

PAPER DETAILS

TITLE: Batman İli Sırtlarında Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi

AUTHORS: Nese Budak Ziyadanogullari

PAGES: 125-140

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3129160>

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Investigation of Drying Parameters in Solar Energy supported Drying System in Batman Provincial Conditions

Neşe Budak Ziyandarogulları^{a,*}

Submitted: 08.05.2023 Revised: 07.12.2023 Accepted: 09.02.2024 doi:10.30855/gmbd.2023.07050N09

ABSTRACT

Keywords: Solar energy, drying, thermal energy storage, drying of Sason strawberry

^{a,*} Batman University,
Engineering and Architecture Faculty,
Dept. of Mechanical Engineering
72100- Batman, Türkiye
Orcid: 0000-0002-2203-0177
e mail: nese.budak@batman.edu.tr

*Corresponding author:
nese.budak@batman.edu.tr

Energy storage systems are needed to increase the efficiency of intermittent energy sources such as solar energy. 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. In 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 and compared with part 1 which was 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. 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. 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.

Batman İli Şartlarında Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi

ÖZ

Güneş enerjisi gibi kesintili enerji kaynaklarının verimliliğinin artırılması için enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Güneşin etkisinin çok olduğu saatlerde ısınmı sonucu fazla olan ısınmı 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. 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. Deneyisel çalışmalar süresince termal depolama sistemi kullanılmayan kurutma kabini içerisinde maksimum 61 °C, minimum 18 °C arasında değişen sıcaklıklar termal depolama sistemi kullanılan kurutma kabininde ise maksimum 53°C, minimum 19°C arasında değişen sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, kurutma, ısı enerji depolama, Sason çileği kurutma

1. Giriş (Introduction)

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. 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. 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 aflatoxin gibi zararlı mikro toksinlerin 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 [1-7]. Kaewkiew ve ark. (2012), biber kurutmak için büyük ölçekli bir sera tipi güneş kurutucusunun performansını araştırmışlardır [8]. Kurutucusunun yaklaşık 1000 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. Öztürk (2012), güneş enerjisi destekli kurutucuda domates dilimlerinin kurutma parametrelerini incelemiştir [9]. Kurutma sistemi için gerekli olan enerjiyi, güneş kolektörü ve fotovoltaiik 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. Gültekin (2016), doğal taşınımlı kabin tipi güneş enerjili kurutma makinesinde Şanlıurfa şartlarında 30-65 °C sıcaklıklarda patlıcanın kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir [10]. Deneylerde 500 g olan patlıcanları %92 nem (yaş baz) miktarından %8 nem (kuru baz) değerine getirmiştir. Essalhi ve ark. (2018), termal ısı depolamalı bir kurutucuda ve açık güneş altına

üzümün kurutulmasını deneysel olarak incelemiş ve karşılaştırmışlardır [11]. Üzümlerin ilk nem içeriğinden (%79,8) kurutulması gereken nem içeriğine (%20,2) dolaylı kurutucuda 120 saat, açık güneş altında 201 saat sürdüğünü tespit etmişlerdir. Cankurtaran (2018), güneş enerjisi destekli bir kurutucuda *Fragaria Ananassa* (Kültür çileği) kurutulması performansına etki eden faktörleri deneysel olarak incelemiştir [12]. 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 süresinin 6-8 saat arasında değiştiğini bulmuştur. Deneyler yapılırken sistemin giriş ve çıkış bağıl nem değerleri arasındaki en büyük farkı yaklaşık %6 olarak belirlemiştir. Badaoui ve ark. (2019), bir sera güneş enerjili kurutucuda meyve ve sebze işleme tesislerindeki domates atıklarının kurumasını deneysel olarak incelemişlerdir [13]. Kuruma işleminin 5 saat sürdüğünü ve kurutulan domates atıklarının ilk ağırlıklarının %86'sını kaybettiğini belirtmişlerdir. 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 [14-20]. 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 [21-24]. Atalay (2019), termal enerji depolama ortamına sahip güneş enerjili kurutucunun enerji ve ekserji tabanlı performanslarını incelemiştir. Termal depolama ortamı olarak paketli yataklı termal enerji depolama sistemini kullanmıştır. Kurutucuda portakal dilimlerinin kurutulmasını deneysel olarak incelemiş, kurutucunun portakal dilimlerinin nem içeriğini ilk deneyde %93,5'ten %10,28'e ve ikinci deneyde %10,76'ya düşürdüğünü belirlemiştir [25]. Bu çalışmada, farklı büyüklüklerde taşlar ile metal parçaları karışımı şeklinde bir ısı enerji 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 enerjinin 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. Ülkemizin geleneksel ihracat kuru meyveleri olan kuru kayısı, kuru üzüm ve kuru incir halihazırda yaygın bir şekilde üretildiğinden, 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 çalışma bu yönüyle de literatüre katkı sağlayacaktır.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

2.1. Kurutma sisteminin seçimi (selection of drying system)

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.

