

Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hasan AKMAN¹, Kamil Neyfel ÇERÇİ¹, Ertaç HÜRDOĞAN^{1*}, Orhan BÜYÜKALACA²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

YAYIN BİLGİSİ

Tarihçe:

Alınış: Haziran 2018

Kabul: Kasım 2018

Online Yayınlanma: Aralık 2018

Anahtar Kelimeler:

Kurutma

Güneş enerjisi

Tasarım

Deney

ÖZET

Kurutma, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırma işlemidir. Bu işlemle, ürünlerde meydana gelebilecek olan biyokimyasal reaksiyonların önüne geçip mikroorganizmaların gelişmesini durduracak bir orana indirilmesi sağlanır. Böylece gıda maddelerinin uzun süre bozulmadan dayanmaları sağlanır. Ek olarak, kurutma işleminde kurutulan ürünlerin hacim ve ağırlıklarında meydana gelen azalma sayesinde depolama ve lojistik maliyetlerde azalmaktadır. En ilkel ve en yaygın kullanılan kurutma metodu direk güneş altında yapılan kurutma işlemidir. Fakat güneş altında yapılan kurutma işleminde ürünlerdeki kalite düşüşü alternatif kurutma metodları üzerine çalışmalar yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Ayrıca, günümüzde özellikle gelişen ülkelerde yenilenebilir enerjinin kullanımına öncelik verilmesi, bilim adamlarının kurutma sistemlerinde de yenilenebilir enerjiden faydalanmaya yönelmiştir. Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi tasarlanarak imal edilmiş ve Osmaniye iklim şartlarında ilk testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, sistemde kullanılan kurutma havasının 45 °C sıcaklığa kadar çıkabildiği, kolektöre giren hava sıcaklığının ortalama 10-14 °C artırılabilirdiği, 6 saatlik kurutma süresi içerisinde yaklaşık olarak %58 civarında üründen nem uzaklaştırılabildiği ve kurutma prosesinin başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür.

Design and Manufacture of a Solar Energy Assisted Drying System and Evaluation of First Experiment Results

ARTICLE INFO

History:

Received: June 2018

Accepted: November 2018

Available online: December 2018

Keywords:

Drying

Solar energy

Design

Experiment

ABSTRACT

Drying is a process of removing free water in wet products. It is possible to prevent the biochemical reactions that may occur in the products and to reduce the rate of microorganisms. Thus, ensuring that the foods long-lived without deterioration. In addition, storage and logistics costs are reduced due to a reduction in volume and weight of dried products with drying process. The most primitive and most commonly used drying method is the direct drying process under the open sun. However, the quality degradation in the product has made it necessary to work on alternative drying methods in the case of drying under the sun. Furthermore, priority is given to the use of renewable energy especially in developing countries today, this has led scientists to benefit from renewable energy in their drying systems. In the study, a solar energy assisted drying system was designed and manufactured and was firstly tested for Osmaniye climate conditions. As a result of the study, it was observed that the drying air used in the system can reach temperatures up to 45 °C, the air temperature entering the collector can be increased by 10-14 °C on average, approximately 58% moisture is removed from the product within 6 hours and the drying process has been successfully accomplished.

1. Giriş

Hasat edilen tarım ürünlerinin uzun süre saklanabilmesine olanak sağlayan yöntemlerden biri olan kurutma; ısı enerjisini kullanarak ürünlerin içerisinde bulundukları suyu azaltma işlemi olarak tanımlanabilir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında amaç, tarımsal ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların tarımsal ürünü bir besin kaynağı olarak kullanıp mikroorganizmaların tarımsal üründe yaşamalarını önlemektir. Kurutma işleminde kurutulmuş tarım ürünlerinin hacim ve ağırlıklarında azalma sağlandığı için lojistik ve depolama maliyetleri de azalmaktadır [1].

