



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BATMAN İLİ ŞARTLARINDA GÜNEŞ
ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA
SİSTEMİNDE KURUTMA
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Fatma DEMİR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK
ZİYADANOĞULLARI**

**Ağustos-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma Demir tarafından hazırlanan “Batman İli Şartlarında Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 25/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK

ZİYADANOĞULLARI

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Oktay

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Fatma DEMİR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN İLİ ŞARTLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNDE KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Fatma DEMİR

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2021, 71 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Oktay

ÖZET

Tarımsal ürünlerin uzun süre bozulmadan saklanabilmesi için kurutma işlemi yaygın bir yöntemdir. Kurutma işlemi çok eski zamanlardan beri geleneksel olarak açık havada, güneş altında kontrolsüz bir şekilde yapılmaktadır. Bu yöntem ile tarımsal ürünler; toz, böcek, diğer hayvanların zarar vermesi ve kötü hava koşulları gibi etmenlere maruz kalmaktadır. Bu yöntem ile kurutulan ürünlerde aflatoksin gibi mikrotoksinler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle tarımsal ürünlerin kurutma sistemleri ile hijyenik ve kontrollü bir şekilde kurutulması önemlidir. Ayrıca ekonomik değeri yüksek olan kuru tarımsal ürünler yılın her mevsiminde üretilmek istenmektedir. Kurutulan ürünler geleneksel olarak mevsiminde yetiştirilmesinin yanında diğer mevsimlerde de uygun şartlar sağlanarak, seralarda yetiştirilmektedir. Hasadı yılın birkaç mevsiminde olan ürünler de mevcuttur ve soğuk mevsimlerde yetişen ürünler de kurutulmaktadır. Sıcak mevsimler dışında yetiştirilen ürünlerin kurutulması kurutucularla mümkün olabilmektedir. Uzun yıllardan beri kullanılan endüstriyel kurutma makineleri büyük miktarlarda enerji tüketmekte ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Çevre bilinci, enerji verimliliği ve enerjinin tasarruflu kullanılması gittikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi gibi kesintili enerji kaynaklarının verimliliğinin artırılması için enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Güneşin etkisinin çok olduğu saatlerde ışınım sonucu fazla olan ısının depolanması ve daha sonra kullanılması verimlilik açısından önemlidir. Bu çalışma kapsamında farklı büyüklüklerdeki taşlar ve metal parçaları karışımı bir enerji depolama malzemesi olarak oluşturulmuştur. Bu malzeme araları ısı yalıtımlı eş iki bölümden oluşan bir güneş enerjili kurutucunun 2. bölümünün termal depolama ünitesinde kullanılmıştır. Termal depolama sistemi olmayan 1. bölüm ile karşılaştırılmıştır. Kurutulacak tarımsal ürün olarak hasadı hava durumuna bağlı olarak Mart, Nisan aylarında başlayıp Kasım, Aralık aylarına kadar devam eden Sason Çileği tercih edilmiş ve Batman İli şartlarında Ekim ayında kurutma parametreleri incelenmiştir. Bu çalışma sırasında ısı depolama sisteminin güneş enerjili kurutucuda kullanılmasının Sason Çileği kurutmada etkisi incelenmiştir. Deneyler saat 09.00-15.00 arasında güneşte 15.00-17.30 arası gölgede ve 17.30 sonrası güneş battıktan sonra termal depolama ısısından faydalanarak yapılmıştır. Yapılan deneyler 3.5 m/s, 2.5 m/s ve 1.5 m/s olmak üzere 3 farklı fan hızında gerçekleştirilmiştir. 3.5 m/s fan hızında yapılan deneylerle eş zamanlı olarak dışarıda tepside çilek

numuneleri kontrol amaçlı kurumaya bırakılmıştır. Kurutma sisteminde kurutulanlarla karşılaştırılmıştır. Temizlik ve kuruma hızı açısından yapılan karşılaştırmada kurutma sisteminde kurutmanın büyük farkla avantajlı olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmalar süresince termal depolama sistemi kullanılmayan kurutma kabini içerisinde maksimum 61 °C minimum, 18 °C arasında değişen sıcaklıklarda, termal depolama sistemi kullanılan kurutma kabini ise maksimum 53 °C, minimum 19 °C arasında değişen sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. İki kurutma kabini arasındaki bağıl nem farkı maksimum % 6.7 olacak şekilde, termal depolama sistemi kullanılmayan bölümün kurutma kabini içindeki bağıl nem daha fazla çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, kurutma, ısıl enerji depolama, Sason çileği kurutma.



ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF DRYING PARAMETERS IN SOLAR ENERGY SUPPORTED DRYING SYSTEM IN BATMAN PROVINCIAL CONDITIONS

Fatma DEMİR

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Asst.Prof.Dr. Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2021, 71 Pages

Jury

Asst.Prof.Dr. Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Assoc. Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Asst.Prof.Dr. Hasan Oktay

ABSTRACT

Drying is a common method for keeping agricultural products intact for a long time. The drying process has traditionally been carried out in the open air, under the sun, in an uncontrolled manner since ancient times. With this method, agricultural products; It is exposed to factors such as dust, insects, damage by other animals and bad weather conditions. Microtoxins such as aflatoxin can occur in products dried by this method. For this reason, it is important to dry agricultural products in a hygienic and controlled manner with drying systems. In addition, dry agricultural products with high economic value are desired to be produced in every season of the year. Dried products are traditionally grown in the season, as well as in greenhouses by providing suitable conditions in other seasons. There are also products that are harvested in several seasons of the year, and products grown in the cold season are also dried. Drying of products grown outside of hot seasons is possible with dryers. Industrial dryers, which have been used for many years, consume large amounts of energy and cause environmental pollution. Environmental awareness, energy efficiency and efficient use of energy are becoming increasingly important. The use of renewable energy sources reduces dependence on fossil fuels. Energy storage systems are needed to increase the efficiency of intermittent energy sources such as solar energy, which is one of the renewable energy sources.

It is important for efficiency to store and use the excess heat as a result of radiation during the hours when the sun's influence is high. Within the scope of this study, a mixture of stones and metal parts of different sizes was created as an energy storage material. This material was used in the thermal storage unit of the 2nd section of a solar dryer consisting of two identical sections with thermal insulation between them. Compared with part 1 without thermal storage system. As the agricultural product to be dried, Sason Strawberry, which starts in March, April, and continues until November and December, depending on the weather conditions, was preferred and the drying parameters were examined in October under the conditions of Batman Province. During this study, the effect of using the thermal energy storage system in the solar dryer on drying Sason Strawberry was investigated. Experiments were carried out between 09.00-15.00 in the sun, between 15.00-17.30 in the shade and after 17.30 after sunset, using the thermal storage heat. The experiments were carried out at 3 different fan speeds as 3.5 m/s, 2.5 m/s and 1.5 m/s. Simultaneously with the experiments carried out at a fan speed of 3.5 m/s, strawberry samples were left to dry on the tray outside for control purposes. Compared with those dried in the drying system.

In the comparison made in terms of cleaning and drying speed, it has been seen that drying in the drying system is advantageous by a large margin.

During the experimental studies, drying was carried out at temperatures ranging from a maximum of 61 °C to a minimum of 18 °C in the drying cabinet without using the thermal storage system, and at temperatures ranging from a maximum of 53 °C to a minimum of 19 °C in the drying cabinet using the thermal storage system. With the relative humidity difference between the two drying cabinets being a maximum of 6.7%, the relative humidity in the drying cabinet of the section without thermal storage system was higher.

Keywords: Drying, drying of Sason strawberry, solar energy, thermal energy storage.



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve görüşlerini benimle paylaşan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI'na teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Fatma DEMİR
BATMAN-2021



İÇİNDEKİLER

<u>ÖZET</u>	iv
<u>ABSTRACT</u>	vii
<u>ÖNSÖZ</u>	viii
<u>İÇİNDEKİLER</u>	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
ÇİZELGELER	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
<u>1. GİRİŞ</u>	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	3
1.2. Tezin Amacı.....	12
1.3. Kurutma.....	13
1.3.1. Gözenekli Ortam.....	13
1.3.2. Bağlı Nem.....	16
1.3.3. Tarım Ürünlerinde Kurumanın Oluşum Kuramı ve Kurumanın Evreleri.....	16
1.3.4. İnce Tabaka Kuruma Kuramı.....	19
1.3.4.1 Sabit Hızda Kuruma Evresi.....	19
1.3.4.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi.....	19
1.3.5. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı.....	20
1.3.6. Kuruma Hızını Etkileyen Unsurlar	20
1.3.7. Kurutma Sırasında Isı Ve Kütle Geçişi.....	22
1.4. Kurutma Yöntemleri	23
1.4.1 Kontakt kurutma.....	23
1.4.2. Konvektif kurutma.....	24
1.4.3. Işınım ile Kurutma	24
1.4.4. Di elektrik kurutma.....	24
1.4.5. Donmalı kurutma.....	24
1.4.6. Ozmotik kurutma.....	25
1.5. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri.....	25
1.5.1. Açıkta kurutma.....	26
1.5.2. Güneş enerjili kurutucu ile kontrollü kurutma.....	27
1.5.2.1. Direkt tip güneş enerjili kurutucular.....	27
1.5.2.1.1. Kabin (direkt tip) kurutucu.....	27
1.5.2.1.2. Sera kurutucu.....	28
1.5.2.2. Tünel tipi güneş enerjili kurutucu.....	28

1.5.2.3. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucu.....	28
1.5.2.3. 1. Doğal sirkülasyon tipi.....	28
1.5.2.3. 2. Zorlamalı sirkülasyon tipi (Aktif mod).....	29
1.5.2.4. Karışık tip güneş enerjili kurutucu.....	29
1.5.2.5. Hibrit güneş enerjili kurutucu.....	30
1.5.2.6. Termal depolamalı güneş enerjili kurutucu.....	30
1.6. Kurutucu seçimi.....	30
1.7. Çilek.....	32
1.8. Enerji Depolama Sistemleri.....	34
1.8.1. Mekanik Enerji Depolama	35
1.8.2. Kimyasal Enerji Depolama.....	35
1.8.3. Termal Enerji Depolama.....	35
1.8.3.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri.....	36
1.9. Duyulur Isı Depolama.....	37
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
2.1. Kurutma Sisteminin Seçimi.....	38
2.2. Termal Enerji Depolama Sistemi.....	40
2.3. Ölçüm Cihazları Noktaları.....	41
2.4. Test Cihazları ve Ekipmanları.....	43
2.5. Hesaplamalar.....	45
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
3.1. Kurutma Öncesi Yapılan İşlemler.....	49
3.2. Kurutma İşlemi Deney Sonuçları.....	50
3.2.1. 3.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları	51
3.2.2. 2.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları.....	54
3.2.3. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları	58
3.3. Enerji Depolama Sistemi ile İlgili Deneysel Çalışmalar.....	63
3.3.1. Termal Depolama Sistemi 3.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	64
3.3.2. Termal Depolama Sistemi 2.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	65
3.3.3. Termal Depolama Sistemi 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları	66
3.3.4. Termal Malzemenin İç Enerjisindeki Değişim.....	67
3.4. Verimlilik.....	68
3.4.1. Kollektör verimliliği.....	68
3.4.2. Kurutma kabin verimliliği.....	68

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
4.1 Sonuçlar.....	70
4.2 Öneriler.....	71
KAYNAKLAR.....	72



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ürünün hücresinde ısı ve suyun kuruma esnasındaki hareket yönleri çizimi.....	17
Şekil 1.2. Kurutma işleminde karakteristik kuruma eğrileri	18
Şekil 1.3. Güneş kurutucu sisteminin sınıflandırılması	26
Şekil 1.4. Dolaylı tip güneş kurutma sisteminin sınıflandırılması.....	29
Şekil 1.5. Kurutucu seçimi için işlem adımları	31
Şekil 1.6. Ülkemizde 2015–2020 yılları arasında üretilen çilek miktarı.....	33
Şekil 1.7. Enerji depolama yöntemlerinin sınıflandırılması	35
Şekil 2.1. Salyangoz radyal fan fotoğrafı.....	38
Şekil 2.2. Kurutucuya ait çalışma diyagramı.....	39
Şekil 2.3. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemi fotoğrafı.....	40
Şekil 2.4. Enerji depolama sistemi şematik resmi.....	41
Şekil 2.5. Enerji depolama sistemi görseli.....	41
Şekil 2.6. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemi önden görünüşü ve ölçüm cihazları noktaları şematik resmi.....	42
Şekil 2.7. HANDHELD 3016-IAQ Hava Kalitesi Ölçme Sistemi (Nem Ölçme).....	44
Şekil 2.8. Elimko E-680 sıcaklık ölçme sistemi	44
Şekil 2.9. TESTO 435 Hava Kalitesi Ölçme Sistemi (Hava Hızı ve Işık Şiddeti Ölçme).....	44
Şekil 2.10. SF-400 hassas terazi.....	45
Şekil 2.11. Batman ili için 18 Ekim günü saatlik yatay yüzeye gelen ışınım şiddeti, dış ortam ve güneş-hava sıcaklık değerleri.....	47
Şekil 3.1. Açık havada kurutulan çilek numuneleri.....	49
Şekil 3.2. Kurutma öncesi ikiye bölünerek dilimlenmiş çilek dilimleri.....	50
Şekil 3.3. Kuruma öncesi kurutma tepsisi kabin görünüşü.....	50
Şekil 3.4. 3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik ortalama rüzgar hızı, saatlik bulutluluk miktarı ve saatlik güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi	51
Şekil 3.5. 3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm ²) değerlerinin zamana göre değişimi.....	52
Şekil 3.6. 3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri sıcaklığın zamana göre değişimi.	52
Şekil 3.7. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin görünüşü.....	53
Şekil 3.8. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin kabin görünüşü.....	53
Şekil 3.9. 2.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik rüzgar hızı, bulutluluk miktarı ve güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi.....	54
Şekil 3.10. 2.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm ²) değerlerinin zamana göre değişimi.....	54
Şekil 3.11. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve dış ortamın sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi.....	55

Şekil 3.12. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin, iki kurutuma kabininin içinin ve dış ortam neminin zamana göre değişimi.....	56
Şekil 3.13. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin 100 gramlık çilek numunelerinin zamana göre ağırlık değişimi grafiği.	57
Şekil 3.14. Kurutma kabinlerinin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti değerlerinin zamana göre değişimi grafiği.....	58
Şekil 3.15. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik rüzgar hızı, bulutluluk miktarı ve güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi.....	59
Şekil 3.16. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm ²) değerlerinin zamana göre değişimi.....	59
Şekil 3.17. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerde kurutucunun farklı noktalarından alınan ve dış ortamın sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi.....	60
Şekil 3.18. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneyler için iki kurutuma kabininin içinin ve dış ortam neminin zamana göre değişimi	61
Şekil 3.19. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneyler, 100 gramlık çilek numunelerinin zamana göre ağırlık değişimi grafiği.....	62
Şekil 3.20. 3.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi	64
Şekil 3.21. 2.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi	65
Şekil 3.22. 1.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	66
Şekil 3.23. ΔU Termal malzemenin iç enerjisindeki günlük ortalama değişim [kJ] ve kollektör güneş hava sıcaklığı (°C).....	67
Şekil 3.24. Farklı fan hızlarında yapılan deneylerin kollektör verim grafiği.....	68
Şekil 3.25. Farklı fan hızlarında yapılan deneylerin kabin verim grafiği.....	69

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. Türkiye ve Batman ili için çilek üretim alanı, verimi ve üretim miktarının 2018, 2019, 2020 yıllarındaki verileri (TÜİK 2020).....	33
Çizelge 2.1. Salyangoz radyal fan teknik özellikleri.....	39
Çizelge 2.2. Test ve ölçüm cihazları özellikleri.....	43



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$A_{\text{ç}}$: Kollektörün çıkış kesit alanıdır. (m²)

A_{k} : Kollektör, kabin alanı (m²)

C_p : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg.°C)

C_v : malzemenin özgül ısısını [kJ/kg·K]

I_T =Saatlik ışıınım (w/m²)

I : Kollektör, kabin üst yüzeyine ulaşan ışıınım miktarı (W/m²)

m :Depolama malzemesinin kütlesi [kg]

\dot{m} : Kütlesel debi (kg/s)

T_0 =saatlik dış ortam sıcaklığı

$T_{\text{ç}}$ kollektörlerin, kabinlerin çıkış sıcaklıkları

t_e = Güneş-hava sıcaklığı

T_g : kollektörlerin, kabinlerin giriş sıcaklıkları

T_{ort} : Ortalama sıcaklık değeri

T_1 : Başlangıçtaki malzeme sıcaklığı [°C ya da K]

T_2 : Son durumdaki malzeme sıcaklığı [°C ya da K]

V : Havaya ait akış hızı(m/s)

Q_K : Kollektörden, kabin alınabilen kullanılabilir enerji (W)

Q_K : Havaya aktarılan enerji (kWh)

ΔU : malzemenin iç enerjisindeki değişimi [kJ],

ΔT_{ort} : Kollektörden, kabinden çıkan ve giren havanın sıcaklık farkı (°C)

ρ : Havaya ait yoğunluk değeri (kg/m³)

η_{Verim} : Kollektör, kabin Verimi

1. GİRİŞ

Günümüz bilim ve teknoloji dünyasında enerjiye her alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyanın ana enerji kaynağı olan fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Bununla birlikte insan nüfusunun hızlı bir şekilde artması enerji talebini günden güne arttırmaktadır. Artan enerji talebi ve geleneksel enerji kaynaklarının tükenmesi dikkatleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi alanında önemli çalışmalar yapılmaktadır. Birçok ülke gelişen teknolojilere ayak uydurmak, daha iyi teknolojiye ve pazar payına sahip olmak için enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına önem vermektedir. Dünya genelinde ülkeler kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını arttırmaktadır. Fosil yakıtların ulaşım zorluğu, kullanım zorluğu ve çevreye verdiği olumsuz etkiler gibi dezavantajları da yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi olarak sıralanabilir. Diğer enerji kaynaklarının ana kaynağı olarak düşünülen güneş enerjisi; temiz olması, sürdürülebilir olması ve kullanım kolaylığı ile büyük önem taşımaktadır. Güneş enerjisi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elektrik üretimi, sıcak su elde etme, ısıtma, soğutma ve tarımsal ürünlerin kurutulması gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Kurutma, tarımsal ürünlerin uzun süre besin değerini kaybetmeden saklanabilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Nüfus artışı ile gıda arzı arasındaki dengeyi sürdürmek için hasat ve pazarlama sırasında gıda kayıpları en aza indirilmelidir. Tarımsal ürünün kalitesi, miktarı, kötü işleme yöntemleri ve depolama tesislerinin yetersizliği nedeniyle zarar görmektedir. Pek çok gelişmekte olan ülke, tarım cephesinde önemli kayıplar yaşamaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde hasat sonrası meyve ve sebze kaybının toplam üretimin yaklaşık % 30-40'ı olduğu belirtilmektedir. Kurutma, meyve ve sebzeler için önemli saklama tekniklerinden biridir (Lingayat 2020).

Tarımsal ürünlerin açık havada yere serilerek güneş altında kurutulması, çok eski zamanlardan beri kullanılan ve en yaygın olan yöntemdir. Uzun süre ve kontrolsüz yapılan bu yöntem ile ürünlerin içindeki nem doğru bir şekilde dışarı atılamamaktadır. Ayrıca, ürün dış ortamdaki toza yağmura maruz kalmaktadır.

Böcekler, haşereler, mikroorganizmalar ve diğer hayvanların zarar vermesi gibi etkenlere maruz kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı açıkta kurutulan ürünlerde aflatoksin gibi zararlı mikrotoksinlerin üremesi kaçınılmaz olmaktadır. Açık havada kurutma yapılabilmesi için mikroorganizmaların artışı önlemek, ürünün raf ömrünü uzatmak için kükürtleme ön işlemi uygulanmaktadır. Bu da sağlık açısından risk taşımaktadır. Bu dezavantajlardan dolayı ürünlerin teknik metotlarla kurutulması gerekmektedir. Gıda kurutma sistemlerinde kontrollü kurutma yapılması uygun bir yöntem olmaktadır.

Gıdaların sağlıklı bir şekilde kurutulması için son yıllarda kontrollü kurutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda artışlar gözlenmektedir. Kurutma makinelerinde kurutulan ürünlerin toz, böcek ve diğer dış etkenlerden korunması sağlanmaktadır. Kurutma makinelerinde kurutulan ürünlerin son nem içeriğine karar verilebilmekte ve kurutma sıcaklığı belirlenebilmektedir. Bu avantajlardan dolayı geleneksel kurutma yöntemlerinde ortaya çıkan (kurutulan ürünlerin kimyasal yapılarının değişmesi, mikroorganizmaların üremesi gibi) sorunların önüne geçilmektedir. Sağlıksız bir yöntem olan kükürtleme ön işlemine gerek kalmamaktadır. Böylece ürünler uzun süre, sağlıklı bir şekilde muhafaza edilebilmektedir.

Endüstriyel kurutma makineleri uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Endüstriyel kurutma makineleri büyük miktarlarda enerji tüketmekte ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Günümüzde çevre bilinci, enerjinin tasarruflu kullanılması ve enerji verimliliği önem kazanmaktadır. Bu nedenle az enerji tüketen, yenilikçi ve çevreci kurutma makinelerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu doğrultuda en uygun kurutma makineleri, güneş enerjili kurutma makineleri olmaktadır.

Güneş enerjisinden ülkemiz gibi birçok ülkenin, uzun süre yararlanılabiliyor olması ve sistemlere kolay entegre edilebilir olması nedeni ile güneş enerjili kurutma sistemleri önem kazanmaktadır. Fakat güneş enerjili kurutma sistemlerinde, güneş enerjisi kullanımı sadece güneşli saatlerde etkili olmaktadır. Bu yüzden kurutma işleminin sürekliliğinin sağlanması için gündüz güneş enerjisinden sağlanan, sistemde kullanım için fazla olan ısı, termal enerji olarak depolanabilmektedir. Depolanan enerji güneşin etkisinin olmadığı saatlerde sistemde kullanılmaktadır. Bu uygulama ile kurutma işleminin sürekliliğinin artırılmasının yanı sıra sistem içindeki gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkını da düşürmektedir.

Bahsedilen bu sebeplerden dolayı araştırmacılar güneş enerjili kurutucularda kurutma işlemi ve termal depolama sistemleri üzerine birçok çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

1.1. Kaynak Araştırması

Güneş enerjili kurutma sistemleri güneş enerjisinden doğrudan, dolaylı olarak veya her iki sistemi de bulunduran kurutucular mevcuttur. Güneş enerjisinden doğrudan enerjisini alan kurutma sistemleri, cam çatılı güneş enerjili kurutucu, sera kurutucu, etrafında şeffaf örtü olan kutu tipi ve kabin tipi kurutuculardır. Güneş işnımından enerjisini dolaylı olarak alan kurutma sistemleri, doğal ve zorlanmış hava sirkülasyonu olarak iki farklı tiptedir. Doğal hava sirkülasyonuna sahip olanlarda sisteme dışarıdan zorlama olmadan gelen havanın içerdeki nemi alarak baca vasıtasıyla dışarı çıktığı sistemlerdir. Zorlanmış hava sirkülasyonu olan sistemlerde hava sirkülasyonu fan ile sağlanmaktadır. Güneş enerjisinin hem doğrudan hem de dolaylı olarak kullanıldığı kurutma sistemleri, her iki tipin de avantajlarına sahip olmaktadırlar. Termal depolama sistemlerinin genellikle güneş enerjisinden dolaylı olarak faydalanan sistemlerde ve her iki tipin avantajlarına sahip sistemlerin kullanımında daha çok verim sağlandığı görülmektedir. Literatürde bu sistemler ile ilgili çalışmalara sıkça rastlanmaktadır.

Tosun ve ark. (2009), Diyarbakır ili şartlarında domates, biber ve salça kurutmak için tek enerji kaynağı olarak güneşin kullanıldığı bir gıda kurutucusunun performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Gün içerisinde maksimum kurutma miktarını 1,33 gr/dk ile öğle saatlerinde (10:00 ve 15:00 saatleri arasında), minimum kurutma miktarını ise 0,07 gr/dk ile gece saatlerinde tespit etmişlerdir. Mayıs ayı ortalarında yaptıkları çalışmaya göre kurutma süresini 5 gün olarak tespit etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda ilk aşamada küflenmenin oluşmadığını gözlemlemişlerdir. Ürün renginin açık güneşte kurutmaya göre daha iyi görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Kaewkiew ve ark. (2012), biber kurutmak için büyük ölçekli bir sera tipi güneş kurutucusunun performansı araştırmışlardır. Kurutucunun yaklaşık 1.000 kg taze ürün kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kurutucuda üç parti biber kurutmuşlardır. Başlangıç nem içeriği % 74 (wb) olan beş yüz kilogram biber 3 gün içinde nihai nem içeriği % 9 (wb) değerine getirilirken, açık güneşte kurutulmuş numunelerin nem içeriğinin aynı dönemde % 66'ya (wb) düştüğünü tespit etmişlerdir.

Güneş enerjili sera kurutucuda kurutma, açık güneşte kurutma ile karşılaştırıldığında kurutma süresinde önemli azalmalar olduğunu ve güneş sera kurutucuda kurutulmuş ürünlerin rengi doğal güneşte kurutulmuş örneklerden daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Sera güneş kurutucusunun tahmini geri ödeme süresini yaklaşık olarak 2 yıl bulmuşlardır.

Öztürk (2012), güneş enerjisi destekli kurutucuda domates dilimlerinin kurutma parametrelerini incelemiştir. Kurutma sistemi için gerekli olan enerjiyi, güneş kolektörü ve fotovoltaik panelden karşılamıştır. Havanın ısıtılması için kullanılan ısı değiştiricide ve termal depolama malzemesi olarak su kullanmıştır. Kurutucuyu 0.2 m/s sabit hava hızında çalıştırmış ve değişken olarak sıcaklığı kullanmıştır. 40°C, 45°C ve 50°C parametrelerini kullanmıştır. Domates dilimleri 16,39 g su/g kuru madde ilk nem miktarından 0.21 g su/g kuru madde miktarına 6, 7 ve 8.5 saatlerinde ulaşmıştır.

Aktaş ve ark. (2013), güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucuda kivi dilimlerinin kurumasını farklı şartlarda deneysel olarak incelemiştir. 5 mm kalınlığında dilimledikleri kivileri 6 g su/g kuru madde başlangıçtaki nem miktarından 35 °C sıcaklıkta 0,53 g su/g kuru madde, 40 °C sıcaklıkta 0,25 g su/g kuru madde, 45 °C sıcaklıkta 0,14 g su/g kuru madde ve 50 °C sıcaklıkta 0,15 g su/g kuru madde nem miktarlarına kadar kurutmuşlardır. Değişken hava hızlarında (0,1-1,0 m/s), 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C kurutma havası sıcaklığında olan kivileri sırasıyla 8,5 saat, 7,5 saat, 7,5 saat ve 6,5 saatte kurutmuşlardır. Isı pompası performans katsayısını 2,90, tüm sistemin ısı pompası performans katsayısını 2,27 olarak hesaplamışlardır. Dalgalı kanatçıklı havalı güneş kolektörü verimini bütün deneyler için ortalama % 56,7 olarak tespit etmişlerdir. Deneyler sonucunda ortalama kolektör veriminin en yüksek değerini 35 °C bulmuşlardır. Kivi kurutulmasında uygun kurutma havası sıcaklık değerini ise 50 °C olarak belirlemişlerdir. Kivi kurutulması sırasında kurutma süresine etki eden en önemli parametrenin kurutma havası sıcaklığı olduğunu saptamışlardır.

Gültekin (2016), doğal taşınımlı kabin tipi güneş enerjili kurutma makinesinde Şanlı Urfa şartlarında 30-65 °C sıcaklıklarda patlıcanın kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde 500 g olan patlıcanları %92 nem (yaş baz) miktarından %8 nem (kuru baz) değerine getirmiştir. Deneyleri 14.09.2015-29.09.2015 tarihleri arasında üç farklı deneme şeklinde yapmıştır. Birinci denemede patlıcan boyutunun kuruma hızına etkisini araştırmıştır.

Yuvarlak kesilen numuneleri 52 saatte, küçük dikdörtgenimsi parçaları 30 saatte kurutmuştur. İkinci denemede kurutma kabindeki numuneler ile dış ortamda kurutma sehpası üzerindeki numuneleri karşılaştırmıştır. Üçüncü denemede ikinci deneme ile aynı şekilde fakat daha soğuk hava şartlarında yapmış ve ikinci deneme ile karşılaştırmıştır. İkinci ve üçüncü denemede kurutucu içindeki numuneleri 36 saatte kurutmuştur. Kabin içerisinde ve açık havada kurutulan patlıcanların renk analizini yapmış. Kurutma kabinde kurutulan patlıcanların renklerinin daha canlı daha parlak olduğu sonucuna varmıştır.

