

Sera Tipi Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğan Burak SAYDAM^{1,2} ORCID 0000-0001-8453-2917

Kamil Neyfel ÇERÇİ³ ORCID 0000-0002-3126-707X

Ertaç HÜRDOĞAN^{*1,2} ORCID 0000-0003-1054-9964

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye

³Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus

Geliş tarihi: 27.03.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/How to cite: SAYDAM, D.B., ÇERÇİ, K.N., HÜRDOĞAN, E., (2023). Sera Tipi Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 623-632.

Öz

Gıda kurutma, ürünlerden güvenli bir sınıra kadar nem alma işlemi olarak tanımlanmakta ve çok uzun yıllardan beri farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. En yaygın kullanılan açık sergi yönteminin (direk güneş altına serilerek) yanı sıra vakum kurutma, dondurarak kurutma, sera tipi kurutucu, mikrodalga kurutucu vb. gibi farklı yöntem ve teknolojileri içeren kurutucular da gıda kurutulması için kullanılabilir. Bu çalışmada, zorlanmış taşınımı tünel tipi bir sera kurutucu ve iç bölmelere ayrılmış havalı bir güneş kolektöre sahip hibrit bir kurutucu tasarlanarak imal edilmiş ve ilk ölçümlerin değerlendirilebilmesi amacıyla Osmaniye iklim şartlarında bir gün boyunca üzüm kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde hava hızı, sıcaklık, nem, ışınım ve ürün ağırlığı gibi farklı parametreler ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Çalışma sonunda, tasarlanıp kurulan sera tipi kurutma sisteminin sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Sistemde yer alan farklı noktalardaki sıcaklık ve nem değerlerinin güneş ışınımına bağlı olarak deney süresince değişim gösterdiği, kolektör çıkışında yaklaşık 60 °C kurutma havası sıcaklığı elde edilebildiği ayrıca kurutulan üzümlerin toplam ağırlığından yaklaşık 200 g kaybetmiş olduğu tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerden, tasarlanan sera tipi kurutucunun gıda kurutma uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Sera tipi kurutucu, Havalı güneş kolektörü, Osmaniye

Design, Manufacturing and Evaluation of First Measurement Results of a Greenhouse Type Dryer

Abstract

Food drying is defined as the dehumidification process from products to a safe limit and has been carried out with different methods for many years. In addition to the most widely used open sun method (under the

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

direct sun), dryers with different method and technologies such as vacuum drying, freeze drying, greenhouse type dryer, microwave dryer, etc.) can be used for food drying. In this study, a hybrid dryer, which have an internally divided air solar collector to a forced convection and tunnel type greenhouse dryer, was designed and manufactured. To evaluate the first measurements in the study, grape drying experiments were carried out for one day in Osmaniye climatic conditions. Different parameters, such as air velocity, temperature, humidity, radiation, and product weight, were measured and recorded in the system. At the end of the study, it was seen that the greenhouse type drying system works without any problems. It has been determined that the temperature and humidity values at different points in the system vary during the experiment depending on solar radiation and can obtain a drying air temperature of about 60 °C at the collector outlet. In addition, it was determined that the dried grapes lost about 200 g of their total weight. It has been seen from the evaluations that the designed greenhouse type dryer can be used effectively in food drying applications.

Keywords: Dryer, Greenhouse type dryer, Solar air collector, Osmaniye

1. GİRİŞ

Kurutma, mevsiminde tüketilemeyen meyve veya sebzelerin raf ömrünün uzatılması ve ürün kayıplarının önüne geçilebilmesi için yapılan bir ısı ve kütle transferi işlemidir. Kurutma, gıda üretim zincirinde önemli bir faaliyet alanıdır [1]. Kurutma işlemleri için birçok farklı yöntem mevcuttur. Ucuz, kolay ve kullanışlı olduğu için en yaygın olan yöntem, geleneksel açık güneş altında (açık sergi) kurutma yöntemidir [2]. Kuruma süresi, ürünün nem içeriğine, ısıya veya ışınımına maruz kalma süresine, ilk ürün yüküne ve meteorolojik koşullara bağlıdır [3]. Güneş altında direk kurutmada, girdiler (uzmanlık, maliyet vb.) daha düşük olsa da bu yöntemin kullanılmasıyla gıda ürünlerinin kalitesinde istenmeyen değişiklikler meydana gelebilmektedir. Açık sergi ile kurutma hava şartlarına bağlı olduğu için doğrudan güneş ışığından kaynaklanan aroma ve vitamin kaybı gibi farklı sorunlar meydana gelebilmektedir [4]. Bu sorunların önüne geçebilmek için araştırmacılar farklı yöntemler (katı sıvı yakıtlı kurutucular, elektrikli kurutucular, güneş enerjili kurutucular) ile ürünlerin kurutulmasını araştırmışlardır [5]. Bu yöntemler içerisinde güneş enerjili kurutucular çevreci, kurulum maliyetlerinin düşük olması ve kurutma sırasında ürünü yağmura, toza, böceklere ve hayvanlara karşı koruduğu için özellikle iyi güneş ışığı alan yerlerde tercih edilmektedir. Ürüne ısı enerjisi vererek ürünün kalitesini bozmadan üründen nem almak için tasarlanan güneş enerjili kurutucular, pasif (doğal taşınım) ve aktif