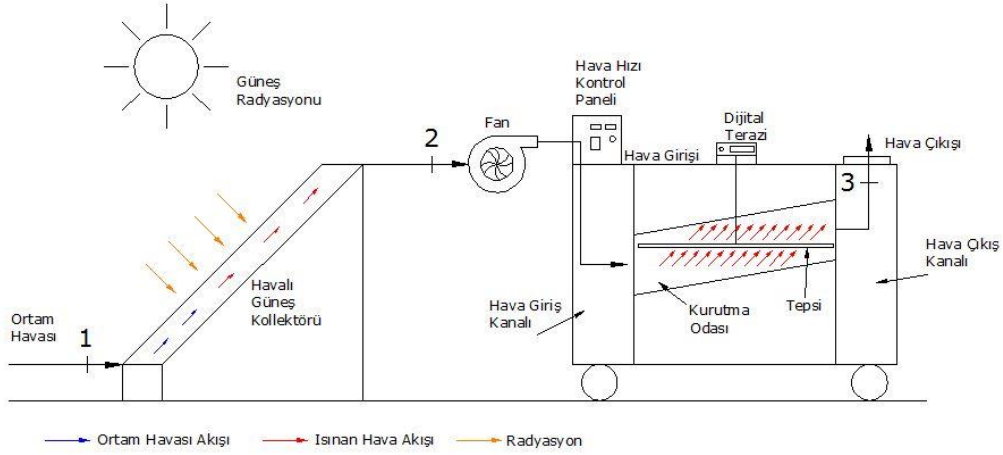
Kurutma işlemi su ve kurutulacak madde arasındaki bağlantı kuvvetlerinin çözümü ile başlar. Bunun içinde belirli bir enerjiye gereksinim vardır. Bu enerji, ısı enerjisi olarak kurutulacak maddeye sürekli olarak verilmelidir [2]. Kurutma için gerekli olan ısı enerjisi, Türkiye’de en yaygın biçimde doğal, yani direk güneş altında kurutma uygulanarak gerçekleşmektedir. Açıkta güneşten yararlanılarak yapılan kurutma işlemi, maliyetinin düşük olmasına karşın dış etmenlere açık oluşu, doğa olaylarına karşı kurutmaya ara verilmesi ve kuruma süresinin uzaması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Bu olumsuz etkilerden ötürü açıkta güneşli kurutmanın dezavantajlarının bertaraf edilmesi ve maliyetin azaltılması için güneş enerjili kurutucular kullanılması daha avantajlıdır [3]. Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular; doğrudan, dolaylı ve birleşik tip güneş enerjili kurutucular olarak adlandırılmaktadırlar. Kurutucudan geçen kurutma havasının akış biçimine göre ise güneş enerjili kurutucular; pasif (doğal taşınım) kurutucular ve aktif (zorlamalı taşınım) kurutuculardır. Doğrudan güneş enerjili kurutucularda kurutulacak olan ürün direkt olarak güneşin etkisi altında ve güneşi görmekte olup, ürün ile olan ısı transferi ışınım ve taşınım yoluyla gerçekleşmektedir. Etkili olan ısı transfer mekanizması daha çok radyasyondur. Bu şekildeki kurutmalar ürünlerde vitamin kaybı, enzim bozulması ve istenmeyen renk değişimlerini meydana getirdiği için pek tercih edilmemektedir. Dolaylı güneş enerjili kurutucularda kurutulacak ürün tasarlanan kapalı bir kurutma kabineye yerleştirilerek, güneş enerjisinin direkt etkisine maruz kalmadan, güneş enerjisi ile ısınan taze havanın kabine aktarılmasıyla ısı transferi gerçekleştirilerek yapılan kurutmadır [4].

Mutlu ve Öztürk [5], Pamukkale yöresinde yetiştirilen incirin güneş enerjisi ile kurutulmasına yönelik çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda; güneş enerjisi ile kurutmanın enerji giderinin olmadığı, sadece ürünlerin tasarlanacak olan kurutma sistemine giriş ve çıkış işlemleri için işçilik gideri olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca kurutmaya etki eden faktörlerden bir tanesinin kurutma yüzey alanına düşen güneş ışınım değeri olduğu sonucuna varılmıştır. Ceylan [6], güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinde ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanmadığı yönüne dikkat çekmiş ve kurutma havasının nem kontrolü hakkında çalışma yapmıştır. Sarsılmaz [7], yaptığı çalışmada havalı tip güneş kolektörlü bir kurutma sistemi tasarlamış ve kayısı kurutma deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, hava kolektörünün içini yalıtım malzemesi ile kaplayarak delikli bakır plakalar kullanmış ve kolektörü günün değişik saatlerinde güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak amacıyla 60° eğimli olabilecek şekilde imal etmiştir. Araştırmacı, sistemin değişik noktalarında sıcaklık ve nem değerlerini okuyarak açıkta sergide kurutma ile karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında kurutma sisteminin açıkta sergide kurutmaya göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Şahin ve ark. [8], çam fıstığı kozalağının kabuğundan ayrılması için ısı pompası ve güneş enerjisi destekli endüstriyel tip bir kurutma sistemi tasarlamışlar ve deneysel olarak enerji analizini yapmışlardır. Yazarlar çam fıstığı kozalağının 24 saat boyunca kış şartlarında da kuruduğuna vurgu yaparak ekonomiye büyük katkı sağladığı sonucuna varmışlardır. Çerçi ve Akpınar [9], kurutucu tasarımında önemli bir parametre olan konvektif ısı transfer katsayısı üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında biberi doğrudan güneş altında kurutarak regresyon analizi yöntemi ile ortalama ısı transfer katsayısını 1225-1860 W/m²°C aralığında olduğunu saptamışlardır. Mahesh ve ark. [10], yaptıkları araştırmalarında belirsiz fiyat artışı ve fosil yakıtların hızlı tükenmesi sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişiminin hızlandığını ve güneş enerjisinin; bol miktarda, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olduğundan; güneş enerjisiyle kurutmanın; sağlıklı, düşük maliyetli ve doğal gıdaların kurutma ihtiyacını karşılayabilir olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca tarımsal ürün kurutmak için kullanılan güneş kurutucularının, enerji tasarrufunun yanında zaman kazandıran, daha az alan kaplayan, ürün kalitesini artıran ve enerji tasarrufu açısından en yararlı sistemler olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma kapsamında