Rabha ve ark. (2017), gizli ısı depolama ünitesi ile entegre edilmiş, zorlanmış konveksiyon güneş kurutucusunun performansını araştırmışlardır. Kurutma makinesinde 36-60 ° C sıcaklık aralığında 20 kg kırmızı biberi arka arkaya dört gün içinde kurutucuda kurutarak test etmişlerdir. Saat 14:30'dan sonra güneş enerjili hava ısıtıcısının çıkış sıcaklığının, gizli ısı depolama ünitesinin sıcaklığından düşük olması nedeniyle gizli ısı depolama ünitesi ısısını sisteme vermeye başlamıştır. Gizli ısı depolama ünitesi havası sıcaklığının korunmasına ve saat 18:00'a kadar kurutma işleminin sürdürülmesini sağlamıştır. Ayrıca bulut örtüsü sırasında kurutma havası sıcaklığındaki dalgalanmayı azaltmıştır. Başlangıçtaki ortalama nem içeriği % 73.5 (wb) olan biberleri, 4 gün içinde nihai nem içeriğine % 9.7 (wb) indirmişlerdir. Kurutucuyu günlük 10 saat, 8:00-18:00 saatleri arasında çalıştırmışlardır. İlk güneş ısıtıcısının ortalama enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla % 32,4 ve % 0,9, birincisi ile seriye bağlanan ikinci güneş ısıtıcısının ise enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla % 14,1 ve % 0,8 bulmuşlardır. Gizli ısı depolama biriminin enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla % 43.6-49.8 ve % 18.3-20.5 aralığında bulmuşlardır. Kurutma odasının ekserji verimliliği ortalama % 52.2 ile % 24.6 ve % 98.1 arasında bulmuşlardır. Kurutma sisteminin özgül enerji tüketimi ve toplam verimliliği, kg nem başına sırasıyla 6.8 kW s ve % 10.8 bulmuşlardır. Kurutucunun elektrik enerjisi tüketimi kg nem başına 0.7 kW Chillin'in spesifik enerji tüketiminin sadece % 10.3'ü şeklinde tespit etmişlerdir. Bu hibrid kurutucunun, açık güneşte kurutmaya kıyasla biberlerin kuruma süresini % 122,8'ini tasarruf ettirdiğini belirtmişlerdir.

Essalhi ve ark. (2018), termal ısı depolamalı bir kurutucuda ve açık güneş altına üzümün kurutulmasını deneysel olarak incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Üzümlerin ilk nem içeriğinden (%79.8) kurutulması gereken nem içeriğine (%20.2) dolaylı kurutucuda 120 saat, açık güneş altında 201 saat sürdüğünü tespit etmişlerdir.

Chaouch ve ark. (2018), Cezayir'in bir vilayeti olan Adrar'ın iklim koşullarında taze deve etinin kurutulması için, zorlanmış konveksiyon altında çalışan ve çakıl taşlarıyla duyulur bir ısı depolama sistemi ile güçlendirilmiş doğrudan ve dolaylı bir kurutma odasından oluşan bir güneş kurutucusunu deneysel olarak incelemişlerdir. Kurutma deneylerini Temmuz ve Kasım 2017'de gerçekleştirmişlerdir. Çakıl taşı yatağına depolanan ısı, doğrudan kurutma odasının günlük termal verimliliğini, paketli yatak kullanılmadığında % 11,8 daha fazla ve güneş kolektörü için % 28 oranında artırdığını ve gün batımından bir saat sonra verimliliğini koruduğunu tespit etmişlerdir. Dolaylı kurutma verimliliğinin ortalamasını Temmuz ayında ve Kasım ayında sırasıyla % 18.34'e ve % 15.72'ye ulaştığını, doğrudan kurutma verimliliğinin ortalaması ise Temmuz ve Kasım aylarında sırasıyla % 10,35 ve % 7,88'e ulaştığını bulmuşlardır. İstatistiksel parametreler açısından, deve eti dilimlerinin kurutma davranışını en iyi şekilde tanımlamak için çeşitli matematiksel modelleri test etmişlerdir. Logaritmik model ve Midilli-Kucruk modeli sırasıyla Temmuz ve Kasım ayı deneyleri için en uygun modeller olduğunu saptamışlardır.

Cankurtaran (2018), güneş enerjisi destekli bir kurutucuda *Fragaria Ananassa* (Kültür çileği) kurutulması performansına etki eden faktörleri deneysel olarak incelemiştir. Kurutma işleminin, güneş olmadığı zamanlarda da devam etmesi için faz değişim malzemesi olan parafini, ısı depolama amacıyla kullanmış ve depoladığı ısı enerjisi miktarını hesaplamıştır. 3 mm kalınlığında dilimlediği çilekler için ortalama 51 °C sıcaklıkta kurutma süresi 6-8 saat arasında değiştiğini bulmuştur. Deneyler yapılırken sistemin giriş ve çıkış bağıl nem değerleri arasındaki en büyük farkı yaklaşık olarak %6 olarak belirlemiştir. Sistemin diğer kurutma teknolojilerine göre %75 daha düşük enerji tükettiğini belirtmiştir. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli kurutma sistemi ve elektrikli kurutma sistemi için sabit giderleri hesaplamıştır. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli kurutma sisteminin daha hesaplı olduğunu ve kurutma sektöründe yaygın olarak kullanabileceğini belirtmiştir.

Ouaabou ve ark. (2018), Burlat ve Van olmak üzere iki tür Fas tatlı kirazının kurutma kinetiğini incelemek için zorlanmış konveksiyonda çalışan, kısmen dolaylı, 2.5 m² alana sahip bir güneş enerjili kurutucu kullanmışlardır. Tatlı kirazın ince tabakalı kurutma deneylerini Temmuz 2017'de 60, 70 ve 80 ° C'lik üç farklı hava sıcaklığında, 150 ve 300 m³ / s'lik iki kurutma havası akış hızında gerçekleştirmişlerdir.

Kirazların kurutulması işlemlerini 34 ve 40 ° C ortam hava sıcaklığı, % 17–27 bağıl nem ve 200-900W / m² güneş radyasyonu aralıklarında gerçekleştirmişlerdir. İlk nem içeriği Burlat için %82.12'den ve Van için %85.45'ten kuru bazdaki nem içeriğine % 23 ± 3'e (w.b) düşürmüşlerdir. Deneylein sonuçlarından, hava hızının etkisi ile karşılaştırıldığında, sıcaklığın taze kiraz meyvesinin kuruma süresi üzerinde daha etkili olduğunu ve sabit hava sıcaklığında hava hızının artmasıyla, kuruma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. 60 °C'nin altında kuruma süresinin uzun olduğunu ve güneş radyasyonundan faydalanılmadığını belirtmişlerdir. Kuru ürünün rengini, orijinal lezzetini ve besin kalitesini daha iyi korumak için sıcaklığı 80 °C'de sınırladıklarını belirtmişlerdir. 80 °C kurutma sıcaklığı, 300 m³ / s hava hızı, minimum 240 dakika içinde kiraz meyvesi kurutulması için optimum değerler olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kiraz türünün kuruma süresi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Badaoui ve ark. (2019), bir sera güneş enerjili kurutucuda meyve ve sebze işleme tesislerindeki domates atıklarını kurumasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kuruma işleminin 5 saat sürdüğünü ve kurutulan domates atıklarının ilk ağırlıklarının %86'sını kaybettiğini belirtmişlerdir. Deneysel verilere en iyi uyan modeli seçmek için literatürden seçilen 5 yeni evrensel boyutsuz kurutma modelini değerlendirmişlerdir. Test edilen modeller arasında Yeni Model 2 domates atığının kurutma sürecini tanımlamak için en uygun model olduğunu tespit etmişlerdir. Difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisini incelemiş ve belirtmişlerdir.

EL Khadraoui ve ark. (2019), zorlanmış konveksiyonlu bir karma mod güneş sera kurutucuda, Tunus'un kuzeyinde yetiştirilen kırmızı biberlerin kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kırmızı biberin kurutma eğrileri, kullanılan deney koşulları altında sabit oranlı bir kurutma süresi göstermediğini ve mevcut kurutma sisteminin, kırmızı biberin kuruma süresini pratik olarak 7 saat kısalttığını ifade etmişlerdir. Kurutucunun özelliklerini daha iyi anlamak için, aynı koşullarda açık güneşte kurutma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Kuruma süresinin açık güneşte üç gün olduğunu, kurutucuda iki güne düştüğünü tespit etmişlerdir. Kurutma verilerini sekiz farklı matematiksel modele yerleştirmişlerdir. Modeller arasında, kurutucuda kurutma ve açık güneşte kurutma için Modifiye Henderson ve Pabis modelinin biber dilimlerinin ince tabaka kurutma davranışını en iyi şekilde açıkladığını saptamışlardır.

İki kurutma günü boyunca güneş kolektörünün anlık termal verimliliğinin, 0.047 kg / s kütle akış hızında % 30 ila % 80 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Güneş kurutucusunun toplam enerji verimliliğini % 34 olarak bulmuşlardır. Kurutucusunun geri ödeme süresini 1.02 yıl, üründen ürüne değişen geri ödeme süresi kriterini kullanarak hesaplamışlardır.

Atalay (2019), termal enerji depolama ortamına sahip güneş enerjili kurutucusunun enerji ve ekserji tabanlı performanslarını incelemiştir. Termal depolama ortamı olarak paketli yataklı termal enerji depolama sistemini kullanmıştır. Kurutucuda portakal dilimlerinin kurutulmasını deneysel olarak incelemiş ve portakalın kurutma kinetiğini belirlemiştir. Deneysel çalışmaların her birinde, ortalama 10 kg portakal kurutmuştur. Güneşli saatler ve güneşin olmadığı saatlerde olmak üzere bir gün boyunca iki deneysel çalışma yapmıştır. İlk deneyi 10.00-17.00 saatleri arasında güneş enerjisini (termal depolama olmadan) kullanarak yapmıştır. İkinci deneysel çalışmayı, depolanan termal enerjiyi kullanarak 17.00-24.00 saatleri arasında gerçekleştirmiştir. Kurutucusunun portakal dilimlerinin nem içeriğini ilk deneyde % 93.5'ten % 10.28'e ve ikinci deneyde % 10.76'ya düşürdüğünü belirlemiştir. Her iki durum için de toplam faydalı enerji tüketimini sırasıyla 89.892 MJ ve 88.11 MJ olarak tespit etmiştir. Güneşli saatlerde kurutma sistemi için ekserji verimliliği % 50,18 ile 66,58 arasında değiştiğini tespit etmiştir. Depolanan termal enerjinin kullanılması durumunda kurutma işleminin ekserji verimliliğinin de % 54,71 ile % 68,37 arasında değiştiğini tespit etmiş. Termal enerji depolama sisteminin 9.00 ile 17.00 arasında güneş enerjisi ile şarj edildiğini belirtmiştir. Şarj süresi boyunca, yatağın giriş hava sıcaklığı ve ortalama sıcaklığını sırasıyla 55 ° C ve 45 ° C olarak ölçmüştür. Termal enerji depolama sisteminde depolanan termal enerji miktarını 135 MJ olarak belirlemiştir. Deneysel çalışmalar sırasında, depolanan termal enerji miktarının, güneş ışınımının olmadığı zamanlarda bile portakal dilimlerinin kurutulması için yeterli olduğunu gözlemlemiştir.

Zoukit ve ark.(2019), yaptıkları çalışmada, güneş kolektörü ve kurutma odası olmak üzere iki ana bölümden oluşan, hem doğal hem de zorlanmış konveksiyon modlarında, çeşitli hava koşullarında çalışabilen dolaylı güneş kurutucusunun genel davranışını modellemek, herhangi bir mevsim için kurutma odası içindeki sıcaklığı, doğal veya zorlanmış konveksiyonda tahmin etmek için bir Takagi-Sugeno bulanık (TSF) modeli kullanmışlardır.

Farklı hava koşulları için statik ve dinamik özelliklerini belirlemek üzere incelenen kurutucu üzerinde birkaç deneysel test gerçekleştirmişlerdir. Kurutma bölümü içindeki sıcaklığın ölçümlerini bazı çalışma noktalarının çevresinde gerçekleştirmişlerdir. Doğrusal transfer fonksiyonları tespit etmişlerdir. Takagi-Sugeno bulanık (TSF) modeli sistemini, tanımlanmış tüm doğrusal modelleri küresel bir model geliştirmek için birleştirmek için kullanmışlardır. Deneysel belirsizliklerin ve hata yüzdesinin analizinden, geliştirilen TSF modelinin dolaylı güneş kurutucusunun termal davranışını iyi bir doğrulukla tahmin edebildiği sonucuna varmışlardır. TSF modellemesinin uygulanması, tüm güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve hava akışı kombinasyonları için kurutucu davranışının bir tahminini sağladığını belirtmişlerdir. Böylece herhangi bir hava durumu ve herhangi bir çalışma modu (doğal veya zorlanmış konveksiyon) için TSF modelinin kurutma odası sıcaklığını kolay ve doğru bir şekilde tahmin edeceğini ifade etmişlerdir. TSF modeli deneysel verilerle karşılaştırmışlar, başarıyla doğrulandığını belirtmişlerdir. Kurutucunun doğal konveksiyonda çalıştığında RMSE ve % RMSE sırasıyla 0.4 °C ve % 0.81 altında kaldığı, zorlamalı konveksiyonda ise bu belirsizlikler 0.52 °C ve % 1.94 altında kaldığını sonucuna varmışlardır.

Bhardwaj ve ark. (2019), Himalayaların meteorolojik ortamında (30.91 ° N enleminde) hassas ısı depolama malzemesi ve faz değişim malzemesi ile entegreli dolaylı zorlamalı konveksiyon tipi güneş enerjili kurutucuda, *Valeriana Jatamansi* (bir şifalı bitki) kurutmuşlardır. Deneysel olarak incelemişlerdir. Hassas ısı depolama malzemelerini (Demir hurda, çakıl, kum, motor yağı) güneş kolektöründe, faz değişim malzemesini (Parafin RT-42) kurutma odasında kullanmışlardır. Gölgede kurutma, hassas ısı depolama malzemesi ve faz değişim malzemesi olmadan kurutucuda kurutma, faz değişim malzemesi olmadan hassas ısı depolama malzemesi ile kurutucuda kurutma, hassas ısı depolama malzemesi ve faz değişim malzemesi ile kurutucuda kurutma şeklinde dört farklı teknik uygulanarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel kurutma tekniğini de katarak karşılaştırıp değerlendirmişlerdir. Hassas ısı depolama malzemesi ve faz değişim malzemesinin birlikte kullanıldığı tekniğin kullanılan diğer teknikler ile karşılaştırmalarının sonucunda; Ürünün ıslak bazdan (% 89) gerekli nem seviyesine (% 9.85) en kısa kurutma süresinde geçtiğini tespit etmişlerdir. Toplam dehidrasyon oranını en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Biyo-tıbbi bileşiklerde, renkte ve dokuda daha az bozulma meydana geldiğini saptamışlardır.

Hassas ısı depolama malzemesi kullanılmadan güneş kolektörünün ortalama enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla % 9.8 ve % 0.14 iken, hassas ısı depolama malzemesi kullanılarak bu değerlerin sırasıyla % 26.10 ve % 0.81'e yükseldiğini saptamışlardır. Toplam kurutma verimliliğinin geleneksel kurutmadan neredeyse üç kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, kurutucunun Himalaya Bölgesi'nin özel koşulları altında bitkilerin kaliteli kurutulması için teknik, sosyo-ekonomik ve çevresel olarak uygun olduğunu saptamışlardır.

Vásquez ve ark. (2019), tarımsal ürünlerin kurutulması için termal enerji depolama sistemine sahip, dinamik bir güneş enerjili kurutucunun termal depolama ünitesinde faz değişim malzemesi olarak parafin kullanmışlardır. Modeli, sayısal sonuçların her bir bölüme (güneş paneli, güneş akümülatörü ve kurutma odası) karşılık gelen deneysel verilerle karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Vijayan ve ark. (2020), hassas ısı depolama ortamına sahip, düşük maliyetli, dolaylı zorlamalı konveksiyon tip bir güneş kurutucusunda acı kabak dilimlerini kurutmuş ve deneysel olarak incelemişlerdir. Havanın kütle akış hızının ekserji ve kuruma işlemini başlatma verimliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çevresel etki analizini yapmışlardır. Kütle akış hızı oranındaki artışın kuruma işlemini başlatma ve ekserji verimliliğinde artışa yol açtığını saptamışlardır. Çevresel etki analizi sonucu, geliştirilen sistemin; geri ödeme süresinin 2.21 yıl olduğunu, CO emisyonunun azaltılması ile kazanılan karbon kredi değerleri 10894 ile 43576 INR aralığında olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca sistemin diğer kurutucularla karşılaştırıldığında en iyi alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Vengsungle ve ark. (2020), Tayland'da kış sezonunda Ganoderma kurutması için otomatik kapalı devre kontrol sistemine sahip, fotovoltaiik havalandırmalı, karışık modlu sera güneş kurutucusunun termal performansını incelemişlerdir. Aynı güneş radyasyonu için dört kurutma koşulu gerçekleştirmişler ve geleneksel açık güneşte kurutma ile karşılaştırmışlardır. Deneyleleri 30 °C ile 40 °C arasındaki dış sıcaklıklarda (Yöntem IV) yapmışlar. Sera güneş kurutucusunun içindeki hava sıcaklığı I, II ve III yöntemleri için sırasıyla 30 °C, 45 °C ve 30 °C ile 52 °C, 30 °C ve 48 °C arasında değiştiğini bulmuşlardır. Yöntem II'den elde edilen bağıl nem sırasıyla yöntem I, yöntem III ve yöntem IV'ten % 1.23, % 4.63, % 20.56 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Kurutma havası sıcaklığının saat 12.00'de maximum değerine ulaştığını saptamışlardır. Yöntem II'de kurutma havası sıcaklığının diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Azaizia ve ark. (2020), faz değişim malzemesi olan parafinin kırmızı biber kurutma verimliliği üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyle termal depolama ünitesi olan, olmayan ve açık güneş altında olmak üzere üç ayrı sistemde yapmışlardır. Araştırmacılar parafinli bölümün sıcaklığının tüm gece boyunca yaklaşık olarak 7.5 °C kadar diğer iki sistemden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Gün batımından sonra parafinli bölümdeki bağıl nemin yaklaşık olarak %18.6 daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Nem içeriği parafinli kurutucu için 30 saatte % 95 etkili bir azalmaya sahipken, parafin içermeyen kurutucuda 55 saat ve açık güneşte 75 saat sürdüğünü tespit etmişlerdir. Uygun bir kurutma denklemi seçmek için kurutma verilerine on ince tabaka matematiksel model yerleştirmişlerdir. Midili ve ark. Hem parafinli güneş serasında, hem parafinsiz güneş serası hem de açık güneş kurutucu için iki terimin sırasıyla en iyi modeller olduğu bulmuşlardır.

Lingayat ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada dolaylı tip güneş enerjili kurutucuların özelliklerini ve faydalarını araştırmak amacıyla; farklı kurutucuların tasarımları, yapı detayları ve modellerin performans değerlendirmelerini incelemiştir. Farklı dolaylı tip güneş kurutucularının (ITSD) literatür verilerini tartışmışlar ve duyulur, gizli ısı depolama sistemli dolaylı tip güneş kurutucularını gözden geçirmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile yaygın olarak kullanılan farklı tipte güneş kurutucularının bir sınıflandırmasını sunmuşlar ve dolaylı tip güneş kurutucuları üzerindeki ısı transferinin iyileştirilmesini gözden geçirmişlerdir. Literatür araştırması sonucunda; kuruma hızını etkileyen en baskın parametrelerin hava sıcaklığı ve hızı, güneş radyasyonu, ürün tipi, başlangıçtaki nem içeriği ve toplam ürün kütlesi olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutma havasının sıcaklığı ve hızının ürünün kalitesini etkilediğini, farklı ürünler için farklı kuruma süresi olduğunu saptamışlardır. Kurutucu tiplerinden çift geçişli veya üçlü geçişli zorunlu konveksiyon dolaylı tip güneş enerjili kurutucu ve reflektörlü toplayıcının daha iyi performans sağladığını tespit etmişlerdir. Termal enerji depolama ünitelerinde, hassas ısı ve gizli ısı depolama malzemelerinin kullanılmasının gün batımından sonra da kurutmanın sürekliliğini sağladığını tespit etmişlerdir.

Kurutucu seçiminin, güneşe maruz kalma, ortam sıcaklığı, kurutma havasının hızı, nem, ürün tipi, üründeki nem içeriği, ürünün kalitesi vb. parametrelere bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

1.2. Tezin Amacı

Güneş enerjisinden sadece gündüz saatlerinde faydalandığından güneş enerjisi kesintili bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin kesintili olması sebebi ile güneş enerjili sistemlerde sürekliliğin sağlanması için enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Termal enerji depolama sistemlerinin güneş enerjili kurutucularda kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Termal enerji depolama sistemlerinin güneş enerjili kurutucularda kullanılmasının enerji verimliliği açısından fayda sağlamanın yanında kurutma havası sıcaklık değişimleri arasındaki farkı düşürmesi sebebiyle kurutma kalitesini arttırmaktadır.

Ülkemizin geleneksel ihraç kuru meyveleri olan kuru kayısı, kuru üzüm ve kuru incir yaygın bir şekilde üretilmektedir. Ekonomik değeri yüksek olan çilek kurusu üretiminin yaygınlaştırılmasıyla bunlara ek dördüncü kuru meyve olarak ülke ekonomimize katkı sağlayacaktır. Çilek ülkemizde birçok bölgede yetiştirilmektedir. Bu nedenle ülkemizde kuru çilek üretiminin yaygınlaştırılması mümkündür. Ülkemizdeki birçok şehir gibi Batman'da da son yıllarda çilek üretimi konusunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Batman Sason ilçesinde yetiştirilen Sason Çileği kurutulması konusunda adımlar atılmıştır. Sason Çileği yılın üç mevsiminde hasat edilmektedir. Hasat hava durumuna bağlı olarak Mart, Nisan aylarında başlayıp Kasım, Aralık aylarına kadar devam etmektedir. Eylül ayından sonra geleneksel yöntemle kuruma genellikle gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle kurutucularla kurutma işlemi yapılabilmektedir. Bu tezde amaç Batman İli şartlarında, Ekim ayında, güneş enerjili bir kurutucunun termal depolama ünitesinde, bir ısı enerjisi depolama malzemesinin kullanılmasının, Sason Çileği kurutulmasında kurutma parametrelerinin incelenmesidir.

Bu çalışmada, farklı büyüklüklerde taşlar ile metal parçaları karışımı şeklinde bir ısı enerjisi depolama malzemesi olarak oluşturulmuş ve bu malzemenin etkisi güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olarak faydalanan bir kurutma sisteminin termal depolama ünitesinde Batman ili şartlarında deneysel olarak incelenmiştir.

Gündüz saatlerinde kolektörlerden elde edilen ısı enerjisinin fazlası bu malzemede depolanarak, güneşin etkisinin olmadığı saatlerde depolanan enerji kurutma sistemi tarafından değerlendirilmiştir. Bu işlemler gerçekleşirken kurutma sisteminde Sason çileği kurutularak kuruma karakteristiği belirlenmiştir.

1.3. Kurutma

Tarımsal ürünler bir süre sonra işlem görmezse çürümektedir. Bu ürünlerin bulunduğu çevresel koşullar, ürünün içeriğindeki su, mikroorganizmaların gelişmesine sebep olmaktadır. Tarımsal ürünlerin uzun süre besin değerini kaybetmeden saklanabilmesi ve hasat sonrası ürün kayıplarını azaltmak için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de kurutmadır. Kurutma ürünlerin içindeki suyun, mikroorganizmaların gelişemeyeceği ve kimyasal bozulmaların olmayacağı su oranına düşürülmesidir. Kurutmanın avantajları;

- * Tarımsal ürünler uzun süre besin değerini kaybetmeden muhafaza edilmektedir.
- * Tarlalarda hasat edilmeden kalan ürünlerin değerlendirilmesi sağlanmaktadır.
- * Depolama ve taşıma maliyeti düşmektedir.
- * Kuru meyve ve sebzelerin ekonomik değeri yaş meyve ve sebzelere göre çok daha yüksektir

Kurutma işlemi, nemin üründen eşzamanlı olarak ısı ve kütle transferi ile uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma havasından ürüne ısı akışı olurken, üründen kurutma havasına ürünün içindeki nem taşınmaktadır. Bu işlemde kurutulacak yaş ürünün içeriğinde bulunan sıvının, buharlaşması için gerekli ısı verilerek sıvının buhar fazına geçmesi sağlanır, buharlaşan sıvı ürün yüzeyine geçer ve ürün yüzeyinden de kurutma havasına geçerek uzaklaşmaktadır. Gıda kurutma işleminde ısı ve kütle transferi gözenekli ortamda gerçekleşmektedir.

1.3.1. Gözenekli Ortam

Gözenekli ortam, gaz veya sıvı ile doldurulmuş boşluğa (gözeneğe) sahip katı anlamına gelmektedir. Genel olarak gözeneklerin çoğu birbirine bağlıdır, böylece gözenekler yoluyla kütle ve ısının taşınması mümkün olmaktadır. Bu genellikle katı matristen daha hızlı bir taşıma süreci olmaktadır. Gözeneklilik, boşluğun hacim fraksiyonunu ifade etmektedir.

Kayalar, topraklar, bitki ve hayvan dokuları, kağıt ve diğer ambalaj malzemeleri, depolanmış tahıllar ve soğuk hava deposunda paketlenmiş gıdalar gibi çok çeşitli malzemeler gözenekli ortam olarak incelenebilmektedir. Gözenekli ortam kavramı çok geneldir. Biyolojik bir membranda olduğu gibi nano gözeneklere kadar, bir süngerde olduğu gibi makro gözeneklere sahip olabilmektedir (AK Datta 2007).

Gıda sistemlerinde, ısı ve kütlenin gözenekli ortam yoluyla taşınması muazzam bir süreç olarak görülebilmektedir. Örnek olarak ekstraksiyon (Schwartzberg & Chao,1982), kurutma, kızartma, mikrodalgada ısıtma, et kavurma, kahvaltılık tahılların rehidrasyonu (Machado, Oliviera, Gekas ve Singh, 1998), fasulye (örneğin, Hsu, 1983) ve kurutulmuş sebzeler (Sanjuan, Simal, Bon ve Mulet, 1999) verilebilmektedir. Çok çeşitli gözenekliliklere sahip özel yapım gözenekli yapılar oluşturmaya yönelik metodolojilere yönelik çalışmalar yapılmıştır (Rassis,Nussinovitch ve Saguy, 1997). Çoğu katı gıda maddesi higroskopik ve kılcal gözenekli olarak işlenebilmektedir (AK Datta 2007).

Gıda sistemlerindeki gözenekli ortam farklı ölçekleri kapsamaktadır. Gıda sistemlerinde taşıma süreçlerini modellemek amacıyla, gözenekli ortam büyük gözenekleri ve küçük gözenekleri içeren iki genel gruba ayrılabilir. Büyük gözeneklerde sıvı akışı çoğunlukla katının dışında olmaktadır. Bunun bir örneği, portakal ve çilek gibi istiflenmiş dökme ürünlerin soğutulmasıdır. Bu durumda sıvı akışı, bu istiflenmiş sistemlerin boş alanlarından geçer. Diğer grup, akışın katının içinde olduğu (gözeneklerin küçük olduğu) durumlardan oluşmaktadır. Bunun örneği kurutma, kızartma ve mikrodalgada ısıtma gibi birçok gıda işleminin katı içindeki nem taşınmasını içermektedir (AK Datta 2007).

Gözenekli ve kılcal gözenekli malzemeler, açıkça tanımlanabilir bir gözenek boşluğuna sahip olanlar olarak tanımlanabilmektedir (Vanbrakel, 1975). Gözenekli ortam örnekleri arasında silika jel, alümina ve zeolitler bulunurken, kılcal gözenekli ortam örnekleri arasında kas, ahşap, kil, tekstil ürünleri, kum ve bazı seramikler bulunmaktadır. Gözenekli ve kılcal gözenekli arasındaki fark, gözeneklerin varlığına ve boyutuna bağlı olmaktadır. Gözenekli malzemeler gözenek çapı 10^{-7} m'den büyük veya ona eşit olanlar ve kılcal gözenekli malzemeler, gözenek çapı 10^{-7} m'den az olanlar olarak tanımlanmaktadır. Bruin ve Luyben, 1980, Toei, 1983, çoğu gıda malzemesini aynı zamanda adsorptif olan kılcal-gözenekli malzemeler olarak işlemişlerdir; burada kılcal emme kuvveti ve yüzeme, su tutma mekanizmaları olmaktadır.