(zorlanmış taşınım) olmak üzere iki farklı çalışma şekline sahiptir [6-9].

Güneş enerjili kurutuculara gibi ışınım etkisiyle kurutmanın gerçekleştirilebileceği sera tipi kurutucular da ürün kalitesi, tat ve renk bakımından kurutma işlemlerinde farklı avantajlara sahiptir [5]. Sera teknolojisi, farklı iklim koşullarında mahsul yetiştirmek için uygun bir mikro iklim oluşturmak için gelişmiştir. Bir sera, kısa dalga boylu güneş radyasyonunu hapseden ve daha yüksek verimlilik ve uygun bir mikro iklim oluşturmak için uzun dalga boyu termal radyasyonunu depolayan kapalı bir yapıya sahiptir [10,11]. Seralar başlangıçta sadece tarım uygulamalarında bitki yetiştiriciliği için kullanılırsalar da araştırmacılar seraların kurutma amacı ile de kullanılabilmesini tespit etmişlerdir [12]. Farklı iklim koşullarında seralar içerisinde hem bitki yetiştirilmesi hem de kurutma işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için yılın daha sıcak aylarında yüksek dış ortam sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Bu durum da seraları, tarım ürünlerinin kurutulması için yaz aylarında daha etkili bir hale getirmektedir [13]. Sera tipi kurutucuların kurutma verimliliğini artırmak için, güneş enerjisi destekli, biyokütle destekli veya katı yakıt destekli yardımcı sistemler kullanılabilir [14-18].

Literatürde farklı tipte ve özellikle tasarlanan sera tipi kurutucular ile ilgili birçok çalışma görmek mümkündür. Condori ve Saravia [19], tek ve çift hazneye sahip iki eşdeğer zorlanmış konveksiyonlu

sera tipi kurutucuda, buharlaşma hızının analitik bir çalışmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, kırmızı biber için, çift hazneli kurutucu kullanımının verimliliği neredeyse %90 oranında artırdığını göstermişlerdir. Kumar ve Tiwari [20], konvektif kütle transfer katsayısının farklı ağırlıktaki soğan dilimlerinin güneşte ve serada kurutulmasını incelemişlerdir. Yazarlar, sera içerisinde depolanmış enerji nedeniyle, serada kurutma durumunda nem buharlaşma oranının, güneşin kapalı olduğu saatlerde açık güneşte kurutmaya göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Chaun ve Kumar [21], doğal ve zorlanmış taşınımaya sahip sera tipi bir kurutucuda ve açık sergi yöntemiyle bektaşi üzümünün (gooseberry) kurutulmasını incelemişlerdir. Yazarlar, pasif modda çalıştırılan sera tipi kurutucunun diğer kurutuculardan daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yazarlar çalışmada, regresyon analizi için en iyi eğri yakınsamanın Prakash ve Kumar modellerinin kullanılması durumunda elde edileceğini göstermişlerdir. Janjai ve arkadaşları [22], büyük ölçekli parabolik bir serada farklı ürünlerin kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutucunun deneysel performanslarını incelemek için yazarlar, sıcaklık, hava bağıl nem ve ürün nem içerikleri gibi farklı parametrelerin ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, kurutucuda farklı ürünler ısı ve nem transferini tanımlayan kısmi diferansiyel denklem geliştirmişler ve bu denklemi sonlu fark yöntemi kullanılarak çözümlenmişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, elde edilen sonuçlar ile deneysel verilerin birbiri ile uyumlu olduğu göstermişlerdir.

Bu çalışmada, iç bölmelere ayrılmış havalı güneş kolektörü destekli tünel tipi bir sera kurutucu tasarlanmıştır. Literatür taramasında da görüldüğü gibi sera tipi ve güneş enerji destekli kurutucular ile ilgili literatürde farklı birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada ise verimliliği artırılan bir havalı güneş kolektörü tünel tipi sera kurutucuyla birleştirilmiştir. Bu sayede sera giriş sıcaklığının sera tipi kurutuculara göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşması sağlanmıştır. Böylece arzu edilen kurutma havası sıcaklıklarının elde edilmesi planlanmıştır.