doğrudan güneş kurutucuları, dolaylı güneş kurutucuları, hibrit güneş kurutucuları ve çeşitli güneş enerjili kurutma uygulamaları incelenmiştir. Bu çalışmada, Osmaniye iklim koşullarında farklı gıda ürünlerinin kurutulması amacıyla güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ilk testler gerçekleştirilmiştir.

2. Deney Düzenegi

Şekil 1 ve Şekil 2’de tasarımı yapılan kurutma sisteminin şematik ve genel görünüş resmi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tasarımı yapılan sistem, güneş kolektörü ve kurutma kabini olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 1. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin şematik resmi



Şekil 2. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin resmi

Sistemde kullanılacak kurutma odasının tasarımında üniform bir kurutma işlemi gerçekleştirebilmek için iki önemli etken dikkate

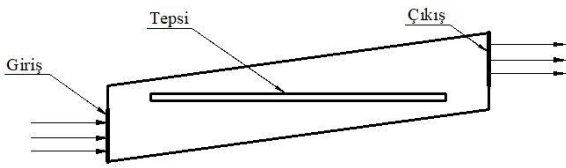
Sistemde ayrıca kurutma havasının sirkülasyonu için bir fan, hava kanalı ve kontrol panosu yer almaktadır. Güneş kolektörüne giren taze hava (1 noktası), kolektör içinde ısınarak (2 noktası) bir fan yardımıyla kurutma kabine aktarılmakta ve ürün üzerindeki nemi alarak sistemden dışarı atılmaktadır (3 noktası). Sistemin performansını belirlemek için farklı notlarda çeşitli parametreler ölçülmektedir. Tasarlanan sistemin genel özellikleri ve ölçüm sistemi aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

alınmıştır. Bunlardan birincisi kurutma havasının oda içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak, bir diğeri ise sıcak kurutma havasının

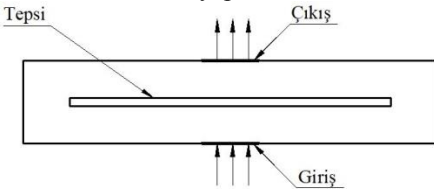
kurutulacak ürünle temas alanının yüksek olmasını sağlamaktır. Literatürde kullanılan bazı geleneksel dolaylı güneş enerjili kurutma sistemleri incelendiğinde çoğu sistemde kurutma havasının kurutma kabine kurutulacak ürünlerin bulunduğu tepsinin alt veya yan kısmından giriş yaptığını dolayısıyla ürünün üst yüzeyine temas alanının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun önüne geçmek ve temas alanını arttırarak daha üniform bir kurutma elde edebilmek amacıyla kurutma odasının giriş-çıkışının eğimli olması öngörülmüştür. Tasarlanan bu kurutma odası ile geleneksel sistemlerde kullanılan alttan havanın verildiği örnek bir kurutma odası oluşturulan modeller ile kıyaslanmıştır. Ele alınan kurutma odalarındaki hız ve sıcaklık dağılımları inceleyebilmek amacıyla ANSYS Mechanical APDL paket programı ile geometriler ve sayısal ağ (mesh) işlemi gerçekleştirilmiş, çözümleme ise ANSYS CFX paket programından faydalanılmıştır.

Tasarlanan kurutma odası ve kıyaslama yapılacak geleneksel kurutma odası Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir. Ürünlerin tutulduğu tepsi kurutma kabini boyutuna uygun olarak 80 cm genişliğinde 62 cm uzunluğunda boyutlandırılmıştır. Tasarlanan kurutma odası modelinin sayısal ağ (mesh) yapısı Şekil 5’ de, geleneksel tepsilili kurutucu modelinin sayısal ağ yapısı ise Şekil 6’da verilmiştir.

