

ÇAKIL TAŞI ENERJİ DEPOLAMA ORTAMI İLE ENTEGRE EDİLEN GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNDE ÇİLEĞİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY*, Doç. Dr. M. Turhan ÇOBAN**

*Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

66200 Merkez, Yozgat, halil.atalay@yobu.edu.tr

** Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

35100 Bornova, İzmir, turhan_coban@yahoo.com

ÖZET: Bu çalışmada, meyve ve sebzeleri kurutmak için çakıl taşı enerji depolama ortamının entegre edildiği güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda 3 mm kalınlığındaki çilek dilimlerinin kurutma kinetiği incelenmiştir. Ayrıca kurutma sistemine bağlı olarak çalışan atık ısı geri kazanım ünitesi ile taze havanın nem içeriği artan kurutma havası ile belirli bir oranda karışması sağlanmış ve böylece %50-60 oranında atık ısı geri kazanılmıştır. Sistemin diğer kurutma teknolojilerine göre en önemli avantajı %76.8 oranında daha az enerji tüketmesidir. Kurutma sistemi üzerindeki deneyler günde iki kez tekrarlanmıştır. Deneylerde ortalama 5 kg çilek kullanılmış ve çilek dilimlerinin kurutma kinetiği 50-60 ° C arasındaki sabit sıcaklıklarda belirlenmiştir. Kurutma işlemi hem gündüz hem de akşam saatlerinde yapılan deneylerde ortalama 5 saat olarak tespit edilmiştir. Çilek dilimlerinin nem oranlarının %10'un altına düşünceye kadar kurutma işlemi sürdürülmüştür. Buna ek olarak, çilek dilimlerinin nem oranlarının zamana göre değişimini tahmin edebilmek için Difüzyon yaklaşımı modeli esas alınarak Java dilinde bir matematiksel model geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde gerçekleştirilen diğer çalışmalarla da uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Enerji Depolama, Çakıl Taşı, Kurutma, Kurutulmuş Çilek.

GİRİŞ

Kurutma işlemi, tarım ürünlerinin raf ömrünü uzatan en önemli uygulamalardan biridir (özellikle meyve ve sebzeler). Bu ürünler, genellikle elektrikli kurutucular yardımıyla ticari amaçlar için kurutulur. Bu durumda, kurutma işlemi sırasında tüketilen enerji miktarı çok yüksektir. Ayrıca, bu tip kurutucular genellikle önemli miktarda enerji kaybına neden olabilecek bir atık ısı geri kazanım sistemine sahip değildir. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri düşük işletme maliyetleri ile enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır. Fakat güneş enerjisinin kullanımı sadece gün ışığı ile sınırlıdır. Bu nedenle, endüstriyel uygulamalarda kurutma işleminin sürekliliğini sağlamak amacıyla güneş enerjisi gündüz saatlerinde termal enerji olarak depolanır. Depolanan termal enerji, daha sonra güneş ışığının olmadığı zamanlarda kurutma işlemi için kullanılır. Bu uygulama kurutma işleminde enerji verimliliğine önemli katkı sağlar.

Literatürde, güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinin tasarımı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ndukwu ve diğ. [1], termal depolama sistemiyle entegre bir solar kurutma makinesi geliştirmiştir. Termal enerji depolama malzemesi olarak sodyum sülfat dekahidrat ve sodyum klorür kullanılmıştır. Ayrıca, sistemlerin enerji ve ekserji performansları değerlendirilmiş ve sistemler kırmızıbiberin kurutulması için çalıştırılmıştır. Baniyadi ve diğ. [2], termal enerji depolama sistemine sahip güneş enerjili kurutma sisteminin performansını deneysel olarak analiz etmiştir. Deneylerde farklı çalışma koşullarında taze kayısı dilimleri kurutulmuştur. Ayrıca, termal enerji depolama malzemesi olarak faz değişim malzemesi kullanılmıştır. Güneş kolektörünün performansının iyileştirildiği ve güneş enerjisi bulunmadığında kurutma işleminin etkin bir şekilde uzatıldığı sonucuna varmışlardır. Çalışmada, kurutma hızının kurutma bölgesi boyunca neredeyse sabit olduğu görülmüştür. Ek olarak, nem alma verimi ve kurutucunun genel termal verimi sırasıyla % 10 ve % 11 olarak belirlenmiştir. Reyes ve diğ. [3] mantarları kurutmak için faz değişim malzemesiyle entegre

