



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.07.2019

Kabul Tarihi : 22.10.2019

Received Date : 29.07.2019

Accepted Date : 22.10.2019

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMİNDE ÜRÜN NEM ORANININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC ANALYSIS OF PRODUCT MOISTURE RATE'S IN THE SOLAR ENERGY DRYING SYSTEM

Erdem ALIÇ^{1,}, Mehmet DAŞ²*

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İliç Dursun Yildirim MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, İliç, Erzincan, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Erdem ALIÇ, ealic@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada hava ısıtmalı güneş kolektörlü bir gıda kurutma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kurutma sisteminde elma kurutulmuştur. Kurutulan elma dilimlerinin nem içeriği (MCK), kuruma hızı (DR) ve nem oranı (MR) değerleri hesaplanmıştır. Deneylerde kurutulan elma dilimlerinin dehidrasyonu sayısal analiz programı ile simüle edilmiştir. Kurutma analizi için birebir ölçülerde model oluşturulmuştur. İlk durumda elma diliminin çapı 60mm, kalınlığı 14mm ve yüzey sıcaklığı 4°C dir. Kurutma havasının giriş sıcaklığı 56.4°C ve hava hızı 1.6m/s dir. Analiz sonucunda ele edilen kuruma hızı ve zamanı, nem içeriği ve sıcaklık değişimi verileri mevcut deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen değerler ile deneysel çalışmalar sonucu hesaplanan değerler benzerlik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, gıda kurutma, nem içeriği, güneş enerjisi

ABSTRACT

In this study, a food drying system with air heated solar collector is designed. In the designed drying system, the apples are dried. Moisture content (MCK), drying rate (DR) and humidity (MR) values of dried apple slices were calculated. In the experiments, dehydration of the dried apple slices was simulated by the numerical analysis program. The model is designed for drying analysis. In the first case, the diameter of the apple slice is 60mm, the thickness is 14mm and the surface temperature is 4°C. The inlet temperature of the drying air is 56.4°C and the air velocity is 1.6 m/s. The velocity and time, moisture content and temperature change data of the dry matter were compared with the available experimental studies. The values obtained as a result of the simulation and the experimental studies were similar.

Keywords: Computational fluid dynamics, food drying, moisture content, solar power

GİRİŞ

Kurutma en önemli ve popüler saklama yöntemlerinden biridir. Isı ve kütle transferi mekanizması ile nemin bir malzemeden uzaklaştırılmasına sebep olur (Hashim vd., 2014). Kurutma, bitkisel, meyveler, otlar, tahıllar, baharatlar, yağlı tohumlar, odun ve yüksek nem içeriğine sahip diğer tarım ürünlerinin nem içeriğini azaltmada yaygın olarak uygulanır (Chen vd., 2015). Literatürde gıda kurutma alanında birçok değerli çalışmalar yapılmıştır. Şahin vd. (2016), konvektif bir kurutucuda kabak dilimlerinin kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Deneyleri üç farklı hızda (0.5, 1.0 ve 1.5 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60 °C) gerçekleştirmişlerdir. Artan hız ve sıcaklıkla kütle transfer parametrelerinin arttığı ve kuruma süresinin azaldığı tespit etmişlerdir. Akay vd. (2018) moleküler yapıdaki nem alma özelliğine sahip zeolitler kullanarak iplik kurutmuşlardır. Kurutma sistemi olarak tek iplik bobini kapasiteli kurutma deney düzeneğini kullanmışlardır. Kurutma sistemine iki adet zeolit yatak entegre edilmiş olup, kullanılan zeolit Z10-01 tipinde sentetik zeolit 13X ile doldurmuşlardır. Adsorpsiyon işlemini 19-21 °C ortam sıcaklığında