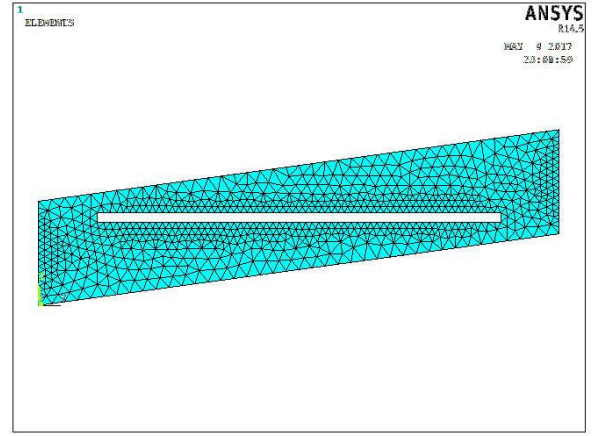
3. bölümde ayrıntılı bir şekilde verilen analizlerin değerlendirilmesinden, tasarlanan kurutma odasının uniform kurutmanın sağlanmasında etkili olduğu sonucuna varılmış ve kurutma odasının eğimli bir şekilde imal edilmesine karar verilmiştir.



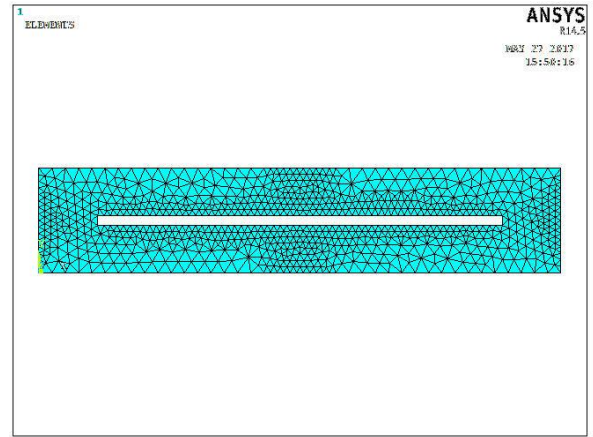
Şekil 3. Tasarımı yapılan kurutma odası



Şekil 4. Geleneksel tepsilili kurutma odası



Şekil 5. Tasarımı yapılan model üzerinde oluşturulan ağ yapısı



Şekil 6. Geleneksel tepsilili kurutma odası modeli üzerinde oluşturulan ağ yapısı

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kurutma kabini (Şekil 7) 145x82x97 cm ölçülerinde olup dış çerçevesi 4x4 cm’lik profillerden oluşturulmuştur. Kurutma kabininin giriş ve çıkış aralıkları 2mm’lik saç kullanılarak oluşturulmuştur. Sızıntılarının önlenmesi amacıyla hava geçişinin olduğu tüm bağlantı noktaları ve aralıklar silikon kullanılarak kapatılmıştır. Ürünlerin yerleştirildiği kurutma odası ahşap malzeme ile imal edilmiştir. Kurutulacak olan ürünler bir tepsi yardımı ile kurutma odasına yerleştirilmektedir. Kabinde ayrıca kurutulacak ürünlerin gözlemlenebilmesi için şeffaf plastik malzemeden yapılmış bir gözetleme camı yer almaktadır (Şekil 8). Kurutucuda ürünlerin kurutulduğu tepsinin çerçevesi alüminyum panellerden, içi ise hava geçişini sağlayabilmek için alüminyum delikli telden yapılmıştır. Kurutulacak olan ürünler tepsi yardımı ile ürün yerleştirme ağızından kurutma kabine yerleştirildikten sonra, içinde bulunan askı sistemi ile elektronik hassas teraziye bağlanmıştır. Tasarımı yapılan tepsi ve ağırlık sisteminin kurutma kabinde dengede durduğu asılı sistemin şematik gösterimi Şekil 9’da

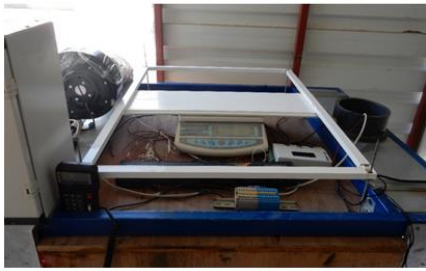
görülmektedir. Şekil 10'da tasarımı yapılan sistemin imalat aşamaları verilmiştir.