edilmiş hibrit güneş enerjili kurutma sistemini sunmuştur. Deneysel çalışmada mantarlar 8 mm veya 12 mm dilimler halinde kesilmiştir. Elektriksel dirençler ve parafin mumları faz değişim malzemesi olarak kullanılmıştır. Kurutma odasının çıkışında hava sıcaklığı 60°C 'ye ayarlandı. Çalışmada, ısı verim% 22 ile% 62 arasında değişmiştir. Bal ve diğ. [4], tarımsal gıda ürünlerini kurutmak için termal enerji depolama sistemleri ile entegre güneş enerjili kurutma sistemlerini gözden geçirmiştir. Çalışmada, tarımsal gıda ürünlerinin kurutulması için güneş kurutucularında ısı ve enerji depolama teknolojisi alanındaki termal enerji depolama teknolojisi alanındaki geçmiş ve mevcut araştırmaları özetlemek için bir girişimde bulunulmuştur. Ayrıca, tarımsal gıda maddelerinin depolama ünitesi ile akşam geç saatlere kadar kurutma işleminin yapılabildiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, depolama ortamına sahip güneş enerjili kurutma sistemlerinin hem insanlar hem de enerji tasarrufu için çok faydalı olduğu vurgulanmıştır. Abubakar ve diğ. [5], termal depolama materyalleri olan ve olmayan karma modlu bir güneş enerjisi destekli kurutma sistemi geliştirdiler ve aynı meteorolojik şartlar altında Nijerya'da test ettiler. Haziran ve Ağustos 2016'yı kapsayan test döneminde, termal depolama olsun ve olmasın, güneş enerjisi kurutucularının ortalama kuruma oranları, toplayıcı verimleri ve kuruma verimleri 2.7×10^{-5} kg /s ve 2.35×10^{-5} kg/s olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, kullanılan termal depolamaya bağlı olarak kurutucunun depolama malzemeleriyle etkinliği yaklaşık % 13 arttırılmıştır.

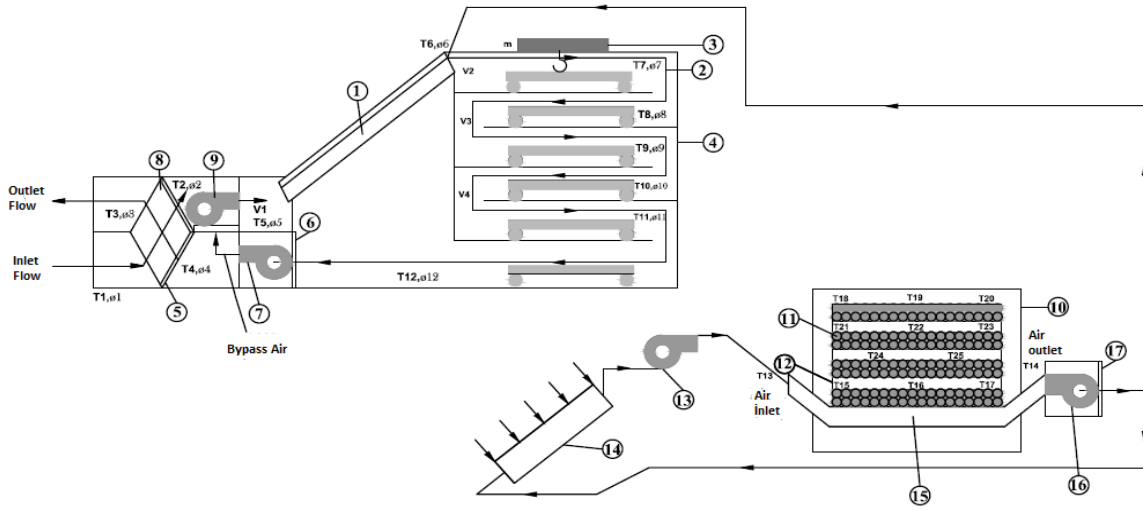
Literatürde, kurutma işlemleri için yapılan çalışmaların çoğunda güneş enerjisi ve ısı pompası sistemleri kullanılmıştır. Ayrıca, faz değiştirme malzemeleri genellikle kurutma işlemlerinde termal enerji depolaması için kullanılmıştır. Bu çalışmada çilek dilimlerinin kurutulması için güneş enerjili hava ısıtıcısı ve çakıl taşı termal enerji depolama sistemi geliştirilmiştir. Çakıl taşı yatağında depolanan enerji miktarı, çilek dilimlerinin kurutulması için fazlasıyla enerji sağlamıştır. Bu sistemin bir diğer avantajı ise atık ısının% 50-60'ının geri kazanılıp sistemde tekrar kullanılması için kurutma ünitesine entegre edilmiş bir ısı geri kazanım ünitesinin