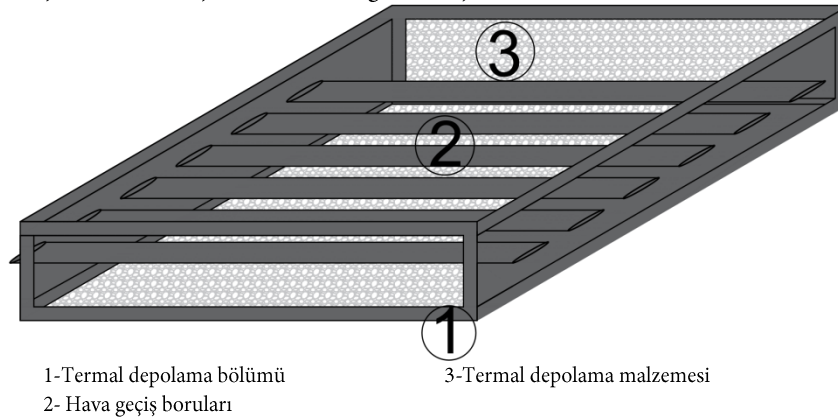
Kurutma sisteminde aralarında ısı yalıtımı olan eş iki kurutma kabini bulunmaktadır. Kurutma kabinlerinin genişliği, uzunluğu ve yüksekliği sırasıyla 0,94 m, 1 m ve 2,03 m'dir. Her kurutma kabini için ayrı birer tane kolektör bulunmaktadır. Kolektörler 1 m x 1,4 m x 0,1 m ölçülerindedir. Kolektörden 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 salyangoz radyal fan ile sağlanmaktadır. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemine ait fotoğraf Şekil 2.1.'de verilmiştir. 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 kabineine geçmektedir. Burada ürünlerde bulunan nemi aldıktan sonra nemli hava çıkışından dışarı çıkmaktadır.



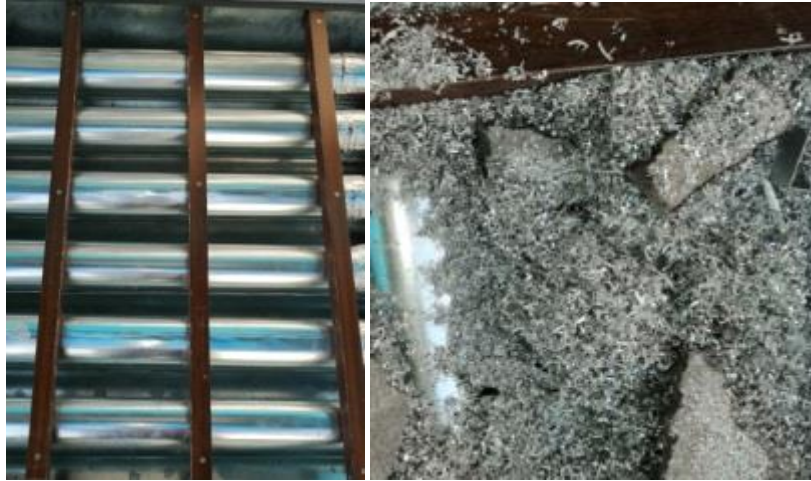
Şekil 2.1. Güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli tarımsal ürün kurutma sistemi (Agricultural product drying system with solar energy assisted energy storage system)

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 2.2.'te fotoğrafı ise Şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.2. Enerji depolama sistemi şematik resmi (Schematic picture of energy storage system)

Bu termal malzemede; taş kullanılmasının sebebi ısısının 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.



Şekil 2.3. Enerji depolama sistemi (Energy storage system)

Deneyler sırasında çilek numunelerinin kütle kaybı, bağıl nem, her iki kurutma kabininin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti saatte bir; kurutma sisteminin belirlenen noktalarında sıcaklık değişimi 30 dakika aralıklarla ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü için toplam yedi adet termokupl kullanılmıştır. Saatlik hava durumu verileri Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır.

2.2. Hesaplamalar (Calculations)

Isıl verim aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{verim}} = \frac{Q_k}{I \cdot A_k} \quad (2.1)$$

Kollektörden, kabinden alınabilen enerji,

$$Q_K = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{ort}} \quad (2.2)$$

Deneylerde kollektörlerin, kabinlerin giriş, çıkış sıcaklıklar sırasıyla T_g , $T_{\check{c}}$ ile ifade edilmiştir. Sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_{\check{c}} - T_g \quad (2.3)$$

Ortalama sıcaklık değeri (T_{ort}),

$$T_{\text{ort}} = (T_g + T_{\check{c}}) / 2 \quad (2.4)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Kütleli debi,

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_{\check{c}} \quad (2.5)$$

Güneş hava sıcaklığı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

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

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

=0,026 (Açık renk yüzey)

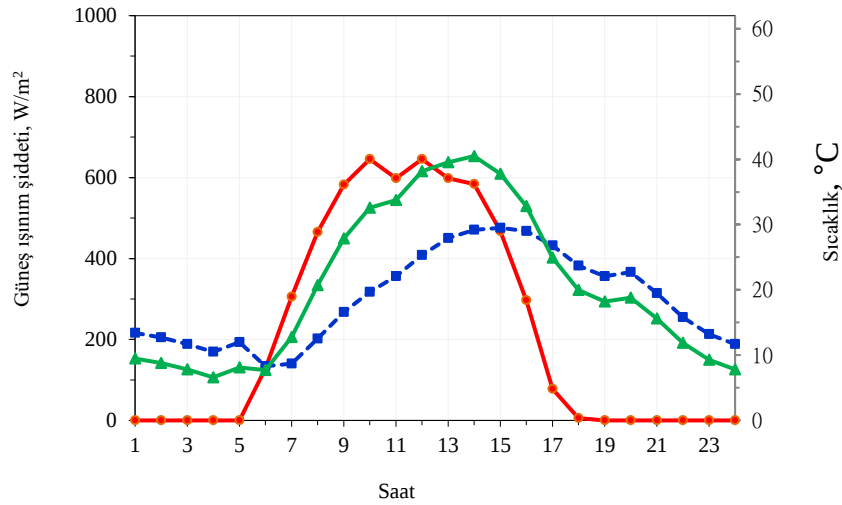
$\varepsilon \Delta R/h_o$ = Yatay yüzey için -3,9 °C

