ve tam olgun karadut meyvelerinin son kalite değerleri açısından asitlik (pH), % suda çözünebilir kuru madde miktarı (S.Ç.K.M.), % titre edilir asitlik (T.A.), toplam fenol (T.P.), toplam antioksidan kapasitesi (T.A.K.) ve toplam antosiyanin tayini (T.A.T.) gibi kimyasal analiz değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Taze ve kurutulmuş meyvelerin fitokimyasal analizleri

Analizlere başlanılmadan önce taze ve kurutulmuş karadut meyveleri sırasıyla, 4'er ve 9'ar kat seyreltilerek blenderde meyve özütleri çıkartılmıştır.

pH: Taze ve kuru meyvelerden elde edilen meyve özütleri laboratuvar koşullarında pH metre ile okunarak belirlenmiştir (Karaçalı, 1990; Cemeroğlu, 1992).

Titre edilebilir asit oranı (%): Taze ve kuru meyve özütlerinden 5 mL alınarak 0.1 N NaOH çözeltisi ile ve bir pH metre yardımıyla titre edilmiştir. Titrasyon işlemi 3 paralel olarak yapılmış ve titrasyon sonuçlarının ortalamasından titre edilebilir asit miktarları % olarak saptanmıştır (Karaçalı, 1990; Cemeroğlu, 1992).

Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) (%): Taze ve kuru meyve özütlerinden pres ile suları çıkarılıp ve suda çözünebilir kuru madde miktarları portatif hassas dijital (± 0.01) efraktometre ile okunarak belirlenmiştir (Karaçalı, 1990; Cemeroğlu, 1992).

Toplam fenol tayini: Toplam fenol miktarı Singleton and Rossi (1965)'de tarif edildiği üzere Folin-Ciocalteu's kimyasalı kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla homojenize edilen püre aseton, su ve asetik asit (70:29.5:0.5) çözeltisi kullanılarak bir saat boyunca tüpler içerisinde ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Folin-Ciocalteu's kimyasalı ve saf su karıştırılarak 8 dakika bekletilmiştir. Sonra % 7'lik sodyum karbonat ilave edilmiştir. İki saat inkübasyondan sonra mavimsi bir renk alan çözeltinin absorbansı

spektrafotometrede 750 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit cinsinden µg gallik asit eşdeğer/g taze meyve olarak hesaplanmıştır.

Toplam antioksidan kapasitesi (TAK): Taze ve kuru meyve özütlerinin antioksidan kapasitelerini belirlemek için (Özgen ve ark., 2006) 7 nm ABTS (2,2'-Azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 2.45 mM potasyumbisülfat ile karıştırılarak karanlık ortamda 12-16 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu solüsyon 20 mM sodium asetat (pH 4.5) bafuru ile spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda 0.700 ± 0.01 absorbans olacak şekilde sadeleştirilmiştir. Nihayetinde yarı olgun karadut meyvelerinden 30 µL ekstrakt 2.97 mL ve tam olgunlardan ise 100 µL ekstrakt 2.90 mL hazırlanan bakır karıştırılarak absorbance 10 dakika sonra spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri Trolox (10–100 µmol/L) standart eğim çizelgesi ile hesaplanarak µmol Trolox eşdeğeri/g yaş ağırlık olarak sunulmuştur.

Toplam antosiyanin tayini: Meyvelerindeki toplam antosiyanin pH farkı metodu kullanılarak yapılmıştır (Giusti ve Wrolstad 2005). Ekstraktlar pH 1.0. ve 4.5 çözeltiler hazırlanarak 531 ve 700 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Toplam antosiyanin miktarı (molar extinction coefficient of 28000 siyandin 3-glikozit) absorbanslar [(A520–A700) pH 1.0 - (A520–A700) pH 4.5] µg antosiyanin/g taze ağırlık olarak hesaplanmıştır.

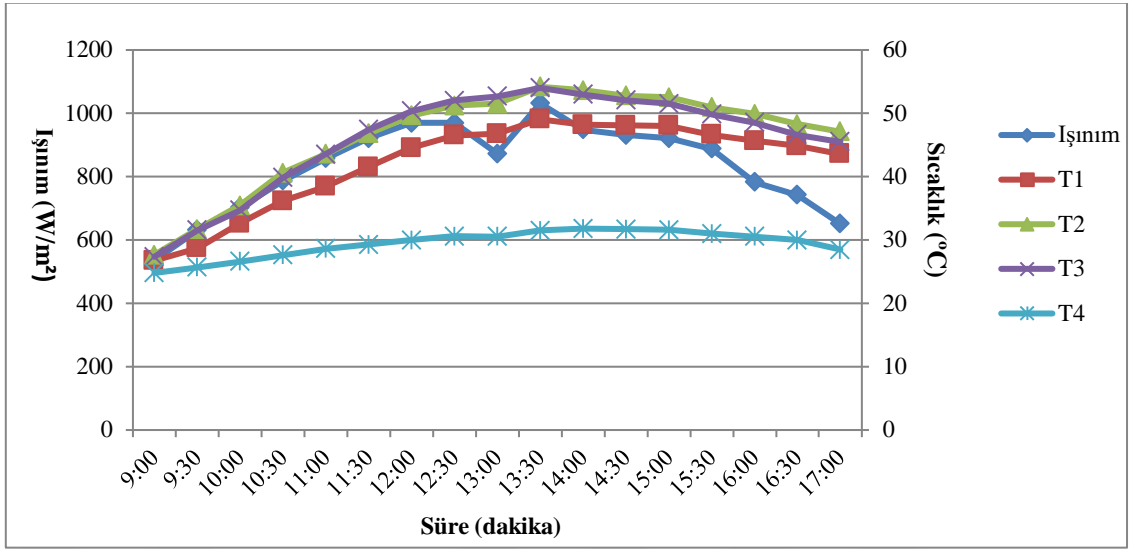
3.2.11. İstatistiksel analiz

Tüm taze ve kurutulmuş yarı ve tam olgun örneklerin renk ve fitokimyasal analiz bulgularını istatistiksel açıdan değerlendirmek için SPSS20. programında işlenerek çoklu karşılaştırma testine (Duncan) tabi tutulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

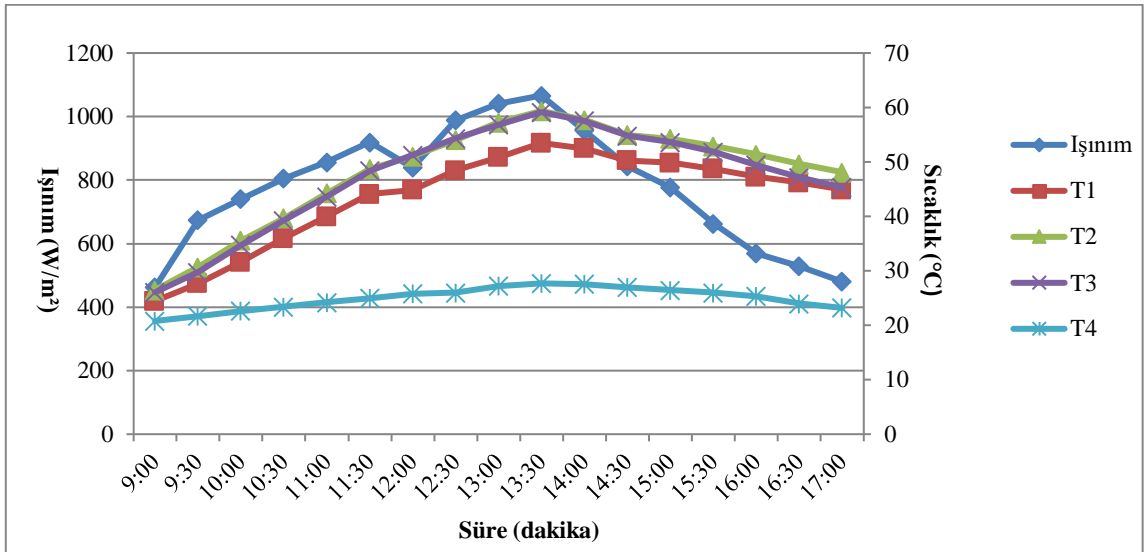
4.1. Termal verimlilik analizine ait bulgular

Güneş enerji sisteminde kullanılan farklı akışkan oranlarında ölçülen süreye bağlı ışıma ve sıcaklık değerlerine ait eğriler oluşturulmuştur. Güneş enerji deposu % 25 oranında mono etilen glikolin ve % 75 oranında su ile doldurulup 5'er gün boyunca yarımsar saat aralıklarla ölçülen değerlerin ortalamaları Şekil 4.1'de verilmiştir.



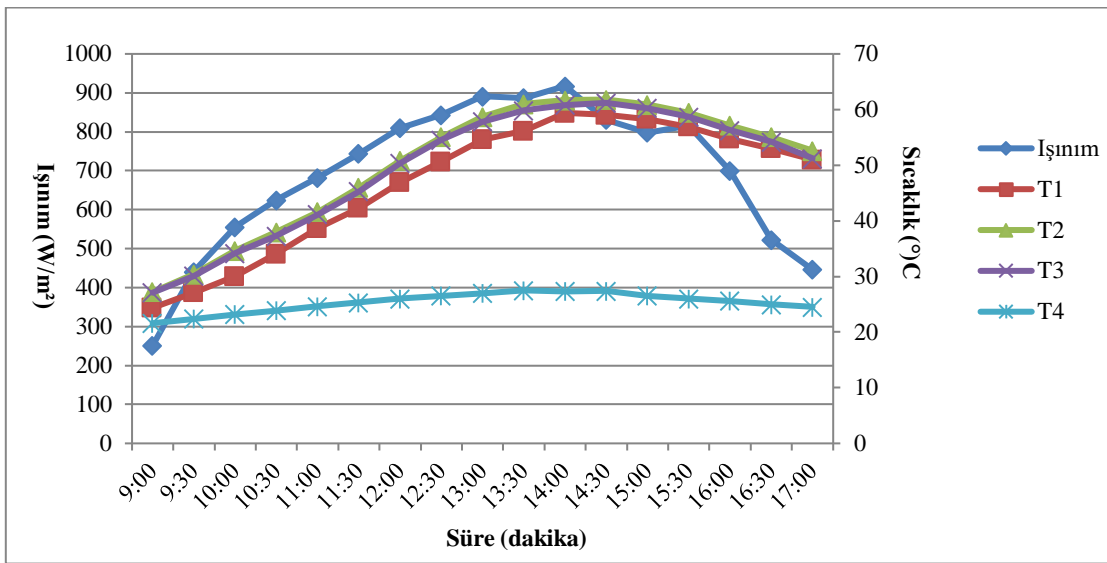
Şekil 4.1. % 25 IDM-% 75 su karşında ölçülen ortalama değerler

Şekil 4.1'e göre, maksimum ışınım ve sıcaklık değerleri saat 13:30 sıralarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Işınım şiddeti, T1, T2, T3 ve T4 için bu değerler sırasıyla, 1031 W/m², 49.05, 54.18, 54.01 ve 31.50 °C olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 1'e göre sistemde % 25 oranında mono etilen glikolin ve % 75 oranında su kullanıldığında termal verimlilik değeri % 17.25 olarak belirlenmiştir. Güneş enerji deposu % 50 oranında mono etilen glikolin ve % 50 oranında su ile doldurulduğunda ölçülen ortalama değerlerin süreye bağlı değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



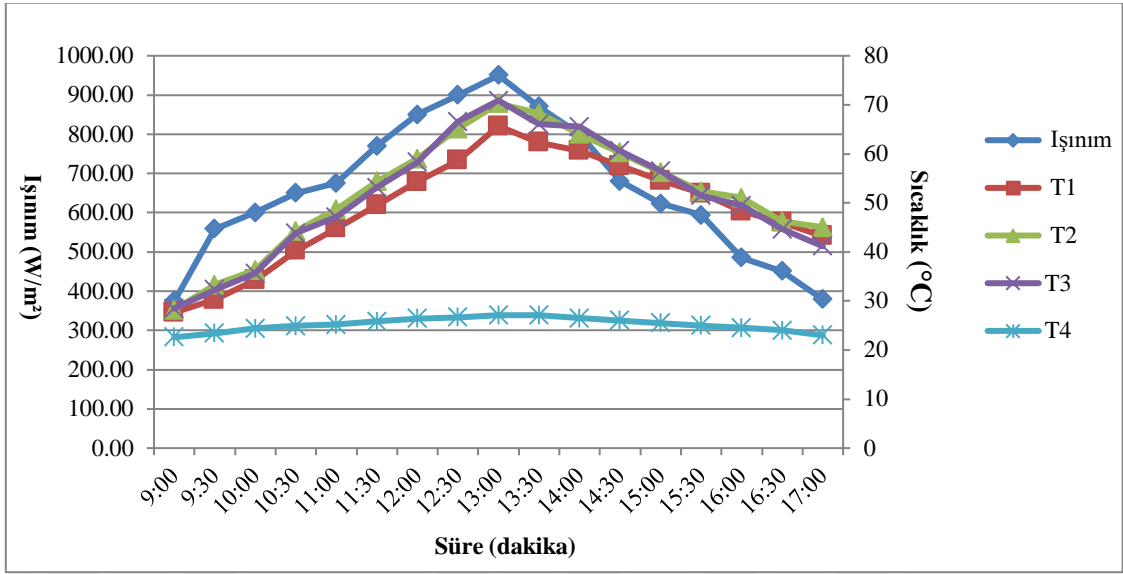
Şekil 4.2. % 50 IDM-% 50 su karşında ölçülen ortalama değerler

Şekil 4.2'ye göre, maksimum ışınım ve sıcaklık değerleri saat 13:30 sıralarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Işınım şiddeti, T1, T2, T3 ve T4 için bu değerler sırasıyla, 1066 W/m², 53.48, 59.36, 59.16 ve 27.70 °C olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 1'e göre sistemde % 50 oranında mono etilen glikolin ve % 50 oranında su kullanıldığında termal verimlilik değeri % 20.40 olarak belirlenmiştir. Güneş enerji deposu % 75 oranında mono etilen glikolin ve % 25 oranında su ile doldurulduğunda ölçülen ortalama değerlerin süreye bağlı değişimi Şekil 4.3'de verilmiştir.



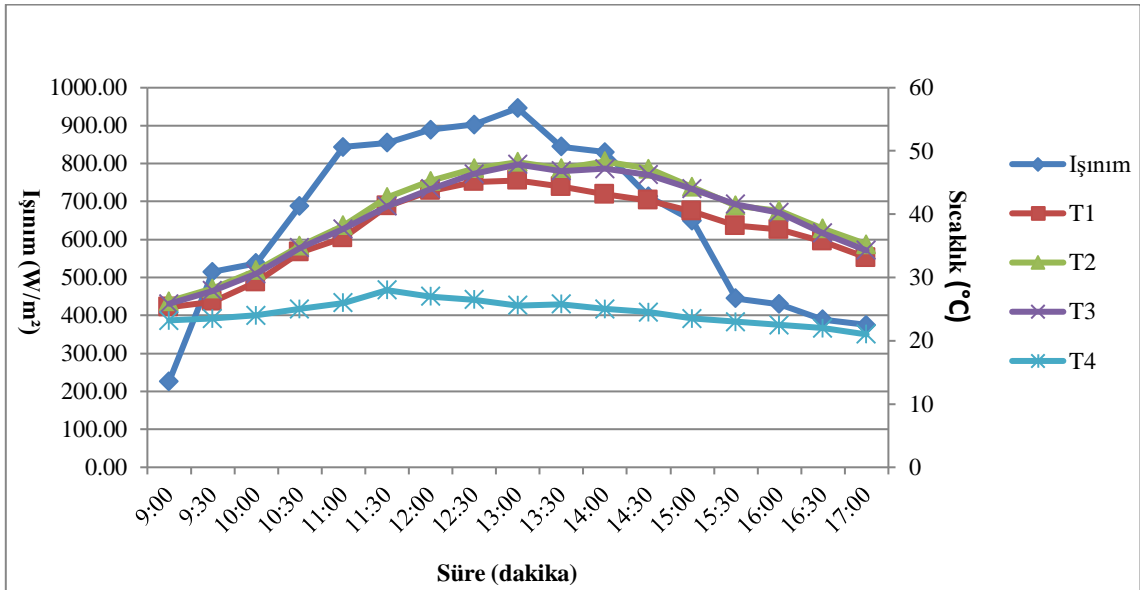
Şekil 4.3. % 75 IDM-% 25 su karşısında ölçülen ortalama değerler

Şekil 4.3'e göre, maksimum ışınım ve sıcaklık değerleri saat 14:00 sıralarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Işınım şiddeti, T1, T2, T3 ve T4 için bu değerler sırasıyla, 917 W/m², 59.40, 61.80, 61.20 ve 27.50 °C olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 1'e göre sistemde % 75 oranında mono etilen glikolin ve % 25 oranında su kullanıldığında termal verimlilik değeri % 26.51 olarak belirlenmiştir. Güneş enerji deposu tamamen mono etilen glikolin ile doldurulduğunda ölçülen ortalama değerlerin süreye bağlı değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. % 100 IDM kullanıldığında ölçülen ortalama değerler

Şekil 4.4'e göre, maksimum ışınım ve sıcaklık değerleri saat 13:00 sıralarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Işınım şiddeti, T1, T2, T3 ve T4 için bu değerler sırasıyla, 950 W/m², 65.67, 70.25, 70.89 ve 27.10 °C olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 1'e göre sistemde tamamen mono etilen glikolin kullanıldığında termal verimlilik değeri % 30.46 olarak belirlenmiştir. Güneş enerji deposu tamamen su ile doldurulduğunda ölçülen ortalama değerlerin süreye bağlı değişimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. % 100 su kullanıldığında ölçülen ortalama değerler