Kılcal gözenekli veya gözenekli malzemelerde (bunlar yapısal malzemelerdir), suyun taşınması gözeneksiz malzemelere göre daha karmaşık bir olay olmaktadır. Moleküler difüzyona ek olarak, gözenekli ve kılcal gözenekli malzemelerdeki su taşınması, Knudsen difüzyonunun (molekülün ortalama serbest yolu gözenek boyutuna kıyasla nispeten uzun olduğunda moleküler difüzyon), yüzey difüzyonu (Jaguste & Bhatia, 1995) kılcal akış ve tamamen hidrodinamik akıştan kaynaklanabilir (AK Datta 2007).

Higroskopik olmayan malzemelerde, gözenek boşluğu, malzeme tamamen doymuşsa sıvı ile, tamamen kuruyrsa hava ile dolu olmaktadır. Fiziksel olarak bağlı su miktarı ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Böyle bir malzeme ısıtma sırasında küçülmemektedir. Higroskopik olmayan malzemelerde, buhar basıncı yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonu olmaktadır. Higroskopik olmayan kılcal gözenekli malzemelerin örnekleri kum, polimer parçacıkları ve bazı seramiklerdir. Malzemelerin higroskopik olmayan malzemelerle taşınması, higroskopik malzemelerdeki gibi herhangi bir ek komplikasyona neden olmamaktadır (AK Datta 2007).

Higroskopik malzemelerde, büyük miktarda fiziksel olarak bağlı su vardır ve malzeme genellikle ısıtma sırasında büzülmemektedir. Bu malzemelerde, altında iç buhar basıncının nem seviyesi ve sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu ve saf sudan daha düşük olduğu bir nem doygunluğu seviyesi vardır. Bu ilişkilere denge nem izotermi denir. Bu nem doygunluğunun üzerinde, buhar basıncı yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonudur ve nem seviyesinden bağımsızdır. Bu nedenle, belirli nem seviyesinin üzerinde tüm malzemeler higroskopik davranmamaktadır (AK Datta 2007).

Suyun higroskopik malzemelerle taşınması karmaşık olabilmektedir. Su çıkarıldıkça, bağlı olmayan su, sonunda çıkarılması daha zor olan föniküler ve sarkaç hallerinde (McCabe & Smith, 1976)olabilmektedir. Bağlanmamış su çıkarıldığında, hala önemli miktarda bağlı su kalmaktadır. Bu bağlı su, katı matris içinde aşamalı buharlaşma ile giderilmektedir. Su buharı katı içinden difüzyon ve basınçla tahrik edilmektedir (AK Datta 2007).

Gözenekli bir ortamda nakil birkaç farklı mekanizmaya bağlı olabilmektedir. Öncelikle üç mekanizma ele alınır. Moleküler difüzyon (gazlar için), kılcal difüzyon (sıvılar için) ve konveksiyon (basınçla çalışan veya Darcy akışı). Bu üç mekanizma, gıdanın gözenekli bir ortam olarak işlenmesi, yiyecek içindeki su, buhar, hava ve diğer bileşenlerin taşınması mekanizmalarıdır (AK Datta 2007).

Kılcal akış, sıvı moleküllerinin birbirlerine ve katı moleküller için olan göreceli çekimleri arasındaki farktan kaynaklanır. Bunun bilindik bir örneği, küçük kesitli açık bir tüpte suyun yükselmesidir. Yarıçap çok küçük hale geldikçe kılcal yükselme önemli ölçüde artar. Kılcallık ve diğer kuvvetler, örneğin gıda dokusunun yerçekimi tarafından tamamen boşaltılmamasının veya tüm suyunun buharlaşmadan kaybolmamasının nedenidir. Gözenekli katı bir gıdada, sıvı daha az olduğunda, yani daha düşük konsantrasyonlarda çekilecek veya daha sıkı tutulacaktır. Tersine, daha fazla olduğunda sıvı daha az sıkı tutulacaktır. Kılcal çekimdeki farklılıklar nedeniyle, sıvı akışı, katı içinde daha fazla suya sahip konumlardan daha az suya sahip konumlara, yani, yüksek konsantrasyondan daha düşük su konsantrasyonunadır. Bu, doymamış akış olarak adlandırılır ve gıda işlemede, örneğin gıda maddelerinin kurutulmasında son derece önemlidir (AK Datta 2007).

Özel durum (AK Datta 2007):

1-Gözenekli ortam neredeyse doymuş, katı sıvıya neredeyse doyduğunda, gözeneklerin tamamen suyla dolu olduğu çok ıslak yiyeceklerde olduğu gibi, kılcal basınç çok küçük olabilmektedir.

2-Gözenekli ortam oldukça doymamış, katı çok doymamış olduğunda (birçok kurutma uygulamasında olduğu gibi), kılcal basınç o kadar büyük olabilir ki, gaz basıncına kıyasla baskın kuvvet olmaktadır. Bu koşullar altında, suyun kılcal damarlardan ve diğer çekici kuvvetlerden bağlanması nedeniyle yalnızca negatif kılcal basınca sahip olmaktadır.

1.3.2. Bağlı Nem

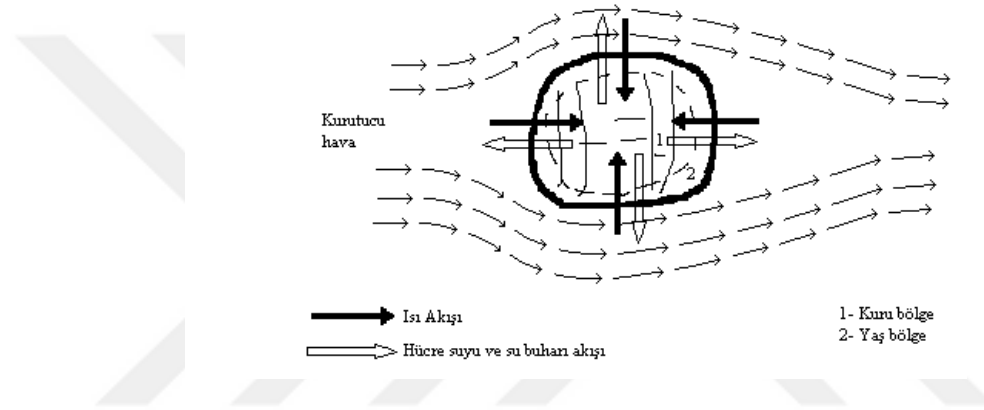
Bağlı nem, mutlak nemin maksimum neme oranının yüzdelik cinsinden değeridir. Sıcaklık ve bağlı nem ters orantılıdır.

1.3.3. Tarım Ürünlerinde Kurumanın Oluşum Kuramı ve Kurumanın Evreleri

Kurutmada amaç, kurutulacak ürünün içeriğindeki suyun buhar fazına getirilip sonrasında buharın üründen uzaklaştırılmasıdır. Suyun sıvı fazdan buhar fazına geçebilmesi amacıyla buharlaştırma gizli ısı ölçüsünde ısı verilmelidir. Buharlaştırma gizli ısı, normal sıcaklıklarda bir gram suyun buharlaştırılması için yaklaşık olarak 2.5 kJ kadardır.

Ürüne bu ısıyı vermek için kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon ısı transfer yöntemleri ve di-elektrik ısıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Buharlaştırma gizli ısı kadar ısının verilmesi esnasında ısı transfer yöntemlerinden bir tanesi ya da birkaç tanesi etkili olabilmektedir. Hava akımıyla yapılan kurutma işleminde konveksiyon ile ısı yayımı daha etkin olmaktadır (Doğantan, 1986).

Şekil 1.1.' den anlaşılacağı üzere ısıtma yönteminde, ısı ürün dokusunun dışından hücrelerine doğru iken, buharlaşan su hücrenin dışına doğru akmaktadır. Di-elektrik yöntemiyle ısı transferi ise bu yöntemin tersi olup, ısı akışı ürün içerisinden dışına doğru olmaktadır.

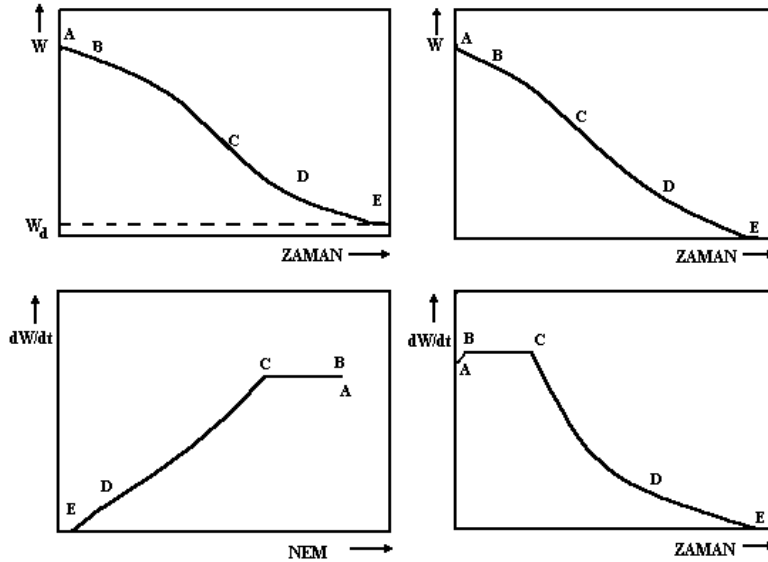


Şekil 1.1. Ürünün hücresinde ısı ve suyun kuruma esnasındaki hareket yönleri çizimi (Doğantan, 1986).

Kurutulması için yeterli ısıya sahip bir ortama bırakılan nemli bir ürün kuruma sürecinde genellikle üç kuruma evresine sahip olmaktadır. Bu evreler ısınma, sabit kuruma hızı ve azalan kuruma hızı evreleri şeklindedir (Doğantan, 1986). Bir ürünün kuruma sırasında nemliliğinde olan değişim Şekil 1.2. 'de verilmektedir. Şekillerde AB ile belirtilen ısınma evresinde, ürün sıcaklığı kurutma havası sıcaklığı ile dengeye ulaşmaya dek sürmektedir. Ürünün kalınlığı düştükçe ısınma evresi boyunca oluşan nem kaybı göz önünde bulundurmazacak düzeyde azalmaktadır (Doğantan, 1986).

Şekillerde BC çizgisi ile gösterilen bölüm sabit kuruma hızı evresidir. Sabit kuruma hızı evresinde ürün üzerinde ince bir su tabakası olması sebebiyle öncelikle bu tabaka buharlaşmaya başlamaktadır. Bu durum durgun su üzerinden serbest buharlaşmaya benzemektedir. İlk başta buharlaşma çok hızlı olurken, bir müddet sonrasında yüzeyinin hemen üzerinde oluşan buhar tabakası sebebiyle yavaşlamaktadır. Kurutma işleminin sürmesi amacıyla bu buhar filminin, Şekil 1.2.' de görüldüğü gibi hareket halindeki hava akımıyla dağıtılması ve taşınması gerekmektedir.

Şekilde belirtilen C noktası, sabit hızdaki kurumanın son bulunduğunu göstermektedir. C noktasındaki nemin “kritik nem” olduğu bilinmektedir. Kurutma eğrilerinde C noktasının görülmesi için ürün başlangıç neminin kritik nem değerinden yüksek değerde olması gerekmektedir. Meyve ve sebzelerde genellikle sabit kuruma hızı evresi çok kısa sürmektedir (Doğantan, 1986).



Şekil 1.2. Kurutma işleminde karakteristik kuruma eğrileri (Doğantan, 1986)

Şekilde görülen CDE eğrisi, sabit hızdaki kuruma evresinden sonra başlayan azalan hızda kuruma evresini belirtmektedir. Bu evrede buharlaşma ürün içinden başladığından dolayı su ürün yüzeyine difüzyon ile çıkmaktadır. Ürün yüzeylerine yakın olan bölümler, kapılar etkiyle yüzeye nemi aktarmalarının yanında doğrudan da yüzeye nemi aktarmalarından dolayı iç katmanlara kıyasla daha fazla su kaybetmektedirler. Bu nedenle ürün dış yüzeyinde kabuk bağlama, buruşma, çatlama ve yarıma görülmektedir. Bu kuruma evresinde kuruma süresi uzadıkça, birim zamandaki buharlaşan nem miktarı azalmaktadır. Bunun için bu evreye azalan hızda kuruma evresi denilmektedir. Bu evre nem uzaklaşması sona erinceye dek (E) sürmektedir. Birinci azalan hız evresi durumunda, hem yüzeyden serbest buharlaşma hem de iç bölümlerdeki buharlaşan suyun hareketinin etkin olduğu görülmektedir. CD arası bölüm bir geçiş aşamasını belirtmektedir. Bu bölümde hava hızı, nem ve sıcaklık etkindir. İkinci bölümdeki kuruma hızı, tümüyle içsel nem hareketine bağlıdır. Bu bölüm (DE) denge nemine ulaşıncaya dek sürmektedir (Doğantan, 1986).

1.3.4. İnce Tabaka Kuruma Kuramı

Bu kavram, kurutulacak ürünlerin serilme tabakasının bu ürünlerin bir tanesi kalınlığında olacak şekilde serilmesi ile sağlanan kuramsal bir ürün tabakası ifade eder. İnce tabaka kavramı ile kurutma havası bu tabakadan geçerken nem ve sıcaklık değerlerinde bir değişiklik olmadığını kabulü yapılabilmesini sağlamaktadır (Hall, 1980).

1.3.4.1. Sabit Hızda Kuruma Evresi

Ürünün içerdiği nemin kritik nem değerinden fazla olduğu durumda sabit hızda kuruma evresi görülebilmektedir. Sabit hızla kuruma evresi boyunca bazı ön kabuller vardır. Bunlar;

- Ürünün yüzey sıcaklığının, kurutma havası yaşı termometre sıcaklığına eşit olduğu,
- Ürünün yüzeyinin ince bir su filmiyle kaplı olduğu,
- Ürünün yüzeyindeki buhar basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit olduğu,
- Kuruma hızının, ürünle ilgili unsurlardan etkilenmediği,
- Kuruma hızının, kurutma havası sıcaklığından, bağıl neminden ve hızından etkilendiğidir (Yağcıoğlu, 1999).

Bu kabullerden, sabit hızla kuruma evresinde buharlaşan suyun aynı şartlardaki serbest su yüzeyinden buharlaşan su miktarına eşit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Fakat yapılan gözlemler, bu evrede üründen buharlaşan suyun serbest su yüzeyinden buharlaşandan %30 daha az olduğunu göstermektedir (Yağcıoğlu, 1999).

1.3.4.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi

Kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi azalan hızla kuruma evresinde sabit hızla kuruma evresine kıyasla daha karmaşık olmaktadır. Bu evrede sadece ürünün yüzeyinden konveksiyon ile ısı ve kütle transferi olmamaktadır. Azalan hızla kuruma evresinde ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonu da dikkate alınmalıdır (Brooker, Arkema, Hall, 1974).

1.3.5. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı

Kuruyan ürün tabakasının kalınlığı ince tabaka kalınlığını aştığı durumda, ince tabaka kuruma kuramı için geliştirilen denklemler yetersiz kalmaktadır. Bu durumun en önemli sebebi kalın tabakaya sahip üründen geçerken kurutma havası özelliklerinin durmadan değişmesidir. Kalın tabaka biçimindeki ürün kitlesinin kurummasına yönelik geliştirilen metodlar, ürün tabakasının hareketli ve hareketsiz olma durumuna göre de değişiklik göstermektedir (Brooker, Arkema, Hall, 1974).

1.3.6. Kuruma Hızını Etkileyen Unsurlar

Isı ve kütle transferlerini etkileyen faktörlere bakılarak kuruma hızı incelenir. Bu faktörlerin başlıcaları (Van Arsdel ve Copley, 1963), sıcaklığın derecesi, havadaki nem, kurutucudaki hızı, kurutulacak ürünün parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vs. gibi fiziksel faktörler ile kurutulan ürünün ilkin bileşimi olmak üzere kendine has özellikleridir.

Kuruma hızına etki eden unsurların en önemli olanları kurutulan ürünün kendine has özellikleridir. Bu özellikler kuruma süresince değişkendir. Bilhassa ürünün kimyasal bileşimi önem taşımaktadır. Şeker, tuz benzeri küçük moleküllü eriyik maddeler bakımından zengin bir ürün bu maddeler bakımından daha fakir bir ürün ile kuruma bakımından karşılaştırıldığında eriyik madde cinsinden zengin olan ürün daha zor kurur (Van Arsdel ve Copley, 1963). Çözülmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürmesi ile suyun buharlaşması zorlaşmaktadır. Kurutma ortamında yağın olması kuruma hızını kısıtlayan önemli bir faktör olmaktadır. (Van Arsdel ve Copley, 1963). Ürünün bileşimi suyu bağlama gücüyle de ilişkili olmaktadır. Bünyesinde nişasta, pektin gibi maddeleri fazla bulundurarak oluşturulan kolloidal jel içinde tutulan su ise daha güç uzaklaşmaktadır. Hidrat formunda kimyasal bağlı su ise en zor uzaklaştırılan sudur. Böylelikle kuruma hızına, ürün bileşiminin suyu bağlama şekli yönüyle etki ettiği görülmektedir. Sebze ve meyveler hücrelerden oluşan doğal dokular olduğundan dolayı su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunmaktadır. Hücreler arasındaki suyu üründen ayırmak daha kolaydır. Fakat hücre öldüğünde hücre zarı geçirgenliği artmakta ve hücre içerisindeki suyun uzaklaşması kolaylaşmaktadır. Eğer ürün dokusu haşlanmışsa geçirgenliği çok hızlanır. Haşlanmış ürünlerin daha hızlı kuruması bu nedenledir (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kuruma hızı ürün parçacıklarının yüzey alanıyla doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır.

Bu sebeple kurutulacak ürünler küçüldükçe yüzey alanı artacak, kalınlığı azalacağından kuruma hızı artmaktadır. Sıvı ve ezme halindeki ürünlerin, küçük parçacıklar haline getirildikten sonra, püskürtülerek kurutma tekniğinde birkaç saniyede kurutulabilmesi bu sebeptendir (Toraman, 2015).

Kurutulan ürün parçalarının büyüklüğünün, kuruma hızında önemli etkisi olmasına rağmen, sebze ve meyve gibi ürünlerde kuruma başlangıcında büyük ve daha küçük parçalar halinde olanlar arasında kuruma hızı yönüyle belirgin bir fark görülmemektedir. Fakat kuruma hızı zaman geçtikçe parça büyüklüğüne göre önemli miktarda değişmektedir. Özellikle azalan hızla kuruma evresinde büyük parçalarda iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonu zorlaşır ve kuruma hızı düşer. Parça büyüklüğünün bu olumlu etkisi nedeniyle kurutulacak meyve ve sebzelerin küçük parçalar halinde doğranması faydalıdır. Fakat tüketim alanı yönüyle bazı ürünlerin bütün halinde kurutulması gerektiği gibi doğranan ve kıyılan ürünlerde de belli bir büyüklük beklenmektedir (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kuruma hızını etkileyen önemli unsurlardan biri de kurutma havasının kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Kurutma havasının sadece kuru termometre sıcaklığı değeri genelde önemli bir anlam ifade etmemektedir. Sıcaklık derecesi ne olursa olsun iki termometre dereceleri arasında fark olmayan havanın, kurutmaya hiçbir etkisi yoktur. Kuruma hızı iki termometre dereceleri arasındaki farkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu etki kurutmanın başlangıcında çok belirgin olsa da kuruma devam ettikçe iki termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı aynı oranda artmamaktadır. Ayrıca iki termometre sıcaklıkları arasındaki farkın sabit olması koşuluyla kurutmanın başlangıcında havanın kuru termometre sıcaklığı yükselince, kuruma hızında herhangi bir değişim olmazken sonraki aşamalarda artış olmaktadır. Kuruma işleminin ileri ki aşamalarında kuruma hızını kısıtlayıcı etken, iç tabakalardaki suyun ürün yüzeyine difüzyon hareketidir. Bu difüzyon olayı sıcaklık arttığında hızlanmakta ve bununla beraber kuruma hızı artmaktadır (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kurutma işleminde kurutucudaki hava hızı, kuruma hızını etkileyen başka bir faktördür. Kuruma hızı hava hızı arttıkça yükselmektedir. Kurutulmuş ürünün yüzeyinde kuruma esnasında her zaman durgun bir buhar filmi oluşmaktadır. Bu buhar filminin durmadan uzaklaştırılmasıyla suyun buharlaşması hızlanır. Kurutma havasının hızı bu buhar filmini sürekli olarak sürüklemesiyle kuruma hızı artmaktadır.

Fakat bu etki belli bir hava hızına ulaşıncaya kadar görülür. Öteki yandan hava hızının pozitif etkisi, kurumanın bulunduğu evreye göre değişir. Hava hızı kurumanın başlangıç aşamalarında çok etkili olsa da kurmanın ileri ki aşamalarında kuruma hızı, alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından dolayı hava hızının yüksek olmasının kuruma hızına bir etkisi olmamaktadır (Van Arsdel ve Copley, 1963).

1.3.7. Kurutma Sırasında Isı ve Kütle Geçişi

Yaş bir ürünün kuruması sırasında, hem ürünün içinde hem de kurutma ortamının ürün yüzeyine değdiği sınır tabakada, sürekli olarak ısı ve kütle iletimleri meydana gelir. Bu ısı ve kütle iletimleri, genel olarak, kuruyan ürünün iç şartları ile ürünün dışındaki kurutma ortamına ait çeşitli şartlardan etkilenir. Kurutma işlemi üzerinde etkili olan bu şartların etkinlik değerleri, kuruma evresine göre değişebilir (Yağcıoğlu, 1999). Örnek olarak, sabit hızla kuruma evresinde ısı ve kütle iletimleri, esas olarak, ürün yüzeyindeki sınır tabakanın iletim özelliklerine bağlıdır. Halbuki azalan hızla kuruma evresinde, öteki etkenlere ek olarak, ürünün iç yapısının ilettime gösterdiği direnç de önemli bir etken olarak ortaya çıkar.

Tarım ürünlerinin kurutulmasında ürün yapısından ayrılacak nemin öncelikle ürünün yüzeyine ulaşması gerekir. Ürün yapısında bulunan nemin ürün içinde yüzeye doğru ilerlemesini sağlayan birçok faktör vardır. Bu faktörlerin önemlileri arasında (Yağcıoğlu, 1999);

Kılcal borulardaki suyun hareketi,

Kuruma esnasında ürünün büzülmesi ve bu nedenle ortaya çıkan sıkışmanın hızlandırdığı nem akışı,

Nem ve sıcaklık konsantrasyonu farkına bağlı olarak oluşan nem difüzyonu,

Ürünün yüzeyinden çevreye olan buhar ve su difüzyonu,

Ürünün yüzeyinden daha alt katmanlarda oluşan buharlaşmanın etkisi ile meydana gelen gaz difüzyonu,

Ürünün bünyesindeki buhar basıncı ile çevre havasının kısmi buhar basınçları arasındaki fark,

Kurutma ortamı havasının sıcaklığı, bağlı nemi ve basıncı sayılabilir.

Kurutma işlemleri esnasında gerekli ısının kurumakta olan ürüne iletimi sırasında, konveksiyon, kondüksiyon, ışıma ve elektromagnetik enerjinin hacimsel soğurulması (absorbisyonu) yöntemlerinden biri ya da birkaçından beraber yararlanılabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Tarım ürünlerinin kurutulması için en çok kullanılan yöntem, konveksiyon ile ısıtma yöntemidir. Konveksiyonla ısıtma yönteminde, kurutma ortamı (çevre) olarak üründen daha sıcak hava kullanılmaktadır. Kurutma havası, nemli ürüne nemin buharlaşması için gerekli ısıyı iletir, üründen buharlaşan suyu alır ve ortamdaki uzaklaştırır. Tarımsal ürünlerin konveksiyonla ısıtılıp kurutulması esnasında aralarında bağıntılar bulunan pek çok olay ardışık olarak birbirini takip eder. Bu olaylar (Yağcıoğlu, 1999);

- Sıcak havadan kurutulacak ürünün yüzeyine ısı transferi,
 - Isının, ürün yüzeyinden iç katmanlarına doğru akışı,
 - Nemin, ürünün iç kısımlarından yüzeyine doğru akışı,
 - Nemin buharlaşma ile havaya difüzyonu
- şeklinde sıralanabilir.

1.4. Kurutma Yöntemleri

Tarım ürünlerinin kurutulması için seçilen kurutucunun ürünün özelliklerine uygun olmasının yanında, kurutma işleminden beklenen özellikleri de taşımak zorundadır. Bu sebeple, aralarında önemli farklar olan çok değişik tiplerde kurutucu geliştirilmiştir. Tarımsal ürünlerin kurutulması amacıyla kurutma işlemine ihtiyaç duyulan ilk zamanlardan günümüze dek geçen sürede, güneş ışınlarının altında açıkta kurutmaktan dielektrik kurutma yöntemlerine kadar geliştirilmiş çok fazla yöntem vardır. Bu kurutma yöntemlerinin tamamını sıralayabilmek mümkün değildir. Yaygın uygulamaya sahip bazı temel kurutma yöntemleri aşağıda ifade edilen biçimde sıralanabilir (Toraman, 2015).

1.4.1 Kontakt kurutma

Kurutulacak ürüne, kurutma için gerekli ısı enerjisinin ısıtılmış yüzeylerden kondüksiyonla iletildiği yöntemdir.

Kuruyan ürüne geçen ısı, sıcak yüzeye değmekte olan yaş ürünün ısıl kondüktivite ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlı olmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

1.4.2. Konvektif kurutma

Genellikle sıcak hava kullanılan bu metotta ısı, kurutucu ortamdaki yaş ürüne konveksiyon yoluyla iletilmektedir. Kurutma havası olan sıcak hava, kurutulan ürün tabakası üzerinden, ya da içinden geçirilmektedir. Bu metodun ısıl iletkenliği kontakt kurutma yöntemine göre daha düşüktür (Yağcıoğlu, 1999). Bu yöntemin farklı uygulamaları tünel kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, püskürtmeli kurutuculardır.

1.4.3. Işınım ile Kurutma

Kurutma için gerekli ısı enerjisinin, yaş ürüne elektromanyetik tayfin kızıl ötesi bölgesinde bulunan ışınlarla iletiildiği yöntemdir. Kızılötesi ışınlar içinden geçtikleri ortamı ısıtmazlar, kendilerini soğuran cisimleri ısıtmaktadırlar. Bu ışınların, yaş ürünün yüzeyinden başlayarak etkilediği derinliğin çok az olmasından, bu yöntem ince bir film şeklinde serili ürün tabakalarının kurutulmasında kullanılmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

1.4.4. Di elektrik kurutma

Kurutulacak ürün yüksek frekanslı (2 – 100. 106 hz) bir elektrostatik alandan geçirilerek kurutma işlemi yapılır. Bu ürünün her noktasında düzenli bir ısınma meydana getirir. Bu yöntem sadece kontrplak tabakalar arasındaki reçinenin polimerizasyonu ve böylelikle, tabakaların birbirine yapışmasını sağlar. Bu bakımdan da tam bir kurutma işlemi sayılmaz. Kurutma olarak düşünülebilirse de çok pahalıdır (Banchemo, Badger, 1973).

1.4.5. Donmalı kurutma

Donmuş suyun süblimasyonundan yararlanan metottur. Kurutulması için yaş ürün öncelikle hızlıca -25, -30 °C derecelerine düşürülerek dondurulmaktadır. Sonrasında, ürün içerisindeki donmuş suyun serbest buhar basıncından daha düşük değerdeki vakum ortamında, gerekli süblimasyon ısı verilererek, donmuş suyun, sıvı faza geçmeden, direk buhar fazına geçmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem yüksek kaliteli kurutulmuş ürün elde edebilen modern bir kurutma yöntemidir.

1.4.6. Ozmotik kurutma

Yarı geçirgen zarla kaplı olan bitki hücresi duvarının iç kısmı ile dış çevre arasında, ozmotik basınç farkı yaratılarak, ürünün nemi azaltılmaya çalışılan yöntemdir. Ozmotik basıncı yüksek bir eriyiğin içine kurutulacak ürünün daldırılmasıyla ürün neminin azalması sağlanmaktadır. Kurutulacak ürünün içine daldırılacağı ozmoaktif ortam, çeşitli sıcaklık ve konsantrasyonlarda olmak üzere genellikle, meyveler için şeker, sebzeler için tuz (NaCl) eriyiğinden hazırlanır.