kapalı çevrim olarak gerçekleştirmişlerdir. Adsorpsiyon işlemi sonucunda zeolitin kurutma ve nem alma performansını hesaplamışlardır. Karacabey ve Buzrul (2017), çalışmalarında sıcak havalı kurutucuda armut ürünü kurutmuşlardır. 40, 50, 60, 70 ve 80°C'de armut kurutma verilerini Weibull modeli ile tarif etmişler ve Weibull modelinin şekil parametresinin sıcaklığa bağlı olmadığını gözlemişlerdir. Akpınar (2006), doğal taşınımında direkt güneş altında sekiz farklı tarımsal ürünü (dut, çilek, sarımsak, patates, kabak, patlıcan ve soğan) kurutarak ısı ve kütle transfer katsayılarını tespit etmiştir.

Son yıllarda bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile birçok alanda bilgisayarlı analizler yapılmaya başlanmıştır. Hacıhafızoğlu vd.(2015), çalışmalarında küremsi geometriye sahip mısır tanesi kurutmuşlardır. Mısır tanesi üzerindeki nem içeriği değişimini sayısal olarak göstermişlerdir. Artan sıcaklık ile nem içeriğinin daha hızlı azaldığını ifade etmişlerdir. Reddy vd.(2017), çalışmalarında 1.5 m/s sabit hava hızıyla 55, 60, 65, 70 ve 75°C arasında, farklı sıcaklıklarda ananas kurutma özelliklerini incelemişlerdir. Farklı zaman aralıklarında ürün içerisindeki nem içeriğini karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre ananas ürünü için en iyi kurutma sıcaklığının 60 ° C olduğunu ifade etmişlerdir. Kumar vd.(2018), çalışmalarında 2-B aksi-simetrik geometride elma ürünü kurutmuşlardır. Çalışmalarında ürün nem içeriği, su buharı dağılımı ve evrimi, sıcaklık dağılımı ve buharlaşma oranını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak sayısal analiz ile ürün kurutma kinetiğinin hesap edilebileceğini ve ürün kalitesi tahmininde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Defraeye ve Marynenko (2019) çalışmalarında çoklu gıda ürünlerinin elektro hidrodinamik kurutulması üzerine çalışmışlardır. Adrover vd. (2019)'de, hareketli kurutma için izotermal hareketli sınır modeli ile analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarını deneysel çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. Sonuçların deneysel çalışmalar ile oldukça uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Yuan vd.(2019)'de, ısı ve kütle transferi işlemi sırasında elma dilimlerinin kurutma büzülme-deformasyonu üzerine sayısal ve deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Nümerik çalışma için 2-D bir model yapmışlardır. Analiz sonuçlarının gıda kurutma büzülme-deformasyonu ile ilgili daha ileri analizler için teorik bir temel olduğunu ifade etmişlerdir. Yukarıda verilen altı çalışmanın da ortak noktası aynı sayısal analiz programı kullanılarak analizlerinin gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bu analiz programı gıdalar için ısı ve kütle transferini aynı anda çözebilmektedir. Bu çalışma kapsamında bir güneş enerjisi destekli kurutma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kurutma sisteminde Granny Smith cinsi elma kurutulmuştur. Kurutma işleminin sayısal analizi gerçekleştirilmiştir.