Şekil 4.5'e göre, maksimum ışıınım ve sıcaklık değerleri saat 13:00 sıralarında ölçüldüğü belirlenmiştir. Işıınım şiddeti, T1, T2, T3 ve T4 için bu değerler sırasıyla, 946 W/m², 47.00, 48.26, 47.86 ve 25.60 °C olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 1'e göre sistemde tamamen su kullanıldığında termal verimlilik değeri % 12.26 olarak belirlenmiştir. Bulgulara göre, IDM olarak kullanılan mono etilen glikolinin sistemin termal verimlilik değerlerini artırmaya yönelik etki ettiğı bununla beraber suyla karışım oranındaki yüzdesinin artmasıyla termal verimlilik değerlerini yükselttiğı tespit edilmiştir. Çalışılan % oranlar arasında en yüksek ve en düşük termal verimlilik değerleri sırasıyla, % 30.46 ve % 12.26 olarak bulunmuştur. Ortam sıcaklık değerlerine göre, kabin içerisinde oluşan en yüksek sıcaklık, güneş enerji deposunun tamamen IDM ile doldurulduğı (% 100) durumda belirlenmiştir. Güneş enerji deposu tamamen mono etilen glikolin ile doldurulduğunda tespit edilen termal verimlilik verimlilik değerinin, tamamen suyla doldurulduğı duruma göre, termal verimlilik değerinin % 18.20 oranında daha fazla olduğı bulunmuştur. Bununla beraber güneş enerji deposu tamamen IDM ile doldurulduğunda, elde edilen havanın sıcaklığı ortam sıcaklığına göre, 38.57 °C daha yüksek bir sıcak hava elde edilmiştir. Literatürde, güneş enerjili sistemlerin termal verimlilik değerlerinin % 8-65 arasında değıştığını belirtmişlerdir (Sabiha ve ark., 2015). Vakum tüplü güneş enerji sisteminde % 4'lük Al₂O₃, motor yağı (10W40) ve su kullanılarak sistemin termal verimlilik değerlerini araştırmışlardır. En düşük verimlilik değeri suda tespit edilirken; su, % 4'lük Al₂O₃ ve motor yağı (10W40) materyallerindeki verimlilik değerlerini ise sırasıyla, % 9.7, % 20.2 ve % 12.4 olarak tespit etmişlerdir (Alimohammadi ve ark., 2020). Düz yüzeyli güneş kolektörleri kullanılarak ısı kayaçlar üzerinden geçirilen hava aracılığıyla kurutma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Güneş ışıınım değerine göre, yüzeyde oluşan sıcaklığın 55.60-100.40 °C arasında değıştığını ve bununla birlikte ısının aktarıldığı kurutma havası sıcaklığının ise 30.80-42.50 °C arasında değerler aldığını bulmuşlardır (Tambunan ve ark., 2010). Düz yüzeyli güneş kolektöründe ısı depolama materyali olarak meyve çekirdeklerini kullanmışlardır. Sistemin en yüksek termal verimlilik değerini % 27.03 olarak hesaplamışlardır (Abuşka ve ark., 2020). Bhardwaj ve ark. (2020), çalışmalarında güneş enerjili bir kurutucu imal ederek optimum verilerin ölçüldüğü motor yağı+çakıl+metal talaşı IDM karşımında elde edilen havanın sıcaklığını, ortam sıcaklığından 26.02 °C daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Faz

değişim materyali (FDM) olarak parafin vaks maddesini gece esnasında sera ortamında kullanıldığında FDM'siz seraya göre ortam sıcaklığını 7.5 °C daha fazla artırdığını tespit etmişlerdir (Azaizia ve ark., 2020). Faz değişim materyali olarak parafin vaks maddesini kullanarak sistemin termal verimlilik değerine olan etkisini araştırmışlar. Sistemdeki en düşük akış oranında termal verimlilik değerinin % 21.9 olduğunu bulmuşlardır (Essa Mohamed ve ark., 2018). Güneş enerji sistemlerinde ısı depolama ve faz değişim materyallerinin kullanıldığı Tony (2020), Kalairasi ve ark. (2020), Zou ve ark. (2019), Bai ve ark. (2018) çalışmalarda, ısıl maddelerin sistemin sıcaklık ve termal verimlilik değerlerini artırdığını belirtmişlerdir.

4.2. Kuruma performans değerleri

Yaş baza göre belirlenen yarı ve tam olgun karadut meyvelerin ilk nem içerikleri sırasıyla, % 86.74 ve % 82.95 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, meyveler olgunlaştıkça şeker gibi su da çözünebilir maddelerin artmasından dolayı toplam su oranını azaltıcı bir etki ettiği düşünülmektedir. Yarı olgun meyvenin ortalama uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri sırasıyla, 2.6 cm, 1.6 cm ve 1.5 cm olarak ölçülürken, tam olgun meyvede ise bu değerler 2.7 cm, 1.8 cm ve 1.6 cm olarak ölçülmüştür. Yarı olgun ve tam olgun karadut meyvelerin ortalama kuruma süreleri ve son nem değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Meyvelerin ortalama kuruma süreleri ve son nem değerleri

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Son nem değeri (y.b.)	Kuruma süresi (saat)
Yarı olgun	Etüv	50	11.47	92
		60	11.99	48
		70	11.79	22
	Vakumlu etüv	50	11.50	66
		60	12.09	34
		70	10.16	21
	Hassas kurutucu	50	13.25	81.50
		60	13.69	39
		70	14.93	24
	Güneş enerjili kurutucu	50	11.96	145.50
		60	15.05	130
		70	14.71	101.50
	Güneşte	33.58	10.45	158
Tam olgun	Etüv	50	10.38	77
		60	10.35	42
		70	11.58	17
	Vakumlu etüv	50	12.85	49
		60	12.20	24

		70	11.20	13
	Hassas kurutucu	50	14.45	72.50
		60	13.44	35
		70	12.52	16
	Güneş enerjili kurutucu	50	12.88	118.50
		60	14.66	111
		70	14.51	92
	Güneşte	33.71	10.59	153

Çizelge 4.1'e göre, yarı olgun karadut meyveleri tam olgunlara göre, istenilen nem aralığına daha uzun sürede ulaştığı görülmektedir. Bu durum yarı olgun meyvelerin ilk nem içeriklerinin yüksek olması ve olgunlaşma aşamasının tam olarak tamamlamadığından dolayı bünyesindeki nemin meyve dokularına daha sıkı bir kuvvetle bağlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde, ham ve olgunlaşmış alıç meyveleri farklı sıcaklıklarda kurutularak olgunluk seviyelerinin kuruma sürelerine olan etkisini araştırmışlardır. Yaş baza göre ham ve olgunlaşmış alıç meyvelerinin ilk nem içerikleri sırasıyla, % 79.81 ve % 78.01 olduğunu belirlemişlerdir. Kuruma süreleri açısından ise ham meyvelerin daha uzun sürede kurduğunu tespit etmişlerdir (Tlatelpa-Becerro ve ark., 2020). Meyvelerin olgunluk seviyelerinin nem içeriği ve kuruma sürelerine etkisi açısından; Kingsly ve ark. (2007); şeftali meyvesinde, Kaya ve Aydın (2008); karayemiş meyvesinde benzer sonuçlara ulaşmışlar. Yarı ve tam olgun karadut meyvelerinin her ikisi içinde sırasıyla, en uzun (153 ve 158 saat) ve en kısa (13 ve 21 saat) kuruma süreleri güneşte ve vakumlu etüvde tespit edilmiştir. Güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde ise güneşte yapılan kurutma işlemine göre, kuruma süresini önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Yarı olgun karadut meyvesi için güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde güneşte yapılan kurutma işlemine göre, sırasıyla, 48.42, 75.32 ve % 84.81 oranlarında kuruma süresini azaltmıştır. Tam olgun karadut meyvesi için ise bu değerler sırasıyla, 52.61, 77.12 ve % 89.54 oranlarında olduğu bulunmuştur. Essalhi ve ark. (2018), güneş enerjili kurutucuda ve güneş ortamında üzüm meyvesini kurutmuşlar. Üzüm meyvesi güneşte kurutmaya göre güneş enerjili sistemde kurutulduğunda kuruma süresinin % 40.30 oranında azaldığını belirlemişlerdir. Aymen ve ark. (2019), kırmızı biber ürününü güneş ortamında ve tasarladıkları güneş enerjili sera tip kurutma sisteminde belirli bir nem seviyesine kadar kurutmuşlardır. Güneş enerjili sera tip kurutucuda biberin kuruma süresinin güneşte yapılan kurutma işlemine göre % 43.64 oranında azaldığını tespit

etmişler. Khattak ve ark. (2019) çalışmalarında dut meyvesini güneşte, güneş enerjili kurutucuda ve mikrodalgada kurutmuşlardır. Güneş enerjili kurutma işlemi, güneşte yapılan kurutma işlemine göre kuruma süresini % 52.08 oranında azalttığını bulmuşlardır.

4.3. İnce tabaka kuruma modelleri

Kurutulan yarı ve tam olgun karadut meyvelerinin kurutma işlemleri esnasında süreye bağlı uzaklaşan nem oranları tespit edilerek ince tabaka kuruma modelleri oluşturulmuştur. Modellere ait bulgular çizelgelerde verilerek en iyi tahmin matematiksel modeller tespit edilmiştir. Page modeline ait belirlenen bulgular Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Page modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R ²	p	
Yarı olgun	Etüv	50	k: 0.0125 h: 1.1923	0.9940	p<0.0001	
		60	k: 0.0590 h: 1.0190	0.9963	p<0.0001	
		70	k: 0.0866 h: 1.1369	0.9952	p<0.0001	
	Vakumlu etüv	50	k: 0.0162 h: 1.2136	0.9906	p<0.0001	
		60	k: 0.0163 h: 1.4726	0.9932	p<0.0001	
		70	k: 0.0578 h: 1.3429	0.9982	p<0.0001	
	Hassas kurutucu	50	k: 0.0386 h: 1.0023	0.9984	p<0.0001	
		60	k: 0.0252 h: 1.3502	0.9991	p<0.0001	
		70	k: 0.2018 h: 1.0519	0.9987	p<0.0001	
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.0082 h: 1.0837	0.7401	p<0.0001	
		60	k: 0.0041 h: 1.3086	0.9866	p<0.0001	
		70	k: 0.0153 h: 1.0949	0.9748	p<0.0001	
	Güneşte	33.58	k: 0.0063 h: 1.2275	0.9864	p<0.0001	
	Tam olgun	Etüv	50	k: 0.0108 h: 1.2785	0.9901	p<0.0001
			60	k: 0.0356 h: 1.2118	0.9963	p<0.0001
70			k: 0.0541 h: 1.4102	0.9960	p<0.0001	
Vakumlu etüv		50	k: 0.0749	0.9993	p<0.0001	

			h: 0.9625		
		60	k: 0.0500 h: 1.2952	0.9940	p<0.0001
		70	k: 0.0616 h: 1.5896	0.9999	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.1398 h: 0.7312	0.9989	p<0.0001
		60	k: 0.0445 h: 1.1967	0.9969	p<0.0001
		70	k: 0.2740 h: 0.9603	0.9993	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.0046 h: 1.3272	0.9833	p<0.0001
		60	k: 0.0032 h: 1.4059	0.9680	p<0.0001
		70	k: 0.0264 h: 0.9886	0.9772	p<0.0001
	Güneşte	33.71	k: 0.0193 h: 1.0121	0.9853	p<0.0001

Çizelge 4.2'ye göre page modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi hassas kurutucu ile 60 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9991 olarak bulunmuştur. Page modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.7401 olarak belirlenmiştir. Page modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi vakumlu etüv ile 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9999 olarak bulunmuştur. Page modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 60 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.9680 olarak belirlenmiştir. Elde edilen kuruma oranları Midilli-Küçük matematiksel modelinde işlendiğinde elde edilen bulgular Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Midilli-Küçük modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R ²	p
Yarı olgun	Etüv	50	k: 1.0267 h: 0.9827 j: 0.0180 m: -0.0015	0.9995	p<0.0001
		60	k: 0.9427 h: 0.9827 j: 0.0645 m: -0.0014	0.9990	p<0.0001

		70	k: 0.9960 h: 0.9957 j: 0.0991 m: -0.0048	0.9988	p<0.0001
	Vakumlu etiv	50	k: 0.9771 h: 0.9813 j: 0.0248 m: -0.0033	0.9994	p<0.0001
		60	k: 1.3602 h: 0.9783 j: 0.0180 m: -0.0031	0.9977	p<0.0001
		70	k: 1.2331 h: 1.0141 j: 0.0705 m: -0.0017	0.9991	p<0.0001
		Hassas kurutucu	50	k: 1.0055 h: 0.9810 j: 0.0362 m: -0.0003	0.9991
	60		k: 1.3054 h: 1.0112 j: 0.0284 m: -0.0003	0.9992	p<0.0001
	70		k: 1.0797 h: 0.9898 j: 0.1924 m: 0.0004	0.9989	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.7444 h: 0.9908 j: 0.0194 m: -0.0023	0.7457	p<0.0001
		60	k: 1.2792 h: 0.9584 j: 0.0038 m: -0.0006	0.9914	p<0.0001
		70	k: 0.6740 h: 0.9912 j: 0.0440 m: -0.0034	0.9883	p<0.0001
		Güneşte	33.58	k: 1.3479 h: 0.9450 j: 0.0035 m: -0.0073	0.9909
Tam olgun	Etiv	50	k: 1.1717 h: 0.9635 j: 0.0120 m: -0.0018	0.9986	p<0.0001
		60	k: 1.1760 h: 0.9734 j: 0.0348 m: -0.0012	0.9990	p<0.0001
		70	k: 1.2924 h: 0.9895 j: 0.0577 m: -0.0056	0.9994	p<0.0001
	Vakumlu etiv	50	k: 0.9144	0.9999	p<0.0001

			h: 0.9996 j: 0.0814 m: -0.0007		
		60	k: 1.1094 h: 1.0041 j: 0.0666 m: -0.0037	0.9964	p<0.0001
		70	k: 1.5738 h: 1.0044 j: 0.0635 m: -0.0001	0.9999	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.7095 h: 0.9991 j: 0.1453 m: -0.0002	0.9992	p<0.0001
		60	k: 1.1622 h: 1.0149 j: 0.0491 m: -0.0002	0.9971	p<0.0001
		70	k: 0.9584 h: 0.9950 j: 0.2713 m: -0.0003	0.9994	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 1.2036 h: 0.9602 j: 0.0055 m: -0.0014	0.9916	p<0.0001
		60	k: 0.1577 h: 1.0006 j: 0.0734 m: -0.0076	0.9924	p<0.0001
		70	k: 0.6853 h: 0.9937 j: 0.0547 m: -0.0028	0.9872	p<0.0001
	Güneşte	33.71	k: 1.1151 h: 0.9421 j: 0.0115 m: -0.0095	0.9895	p<0.0001

Çizelge 4.3'e göre Midilli-Küçük modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi etüv ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9995 olarak bulunmuştur. Midilli-Küçük modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.7457 olarak belirlenmiştir. Midilli-Küçük modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi vakumlu etüv ile 50 ve 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9999 olarak bulunmuştur. Midilli-Küçük modelinin, en zayıf

tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.9872 olarak belirlenmiştir. Elde edilen kuruma oranları Yağcıoğlu ve ark. matematiksel modelinde işlendiğinde elde edilen bulgular Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yağcıoğlu ve ark. modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R ²	p	
Yarı olgun	Etüv	50	k: 1.2444 h: 0.0165 j: -0.2598	0.9996	p<0.0001	
		60	k: 1.0304 h: 0.0523 j: -0.0609	0.9989	p<0.0001	
		70	k: 1.1472 h: 0.0874 j: -0.1542	0.9989	p<0.0001	
	Vakumlu etüv	50	k: 1.3804 h: 0.0183 j: -0.4042	0.9994	p<0.0001	
		60	k: 1.6148 h: 0.0298 j: -0.5990	0.9955	p<0.0001	
		70	k: 1.1888 h: 0.0985 j: -0.1492	0.9970	p<0.0001	
	Hassas kurutucu	50	k: 1.0085 h: 0.0358 j: -0.0276	0.9992	p<0.0001	
		60	k: 1.1886 h: 0.0550 j: -0.1352	0.9950	p<0.0001	
		70	k: 1.0141 h: 0.2159 j: -0.0097	0.9984	p<0.0001	
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 1.3304 h: 0.0069 j: -0.3636	0.7448	p<0.0001	
		60	k: 1.4891 h: 0.0075 j: -0.5078	0.9907	p<0.0001	
		70	k: 1.2303 h: 0.0131 j: -0.2862	0.9863	p<0.0001	
	Güneşte	33.58	k: 1.1755 h: 0.0114 j: -0.1953	0.9883	p<0.0001	
	Tam olgun	Etüv	50	k: 1.4093 h: 0.0157 j: -0.4264	0.9984	p<0.0001
			60	k: 1.1483 h: 0.0487 j: -0.1486	0.9984	p<0.0001

		70	k: 1.4807 h: 0.0692 j: -0.4606	0.9974	p<0.0001
	Vakumlu etüv	50	k: 0.9886 h: 0.0644 j: -0.0084	0.9993	p<0.0001
		60	k: 1.2300 h: 0.0704 j: -0.2151	0.9963	p<0.0001
		70	k: 1.3404 h: 0.1185 j: -0.2945	0.9929	p<0.0001
		50	k: 0.8722 h: 0.0692 j: 0.0543	0.9895	p<0.0001
	Hassas kurutucu	60	k: 1.1119 h: 0.0674 j: -0.0760	0.9954	p<0.0001
		70	k: 0.9832 h: 0.2581 j: 0.0049	0.9992	p<0.0001
		50	k: 1.6478 h: 0.0076 j: -0.6717	0.9913	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	60	k: 3.0545 h: 0.0032 j: -2.1110	0.9907	p<0.0001
		70	k: 1.0795 h: 0.0184 j: -0.1367	0.9844	p<0.0001
		Güneşte	33.71	k: 1.0157 h: 0.0170 j: -0.0583	0.9893

Çizelge 4.4'e göre Yağcıoğlu ve ark. modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi etüv ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9996 olarak bulunmuştur. Yağcıoğlu ve ark. modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.7448 olarak belirlenmiştir. Yağcıoğlu ve ark. modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi vakumlu etüv ile 50 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9993 olarak bulunmuştur. Yağcıoğlu ve ark. modeli, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.9844 olarak belirlenmiştir. Elde edilen kuruma oranları Lewis matematiksel modelinde işlendiğinde elde edilen bulgular Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Lewis modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R ²	p
Yarı olgun	Etüv	50	k: 0.0259	0.9858	p<0.0001
		60	k: 0.0624	0.9962	p<0.0001
		70	k: 0.1168	0.9906	p<0.0001
	Vakumlu etüv	50	k: 0.0342	0.9811	p<0.0001
		60	k: 0.0634	0.9578	p<0.0001
		70	k: 0.1279	0.9805	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.0389	0.9984	p<0.0001
		60	k: 0.0670	0.9737	p<0.0001
		70	k: 0.2207	0.9981	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.0118	0.7388	p<0.0001
		60	k: 0.0152	0.9706	p<0.0001
		70	k: 0.0222	0.9724	p<0.0001
	Güneşte	33.58	k: 0.0164	0.9779	p<0.0001
Tam olgun	Etüv	50	k: 0.0296	0.9762	p<0.0001
		60	k: 0.0654	0.9875	p<0.0001
		70	k: 0.1251	0.9666	p<0.0001
	Vakumlu etüv	50	k: 0.0674	0.9988	p<0.0001
		60	k: 0.1029	0.9784	p<0.0001
		70	k: 0.1924	0.9657	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.0653	0.9671	p<0.0001
		60	k: 0.0752	0.9872	p<0.0001
		70	k: 0.2582	0.9989	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.0176	0.9664	p<0.0001
		60	k: 0.0176	0.9469	p<0.0001
		70	k: 0.0253	0.9771	p<0.0001
	Güneşte	33.71	k: 0.0202	0.9853	p<0.0001