Yukarıda özetlenen yöntemler içinde, günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, ürünlerin, hava akımı yardımıyla konvektif kurutulmasıdır. Alım gücü yüksek olan toplumlarda son yıllarda, ürünlerin dondurularak kurutulması giderek daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dielektrik kurutma yöntemi teknikleri ise (kızılötesi ışınlar, mikrodalga ışınlar, radyo dalgaları vb.) henüz ticari açıdan söz edilebilecek boyutta bir uygulama alanı bulamamışlardır. Şekerli şurup içinde ozmotik basınç farkından yararlanılarak kurutma tekniği ise özellikle meyvelerin kurutulmasına uygun gibi görülmekle birlikte, istenen nem değerine inilememe, pahalılık gibi sebeplerle yaygınlaşmamışlardır.

Güneş enerjisi, kurutma için sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda güneş enerjisi ile kurutma popüler hale gelmiştir. Güneş enerjisi ile kurutma, güneş enerjisi bol miktarda bulunur, ücretsizdir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır (Lingayat 2020).

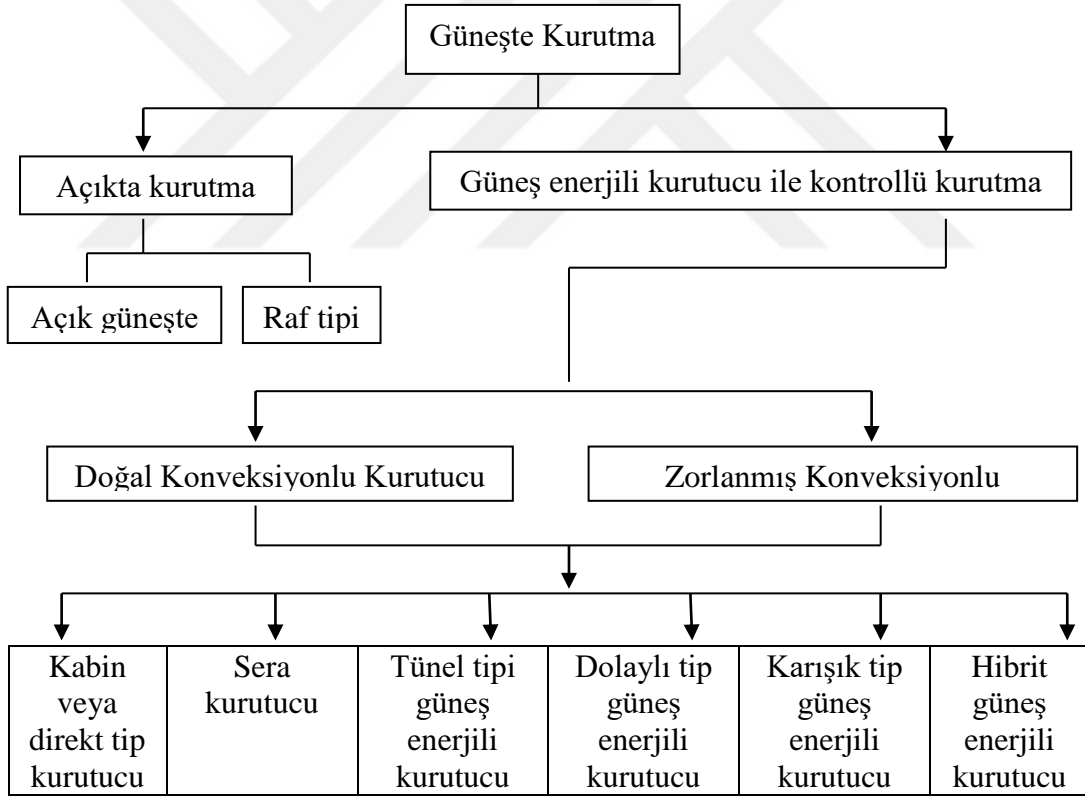
Güneş kurutucunun temel önemi, içten yanmalı motor ve enerji santrallerinin saldığı karbonmonoksit, karbondioksit, nitrojen oksitleri ve diğer dumanları salmayarak çevreyi korumaktır (Lingayat 2020).

1.5. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Tarım sektöründe kurutma uygulamaları için çeşitli boyutlarda, kapasitelerde ve tasarımlarda güneş enerjili kurutucular mevcuttur. Aktif ve pasif güneş enerjili kurutucu olarak ta bir sınıflandırma yapılmaktadır. Aktif kurutucularda hava sirkülasyonu için fana ihtiyaç duyulmaktadır. Sera tipi kurutma sistemleri yüksek ürün miktarı kapasitesine sahip kurutma sistemleridir. Güneş enerjisinden genellikle doğrudan yararlanılmaktadır. Yapılan son çalışmalarda seraya havalı güneş kollektörü eklenerek seranın içindeki hava sıcaklığı artırılmaktadır. Güneş ışınlarını absorbe etmesi için seranın bir duvarının yalıtımlı ve siyaha boyanan tipi de literatürde mevcuttur.

Kabin tipi kurutma sistemleri kurutmanın gerçekleştiği kabin ve sıcak havanın bir hava ısıtıcısı ile sağlandığı kurutma makineleridir. Genellikle kurutmanın gerçekleştiği kabin bölümünün etrafı kapalı ısı yalıtımlı yapılmaktadır. Fakat kabin bölümünün cam yapıldığı tasarımlar da yapılmıştır. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucularda gerekli olan elektrik enerjisi fotovoltaik panelden karşılanmaktadır. Havalı güneş kolektörleri ile kurutma bölümüne ısıtılmış hava gönderilmektedir. Termal depolama sistemi ile kurutma işleminin sürekliliği sağlanmaktadır. Bu sistemlerde kurutulan ürünler daha kaliteli kurutulmaktadır.

Güneş enerjili kurutucuların bir sınıflandırmasını Lingayat yapmıştır. Güneş enerjisi ile kurutma sisteminin ana sınıflandırması Şekil 1.3'te belirtilmiştir. Lingayata göre güneş enerjisi kullanımına göre kurutma sistemi iki gruba ayrılır; açık güneşte kurutma (OSD) ve kontrollü güneşte kurutma (Lingayat 2020).



Şekil 1.3. Güneş kurutucu sisteminin sınıflandırılması (Lingayat 2020).

1.5.1. Açıkta kurutma

Yerde açık güneşte kurutma: Kurutulacak ürünler yere örtü bırakılarak örtüye serilerek veya mat beton zemine serilerek, ürün dışarıda güneş ve rüzgarın etkisi ile kurutulmaktadır.

Raf tipi (gölge tipi): Bu yöntemde kurutulacak nemli gıdanın tutulması için seri veya paralel raflarla kurutma işlemi sağlanmaktadır (Muhlbauer, 1986).

1.5.2. Güneş enerjili kurutucu ile kontrollü kurutma

Yerde açık güneşte kurutma ve raf tipi (gölge tipi) kurutma yöntemlerinde sıcaklık, nem, hız gibi kurutma parametrelerini kontrol etmek zordur. Güneş enerjili kurutucuyla kontrollü kurutma ile kaliteli ürünler, daha düşük kuruma süresi, tozsuz ürünler ve büyük ölçekli ürünler elde etmek gibi birçok avantajı vardır. (Pangavhane ve Sawhney, 2002) Literatürde, kurutma parametrelerini kontrol etmenin mümkün olduğu yeni yenilikçi kurutucular mevcuttur. Tarımsal ürünlerin güneşte kurutulmasında gıda kalitesi çalışma sıvısının sıcaklığına, neme, hıza vb. bağlıdır (Wilkins, Brusey ve Gaura, 2018). Etkileyen bu parametreleri çeşitli yöntemler kullanarak kontrol etmek mümkündür. Ayrıca, kontrollü güneş enerjisiyle kurutmada, güneş enerjisini, geceleri belirli bir süre kurutmaya devam etmek için kullanılabilen hissedilir ısı (SH) ve gizli ısı (LH) gibi iki ısı biçiminde depolamak mümkündür. Bu kontrollü güneş kurutma sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılır(Lingayat 2020);

1.5.2.1. Direkt tip güneş enerjili kurutucular

Doğrudan tip güneş kurutucuda, güneş ışınımını doğrudan gıda ürünlerine iletmek için şeffaf camlar kullanılır (Ampratwum ve Dorvlo, 1998). Bu kurutucularda konvektif kayıplar azaltılmalıdır ve bu nedenle kurutma odası sıcaklığı artırılabilir. Bazı direkt güneş kurutucular; kutu tipi, güneş kabinli kurutucu, cam çatılı (Rathore ve Panwar, 2010) güneş kurutucu ve sera kurutuculardır (Mezrhah, Elfarh, Naji ve Lemonnier, 2010).

1.5.2.1.1. Kabin (direkt tip) kurutucu

Bu kurutucuya direkt veya kabin tipi kurutucu denilmektedir. Kurutucu, üzerinde geçirgen örtü bulunan ve hava giriş çıkışı olan bir kabindir. Kurutucuda geçirgen örtü malzemesi ile doğrudan güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Geçirgen örtü malzemesinden kurutucuya geçen güneş ışınları ile ürün ısınmaktadır. Kurutucuya giren kurutma havası ürün üzerinden geçip nemi almakta ve çıkış deliği ile nemli hava dışarı atılmaktadır.

1.5.2.1.2. Sera kurutucu

Güneş enerjisini doğrudan alan ve nem alma prensibine göre çalışan sistemlerdir. Bu kurutucu beton, ahşap ya da toprak zemin üzerine yerleştirilmektedir. Çatılı iskelet yapı ile desteklenmekte ve iskeletin etrafı sera örtü malzemesi ile örtülmektedir. Aralarında yükseklik farkı bulunan hava giriş ve çıkış delikleri ile havalandırma ve nemin dışarı atılması sağlanmaktadır. Kurutulacak ürün miktarının fazla olduğu durumlarda tercih edilen bir sistemdir.

1.5.2.2. Tünel tipi güneş enerjili kurutucu

Güneş ışınlarını sera örtü malzemesi veya cam ile kurutucuya aktaran tünel şeklindeki kurutuculardır. Büyük tünel kurutucularda arabaların taşınması için raylı sistem (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2012) veya ürünlerin yüklenmesi ve boşaltılması için konveyör sistemi (Bulut, Boloğur, İlgin Beyazıt, Demirtaş ve İşiker, 2017) yapılabilmektedir.

1.5.2.3. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucu

Güneş ışınlarını doğrudan almayan, güneş enerjisinden fotovoltaik panel ve güneş kollektörleri gibi sistemler ile yararlanan kurutuculardır. Literatürde iki dolaylı tip güneş kurutucu yöntemi fark edilmektedir (Kumar, Sansaniwal ve Khatak, 2016). Bunlar; (a) doğal sirkülasyon tipi ve (b) zorunlu sirkülasyon tipidir.

1.5.2.3.1. Doğal sirkülasyon tipi

Bu kurutucularda kurutma havası, herhangi bir zorlayıcı (fan veya üfleyci) olmadan doğal sirkülasyonu ile dolaştırılmaktadır. Sıcak hava ile ürünlerin ısıtıldığı ve ürünlerden alınan nemin baca vasıtasıyla dışarı atıldığı pasif kurutuculardır. Bu türlerden bazıları şunlardır:

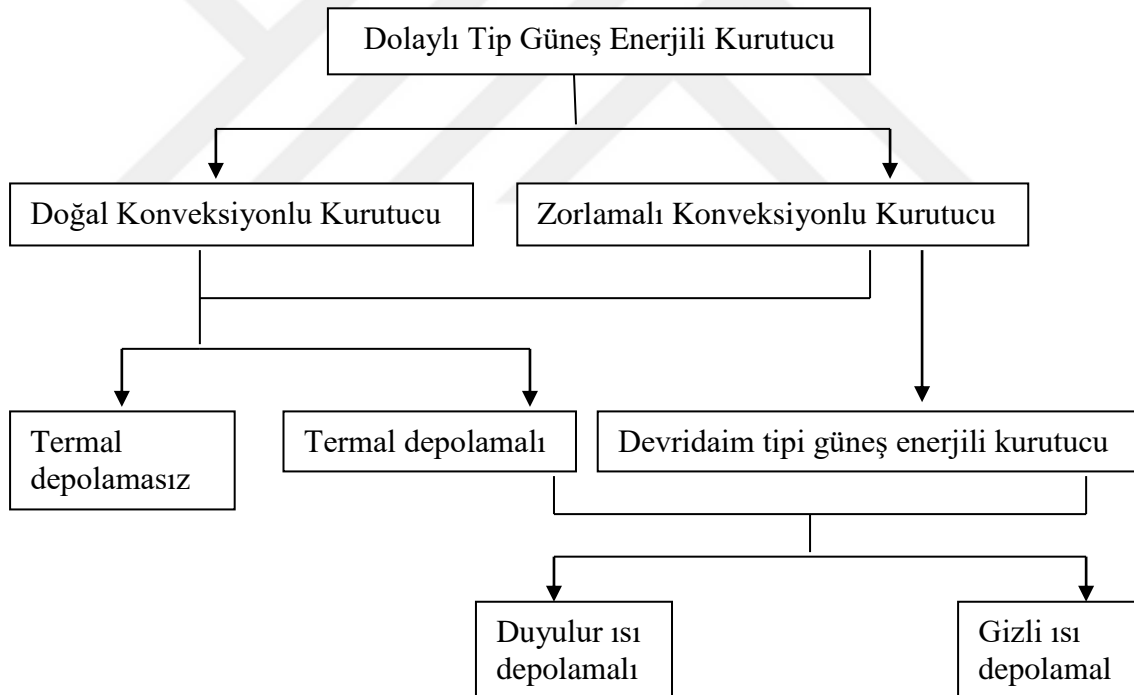
Geleneksel dolaylı tip güneş kurutucu: Giriş havasını ısıtmak için bir güneş hava toplayıcı ve kurutulacak ürünü tutmak için bir bölmeden oluşmaktadır (Arunsandeeep, Lingayat, Chandramohan, Raju ve Reddy, 2018).

Bacalı dolaylı tip güneş enerjili kurutucu: Bu tipin ana bileşenleri şunlardır; güneş hava toplayıcı, kurutma kabini ve çekme kuvvetini oluşturmak için bir bacadır (Tedesco, Bühler ve Wortmann, 2018)

Bacalı ve ısı depolama sistemli dolaylı tip güneş enerjili kurutucu: Gece veya güneş ışığı olmadığında kullanılması için güneşli saatlerde güneş enerjisinin termal enerji olarak depolandığı, termal depolama malzemesi ve bacası bulunan kurutuculardır (Yadav, Lingayat ve Chandramohan, 2018).

1.5.2.3.2. Zorlamalı sirkülasyon tipi (Aktif mod)

Burada, havayı kurutucunun içine veya dışına itmek için elektrikli fan veya üfleyici kullanılmaktadır. Bu tür kurutucularda kurutma oranını kontrol etmek mümkündür. Aynı zamanda bir fan veya üfleyici ilavesi ile doğal sirkülasyon tipi ile aynı şekilde kategorize edilir. Diğer bazı güneş kurutucu türleri şunlardır: sera toplayıcılı güneş kurutucu ve entegre toplayıcılı tünel tipi kurutucu (Fudholi, Sopian, Bakhtyar, Gabbasa, Yusof ve Ha, 2015).



Şekil 1.4. Dolaylı tip güneş kurutma sisteminin sınıflandırılması (Lingayat 2020).

1.5.2.4. Karışık tip güneş enerjili kurutucu

Hem direkt tip hem de dolaylı tip kurutucunun avantajlarına sahiptir. Isı enerjisi, ürün tarafından doğrudan güneşten ve dolaylı olarak güneş hava toplayıcıdan emilir (Tripathy, Kumar, 2009).

1.5.2.5. Hibrit güneş enerjili kurutucu

Birden fazla enerji yönteminin bir arada kullanıldığı kurutuculardır. Rüzgar enerjisi-güneş enerjisi, biyokütle-güneş enerjisi veya doğrudan ve dolaylı tip güneş enerjisi kullanılan kurutucular örnek verilebilir.

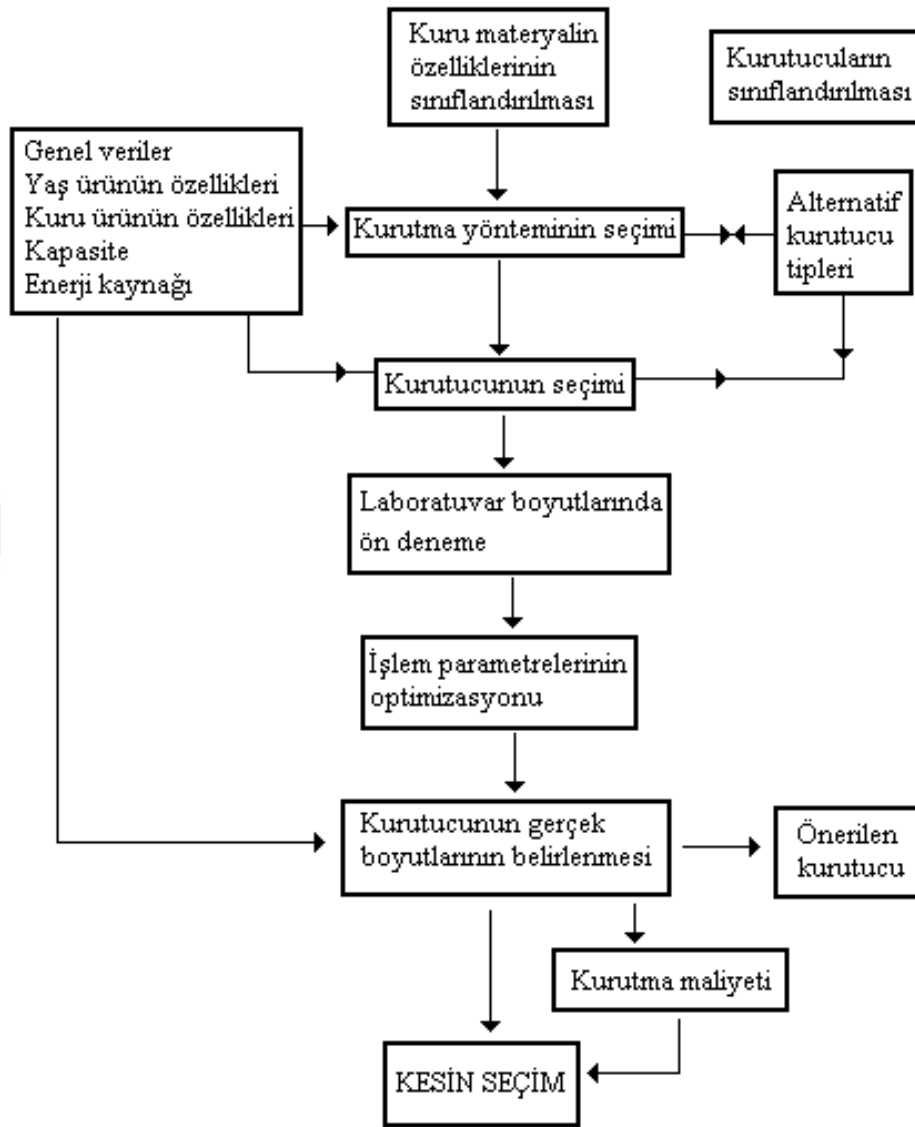
1.5.2.6. Termal depolamalı güneş enerjili kurutucu

Isı veya termal depolama sistemli güneş enerjili kurutucu, gün batımından sonra da kurutma işlemine devam etmek için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde işlem süresi önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Kant, Shukla, Sharma, Kumar ve Jain, 2016). Güneş ısısı, termal ısı depolama cihazlarında duyulur ısı ve gizli ısı şeklinde depolanmaktadır (Lingayat 2020). Gündüz termal depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi, güneşin etkisinin olmadığı saatlerde kullanılmaktadır.

1.6. Kurutucu seçimi

Kurutma işleminin hem ürün kalitesi hem de işletmenin karlılığı bakımından başarısı doğru kurutucu tipinin seçilmesi ve kullanılmasına bağlıdır. Tüm kurutma işlemlerinde kullanılacak bir kurutucu tipi olmaması sebebiyle, ilk olarak, kurutma yönteminin ve kurutucunun doğru seçimine çok önem verilmelidir (Toraman, 2015).

Kurutucu seçimi için dikkate alınacak faktörler ve etkileşimleri Şekil 1.5' de şematik olarak görülmektedir (Yağcıoğlu, 1999).



Şekil 1.5. Kurutucu seçiminin işlem adımları (Yağcıoğlu, 1999).

1.7. Çilek

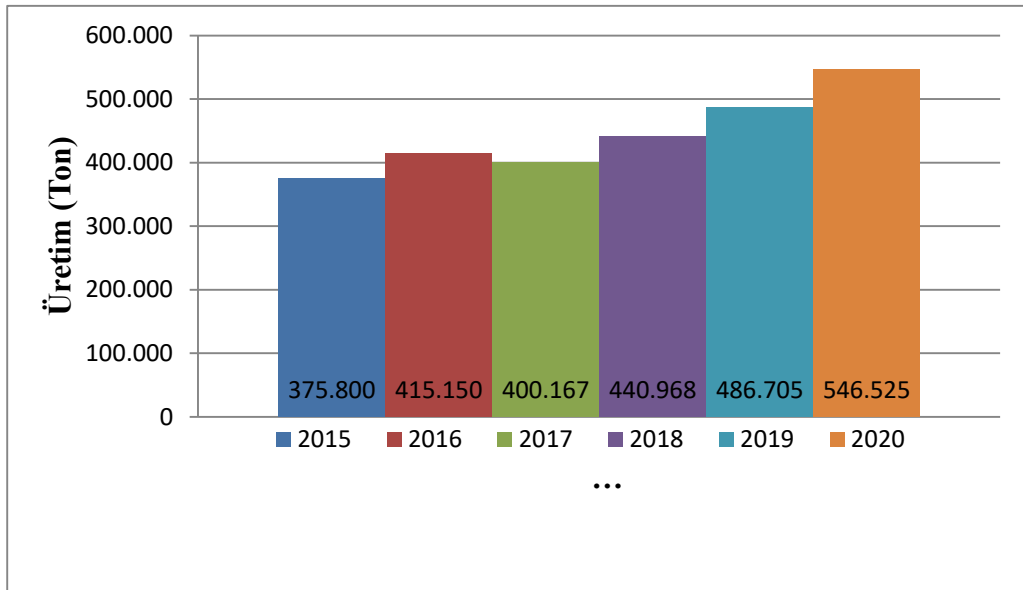
Türkiye, dünyada yeni sanayileşen ülkeler arasında olup, gelişen ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin arttırılması için ekonomisinin yüksek tutulması gerekmektedir. Ülkemizin tarım topraklarının ciddi bir orana sahip olması ve coğrafi konumundan dolayı yüksek tarım potansiyeline sahiptir. Tarım sektöründeki istihdam ve gelir dolayısıyla ülkemizde tarım sektörü önemli bir ekonomik kaynaktır.

Tarım ürünlerinden yaş sebze ve meyveler bir süre sonra bozulmaktadır. Raf ömrü kısa olan bu ürünler kurutma sistemi ile uzun süre muhafaza edilebilmekte raf ömrü uzamakta, taşıma ve depolama gibi avantajlar sağlanmaktadır. Kurutma ile besin değerleri korunan ve tüketime hazır hale gelen ürünlerin gün geçtikçe piyasası, talebi artmaktadır. Kuru gıda sektörü dünya genelinde hızla büyümektedir. Kuru tarım ürünlerinin kuru meyve, sebze, baharat, çay, gıda tozları, hazır çorbalarda hammadde olarak vb. birçok kullanım alanı mevcuttur. Sağlıklı beslenme için kuru meyve ve sebze tüketimi artmaktadır.

Kuru meyvelerden özellikle çilek kurusu bir çok kullanım alanı olup sağlık açısından faydalı bir üründür. Kuru çilek ara öğünlerde tüketilmekte, dondurmalarda, lokumlarda, kahvaltılık ürünleri karışımında vb. alanlarda kullanılmasının yanında koku, renk, aroma verici olarak kullanılmaktadır.

Çilek (*Fragaria x ananassa*) Rosaceae (Gülgiller) familyası, üzüksü meyveler (bakka) grubunda, çok yıllık, otsu bir bitki türüdür. İlkbaharda diğer meyvelerin olmadığı bir zamanda olgunlaşması sebebiyle, tüketici tarafından tercih edilmektedir. Çilek lezzetli, hoş kokulu ve hem sanayiye elverişli hem de taze olarak tüketilebilen bir meyvedir. Yapısında bol miktarda A, B, C vitaminleri, kalsiyum, demir ve fosfor gibi mineraller bulunur. Taze olarak tüketilmesinin yanında çileğin pastası, reçeli, kompostosu ve likörü de yapılmaktadır (TÖRÜN 2018).

Ülkemizde birçok çilek türü yaygın olarak yetiştirilmekte ve tüketilmektedir. Ülkemizde 2015–2020 yılları arasında üretilen çilek miktarı Şekil 1.6. 'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Ülkemizde 2015–2020 yılları arasında üretilen çilek miktarı

Bu çalışma kapsamında kurutulacak ürün olarak Sason Çileği seçilmiştir. Bu çalışmada özellikle Sason Çileği'nin seçilme sebebi, Batman'da yaş çilek üretimindeki olumlu gelişmelerin yanında kuru çilek üretiminde de olumlu gelişmelerin sağlanmasıdır. Diğer önemli neden ise Sason Çileğinin yılın üç mevsiminde hasat edilmesidir.

Türkiye geneli ve Batman İlinin 2018,2019, 2020 yıllarının çilek üretim alanı, çilek verimi ve üretim miktarı TÜİK verileri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 1.1. Türkiye ve Batman ili için çilek üretim alanı, verimi ve üretim miktarının 2018, 2019, 2020 yıllarındaki verileri (TÜİK 2020).

	Yıllar	Batman-72	Türkiye-TR
Toplu Meyveliklerin Alanı ve 01.25.13.00.00. (Çilek) – Dekar	2018	1200	161021
	2019	1200	160899
	2020	1200	179777
Verim ve 01.25.13.00.00. (Çilek) - Kg/Dekar	2018	3016	2739
	2019	3016	3025
	2020	3200	3040
Üretim Miktarı ve 01.25.13.00.00. (Çilek) - Ton	2018	3619	440968
	2019	3619	486705
	2020	3840	546525

Tablodan görüldüğü üzere Batman İlinde yetiştirilen çileğin veriminin 2018 ve 2020 yıllarında Türkiye genelinden yüksek, 2019 yılında yakın değerde olduğu görülmektedir. Batman Sason ilçesi iklim şartlarının çilek üretimine uygun olması nedeniyle çilek üretiminin artırılmasının yanında kuru çilek üretimi için ciddi çalışmalar yapılması ile tarım ekonomisine büyük fayda sağlanacaktır. Kuru çilek üretiminin artması ile yurt dışı pazarındaki varlığı artacaktır.

1.8. Enerji Depolama Sistemleri

Enerji depolama sistemlerindeki gelişim son yıllarda hızlanmış olup, modern teknolojide büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Kesintili enerji kaynaklarının kullanılması durumunda enerji talebinin karşılanmasında çok önem arz etmektedir (Esgel 2014).

Enerji depolama sistemleri temel yararları (Dinçer ve Rosen 2011);

- enerji tüketiminin düşürülmesi,
- operasyon esnekliği artırılması,
- iç hava kalitesi yükseltilmesi,
- enerji giderlerinin düşürülmesi,
- ilk yatırım ve bakım maliyetlerini düşürmesi olarak sıralanabilmektedir.

Ticari, sınai, kamu, konutlarda ve yardımcı sektörlerde günlük, haftalık, sezonluk olarak enerji talebi değişiklik göstermektedir. Enerji talebi ile çeşitli enerji dönüşüm sistemlerinin birlikte sağladığı enerji arzının eşleşmesi istenmektedir (Liu ve Tomsovic 2014).

Gün geçtikçe gelişmekte ve çeşitlenmekte olan enerji depolama yöntemleri mekanik, termal, kimyasal, biyolojik ve manyetik olarak sınıflandırılması Şekil 1.7'de görülmektedir (Dinçer ve Rosen 2011, Mahlia, et al. 2014, Suberu, Mustafa ve Bashir 2014- Beaudin, et al. 2014).