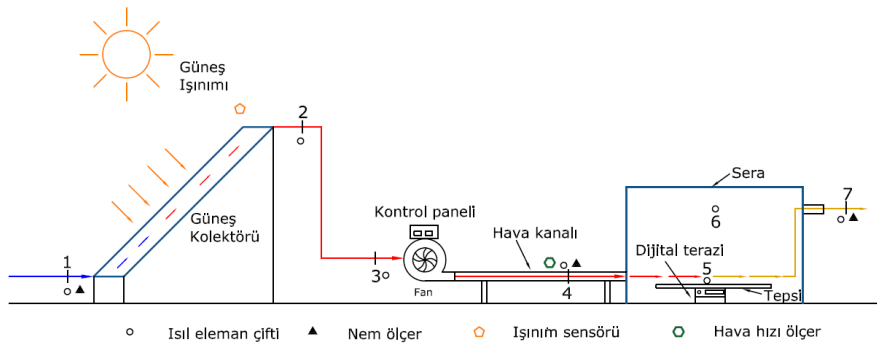
Çalışma kapsamında, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Atölyelerinde imalatı gerçekleştirilen sistemin, sorunsuz bir şekilde çalışıp çalışmadığı ayrıca ölçülen parametrelerin doğruluğu gerçekleştirilen testlerden elde edilen ilk ölçüm sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

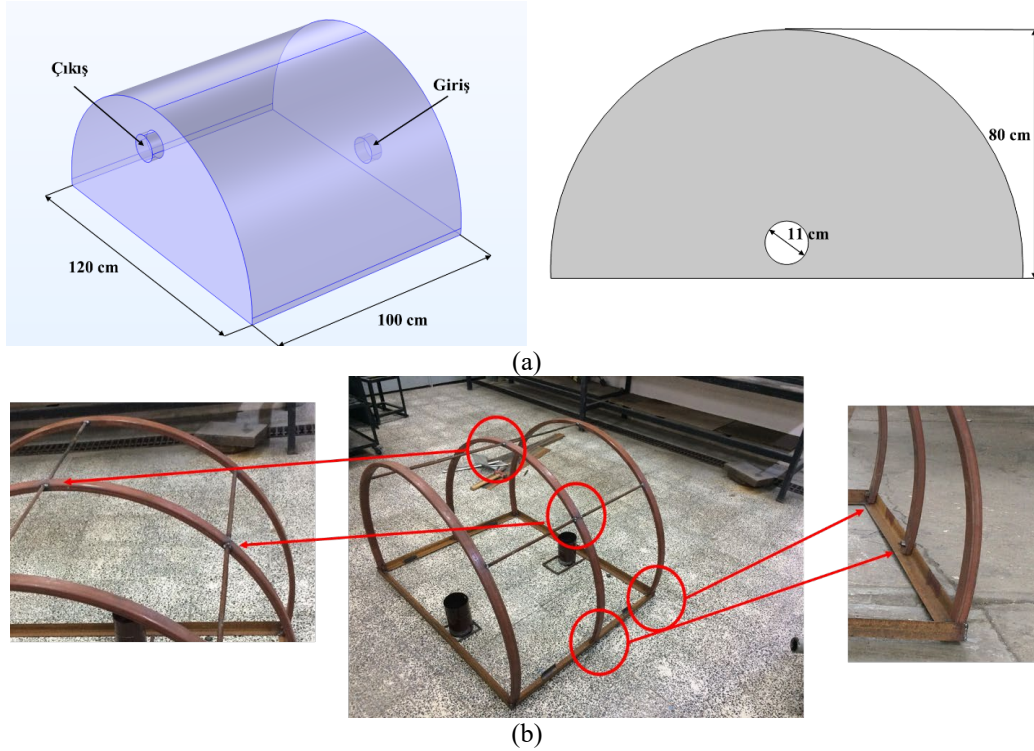
Şekil 1’de tasarlanan sistemin şematik resmi yer almaktadır. Şekilden görüldüğü gibi sistem, havalı güneş kolektörü [23] ve sera kısmı olarak iki bölümden oluşmakta ayrıca sistemde hava sirkülasyonu için bir fan yer almaktadır. Dış ortamdan fan vasıtasıyla alınan hava (1 noktası), kolektör içerisinden geçerken ısınmakta (2 noktası) ve seraya gönderilerek (4 noktası) sera içerisinde bulunan ürünler bünyesinde bulunan nemi kendi bünyesine alarak sistemden dışarıya (7 noktası) atılmaktadır. Şekil 2’de sistemdeki önemli elemanlardan biri olan seranın imalat aşamalarına ve tüm sisteme ait görseller verilmiştir. Sistemde yer alan sera öncelikle katı modelleme programları ile boyutlandırılarak modellenmiş (Şekil 2-a) ve sonrasında imalatına geçilmiştir. Metal profiller öncelikle bir profil makinasında bükme işlemine tabi tutulmuş sonrasında tabla içerisine yerleştirilerek her bir profilin üst bölgelerinden birbiri ile bağlantısı kaynak işlemiyle yapılmıştır. Profiller tabla içerisine taşıma kolaylığı ve kurulumda kolaylık sağlaması için somunlu vida ile sabitlenmiştir (Şekil 2-b). Sera giriş ve çıkış ağızları kolektörden çekilen havanın bir hava kanalı ile sera içerisine iletilmesinde kolaylık sağlaması açısından iki adet metal boru kullanılarak oluşturulmuş ve sera giriş ve çıkış noktalarına kaynaklanarak seranın iskelet yapısı tamamlanmıştır (Şekil 2-c). İskelet yapısı tamamlanan sera sonrasında örtü malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 2-d). Sera örtü malzemesi olarak Akdeniz bölgesi iklim şartları göz önüne alınarak 36 aylık 8mm polietilen sera naylonu kullanılmıştır. Metal profil üzerine sabitlenen örtü levhasının birleşim noktaları su ve güneş ışınımına karşı dirençli bir bant vasıtasıyla çevrilmiştir. Bu sayede sera içerisinde dış ortama olabilecek sızıntıların engellenmesi hedeflenmiştir.