=Dikey yüzey için 0 °C

Duyulur enerji depolama esnasında kütle, özgül ısı ve sıcaklığa bağlı malzeme yapısındaki iç enerji değişimi eşitlik 2.7'de gösterilmektedir [25]:

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

Batman ili için 18 Ekim günü saatlik yatay yüzeye gelen ışıınım şiddeti, dış ortam ve güneş-hava sıcaklık değerleri Şekil 2.4.'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Batman ili için 18 Ekim günü saatlik yatay yüzeye gelen ışıınım şiddeti, dış ortam ve güneş-hava sıcaklık değerleri (Hourly radiation, outdoor and sun-air temperature values for Batman province on 18 October)

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

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. 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 ısındıktan sonra kurutma kabinine geçip ürünlerdeki nemi aldıktan sonra menfezlerden dışarı çıkmıştır. Termal depolama sistemine sahip kurutma kabininde diğerinden farklı olarak gündüz sıcak olan kurutma havası, fazla olan ısısını termal malzemeye aktarmıştır. Güneşin 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 kuruma öncesi kurutma tepsi kabin görünüşü Şekil 3.1.'de görülmektedir.

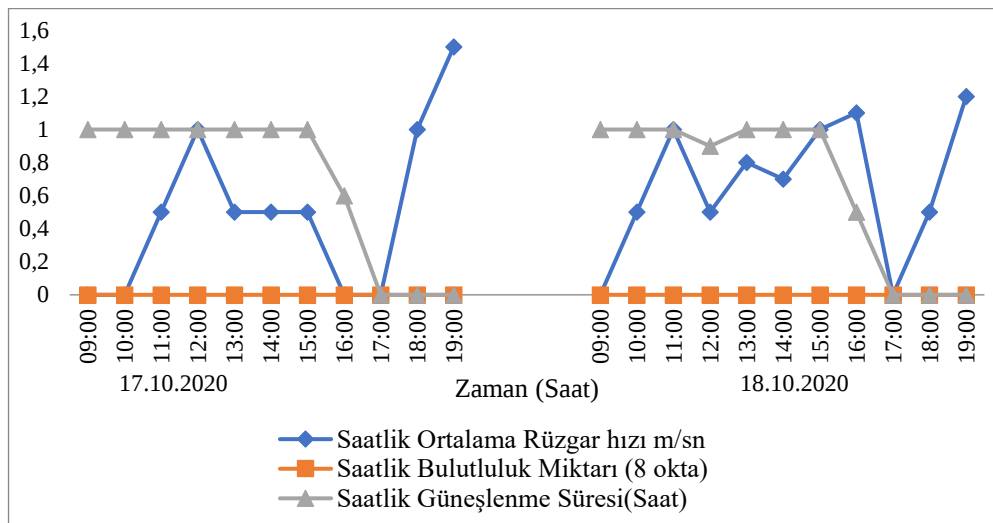


Şekil 3.1. Açık havada kurutulan çilek numuneleri ve kuruma öncesi kurutma tepsi kabin görünüşü (Strawberry samples dried in the open air and the view of the drying tray before drying)

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.

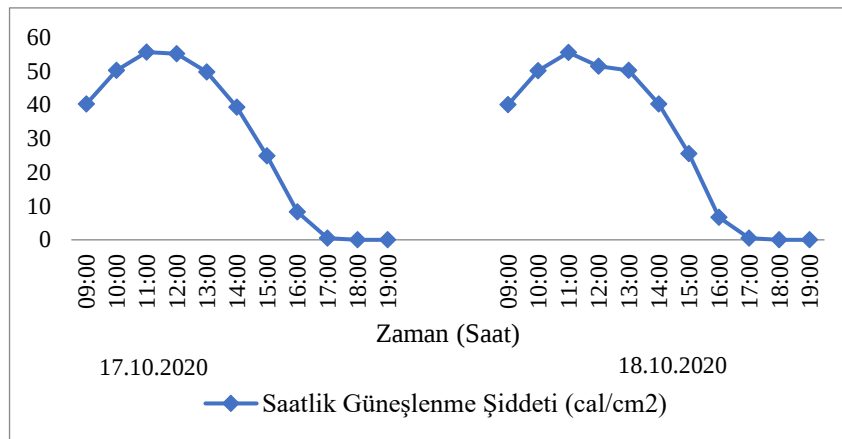
3.1. 3,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneylerinin sonuçları (results of drying tests at 3.5 m/s fan speed)

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 3.2. ve Şekil 3.3.'te verilmiştir.