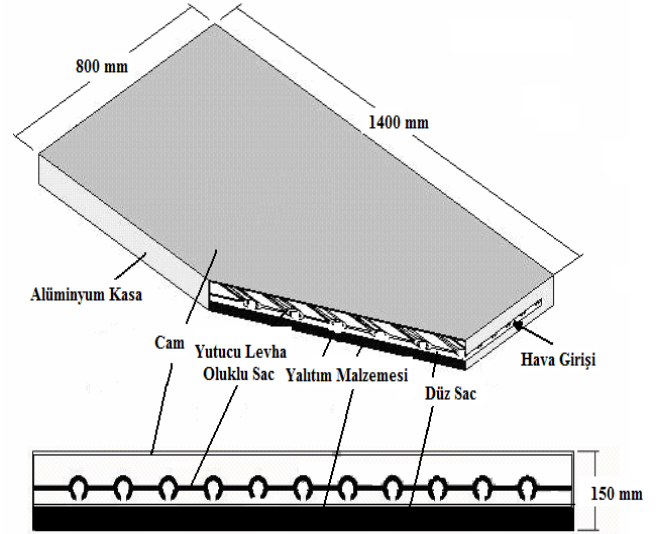
MATERYAL VE METOT

Deneysel Kurulum

Kurutma deney seti, havalı güneş kolektörü (HGK), kurutma kabini ve havalı güneş kolektörüne bağlı radyal fandan oluşmaktadır (Şekil-1). Deneylerde kullanılan HGK'leri 1400mm x 800mm ebatlarında olup, saydam cam örtüden, yutucu siyah mat boyanmış oluklu paslanmaz çelik sac (kalınlık 0.5 mm) plakadan, düz siyah mat boyanmış paslanmaz çelik sac (kalınlık 0.5 mm) plakadan, taş yünü (kalınlık 4 cm) yalıtım malzemesinden ve alüminyum dış kasadan (kalınlık 4mm) meydana gelmektedir (Şekil-2). HGK ise 23.7 ° (yerel enlem 38.4 °) kolektör açısı altında güneşe yöneltilip, bu açıda paslanmaz çelik ayak ile sabitlenmiştir. HGK'nın hava girişi kısmında bir santrifüj fan, (0.0833 m³/s, 0.25 kW, 220 V, 50 Hz, 1380 dev/dak) şartlanmış hava sağlamaktadır (hız, 0.4 m/s).

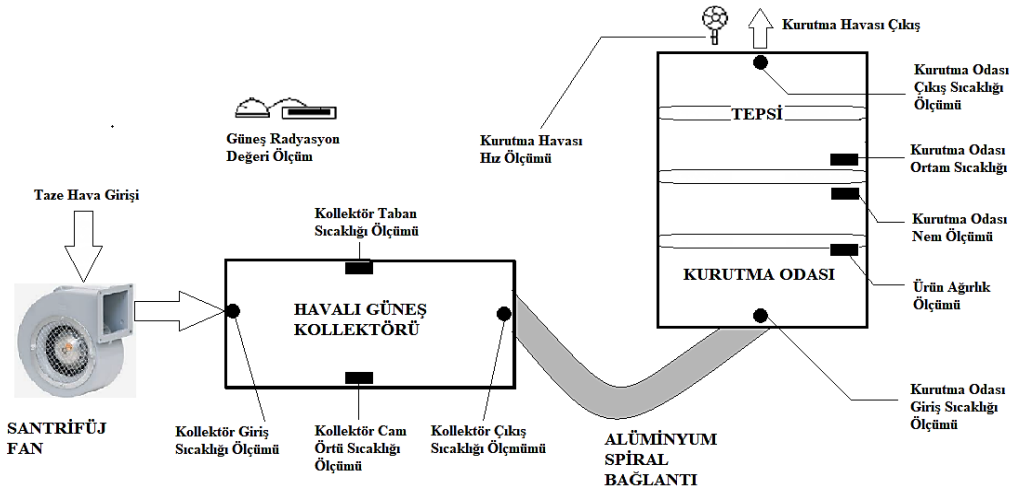


Şekil 1. Havalı güneş kolektörlü kurutma sistemi



Şekil 2. Havalı güneş kolektörü detayı

Deney setinin kurutma proses şematik gösterimi ve ölçüm noktaları Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil 3’de sıcaklık ölçümleri sensörler yardımıyla, hava hızı ölçümleri anemometre, nem ölçümleri dijital nemölçer, radyasyon ölçümleri piranometre ve ürün tartımları dijital hassas terazi ile ölçülmüştür.