Kolektörden çıkan sıcak hava, sera içerisine, ısı yalıtımlı esnek bir hava kanalı ve devir kontrol ünitesine sahip bir fan kullanılarak gönderilmektedir. Kolektörden çekilen hava sera içerisine gönderilmeden önce ısı yalıtımı uygulaması yapılan sabit bir hava kanalından geçmektedir. Burada sabit hava kanalı kullanılmasının temel nedeni doğru hız ölçümü yapabilmek amacıyla fan çıkışında havanın tam

gelişmiş bir akış rejimine sahip olmasını sağlamaktır. Hava kanalı üzerinde hız, sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmaktadır. Ölçüm noktaları için hazırlanan ve sera tipi kurutucu içerisine konumlandırılacak olan ısıtım eleman çiftleri (sarı renkli) ve hassas terazi Şekil 2-e’de yer almaktadır. Tasarımı tamamlanıp kurulumu yapılan sera tipi kurutucu deney düzeneğinin son hali Şekil 2-f’de verilmiştir.



Şekil 1. Güneş enerji destekli sera tipi kurutma sisteminin şematik resmi





(c)



(d)



(e)



(f)

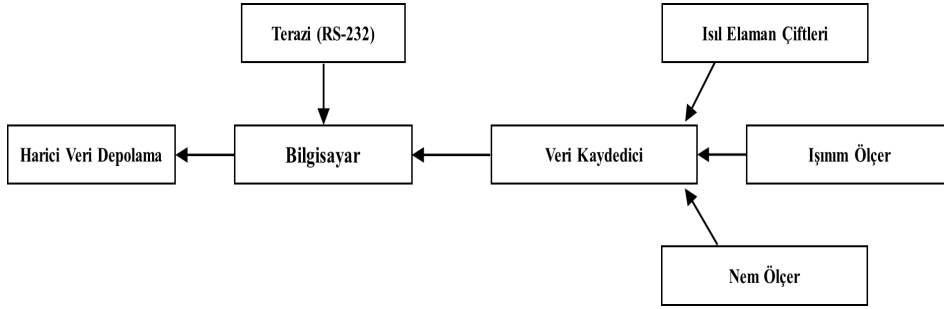
Şekil 2. Sera tipi kurutucunun imalat aşamalarına ait görseller