kullanılmış olmasıdır. Bu sistemin literatürdeki diğer kurutma teknolojilerine göre avantajı, kurutma işleminde% 76.8 daha az enerji tüketmesidir. Çilek dilimleri için kurutma eğrileri, sabit kurutma sıcaklıklarında 3 mm kalınlığında çilek dilimleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Java dilinde kurutma eğrilerinin belirlenmesi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Matematiksel modelleme ile elde edilen kurutma eğrilerinin literatürde verilen farklı denklemlerle tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Materyal ve Metot

Sistem Tanıtımı

Endüstriyel güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin ve çakıl taşı termal enerji depolama sisteminin şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Ayrıca, sistemlerin montaj çizimi Şekil 2'de gösterilmektedir. Güneş kurutucusu iki hava kolektöründen (1), kurutma kabininden (4), fanlardan (7-9) ve bir geri kazanma biriminden (8) oluşur. Kurutma kabininde on kurutma çekmecesini (2) bulunmaktadır. Güneş kurutucusu, dolgu yataklı termal enerji depolama sistemi ve geri kazanım ünitesi için tasarım parametreleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir [6].



- | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1. Hava Kolektörü | 7. Fan | 13. Fan |
| 2. Kurutma Çekmecesi | 8. Reküperatör | 14. Hava kolektörü |
| 3. Hassas Terazi | 9. Fan | 15. Delikli Izgara |
| 4. Kurutma Kabini | 10. Çakıl Taşı Yatağı | 16. Fan |
| 5. Açılır Kapanır Panjur | 11. Çakıl Taşı | 17. Filtre |
| 6. Filtre | 12. Delikli Izgara | |

Şekil 1. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemi ve çakıl taşı enerji depolama sistemi akış şeması



Şekil 2. Güneş enerjili kurutma sistemi ve çakıl taşı enerji depolama sisteminin montaj resmi

Tablo 1

Güneş enerjili kurutma sistemi, çakıl taşı enerji depolama sistemi ve reküperatör ünitesine ait tasarım parametreleri

Kurutma Ünitesi Bileşenleri	Boyut
Kolektör Uzunluğu [m]	2
Kolektör Geniřliđi [m]	1
Kurutma Kabini Uzunluğu[m]	2.3
Kurutma Kabini Geniřliđi [m]	2.3
Kurutma Kabini Yüksekliđi [m]	2.3
Tepsiler Arasındaki Mesafe [m]	0.2
Çakıl Taşı Enerji Depolama Sistemi Bileşenleri	
Çakıl Taşı Yatağı Uzunluğu [m]	2
Çakıl Taşı Yatağı Derinliđi [m]	1
Çakıl Taşı Yatağı Geniřliđi [m]	1
Reküperatör Ünitesi	
Uzunluk [m]	1.1
Yükseklik [m]	0.4
Derinlik [m]	0.4