Çizelge 4.5'e göre Lewis modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi hassas kurutucu ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9984 olarak bulunmuştur. Lewis modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.7388 olarak belirlenmiştir. Lewis modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi hassas kurutucu ile 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9989 olarak bulunmuştur. Lewis modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 60 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.9469 olarak belirlenmiştir. Elde edilen kuruma oranları Weibull matematiksel modelinde işlendiğinde elde edilen bulgular Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Wang-Sing modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R ²	p
Yarı olgun	Etiv	50	k: -0.0193 h: 0.0096	0.9981	p<0.0001
		60	k: -0.0459 h: 0.0006	0.9885	p<0.0001
		70	k: -0.0888 h: 0.0021	0.9970	p<0.0001
	Vakumlu etiv	50	k: -0.0250 h: 0.0002	0.9974	p<0.0001
		60	k: -0.0442 h: 0.0004	0.9966	p<0.0001
		70	k: -0.0923 h: 0.0022	0.9975	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: -0.0290 h: 0.0002	0.9867	p<0.0001
		60	k: -0.0506 h: 0.0007	0.9964	p<0.0001
		70	k: -0.1255 h: 0.0037	0.9417	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: -0.0095 h: 0.0024	0.7399	p<0.0001
		60	k: -0.0112 h: 0.0032	0.9904	p<0.0001
		70	k: -0.0169 h: 0.0076	0.9761	p<0.0001
	Güneşte	33.58	k: -0.0125 h: 0.0040	0.9891	p<0.0001
Tam olgun	Etiv	50	k: -0.0217 h: 0.0001	0.9982	p<0.0001
		60	k: -0.0481 h: 0.0006	0.9990	p<0.0001
		70	k: -0.0920 h: 0.0020	0.9982	p<0.0001
	Vakumlu etiv	50	k: -0.0488 h: 0.0006	0.9787	p<0.0001
		60	k: -0.0749 h: 0.0014	0.9967	p<0.0001
		70	k: -0.1322 h: 0.0043	0.9935	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: -0.0396 h: 0.0004	0.8611	p<0.0001
		60	k: -0.0582 h: 0.0009	0.9933	p<0.0001
		70	k: -0.1671 h: 0.0069	0.9572	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: -0.0129 h: 0.0038	0.9904	p<0.0001
		60	k: -0.0116 h: 0.0026	0.9852	p<0.0001
		70	k: -0.0201 h: 0.0001	0.9700	p<0.0001
	Güneşte	33.71	k: -0.0150 h: 0.0058	0.9796	p<0.0001

Çizelge 4.6'ya göre Wang-Sing modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi etüv ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R^2 değeri 0.9981 olarak bulunmuştur. Wang-Sing modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R^2 değeri ise 0.7399 olarak belirlenmiştir. Wang-Sing modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi vakumlu etüv ile 60 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R^2 değeri 0.9990 olarak bulunmuştur. Wang-Sing modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise hassas kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R^2 değeri ise 0.8611 olarak belirlenmiştir. Elde edilen kuruma oranları Jena-Das matematiksel modelinde işlendiğinde elde edilen bulgular Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Jena-Das modeline ait bulgular

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Katsayılar	R^2	p
Yarı olgun	Etüv	50	k: 1.0145 h: 0.4172 j: 0.7812 m: 0.0093	0.9868	p<0.0001
		60	k: 0.9954 h: 0.4346 j: 0.7463 m: -0.0084	0.9964	p<0.0001
		70	k: 1.0127 h: 0.4637 j: 0.6880 m: 0.0081	0.9913	p<0.0001
	Vakumlu etüv	50	k: 1.0135 h: 0.4214 j: 0.7728 m: 0.0084	0.9819	p<0.0001
		60	k: 1.0379 h: 0.4379 j: 0.7397 m: 0.0331	0.9657	p<0.0001
		70	k: 1.0344 h: 0.4714 j: 0.6726 m: 0.0311	0.9862	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.9963 h: 0.4231 j: 0.7694 m: -0.0080	0.9986	p<0.0001
		60	k: 1.0463	0.9833	p<0.0001

			h: 0.4404 j: 0.7347 m: 0.0442		
		70	k: 1.0002 h: 0.5152 j: 0.5851 m: 0.0082	0.9982	p<0.0001
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 0.9993 h: 0.4097 j: 0.7960 m: -0.0062	0.7389	p<0.0001
		60	k: 1.0133 h: 0.4116 j: 0.7922 m: 0.0084	0.9715	p<0.0001
		70	k: 0.9965 h: 0.4148 j: 0.7858 m: -0.0090	0.9727	p<0.0001
	Güneşte	33.58	k: 1.0063 h: 0.4121 j: 0.7912 m: -0.0012	0.9780	p<0.0001
Tam olgun	Etüv	50	k: 1.0171 h: 0.4192 j: 0.7772 m: 0.0119	0.9777	p<0.0001
		60	k: 1.0181 h: 0.4377 j: 0.7400 m: 0.0137	0.9890	p<0.0001
		70	k: 1.0341 h: 0.4714 j: 0.6727 m: 0.0293	0.9745	p<0.0001
	Vakumlu etüv	50	k: 0.9929 h: 0.4369 j: 0.7418 m: -0.0101	0.9993	p<0.0001
		60	k: 1.0285 h: 0.4580 j: 0.6995 m: 0.0241	0.9823	p<0.0001
		70	k: 1.0414 h: 0.5063 j: 0.6029 m: 0.0366	0.9740	p<0.0001
	Hassas kurutucu	50	k: 0.9466 h: 0.4320 j: 0.7516 m: -0.0518	0.9830	p<0.0001
		60	k: 1.0286 h: 0.4436 j: 0.7282 m: 0.0269	0.9914	p<0.0001
		70	k: 0.9922 h: 0.5310	0.9992	p<0.0001

			j: 0.5536 m: -0.0060		
	Güneş enerjili kurutucu	50	k: 1.0110 h: 0.4129 j: 0.7898 m: 0.0059	0.9671	p<0.0001
		60	k: 1.0084 h: 0.4127 j: 0.7900 m: -0.0035	0.9469	p<0.0001
		70	k: 0.9859 h: 0.4160 j: 0.7835 m: -0.0196	0.9793	p<0.0001
	Güneşte	33.71	k: 0.9870 h: 0.4137 j: 0.7882 m: -0.0186	0.9870	p<0.0001

Çizelge 4.7'ye göre Jena-Das modeli, yarı olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi hassas kurutucu ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9986 olarak bulunmuştur. Jena-Das modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.7389 olarak belirlenmiştir. Jena-Das modeli, tam olgun karadut meyvesi için elde edilen kuruma oranlarını en iyi vakumlu etüv ile 50 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde tahmin etmiştir. En iyi tahmin edilen modelin R² değeri 0.9993 olarak bulunmuştur. Jena-Das modelinin, en zayıf tahmin ettiği kurutma işlemi ise güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda 60 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde tahmin etmiştir. Bu modelin R² değeri ise 0.9469 olarak belirlenmiştir.

4.4. Efektif difüzyon değerleri

Yarı ve tam olgun karadut meyvelerin efektif difüzyon değerlerinin hesaplanmasında kullanılan süreye bağlı lnMR eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan eğriler Ek 1-18'de verilmiştir. Eğrilere ait efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerleri ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.

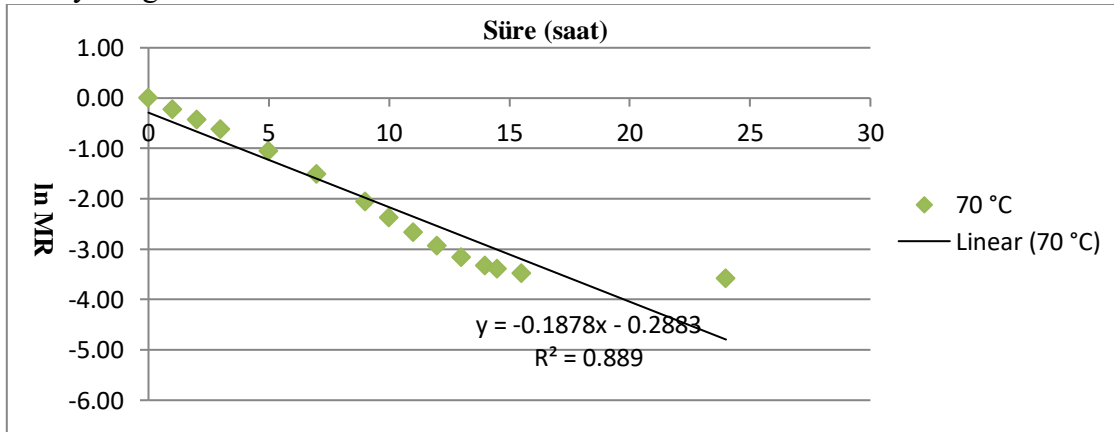
Çizelge 4.8. Efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerleri

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Efektif difüzyon (m ² /s)	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
Yarı olgun	Etüv	50	9.140x10 ⁻⁷	65.87
		60	1.685x10 ⁻⁶	

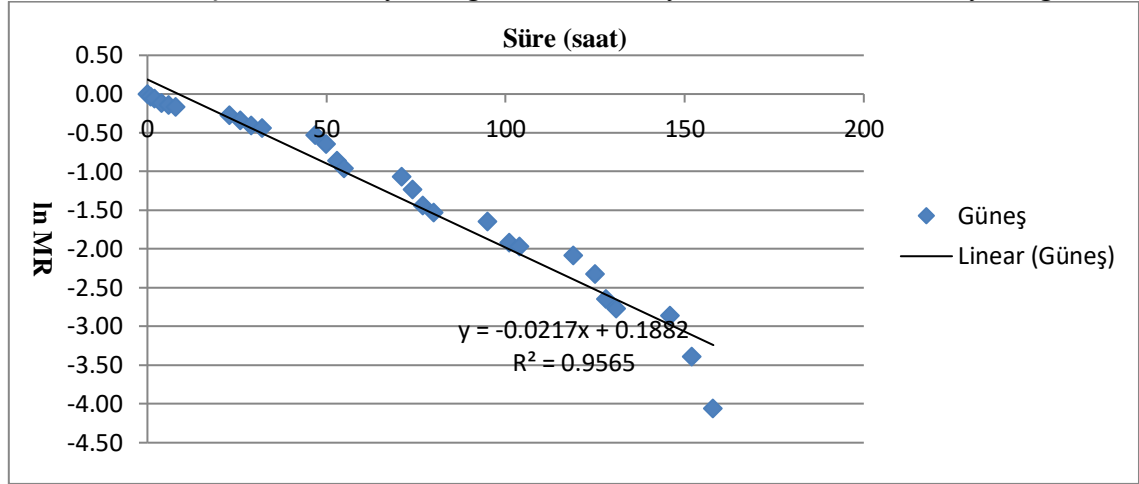
	Vakumlu etiv	70	3.830×10^{-6}	45.05
		50	1.275×10^{-6}	
		60	2.339×10^{-6}	
		70	3.383×10^{-6}	
	Hassas kurutucu	50	1.059×10^{-6}	36.53
		60	2.563×10^{-6}	
		70	4.876×10^{-6}	
	Güneş enerjili kurutucu	50	5.479×10^{-7}	15.09
		60	5.634×10^{-7}	
		70	7.634×10^{-7}	
Güneşte	33.58	5.297×10^{-7}	-	
Tam olgun	Etiv	50	1.449×10^{-6}	70.94
		60	2.954×10^{-6}	
		70	6.773×10^{-6}	
	Vakumlu etiv	50	2.297×10^{-6}	31.46
		60	4.666×10^{-6}	
		70	8.560×10^{-6}	
	Hassas kurutucu	50	1.456×10^{-6}	40.16
		60	3.119×10^{-6}	
		70	7.831×10^{-6}	
	Güneş enerjili kurutucu	50	8.281×10^{-7}	6.73
		60	8.445×10^{-7}	
		70	9.596×10^{-7}	
	Güneşte	33.71	5.816×10^{-7}	-

Çizelge 4.8'e göre, kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon değerleri $5.297 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $4.876 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişirken, aktivasyon enerji değerlerinin ise 15.09-65.87 kJ/mol arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek efektif difüzyon değeri hassas kurutucuda belirlenirken, en küçük aktivasyon enerji değeri ise güneş enerjili kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde belirlenmiştir. Kurutulan yarı olgun karadut meyvelerin en yüksek ve en düşük efektif difüzyon değerlerine ait eğrileri sırasıyla, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.

Şekil 4.6. Hassas kurutucuda kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi

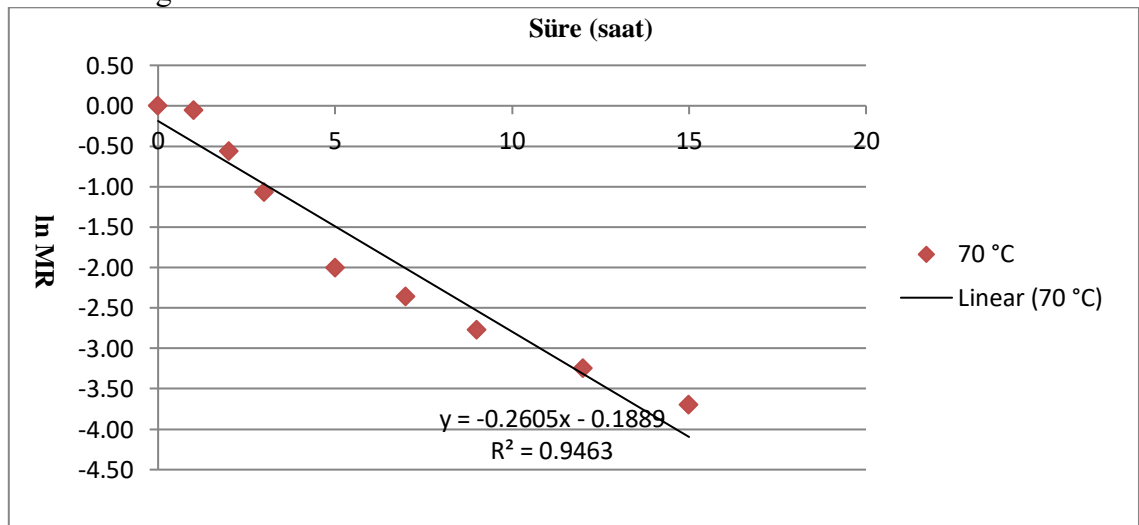


Şekil 4.7. Güneşte kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi

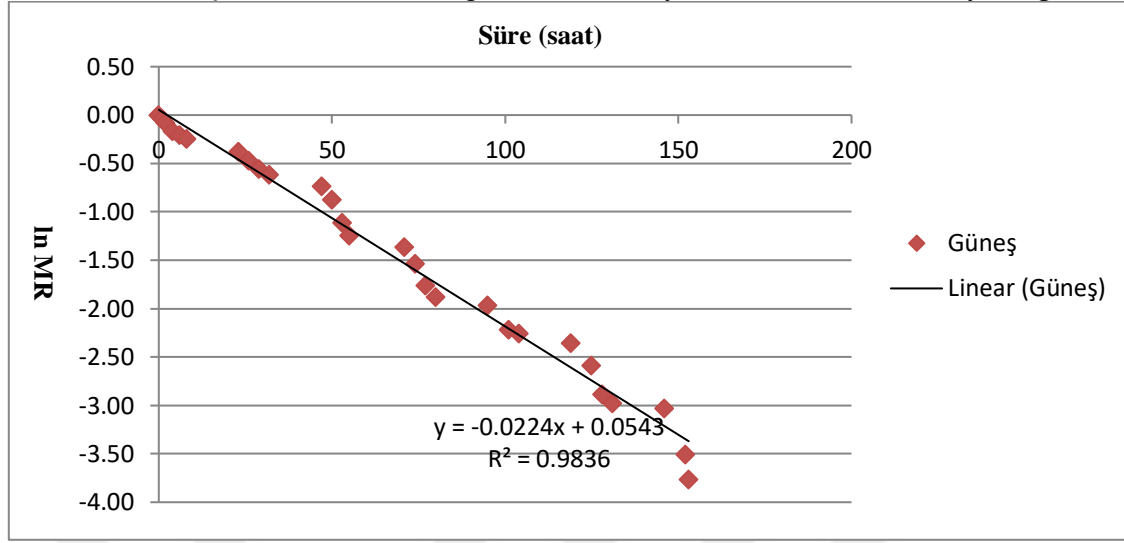


Kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon değerleri $5.816 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $8.560 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında ve aktivasyon enerji değerleri ise 6.73-70.94 kJ/mol arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek efektif difüzyon değeri vakumlu etüv kurutucuda bulunurken, en küçük aktivasyon enerji değeri ise güneş enerjili kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde bulunmuştur. Kurutulan tam olgun karadut meyvelerin en yüksek ve en düşük efektif difüzyon değerlerine ait eğrileri ise sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

Şekil 4.8. Vakumlu etüvde kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



Şekil 4.9. Güneşte kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



Literatürde, mikrodalga fırında kurutulan beyaz dut meyvesinin efektif difüzyon değerlerine gücün etkisini araştırmışlar. Mikrodalga güç değerinin artmasıyla efektif difüzyon değerlerinin arttığı ve $1.06 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $3.45 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Aktivasyon enerji değerini ise 14.19 W/g olarak bulmuşlardır (Darvishi ve ark. 2014). Infrared kurutucuda 50, 62, 74, 88 ve 104 W güç değerlerinde karadut meyvesini kurutmuşlardır. Çalışmada, güç değerlerinin artmasıyla efektif difüzyon değerlerinin arttığı ve 1.14×10^{-9} ile $3.08 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Aktivasyon enerji değerini ise 2.015 kW/kg olarak tespit etmişlerdir. (Doymaz ve Kıpçak, 2019). Mikrodalga fırında 90, 180 ve 360 W güç değerlerinde karadut meyvesini kurutarak efektif difüzyon değerlerini 4.79×10^{-8} ile $2.60 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Aktivasyon enerji değerini ise 13.15 kW/kg olarak bulmuşlar (Kıpçak ve Doymaz, 2020). Dut ve benzeri üzüksü meyvelerinin efektif difüzyon değerlerine kurutma şartlarının etkisinin benzer olduğu; Sablani ve ark. (2011), Tao ve ark. (2016), Rad ve ark. (2018), Suna ve Özkan-Karabacak (2018) çalışmaları bulunmaktadır.