Tasarımı ve kurulumu yapılan sera tipi kurutucunun performansını ve kurutulacak ürünlerin kuruma karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla sistem üzerinde farklı noktalarda (Şekil 1) hız, sıcaklık, nem, ışınım ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde, hava hızını belirlenmesinde TESTO 435 ($\pm 0,1$ m/s hassasiyet) hava hızı ölçüm cihazı, farklı noktalardan sıcaklık ölçümünün gerçekleştirilebilmesi için COLE PARMER ısı eleman çiftleri ($\pm 0,1$ °C hassasiyet),

yine sistem üzerinde farklı noktalarda havanın rölatif nemini ölçmek için EPLUSE nem ölçer (%2-3 hassasiyet), ışınımın ölçülmesi için FRONIUS marka ışınım ölçer (± 5 hassasiyet), kurutucu içerisinde ürünlerin anlık olarak ağırlık değişiminin izlenebilmesi için DİKOMSAN elektronik terazi (0,1 g hassasiyet) ve tüm bu verilerin ölçülerek kayıt altına alınıp kontrol bilgisayarına aktarılması için IOTECH PD3001 (16 bit) veri kaydedici kullanılmıştır. Sistemin enerji

tüketiminin belirlenebilmesi ve anlık olarak izlenebilmesi için $\pm 0,04\%$ hassasiyete sahip HIOKI enerji analizörü kullanılmıştır. Şebekeye doğrudan bağlanan enerji analizörü ile fanın anlık akım

gerilim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerle de fanın güç tüketimi hesaplanmıştır. Şekil 3'te ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması yer almaktadır.



Şekil 3. Ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması

Kurutucu performansının değerlendirilmesinde kullanılan iki önemli performans göstergesi olan spesifik enerji tüketimi (SEC, kWsaat/kg) ve spesifik nem çekme oranı (SMER, kg/kWsaat) Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de verilmiştir [24,25].

$$SMER = \frac{\text{kurutma süresince uzaklaştırılan nem miktarı}}{\text{kurutma işlemi sırasında tüketilen enerji miktarı}} \quad (1)$$

$$SEC = \frac{\text{kurutma işlemi sırasında tüketilen enerji miktarı}}{\text{kurutma süresince uzaklaştırılan nem miktarı}} \quad (2)$$

Çizelge 1'de, hesaplanan SMER ve SEC değerleri için belirsizlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. SMER ve SEC için hesaplanan belirsizlikler (%)

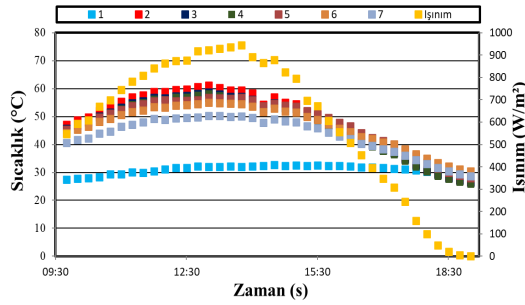
Parametre	Belirsizlik (%)
SMER	3,24
SEC	2,78

3. BULGULAR

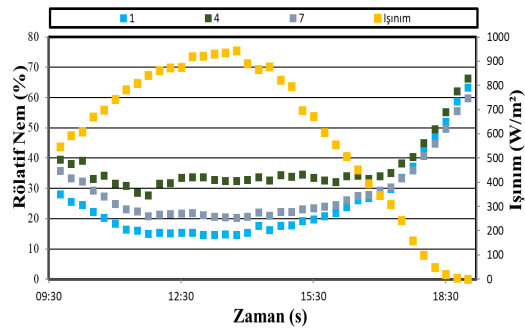
Bu çalışmada, güneş enerji destekli sera tipi bir kurutucu tasarımı ve imalatı yapılarak sistemin ilk ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerde, sistem üzerinde dış ortam sıcaklığı ve nemi, kurutma havası sıcaklığı ve nemi, ürün sıcaklıkları, sera içerisinde farklı noktalardaki sıcaklıklar ve ürün ağırlığı gibi parametrelerin değişimi anlık olarak gözlemlenmiştir. Deneylere

başlanmadan önce sistem çalıştırılarak denge haline gelmesi beklenmiş ve sonrasında veri kaydı alınmaya başlanmıştır. Her bir ölçüm noktasında anlık olarak kaydedilen verilerin on beş dakikalık ortalaması alınmış ve değişim grafikleri oluşturulmuştur. Tasarlanıp kurulan sistemin ilk testleri için üzüm kurutulacak ürün olarak belirlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te bir gün boyunca gerçekleştirilen deneylerle elde edilen ilk ölçüm sonuçları sunulmuştur. Şekil 4'te sistemde farklı noktalarda ölçülen sıcaklıkların ve güneş ışınımının zaman ile değişimi yer almaktadır. Şekilden, sistemde ölçülen sıcaklıkların ışınımına bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği ve kolektör girişi (dış ortam) sıcaklığının deney süresince yaklaşık 30 °C olduğu görülmektedir. Kolektöre dış ortamdan giren hava ışınımına bağlı olarak ısınmakta ve saat 13:00'da 61,09 °C ile maksimum değerine ulaşmaktadır. Seraya giren havanın sıcaklığı, ürün üzerindeki nemi alınmasından dolayı sera çıkışında düşmektedir. Şekilden ayrıca sera içerisindeki farklı noktalarda ölçülen sıcaklıklarda önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 5'te sistemde farklı noktalarda ölçülen rölatif nem ve güneş ışınımının zaman ile değişimi verilmiştir. Dış ortamdaki çekilen havanın rölatif nemi, havanın kolektör içerisinden geçerken ısınmasından dolayı kolektör çıkışında düşmektedir. Kolektör çıkışında (sera girişi) ölçülen nem değerinin minimum %14,64'e kadar düştüğü görülmektedir. Şekilden