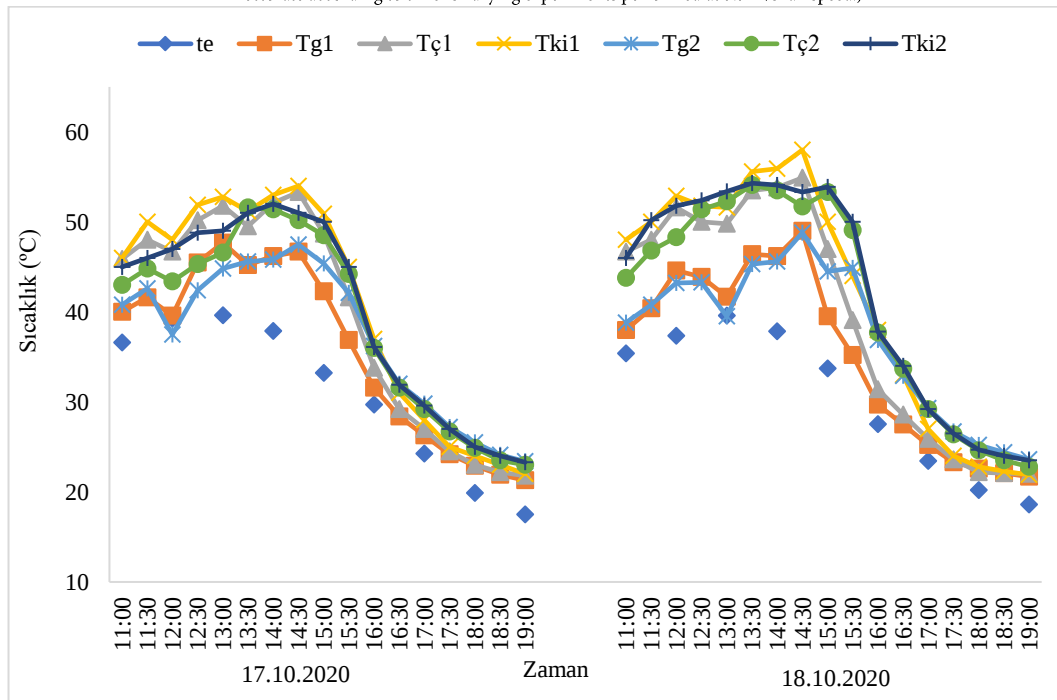


Şekil 3.2. 3,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik ortalama rüzgar hızı, saatlik bulutluluk miktarı ve saatlik güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of hourly average wind speed, hourly cloudiness and hourly sunshine duration values obtained from Batman Meteorology Directorate for drying experiments performed at 3.5 m/s fan speed.)

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 kabinin 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. 3,5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.3. 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 (Variation of hourly sunshine intensity (cal/cm^2) values obtained from Batman Meteorology Directorate according to time for drying experiments performed at 3.5 m/s fan speed.)



Şekil 3.4. 3,5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of solar air temperature values taken from different points of the dryer according to time in the experiments carried out at 3.5 m/s fan speed)

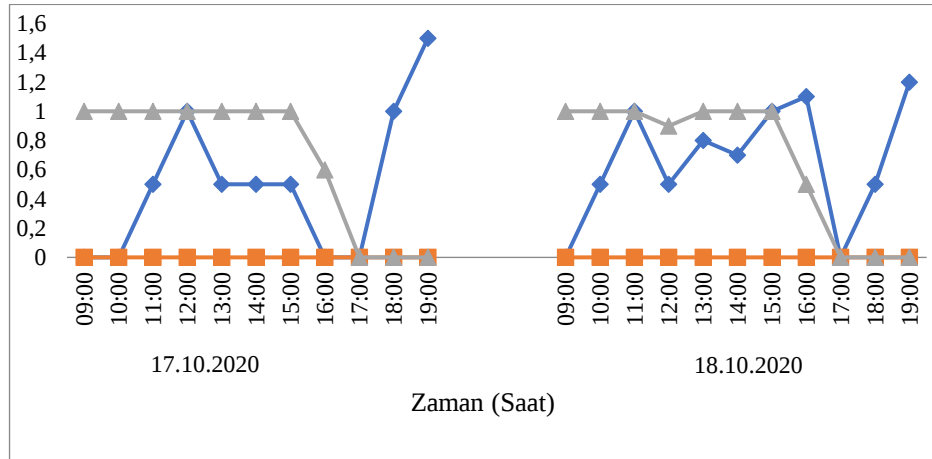
Kuruma sonrası çilek dilimlerinin kabin görünüşü Şekil 3.5. 'te verilmiştir.



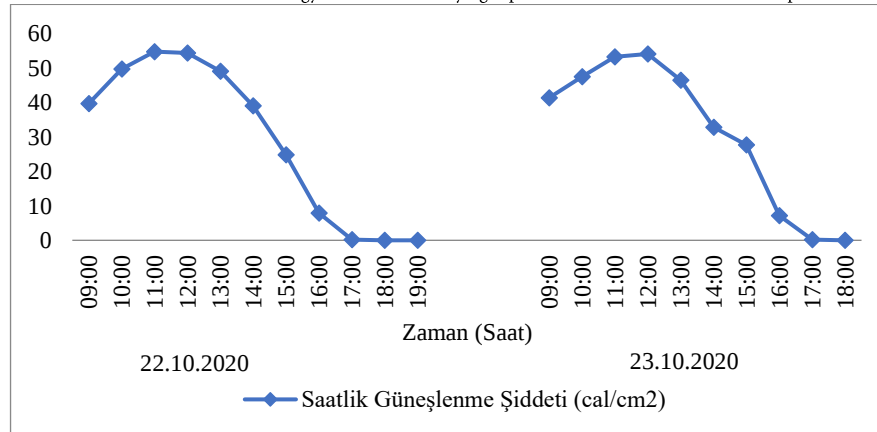
Şekil 3.5. Kuruma sonrası çilek dilimlerinin kabin görünüşü (Cabinet view of strawberry slices after drying)

3.2. 2,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneylerinin sonuçları (results of drying tests at 2.5 m/s fan speed)