Şekil 3. Deney setinin kurutma prosesi ve ölçüm noktaları

Kurutma deneylerinde kullanılacak Granny Smith tipi elmadır. Kurutma deneyleri açık güneş altında Elazığ’da gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerinde çevre hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri, güneş kolektör havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları, kurutma kabini içindeki havanın nemi ve giriş-çıkış sıcaklıkları, rüzgâr hızları, güneş ışınım değerleri ve kurutma kabini içinde kurutulmuş elmaların kütle kaybı değerleri 30 dakika aralıklarla ölçülmüştür.

Kurutma kabini alüminyum malzemeden (kalınlık 2 mm) yapılmış ve dikdörtgen boyutlarında dizayn edilmiştir. (100 cm x 50 cm x 100 cm). Havalı güneş kolektörü ile kurutma kabini arasında ısıtılan havayı aktarmak için bükülebilir alüminyum tip boru kullanılmıştır. Kurutma kabini hava giriş kısmı, kolektörden gelen sıcak havayı kabine iletmek için davlumbazlı olarak imal edilmiştir. Kurutma kabini içindeki hava, kabini üst kısmından açılır kapanır menfez yardımı ile atmosfere çıkmaktadır. Kurutma kabini içine 3 adet gıda kurutmada kullanılan tepsi (90 cm x 40 cm) mevcuttur. Deneylerde gerçekleştirilen ölçümler için kullanılan aletler ve aletlerin hassasiyet değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Ölçüm aletleri ve özellikleri

Parametre	Ölçüm Aleti	Model	Hassasiyet
Sıcaklık	J tipi demir kondansatör ısı çift	Elimko 6400, İtalya	±0.1°C
Nem	Termo-Higrometre	EXTECH, 444731, Çin	±0.1°C
Hava Hızı	Dijital Anemometre	LUTRON, AM-4201, Tayvan	±0.1 m/s
Kütle	Dijital Tartı	BEL, Mark 3100, İtalya	±0.01 g
Güneş Radyasyon	Pirometre	Kipp and Zonen, İtalya	±0.1 Wm ⁻²
İlk-Son Nem	Nem Analiz Cihazı	Shimadzu MOC3, Japon	±0.001 g

Sistem Analizi

Sistemin kurutma analizlerinde kullanılan bazı genel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Elmalardaki kuru esasa göre nem içeriği (MCK) ve yaş esasa göre nem içeriği (MCy) değerleri için sırasıyla denklem 1 ve denklem 2 kullanılmıştır (Akpınar K., E. 2008)

$$MCK = \frac{W_w - D_w}{D_w} \quad (1)$$

$$MCy = \frac{W_w - D_w}{W_w} \times 100 \quad (2)$$

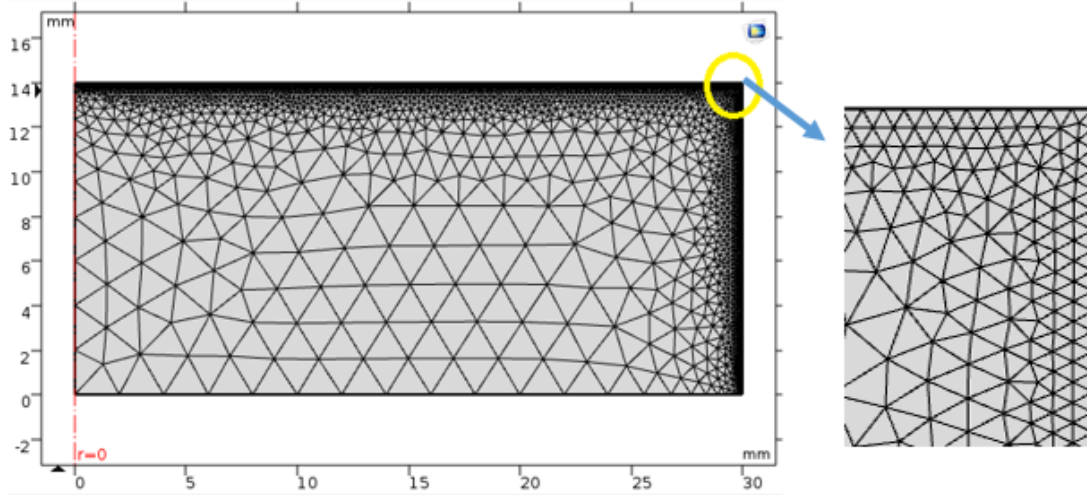
Eşitlik (1) ve (2) 'de; W_w ıslak ağırlık ve D_w kuru ağırlıktır. Boyutsuz nem oranı (MR) değerleri Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M - Me}{Mo - Me} \quad (3)$$