Enerji Depolama Yöntemleri		
Mekanik Enerji Depolama	Kimyasal Enerji Depolama	Termal Enerji Depolama
-Pompaj Depolamalı	-Elektrokimyasal piller	-Duyulur Isı Depolama
-Sıkıştırılmış Hava Depolama	-Organik Moleküler Depolama	-Gizli Isı Depolama
-Volanlar		-Termokimyasal Depolama

Şekil 1.7. Enerji depolama yöntemleri sınıflandırılması (Dinçer ve Rosen 2011).

1.8.1. Mekanik Enerji Depolama Yöntemi

Doğrusal veya dönel hareketin kinetik enerjisi, yüksek bir cismin potansiyel enerjisi, elastik bir cismin sıkıştırma ya da gerdirme enerjisi ya da sıkıştırılmış gazlardaki enerji mekanik enerji olarak depolanabilmektedir (Dinçer ve Rosen 2011, Pielichowska 2014). Pompaj depolamalı sistemler, sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sistemleri ve volanlar mekanik enerji depolama sistemleridir (Beaudin, et al. 2014).

1.8.2. Kimyasal Enerji Depolama Yöntemi

Bir ya da birden çok kimyasal bileşikten oluşan, formlar arasında geçiş olurken enerji depolanması veya yayılması olan sistemlerdir. Piller yaygın olarak bilinen kimyasal sistemlerdir. Pillerde enerji elektrokimyasal enerji şeklinde depolanmakta ve gerektiği durumda kullanılmaktadırlar (Dinçer ve Rosen 2011).

Kimyasal enerji depolama araçlarından biri de hidrojen dir. Suyun elektroliz edilmesiyle hidrojen elde edilip enerji depolanır. Yakıt hücreleri veya termal sistemlerde kullanılan hidrojen de depolanan enerji gerektiğinde geri alınır (Suberu, Mustafa ve Bashir 2014).

1.8.3. Termal Enerji Depolama Yöntemi

Maddenin sıcaklığının yükseltilmesi veya faz değiştirmesi ile enerji depolanması termal enerji depolama yöntemidir (Pielichowska 2014). Günümüzde termal enerji depolama sistemleri, pratik ve ekonomik olarak uygulanabilmektedirler. Güneş enerjili termal santraller termal enerji depolama sistemleri ile donatıldıklarında, güneş battıktan sonra da birkaç saat süreyle tam yükte çalışabilmektedirler (IRENA 2012).

Termal depolama sistemlerinde genel uygulama, depolama sisteminin gün içerisinde şarj olması ve güneş battıktan sonra deşarj olması şeklinde olup, böylece şebekenin talebine göre santralin işletilmesi sağlanmaktadır (Dinçer ve Rosen 2011, IRENA 2012). Termal enerji depolama sistemleri(Dinçer ve Rosen 2011);

ısı geçişi mekanizması,

depolama ortamı ve

bunları çevreleyen bir depo

olmak üzere üç temel modülden meydana gelmektedir.

Mekanik ya da kimyasal depolama teknolojileri ile kıyaslandığında termal enerji depolama sistemleri daha düşük ilk yatırım maliyetine ve yüksek verimlilik gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Kuravi, et al. 2013). Depolama şekline bağlı olarak, en uygun depolama özellikleri ve sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla bazı gereksinimler vardır. Bunlar;

1. Depolama malzemesinin yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması,
2. Kolay bulunabilmesi,
3. Depolama ortamı ile ısı taşıyıcı akışkan arasında yüksek ısı geçişi olması,
4. Depolama ortamı mekanik ve kimyasal etkiler karşısında kararlılığı,
5. Patlayıcı ya da alevlenebilir olmaması,
6. Depolama ortamının, Isı taşıyıcı akışkanın ve ısı değiştiricisi arasındaki kimyasal uyumluluk,
7. Taşınabilir olması,
8. İklimlendirme sistemleriyle uyumluluk,
9. Şarj/deşarj döngü sayısının yüksek olması,
10. Termal kayıpların düşük olması,
11. Maliyetin düşük olması,
12. Çevresel etkinin düşük olması.

1.8.3.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri

Isı enerjisinin depolandığı termokimyasal enerji depolama sistemleri, gizli ısı depolama sistemleri ve duyulur ısı depolama sistemleri olmak üzere üç çeşit termal enerji depolama sistemi kullanılmaktadır.

Termokimyasal enerji depolama ısı enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesi ile ısı enerjisinin uzun süre depolandığı sistemlerdir. Gizli ısı depolama, faz değiştiren malzemelerin sabit sıcaklıkta fazının değiştirilmesi ile ısı depolanması veya bu malzemeden ısı çekilmesi esasına dayanmaktadır. Duyulur ısı depolama, maddenin sıcaklığının değişimi ile ısının iç enerji olarak depolanmasıdır. Duyulur ısı depolama sistemleri uzun süreli ısı enerji depolama durumunda tercih edilmektedir.

1.9. Duyulur Isı Depolama

Genellikle katı ve sıvıların ısıtılarak veya soğutularak ısının depolanması ya da ısının çekilmesidir. Depolama malzemesinin fazında, enerji depolama işlemi gerçekleşirken değişiklik olmamaktadır. Duyulur ısı depolama sistemlerinde su, ısı transferi yağları, inorganik erimiş tuz sıvı olarak kullanılırken katı olarak ergimesi zor kaya parçaları, çakıl taşları gibi çeşitli ısı enerji depolama malzemeleri kullanılmaktadırlar. Katı enerji depolama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda malzeme değişik formlarda gözenekli ortamdan oluşturulabilmektedir (Ataer 2006).

Isı depolama sistemlerinde faydalanılan enerji miktarı sıcaklıkla, ortamın kütlesiyle ve ortamın ısı kapasitesiyle orantılı olmaktadır. Her termal depolama ortamının kendine ait avantaj ve dezavantajları vardır. Ancak seçim yaparken genellikle ısı kapasitesi ve depolama alanı temel ölçüt olarak baz alınmaktadır (Cabeza 2012).

Duyulur ısı depolama sistemlerinde yoğunluk ve ısı kapasitenin yanında malzemenin diğer özellikleri de önemlidir. Bunlar işletme sıcaklığı, ısı iletkenlik, ısı yayılım, buhar basıncı, malzemeler arasındaki uyum, kararlılık, yüzey alanının hacme oranına bağlı olarak ısı kaybı katsayısı ve maliyet özellikleridir (Cabeza 2012).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kurutma Sisteminin Seçimi

Bu çalışma kapsamında kullanılan farklı büyüklüklerdeki taşlar, metal parçaları karışımı termal enerji depolama malzemesinin kullanılması ve Sason çileğinin kuruma karakteristiğinin incelenmesi için bir güneş enerjili konvektif kurutucu kullanılmıştır.

Kurutma sisteminde aralarında ısı yalıtımı olan eş iki kurutma kabini bulunmaktadır. Kurutma kabinlerinin genişliği, uzunluğu ve yüksekliği sırasıyla 0.94 m, 1 m ve 2.03 m'dir. Her kurutma kabini için ayrı birer tane kolektör bulunmaktadır. Kolektörler 1 m x 1.4 m x 0,1 m ölçülerindedir. Kolektörden termal depolama ünitesine hava geçişi borular vasıtasıyla yapılmaktadır. Her iki bölüm için kullanılan borular eşit çap ve uzunluktadır. Termal depolama ünitesi kurutma kabininin altında bulunmaktadır. Kolektörler Güney yönüne doğru, 35 derecelik açıyla yerleştirilmiştir. Havalı güneş kolektörlerine basınçlı havanın verilmesi Şekil 2.1.' de gösterilen Bahçıvan salyangoz radyal fan ile sağlanmaktadır. Fanın teknik özellikleri çizelge 2.1.' de verilmiştir.

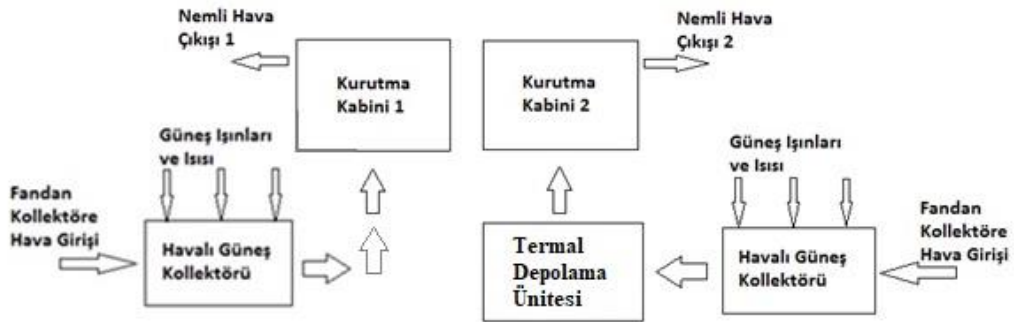


Şekil 2.1. Bahçıvan salyangoz radyal fan fotoğrafı

Çizelge 2.1. Bahçıvan salyangoz radyal fan teknik özellikleri

Voltaj	230V
Frekans	50 Hz
Giriş Gücü	85 W
Akım	0,38 A
Hız	2250 r.p.m
Ses Seviyesi	46 dB (A)
Yalıtım Sınıfı	B
Koruma Sınıfı	IP44

Kurutucunun çalışma prensibi şu şekildedir: Fan ile havalı güneş kolektörlerine gelen hava, kolektörde ısınmaktadır. Isınan hava borular vasıtasıyla kurutucuya aktarılmaktadır. Kurutucunun 1. bölümünde kurutma havası direk kurutma kabinlerine geçmekte ve ürünlerdeki nemi alıp, nemli hava çıkışından dışarı çıkmaktadır. Termal depolama sistemine sahip olan bölümde (2. bölüm) kurutma havası fazla olan ısısını, ısı transferi ile termal malzemeye aktarmaktadır. Termal malzemede depolanan ısı, kurutma havasının ısısı düşünce ısı transferi ile kurutma havasına geçmektedir. Kurutma havası daha sonra termal depolama ünitesinden kurutma kabinine geçmektedir. Burada ürünlerde bulunan nemi aldıktan sonra nemli hava çıkışından dışarı çıkmaktadır. Kurutucuya ait çalışma diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir.

**Şekil 2.2.** Kurutucuya ait çalışma diyagramı



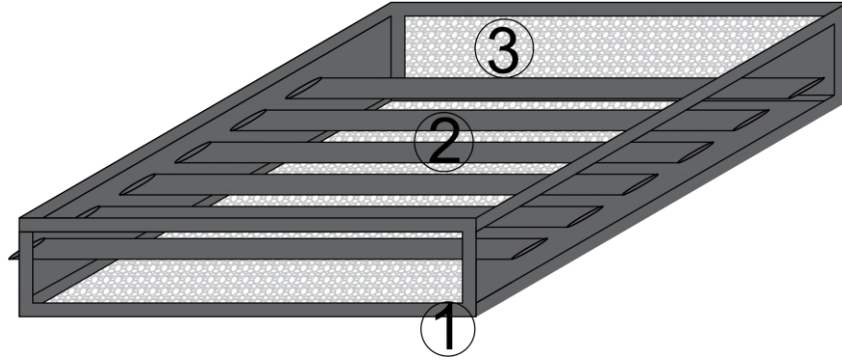
Şekil 2.3. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemi fotoğrafı

2.2. Termal Enerji Depolama Sistemi

Güneş enerjisinden günün belli saatlerinde, kesikli olarak faydalanılmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinin depolanması gerekmektedir. Güneş enerjisinden elde edilen ısı termal olarak depolanabilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisini depolamak için farklı büyüklüklerde taşlar ve metal parçaları karışımı termal enerji depolama malzemesi, bir kurutucunun termal enerji depolama ünitesinde kullanılmıştır. Kurutucu enerji depolama sistemi şematik resmi Şekil 2.4.'te fotoğrafı ise Şekil 2.5'te verilmektedir. Bu termal malzemede;

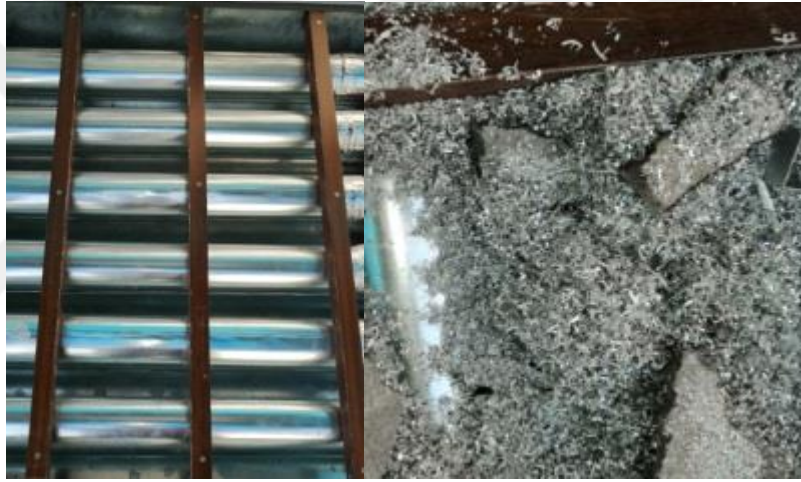
-Taş kullanılmasının sebebi ısının taşlarda depolanmasıdır. Farklı büyüklüklerde kullanılmasının nedeni ise küçük parçalarda ısı transferinin hızlı, büyük parçalarda yavaş olması ve ara büyüklüklerdeki parçaların da geçiş oluşturması ile etkili bir enerji depolama olmasıdır.

-Metal parçaları kullanılmasının sebebi metalin ısı iletkenliğinin çok iyi olmasıdır.



1-Termal depolama bölümü	3-Termal depolama malzemesi
2- Hava geçiş boruları	

Şekil 2.4. Enerji depolama sistemi şematik resmi



Şekil 2.5. Enerji depolama sistemi görseli.

2.3. Ölçüm Cihazları Noktaları

Deneyler sırasında çilek numunelerinin kütle kaybı SF-400 hassas terazi ile saatte bir ölçülmüştür. Kurutma kabinlerindeki bağıl nem saatte bir HANDHELD 3016-IAQ ile ölçülmüştür. Her iki kurutma kabininin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti TESTO 435 ile ölçülmüştür. Kurutma sisteminin belirlenen noktalarında, Elimko E-680 sıcaklık ölçüm cihazı ile sıcaklık değişimi 30 dakika aralıklarla ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü için toplam yedi adet termokupl kullanılmıştır. Saatlik hava durumu verileri Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Termokuplların yerleri, fan hızı, nem ve ışık şiddeti ölçüm noktaları aşağıda belirtilmiş ve Şekil 2.6.' da gösterilmiştir.

T1(Tk12)- İkinci bölüm kolektör çıkış sıcaklığı

T2 (Tç1)-Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin hava çıkış sıcaklığı değeri

T3 (Tki1)-Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin tepsisinin 3 cm yukarısındaki sıcaklık ölçümü değeri

T4 (Tg1)- Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin hava giriş sıcaklık değeri

T5 (Tg2)- Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, hava giriş sıcaklık değeri

T6 (Tki2)- Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, tepsisinin 3 cm yukarısındaki sıcaklık ölçümü değeri

T7 (Tç2)- Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, hava çıkış sıcaklığı değeri

m1- Birinci kurutma kabini nem değeri

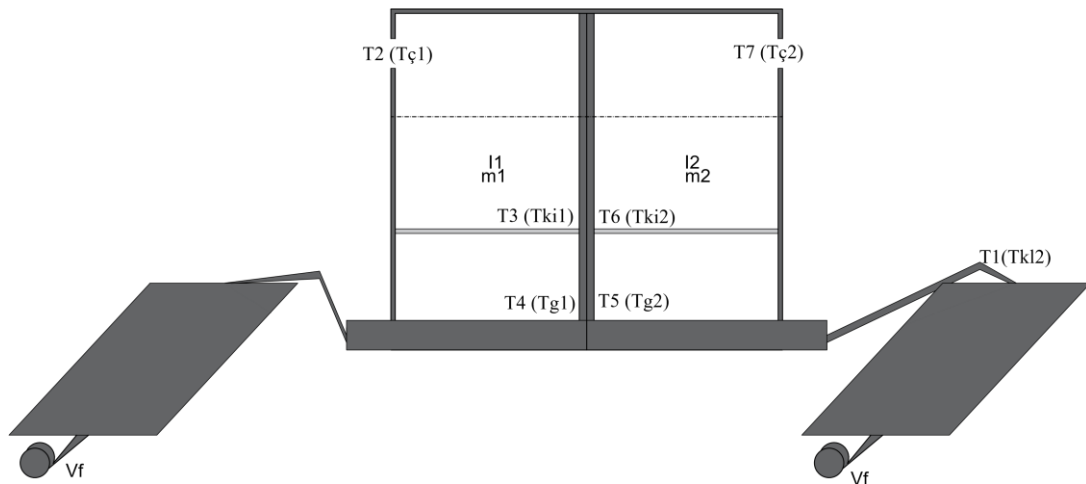
m2- İkinci kurutma kabini nem değeri

I1- Birinci kurutma kabini ışık şiddeti değeri

I2- İkinci kurutma kabini ışık şiddeti değeri

Vf- Fan hızı değeri

t_e- Güneş hava sıcaklığı



Şekil 2.6. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemi önden görünüşü ve ölçüm cihazları noktaları şematik resmi

2.3. Test Cihazları ve Ekipmanları

Güneş enerjili kurutma sistemlerinin, testlerinin yapılabilmesi için gerekli olan ölçüm cihazları sırasıyla; nem ölçme, sıcaklık ölçme, basınç ölçme, hava hızı ölçme, ışık şiddeti ölçme, ağırlık ölçme vb. ölçüm sistemleridir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ölçüm cihazları özellikleri Çizelge 2.2’de, fotoğrafları ise Şekil 2.7 ile Şekil 2.10 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Ölçüm cihazları özellikleri

Ölçüm Cihazı	Model	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Türü	Doğruluk
HANDHELD	3016-IAQ	Algılama Aralığı: 0,3 - 10 μ m	Bağıl Nem	0.3 mg minimum hassasiyet
Elimko	E-680		Sıcaklık	(Gösterilen değerin \pm %0.5’i ya da \pm 1°C) \pm 1 dijital maks.
TESTO	435	+0.25 ... +20 m/sn 0 ... 100.000 Lux 0 ... 300 Hz	Hava Hızı ve Işık Şiddeti (Lux)	\pm (0.1 m/sn +1.5% ölç.değ.) Çalışma sıcaklığı 0 ... +60 °C DIN 13032’ye göre doğruluk: f1 = 6% = V(Lambda) ayarı f2 = 5% = cos- ağırlık gibi, Sınıf C
Hassas Terazı	SF-400	Max 10 kg	Ağırlık Ölçer	Doğruluk Çözünürlük ve Tam Hassasiyet: 1Gr, 0.1Oz



Şekil 2.7. HANDHELD 3016-IAQ Hava Kalitesi Ölçme Sistemi (Nem Ölçme)



Şekil 2.8. Elimko E-680 sıcaklık ölçme sistemi



Şekil 2.9. TESTO 435 Hava Kalitesi Ölçme Sistemi (Hava Hızı ve Işık Şiddeti Ölçme)



Şekil 2.10. SF-400 hassas terazi

2.5. Hesaplamalar

Isıl verim aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{Verim}} = \frac{Q_K}{I \cdot A_k}$$

(2.1)

η_{Verim} : Kollektör, kabin Verimi

Q_K : Kollektörden, kabinden alınabilen kullanılabilir enerji (W)

I : Kollektör, kabin üst yüzeyine ulaşan ışıma miktarı (W/m²)

A_k : Kollektör, kabin alanı (m²)

Kollektörden, kabinden alınabilen enerji,

$$Q_K = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{ort}}$$

(2.2)

Q_K : Havaya aktarılan enerji (kWh)

\dot{m} : Kütleli debi (kg/s)

C_p : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg.°C)

ΔT_{ort} : Kollektörden, kabinden çıkan ve giren havanın sıcaklık farkı (°C)

Deneylerde kollektörlerin, kabinlerin giriş, çıkış sıcaklıklar sırasıyla T_g , $T_ç$ ile ifade edilmiştir. Sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_ç - T_g$$

(2.3)

Ortalama sıcaklık değeri (T_{ort}),

$$T_{ort} = (T_g + T_ç) / 2 \quad (2.4)$$

Denklemleri ile hesaplanmıştır.

Kütleli debi,

$$m = \rho \cdot V \cdot A_ç \quad (2.5)$$

ρ : Havaya ait yoğunluk değeri (kg/m³)

V : Havaya ait akış hızı(m/s)

$A_ç$: Kollektörün çıkış kesit alanıdır. (m²)

Güneş hava sıcaklığı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$t_e = T_o + \frac{\alpha_s I_T}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad (2.6)$$

t_e = güneş-hava sıcaklığı

T_o =saatlik dış ortam sıcaklığı

I_T =Saatlik ışıınım (w/m²)

$\alpha_s/h_o=0,052$ (Koyu renk yüzey)

=0,026 (Açık renk yüzey)

$\varepsilon \Delta R/h_o$ = Yatay yüzey için -3,9 °C

=Dikey yüzey için 0 °C

Duyulur ısı depolama

Duyulur enerji depolama esnasında kütle, özgül ısı ve sıcaklığa bağlı malzeme yapısındaki iç enerji değişimi eşitlik 2.7’de gösterilmektedir (Barnes ve Levine 2011):

$$\Delta U = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.7)$$

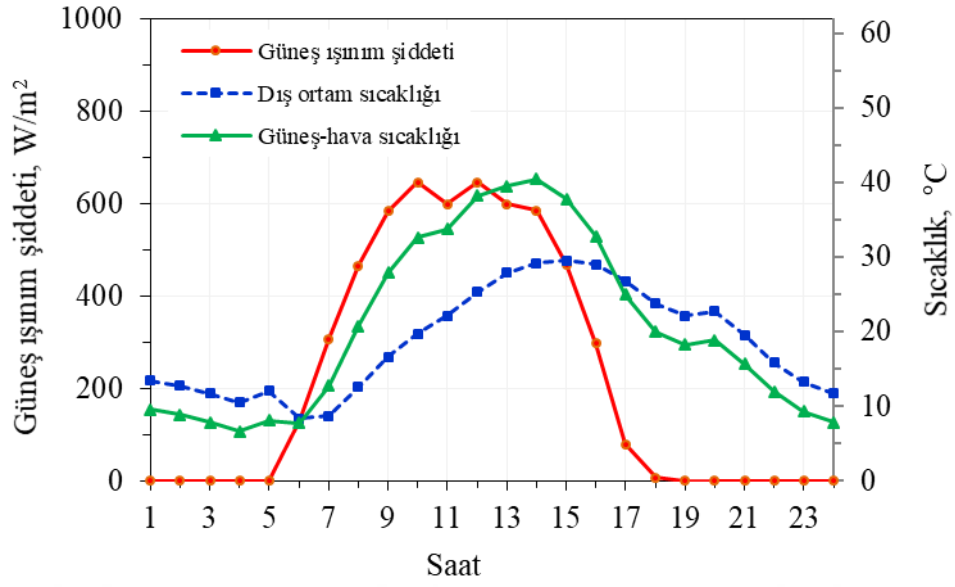
Eşitlikte;

ΔU malzemenin iç enerjisindeki değişimi [kJ],

C_v malzemenin özgül ısısını [kJ/kg·K];

T_1 ve T_2 başlangıçtaki ve son durumdaki malzeme sıcaklığını [°C ya da K] ve

m depolama malzemesinin kütlesidir [kg].



Şekil 2.11. Batman ili için 18 Ekim günü saatlik yatay yüzeye gelen ışınım şiddeti, dış ortam ve güneş-hava sıcaklık değerleri

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında kurutma işleminde sürekliliğin sağlanması için farklı büyüklüklerde taşlar ve metal parçaları karışımı enerji depolama malzemesi kullanılmıştır. Bu malzeme oluşturulduktan sonra Batman Merkez’de bir bahçede bulunan kurutucunun termal depolama ünitesine yerleştirilmiştir. Eş iki bölümden oluşan kurutucunun bir bölümünde termal depolama sistemi kullanılırken diğerinde kullanılmamıştır. Gerekli bütün hazırlıklar yapıldıktan sonra deneylere geçilmiştir. Bu çalışmanın önemli bir parçası da hem farklı büyüklüklerde taşlar, metal parçaları karışımı malzemenin oluşturulması ve deneysel olarak incelenmesi hem de Sason Çileğinin kuruma parametrelerinin incelenmesidir.

Bu çalışmada kurutulacak ürün olarak Sason Çileği seçilmiştir. Batman ilinde alternatif ürün olarak tarımı yapılmaya başlanan ve son yıllarda üretimi hızla artan çilek, önemli bir ekonomik değere sahip olmaktadır. Çalışmada kurutulacak ürün olarak çileğin seçilme sebebi raf ömrü kısa olan çileğin raf ömrünü uzatmak ve ülke ekonomisi için yaş çileğin yanında ekonomik değeri çok daha yüksek olan kuru çilek üretiminin yaygınlaşmasını sağlamaktır. Çilek kuru için 18.02.2016 tarihinde kabul edilen TS 13682 numaralı standart değerler oluşturulmuştur. Bu standartlarda çileğin taşınması gereken özellikler verilmektedir.

Çileklerin kurutulmasında genellikle iki kontrol şekli bulunmaktadır. Bunlar kütle değişimine bağlı olarak ürünlerdeki nem kontrolü ile kurutma sırasında ve kurutmadan sonra yapılan duyu kontrolüdür. Çilekler bütün halinde, küp şeklinde doğranarak, çilek çipsi olarak ince dilimlenerek veya ikiye bölünerek kurutulmaktadır.

Bu çalışmada deneylerden önce çileklere otlarından temizleme ve yıkama ön işlemi yapılmıştır. Çilekler ikiye bölünerek tepsi başına 1.5 kg çilek olacak şekilde tepsilere yerleştirilmiştir. Saatte bir hassas terazide tartma işleminin kolay olması için 100 gramlık numuneler her tepsi için belirli eş bir bölgeye serilmiştir.

Deneyler 3.5 m/s, 2.5 m/s ve 1,5 m/s üç farklı fan hızında yapılmıştır. Hava kolektörde ısıdıktan sonra kurutma kabineye geçip ürünlerdeki nemi aldıktan sonra menfezlerden dışarı çıkmıştır. Termal depolama sistemine sahip kurutma kabinde diğerinden farklı olarak gündüz sıcak olan kurutma havası, fazla olan ısını termal malzemeye aktarmıştır. Güneş’in etkisinin olmadığı zamanlarda sistem tersine dönmüştür. Böylece güneşin etkisinin olmadığı zamanlarda termal depolama sistemine

sahip kabinin kurutma havası sıcaklığı, diğer kabinin kurutma havası sıcaklığından yüksek çıkmıştır.

3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneylerinde sistemin termal depolama ünitesinin etkisini tespit etmek amacı ile sadece sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bu deneyler yapıldığında dışarıdaki kurutma ile karşılaştırmak için kurutulacak numuneler kurutma kabinlerinde ve dışarıda eş zamanlı olarak kurumaya bırakılmıştır. Kontrol amaçlı açık havada kurutmaya bırakılan çilek numunelerinin dışarıda tepsiye yerleştirilmiş şekli ve bu numunelerin kuruma sonrası fotoğrafı Şekil 3.1.' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Açık havada kurutulan çilek numuneleri

3.1. Kurutma Öncesi Yapılan İşlemler

Çilek kurutma deneyleri için çilekler Batman ili Sason ilçesinden temin edilmiştir. Çilekler temizleme ve yıkama ön işleminden sonra ikiye bölünerek dilimlenmiştir. Çilek dilimleri her tepsiye 1.5 kg olacak şekilde iki tepsiye dizilmiştir. 100 gramlık numuneler tepsilere belirli eş bir bölgeye serilmiştir. Tepsiler kurutma kabinlerine yerleştirilmiştir. Deney ölçüm cihazları hazırlandıktan sonra sıcaklık ölçüm cihazının termokuplları sistemde belirli noktalara yerleştirilmiştir. Saatte bir numuneler tartılarak kütle kayıpları belirlenmiştir. Saatte bir her bir kabinin içinin nemi ölçülmüştür. Sıcaklıklar 30 dakika aralıklarla ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Kurutma öncesi ikiye bölünerek dilimlenmiş çilek dilimleri.



Şekil 3.3. Kuruma öncesi kurutma tepsi kabin görünüşü.