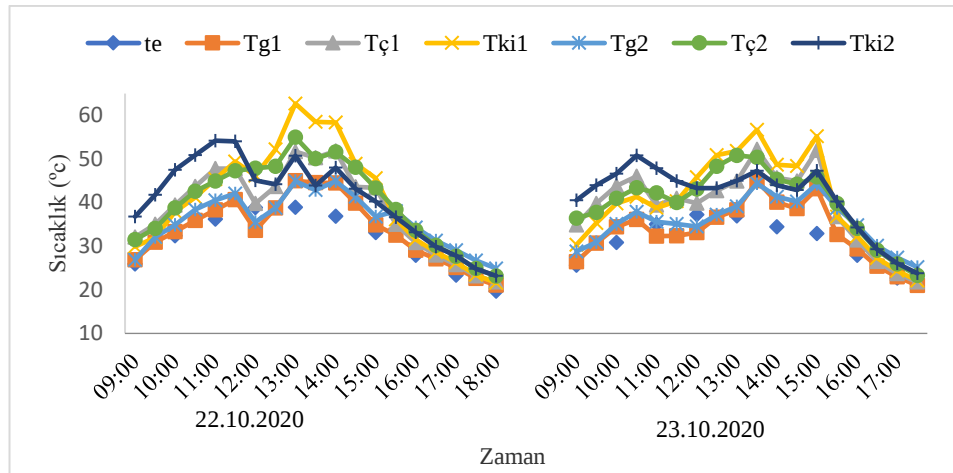
Deneylerin yapıldığı sistem, 30 dakika ısındıktan sonra her iki kurutma kabininin içinin sıcaklık ve nem ölçümleri alınmıştır. Saat 09.00 da sistemin fanları çalıştırılmıştır. Kurutma kabinlerinin içinin ve dış ortamın ışık şiddeti saatte bir ölçülmüştür. Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik hava durumu verileri ve ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 3.6., Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.6. 2,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik rüzgar hızı, bulutluluk miktarı ve güneşlenme süresi değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of hourly wind speed, amount of cloudiness and sunshine duration values obtained from Batman Meteorology Directorate for drying experiments carried out at 2.5 m/s fan speed over time.)



Şekil 3.7. 2,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneyleri için Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik güneşlenme şiddeti (cal/cm²) değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of hourly sunshine intensity (cal/cm²) values obtained from Batman Meteorology Directorate according to time for drying experiments carried out at 2.5 m/s fan speed.)

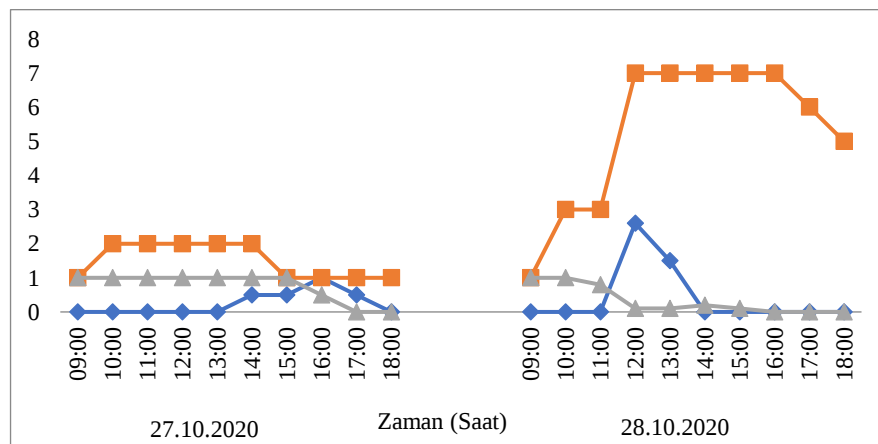


Şekil 3.8. 2,5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of solar air temperature values taken from different points of the dryer according to time in the experiments carried out at 2.5 m/s fan speed.)

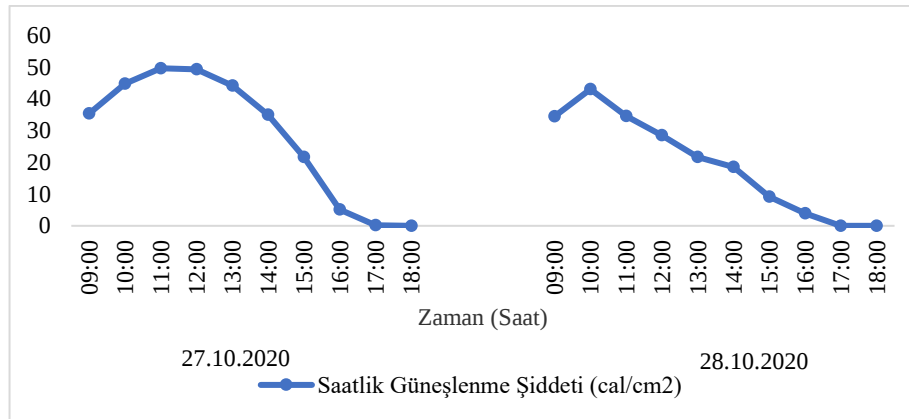
Sıcaklık ölçümleri sonucunda termal depolama sistemine sahip kurutma kabininin içindeki sıcaklık 53°C'yi geçmemiştir ve termal depolama sistemine sahip olmayan kurutma kabininin içindeki sıcaklık 61 °C'yi geçmemiştir. Saat 15.00-19.00 arasında termal depolama sistemine sahip kurutma kabini giriş havası 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.

3.3. 1,5 m/s fan hızında yapılan kurutma deneylerinin sonuçları (results of drying tests at 1.5 m/s fan speed)