Eşitlik (3) ve (4) 'te; M nem, Me denge nemi, Mo ilk nem değerleridir.

COMSOL Analiz Programı

COMSOL programı sonlu elemanlar metodunu kullanarak çözüm yapan bir analiz programıdır. Bu çalışma için analizler COMSOL' da gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz 2b aksi-simetrik olarak gerçekleştirilmiştir. 2b aksi-simetrik analiz yapmanın en önemli avantajı çözümü üç boyutlu olarak alabilmek ve çözümü daha kısa sürede gerçekleştirmektir. Analiz ağ yapısının çarpıklığı 0.85 dir. Bu çarpıklık oranı çözüm için yeterlidir. Çözüm elemanının ağ yapısı Şekil 4'de verilmiştir. Burada tasarlanan güneş destekli kurutma sistemi temel olarak konvektif kurutucu ile aynıdır. Bu yüzden analiz konvektif kurutma şartlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Analiz ağ yapısı

Analizde kullanılan genel çözüm denklemleri aşağıda yer almaktadır.

*Kütle transfer denklemi

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D(T) \nabla M) \quad (4)$$

*Kurutma havası denklemi

$$\frac{\partial M}{\partial t} + u \cdot \nabla M = \nabla \cdot (D_w(T) \nabla M) \quad (5)$$

*Süreklilik Denklemi

$$\rho C_p(M) \frac{\partial T}{\partial t} = \rho C_p(M) u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k(M) \nabla T) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (7)$$

*Momentum Denklemi

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[\mu (\nabla u + (\nabla u)^T) \right] - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot u) I \quad (8)$$

*Başlangıç koşulları ve sınır şartları

Kurutma havası için;

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = \dot{m} \cdot \lambda \quad (9)$$

$$\text{Giriş: } T(x, y, z, 0) = T_\infty \quad (10)$$

$$\text{Çıkış: } T(x, y, z, 0) = T_0 \quad (11)$$

$$\text{Giriş: } M_\infty = M_e \quad (12)$$

$$\text{Çıkış: } n \cdot (-D \cdot \nabla M) = 0 \quad (13)$$

Başlangıç şartları

$$M(x, y, z, 0) = M_0 \quad (14)$$

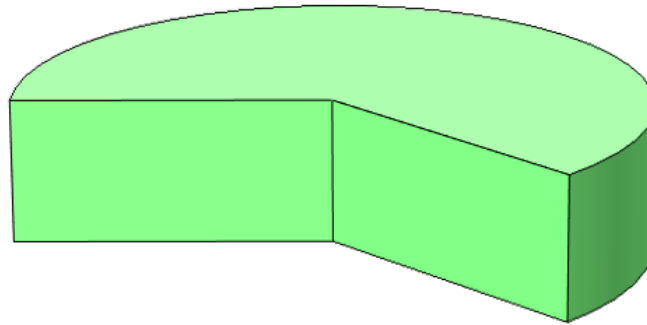
$$T(x, y, z, 0) = T_0 \quad (15)$$

*Isı ve Kütle Transfer Katsayısı Denklemi

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_\infty - T_s) \quad (16)$$

$$h_{\text{sabit}} = 18.5W (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}) \quad (17)$$