4.5. Özgül enerji tüketim değerleri

Yarı ve tam olgun karadut meyvelerinin özgül enerji tüketim değerlerine kurutma yöntemi ve sıcaklık değerlerinin etkileri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Özgül enerji tüketim değerleri

Materyal	Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Özgül enerji tüketimi (kWh/kg nem)
Yarı olgun	Etiv	50	106.14
		60	141.45
		70	95.31
	Vakumlu etiv	50	96.03
		60	71.21
		70	62.08
	Hassas kurutucu	50	3878.59
		60	2618.86
		70	1977.77
	Güneş enerjili kurutucu	50	26.43
		60	22.73
		70	22.56
Tam olgun	Etiv	50	126.15
		60	177.27
		70	95.93
	Vakumlu etiv	50	58.91
		60	45.51
		70	40.49
	Hassas kurutucu	50	3948.77
		60	2305.73
		70	1347.85
	Güneş enerjili kurutucu	50	27.35
		60	21.66
		70	19.80

Çizelge 4.9' a göre, kurutulan yarı olgun karadut meyveleri için en yüksek ve en düşük özgül enerji tüketim değerleri sırasıyla, 3878.59 kWh/kg nem ve 22.56 kWh/kg nem olarak belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla, hassas kurutucuda 50 °C sıcaklıkta ve güneş enerjili kurutucuda 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinde tespit edilmiştir. Kurutulan tam olgun karadut meyveleri için en yüksek ve en düşük özgül enerji tüketim değerleri ise 3948.77 kWh/kg nem ve 19.80 kWh/kg nem olarak belirlenmiştir. Bu değerler yine hassas kurutucuda 50 °C sıcaklıkta ve güneş enerjili kurutucuda 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinde tespit edilmiştir. Bulgulara göre, en düşük özgül enerji tüketim değeri açısından karadut meyvesinin güneş enerjili kurutucuda kurutulmasının daha uygun olduğu bulunmuştur. Literatürde; beyaz dut meyvesini 40, 55 ve 70 °C sıcaklık değerleri ile 500, 1000 ve 1500 W infrared güç değerleri kombinasyonlarında ve 0.4, 1 ve 1.6 m/s hava hızlarında kurutma çalışması yapılmıştır. Çalışmada, yapay sinir ağlarıyla optimizasyonu gerçekleştirmişler. En uygun yöntem olarak 70 °C sıcaklıkta 1464.57 W infrared güç değerinde ve 0.4 m/s hava hızında yapılan kurutma yöntemini tespit etmişlerdir. Özgül enerji tüketim değerini 166.55 MJ/kg (46.27 kWh/kg) olarak belirlemişlerdir (Golpour ve ark., 2020). Sıcak hava ve

infrared kurutma koşulları altında kurutulan beyaz dut meyvelerinin özgül enerji tüketim değerlerini tespit etmişlerdir. En büyük özgül enerji tüketim değeri, sıcak havalı kurutucuda 916.89 kWh/kg olarak belirlenirken, en düşük ise infrared kurutucuda 113.92 kWh/kg olarak belirlemişlerdir (Rad ve ark., 2018). Böğürtlen meyvesini sıcak havalı infrared hibrit kurutucuda kurularak özgül enerji tüketim değerlerini araştırmışlardır. Yapılan kurutma şartlarında en büyük ve en düşük özgül enerji tüketim değerlerini sırasıyla, 239.91 kWh/kg ve 70.57 kWh/kg olarak bulmuşlardır (Taghinezhad ve ark., 2020). Vakum destekli liyofilizatörde yapılan kurutma işleminde çilek meyvesini kurularak özgül enerji tüketim değerlerini incelemişlerdir. Belirlenen özgül enerji tüketim değerlerinin 83.97-117.33 kWh/kg arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Zhang ve ark., 2020). Güneş enerjili kurutucuda yapılan şili biberi ve zencefil kurutma işlemlerinde tespit edilen özgül enerji tüketim değerlerini sırasıyla, 18.72 kWh/kg ve 8.82 kWh/kg olarak bulmuşlardır (Rabha ve ark., 2017). Kakao tanelerini güneşte, absorbentli ve adsorbentli güneş enerjili kurutucularda belirli bir nem seviyesine kadar kurutmuşlardır. Kakao tanelerinin özgül enerji tüketim değerlerini sırasıyla, 60.40 MJ/kg (16.78 kWh/kg), 18.94 MJ/kg (5.26 kWh/kg) ve 13.29 MJ/kg (3.69 kWh/kg) olarak tespit etmişlerdir (Dina ve ark., 2015).

4.6. Renk ve kimyasal analiz bulguları

Yarı ve tam olgun karadut meyvelerin ölçülen ve hesaplanan renk değerlerine ait bulgular Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen renk değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	L	a	b	C	Hue°	ΔE
Taze	-	35.41 ^{abc}	25.73 ^a	14.90 ^a	29.94 ^a	30.17 ^a	-
Etüv	50	36.97 ^{ab}	12.39 ^{fg}	4.29 ^{bcd}	13.28 ^{ef}	17.02 ^{bcd}	27.11 ^{bc}
	60	38.64 ^a	13.88 ^{efg}	4.97 ^{bcd}	14.79 ^{de}	19.67 ^{bc}	27.94 ^b
	70	37.58 ^{ab}	14.55 ^{def}	5.80 ^{bc}	15.72 ^{de}	21.95 ^b	26.88 ^{bc}
Vakumlu etüv	50	37.33 ^{ab}	18.14 ^{bcd}	5.06 ^{bcd}	18.60 ^{bc}	15.66 ^{bcde}	26.40 ^{bcd}
	60	35.81 ^{abc}	19.06 ^{bc}	4.31 ^{bcd}	19.58 ^{bc}	12.73 ^{cdef}	25.54 ^{cde}
	70	33.86 ^{abc}	18.66 ^{bc}	1.89 ^{def}	18.82 ^{bc}	5.03 ^{fg}	24.36 ^{de}
Hassas kurutucu	50	33.60 ^{bc}	11.58 ^{fg}	0.71 ^{ef}	11.67 ^f	2.60 ^g	24.97 ^{cde}
	60	35.11 ^{abc}	11.12 ^{fgh}	1.64 ^{def}	11.28 ^f	8.35 ^{efg}	26.30 ^{bcd}
	70	33.07 ^{bc}	7.68 ^h	-0.69 ^f	7.75 ^g	-5.64 ^h	26.54 ^{bc}
Güneş enerjili kurutucu	50	37.94 ^{ab}	12.84 ^{efg}	3.56 ^{cde}	13.72 ^{ef}	14.50 ^{bcde}	27.76 ^b
	60	31.12 ^c	20.59 ^b	3.87 ^{cde}	21.11 ^b	9.81 ^{defg}	23.63 ^e
	70	35.68 ^{abc}	16.56 ^{cde}	3.61 ^{cde}	17.06 ^{cd}	11.29 ^{def}	25.25 ^{cde}
Güneşte	33.58	38.63 ^a	10.80 ^{gh}	7.28 ^b	13.46 ^{ef}	34.40 ^a	28.25 ^{ab}

Çizelge 4.10'a göre, yarı olgun taze karadut meyvesinin L, a ve b renk değerleri sırasıyla 35.41, 25.73 ve 14.90 olarak tespit edilmiştir. Taze yarı olgun karadut meyvesinin parlaklığına en yakın değerler etüvde 50 ve 70 °C, vakum kurutucuda 50, 60 ve 70 °C, hassas kurutucuda 60 °C ve güneş enerjili kurutucuda ise 50 ve 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde tespit edilmiştir. Kırmızılık değeri açısından tazeyle istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmuştur. Taze yarı olgun karadut meyvesinin mavilik özelliğiyle istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmuştur. Kroma özelliği açısından tazeyle istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmuştur. Hue ve toplam renk değerleri açısından ise en uygun kurutma yöntemleri sırasıyla, güneşte ve güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklık olarak bulunmuştur. Hesaplanarak belirlenen renk özellikleri (kroma, hue, renk değişimi) birarada değerlendirildiğinde yarı olgun karadut meyveleri güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kurutulmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olduğu düşünülmektedir. Tam olgun karadut meyvesine ait bulgular Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen renk değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	L	a	b	C	Hue°	ΔE
Taze	-	16.44 ^f	11.43 ^a	-0.80 ^a	11.49 ^a	-4.73 ^a	-
Etüv	50	31.41 ^b	8.18 ^{cd}	-0.50 ^a	8.23 ^{cd}	-4.24 ^a	24.70 ^{bc}
	60	25.64 ^e	5.83 ^{ef}	-1.76 ^b	6.13 ^{ef}	-17.13 ^b	20.60 ^f
	70	30.65 ^b	5.63 ^{ef}	-1.97 ^b	5.99 ^{ef}	-19.34 ^{bc}	25.45 ^b
Vakumlu etüv	50	36.00 ^a	8.18 ^{cd}	-0.50 ^a	8.23 ^{cd}	-4.24 ^a	29.07 ^a
	60	30.03 ^{bc}	9.85 ^b	-0.30 ^a	9.87 ^b	-2.39 ^a	22.59 ^{de}
	70	28.26 ^{cd}	7.12 ^{de}	-2.45 ^{bc}	7.54 ^{de}	-19.21 ^{bc}	22.1 ^{5ef}
Hassas kurutucu	50	30.44 ^b	4.80 ^f	-2.71 ^c	5.57 ^f	-29.66 ^d	25.56 ^b
	60	30.70 ^b	7.20 ^{de}	-2.05 ^{bc}	7.55 ^{de}	-16.42 ^b	24.42 ^{bcd}
	70	31.28 ^b	5.13 ^f	-2.31 ^{bc}	5.64 ^f	-24.43 ^{cd}	26.31 ^b
Güneş enerjili kurutucu	50	31.58 ^b	9.55 ^{bc}	-0.83 ^a	9.68 ^{bc}	-16.90 ^b	24.29 ^{bcd}
	60	27.56 ^{de}	6.14 ^{ef}	-1.76 ^b	6.48 ^{ef}	-7.43 ^a	22.15 ^{ef}
	70	31.96 ^b	9.48 ^{bc}	-0.36 ^a	9.52 ^{bc}	-2.91 ^a	24.49 ^{bcd}
Güneşte	33.58	28.31 ^{cd}	6.41 ^{ef}	-1.90 ^b	6.78 ^{def}	-17.88 ^b	22.68 ^{ode}

Çizelge 4.11'e göre, yarı olgun taze karadut meyvesinin L, a ve b renk değerleri sırasıyla 16.44, 11.43 ve -0.80 olarak tespit edilmiştir. Taze tam olgun karadut meyvesinin parlaklığıyla istatistiksel açıdan önemli bir fark bulunmuştur. Kırmızılık değeri açısından tazeyle istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir. Tazenin mavilik değerlerine en yakın olarak belirlenen kuru örnekler sırasıyla, etüvde 50 °C, vakumlu etüvde 50, 60 °C ve güneş enerjili kurutucuda 50 ve 70 °C sıcaklıklarda

yapılan işlemlerde elde edilmiştir. Kroma değeri açısından tazeyle istatistiksel açıdan önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir. Hue değeri açısından tazeye en yakın değerler sırasıyla, etüvde 50 °C, vakumlu etüvde 50, 60 °C ve güneş enerjili kurutucuda 60 ve 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde tespit edilmiştir. Toplam renk değişim değeri açısından ise etüvde 60 °C sıcaklıkta yapılan kurutma yönteminin daha uygun olduğu görülmüştür. Tüketici istekleri üzerinde doğrudan etkili olan ve hesaplanarak belirlenen renk özellikleri (kroma, hue, renk değişimi) beraber değerlendirildiğinde tam olgun karadut meyvelerinin etüv ve vakumlu etüvde 60 °C sıcaklıkta kurutulmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olduğu düşünülmektedir. Çizelge 12 ve Çizelge 13 birlikte değerlendirildiğinde kurutma yöntemleri, sıcaklık değerleri ve olgun seviyeleri, karadut meyvelerinin nihai renk değerlerine etkisinin önemli düzeyde ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir. Literatürde benzer ürünlerle yapılan çalışmalar incelendiğinde; Özkan ve Karabacak (2019), sıcak havalı kurutma fırınında 50 ve 60 °C sıcaklık değerlerinde kuruttukları dut pestilinin son L, a, b, C ve hue değerlerinin istatistiksel açıdan ($p<0.05$) farklı olduğunu ve renk özelliklerini koruyamadığını belirtmişlerdir. Boz ve ark. (2016), çalışmalarında dut meyvesinin L parlaklık değeri ortalama 31.64-35.86 arasında değiştiğini ve yapılan bu çalışmada ise parlaklık değerinin 27.78-30.36 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Literatürde; Chen ve ark. (2017) ile Şengül ve ark. (2010)' nın yaptığı çalışmalarda elde edilen bulgularla uyumlu olduğu görülmektedir. Yarı olgun karadut meyvesine ait pH, TA ve SÇKM analizlerine ait bulgular Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	pH	TA (%)	SÇKM (%)
Taze	-	3.16 ^{ab}	5.03 ^h	8.67 ^g
Etüv	50	2.99 ^{cde}	20.73 ^{bc}	41.00 ^{cd}
	60	2.83 ^f	19.3 ^{6cde}	36.67 ^e
	70	2.87 ^{ef}	19.68 ^{bcd}	33.00 ^f
Vakumlu etüv	50	2.91 ^{ef}	21.36 ^{ab}	39.33 ^{de}
	60	2.90 ^{ef}	20.29 ^{bcd}	39.33 ^{de}
	70	2.99 ^{cde}	16.87 ^{cde}	44.00 ^{bc}
Hassas kurutucu	50	3.18 ^{ab}	12.59 ^{fg}	40.67 ^{cd}
	60	3.08 ^{bcd}	15.03 ^{ef}	47.33 ^{ab}
	70	3.28 ^a	10.66 ^g	50.33 ^a
Güneş enerjili kurutucu	50	3.27 ^a	20.03 ^{bcd}	41.33 ^{cd}
	60	3.12 ^{bc}	13.47 ^{efg}	39.33 ^{de}
	70	2.97 ^{de}	24.70 ^a	43.67 ^{bc}
Güneşte	33.58	3.12 ^b	16.41 ^{def}	47.00 ^{ab}

Çizelge 4.12'ye göre, yarı olgun taze karadut meyvesinin pH, TA ve SÇKM kimyasal analiz değerleri sırasıyla 3.16, % 5.03 ve % 8.67 olarak tespit edilmiştir. Kurutulan yarı olgun karadut meyvelerinin pH, TA ve SÇKM değerleri ise Çizelge 4.12' de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	pH	TA (%)	SÇKM (%)
Taze	-	3.45 ^{de}	2.26 ^f	15.50 ^f
Etüv	50	3.39 ^e	9.36 ^b	52.33 ^{abc}
	60	3.45 ^{de}	8.18 ^{bcd}	58.67 ^a
	70	3.50 ^{cd}	7.27 ^{de}	56.00 ^{abc}
Vakumlu etüv	50	3.45 ^{de}	8.24 ^{bcd}	56.33 ^{ab}
	60	3.49 ^{cde}	8.00 ^{bcd}	51.33 ^{bc}
	70	3.52 ^{cd}	6.76 ^{de}	52.33 ^{abc}
Hassas kurutucu	50	3.63 ^b	6.14 ^e	53.67 ^{abc}
	60	3.53 ^{cd}	6.98 ^{de}	54.67 ^{abc}
	70	3.53 ^{cd}	7.34 ^{cde}	55.33 ^{abc}
Güneş enerjili kurutucu	50	3.75 ^a	7.36 ^{cde}	31.00 ^e
	60	3.53 ^{cd}	7.67 ^{cd}	49.67 ^c
	70	3.18 ^f	17.89 ^a	38.67 ^d
Güneşte	33.58	3.53 ^{bc}	8.82 ^{bc}	56.67 ^{ab}

Çizelge 4.13' e göre, tam olgun taze karadut meyvesinin pH, TA ve SÇKM kimyasal analiz değerleri sırasıyla 3.45, % 2.26 ve % 15.50 olarak tespit edilmiştir. Kurutulan tam olgun karadut meyvelerinin pH, TA ve SÇKM değerleri ise Çizelge 4.13' de verilmiştir. Dut meyvelerine kurutma yöntemlerinin etkisinin araştırıldığı bazı literatür çalışmaları vardır. Bunlardan; Ojha ve ark. (2017), dut meyvesini ozmo-hava yöntemi kurularak örneklerin pH değerinin tazelerine göre arttığını belirtmişlerdir. Ercişli ve Orhan (2007), yaptığı dut kurutma çalışmasında ürünün pH değerinin 3.52-5.60 arasında değiştiğini ve bu çalışmada belirlenen bulgularla benzer olduğu tespit edilmiştir. Yarı olgun karadut meyvesine ait toplam fenol, toplam antioksidan ve toplam antosiyanin değerleri Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Yarı olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Toplam fenol (µg GAE/g fw)	Toplam antioksidan (µmol TE/g fw)	Toplam antosiyanin (µg cy-3-glu/g fw)
Taze	-	745.75 ^f	1.94 ^j	35.16 ^{def}
Etüv	50	3242.38 ^{cd}	9.24 ^{ef}	22.76 ^{fg}
	60	2808.83 ^{de}	7.74 ^{gh}	6.32 ^g
	70	2469.77 ^e	7.40 ^h	172.75 ^a
Vakumlu etüv	50	2808.83 ^{de}	8.18 ^{gh}	28.33 ^{efg}
	60	3225.70 ^{cd}	8.88 ^{fg}	52.10 ^{cde}
	70	4192.85 ^b	13.47 ^b	77.65 ^{bc}