Şekil 7. Tasarımı yapılan kurutma kabininin resmi



Şekil 8. Tasarımı yapılan kurutma kabininin resmi



Şekil 9. Sistemde kullanılan tepsi ile askı sisteminin resimleri

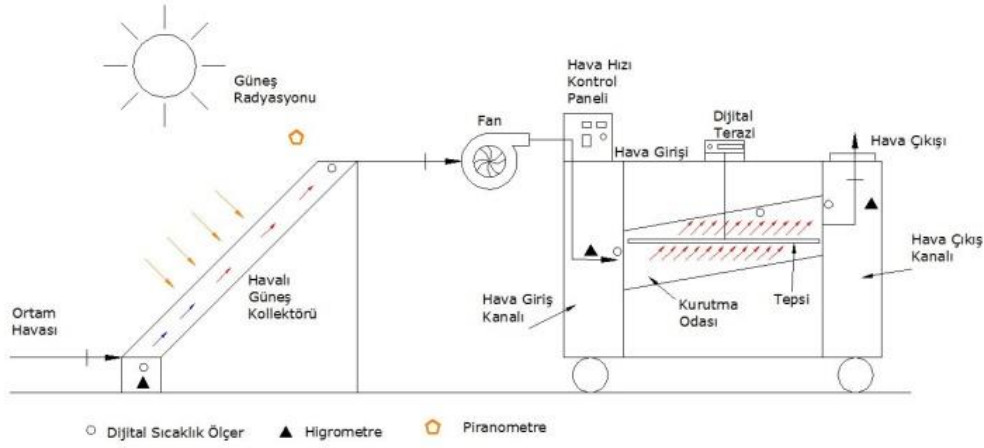


Şekil 10. Tasarımı yapılan sistemin imalat aşamaları

Sistemin detaylı enerji analizlerini yapabilmek, performansını belirleyebilmek ve tasarlanan sistemin benzer kurutma sistemlerine göre karşılaştırmasını yapabilmek amacıyla deney düzeneği üzerinde sıcaklık, nem ve kurutulan üründen uzaklaştırılan nem miktarını belirlemeye yönelik kütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de sistemin farklı noktalarında (Şekil 11) ölçülen parametreler verilmiştir.

Tablo 1. Kurutma sistemi üzerinde ölçülen özellikler

Ölçüm İstasyonu	Ölçüm İstasyonunu Yeri	Ölçülen Parametre
1	Kolektör Giriş	Sıcaklık-Nem
2	Kolektör Çıkış	Sıcaklık
3	Fan Giriş	Sıcaklık
4	Fan Çıkış	Sıcaklık-Nem
5	Kabin Giriş-1	Sıcaklık
6	Kabin Giriş-2	Sıcaklık
7	Kabin Giriş-3	Sıcaklık
8	Kabin Çıkış-1	Sıcaklık
9	Kabin Çıkış-2	Sıcaklık
10	Kabin Çıkış-3	Sıcaklık
11	Kabin Çıkış-4	Sıcaklık-Nem-Hız



Şekil 11. Kurutma sistemi üzerinde ölçüm yapılan noktalar

Sistemde farklı noktalarındaki sıcaklık ölçümleri, TESTO marka 435 tipi cihaza ait sıcaklık ölçüm probu ve çok kanallı LEDMER marka dijital sıcaklık ölçüm sistemi kullanılarak 0.1 °C hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Sistemde kurutma havası nemi yine TESTO marka 435 tipi cihaza ait nem ölçüm probu (higrometre) kullanılarak %2-3 hassasiyetle ölçülmüştür.

Sistemde kurutulacak ürün üzerindeki başlangıç nem miktarını ve kurutma işlemi sonrasında üründe meydana gelen yüzde kütle değişimini belirlemek amacıyla hassas ölçüm yapabilen Dikomsan marka 0.1gr hassasiyete sahip elektronik terazi kullanılmıştır.

Kurutma hava debisini belirlemek için TESTO marka 435 tipi cihaza ait hız ölçüm probu kullanılarak 0.1 m/s hassasiyetle hava hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kabin çıkış kesitine yerleştirilen hızölçerden elde edilen değer ve kesit alan kullanılarak sistemde kullanılan hava debisi belirlenmiştir. Sistemde güneş ışınımının tespiti için Eko marka MS-410 tipi piranometre (ışınım ölçer) kullanılmıştır.

Tasarlanan sistemde, farklı parametrelerin kurutmaya olan etkisini belirleyebilmek amacıyla PLC (Programmable Logic Controller) kontrollü iki farklı otomatik kontrol sistemi tasarlanmıştır. Bunlardan ilki kurutma havası sıcaklığının sabit tutulabildiği, diğeri ise kurutma hava hızının sabit tutulabildiği kontroldür. Birinci kontrol sisteminde kabin girişindeki sıcaklık pano üzerinden set edilebilmekte ve istenilen sıcaklık fan hızının sistem tarafından otomatik olarak değiştirilmesiyle sabit tutulabilmektedir. İkinci kontrolde ise yine pano üzerinden istenilen hava hızı set edilebilmekte ve sabit hava hızında deneyler gerçekleştirilebilmektedir.

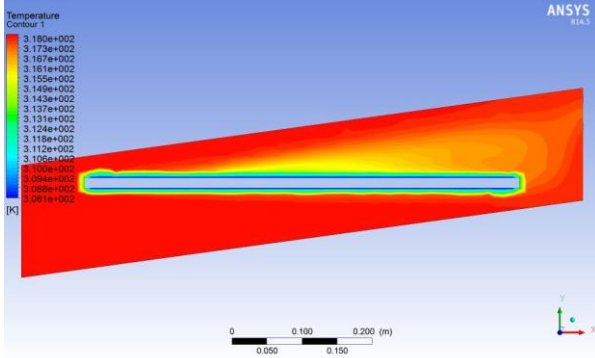
3. Bulgular ve Tartışmalar

Bu çalışma kapsamında tasarımı yapıp imal edilen güneş enerji destekli kurutma sisteminin Osmaniye iklim koşullarında performansının belirlenebilmesi amacıyla ilk test çalışması 2017 yılı Mayıs ayında gerçekleştirilmiştir. Bu test çalışması, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Karacaoğlan Yerleşkesinde yer alan ve içerisinde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünün de yer aldığı E blok binası çatısında bulunan bir alanda yürütülmüştür.