ayrıca seraya giren havanın, ürünler üzerindeki nemi absorbe etmesinden dolayı sera çıkışındaki rölatif nemin giriş havası nemine göre arttığı görülmektedir.



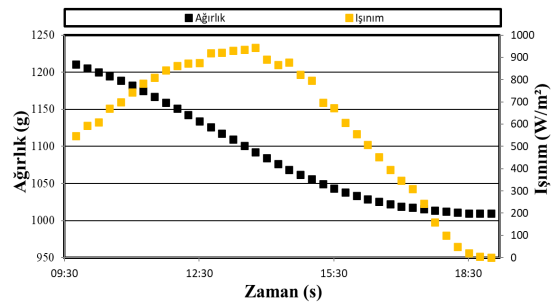
Şekil 4. Kolektör sıcaklık ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi



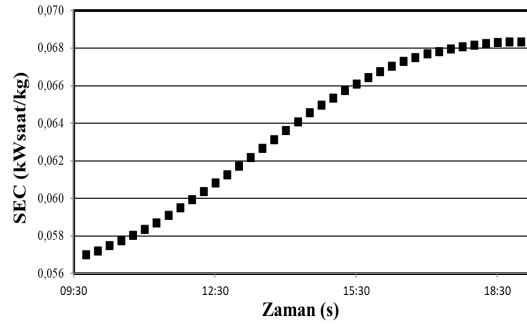
Şekil 5. Sera tipi kurutucu rölatif nem ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi

Şekil 6'de ürün ağırlığı ve ışınımın zaman ile değişimi yer almaktadır. Tepsi üzerine 1210,59 g olarak yerleştirilen üzümler yapılan bir günlük deney sonucunda toplam ağırlığından 192,36 g kaybederek 1018,23 g ağırlığa kadar düşmüştür. Şekil 7-a ve 7-b'de sırasıyla sera tipi kurutucu da kurutulan ürünlerin, SEC ve SMER değerlerinin zamanla değişimi yer almaktadır. Şekilden görüldüğü gibi gün içerisinde ürün üzerinden nemin uzaklaştırılması ile birlikte SEC değerinin zamanla arttığı, SMER değerinin ise tam tersi olarak zamanla azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi sisteme giren toplam enerji (tüketilen enerji) sabit kalırken üründen çekilen serbest haldeki su miktarının azalmasıdır. SEC değerinin deney süresince maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 0,068 kWsaat/kg ve 0,057 kWsaat/kg

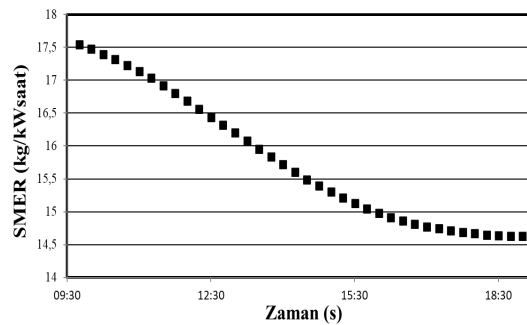
olarak hesaplanmıştır. Kurutma prosesi boyunca ortalama SEC ve SMER değeri sırasıyla 0,064 kWsaat/kg 15,537 kg/kWsaat'dır. Şekil 8'de çalışmada yapılan test kapsamında üzümlerin sera içerisine yerleştirildiği ilk ve son hallerinin gerçek görselleri yer almaktadır. Deney sonucunda üzümlerin içerisindeki nemin büyük bir kısmının tasarlanan sistem ile uzaklaştırılabildiği ayrıca ürünlerde renk kaybının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Ürün ağırlığı ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi



(a)



(b)

Şekil 7. Sera tipi kurutucuya ait (a) SEC ve (b) SMER değerinin zamana göre değişimi



(a)



(b)

Şekil 8. Sera tipi kurutucu içerisine yerleştirilen ürünlerin (a) ilk ve (b) son hallerinin gerçek görünüşü

Çalışma kapsamında tasarlanan güneş kolektörü destekli sera tipi kurutma sisteminin bir günlük ölçüm sonuçları incelenmiştir. Tasarlanan sistemde kurutma havası sıcaklığı için literatürdeki farklı kurutma sistemleri karşılaştırmalar yapılmıştır (Çizelge 2). Tasarlanan sistem ile literatürde elde edilen kurutma havası sıcaklıklarına yakın değerlerde kurutma havası sıcaklıkları elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu da çalışmada tasarlanan kurutma sisteminin ilk ölçüm sonuçlarının kabul edilebilirliğini göstermektedir.