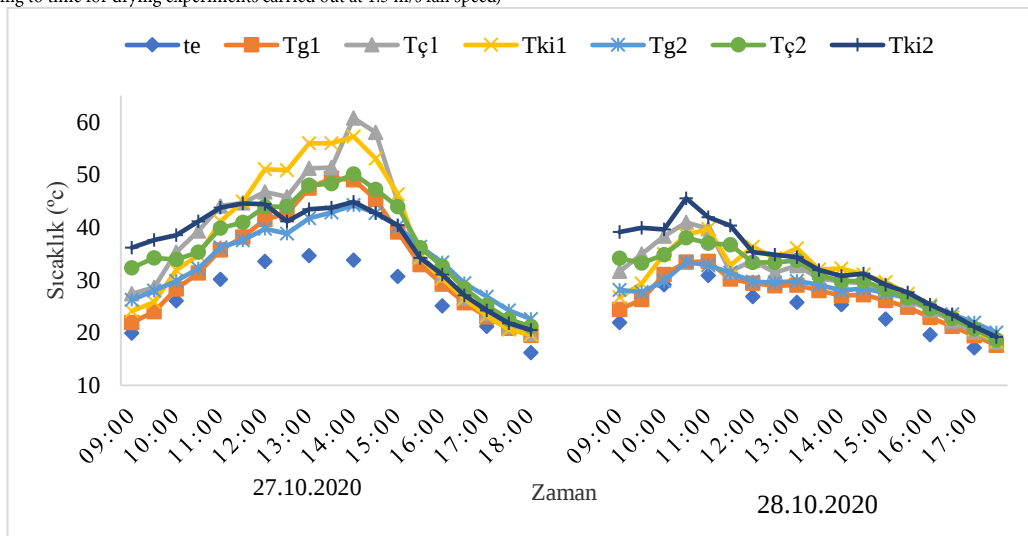
Deneylerin yapıldığı sistem, 30 dakika ısındıktan sonra her iki kabinin içinin sıcaklık ve nem ölçümleri alınmıştır. Saat 09.00 da sistemin fanları çalıştırılmıştır. Saatte bir kabinlerdeki nem ve çileklerin ağırlık değişimi ölçülmüştür. 30 dakika aralıklarla kurutma kabinlerinin belirli noktalarında sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Batman Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik hava durumu verileri ve ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 3.9., Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.9. 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 (Variation of hourly wind speed, amount of cloudiness and sunshine duration values obtained from Batman Meteorology Directorate for Drying Tests at 1.5 m/s Fan Speed according to time)



Şekil 3.10. 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 (Variation of hourly sunshine intensity (cal/cm^2) values obtained from Batman Meteorology Directorate according to time for drying experiments carried out at 1.5 m/s fan speed)



Şekil 3.11. 1,5 m/s fan hızında yapılan deneylerin kurutucunun farklı noktalarından alınan ve güneş hava sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (Variation of solar air temperature values taken from different points of the dryer according to time of experiments carried out at 1.5 m/s fan speed.)

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.

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 kabininde 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. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarını içeren Tablo 1 aşağıda verilmiştir [26].

Tablo 1. Benzer çalışmalar ve sonuçları (Similar studies and results)

Güneş kurutucu tipi	Sonuçlar
Karma modlu çadır tipi güneş enerjili kurutucu [27]	Açık havada kurutulması 38 saat süren balığın 18 saatlik güneş ışığında nem içeriği %89'dan %10'a düşürülmüştür.
Termal depolama malzemeleri olan ve olmayan karma modlu güneş enerjili ürün kurutucuları [28]	Termal depolama, kurutucunun performansını yaklaşık %13 oranında artırmıştır.
Faz değişim malzemeli güneş enerjili kurutucu [29]	Optimum şartlarda %87'lik sıcaklık artışı elde edilmiştir. Güneş enerjili balık kurutucusu kurutma süresini %75 oranında azaltmıştır.
Termal enerji depolamalı karma tip güneş enerjili kurutucu [30]	Karma tip bir güneş enerjili kurutucu, kuruma süresini %60,7 oranında azaltmıştır.
Cebri konveksiyon ve termal depolama sistemli karma tip güneş enerjili kurutucu [31]	Açık güneşte kurutma yerine split klima kondenser çıkışı soğutma havası kullanıldığında üzümlerin kuruma süresi %16,7 oranında azalmıştır. Kombinasyon verimliliği %13'e kadar artırmıştır.
Biyokütle yakıcı ve termal depolamalı güneş enerjili tarımsal kurutucu [32]	Tepsilerin boşaltıldığı kurutucu simülasyonu, alttaki üç tepsi arasındaki sıcaklık farkının küçük olduğunu, üst tepsinin ise büyük oranda daha sıcak olduğunu göstermiştir.

Çakıl taşı duyulur ısı depolamalı dolaylı ve doğrudan zorlanmış konveksiyonlu güneş enerjili kurutucu (Sahra hava koşullarında) [33]	Gün batımından sonra duyulur ısı depolama mekanizması güneş kolektörünün termal verimliliğini %28 artırmıştır. Doğrudan odanın termal verimliliği %11,8 oranında artırılmıştır.
Güneş serası ve kurutucusu karışık tip kullanılan kurutucuda üzüm kurutma[34]	Ürün nem içeriğindeki dalgalanmalar ve birincil kurutma faktörleri araştırılmıştır.
Domates atıklarının güneş enerjili kurutucuyla kurutulması[35]	Araştırmaya göre domates atıklarının arıtılmasında doğrudan güneşte kurutma daha uygun bulunmuştur.
Çift geçişli güneş enerjili hava kurutucusu ile kızılötesi destekli çift geçişli güneş enerjili hava kurutucusunun performans karşılaştırması[36]	Kızılötesi destekli için verimlilik %1,15 ile %8,59 arasındayken, çift geçişli için verimliliği %2,20 ile %26,46 olarak kaydedilmiştir.
Duyulur ısı depolama malzemesi ve faz değişim malzemesi içeren bir güneş enerjili kurutucunun performansı[37]	Dehidrasyon oranının, hem termal depolamalı hem de faz değişim malzemeli termal depolama ortamı olarak kullanıldığında en hızlı olduğu belirtilmiştir.

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 geçmiştir. Böylece kurutulan ürünlerin besin değerleri korunmuştur. Yapılan deneylerde bulutlu havalarda termal depolama sistemi kullanılmasının 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.