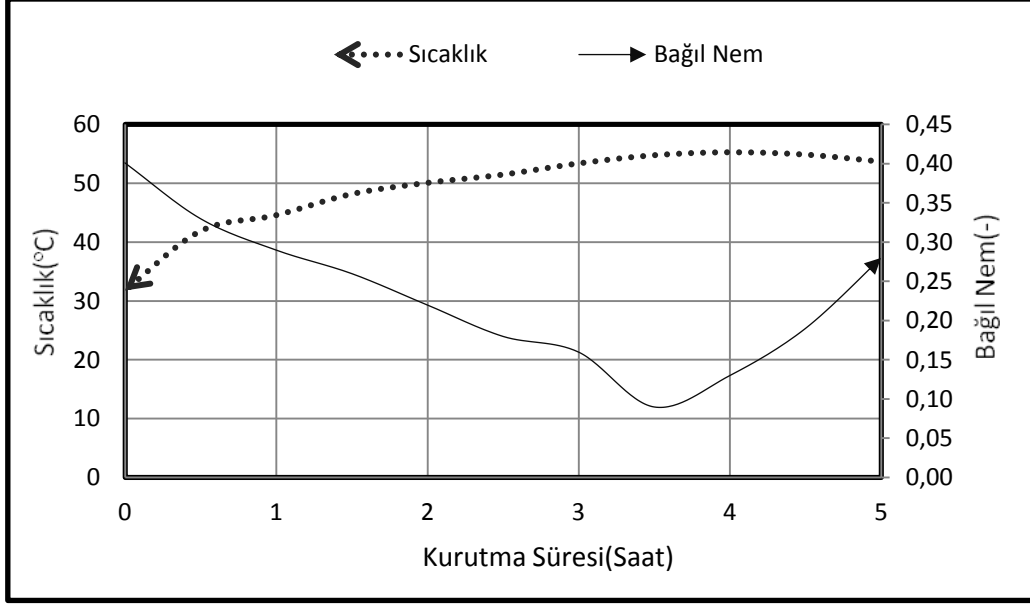
Deneysel çalışmalar için, çilekler yıkandıktan sonra, bir dilimleyici yardımıyla 3 mm kalınlığında dilimlenmiş ve kurutma çekmecesindeki delikli tepsilere yerleştirilmişlerdir.

Bu sistemin çalışma prensibi kısaca şöyle ifade edilebilir:

Güneş kolektörlerinden gelen sıcak hava, kurutma fanı yardımıyla kurutma kabinine girer ve kurutma kabinindeki çilek dilimlerinin nemi, ısı ile buharlaştırılarak, kurutma havasına karışması sağlanır ve böylece kurutma havasının nem alma kapasitesi zamanla azalır. Kurutma havası, belli bir süre sonra nemi alma yeteneğini kaybeder ve neme doymuş hava sistemde aşağıya iner. Daha sonra kurutma sistemine entegre edilmiş olan ısı geri kazanım ünitesine aktarılır. Bu ünite, dışarıdan alınan temiz havanın nem içeriği artan kuru hava ile belirli bir oranda karıştırılmasını sağlar. Böylece,% 50-60 oranında atık ısı geri kazanılır ve sistemde yeniden kullanılır. Ek olarak, çilek numunelerinin ağırlığı, kurutma sisteminin üst bölgesine yerleştirilen hassas bir ölçek (3) yardımıyla her 30 dakikada bir ölçülür. Ayrıca, Şekil l'de gösterilen akış diyagramındaki T, ϕ , V ve P sembolleri sırasıyla sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve hava basıncı olarak ifade edilmiştir. Kurutma işleminin sürekliliğini