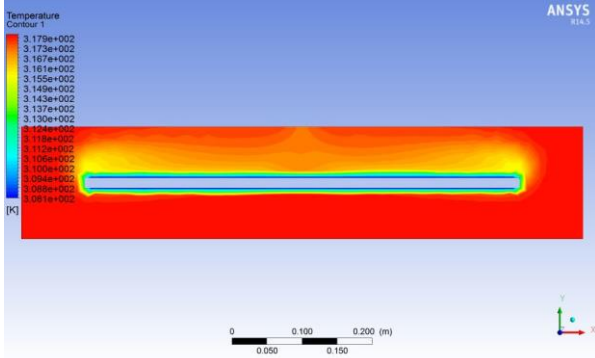
Bazı geleneksel dolaylı güneş enerjili kurutma sistemleri incelendiğinde çoğu sistemde kurutma havasının kurutma kabineye kurutulacak ürünlerin bulunduğu tepsinin alt kısmından giriş yaptığını dolayısıyla ürünün üst yüzeyine temas alanının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun önüne geçmek ve temas alanını artırarak daha uniform bir kurutma elde edebilmek amacıyla kurutma odasının giriş-çıkışının eğimli olması öngörülmüştür. Tasarlanan bu kurutma odası ile geleneksel sistemlerde kullanılan alttan havanın verildiği örnek bir kurutma odası oluşturulan modeller ile kıyaslanmıştır. Çalışmada üçgen şeklinde olan ağ hücreleri kullanılmıştır. Her iki model için, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak kurutma odasına giren havanın sıcaklığı 45 °C, hızı 5 m/s, ürün yüzey sıcaklığı 35 °C olarak düşünülmüştür. Analizlerde kurutma tepsinin ince yapısından dolayı her iki yüzeyinin de sıcaklığı aynı kabul edilmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda yapılan modellerin sıcaklık dağılımları ve akım çizgileri sırasıyla Şekil 12-Şekil 15 'de verilmiştir. Şekil 12 ve Şekil 13 'de verilen sıcaklık dağılımları göz önüne alındığında, geleneksel tepseli kurutma kabineye göre tasarlanan kurutma kabinde tepsi (ürün yüzeyi) üzerindeki sıcaklık dağılımının daha homojen olduğu ve ürünün sıcak hava ile temasının daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil

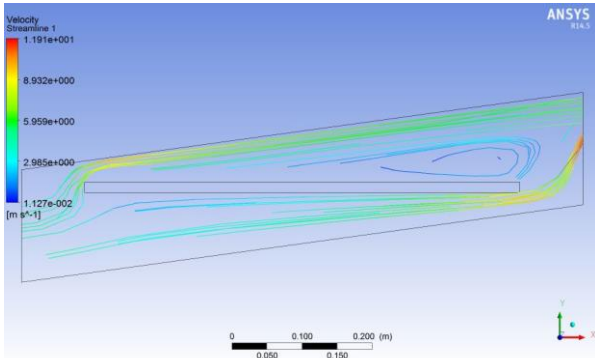
14 ve Şekil 15 'de ise her iki model için akım çizgileri gözlemlenmiştir. Her iki şekil göz önüne alındığında, geliştirilen kurutma odası modelinde, kabin içi geometrisi ile akışa yön verilip daha homojen bir hava sirkülasyonu sağlandığı ayrıca yüksek hızların geleneksel tepsili modelde ürün yüzeyinden daha uzakta elde edildiği görülmüştür.



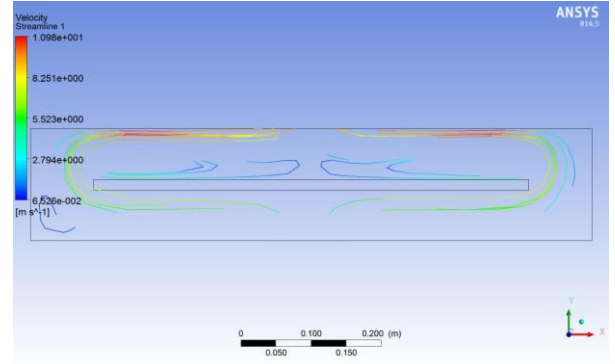
Şekil 12. Tasarlanan kurutma odası modelinin sıcaklık dağılımı