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

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 bağlantısını kesecek, manuel 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. İleri ki çalışmalarda termal depolama ünitesinde faz değiştiren malzemeler de kullanılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Simgeler ve Kısaltmalar (Symbols and Abbreviations)

$T_1(T_{k1})$ - İkinci bölüm kolektör çıkış sıcaklığı
 $T_2(T_{c1})$ -Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin hava çıkış sıcaklığı değeri
 $T_3(T_{ki})$ -Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin tepsisinin 3 cm yukarısındaki sıcaklık ölçümü değeri
 $T_4(T_{g1})$ - Termal depolama ünitesi kullanılmayan kurutma kabininin hava giriş sıcaklık değeri
 $T_5(T_{g2})$ - Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, hava giriş sıcaklık değeri
 $T_6(T_{ki2})$ - Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, tepsisinin 3 cm yukarısındaki sıcaklık ölçümü değeri
 $T_7(T_{c2})$ - Termal depolama ünitesi kullanılan kurutma kabininin, hava çıkış sıcaklığı değeri
 m_1 - Birinci kurutma kabini nem değeri
 m_2 - İkinci kurutma kabini nem değeri
 I_1 - Birinci kurutma kabini ışık şiddeti değeri
 I_2 - İkinci kurutma kabini ışık şiddeti değeri
 V_f - Fan hızı değeri
 t_a - Güneş hava sıcaklığı
 η_{Verim} : Kolektör, kabin Verimi
 Q_K : Kolektörden, kabinden alınabilen kullanılabilir enerji (W)
 I : Kolektör, kabin üst yüzeyine ulaşan ışınlam miktarı (W/m²)
 A_k : Kolektör, kabin alanı (m²)
 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)
 ρ : Havaya ait yoğunluk değeri (kg/m³)
 V : Havaya ait akış hızı(m/s)
 A_c : Kolektörün çıkış kesit alanıdır. (m²)
 t_e : güneş-hava sıcaklığı
 T_0 : Saatlik dış ortam sıcaklığı
 I_r : Saatlik ışınlam (w/m²)
 ΔU : Malzemenin iç enerjisindeki değişimi (kJ)
 C_v : Malzemenin özgül ısısını (kJ/kg.K)
 T_1 ve T_2 :Başlangıçtaki ve son durumdaki malzeme sıcaklığı(°C ya da K)
 m :Depolama malzemesinin kütlesi(kg)

Kaynaklar (References)

- [1] M. Aktaş and M. Ç. Kara, "Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 28, No 4, 733-741, 2013.
- [2] H. İ. Varyenli, "Güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının kivi kurutarak karşılaştırılması", *Politeknik Dergisi*, Cilt 21, Sayı 3, 723 – 729, 2018.
- [3] İ. Ceylan, M. Aktaş and H. Doğan, 'Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması', *Politeknik Dergisi*, Cilt 9, Sayı 4, 289 – 294, 2006.
- [4] T. Polat, M. Aktaş and H. M. Şahin, "Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Bir Kurutma Sistemi ile Çam Fıstığı Kozalağı Kurutulması," *Politeknik Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1, 1 – 7, 2012.
- [5] D.K. Rapha and P. Muthukumar, "Performance studies on a forced convection solar dryer integrated with a paraffin wax-based latent heat storage system," *Solar Energy*, vol.149, pp.214-226, 2017. doi:10.1016/j.solener.2017.04.012
- [6] W. B. Chaouch, A. Khellaf, A. Mediani, M. El Amine Slimani, A. Loumani, and A. Hamid, "Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment," *Solar Energy*, vol.174, pp.328-341,2018. doi:10.1016/j.solener.2018.09.037
- [7] R. Ouabou, B. Nabil, N. Hidar, L. Lahnine, A. Idlimam, A. Lamharrar, H. Hanine and M. Mahrouz, "Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries," *Solar Energy*, vol.172, pp.158-164, 2018. doi:10.1016/j.solener.2018.05.079
- [8] J. Kaewkiew, S. Nabnean and S. Janjai, "Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand," *Procedia Engineering*, vol.32, pp.433-439, 2012. doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.1290
- [9] M. Öztürk, "Güneş enerjisi destekli bir kurutucuda sürekli ürün kurutulması," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2012.