sağlamak için çakıl taşı termal enerji depolama sisteminin kapalı bir çevrimi geliştirilmiştir. Sistem güneş enerjili kurutucudan bağımsızdır ve üç hava kolektöründen (14), vantilatörden (13-16), çakıl taşı yatağından (10), delikli plakalardan (12) ve yaklaşık iki ton çakıldan (11) oluşur. Bu sistemde, kolektörleri gelen sıcak hava yatağa girer. Şarj süresi boyunca, yatağın alt kısmının sıcaklığı yükselmeye başlar ve bu, toplayıcı çıkışındaki havanın sıcaklığını değiştirebilir. Yatakta depolanan termal enerji, çakıl taşı yatağı dışındaki fan yardımıyla kurutma kabine aktarılır. Hava ve çakıl taşları arasında kolay ve hızlı ısı geçişi sağlamak amacıyla çakıl taşları arasına delikli plakalar yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada nem, sıcaklık, basınç, hava hızı ve güneş enerjisi ölçüm sistemleri test için kullanılmıştır. Hava hızı ölçümü için anemometre, sistemde güneş enerjisi ölçümü için de piranometre kullanılmıştır. Ölçümler veri kaydedici ile veri tabanına aktarılmış ve daha sonra veri tabanına işlenmiştir. Kurutma kinetiğinin belirlenmesi için, kurutma kabininin girişinde elde edilen hava akışının sıcaklığı ve bağıl nemi, Şekil 3'te sunulmuştur. Kurutma kabinindeki sıcaklık ve bağıl nem değerleri, kurutma kabininin girişine ve çıkışına yerleştirilen sıcaklık ve nem sensörleri yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 3'te görülebileceği gibi, gün içindeki güneş ışınımının miktarına bağlı olarak, kabin içindeki sıcaklık ilk 240 dakika içinde 60 ° C'ye yükseldi ve ardından düşmeye başladı. Benzer şekilde, kurutma kabinindeki bağıl nem değerinin ilk 210 dakikalık sürede de hızla düştüğü ve ardından artmaya başladığı görülmüştür.



Şekil 3. Kurutma işlemi süresince kabin içerisindeki sıcaklık ve bağıl nemin kurutma süresine göre değişimi

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada nem alma prensibine dayanan güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bununla birlikte, kurutma işleminin sürekli sağlanması için kurutma sisteminden bağımsız çakıl taşı termal enerji depolama sistemi geliştirilmiştir. Tasarım ve üretim işlemlerinden sonra her iki sistem için deneysel çalışmalar başlatılmıştır. Hem güneş ışığı altında yapılan depolanan termal enerji kullanılmadan yapılan deneylerde, hem de akşam saatlerinde depolanan termal enerji kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde 3 mm kalınlığındaki çilek dilimlerinin kurutma karakteristiği belirlenmiştir. Deneylerin yapıldığı üç gün boyunca, ortalama dış sıcaklık 35 ° C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklığın akşam saatlerinde yaklaşık 28 ° C' ye düştüğü görülmüştür. Dış ortamdaki bağıl nemin ortalama değeri gündüz% 42, akşam saatlerinde % 40 olarak belirlenmiştir. Rüzgâr hızı 14 km / h olarak tespit edilmiştir. Buna göre, elde edilen güneş ışınım değerleri 610 ila 1020 W / m² arasında değişmiştir. Gündüz saatlerinde yapılan testlerde, depolanan termal enerji kullanılmamıştır. Gündüz saatlerinde gerçekleştirilen deneyler saat 10.00'da başlamış ve saat 15.00 civarında sona ermiştir ve çilek dilimleri ortalama 1.55 m / s hava hızında

kurutulmuştur. Kurutma odasında ortalama giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 60°C ve 53°C olarak ölçülmüştür. Akşam saatlerinde depolanan enerjiden yararlanılarak gerçekleştirilen testler 17: 00'de başladı ve 22: 00'da sona ermiştir ve bu deneylerde ortalama hava hızı 1.5 m / s olarak belirlenmiştir. Odadaki ortalama giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 55°C ve 47°C olarak tespit edildi. Yapılan deneysel çalışmalarda ortalama 5 kg yaş çilek kurutulmuştur. . Genel olarak, sistemde raf başına ortalama ıslak çilek miktarı ortalama 1 kg olarak belirlenmiştir. Islak ve kuru çileklerin fotoğrafları, Şekil 4'te gösterilmiştir.



a. Kurutma işlemi öncesi



b. Kurutma işlemi sonrası

Şekil 4. Kurutma işlemi öncesi(a) ve sonrası(b) çilek dilimlerinin görünüşü

Literatürde mevcut olan kurutma modellerine dayanan farklı denklemler, 50 ° C sabit bir sıcaklıkta kurutulan çilek dilimlerinin nem oranının zamanıyla değerlendirmeyi modellemek için kullanılmıştır. Nem oranı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_{d,i} - M_e}{M_{d,0} - M_e} \quad (1)$$