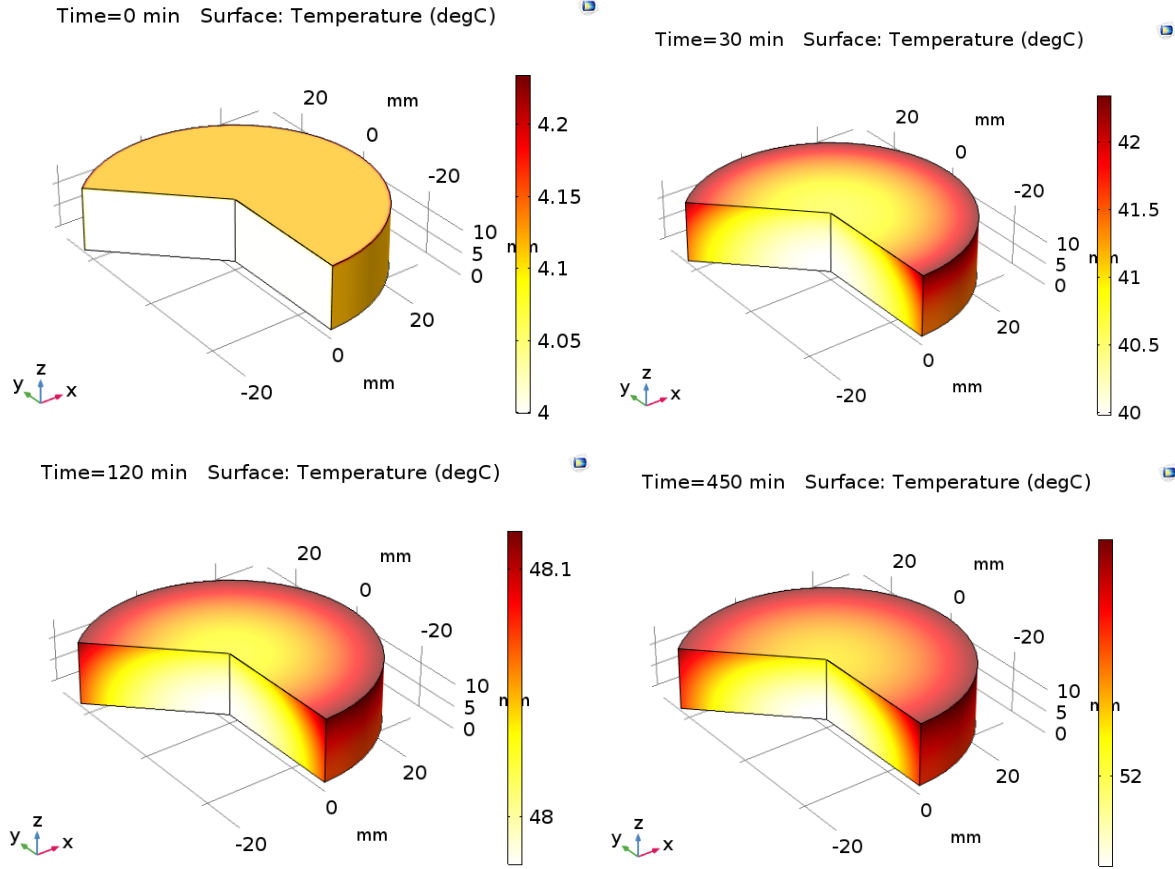
Şekil 5'te çizilen 2b aksi-simetrik modelin gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5. Kurutulan elmanın 2b aksi-simetrik görünümü