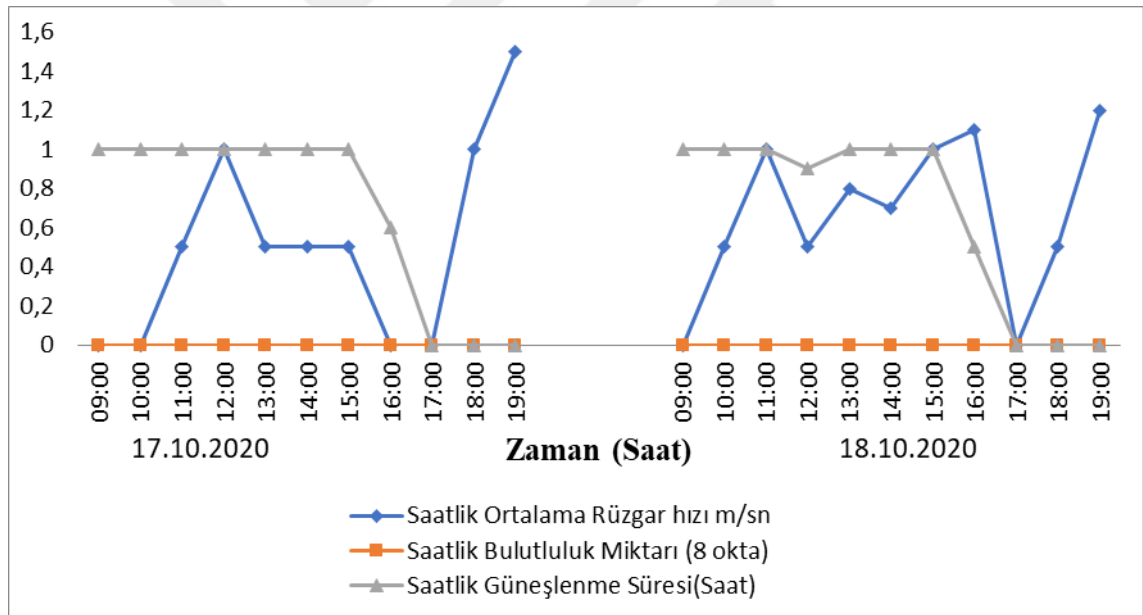
3.2. Kurutma İşlemi Deney Sonuçları

Deneyler 2020 yılı Ekim ayında Batman İli şartlarında gerçekleştirilmiştir. Saatlik hava durumu verileri Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır. Deneyler saat 09.00-15.00 arasında güneşte 15.00-17.30 arası gölgede ve 17.30 sonrası güneş battıktan sonra yapılmıştır. 3.5 m/s fan hızında yapılan bütün deneylerde kurutma sisteminin ve termal depolama ünitesinin etkisini tespit etmek amacıyla 30 dakika aralıklarla kurutucunun farklı noktalarında sıcaklık ölçümleri alınmıştır. 2.5 m/s fan hızında yapılan deneylerin birinci gününde kurutma kabinlerindeki nem, çilek numunelerinin ağırlık değişimi, kabinlerin içindeki ve dışardaki ışık şiddeti saatte bir ölçülmüştür. Ayrıca kurutucunun farklı noktalarında sıcaklık ölçümleri 30 dakika aralıklarla alınmıştır. 2.5 m/s fan hızında yapılan deneylerin ikinci gününde saatte bir kabinlerin içindeki nem ve numunelerin ağırlık değişimi ölçülmüştür.

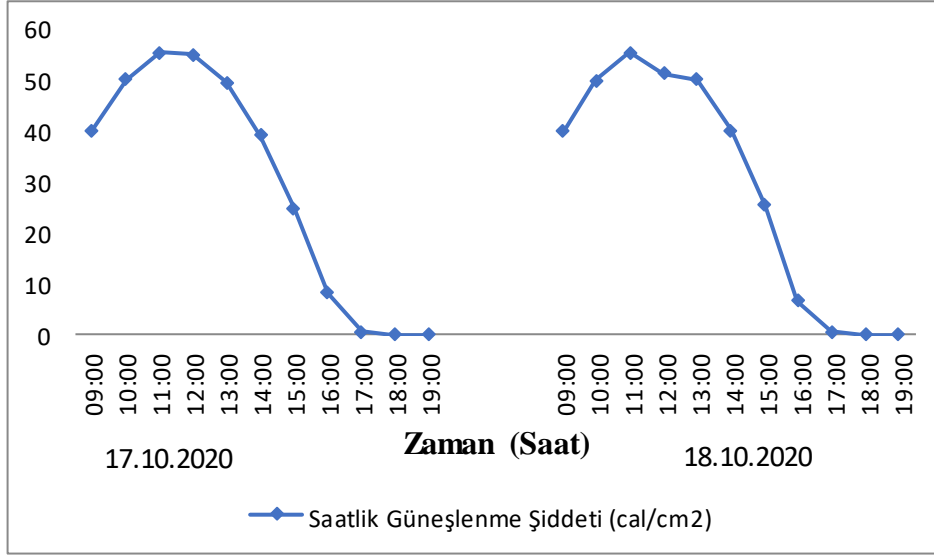
30 dakika aralıklarla kurutucunun farklı noktalarındaki sıcaklık ölçümleri alınmıştır. 1.5 m/s fan hızında yapılan bütün deneylerde nem, ağırlık değişimi ve sıcaklık ölçümleri alınmıştır. 1.5 m/s fan hızında yapılan deneylerin ikinci günü hava çoğunlukla bulutlu olmuştur.

3.2.1. 3.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları

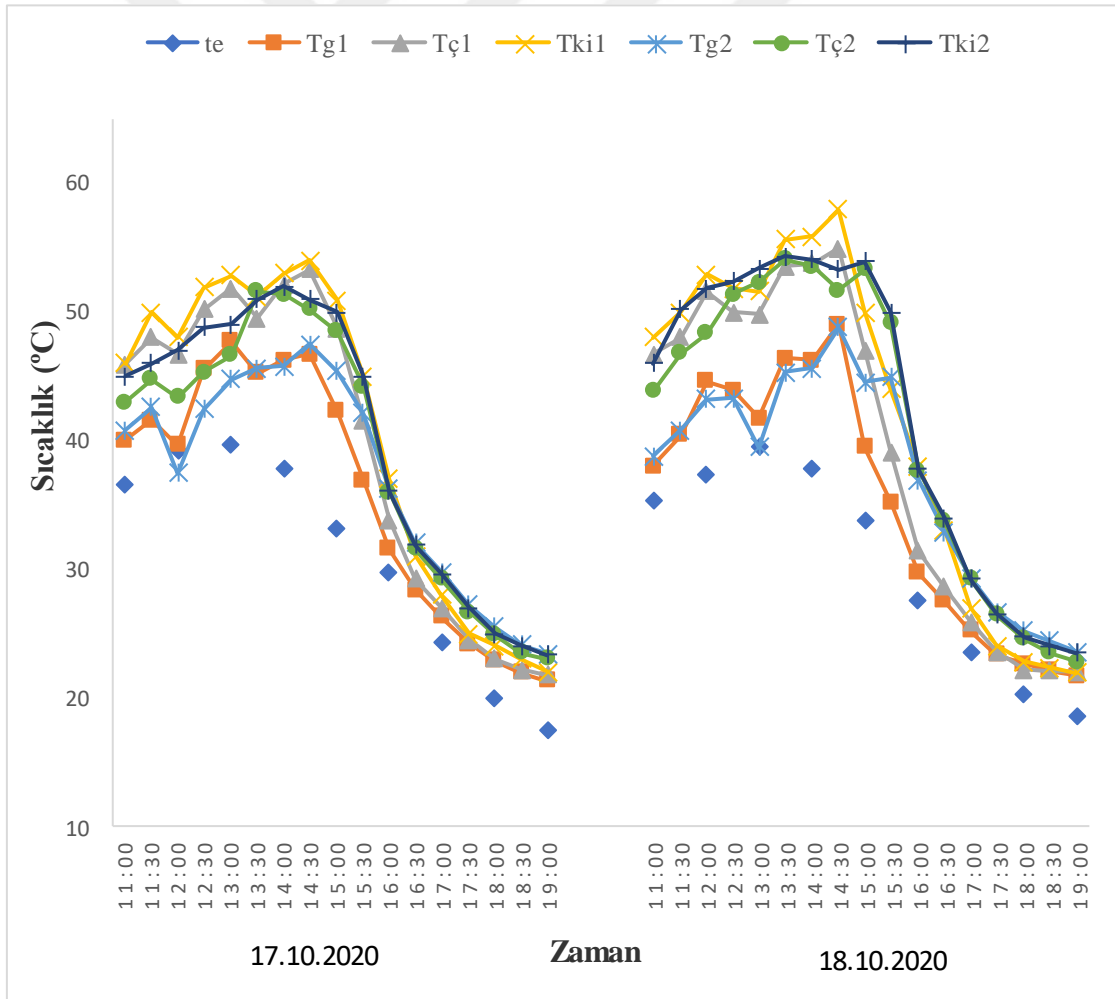
3.5 m/s fan hızında yapılan deneyler kurutucunun ve termal enerji depolama sisteminin etkisini tespit etmek amacıyla kurutucunun farklı noktalarında sıcaklık ölçümleri ile yapılmıştır. Deneyler açık havada (bulutlanmanın olmadığı havada) yapılmıştır. Bu deneylerle eş zamanlı olarak dışarıda kurutma yapılmıştır. Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik hava durumu verileri Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. 3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik ortalama rüzgar hızı, saatlik bulutluluk miktarı ve saatlik güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi.



Şekil 3.5. 3.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm²) değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 3.6. 3.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi.

Bu deneylerle eş zamanlı olarak dışarıda kurumaya bırakılan çileklerin kuruma süreleri dört gün olup kurutucuda kurutmanın iki katı olmuştur.

Sıcaklık ölçümleri sonucu termal depolama sistemine sahip kurutma kabininin içindeki sıcaklık 51 °C yi geçmemiş, termal depolama sistemi olmayan kurutma kabininin içindeki sıcaklık ise 55 °C yi geçmemiştir. Kurutma kabinlerinin etrafı doğrudan güneş enerjisinden faydalandığı için güneşli saatlerde kabin çıkış havası sıcaklığı giriş havası sıcaklığından yüksek çıkmıştır. Sonuçlara bakıldığında termal depolama malzemesine sahip kurutma kabininin güneşli saatlerde depoladığı enerji güneşin etkisinin olmadığı saatlerde sisteme verildiğinden dolayı giriş havası sıcaklıkları çıkış havası sıcaklıklarından yüksek çıkmıştır. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin görünüşü. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de verilmiştir.



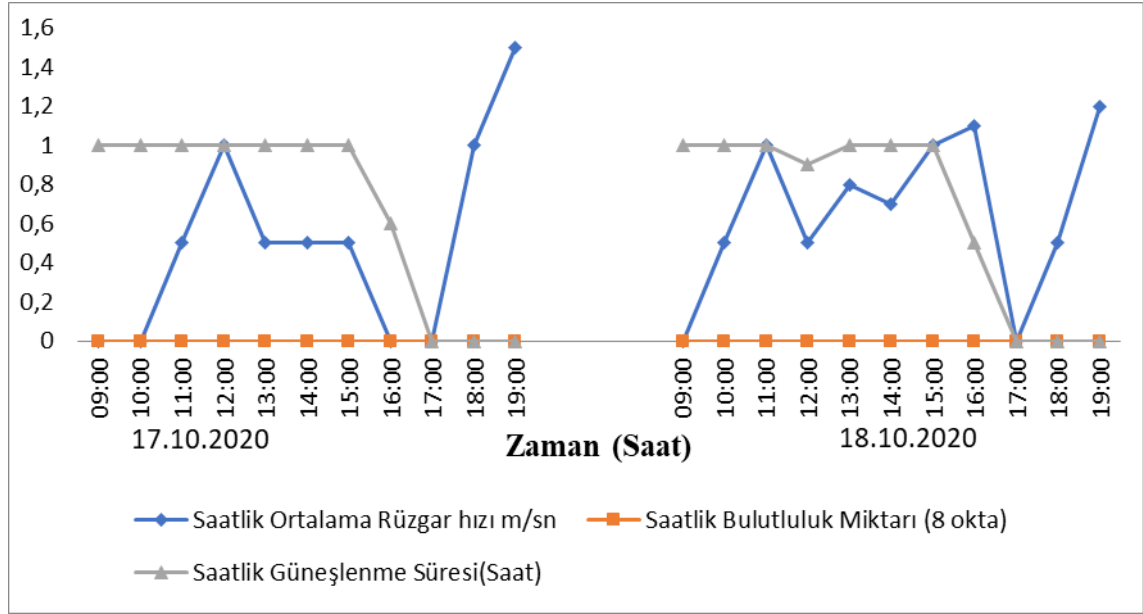
Şekil 3.7. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin görünüşü.



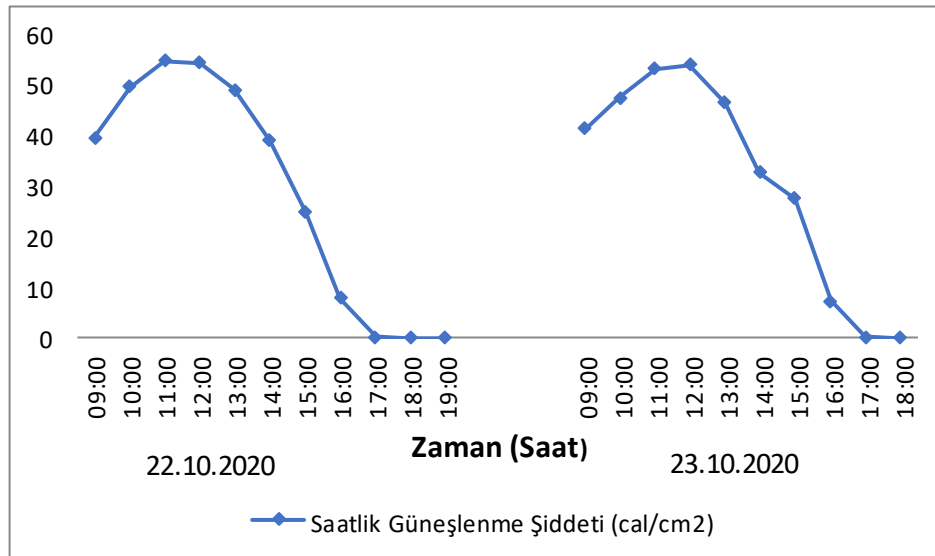
Şekil 3.8. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin kabin görünüşü.

3.2.2. 2.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları

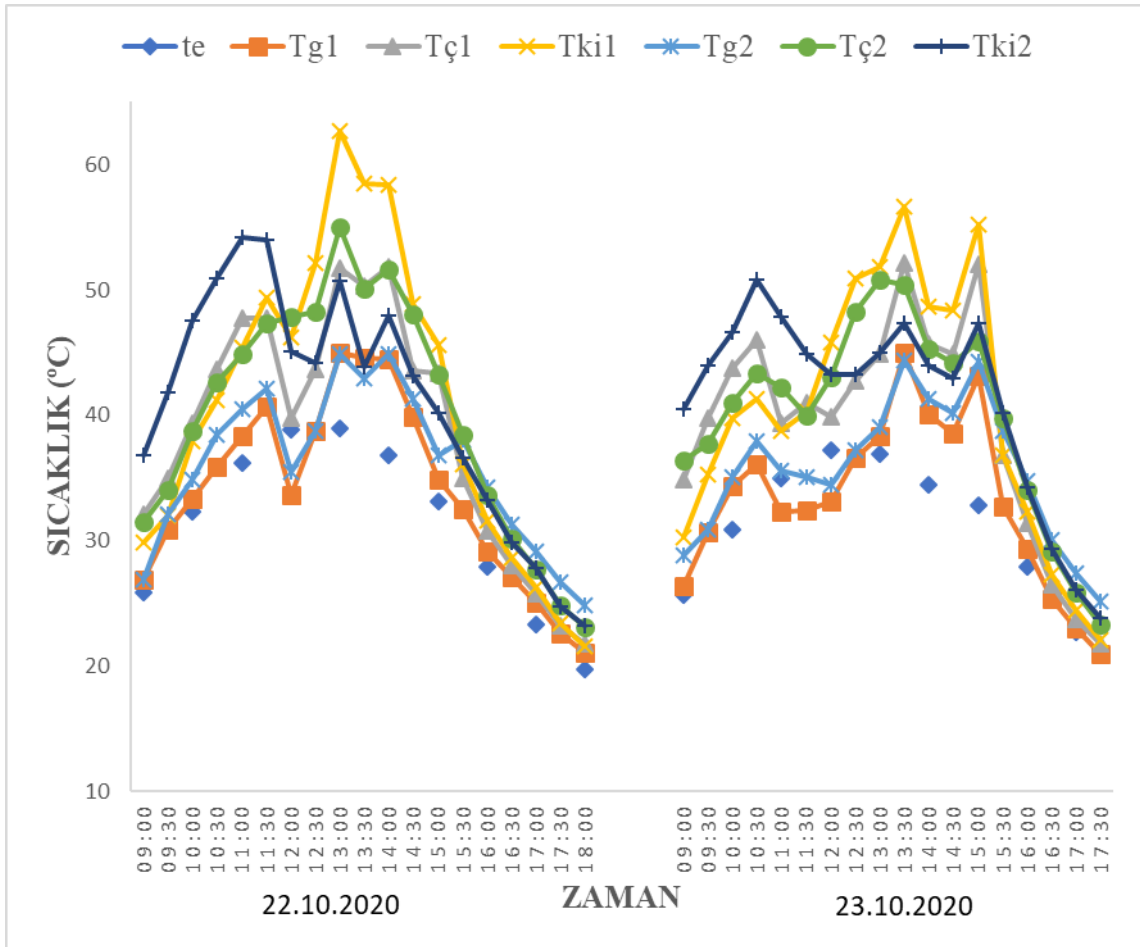
Deneylerin yapıldığı sistem 30 dakika ısındıktan sonra her iki kurutma kabininin içinin sıcaklık ve nem ölçümleri alınmıştır. Saat 09.00 da sistemin fanları çalıştırılmıştır. Kurutma kabinlerinin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti saatte bir ölçülmüştür. Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik hava durumu verileri Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da verilmiştir.



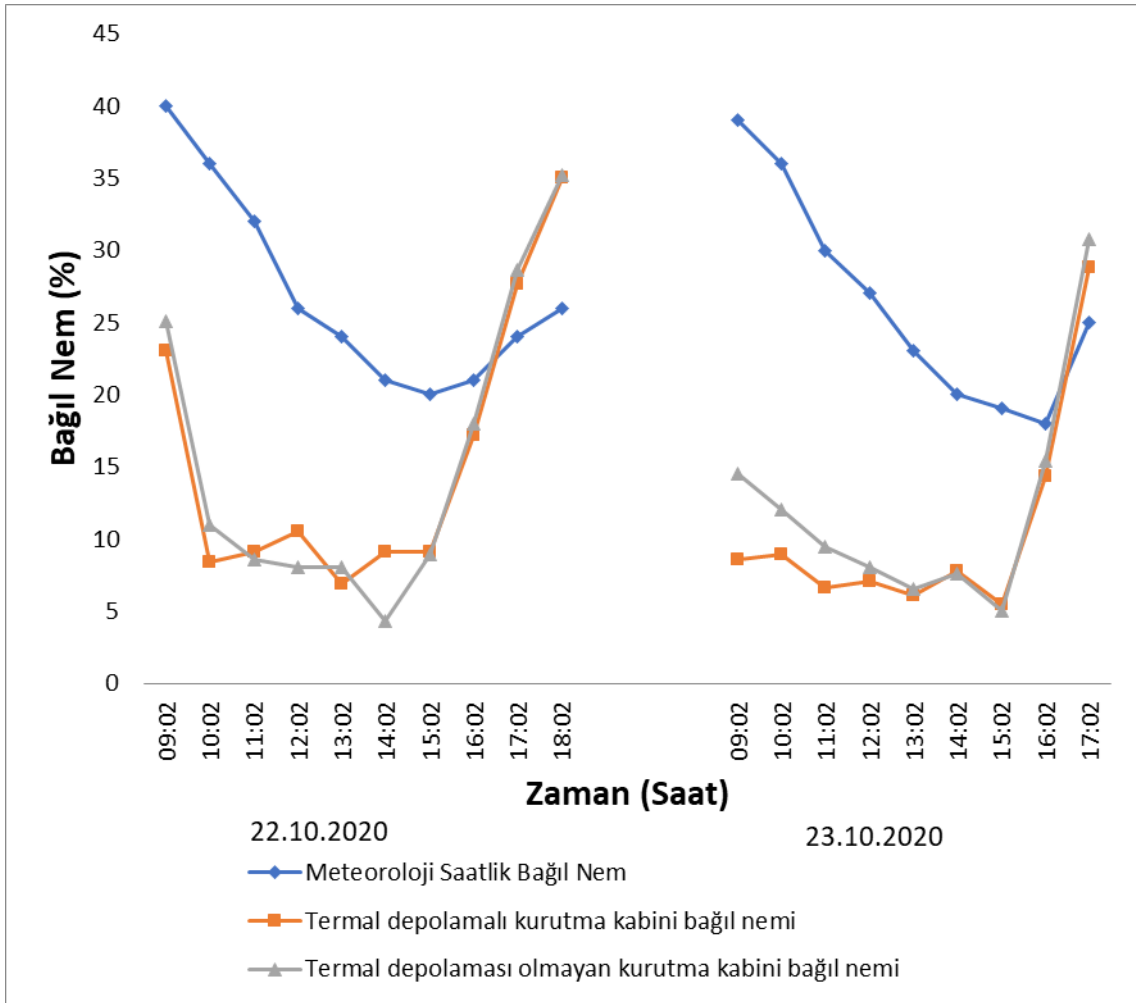
Şekil 3.9. 2.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik rüzgar hızı, bulutluluk miktarı ve güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi.



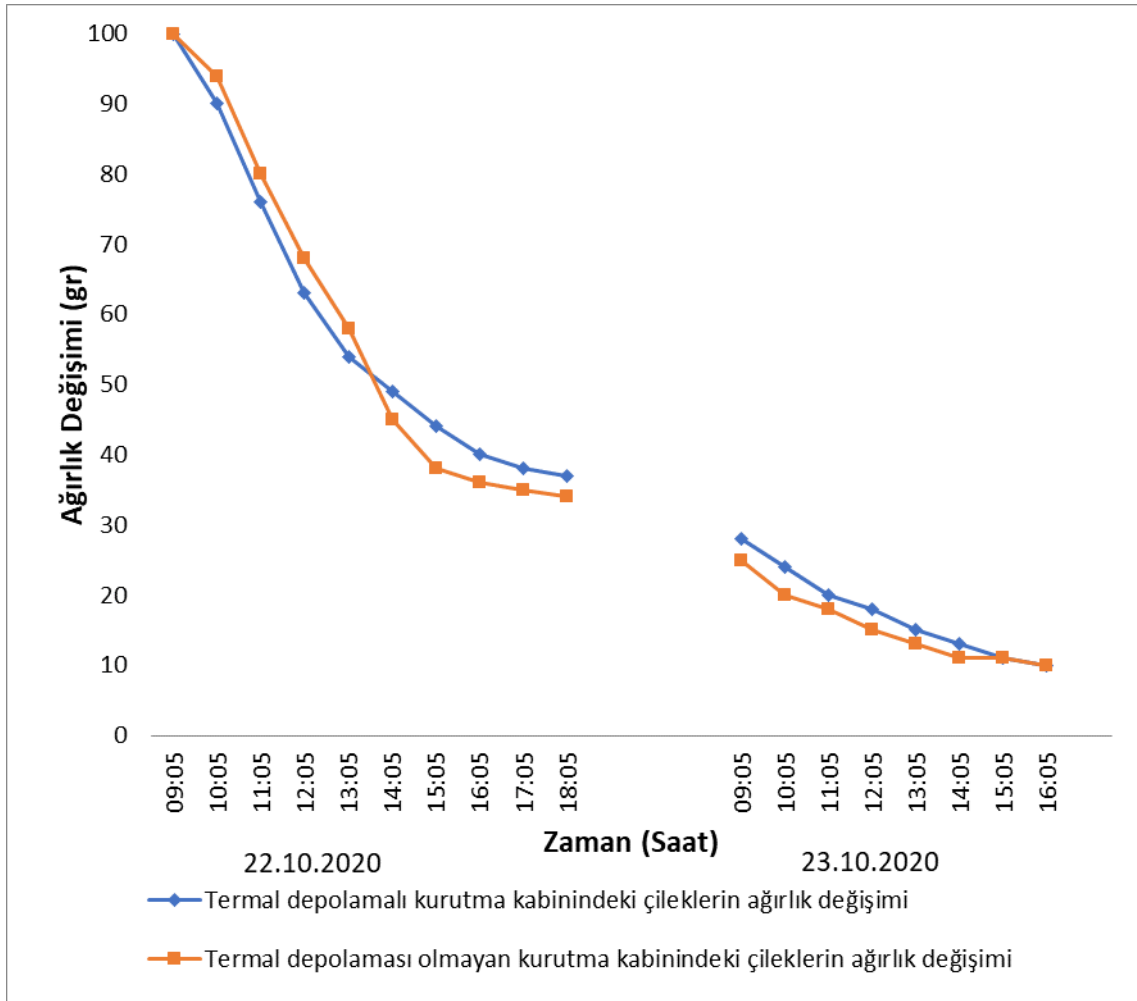
Şekil 3.10. 2.5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm²) değerlerinin zamana göre değişimi.



Şekil 3.11. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi.

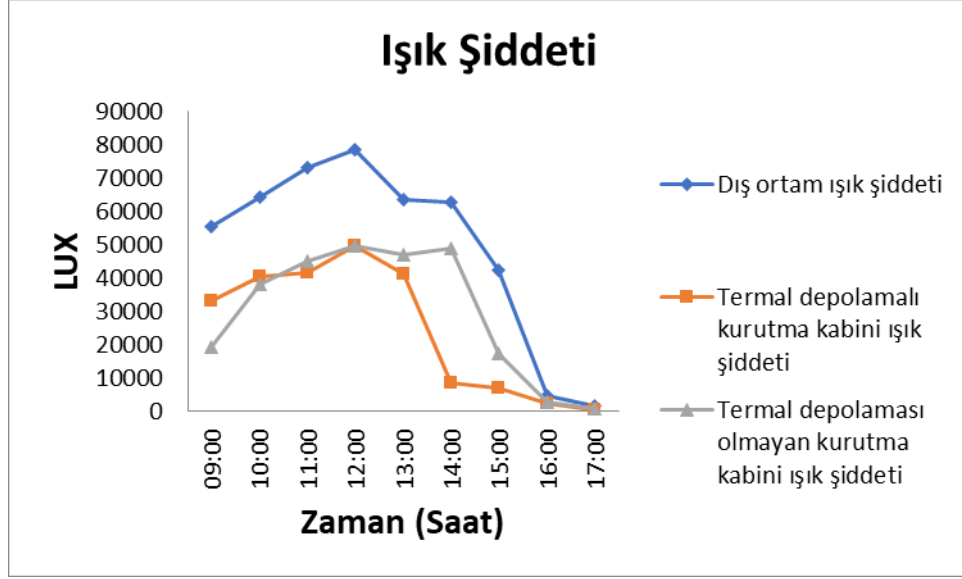


Şekil 3.12. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin, iki kurutma kabininin içinin ve dış ortam neminin zamana göre değişimi



Şekil 3.13. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin 100 gramlık çilek numunelerinin zamana göre ağırlık değişimi grafiği.

Kızıl ötesi ışınlar kurumakta olan ürünlerin rengi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle kurutucunun etrafında kullanılan polikarbon levhanın ışınları kırma özelliğinin etkisini tespit etmek amacıyla kurutma kabinlerinin içinden ve dışardan ışık şiddeti ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.14. Kurutma kabinlerinin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti değerlerinin zamana göre değişimi grafiği.