Çizelge 2. Mevcut çalışmanın literatür ile kıyaslanması

Referans	Kurutma sistemi	Kurutma havası sıcaklığı
Bala ve arkadaşları [26]	Güneş enerjisi destekli tünel tip kurutucu	34.1-64 °C
Zomorodian ve arkadaşları [27]	Güneş enerjisi destekli kurutucu	55 °C
Janjai ve arkadaşları [28]	Güneş enerjisi destekli sera tipi kurutucu	31-58 °C
Rathore ve Panwar [29]	Tünel tipi kurutucu	55-70 °C
Mevcut çalışma	Güneş enerji destekli sera tipi kurutucu	24-59 °C

4. SONUÇ

Bu çalışmada iç bölmelere ayrılmış havalı güneş kolektörü destekli tünel tipi bir sera kurutucu tasarlanmış, imal edilmiş ve üzüm kurularak elde edilen ilk ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmanın odak noktası sistemin kurulumu ve ilk ölçümlerin gerçekleştirilmesi olmuştur. Çalışma sonucunda sistemdeki farklı noktalarda ölçülen sıcaklık ve rölatif nem değerlerinin gün içerisinde ışıma bağlı olarak değişim gösterdiği ayrıca kolektör çıkışında havanın yaklaşık 60°C sıcaklığa kadar ısınabileceği görülmüştür. Tepsi üzerine yerleştirilen üzümün yapılan bir günlük deney sonucunda toplam ağırlığından yaklaşık 200g kaybettiği tespit edilmiştir. Çalışmada ortalama SEC değeri 0,064 kWsaat/kg olarak, SMER değerinde ise 15,537 kg/kWsaat olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada deneysel kurulumu tamamlanan kurutma sisteminin çalışmasında ve deneysel verilerin elde edilmesinde herhangi bir problem ile karşılaşmadığı görülmüştür. Tasarlanan sera tipi kurutma sisteminin düşük ve orta sıcaklıkta kurutma havası gerektiren gıda ürünleri için daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sistemdeki en büyük problemin kurutma sisteminin performansının güneşe bağlı olması sebebiyle özellikle uzun süre kurutulan ürünlere yönelik süreklilik sağlayamamasıdır. Gelecekteki çalışmalarda bu