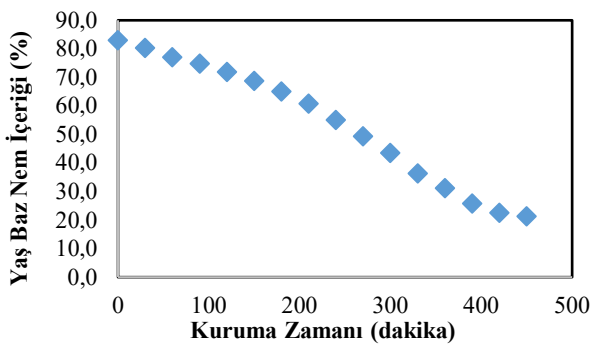
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada COMSOL 5.3a sayısal analiz programı kullanılmıştır. COMSOL sayısal analiz programı sıcaklık ve nem dağılımını modelleyebilmiştir. Elde edilen dağılım kontürleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Burada güneş enerjisi destekli bir sistem kullanıldığı için ortam sıcaklığı zaman ile değişmektedir. Bu değişimden dolayı ortam sıcaklığının zamanla değişimini ifade eden bir denklem yazılmıştır. Giriş şartlarında kurutma havası sıcaklığı zamanla değişmektedir. Boyutsuz nem oranı da bu değişimlerden etkilenmektedir. Kurutma kabini içerisinde bulunan tepside kurutulan elma numunelerine ait yüzey ve merkez sıcaklık kontürleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

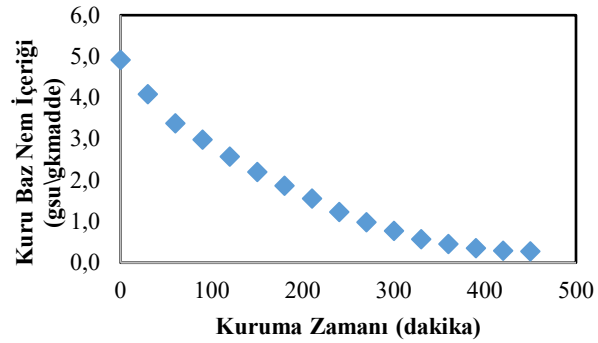


Şekil 6. Sıcaklık dağılım kontürleri

Kurutma deneyleri sonucu elde edilen yaş ve kuru baz nem içeriği değerleri Şekil 7-8'de verilmiştir. Şekil 7'de yaş baz nem içeriği değerleri %83.1 ile %20.7 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 8'de kuru baz nem içeriği değerleri 4.92-0.3 (gsu\gkmadde) arasında değişim göstermiştir. Elma ürünü kurutma sisteminde 480 dakikada kurumuştur.