Hassas kurutucu	50	2925.55 ^{de}	10.35 ^{de}	28.08 ^{efg}
	60	3992.75 ^b	12.31 ^{bc}	14.16 ^{fg}
	70	7305.52 ^a	20.10 ^a	25.29 ^{efg}
Güneş enerjili kurutucu	50	3659.25 ^{bc}	12.43 ^{bc}	56.91 ^{cd}
	60	2786.59 ^{de}	11.90 ^c	95.10 ^b
	70	3281.28 ^{cd}	12.16 ^{bc}	64.50 ^c
Güneşte	33.58	4048.33 ^b	11.42 ^{cd}	3.54 ^g

Çizelge 4.14' e göre, yarı olgun taze karadut meyvesinin toplam fenol, toplam antioksidan ve toplam antosiyanin kimyasal analiz değerleri sırasıyla 745.75 µg GAE/g fw, 1.94 µmol TE/g fw ve 35.16 µg cy-3-glu/g fw olarak tespit edilmiştir. Kurutulan yarı olgun karadut meyvelerinin toplam fenol, toplam antioksidan ve toplam antosiyanin kimyasal analiz değerleri ise Çizelge 4.14' te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Tam olgun karadut meyvesine ait belirlenen kimyasal analiz değerleri

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Toplam fenol (µg GAE/g fw)	Toplam antioksidan (µmol TE/g fw)	Toplam antosiyanin (µg cy-3-glu/g fw)
Taze	-	1832.40 ^f	15.50 ^c	433.77 ^a
Etüv	50	6371.72 ^{de}	12.29 ^c	80.18 ^j
	60	8578.37 ^{abc}	16.29 ^c	97.12 ^{hj}
	70	9334.31 ^{ab}	17.23 ^{bc}	46.79 ^j
Vakumlu etüv	50	7600.11 ^{bcd}	86.42 ^a	328.81 ^{bc}
	60	7316.63 ^{cd}	80.20 ^a	267.09 ^{bcd}
	70	7666.81 ^{bcd}	85.63 ^a	295.67 ^{bcd}
Hassas kurutucu	50	8772.92 ^{abc}	27.70 ^b	256.47 ^{cdef}
	60	8306.02 ^{abc}	17.26 ^{bc}	160.86 ^{gh}
	70	10234.76 ^a	21.44 ^{bc}	186.15 ^{fg}
Güneş enerjili kurutucu	50	5927.05 ^{de}	19.25 ^{bc}	339.68 ^b
	60	5137.77 ^e	19.31 ^{bc}	207.65 ^{efg}
	70	3209.02 ^f	12.29 ^c	174.52 ^g
Güneşte	33.58	8372.72 ^{abc}	20.47 ^{bc}	234.21 ^{defg}

Çizelge 4.15' e göre, tam olgun taze karadut meyvesinin toplam fenol, toplam antioksidan ve toplam antosiyanin kimyasal analiz değerleri sırasıyla 1832.40 µg GAE/g fw, 15.50 µmol TE/g fw ve 433.77 µg cy-3-glu/g fw olarak tespit edilmiştir. Kurutulan tam olgun karadut meyvelerinin toplam fenol, toplam antioksidan ve toplam antosiyanin kimyasal analiz değerleri ise Çizelge 4.15' te verilmiştir. Belirtilen analizler ve dut meyvesiyle ilgili literatürde; Özkan-Karabacak (2019), çalışmalarında kurutma yöntemlerinin dut pestilinin antioksidan özelliklerine etkisini incelemiştir. Kurutma koşullarının ürünün antioksidan madde özelliklerine etkisinin önemli ($p < 0.05$) olduğunu 105.35-181.37 (µmol TE/100 g kuru madde) arasında değerler aldığını tespit etmişlerdir. Chen ve ark. (2017), kuruttukları kara dut meyvesinin antioksidan değerleri

üzerine kurutma yöntemlerinin etkilerinin ($p<0.05$) önemli olduğunu ve yöntemlere göre, 65.91 ile 101.57 (mg TE/g kuru madde) arasında değerler olduğunu tespit etmişlerdir. Ojha ve ark. (2017), osmoz ve sıcak yöntemlerini birlikte kullanarak yaptıkları dut meyvesi kurutma çalışmalarında taze örneklerle ait toplan antosiyanin ve antioksidan miktarlarının sırasıyla, 1293 (mg/100 g kuru madde) ve 81.90 (% son aktivite) şeklinde belirlemişlerdir. Kuruttuktan sonra bu değerlerin sırasıyla, 154.86 (mg/100 g kuru madde) ve 74.33 (% son aktivite) olarak belirlemişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş enerji deposunda ısı depolama materyali (IDM) olarak kullanılan mono etilen glikolinin sistemin termal verimlilik değerlerini artırıcı bir etki ettiği tespit edilmiştir. Bununla beraber suya katılan karışım yüzdesinin artmasıyla termal verimlilik değerlerinde sürekli arttığı belirlenmiştir. Çalışılan % karışım oranları arasında en yüksek ve en düşük termal verimlilik değerleri sırasıyla, % 30.46 ve % 12.26 olarak bulunmuştur. Ortam sıcaklık değerlerine göre, kabin içerisinde oluşan en yüksek sıcaklık, güneş enerji deposunun tamamen IDM ile doldurulduğu (% 100) durumda belirlenmiştir. Yarı ve tam olgun olarak iki farklı olgunluk aşamasında kurutulan karadut meyvelerinin, kuruma kinetiği ve kalite değerleri açısından birbirlerinden farklı ($p<0.05$) olduğu bulunmuştur. Çalışma kapsamında, yarı olgun meyveler tam olgunlara göre daha uzun sürede kuruduğu tespit edilmiştir. Her iki olgunluk seviyesi için son nem aralığına vakumlu etüvde en kısa süre içerisinde ulaşılmıştır. Elde edilen tüm ince tabaka kuruma modellerinin kullanılabilirliğinin güvenilir ($p<0.05$) olduğu görülmüştür. Çalışmada, imal edilen vakum tüplü güneş enerjili kurucuda belirlenen kuruma süreleri, güneşte yapılan kurutma işlemine göre önemli oranda azaltmıştır. Yarı olgun karadut meyvesi için en büyük efektif difüzyon değeri hassas kurutucuda belirlenirken, tam olgun karadut meyveleri için ise vakumlu etüv kurutucuda belirlenmiştir. Yarı ve tam olgun karadut meyveleri için en düşük aktivasyon enerjisi ve özgül enerji tüketimi güneş enerjili vakum tüplü kurutucuda tespit edilmiştir. Kurutulan meyvelerin son renk değerleri incelendiğinde yarı olgun meyveler için vakum tüplü güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklığın daha uygun olduğu görülürken, tam olgun meyveler için ise vakumlu etüv ve güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklığın daha iyi olduğu görülmüştür. Fitokimyasal özellikleri açısından yarı olgun karadut meyveleri için en

uygun kurutma yöntemlerinin hassas ve etüv kurutucuda 70 °C sıcaklığın daha uygun olduğu bulunmuştur. Tam olgun karadut meyveler için ise hassas 70 °C, vakumlu etüvün tüm sıcaklıkları ve güneş enerjili kurutucunun 50 °C sıcaklığı daha uygun olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abokersh, M.H., Morsi, M.E., Sharaf, O., Abdelrahman, W., 2017. An experimental evaluation of direct flow evacuated tube solar collector integrated with phase change material. *Energy*, 139(1): 1111-1125.
- Abuşka, M., Şevik, S., Kayapınar, A., 2019. A comparative investigation of the effect of honeycomb core on the latent heat storage with PCM in solar air heater. *Applied Thermal Engineering*, 148(1): 684-693.
- Abuşka, M., Şevik, S., Kayapınar, A., 2020. Experimental performance analysis of sensible heat storage in solar air collector with cherry pits/powder under the natural convection. *Solar Energy*, 200(özel sayı): 2-9.
- Adabi, E.M., Motevali, A., Nikbakht, A.M., Khoshtaghaza, H.M., 2013. Investigation of some pretreatments on energy and specific energy consumption drying of black mulberry. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 19(1): 89-105.
- Adetifa, B.O., Aremu, A.K., 2018. Computational and experimental study of solar thermal energy store for low temperature application. *Journal of Storage Mater*, 20: 427-38.
- Akbal, N., Vural, A., 2018. Kurutulmuş meyve örneklerinde mikrobiyolojik kalite özelliklerinin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Veterinerlik Fakülte Dergisi*, 11(2): 93-97.
- Akbulut, A., Durmuş, A., 2009. Thin layer solar drying and mathematical modeling of mulberry. *International Journal of Energy Research*, 33(7): 687-695.
- Alemrajabi, A.A., Rezaee, F., Mirhosseini, M. Eshaghbeygi, A., 2012. Comparative evaluation of the effects of electrohydrodynamic, oven, and ambient air on carrot cylindrical slices during drying proces. *Drying Technology*, 30(1): 88-96. Doi: 10.1080/07373937.2011.608913.
- Alimohammadi, Z., Akhijahani, H.S., Salami, P., 2020. Thermal analysis of a solar dryer equipped with PTSC and PCM using experimental and numerical methods. *Solar Energy*, 201: 157-177.
- Amer, B.M.A., Gottschalk, K., Hossain, M.A., 2018. Integrated hybrid solar drying system and its drying kinetics of chamomile. *Renewable Energy*, 121: 539-547.
- Amjad, W., Gilani, G.A., Munir, A., Asghar, F., Ali, A., Waseem, M., 2020. Energetic and exergetic thermal analysis of an inline-airflow solar hybrid dryer. *Applied Thermal Engineering*, 166(1): 1-12.
- Anonim, 2018. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim Tarihi: 30.08.2018).
- Argo, B.D., Ubaidillah, U., 2020. Thin-layer drying of cassava chips in multipurpose convective tray dryer: Energy and exergy analyses. *Journal of Mechanical Science and Technology* 34(1): 435-442.

- Arul, G.P., Shanmugam, S., Veerappan, A., Kumar, P., 2019. Performance analysis of double-pass oscillating bed solar dryer for drying of non-parboiled paddy grains. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(4): 418-426.
- Arun, K.R., Kunal, G., Srinivas, M., Kumar, C.S.S., Mohanraj, M., Jayaraj, S., 2020. Drying of untreated *Musa nendra* and *Momordica charantia* in a forced convection solar cabinet dryer with thermal storage. *Energy*, 192(1): 1-13.
- Asgharian, H., Baniasadi, E., 2019. A review on modeling and simulation of solar energy storage systems based on phase change materials. *Journal of Energy Storage*, 21(1): 186-201.
- Aymen, E.K., Hamdi, I., Kooli, S., Guizani, A., 2019. Drying of red pepper slices in a solar greenhouse dryer and under open sun: Experimental and mathematical investigations. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52(1): 262-270.
- Azaizia, Z., Kooli, S., Hamdi, I., Elkhal, W., Guizani, A.A., 2020. Experimental study of a new mixed mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper. *Renewable Energy*, 145(1): 1972-1984.
- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., Benhamou, A., 2019. Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*, 133(1): 144-155.
- Bahammou, Y., Tagnamas, Z., Lamharar, A., Idliman, A., 2019. Thin-layer solar drying characteristics of Moroccan horehound leaves (*Marrubium vulgare* L.) under natural and forced convection solar drying. *Solar Energy*, 188(1): 958-969.
- Bahammou, Y., Moussaoui, H., Lamsayeh, H., Tagnamas, Z., Kouhila, M., Quaabou, R., Lamharar, A., Idliman, A., 2020. Water sorption isotherms and drying characteristics of rupturewort (*Herniaria hirsuta*) during a convective solar drying for a better conservation. *Solar Energy*, 201(1): 916-926.
- Bai, Y., He, X., Liu, Y., Duan, J., Wang, Y., Han, X., 2018. Experimental investigation of a solar thermal storage heater assembled with finned heat pipe and collective vacuum tubes. *Energy Conversion and Management*, 166(1): 463-473.
- Balachandran, G.B., David, P.W., Rajendran, G., Ali, M.N.A., Radhakrishnan, V., Balamurugan, R., Athikesavan, M., Sathyamurthy, R., 2020. Investigation of performance enhancement of solar still incorporated with *Gallus gallus domesticus* cascara as sensible heat storage material. *Environmental Science and Pollution Research*, doi.org/10.1007/s11356-020-10470-3.
- Bataineh, K., Gharaibeh, A., 2018. Optimal design for sensible thermal energy storage tank using natural solid materials for a parabolic trough power plant. *Solar Energy*, 171(1): 519-525.
- Bhardwaj, A.K., Kumar, R., Chauhan, R., 2019. Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for drying medicinal plants in Western Himalayan region. *Solar Energy*, 177(1): 395-407.
- Bhardwaj, A.K., Kumar, R., Chauhan, R., Kumar, S., 2020. Experimental investigation and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with a combination of SHS and PCM for drying chilli in the Himalayan region. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20(1): 100713. Doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100713.
- Bilal, A., JAmil, B., Haque, N.U., Ansari, M.A., 2019. Investigating the effect of pumice stones sensible heat storage on the performance of a solar still. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(1): 1-13.

- Boz, H., Karaoğlu, M.M., Kaban, G., 2016. The effects of cooking time and sugar on total phenols, hydroxymethylfurfural and acrylamide content of mulberry leather (pestil). *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 8(4): 493-500.
- Braham, W., Khellaf, A., Mediani, A., El, M., Slimani, A., Loumani, A., Hamid, A., 2018. Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment. *Solar Energy*, 174: 328-341.
- Carmona, M., Palacio, M., 2019. Thermal modelling of a flat plate solar collector with latent heat storage validated with experimental data in outdoor conditions. *Solar Energy*, 177(1): 620-633.
- Cemeroğlu, B., 1992. Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metodları. Biltav Yayıncılık, syf: 381. Ankara.
- Chen, Q., Li, Z., Bi, J., Zhaou, L., Yi, J., Wu, X., 2017. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *Food Science and Technology*, 80(1): 178-184.
- Chen, M., He, Y., Ye, Q., Zhang, Z., Hu, Y., 2019. Solar thermal conversion and thermal energy storage of CuO/Paraffin phase change composites. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130(1): 1133-1140.
- Chopra, K., Pathak, A.K., Tyagi, V.V., Pandey, A.K., Anand, S., Sari, A., 2020. Thermal performance of phase change material integrated heat pipe evacuated tube solar collector system: An experimental assessment. *Energy Conversion and Management*, 203(1): 1-13.
- Chottamom, P., Kongmanee, R., Manklang, C., Soponronnarit, S., 2012. Effect of osmotic treatment on drying kinetics and antioxidant properties of dried mulberry. *Drying Technology*, 30(1): 80-87.
- Crank, J., 1979. *The mathematics of diffusion*. Oxford University press, London.
- Darvishi, H., Zarein, M., Minaei, S., Khafajeh, H., 2014. Exergy and energy analysis, drying kinetics and mathematical modeling of white mulberry drying process. *International Journal of Food Engineering*, 10(2): 269-280.
- Das, D., Bordolobi, U., Muigai, H.H., Kalita, P., 2020. A novel form stable PCM based bio composite material for solar thermal energy storage applications. *Journal of Energy Storage*, 30(1): 1-10.
- Dehghani-Ashkezari, E., Salimpour, M.R., 2018. Effect of groove geometry on pool boiling heat transfer of water-titanium oxide nanofluid. *Heat and Mass Transfer*, 54(1): 3473-3481.
- Dejchanchaiwong, R., Arkasuwan, A., Kumar, A., Tekasakul, P., 2016. Mathematical modeling and performance investigation of mixed-mode and indirect solar dryers for natural rubber sheet drying. *Energy for Sustainable Development*, 34(1): 44-53.
- Demirpolat, A.B., 2019. Investigation of mass transfer with different models in a solar energy food-drying system. *Energies*, 12(1): 1-14. doi:10.3390/en12183447.
- Deng, Z.L., Yang, X.H., Mujumdar, J.H., Wang, D., Zhang, Q., 2018. Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8): 893-907.
- Deshmukh, H.S., Thombre, S.B., 2017. Solar distillation with single basin solar still using sensible heat storage materials. *Desalination*, 410(1): 91-98.

- Dhandayuthabani, M., Jegadheeswaran, S., Viyajan, V., Antony, A.G., 2020. Investigation of latent heat storage system using graphite microparticle enhancement. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(1): 2181-2186.
- Dhanushkodi, S., Wilson, V.H., Sudhakar, K., 2017. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. *Resource-Efficient Technologies*, 3(1): 359-364.
- Dina, S.F., Ambarita, H., Napitupulu, F.H., Kawai, H., 2015. Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans. *Case Studies in Thermal Engineering*, 5(1): 32-40.
- Çınar, İ., 2012. Liyofilizasyonun karadut (*Morus nigra*) kurutmadaki potansiyelinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 10(2): 40-47.
- Doymaz, İ., 2004a. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.). *Journal of Food Engineering*, 65(1): 205–209.
- Doymaz, İ., 2004b. Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 341–346.
- Doymaz, I., Kipcak, A.S., 2019. Drying characteristics investigation of black mulberry dried via infrared method. *Journal of Thermal Engineering*, 5(2): 13-21.
- Dutta, P., Dutta, P.P., Kalita, P., 2020. Thermal performance studies for drying of *Garcinia pedunculata* in a free convection corrugated type of solar dryer. *Renewable Energy*, doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.118.
- Ekka, J.P., Bala, K., Muthukumar, P., Kanaujiya, D.K., 2020. Performance analysis of a forced convection mixed mode horizontal solar cabinet dryer for drying of black ginger (*Kaempferia parviflora*) using two successive air mass flow rates. *Renewable Energy*, 152(1): 55-66.
- Elashmawy, 2020. Improving the performance of a parabolic concentrator solar tracking tubular solar still (PCST-TSS) using gravel as a sensible heat storage material. *Desalination*, 473(1): 1-10.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı., 2015. Mavi Kitap-Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara, 2-11. *Journal of Energy Storage*, 27(1): 1-16.
- Ercisli S., Orhan E., 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103(1): 1380-1384.
- Ergun, A., 2020. Energy and exergy analysis of a PV/thermal storage system design integrated with nano-enhanced phase changing material. *International Journal of Exergy*, 32(1): doi10.1504/IJEX.2020.107745.
- Erick César, L.V., Lilia, C.M.A., Octavio, G.V., Isaac, P.F., Rogelio, B.O., 2020. *Renewable Energy*, 147(1): 845-855.
- Essa, M.A., Mostafa, N.H., Ibrahim, M.M., 2018. An experimental investigation of the phase change process effects on the system performance for the evacuated tube solar collectors integrated with PCMs. *Energy Conversion and Management*, 177(1): 1-10.
- Essalhi, H., Benchrifa, M., Tadili, R., Bargach, M.N., 2018. Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49(1): 58-64.
- Evin, D., 2011. Microwave drying and moisture diffusivity of white mulberry: experimental and mathematical modeling†. *Journal of Mechanical Science and Technology* 25(10): 2711-2718.