- [10] R. Gültekin, “Şanlıurfa şartlarında patlıcanın kurutulmasında güneş enerjili kurutma makinesi geliştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2016.
- [11] H. Essalhi, M. Benchrif, R. Tadili and M.N. Bargach, “Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 49, pp.58-64, 2018. doi:10.1016/j.ifset.2018.08.002
- [12] E. Cankurtaran, “Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 2018.
- [13] O. Badaoui, S. Hanini, A. Djebli, B. Haddad and A. Benhamou, “Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models,” *Renewable Energy*, vol.133, pp.144-155, 2019. doi:10.1016/j.solener.2019.01.049
- [14] A. Onat and A. T. İnan, Z. Gül, “Farklı Geometrik Yapıdaki Kırmızı Biberlerin Plc Kontrollü Güneş Enerjili-Gizli Isı Depolamalı Kurutucuda Kurutulması,” *Politeknik Dergisi*, Cilt 6, Sayı 1, 379 – 384, 2003.
- [15] M. Aktaş, S. Şevik, H. Doğan and M. Öztürk, “Fotovoltaik ve Termal Güneş Enerjili Sürekli Bir Kurutucuda Domates Kurutulması,” *Tarım Bilimleri Dergisi*, Cilt 18, Sayı 4, 287 – 298, 2012.
- [16] Ç. Özçelik, “Faz Değiştirmeli Güneş Enerjisi Depolama Sistemiyle Entegre Güneş Enerjili Meyve Kurutma Sistemi Modellenmesi, Dizaynı, Testleri ve Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2020.
- [17] H. Atalay, “Performance analysis of a solar dryer integrated with the packed bed thermal energy storage (TES) system,” *Energy*, vol. 172, pp.1037-1052, 2019. doi:10.1016/j.energy.2019.02.023
- [18] A.K. Bhardwaj, R. Kumar and R. Chauhan, “Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for drying medicinal plants in Western Himalayan region,” *Solar Energy*, vol. 177(1), pp.395-407, 2019. doi:10.1016/j.solener.2018.11.007
- [19] J. Vásquez, A. Reyes and N. Pailahueque, “Modeling, simulation and experimental validation of a solar dryer for agro-products with thermal energy storage system,” *Renewable Energy*, vol.139, pp. 1375- 1390, 2019. doi:10.1016/j.renene.2019.02.085
- [20] S. Vijayan, T.V. Arjunan and A. Kumar, “Exergo-environmental analysis of an indirect forced convection solar dryer for drying bitter melon slices,” *Renewable Energy*, vol.146, pp.2210-2223, 2020. doi:10.1016/j.renene.2019.08.066
- [21] Z. Azaizia, S. Kooli, I. Hamdi, W. Elkhail and A.A. Guizani, “Experimental study of a new mixed mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper,” *Renewable Energy*, vol.145, pp.1972-1984, 2020. doi:10.1016/j.renene.2019.07.055
- [22] A. Reyes, A. Mahn and F. Vasquez, “Mushrooms dehydration in a hybrid- solar dryer, using a phase change material,” *Energy Conversion and Management*, vol. 83, pp.241-248, 2014. doi:10.1016/j.enconman.2014.03.077
- [23] L. M. Bal, S. Satya and S. N. Naik, “Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp.2298-2314, 2010. doi:10.1016/j.rser.2010.04.014
- [24] S. Abubakar, S. Umaru, M. U. Kaisan, U. A. Umar, B. Ashok and K. Nanthagopal, “Development and performance comparison of mixed-mode solar crop dryer with and without thermal storage,” *Renewable Energy*, vol.128, pp.285-298, 2018. doi:10.1016/j.renene.2018.05.049
- [25] H. Atalay, “Performance analysis of a solar dryer integrated with the packed bed thermal energy storage (TES) system,” *Energy*, vol.172, pp.1037-1052, 2019. doi:10.1016/j.energy.2019.02.023
- [26] F. S. Barnes and J. G. Levine, “*Large energy storage systems handbook*,” The CRC Press Series in Mechanical and Aerospace Engineering, New York, CRC Press., 2011.
- [27] R. K. Saini, D. K. Saini, R. Gupta, P. Verma, R. Thakur, S. Kumar and A. Wassouf, “Technological development in solar dryers from 2016 to 2021-A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113855, 2023. doi:10.1016/j.rser.2023.113855
- [28] P. Mehta, S. Samaddar, P. Patel, B. Markam and S. Maiti, “Design and performance analysis of a mixed mode tent-type solar dryer for fish-drying in coastal areas,” *Solar Energy*, vol.170, pp.671–81, 2018. doi:10.1016/j.solener.2018.05.095
- [29] V. M. Swami, A. T. Autee and T. R. Anil, “Experimental analysis of solar fish dryer using phase change material,” *Journal of Energy Storage*, vol.20, pp.310–5, 2018. doi:10.1016/j.est.2018.09.016
- [30] D. V. N. Lakshmi, P. Muthukumar and A. P. K. Nayak, “Drying kinetics and quality analysis of black turmeric (*Curcuma caesia*) drying in a mixed mode forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage,” *Renewable Energy*, vol.120, pp.23–34,

2018. doi:10.1016/j.renene.2017.12.053

[31] M. Chandrasekar, T. Senthilkumar, B. Kumaragurubaran and J. P. Fernandes, “Experimental investigation on a solar dryer integrated with condenser unit of split air conditioner (A/C) for enhancing drying rate.” *Renewable Energy*, vol.122, pp.375–81, 2018. doi:10.1016/j.renene.2018.01.109

[32] E. Tarigan, “Mathematical modeling and simulation of a solar agricultural dryer with back-up biomass burner and thermal storage,” *Case Studies Thermal Engineering*, vol.12, pp.149–65, 2018. doi:10.1016/j.csite.2018.04.012

[33] W. B. Chaouch, A. Khellaf, A. Mediani, M. E. A. Slimani, A. Loumani and A. Hamid, “Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment,” *Solar Energy*, vol.74, pp.328–41, 2018. doi:10.1016/j.solener.2018.09.037

[34] I. Hamdi, S. Kooli, A. Elkhadraoui, Z. Azaizia, F. Abdelhamid and A. Guizani, “Experimental study and numerical modeling for drying grapes under solar greenhouse,” *Renewable Energy*, vol.27, pp.936–46, 2018. doi:10.1016/j.solener.2019.01.049

[35] O. Badaoui, S. Hanini, A. Djebli, B. Haddad and A. Benhamou “Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: evaluation of new drying models,” *Renewable Energy*, vol.33, pp.144–55, 2019. doi:10.1016/j.solener.2019.01.049

[36] S. Şevik, M. Aktas, E. C. Dolgun, E. Arslan and A. D. Tuncer “Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology,” *Solar Energy*, vol.180, pp.537–49, 2019. Doi:10.1016/j.solener.2019.01.049

[37] A.K. Bhardwaj, R. Kumar and R. Chauhan, “Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for drying medicinal plants in Western Himalayan region,” *Solar Energy*, vol.177, pp.395–407, 2019. doi:10.1016/j.solener.2018.11.007

This is an open access article under the CC-BY license