Düşünülen nem oranı (MR) 1 ile 0,1 arasındadır, çünkü değerden sonra, kurutma hızı büyük ölçüde düşer ve bu nedenle numuneler kuru ürün olarak kabul edilebilir. Bu çalışmada çilek dilimlerinin nem oranlarının sabit sıcaklıkta zamana bağlı değişimini önceden belirleyebilmek için difüzyon yaklaşım modeli kullanılmıştır. Java dilinde “Nelder-Mead En Küçük Kareler Yöntemi” kullanılarak zaman içindeki nem oranının öngörülmesinin hesaplanması için farklı

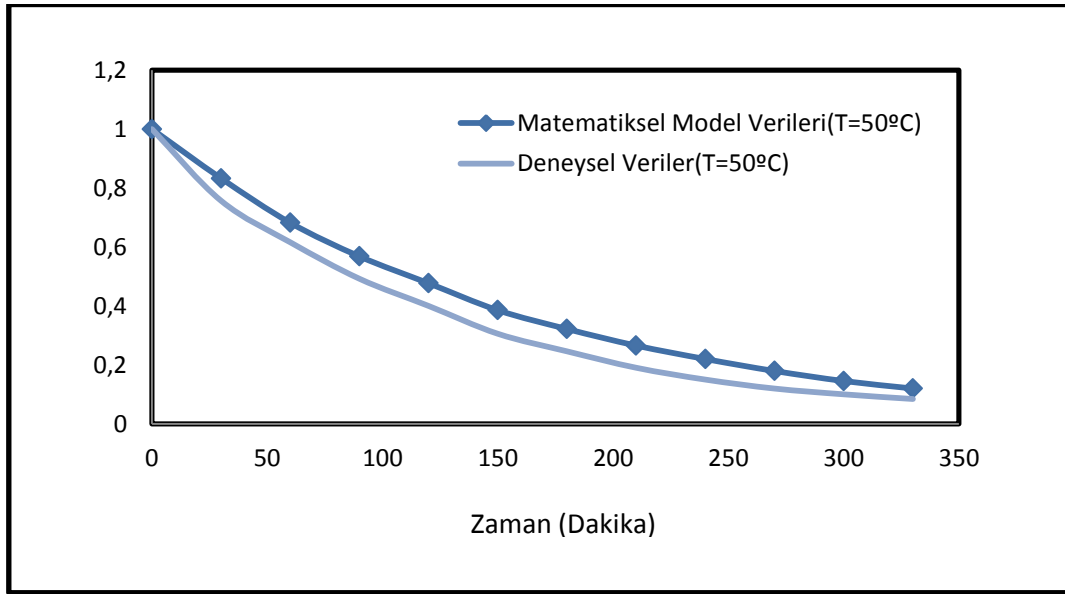
bir matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modellemeden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Üç farklı deneye sonuçlarına göre sırasıyla 45°C(MR₁), 50°C(MR₂) ve 55°C(MR₃) sabit sıcaklık için difüzyon yaklaşımı modeli kullanılarak elde edilen denklemler aşağıda yer almaktadır:

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) \quad (2)$$

$$MR_1 = 12.559 \exp(-0.446t) + (1 - 12.559) \exp(-0.446 * 1.011 * t) \quad (3)$$

$$MR_2 = 15.2604 \exp(-0.696t) + (1 - 15.2604) \exp(-0.696 * 1.042 * t) \quad (4)$$

$$MR_3 = 17.625 \exp(-0.615t) + (1 - 17.625) \exp(-0.615 * 1.029 * t) \quad (5)$$