- Faegh, M., Shafii, M.B., 2017. Experimental investigation of a solar still equipped with an external heat storage system using phase change materials and heat pipes. 409(1): 128-135.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi-Ashtari, A., Omid, M., 2012. Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice. 8(1): 1-22.
- Felinski, P., Sekret, R., 2017a. Effect of a low cost parabolic reflector on the charging efficiency of an evacuated tube collector/storage system with a PCM. Solar Energy, 144(1): 758-766.
- Felinski, P., Sekret, R., 2017b. Effect of PCM application inside an evacuated tube collector on the thermal performance of a domestic hot water system. Energy and Buildings, 152(1): 558-567.
- Fudholi, A., Sopian, K., 2019. A review of solar air flat plate collector for drying application. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102(1): 333-345.
- Fudholi, A., Yogaswara, R., Mardani, D.A., Ridho, A., Hidayati, S., Zen, Z.H., 2020. Modified page model for solar drying of seaweed. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(5): 7407-7413.
- Giovannelli, A., Bashir, M.A., 2017. Charge and Discharge Analyses of a PCM Storage System Integrated in a High-Temperature Solar Receiver. Energies, 10(12): 1-13.
- Giusti, M.M., Wrolstad R.E., 2005. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. Unit F1.2, syf: 19–31. In: Wrolstad, R.E. and S.J. Schwartz (eds.). Handbook of Food Analytical Chemistry, Wiley, New York, NY.
- Golpour, I., Kaveh, M., Chayjan, R.A., Guiné, R.P.F., 2020. Optimization of infrared-convective drying of white mulberry fruit using response surface methodology and development of a predictive model through artificial neural network. International Journal of Fruit Science, doi.org/10.1080/15538362.2020.1774474.
- Guerraiche, D., Bougriou, C., Guerraiche, K., Valenzuela, L., Driss, Z., 2020. Experimental and numerical study of a solar collector using phase change material as heat storage. Journal of Energy Storage, 27-101133.
- Hamza, L., Mounir, K., Younes, B., Zakaria, Tagnamas, Haytem, M., Hind, M., Abdelkader, L., Ali, I., 2020. Physicochemical study of the conservation of Moroccan anchovies by convective solar drying. Renewable Energy, 152(1): 44-54.
- Hayek, M., Assaf, J., Lteif, W., 2011. Experimental investigation of the performance of evacuated-tube solar collectors under eastern mediterranean climatic conditions. Energy Procedia, 6(1): 618-626.
- Hidar, N., Ouhammou, M., Mghazli, S., Idliman, A., Hajjaj, A., Bouchdoug, M., Jaouad, A., Mahrouz, M., 2020. Renewable Energy, 161(1): 1176-1183.
- Hosseinzadeh, M., Faezian, A., Mirzababae, S.M., Zamani, H., 2020. Parametric analysis and optimization of a portable evacuated tube solar cooker. Energy, 194(1): 1-12.
- Hung, N.V., Fuertes, L.A., Balingbing, C., Roxas, A.P., Tala, M., Gummert, M., 2020. Development and performance investigation of an inflatable solar drying technology for oyster mushroom. Energies, 13(1): 1-12.

- Islam, M., Islam, M.I., Tusar, M., Limon, A.H., 2019. Effect of cover design on moisture removal rate of a cabinet type solar dryer for food drying application. *Energy Procedia*, 160(1): 769-776.
- Iwe, M.O., Okoro, C., Eke, A.B., Agiriga, A.N., 2018. Mathematical modelling of thin layer solar drying of Ighu. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 20(4): 149-156.
- Jena, S., Das, H., 2007. Modelling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake. *Journal of Food Engineering*, 79(1); 92-99.
- Jha, A., Tripathy, P.P., 2020. Influence of solar drying and storage conditions on microstructure, crack propagation and nano-hardness of paddy and wheat. *Journal of Cereal Science*, 95(1): 1-9.
- Kabeel, A.E., Abdelaziz, G.B., El-Said, E.M.S., 2019. Experimental investigation of a solar still with composite material heat storage: Energy, exergy and economic analysis. *Journal of Cleaner Production* 231(1):21-34.
- Kalaiarasi, G., Velraj, R., Vanjeswaran, M.N., Pandian, N.G., 2020. Experimental analysis and comparison of flat plate solar air heater with and without integrated sensible heat storage. *Renewable Energy*, 150(1): 255-265.
- Karaçalı, İ., 1990. Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazarlanması, syf: 413 Bornova-İzmir.
- Kavak-Akpınar, E., 2008. Mathematical modelling and experimental investigation on sun and solar drying of white mulberry. *Journal of Mechanical Science and Technology* 22(1): 1544-1553.
- Kaya, A., Aydın, O., 2008. Experimental investigation of drying kinetics of cherry laurel. *Journal of Food Process Engineering*, 31(1): 398-412.
- Khadraoui, A.E., Hamdi, I., Kooli, S., Guizani, A., 2019. Drying of red pepper slices in a solar greenhouse dryer and under open sun: Experimental and mathematical investigations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52(1): 262-270.
- Khattak, M.K., Hanif, M., Khan, M., Ramzan, M., Abdurab, JAPS., 2019. Comparison of drying process and preservatives on drying kinetics, texture and antioxidants retention in mulberry fruits. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(3): 803-808.
- Kılıçkap, S., El, E., Yıldız, C., 2018. Investigation of the effect on the efficiency of phase change material placed in solar collector tank. *Thermal Science and Engineering Progress*, 5(1): 25-31.
- Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M., 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science Technology*, 42(1): 65-69.
- Kipcak, A.S., Doymaz, I., 2020. Mathematical modeling and drying characteristics investigation of black mulberry dried by microwave method. *International Journal of Fruit Science*, doi.org/10.1080/15538362.2020.1782805.
- Komolafe, C.A., Ojadiran, J.O., Ajao, F.O., Dada, O.A., Afolabi, Y.T., Oluwaleye, I.O., Alake, A.S., 2019. Case Studies in Thermal Engineering, 15(1): 1-11.
- Koua, B.K., Koffi, P.M.E., Gbaha, P., 2019. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1): 72-82.
- Kouhila, M., Moussaoui, H., Lamsyehe, H., Tagnamas, Z., Bahammou, Y., Idlimam, A., Lamharar, A., 2020. Drying characteristics and kinetics solar drying of

- Mediterranean mussel (*mytilus galloprovincialis*) type under forced convection. *Renewable Energy*, 147(1): 833-844.
- Kuhe, A., Edeoja, A.O., 2016. Distillate Yield Improvement using a Parabolic Dish Reflector Coupled Single Slope Basin Solar Still with Thermal Energy Storage using Beeswax. *Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering*, 15(4): 1-8.
- Lee, G.H., 2013. A study for the use of solar energy for agricultural industry-solar drying system using evacuated tubular solar collector and auxiliary heater. *Journal of Biosystems Engineering*, 38(1): 41-47.
- Lewis, W.K., 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13;427-432.
- Li, B., Zhai, X., 2017. Experimental investigation and theoretical analysis on a mid-temperature solar collector/storage system with composite PCM. *Applied Thermal Engineering*, 124(1): 334-43.
- Li, C., Yu, H., Song, Y., Zhao, M., 2018. Synthesis and characterization of PEG/ZSM-5 composite phase change materials for latent heat storage. *Renewable Energy*, 121(1): 45-52.
- Li, C., Zhang, B., Xie, B., Zhao, X., Chen, J., Chen, Z., Long, Y., 2019. Stearic acid/expanded graphite as a composite phase change thermal energy storage material for tankless solar water heater. *Sustainable, Cities, and Society*, 44(1): 458-464.
- Lingayat, A., Chandramohan, V.P., Raju, V.R.K., 2017. Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying. *Energy Procedia*, 109(1): 409-416.
- López-Vidaña, E.C., Figueroa, I.P., Marcos, E.G.A., Navarro-Ocaña, A., Hernández-Vázquez, L., Santiago-Urbina, J.A., 2019. Solar drying kinetics and bioactive compounds of blackberry (*Rubus fruticosus*). *Journal of Food Process Engineering*, doi: 10.1111/jfpe.13018.
- Ma, T., Zhao, J., Li, Z., 2018. Mathematical modelling and sensitivity analysis of solar photovoltaic panel integrated with phase change material. *Applied Energy*, 228: 1147-1158.
- Madhu, B., Balasubramanian, E., Sathyamurthy, R., Nagarajan, P.K., Mageshbabu, D., Bharatwaaj, R., Manokar, M.A., 2018. Exergy Analysis of Solar Still with Sand Heat Energy Storage¹. *Solar Power Plants and Their Application*, 34(3): 173-177.
- Mahapatra, A., Tripathy, P.P., 2018. Modeling and simulation of moisture transfer during solar drying of carrot slices. *Journal of Food Process Engineering*, doi: 10.1111/jfpe.12909.
- Mahapatra, A., Tripathy, P.P., 2019. Experimental investigation and numerical modeling of heat transfer during solar drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 55(1):1287–1300, doi.org/10.1007/s00231-018-2492-2.
- Mahendran, M., Ali, T.Z.S., Shahrani, A., Bakar, R., 2014. The efficiency enhancement on the direct flow evacuated tube solar collector using water-based titanium oxide nanofluids. *Applied Mechanics and Materials*, 465(1): 308-315.
- Mahmood, T., Anwar, F., Afzal, N., Kausar, R., Ilyas, S., Shoaib, M., 2017. Influence of ripening stages and drying methods on polyphenolic content and antioxidant activities of mulberry fruits. *Food Measure*, 11(1): 2171–2179, doi: 10.1007/s11694-017-9602-6.

- Malan, A., Komboj, V., Sharma, A.K., Yadav, A., 2019. Mathematical modelling of solar drying of a novel composite desiccant. *International Journal of Ambient Energy*, 40(1): 28-34.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.
- Messaouda, A., Hamdi, M., Hazami, M., Guizani, A.A., 2020. Analysis of an integrated collector storage system with vacuum glazing and compound parabolic concentrator. *Applied Thermal Engineering*, 169(1): 1-12.
- Mghazli, S., Ouhammou, M., Hidar, N., Lahnine, L., Idliman, A., Mahrouz, M., 2017. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, 108(1): 303-310.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., 2002. A New Model for Single Layer Drying. *Drying Technology*, 20(7); 1503-1513.
- Mofijur, M., Mahlia, T.M.I., Silitonga, A.S., Ong, H.C., Silakhori, M., Hasan, M.H., Putra, N., Rahman, S.S.A., *Energies*, 12(1): 1-20.
- Mohammed, S., Edna, M., Siraj, K., 2020. The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples. *Heliyon*, 6(6): 1-10.
- Mosleh, H.J., Mamouri, S.J., Shaii, M.B., Sima, A.H., 2015. A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic trough collector. *Energy Conversion and Management*, 99(1): 141-150.
- Mousa, H., Naser, J., Houche, O., 2019. Using PCM as energy storage material in water tanks: Theoretical and experimental investigation. *Journal of Energy Storage*, 22(1): 1-7.
- Murugavelh, S., Anand, B., Prasad, K.M., Nagarajan, R., Kumar, S.A.P., 2019. Exergy analysis and kinetic study of tomato waste drying in a mixed mode solar tunnel dryer. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, doi.org/10.1080/15567036.2019.1679289.
- Naghavi, M.S., Ong, K.S., Badruddin, I.A., Mehralli, M., Metselaar, H.S.C., 2017. Thermal performance of a compact design heat pipe solar collector with latent heat storage in charging/discharging modes. *Energy*, 127(1): 101-115.
- Navarrete, N., Mondragon, R., Wen, D., Navarro, M.E., Ding, Y., Julia, E., 2019. Thermal energy storage of molten salt-based nanofluid containing nano-encapsulated metal alloy phase change materials. *Energy*, 167: 912-920.
- Ndukwu, M.C., Bennamoun, L., 2018. Potential of integrating Na₂SO₄·10H₂O pellets in solar drying system. *Drying Technology*, 36(9): 1017-1030.
- Nimnuan, P., Nabnean, S., 2020. Experimental and simulated investigations of the performance of the solar greenhouse dryer for drying cassumunar ginger (*Zingiber cassumunar* Roxb.). *Case Studies in Thermal Engineering*, 22(1): 1-12.
- Nwadike, E.C., Abonyi, M.N., Nwabanne, J.T., Ohale, P.E., 2020. Optimization of solar drying of blanched and unblanched aerial yam using response surface methodology. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 4(3): 659-666.
- Ojha, P., Sigdel, A., Karki, R., Mishra, A., Subedi, U., Karki, T.B., 2017. Physiochemical and bioactive characteristic of osmo-air dried mulberry fruit. *Nepalese Horticulture*, 12(1), 27-32.

- Özdemir, M.B., Yataarkalkmaz, M.M., Dağlı, G., 2017. Farklı soğurucu yüzey tiplerine sahip düzlemsel kolektörlerin deneysel analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(2):441-449.
- Özgen, M., Reese, R.N., Tulio, A.Z., Miller, A.R., And Scheerens, J.C., 2006. Modified 2,2-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid (Abts) Method To Measure Antioxidant Capacity of Selected Small Fruits And Comparison To Ferric Reducing Antioxidant Power (Frap) And 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (Dpph) Methods. *Journal of Agriculture And Food Chemistry* 54(1): 1151-1157.
- Özsoy, A., Galip, M., 2018. Vakum tüplü U-borulu güneş kolektörünün güneş simülatöründeki test sonuçlarının analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(1): 229-236.
- Page, G., 1949. Factors Influencing the Maximum Rates of Air-Drying Shelled Corn in Thin Layer. M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Panchal, H., Patel, J., Chaudhary, S., 2018. A comprehensive review of solar cooker with sensible and latent heat storage materials. *International Journal of Ambient Energy*, 40(3): 329-334.
- Papadimitratos, A., Sobhansarbandi, S., Pozdin, V., Zakhidov, A., Hassanipour, F., 2016. *Solar Energy*, 139(1): 10-19.
- Patel, M., Patel, C., Panchal, H., 2020. Performance analysis of conventional triple basin solar still with evacuated heat pipes, corrugated sheets and storage materials. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(1): 1-6.
- Pixton, S.W., Warburton, S., 1973. Determination of moisture content and equilibrium relative humidity of dried fruit-Sultanas. *Journal of Stored Products Research*, 8(4): 263-270.
- Polatçı, H., Tarhan, S., 2009. Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi*. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1): 61-70.
- Poole, M.R., Shah, S.B., Boyette, M.D., Stikeleather, L.F., Cleveland, T., 2018. Performance of a coupled transpired solar collector—phase change material-based thermal energy storage system. *Energy Buildings*, 161(1): 72-79.
- Prenafeta-Boldú, F.X., Burgos, L., Noguerol, J., Mercader, M., Soler, J., Fernandez, B., 2020. Solar drying in the vineyard: a sustainable technology for the recovery of nutrients from winery organic waste. *Water Science and Tecnology*, 8(1): 27-38.
- Quaabou, R., Nabil, B., Hidar, N., Lahnine, L., Idliman, A., Lamharar, A., Hanine, H., Mahrouz, M., 2018. Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries. *Solar Energy*, 172(1): 158-164.
- Quaabou, R., Nabil, B., Ouhammou, M., Idliman, A., Lamharar, A., Ennahli, S., Hanine, H., Mahrouz, M., 2020. Impact of solar drying process on drying kinetics, and on bioactive profile of Moroccan sweet cherry. *Renewable Energy*, 151(1): 908-918.
- Rabha, D.K., Muthukumar, P., 2017. Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax-based latent heat storage system. *Solar Energy*, 149(1): 214-226.
- Rad, S.J., Kaveh, M., Sharabiani, V.R., Taghihezahad, E., 2018. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer*, 54(1): 3361–3374, doi.org/10.1007/s00231-018-2377-4.

- Rajamanickam, M.R., Velmurugan, P., Ragupathy, A., Sivaraman, E., 2020. Use of thermal energy storage materials for enhancement in distillate output of double slope solar still. *Material Today, Baskı aşamasında* doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.203.
- Ramallo, L.A. ve Mascheroni, R.H., 2012. Quality evolution of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 275-283.
- Sabiha, M.A., Mekhilef, S., Mahian, O., 2015. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(1): 1038-1054.
- Sablani, S., Andrews, P.K., Davies, N.M., Walters, T., Saez, H., Bastarrachea, L., 2011. Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Drying Tehcnology*, 29(2): 205-2016.
- Saravanan, N.M., Rajakumar, S., Moshi, A.A.M., 2020. Experimental investigation on the performance enhancement of single basin double slope solar still using kanchey marbles as sensible heat storage materials. *Materials Today*, 1-5, doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.710
- Sarbu, I., Dorca, A., 2018. Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials. *Energy Research*, 43(1): 29-64.
- Saxena, A., Agarwal, N., Cuce, E., 2020a. Thermal performance evaluation of a solar air heater integrated with helical tubes carrying phase change material. *Journal of Energy Storage*, 30(1): 1-13.
- Saxena, A., Verma, P., Srivastava, G., Kishore, N., 2020b. Design and thermal performance evaluation of an air heater with low cost thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 167(1): 1-16.
- Singleton, V.L., Rossi J.L., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(1): 144-158.
- Seerangurayar, T., Al-Ismaïli, A.M., Jeewantha, L.H.J., 2019. Experimental investigation of shrinkage and microstructural properties of date fruits at three solar drying methods. *Solar Energy*, 180(1): 445-455.
- Shafieian, A., Osman, J.J., Khiadani, M., Nosrati, A., 2019. Enhancing heat pipe solar water heating systems performance using a novel variable mass flow rate technique and different solar working fluids. *Solar Energy*, 186(1): 191-203.
- Sharma, S., Dhalsamant, K., Tripathy, P.P., 2019. Application of computer vision technique for physical quality monitoring of turmeric slices during direct solar drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1):545-558.
- Silva, G.M., Ferreira, A.G., Coutinho, R.M., Maia, C.B., 2020a. Experimental analysis of corn drying in a sustainable solar dryer. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 67(2): 1-12.
- Silva, A.L., Silva, G.F., Monteiro, L.F., Lima, A.S., Alsina, O.L.S., 2020b. Water diffusion in intermittent solar drying of mangaba (*Hancornia speciosa*). *Defect and Diffusion Forum*, 399(1): 196-201.
- Singh, P., Vyas, S., Yadav, A., 2018. Experimental comparison of open sun drying and solar drying based on evacuated tube collector. *International Journal of Sustainable Energy*, 38(4): 348-367.