Şekil 13. Geleneksel tepsili kurutma odası modelinin sıcaklık dağılımı



Şekil 14. Tasarlanan kurutma odası modelinde akım çizgileri



Şekil 15. Geleneksel kurutma odası modelinde akım çizgileri

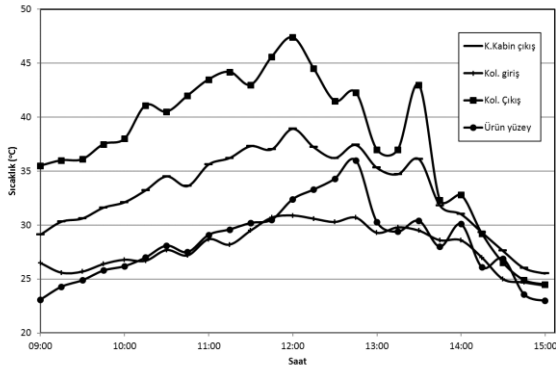
Tasarımı ve imalatı yapılan güneş enerji destekli kurutma sisteminin performansını belirlemek için Mayıs ayında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit hava hızında gerçekleştirilmiş ve kurutulacak ürün olarak kabak seçilmiştir. Deneye başlamadan önce kabaklar yaklaşık 5 mm kalınlıkta dilimlenmiş ve kurutma teysisine tamamını kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 16). Deneye saat 09:00'da başlanmış ve kurutma prosesine bağlı olarak yaklaşık 6 saat devam etmiştir. Deney boyunca 15 dakikalık periyotlarda ölçümler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 17-20'de gerçekleştirilen deneyden elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 17'de sistem üzerinde farklı noktalarda ölçülen sıcaklıkların zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi güneş kolektörüne giren dış hava (Kol.giriş), kolektör içinde ısınarak (Kol.çıkış) kurutma kabine girmekte ve ürün üzerindeki nemi alınmasıyla soğuyarak sistemden dışarı atılmaktadır (K.Kabin çıkış). Şekilden ayrıca sıcaklıkların kurutma esnasında güneşin kolektöre dik olarak geldiği öğle saatlerinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Güneş kolektöründen çıkan sıcak hava, saat 12:00'da en yüksek değeri 47.4 °C'ye ulaşmıştır. Ürün sıcaklığının da kurutma işlemi boyunca en yüksek sıcaklığına saat 12:00-13:00 arasında ulaştığı ve bu değer 34.3 °C olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 18'de sistem üzerinde farklı noktalardan ölçülen rölatif nem değerlerinin zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden farklı noktalarda ölçülen nem değerlerinin gün içerisinde değişim gösterdiği, dışardan alınan havanın neminin (dış hava) kolektörden geçen dış havanın ısınmasıyla düştüğü (kabin giriş) ve ürün üzerindeki nemin almasıyla kabin çıkışında arttığı (kabin çıkış) görülmektedir. Farklı noktalardaki nem değerleri kurutma esnasında güneşin kolektöre dik olarak geldiği öğle saatlerinde en düşük değerlerine ulaşmıştır. Kurutmanın sonlarına doğru, ışınımın etkisinin azaldığı saatlerde sistem üzerinde

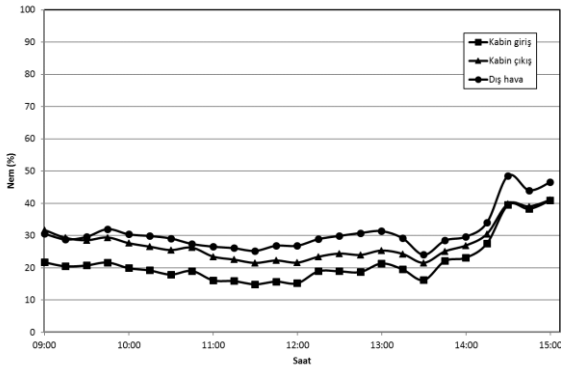
ölçülen tüm noktadaki nem değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Şekil 19'da, kolektör giriş-çıkış sıcaklıkları ve ışınımın zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ışınım değerine bağlı olarak kolektör çıkışında hava sıcaklığının 47 °C'ye kadar yükseldiği ve deney boyunca kolektör giriş çıkışında ortalama 10-14 °C'lik sıcaklık farkı elde edilmiştir. Şekil 20'de kurutulan kabak dilimlerinin zamana göre ağırlığındaki değişim verilmiştir. Bu kurutma prosesinde 6 saat süresince ortalama 950 gr nemin (%58) üründen uzaklaştırıldığı görülmüştür.