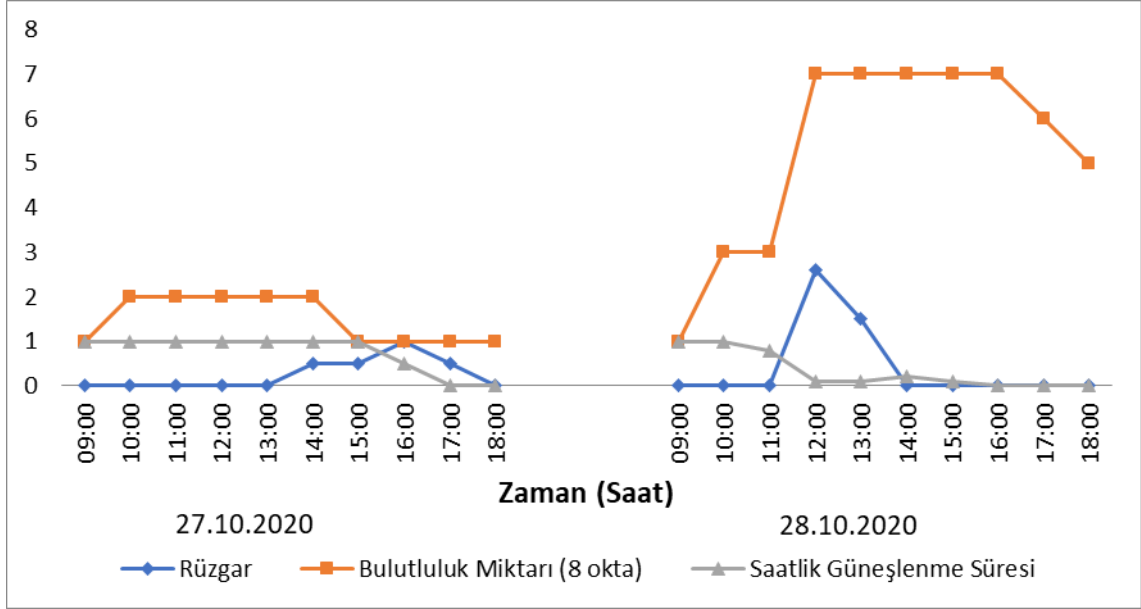
Kurutma kabinlerinin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti saatlik ölçümleri ortalamaları sonucu dış ortamın ışık şiddetinin kurutma kabinlerinin içinin ışık şiddetinin yaklaşık olarak 2.5-3 katı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri sonucunda termal depolama sistemine sahip kurutma kabininin içindeki sıcaklık 53°C'yi geçmemiştir ve termal depolama sistemine sahip olmayan kurutma kabininin içindeki sıcaklık 61 °C'yi geçmemiştir.

Saat 15.00-19.00 arasında termal depolama sistemine sahip kurutma kabinin giriş havası sıcaklığının, termal depolama sistemine sahip olmayan kurutma kabini giriş havası sıcaklığına göre ortalama 3 °C fazla çıktığı tespit edilmiştir. Kurutma öncesi 100 gram olan çilek numuneleri kurutma sonrasında 10 grama inmişlerdir. Her iki kurutma kabinlerindeki numuneler 31 saat sonunda 10 grama inmiştir. Her iki kabindeki numuneler deneyin ilk günü gece saat 19:00 dan ertesi gününün sabahı 09:00 a kadar fanlar çalışmadığı halde kurumaya devam etmiştir. Termal depolamalı kurutma kabinindeki numuneler gece 10 gram sıvıyı kaybederken termal depolamaya sahip olmayan kurutma kabinindeki numuneler 9 gram sıvı kaybetmiştir.

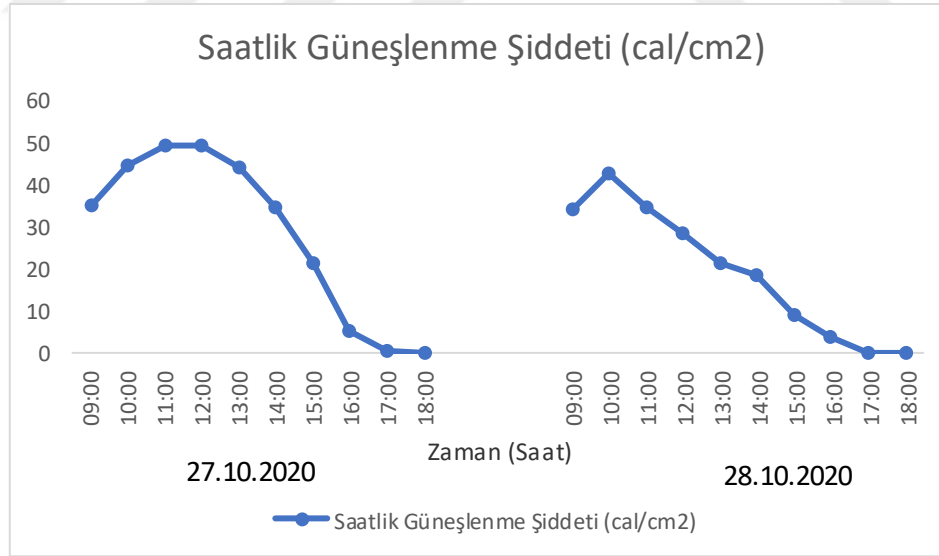
3.2.3. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneylerinin Sonuçları

Deneylerin yapıldığı sistem 30 dakika ısındıktan sonra her iki kabinin içinin sıcaklık ve nem ölçümleri alınmıştır. Saat 09.00 da sistemin fanları çalıştırılmıştır. Saatte bir kabinlerdeki nem ve çileklerin ağırlık değişimi ölçülmüştür.

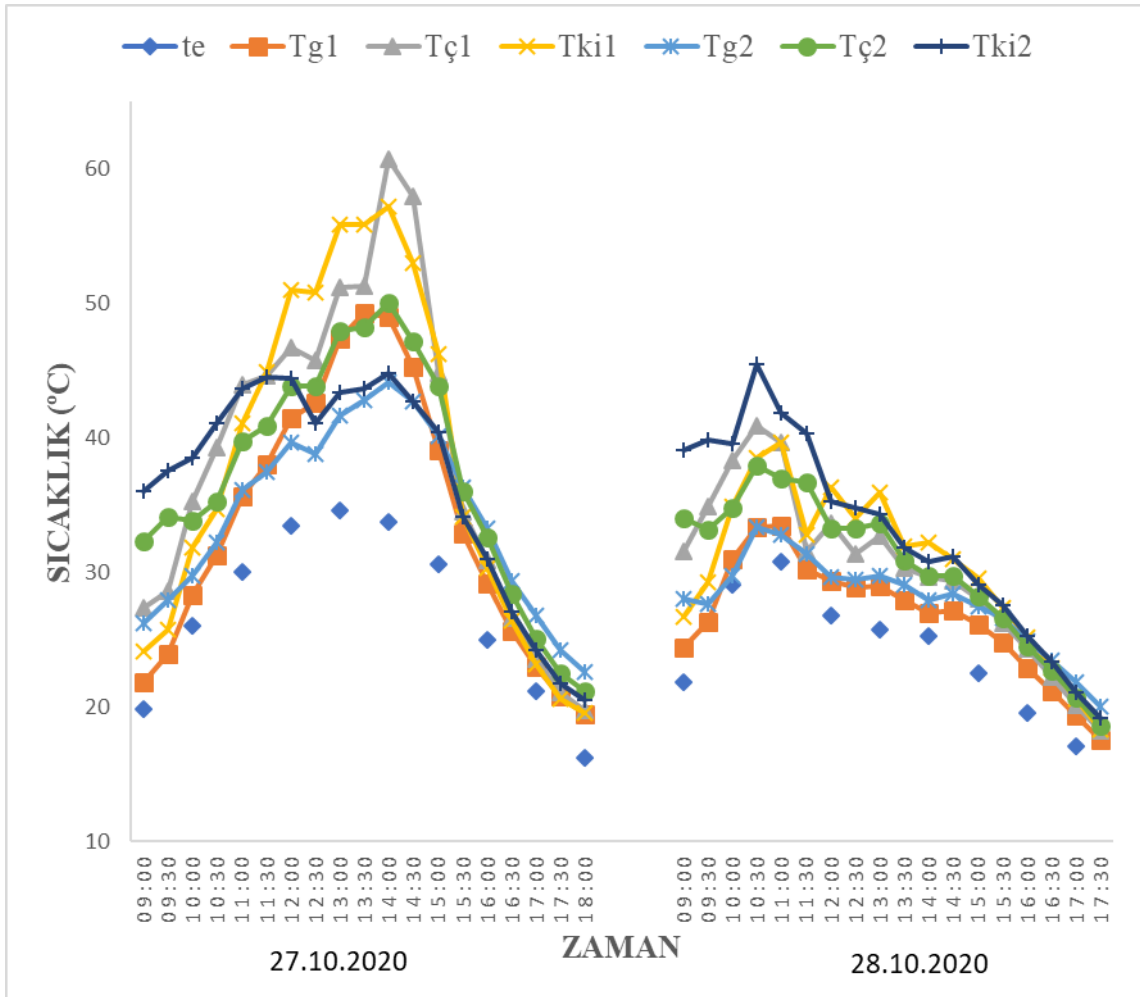
30 dakika aralıklarla kurutma kabinlerinin belirli noktalarında sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik hava durumu verileri Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'da verilmiştir.



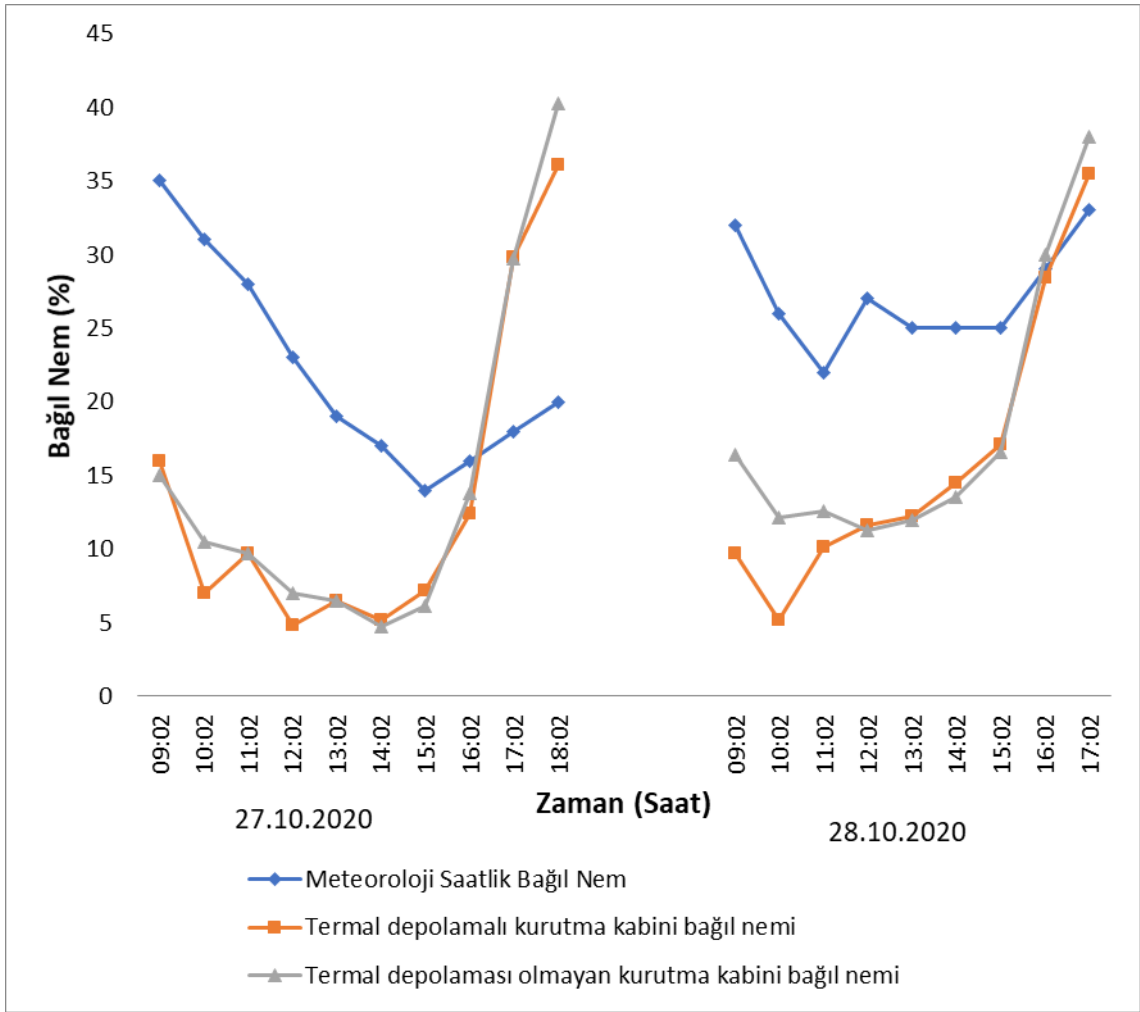
Şekil 3.15. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğünden alınan saatlik rüzgar hızı, bulutluluk miktarı ve güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi



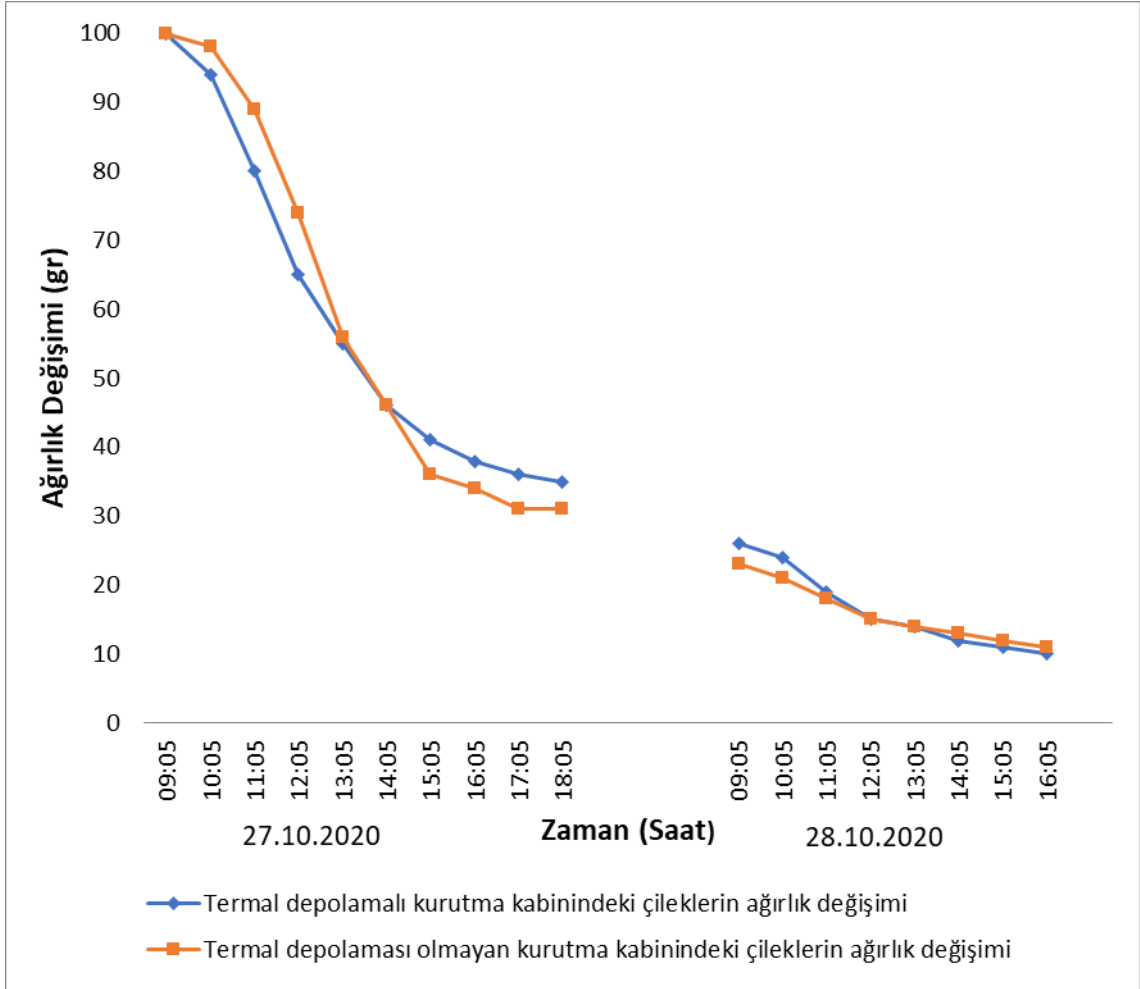
Şekil 3.16. 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Kurutma Deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm2) değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 3.17. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi.



Şekil 3.18. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneyler için iki kurutma kabininin içinin ve dış ortam neminin zamana göre değişimi



Şekil 3.19. 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneyler, 100 gramlık çilek numunelerinin zamana göre ağırlık değişimi grafiği

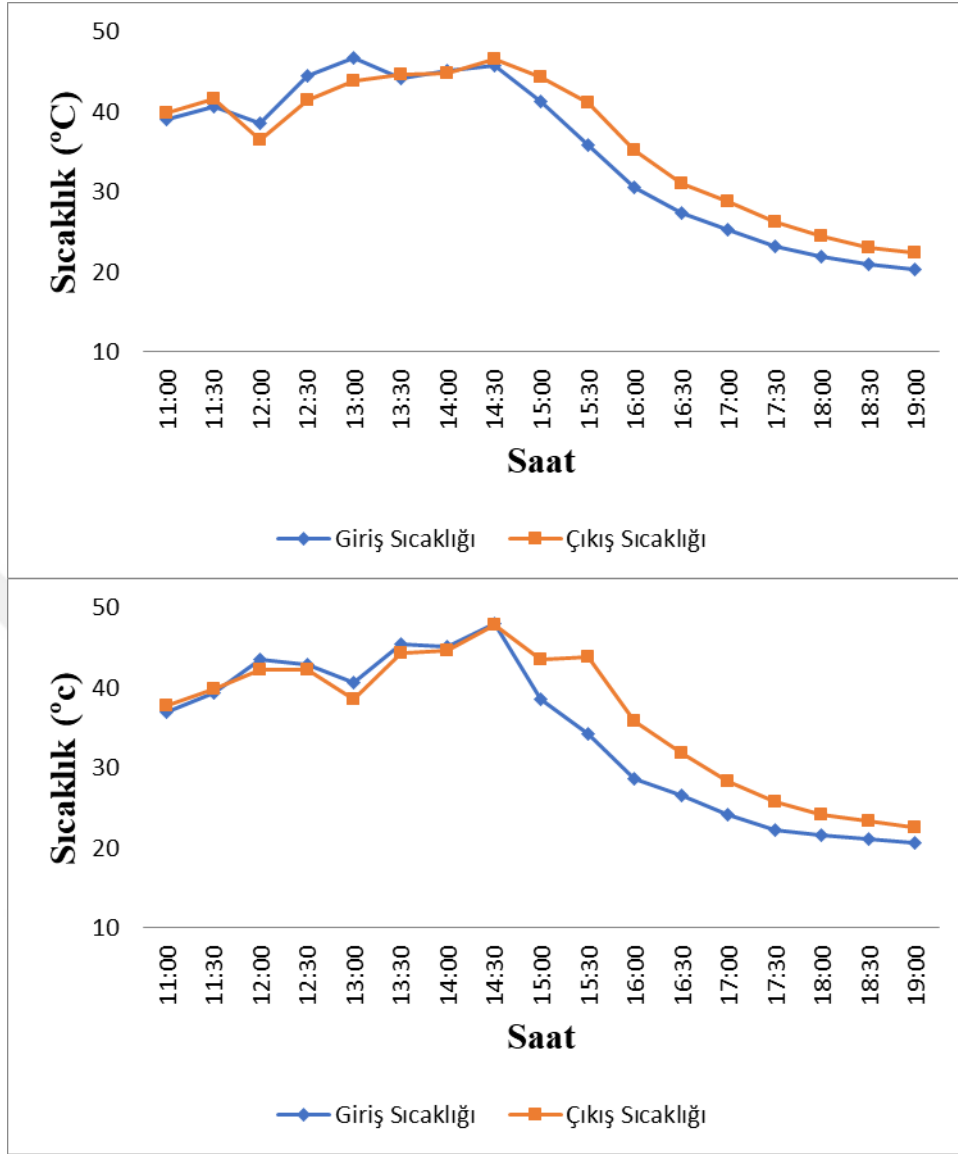
Sıcaklık ölçümleri sonucunda termal depolama sistemine sahip kurutma kabininin içindeki sıcaklık $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemiştir ve termal depolama sistemine sahip olmayan kurutma kabininin içindeki sıcaklık $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemiştir. Diğer deneylerle karşılaştırıldığında dış ortam havası sıcaklığının düşük olması ve havanın bulutlu olmasından dolayı 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerde kurutucunun sıcaklıkları daha düşük olmuştur. Buna bağlı olarak diğer deneylerle aynı sürede üründen uzaklaştırılan nem azalmıştır. 100 gramlık çilek numuneleri 31 saatin sonunda termal depolama sistemine sahip kabindeki numuneler 10 grama inerken diğer kabindeki numuneler 11 grama inmiştir. Her iki kabindeki numuneler deneylerin ilk günü gece saat 18:00 dan ertesi gününün sabahı 09:00 a kadar fanlar çalışmadığı halde kurumaya devam etmiştir.

Her iki kurutma kabinindeki numuneler 9'ar gram sıvı kaybetmiştir. Deneyler süresince dış ortam sıcaklıklarının düşük olmasından dolayı termal depolama ünitesi saat 18:00 öncesinde deşarj olduğundan dolayı gece etkili olamamış ve termal depolamaya sahip olmayan kurutma kabinindeki numunelerle aynı miktarda sıvı kaybetmiştir. 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırıldığında, dış ortam hava sıcaklıkları deneyler süresince 2.5 m/s Fan hızında yapılan deneylerde 1.5 m/s Fan hızında yapılan deneylere göre daha yüksek olduğundan dolayı gece 2.5 m/s fan hızında yapılan deneylerde termal depolama sistemine sahip kurutma kabinindeki numuneler diğer kabine göre daha fazla sıvı kaybetmiştir.

3.3. Enerji Depolama Sistemi ile İlgili Deneysel Çalışmalar

Termal enerji depolama malzemesi olarak, farklı büyüklüklerde taşlar ve metal parçaları karışımı kullanılmıştır. 0.081m³ hacminde termal malzeme termal depolama ünitesine (2. Bölüm) yerleştirilmiştir. Yapılan deneylerde genellikle 09.00-15.00 saatleri arasındaki sürede enerji depolama sistemi şarj edilmiş ve saat 15.00'den sonra kendiliğinden deşarj işlemi başlamıştır. Bu işlem ile şarj süresi boyunca depolanan enerjinin 2. bölüm kurutma kabine aktarılması sağlanmıştır. Eş iki kurutma kabini ve eş iki kolektörden oluşan sistemde yapılan deneylerde; şarj süresi 2. Bölümün termal depolama ünitesi çıkış sıcaklığının (2. Bölüm kurutma kabini giriş sıcaklığı) 1. Bölüm kurutma kabini giriş sıcaklığından düşük olduğu saatler, deşarj süresi ise 2. Bölüm termal depolama ünitesi çıkış sıcaklığının 1. Bölüm kurutma kabini giriş sıcaklığından yüksek olduğu sıcaklık olarak kabul edilmiştir. Termal depolama sistemi giriş sıcaklığı kolektör çıkış sıcaklığı olmuştur. Termal depolama ünitesine giriş ve çıkış sıcaklığının zamana göre değişim grafikleri Şekil 3.20. ile Şekil 3.22. aralığında verilmektedir.

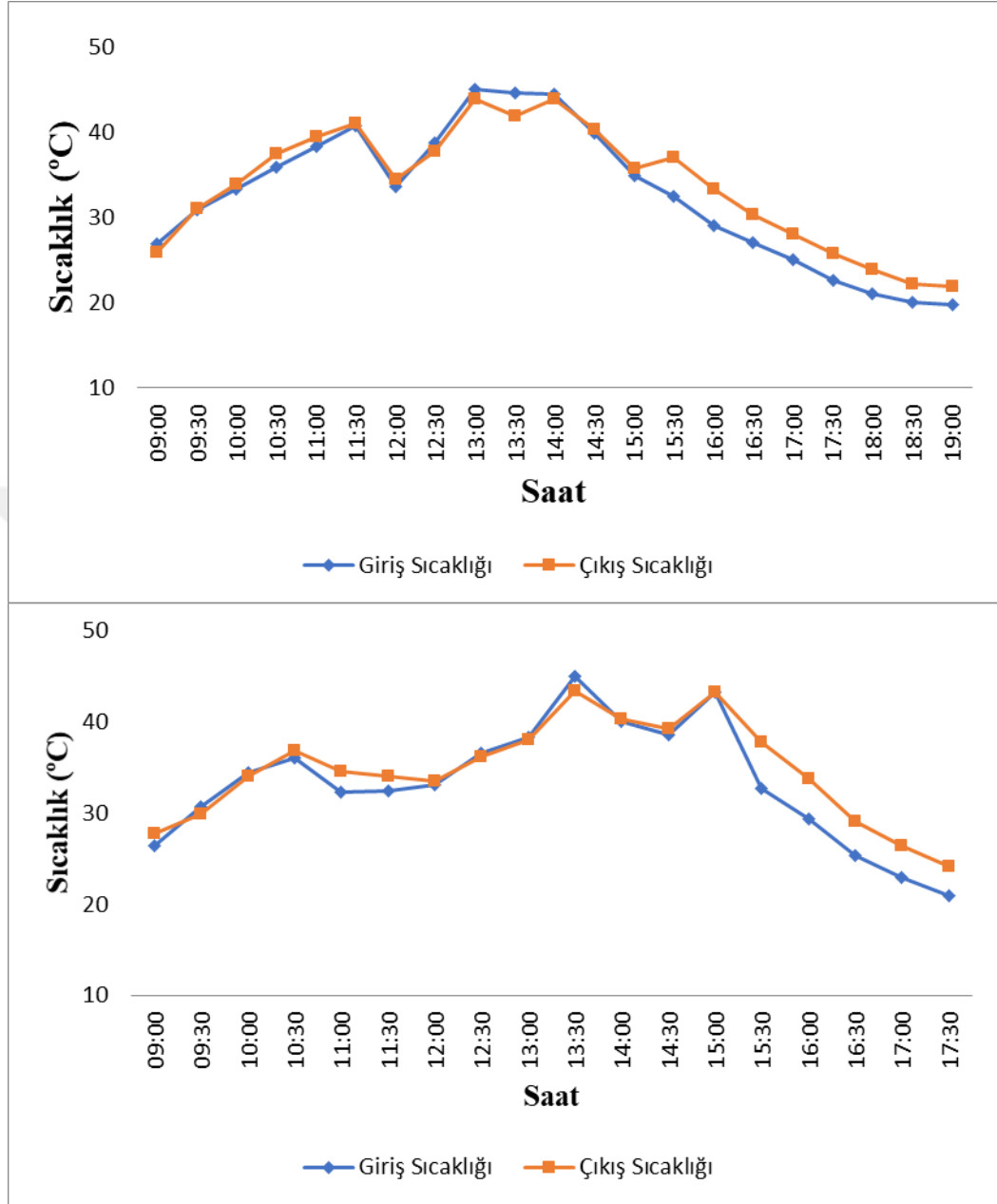
3.3.1. Termal Depolama Sistemi 3.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları



Şekil 3.20. 3.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Grafiklerden görüldüğü gibi 30 °C'nin üzerinde başlayan bu deneylerde deneylerin başlangıcında termal depolama ünitesine giriş ve çıkış sıcaklıkları yakın değerde olmuştur. Dış ortam sıcaklığının düştüğü 15.00'ten sonraki saatlerde termal depolama ünitesi çıkış sıcaklığı yüksek olmuştur.