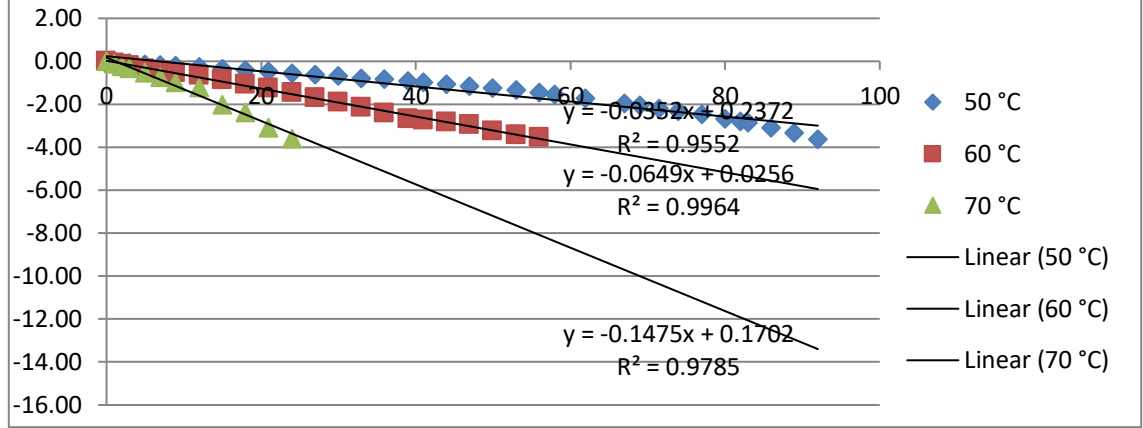
- Suherman, S., Widuri, H., Patricia, S., Susanto, E.E., Sutrisna, R.J., 2020a. Energy Analysis of a hybrid solar dryer for drying coffee beans. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 9 (1): 131-139.
- Suherman, S., Hadiyanto, H., Susanto, E.E., Utami, I.AP., Ningrum, T., 2020b. Hybrid solar dryer for sugar-palm vermicelli drying. *Journal of Food Process Engineering*, 1-14. doi: 10.1111/jfpe.13471.
- Sun, L., Xiang, N., Yuan, Y., Cao, X., 2019. Experimental investigation on performance comparison of solar water heating-phase change material system and solar water heating system. *Energies*, 12(12): 2347.
- Suna, S., Özkan Karabacak, A., 2019. Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8): 1-9.
- Swami, V.M., Auteeb, A.T., Anil, T.R., 2018. Experimental analysis of solar fish dryer using phase change material. *Journal of Storage Mater*, 20: 310–315.
- Şevik, S., Aktaş, M., Dolgun, E.C., Arslan, E., Tuncer, A.D., 2019. Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology. *Solar Energy*, 180(1): 537-549.
- Taghinezhad, E., Kaveh, M., Khalife, E., Chen, G., 2020. Drying of organic blackberry in combined hot air-infrared dryer with ultrasound pretreatment. *Drying Technology*, doi.org/10.1080/07373937.2020.1753066.
- Tagnamas, Z., Bahammou, Y., Kouhila, M., Hilali, S., Idliman, A., Lamharar, A., 2020a. Conservation of Moroccan truffle (*Terfezia boudieri*) using solar drying method. *Renewable Energy*, 146(1): 16-24.
- Tagnamas, Z., Lamsyehe, H., Moussaoui, H., Bahammou, Y., Kouhila, M., Idliman, A., Lamharar, A., 2020b. *Renewable Energy*, 163(1): 495-503.
- Tambunan, A.H., Manalu, L.P., Abdullah, K., 2010. Exergy Analysis on Simultaneous Charging and Discharging of Solar Thermal Storage for Drying Application. *Drying Technology*, 28(9): 1107-1112.
- Tan, M., Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Chou, S.K., 2001. Effect of osmotic pretreatment and infrared radiation of drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. *Drying Technologies*, 19(9): 2193-2207.
- Tao, Y., Wang, P., Wang, Y., Kadam, S.U., Han, Y., Wang, J., Zhaou, J., 2016. Power ultrasound as a pretreatment to convective drying of mulberry (*Morus alba* L.) leaves: Impact on drying kinetics and selected quality properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31(1): 310-318.
- Taşer, Ö.F., Tarhan, S., Ergüneş, G., 2007. Effects of chemical pretreatments on air-drying process of black mulberry (*Morus nigra* L.). *Journal of Scientific and Industrial Research*, 66(1): 477-482.
- Téllez, M.C., Figueroa, I.P., Téllez, B.C., Vidaña, E.C.L., Ortiz, A.L., 2018. Solar drying of Stevia (*Rebaudiana Bertoni*) leaves using direct and indirect Technologies. *Solar Energy*, 1159(1): 898-907.
- Tiari, S., Mahdavi, M., 2020. Computational study of a latent heat thermal energy storage system enhanced by highly conductive metal foams and heat pipes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(1): 1741-1751.
- Tiwari, A.K., Ghosh, P., Sarkar, J., 2013. Solar water heating using nanofluids – a comprehensive overview and environmental impact analysis. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1): 221-224.

- Tlatempa-Becerro, A., Rico-Martínez, R., Urquiza, G., Calderón-Ramírez, M., 2020. Obtaining of Crataegus mexicanaleaflets using an indirect solar dryer. *Ingeniería de alimentos Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2): 669-676.
- Tony, M.A., 2020. From biomass residue to solar thermal energy: the potential of bagasse as a heat storage material. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5(17): 1-9.
- Trostle, R., 2008. Global agricultural supply and demand : Factor contributing to the recent increase in food commodity price. Outlook report No. WRS-0801. Economic research service, U.S. Department of Agriculture.
- Vijayan, S., Arjunan, T.V., Kumar, A., 2020. Exergo-environmental analysis of an indirect forced convection solar dryer for drying bitter gourd slices. *Renewable Energy*, 146(1): 2210-2223.
- Vijayan, S., Arjunan, T.V., Kumar, A., 2016. Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter gourd in sensible storage based indirect solar dryer. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 36: 59-67.
- Wang, C.Y., Singh, R. P., 1978. A single layer drying equation for rough rice. *ASAE*, 78-3001.
- Wang, Q., Wang, J., Chen, Y., Zhao, C.Y., 2019a. Experimental investigation of barium hydroxide octahydrate as latent heat storage materials. *Solar Energy*, 177(1): 99-107.
- Wang, Y., Li, M., Qiu, Y., Yu, Q., Luo, X., Li, G., Ma, X., 2019b. Performance analysis of a secondary heat recovery solar-assisted heat pump drying system for mango. *Energy Exploration & Exploitation*, 37(4): 1377-1387.
- Won, Y.C., Min, S.C., Lee, D.U., 2015. Accelerated drying and improved color properties of red pepper by pretreatment of pulsed electric fields. *Drying Technology*, 33(8): 926-932.
- Wu, W., Dai, S., Liu, Z., Dou, Y., Hua, J., Li, M., Wang, X., Wang, X., 2018. Experimental study on the performance of a novel solar water heating system with and without PCM. *Solar Energy*, 171(1): 604-612.
- Wu, S., Yan, T., Kuai, Z., Pan, W., 2020. Preparation and thermal property analysis of a novel phase change heat storage material. *Renewable Energy*, 150(1): 1057-1065.
- Xiao, H.W., Mujumdar, A.S., 2014. Impingement Drying: Applications and Future Trends. In *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*; Nema, P. K.; Pal Kaur, B.; Mujumdar, A. S., Eds.; New India Publishing Agency: New Delhi, India, 279-299.
- Xie, N., Li, Z., Gao, X., Fang, Y., Zhan, Z., 2020a. Preparation and performance of modified expanded graphite/eutectic salt composite phase change cold storage material. *International Journal of Refrigeration*, 110: 178-186.
- Xie, B., Li, C., Zhang, B., Yang, L., Xiao, G., Chen, J., 2020b. Evaluation of stearic acid/coconut shell charcoal composite phase change thermal energy storage materials for tankless solar water heater. *Energy and Built Environment*, 1(1): 187-198.
- Yahya, M., Fudholi, A., Hafizh, H., Sopian, K., 2016. Comparison of solar dryer and solar-assisted heat pump dryer for cassava. *Solar Energy*, 136(1): 606-613.
- Yang, X., Guo, Z., Liu, Y., Jin, L., He, Y.L., 2019. Effect of inclination on the thermal response of composite phase change materials for thermal energy storage. *Applied Energy*, 238(1): 22-33.

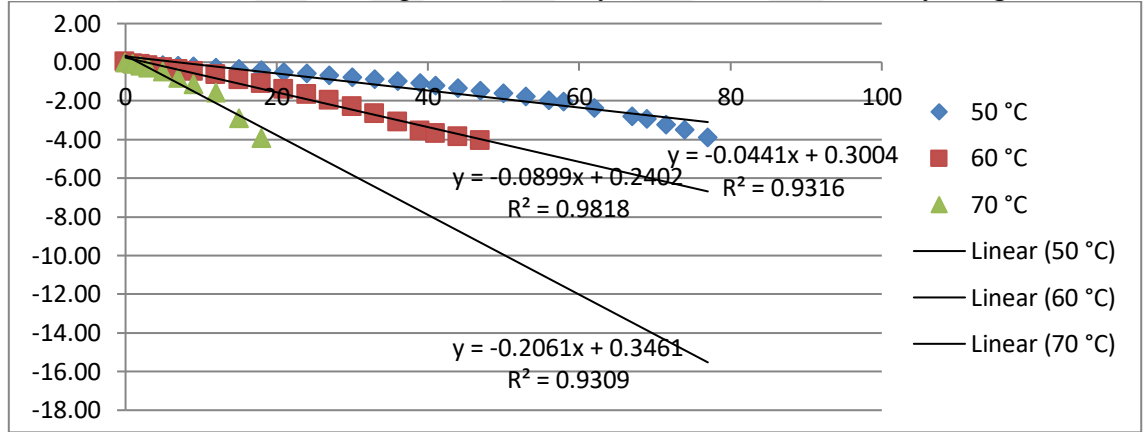
- Yağcıoğlu, A., Değirmencioglu, A. Çağatay, F., 1999. Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In: Proceeding of the 7 th international congress of agricultural mechanization and energy 26-27 May, Adana, Turkey.
- Zhang, N., Yuan, Y., Cao, X., Du, Y., Zhang, Z., Gui, Y., 2018. Latent Heat Thermal Energy Storage Systems with Solid–Liquid Phase Change Materials: A Review. *Advanced Engineering Materials*, 20(1): 1-30.
- Zhang, L., Liao, L., Wang, C., Shi, D., An, K., Hu, J., 2020. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*, 303(1): 1-9.
- Zhou, M., Chen, Q., Bi, J., Wang, Y., Wu, X., 2017. Degradation kinetics of cyanidin 3-O-glucoside and cyanidin 3-Orutinoside during hot air and vacuum drying in mulberry (*Morus alba* L.) fruit: A comparative study based on solid food system. *Food Chemistry*, 229(1): 574-579.
- Zhu, C., Lin, Y., Fang, G., 2020. Preparation and thermal properties of microencapsulated stearyl alcohol with silicon dioxide shell as thermal energy storage materials. *Applied Thermal Engineering*, 169: 114943.
- Zou, L.I., Chen, X., Wu, Y.T., Wang, X., Ma, C.F., 2019. Experimental study of thermophysical properties and thermal stability of quaternary nitrate molten salts for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 190(1): 12-19.

EKLER

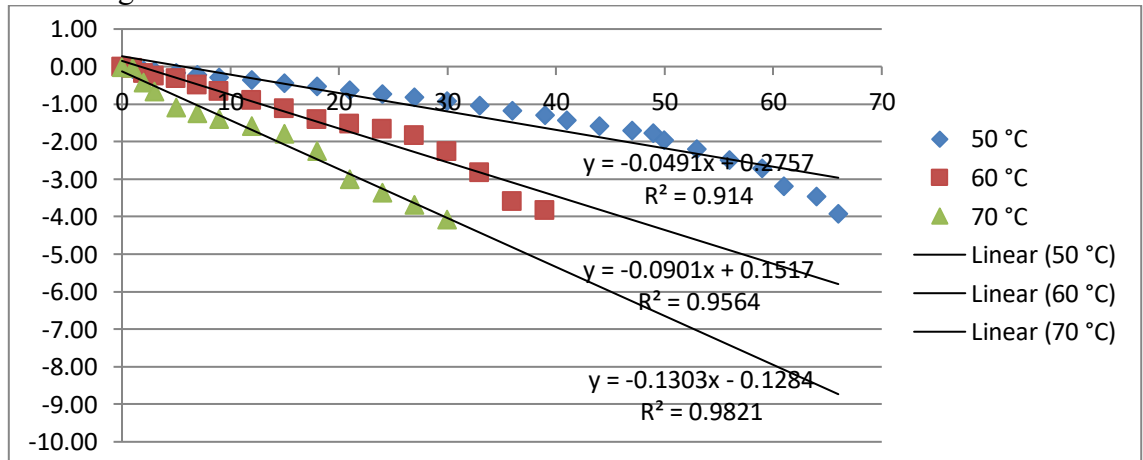
Ek 1. Etüvde kurutulan yarı olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrileri



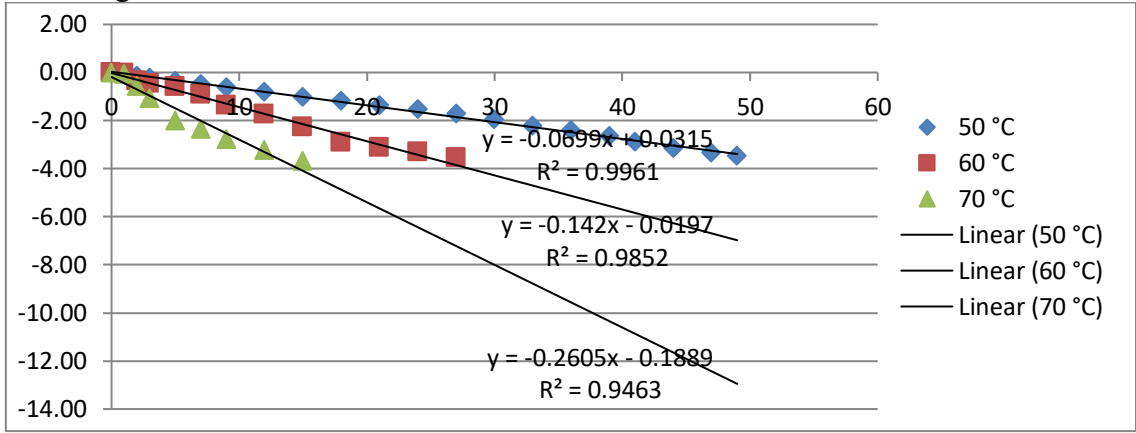
Ek 2. Etüvde kurutulan tam olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrileri



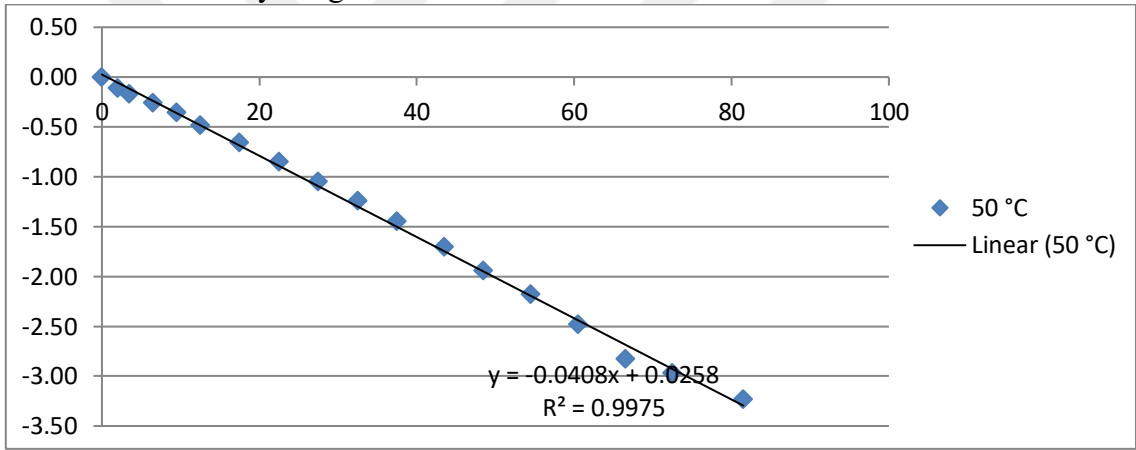
Ek 3. Vakumlu etüvde kurutulan yarı olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrileri



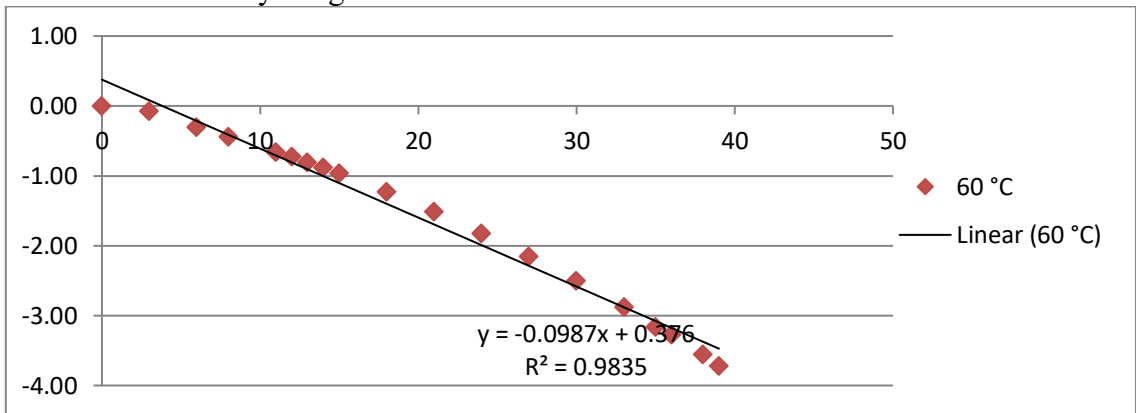
Ek 4. Vakumlu etüvde kurutulanan tam olgun karadut meyvelerine ait efektif difüzyon eğrileri