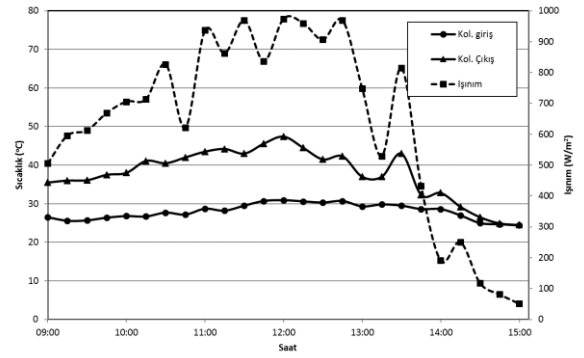
Şekil 16. Dilimlenmiş kabakların yerleştirildiği kurutma tepsinin resmi (deney öncesi)



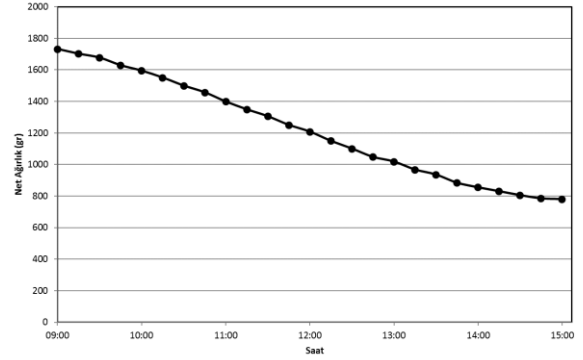
Şekil 17. Sistem üzerinde farklı noktalarda ölçülen sıcaklıkların zamanla değişimi



Şekil 18. Sistem üzerinde farklı noktalarda ölçülen rölatif nemlerin zamanla değişimi



Şekil 19. Kolektör giriş-çıkışında ölçülen sıcaklıkların ve ışınımın zamanla değişimi



Şekil 20. Ölçülen ürün ağırlığının zamanla değişimi

4. Sonuçlar

Gıda kurutmasında amaç, kısa kurutma zamanlarında kurutulmuş kaliteli ürün elde edilmesidir ve bu amaca ulaşmak ise en iyi kurutma havası şartlarının eldesi ile mümkündür. Güneş enerjili sistemler doğrudan güneş enerjisini kullanmaları ve basit bir teknolojiye sahip olmaları nedeniyle kurutma sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sonunda tasarımı ve imalatı yapılan güneş enerjili kurutma sisteminin sorunsuz bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Dış hava şartlarına bağlı olarak Mayıs ayındaki iklim koşullarına göre sistemde kullanılan güneş kolektörü ile 40-45 °C sıcaklıkta kurutma havasının elde edilebildiği görülmüştür. Kurutma havası sıcaklığını etkileyen en önemli parametrenin güneş ışınımı olduğu ve sıcaklığın ışınım değerinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Kolektöre giriş hava sıcaklığının ortalama 10-14 °C artırılabilirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca üründen 6 saatlik kurutma süresince yaklaşık 950 gr nem çıkışı olmuştur. Ele alınan kurutma sisteminin Osmaniye iklim şartlarında kurutma prosesini başarılı bir şekilde gerçekleştirebildiği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP)

tarafından OKÜBAP-2014-PT3-032 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

Not: Bu çalışma, 16-18 Kasım 2017 tarihlerinde Osmaniye/Türkiye'de düzenlenen International Advanced Researches and Engineering (IAREC 2017) konferansında sunulmuştur.

Kaynakça

- [1] Tarhan, S., Ergüneş, G., Tekelioğlu, O. Tarımsal ürünler için güneş enerjili kurutucuların tasarım ve işletme esasları, Tesisat Mühendisliği Dergisi 2007; 99:26-32.
- [2] Yaşartekin, Y., Kabinet tipi güneş enerjili kurutucunun tasarımı ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında denenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1991. İzmir, 141.
- [3] Gürel, A., Güneş enerjili, ısı borulu, nem kontrollü kurutucuda aromatik ürünlerin (nane, maydanoz, biberiye) kurutulması. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010. Karabük, 57.
- [4] Yılmaz, H., Güneş pili tahrikli model bir güneşli kurutucunun geliştirilmesi ve kurutulmuş domates üretiminde teorik ve deneysel incelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2000. İzmir, 75.
- [5] Mutlu, H., Öztürk, K. İncirin güneş enerjisi kullanarak kurutulmasının esasları. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya-Türkiye, 2004, 186-192.
- [6] Ceylan, İ., Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002. Zonguldak, 160.
- [7] Sarsılmaz, C., Güneş enerjisi destekli kayısı kurutma sistemi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1998. Elazığ, 164.
- [8] Şahin, H., Koçak, S., Aktaş, M., Polat, T. Bilgisayar kontrollü ısı pompalı ve güneş enerjili endüstriyel kurutma sistemi tasarımı. Tesisat Mühendisliği Dergisi 2012; 131: 43-52.
- [9] Çerçi, N., Akpınar, E. Güneş altında kurutma prosesinde biberin konvektif ısı transfer katsayısının belirlenmesi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir-Türkiye, 2015, 1659-1665.
- [10] Mahesh, K., Sansaniwal, S., Khatak, P. Progress in solar dryers for drying various commodities, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016; 346-360.