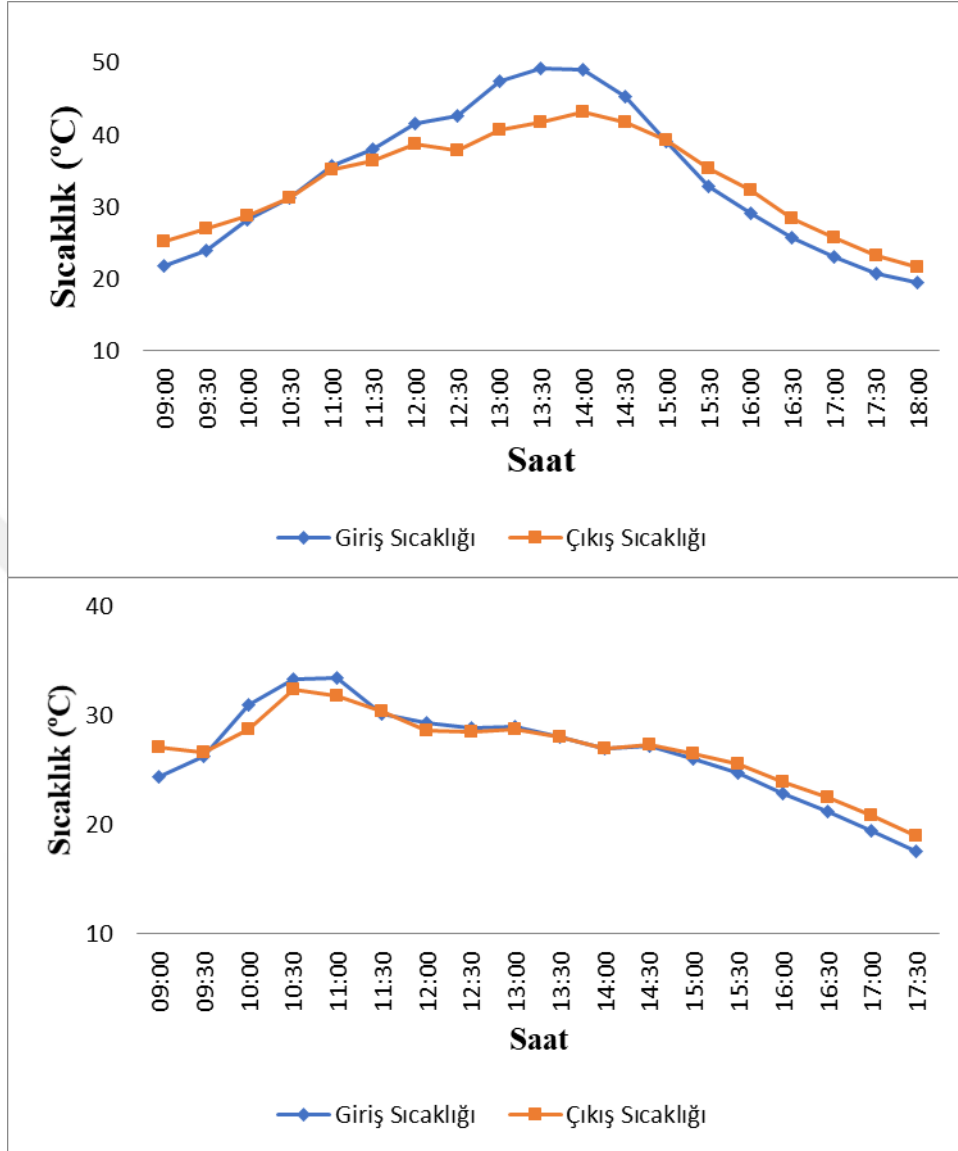
3.3.2. Termal Depolama Sistemi 2.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları



Şekil 3.21. 2.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Termal depolama sistemi şarj döneminde giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark belirgin olmamasına karşın deşarj döneminde depolanan enerjinin havaya geçmesinden dolayı aradaki fark yüksek olmuştur.

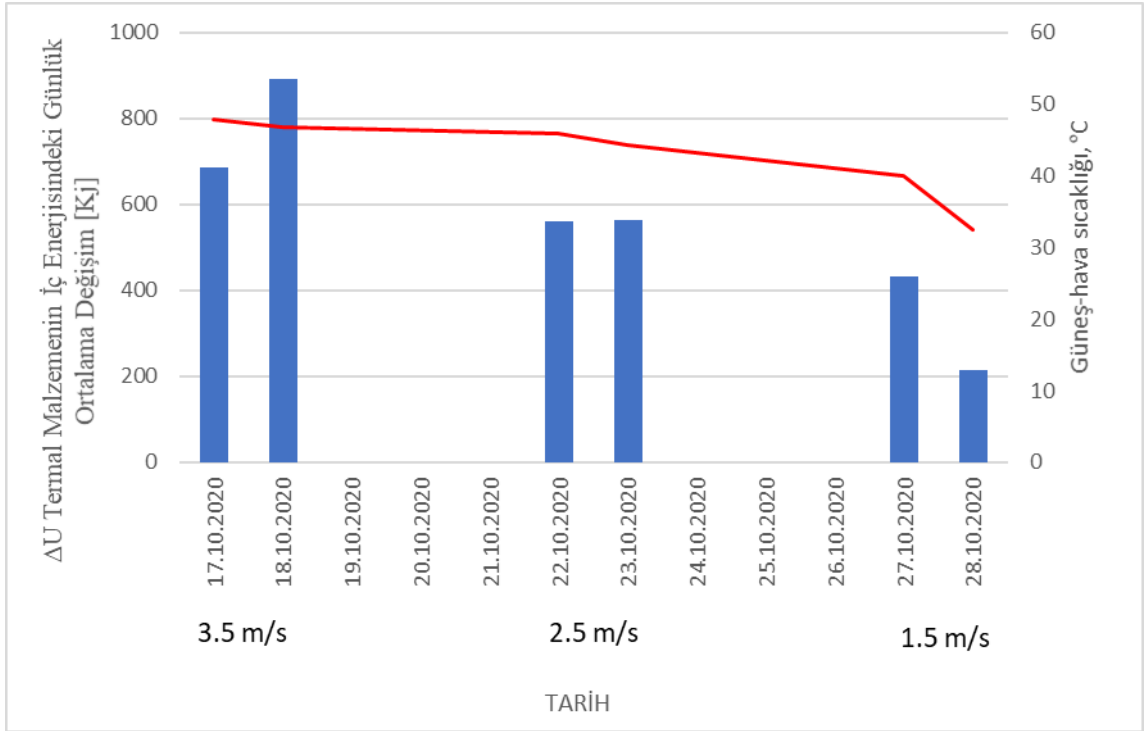
3.3.3. Termal Depolama Sistemi 1.5 m/s Fan Hızında Yapılan Deneylerin Sonuçları



Şekil 3.22. 1.5 m/s Fan hızında termal depolama sistemi giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Grafiklerden de görüldüğü gibi termal depolama ünitesi sıcaklığın yüksek olduğu saatlerde fazla olan enerjiyi depolamış, kolektör çıkış sıcaklığın düştüğü saatlerde de deşarj olup ısını kurutma havasına aktarmıştır. Böylece kurutma havası sıcaklık farkını düşürmüştür.

3.3.4. Termal Malzemenin İç Enerjisindeki Değişim

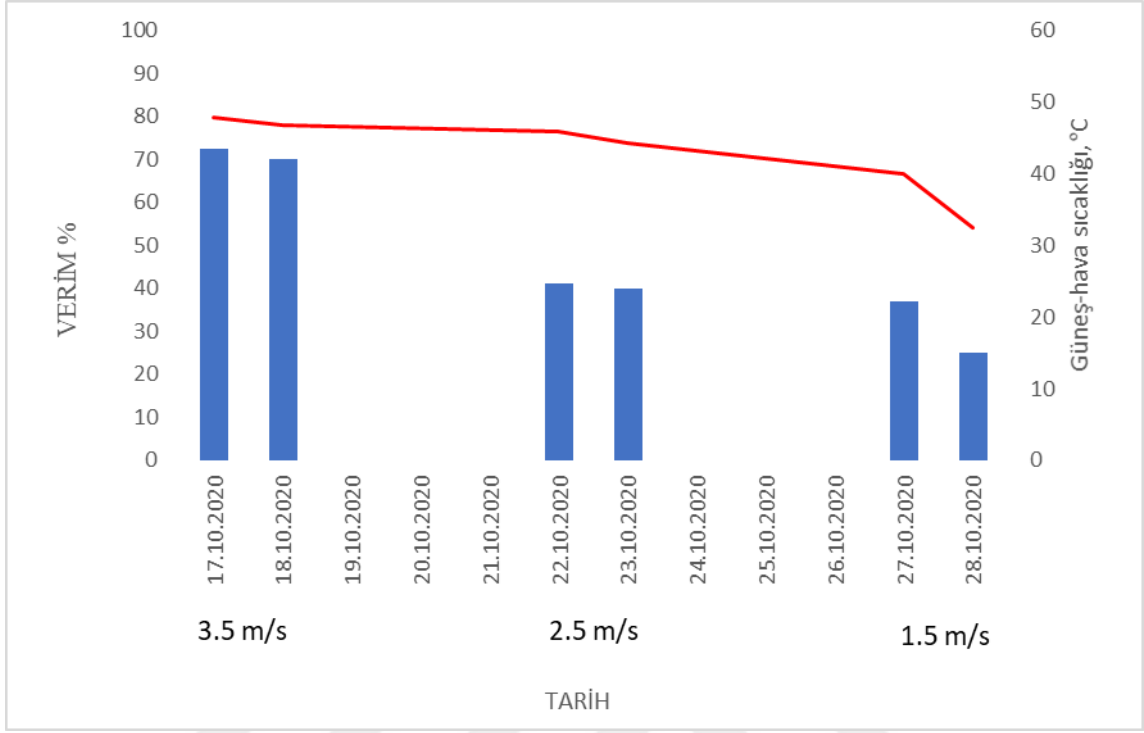


Şekil 3.23. ΔU Termal malzemenin iç enerjisindeki günlük ortalama değişim [kJ] ve kollektör güneş hava sıcaklığı (°C)

Bu çalışmada termal malzemede depolanan enerji güneş hava sıcaklığına bağlıdır. Güneş hava sıcaklığının düşmesi ile termal malzemenin iç enerjisindeki değişim oranı düşmüştür.

3.4. Verimlilik

3.4.1. Kollektör verimliliği

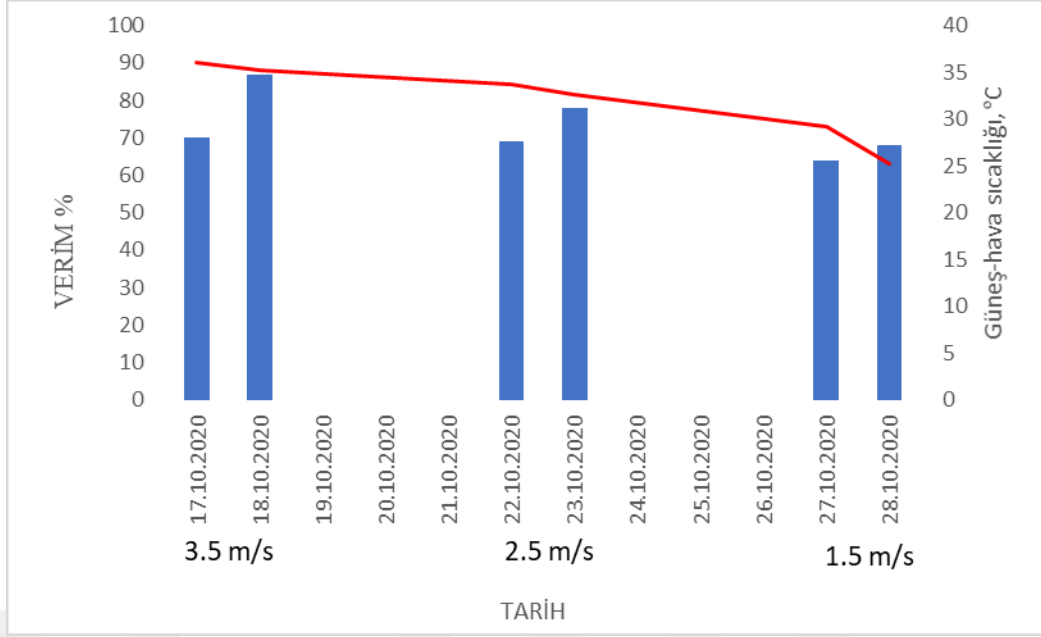


Şekil 3.24. Farklı fan hızlarında yapılan deneylerin kollektör verim grafiği

Güneş hava sıcaklığının düşmesi ile kollektör verimi düşmüştür. 17.10.2020 ile 22.10.2020 tarihlerinde sırasıyla 3.5 m/s ve 2.5 m/s fan hızında deneyler yapılmıştır. Bu tarihlerde ortalama sıcaklık ve ışınım değerleri yakın olduğu halde kollektör verimlilikleri arasında büyük fark olmuştur. İki tarihte yapılan farklı fan hızları kıyaslandığında 3.5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kollektör verimlilikleri 2.5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kollektör verimliliklerinden daha yüksek olmuştur.

3.4.2. Kurutma kabin verimliliği

Kurutma kabininin etrafı polikarbon levha ile kaplı olduğundan dolayı kurutma kabini doğrudan güneş ışınlarıyla ısınmaktadır. Kurutma kabinin verimliliği Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. Farklı fan hızlarında yapılan deneylerin kabin verim grafiği

Kurutma kabininin ısınması güneş hava sıcaklığına bağlı olduğundan, güneş hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda verim yüksek çıkarken güneş hava sıcaklığının düşük olduğu zamanlarda verim düşük çıkmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında termal depolama malzemesi olarak farklı büyüklüklerde taşlar ve metal parçaları karışımı kullanılmıştır. Batman İli şartlarında doğrudan ve dolaylı güneş enerjili termal depolamalı bir kurutucunun termal depolama ünitesinde bu termal malzemenin performansı incelenmiştir. Yapılan deneylerde genellikle 09.00-15.00 saatleri arasındaki sürede enerji depolama sistemi şarj edilmiş ve saat 15.00'den sonra kolektör ısısı düştüğünden dolayı deşarj işlemi kendiliğinden başlamıştır. Ayrıca deneyler sırasında bu kurutucuda Sason Çileği'nin kurutma parametreleri incelenmiştir.

Deneylerde eş iki bölümden oluşan kurutucunun bir bölümünde termal depolama sistemi kullanılırken diğerinde kullanılmamıştır. İki bölüm deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece eş zamanlı gerçekleştirilen deneylerde termal depolamanın etkisi tespit edilmiştir. Her kurutma kabini için 1 tepsi kullanılmış ve tepsi başına 1.5 kilogramlık çilek dilimleri bırakılmıştır.

Deneyler 3,5 m/s, 2,5 m/s ve 1,5 m/s hızlarında 3 farklı fan hızında yapılmıştır. Kolektörden kurutma kabine gelen sıcak havanın sıcaklığının fan hızı arttıkça düştüğü fan hızı düştükçe yükseldiği gözlemlenmiştir. Batman İli şartlarında ekim ayında gün geçtikçe sıcaklıklardaki düşüşler hızlanmaktadır. Bu nedenle deneyler yapılırken fan hızının düşmesi ile sıcaklığın artmasından dolayı deneylere yüksek fan hızından başlanmıştır. Böylece hava sıcaklığı genellikle düşük olan 1.5 m/s hava hızında yapılan deneylerde 31 saatte kuruma sağlanmıştır.

Çilek numuneleri 3.5 m/s ve 2.5 m/s fan hızında yapılan deneylerde, her iki kurutma kabini de yaş baz ağırlığının %10 değerine indirilmiştir. 1.5 m/s fan hızında yapılan deneylerde termal depolama sistemi kullanılan kabindeki numuneler yaş baz ağırlığının %10 değerine inerken, termal depolama sistemi kullanılmayan kabindeki numuneler yaş baz ağırlığının %11 değerine inmiştir.

3.5 m/s hava hızında yapılan deneylerle eş zamanlı olarak dışarıda kurumaya bırakılan çilekler dört gün içinde kurumuştur. Böylece açık havada kurutma sisteminin iki katı kadar sürede kuruma gerçekleşmiştir. Dışarıdaki olumsuz koşullardan dolayı açık havada kurutulan çileklerin üzerinde toz ve kuş dışkısı gözlemlenmiştir. Kurutma sisteminde kurutulan çileklerin ise temiz, renklerinin daha parlak ve canlı olduğu gözlemlenmiştir.

Kurutma sisteminin etrafı polikarbon levha olduğundan dolayı kurutma kabinleri güneş ışınlarını doğrudan almış ve daha fazla ısınmıştır. Bu nedenle güneşli saatlerde kurutma kabinleri çıkış sıcaklıkları giriş sıcaklıklarından yüksek çıkmıştır.

Son yıllarda iklimin değişmesi nedeniyle sonbaharda sıcaklıklarda büyük farklar görülmektedir. Batman İli şartlarında ekim ayında yapılan bu çalışmada kurutma işlemi yapıldığı sırada bulutsuz havada dış ortam sıcaklığı maksimum 30.7 °C olduğu gün minimum 21 °C olurken, başka bir gün bulutlu havada maksimum 27 °C iken minimum 12.7 °C'de ölçülmüştür.

Tarımsal ürünler kurutulurken besin değerlerinin bozulmaması için kurutma havası sıcaklığının belirli değerlerin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Güneşli havalarda yapılan deneylerde, termal depolama sisteminin kullanılması kurutma havasının fazla ısınmasının önüne geçilmiştir. Böylece kurutulan ürünlerin besin değerleri korunmuştur. Yapılan deneylerde bulutlu havalarda termal depolama sistemi kullanılması ise kurutma hızı açısından farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Havanın, termal depolamanın şarj saatleri olan sabah saatlerinde güneşli olup, öğleden sonra bulutlu olduğu durumda, sabah saatlerinde enerji depolandığından dolayı termal depolama sistemine sahip kabindeki ürünler daha hızlı kurumuştur. Sabah saatleri bulutlu olup öğleden sonra güneşli olan durumda da termal depolama sistemi öğleden sonra depolama yaptığı için kurutma havası sıcaklığı düştüğünden dolayı termal depolama sistemine sahip olmayan kabindeki ürünler daha hızlı kurumuştur.

Yapılan hesaplamalarda termal enerji depolama, kollektör ve kabin verimlerinin güneş hava sıcaklığına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Güneş hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda termal malzeme daha fazla enerji depolamış, kollektör ve kabin verimleri yüksek çıkmıştır. Ayrıca kollektör verimliliği fan hızının düşmesi ile beraber düşmüştür.

4.2 Öneriler

Kurutma hızının sıcaklıkla doğru orantılı olduğu göz önünde bulundurulduğunda. Bu sistemin ekim ayında verimli bir şekilde kullanılması için hava sıcaklığının düşük olduğu zamanlarda termal depolama sistemi bağlantısının kesecek, manüel veya sıcaklık sensörüne bağlı, sistemi açıp kapatacak bir sistemin eklenmesi önerilmektedir. Böylelikle gündüz saatlerinde yüksek sıcaklıklarda termal depolama sistemi devreye girecek, düşük sıcaklıklarda devreden çıkacaktır. İleriki çalışmalarda termal depolama ünitesinde faz değiştiren malzemeler de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, M. ve Kara, M. Ç., 2013, Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 733-741.
- Ampratwum, D.B. and Dorvlo A.S.S., 1998, Evaluation of a solar cabinet dryer as an air-heating system, *Applied Energy*, 59(1), 63-71.
- Arunsandeep, G., Lingayat, A., Chandramohan V.P., Raju, V.R.K. and Reddy, K.S., 2018, A numerical model for drying of spherical object in an indirect type solar dryer and estimating the drying time at different moisture level and air temperature, *Int J Green Energy*, 15(3).
- Ataer, Ö. E., 2006, Storage of thermal energy in energy storage systems. *In Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO.*
- Atalay, H., 2019, Performance analysis of a solar dryer integrated with the packed bed thermal energy storage (TES) system. *ScienceDirect, Energy* 1037-1052.
- Azaizia, Z., Kooli, S., Hamdi, I., Elkhail, W. and Guizani, A.A., 2020, Experimental study of a new mixed mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper, *ScienceDirect, Renewable Energy*, 145, 1972-1984.
- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B. and Benhamou A., 2019, Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models, *ScienceDirect, Renewable Energy*, 133, 144-155.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, *Sebzeleri Kurutma*. Ankara, 2012.
- Banchero, J.T., ve Badger, W.L., 1973, Kimya mühendisliğine giriş. *İstanbul: Ünit operasyonlar.*
- Barnes, F. S., and Levine, J. G., 2011, Large energy storage systems handbook, *The CRC Press Series in Mechanical and Aerospace Engineering*, New York, CRC Press.
- Beaudin, M., Zareipour, H., Schellenberglobe, A., and Rosehart, W., 2014, Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review, *Energy for Sustainable Development*, 302-314.
- Bhardwaj, A.K., Kumar, R., and Chauhan, R., 2019, Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for, *ScienceDirect, Solar Energy*, 177(1), 395-407.

- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall. C.W., 1974, Drying cereal grains. *Westport AVI*.
- Bruin, S., and Luyben, K.Ch.A.M., 1980, Drying of food materials. A review of recent developments, *Hemisphere Publishing Corporation*, 1.
- Bulut, H., Boloğur H., İlgin Beyazıt N., Demirtaş, Y., and İşiker Y., 2017, Design And Experimental Analysis Of A Solar Hybrid Type Drying System. Harran University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Osmanbey Campus, 63190-Şanlıurfa, Taha Engineering, 63190-Şanlıurfa: International Advanced Researches & Engineering Congress-2017 [Http://Iarec.Osmaniye.Edu.Tr/ Osmaniye/TURKEY](http://Iarec.Osmaniye.Edu.Tr/Osmaniye/TURKEY) 16-18 November 2017.
- Cabeza, L. F., 2012, Thermal energy storage. *Comprehensive Renewable Energy*, 211-254 .
- Cankurtaran, E., 2018, Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.
- Chaouch, W. B., Khellaf, A., Mediani, A., El Amine Slimani, M., Loumani, A. and Hamid, A., 2018, Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment, *ScienceDirect, Solar Energy*, (174).
- Cordaro, M., 2008, Understanding base load power, *Affordable Reliable Electricity Alliance*, New York.
- Datta, A.K. 2007, Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations, *ScienceDirect, Journal of Food Engineering*, 80(1), 80-95.
- Dinçer, İ., and Rosen. M. A., 2011, Thermal Energy Storage Systems and Applications. Ontario, Canada: Wiley.
- Doğantan, Z. S. 1986, Kahramanmaraş biberlerinin kurutmaya yönelik fiziksel ve kimyasal özelliklerinin saptanması ile doğal koşullarda ve plastik örtü altı güneş toplayıcılarıyla kurutma üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- EL khadraoui, A., Hamdi, I., Kooli, S. and Guizani, A., 2019, Drying of red pepper slices in a solar greenhouse dryer and under open sun: Experimental and mathematical investigations, *ScienceDirect, Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 262-270.
- Esgel, H., 2014, Kordiyerit esaslı seramik malzemeden yapılmış termal enerji depolama sisteminin analizi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, İstanbul.

- Essalhi, H., Benchrif, M., Tadili, R. and Bargach. M.N., 2018, Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun, *ScienceDirect, Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 58-64.
- Fudholi A, Sopian K, Bakhtyar B, Gabbasa M, Yusof, M. and Ha, M., 2015, Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 51, 1191–1204.
- Gültekin, R., 2016, Şanlıurfa şartlarında patlıcanın kurutulmasında güneş enerjili kurutma makinesi geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.
- Hall, C. W., Kunze, O. R., Calderwood, D. L., Maddex, R. L., Shove, G. C. and Davis. D. C., 1980, Drying and storage of agricultural crops. *Washington State Univ, Pullman, WA 99164, USA*.
- Hancock, J.F., 1999, Strawberries, *CAB International, Wallingford, UK*.
- Hsu, K.H., 1983, A diffusion-model with a concentration-dependent diffusion-coefficient for describing water movement in legumes during soaking, *Journal of Food Science*, 48.
- IRENA, 2012, Renewable Energy Technologies, Cost Analysis Series, *IRENA working paper*, 2/5, (2).
- Jaguste, D.N. and Bhatia. S.K., 1995, Combined surface and viscous flow of condensable vapor in porous media, *Chemical Engineering Science*, 50.
- Kaewkiew, J., Nabnean, S. and Janjai. S., 2012, Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand. *SciVerse ScienceDirect*, 32.
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A. and Jain. A., 2016, Thermal energy storage based solar drying systems: a review, *Innov Food Sci Emerg Technol*, 34.
- Kumar, M., Sansaniwal, S.K. and Khatak. P., 2016, Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renew Sustain Energy Rev*, 55.
- Kuravi, S., Trahan, J., Goswami, D. Y., Rahman, M. M. and Stefanakos E. K., 2013, Thermal energy storage technologies and systems for concentrating solar power plants. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, 285-319.
- Lingayat, A. B., Chandramohan, V.P., Raju, V.R.K. and Meda, V., 2020, A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights, *ScienceDirect, Applied Energy*, 258.
- Liu, G. and Tomsovic, K., 2014, A full demand response model in co-optimized energy and reserve market. *Electric Power Systems Research*, 111, 62-70.

- Lund, H., Marszal, A. and Heiselberg P., 2011, Zero energy buildings and mismatch compensation factors. *Energy & Buildings*, 43, 1646-1654.
- Maas, J.L., 1998, Compendium of Strawberry Diseases, *APS press, second edition*, Minnesota USA.
- Machado, M.D., Oliviera, F.A.R. Gekas, V. and Singh, R.P., 1998, Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. *International Journal of Food Science and Technology*, 33.
- Mahlia, T. M., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H. and Matseelar, H. S., 2014, A review of available methods and development on energy storage; technology update, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 532-545.
- Mezrhah, A., Elfarh, L., Naji, H. and Lemonnier, D., 2010, Computation of surface radiation and natural convection in a heated horticultural greenhouse. *Appl Energy*, 87.
- Muhlbauer, W., 1986, Present status of solar crop drying, *Energy Agric.*
- Ouaabou, R., et al. 2018, Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries, *ScienceDirect, Solar Energy*, 172.
- Öztürk, M., 2012, Güneş enerjisi destekli bir kurutucuda sürekli ürün kurutulması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Pangavhane, D.R. and Sawhney. R.L., 2002, Review of research and development work on solar dryers for grape drying, *Energy Convers Manag*, 43.
- Pielichowska, K., 2014, Phase change materials for thermal energy storage. *Journal of Progress in Materials Science*, 65, 67-123.
- Price, H., et al., 2002, Advances in parabolic trough solar power technology. *Journal of Solar Energy Engineering*, 124, 109-125.
- Rabha, D.K. and Muthukumar P., 2017, Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax-based latent heat storage system, *ScienceDirect, Solar Energy*, 149.
- Rassis, D., Nussinovitch, A. and Saguy, I.S, 1997, Tailor-made porous solid foods, *International Journal of Food Science and Technology*, 32.
- Rathore, N.S. and Panwar, N.L., 2010, Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. *Appl Energy*, 87.
- Sanjuan, N., Simal, S., Bon, J. and Mulet, A., 1999, Modelling of broccoli stems rehydration process, *Journal of Food Engineering*, 42.
- Schwartzberg, H.G., ve Chao. R.Y., 1982, Solute diffusivities in the leaching processes, *Food Technology*, 36.

- Suberu, M. Y., Mustafa, M. W. and Bashir, N., 2014, Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 499-514.
- Tedesco, F.C., Bühler, A.J. and Wortmann, S., 2018, Design, construction and analysis of a passive indirect solar dryer with chimney, *Sol Energy Eng*, 141.
- Toei, R., 1983, Drying mechanisms of capillary porous bodies, *Advances in Drying*, 2.
- Toraman, S., 2015, Siklon tipi bir kurutucuda zencefilin kuruma davranışının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Tosun, N., Bayındır, H. ve Aydın, H. 2009, Diyarbakır ilinde çok fonksiyonlu güneş enerjili kurutma sistemi oluşturulması üzerine bir araştırma, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Diyarbakır: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası-2009*, Diyarbakır, 84-89.
- Törün, B., 2018, Aydın ve Mersin illerinden toplanan çileklerde botrytis cinerea popülasyonlarındaki transpozon sıklığı ve fungusit dirençliliği. *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın.
- Tripathy, P.P. and Kumar. S., 2009, Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying, *Appl Therm Eng*, 29.
- Anonim, 2020, TÜİK, (<https://www.tuik.gov.tr/>)
- Van Arsdel, W. B., and Copley, M. J., 1963, Food dehydration. *The AVI Publishing Company, Inc. West port Connecticut* 178.
- Vanbrakel, J. 1975, Pore space models for transport phenomena in porous media review and evaluation with special emphasis on capillary liquid transport, *Powder Technology*, 11.
- Vásquez, J., Reyes, A. and Pailahueque, N., 2019, Modeling, simulation and experimental validation of a solar, *ScienceDirect, Renewable Energy*, 139.
- Vengsungnle, P., Jongpluempiti, J., Srichat, A., Wiriyasart, S. and Naphon P., 2020, Thermal performance of the photovoltaic-ventilated mixed mode greenhouse solar dryer with automatic closed loop control for Ganoderma drying, *ScienceDirect, Case Studies in Thermal Engineering*, 21.
- Vijayan, S., Arjunan, T.V. and Kumar A., 2020, Exergo-environmental analysis of an indirect forced convection solar dryer for drying bitter gourd slices, *ScienceDirect, Renewable Energy*, 146, 2210-2223.
- Wilkins, R., Brusey, J. and Gaura, E., 2018, Modelling uncontrolled solar drying of mango waste, *Food Eng.*, 237.

- Yadav, S., Lingayat, A.B. and Chandramohan, V.P., 2018, Numerical analysis on thermal energy storage device to improve the drying time of indirect type solar dryer. *Heat Mass Transf.*
- Yağcıoğlu, A., 1999, Tarım ürünleri kurutma tekniği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*. No:536. İzmir.
- Zoukit, A., El Ferouali, H., Salhi, I., Doubabi, S. and Abdenouri, N., 2019, Takagi Sugeno fuzzy modeling applied to an indirect solar dryer operated in both natural and forced convection, *ScienceDirect Renewable Energy*, 133.