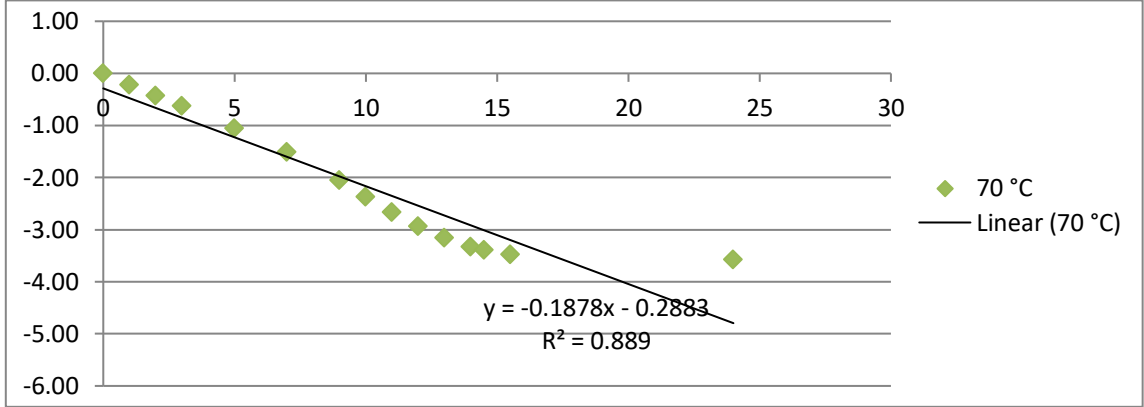
Ek 5. Hassas kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulanan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



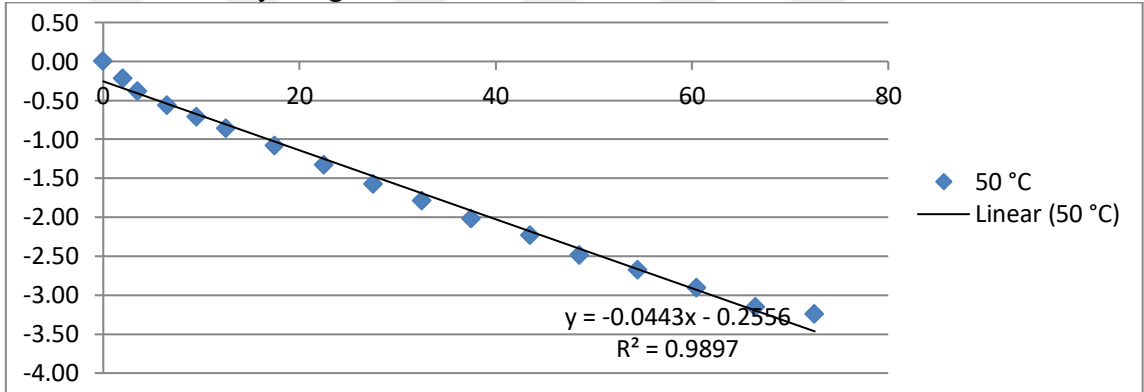
Ek 6. Hassas kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kurutulanan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



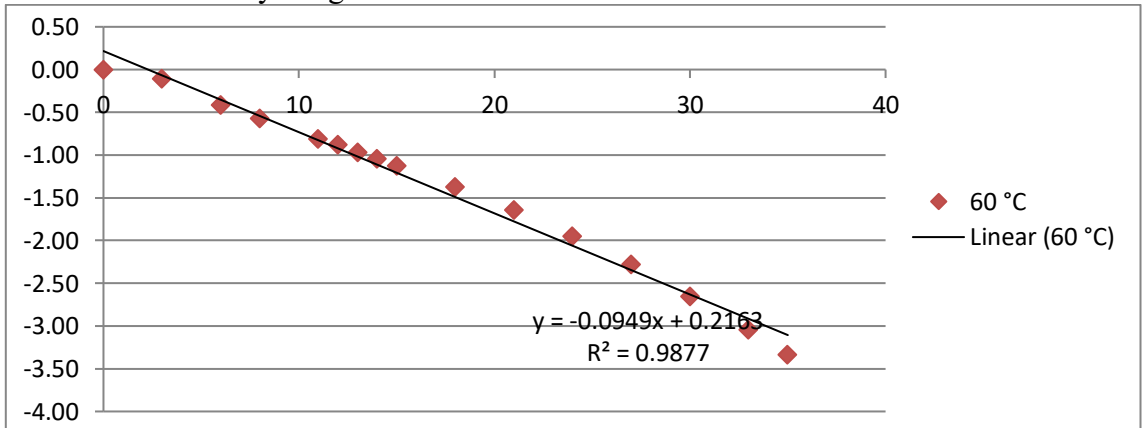
Ek 7. Hassas kurutucuda 70 °C sıcaklıkta kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



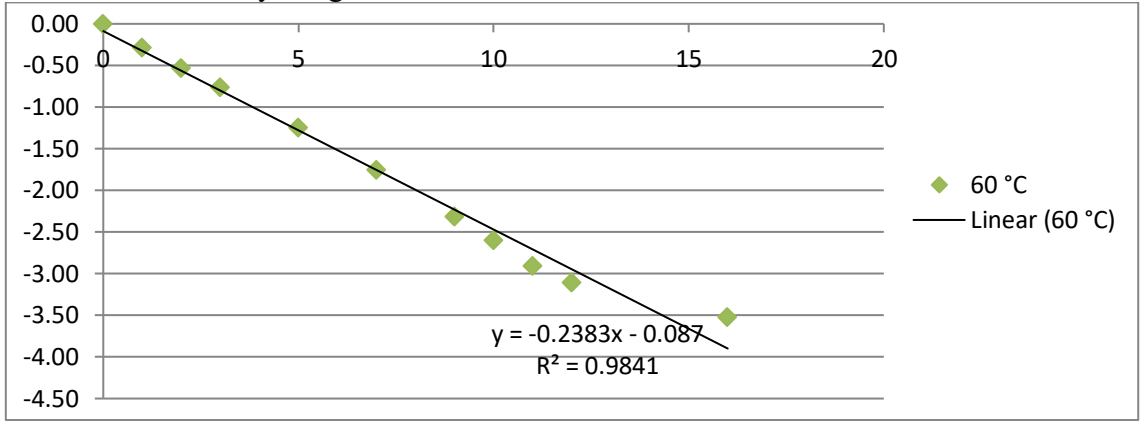
Ek 8. Hassas kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



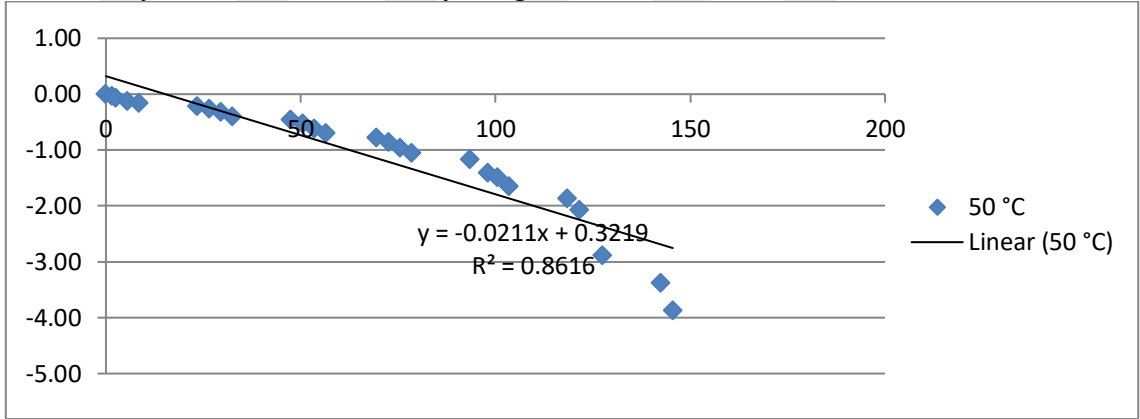
Ek 9. Hassas kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



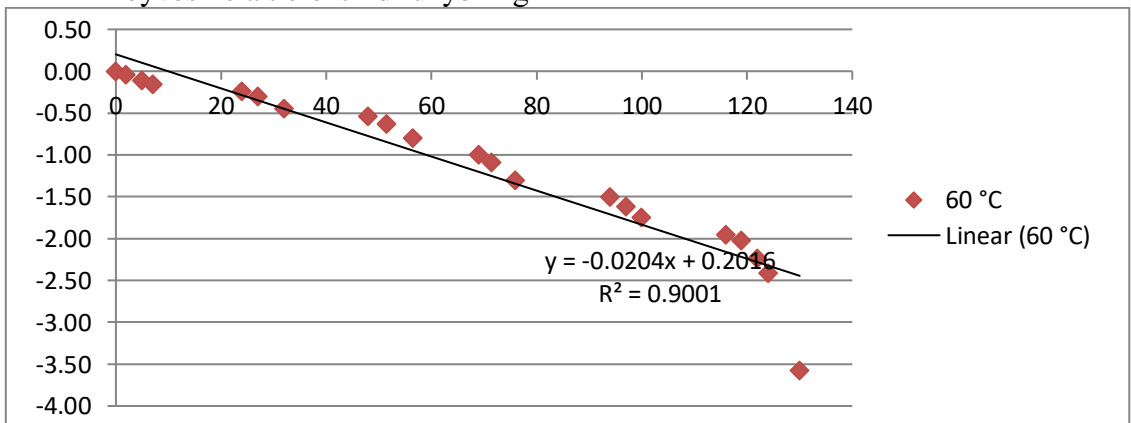
Ek 10. Hassas kurutucuda 70 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



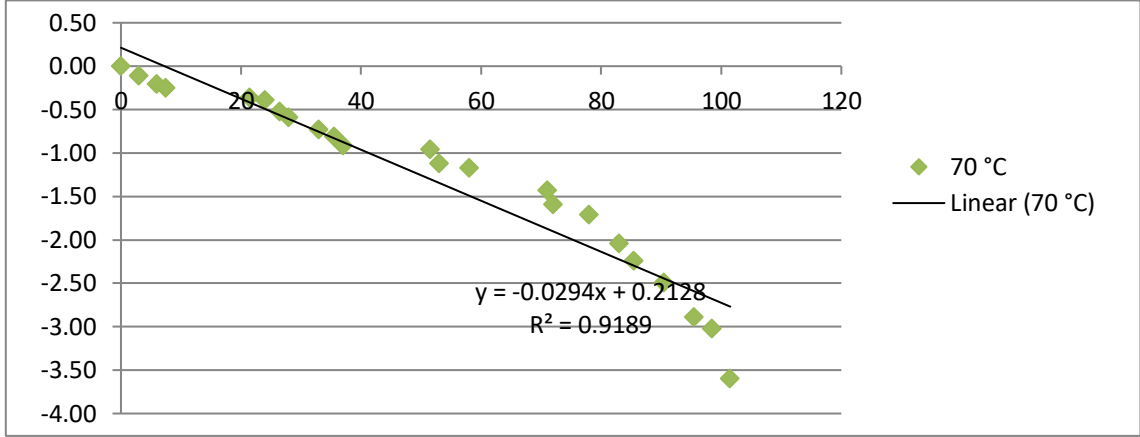
Ek 11. Güneş enerjili kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



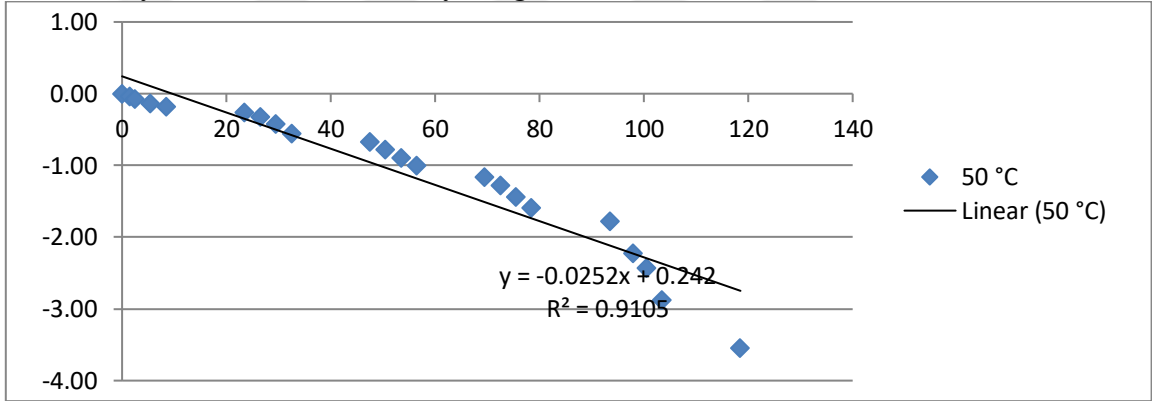
Ek 12. Güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



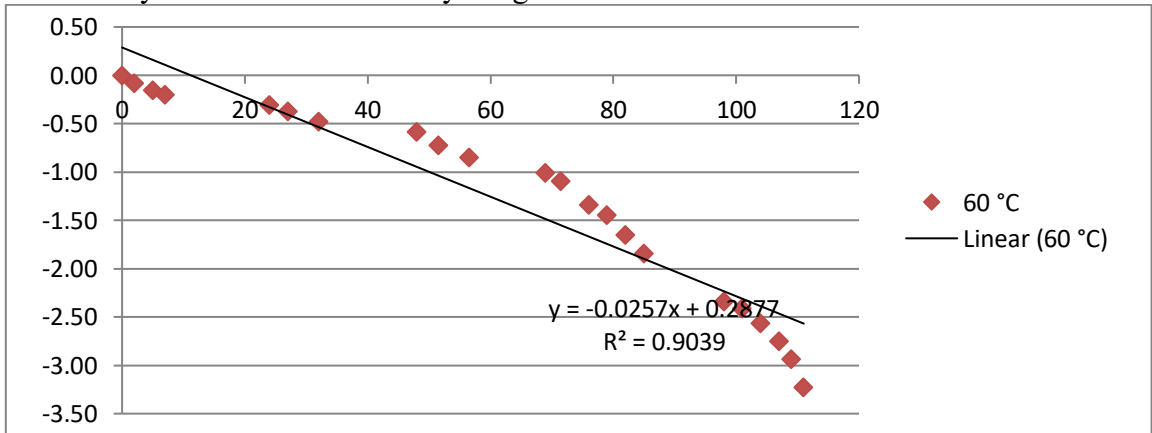
Ek 13. Güneş enerjili kurutucuda 70 °C sıcaklıkta kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



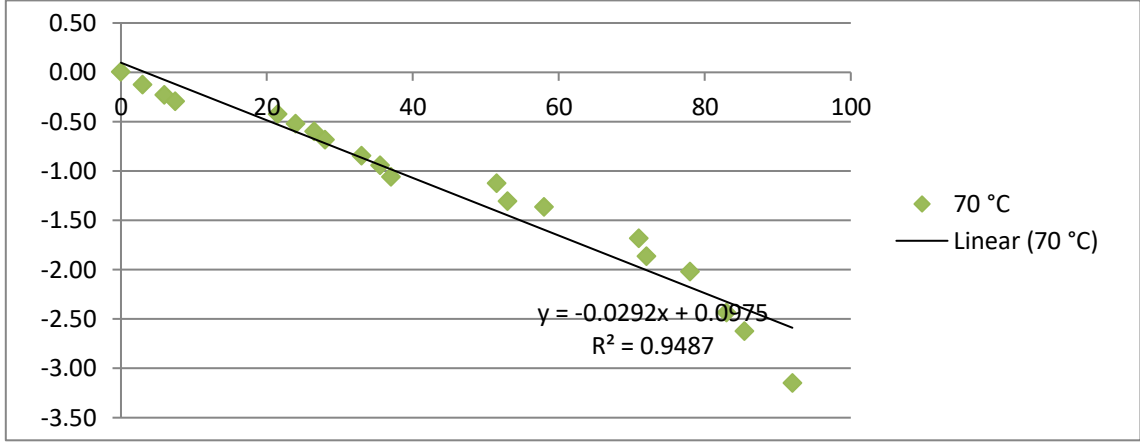
Ek 14. Güneş enerjili kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



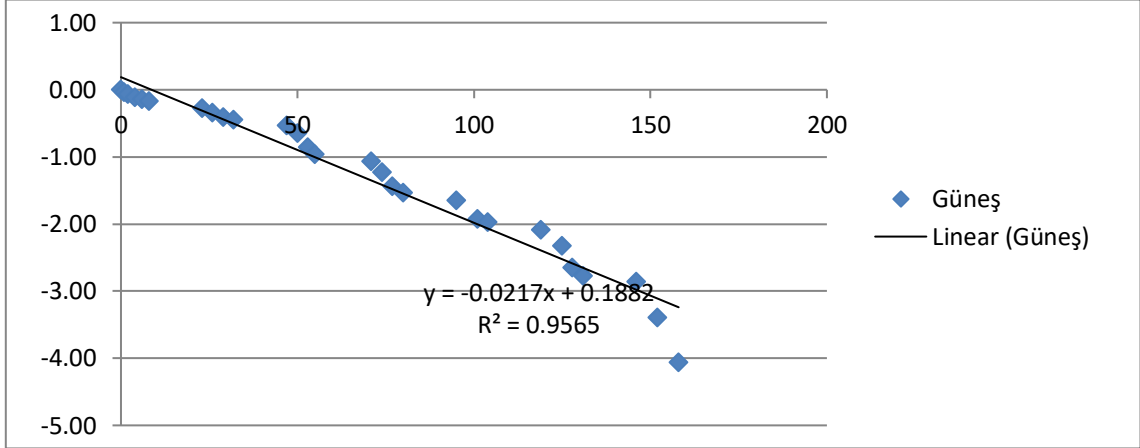
Ek 15. Güneş enerjili kurutucuda 60 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



Ek 16. Güneş enerjili kurutucuda 70 °C sıcaklıkta kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



Ek 17. Güneşte kurutulan yarı olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi



Ek 18. Güneşte kurutulan tam olgun karadut meyvesine ait efektif difüzyon eğrisi