Şekil 5. Matematiksel model verileri ile deneysel verilerin karşılaştırılması

Sonuçlar

Bu çalışmada, çilek dilimlerinin kurutma işlemi, güneş enerjisi destekli endüstriyel kurutma sistemi yardımıyla deneysel olarak analiz edildi. Kurutma testleri sırasında, çilek dilimlerinin kurutma eğrileri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edildi. Sabit sıcaklıklar için elde edilen

deneysel kurutma eğrilerine uyacak şekilde difüzyon yaklaşım modeli kullanılmıştır. Kurutma işlemi sırasında nem oranının değerlendirilmesini öngörmek için difüzyon yaklaşım modeline dayanan yeni bir model önerilmiştir. Çilek kurutma işleminin deneysel sonuçları kullanılarak model doğrulanmıştır. Nem oranının evrimi için önerilen model, ölçümlerle ilgili belirsizlik içinde olan sapma olan% 1'lik deneylerden maksimum sapma elde etmek için deneysel ölçümlerle mükemmel bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca kurutma işlemine sürekliliği sağlamak için çakıl taşı termal enerji depolama sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu birimden elde edilen enerjiyle yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkan kurutma eğrilerinin hem güneş kurutucu ile kurutma deneylerinin sonuçları hem de literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermiştir. Deneysel çalışmalarda, çakıl taşı yatağında depolanan termal enerji miktarı, çilek dilimlerini kurutmak için gereğinden fazla enerji sağlamıştır. Bu, enerji depolama sistemlerinin kullanımını daha da ön plana çıkarır hale getirmiştir.

Referanslar

- [1] Ndukwu; MC., Bennamoun; L., Abam; FI., Eke; AB., Ukoha; D. Energy and exergy analysis of a solar dryer integrated with sodium sulfate decahydrate and sodium chloride as thermal storage medium, Renewable Energy, 113, 1182-1192, 2017.
- [2] Baniyadi; E., Ranjbar; S., Boostanipour; O. Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage, Renewable Energy, 112, 143-150, 2017.
- [3] Reyes; A., Mahn; A., Vasquez; F. Mushrooms dehydration in a hybrid- solar dryer, using a phase change material, Energy Conversion and Management, 83, 241-248,2014.
- [4] Bal; LM., Satya; S., Naik; SN. Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2298-2314,2010.
- [5] Abubakar; S., Umaru; S., Kaisan; MU., Umar; UA., Ashok; B., Nanthagopal; K. Development and performance comparison of mixed-mode solar crop dryer with and without thermal storage, Renewable Energy,128, 285-298, 2018.

[6] Atalay; H., Çoban; MT., Kincay; O. Modeling of the drying process of apple slices: application with a solar dryer and the thermal energy storage system, Energy, 134, 382-391, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Halil ATALAY

1984 yılı, Gemlik doğumludur. 2006 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uşak Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden bölüm 1. fakülte 2. olarak mezun olmuş, 2011 yılında ise EGE Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü Enerji A.B.D.'da yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2015 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı-Proses A.B.D.'da doktora eğitimini tamamlamıştır. 2011-2016 yılları arasında Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2016 yılından itibaren Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji ve kurutma sistemleri ile ilgili akademik çalışmalarına devam etmektedir.

Mustafa Turhan ÇOBAN

1957 yılı Seben, Bolu doğumludur. 1978 yılında Ege Üniversitesi Makine Fakültesi, Makine bölümünü bitirmiş, 1982 Yılında Michigan Teknik Üniversitesi (A.B.D.) Makine Mühendisliği ve Mühendislik Mekaniği bölümünden Yüksek lisans derecesi, 1986 Yılında Utah Üniversitesi (A.B.D.), Mühendislik fakültesi, makine mühendisliği bölümünden doktora derecesi, 1995 Yılında Victoria Teknik Üniversitesi (Avustralya), Matematik Fakültesi, bilgisayar bölümünden Bilgisayar Mühendisliği Yüksek lisans derecesi almıştır. ARAS kompresör, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeotermal bölümü, Imperial Chemical Industries (Avustralya), Ceramic Fuel Cells Limited (Avustralya), TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde, Utah Üniversitesi (ABD) Makine mühendisliği, Ballarat Üniversitesi Mühendislik bölümü (Avustralya), Victoria Teknik Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü (Avustralya), Nebraska Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü(A.B.D.), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümlerinde çalışmıştır, Halen Ege Üniversitesi Makine Mühendisliğinde enerji konularında çalışmaktadır.