eksikliğin giderilebilmesi amacıyla enerji depolama malzemelerinin veya PV panel/akü ekipmanlarının sisteme montajı gibi teknolojilerden faydalanılabilir ve sistemin sürekliliğini ne ölçüde geliştirdikleri gözlemlenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Boroze, T., Desmorieux, H., Méot, J.M., Marouzé, C., Azouma, Y., Napo, K., 2014. Inventory and Comparative Characteristics of Dryers Used in the Sub-Saharan Zone: Criteria Influencing Dryer Choice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1240-1259.
2. Adenitan, A.A., Awoyale, W., Akinwande, B.A., Busie, M.D., Michael, S., 2011. Mycotoxin Profiles of Solar Tent-Dried and Open Sun-Dried Plantain Chips. *Food Control*, 119, 107467.
3. Condori, M., Saravia, L., 2003. Analytical Model for the Performance of the Tunnel-Type Greenhouse Drier. *Renewable Energy*, 28(3), 467-485.
4. Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., Madadlou, A., 2013. A Review on Exergy Analysis of Drying Processes and Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1-22.
5. Sethi, V.P., Dhiman, M., 2020. Design, Space Optimization and Modelling of Solar-Cum-Biomass Hybrid Greenhouse Crop Dryer using Flue Gas Heat Transfer Pipe Network. *Solar Energy*, 206, 120-135.
6. El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., Khaled, M., 2018. An Investigation on Solar Drying: A Review with Economic and Environmental Assessment. *Energy*, 157, 815-829.
7. VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., Goic, R., 2012. A Review of Solar Drying Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652-2670.
8. ELkhadraoui, A., Kooli, S., Hamdi, I., Farhat, A., 2015. Experimental Investigation and Economic Evaluation of a New Mixed-Mode Solar Greenhouse Dryer for Drying of Red Pepper and Grape. *Renewable Energy*, 77, 1-8.
9. Tiwari, S., Tiwari, G.N., 2016. Exergoeconomic Analysis of Photovoltaic-Thermal (PVT) Mixed Mode Greenhouse Solar Dryer. *Energy*, 114, 155-164.
10. Jain, D., 2005. Modeling The Performance of Greenhouse with Packed Bed Thermal Storage on Crop Drying Application. *Journal of Food Engineering*, 71(2), 170-178.
11. Chauhan, P.S., Kumar, A., Gupta, B., 2017. A Review on Thermal Models for Greenhouse Dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 548-558.
12. Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., Benhamou, A., 2019. Experimental and Modelling Study of Tomato Pomace Waste Drying in a New Solar Greenhouse: Evaluation of New Drying Models. *Renewable Energy*, 133, 144-155.
13. Aymen, E.L., Hamdi, I., Kooli, S., Guizani, A., 2019. Drying of Red Pepper Slices in a Solar Greenhouse Dryer and Under Open Sun: Experimental and Mathematical Investigations. *Innovative Food Science&Emerging Technologies*, 52, 262-270.
14. Saini, V., Tiwari, S., Jain, V.K., Tiwari, G.N., 2020. Performance Evaluation of Different Types PV Materials for PVTAC with Solar Drying System. *Materials Today: Proceedings*, 25, 544-550.
15. Tiwari, S., Tiwari, G.N. 2016. Thermal Analysis of Photovoltaic-Thermal (PVT) Single Slope Roof Integrated Greenhouse Solar Dryer. *Solar Energy*, 138, 128-136.
16. Kiburi, F.G., Kanali, C.L., Kituu, G.M., Ajwang, P.O., Ronoh, E.K., 2020. Performance Evaluation and Economic Feasibility of a Solar-Biomass Hybrid Greenhouse Dryer for Drying Banana Slices. *Renewable Energy Focus*, 34, 60-68.
17. Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., Müller, J., 2020. Review of Solar Dryers for Agricultural Products in Asia and Africa: An Innovation Landscape Approach. *Journal of Environmental Management*, 268, 110730.

18. Rizal, T.A., Muhammad, Z., 2018. Fabrication and Testing of Hybrid Solar-Biomass Dryer for Drying Fish. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 489-496.
19. Condori, M., Saravia, L., 1998. The Performance of Forced Convection Greenhouse Driers. *Renewable Energy*, 13(4), 453-469.
20. Kumar, A., Tiwari, G.N. 2007. Effect of Mass on Convective Mass Transfer Coefficient During Open Sun and Greenhouse Drying of Onion Flakes. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1337-1350.
21. Chauhan, P.S., Kumar, A., 2018. Thermal Modeling and Drying Kinetics of Gooseberry Drying Inside North Wall Insulated Greenhouse Dryer. *Applied Thermal Engineering*, 130, 587-597.
22. Janjai, S., Intawee, P., Kaewkiew, J., Sritus, C., Khamvongsa, V., 2011. A Large-Scale Solar Greenhouse Dryer using Polycarbonate Cover: Modeling and Testing in a Tropical Environment of Lao People's Democratic Republic. *Renewable Energy*, 36(3), 1053-1062.
23. Saydam, D.B., Çerçi, K.N., Hürdoğan, E., Özalp, C., 2021. İç Bölmelere Sahip Havalı Bir Güneş Kolektörünün Deneysel Olarak İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 46-54, 184.
24. Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S., 2011. Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layered Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(4), 728-737.
25. Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P. 2011. *Introduction to Heat Transfer*. John Wiley&Sons. USA, 122, 697-705.
26. Bala, B.K., Mondol, M.R.A., Biswas, B.K., Chowdury, B.L.D., Janjai, S., 2003. Solar Drying of Pineapple using Solar Tunnel Drier. *Renew Energy*, 28, 183-190.
27. Zomorodian A., Zare, D., Ghasemkhani, H., 2007. Optimization and Evaluation of a Semicontinuous Solar Dryer For Cereals (Rice, etc.). *Desalination*, 209, 129-135.
28. Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M., 2009. Experimental and Simulated Performance of a PV-Ventilated Solar Greenhouse Dryer for Drying of Peeled Longan and Banana. *Sol Energy*, 83, 1550-1565.
29. Rathore, N.S., Panwar, N.L., 2010. Experimental Studies on Hemi Cylindrical Walk-In Type Solar Tunnel Dryer for Grape Drying. *Appl Energy*, 87, 2764-2767.