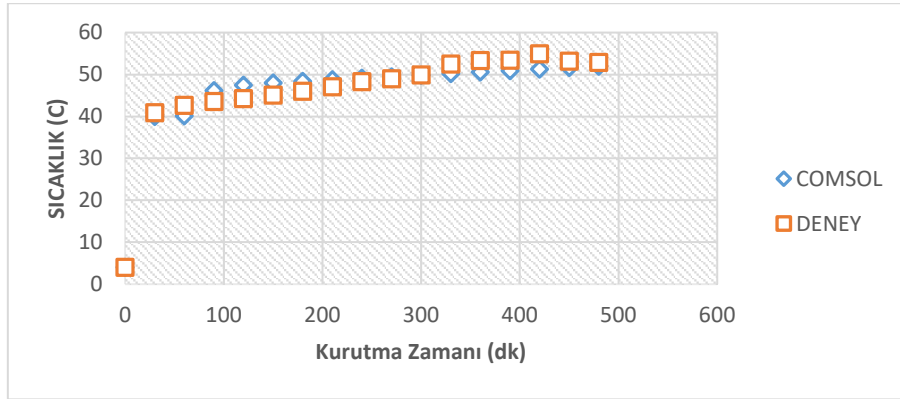
Şekil 7. Yaş baz nem içeriği



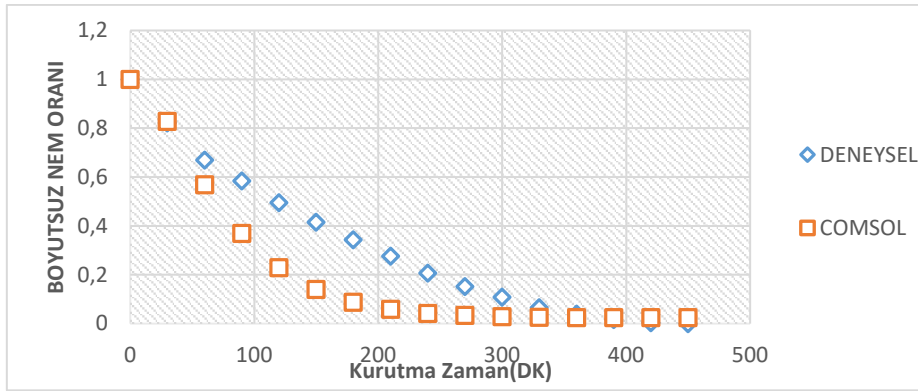
Şekil 8. Kuru baz nem içeriği

Comsol analiz programı ile elde edilen nem oranı ve ürün yüzey sıcaklığı değerleri ile deneysel nem oranı ve yüzey sıcaklığı değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 9-10'da gösterilmiştir. ElGamal ve diğ. pirinç tanesi kurutması için gerçekleştirdiği analizlerde de Comsol'un nem konsantrasyonu ve sıcaklık dağılımını başarı ile modelleyebildiğini göstermişlerdir (ElGamal vd. 2014). ElGamal çözüm modeli ile bu çalışmada yer alan çözüm modeli benzerdir. Şekil 9'da elma ürünü üzerindeki sıcaklık dağılım değerleri ile Comsol tarafından modellenen elma ürünü yüzey sıcaklık dağılım değerleri birbirlerine yakındır. Şekil 10'da ise boyutsuz nem oranı (MR) değerleri için deneysel veriler ile Comsol analiz verilerininin 90-270 dakika aralığında birbirlerine yakın değerler olmadığı görülmektedir. Bu farklılığın

sebepleri; elma ürünü kurutma odasında oluşan ısı kayıpları ve sıcaklık-nem ölçümlerindeki belirsizlik oranı olarak açıklanabilir.

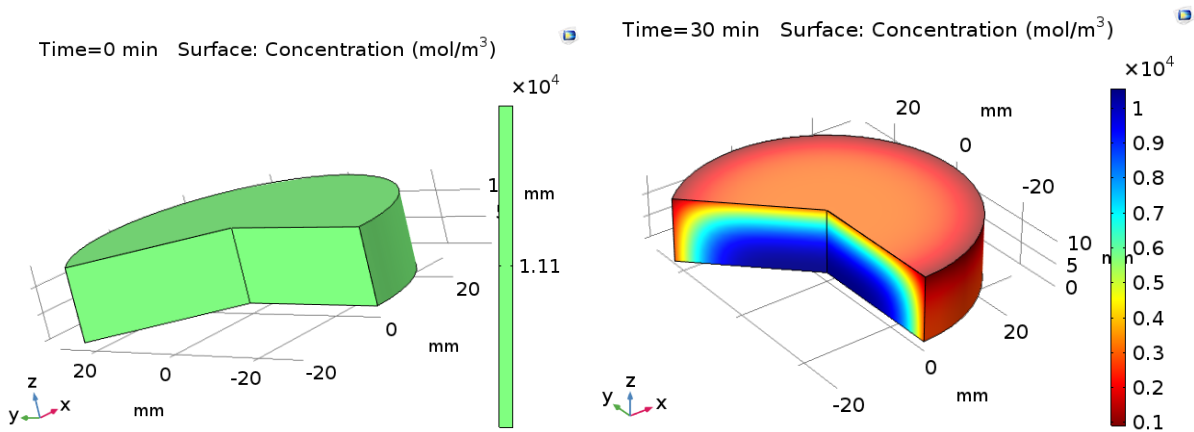


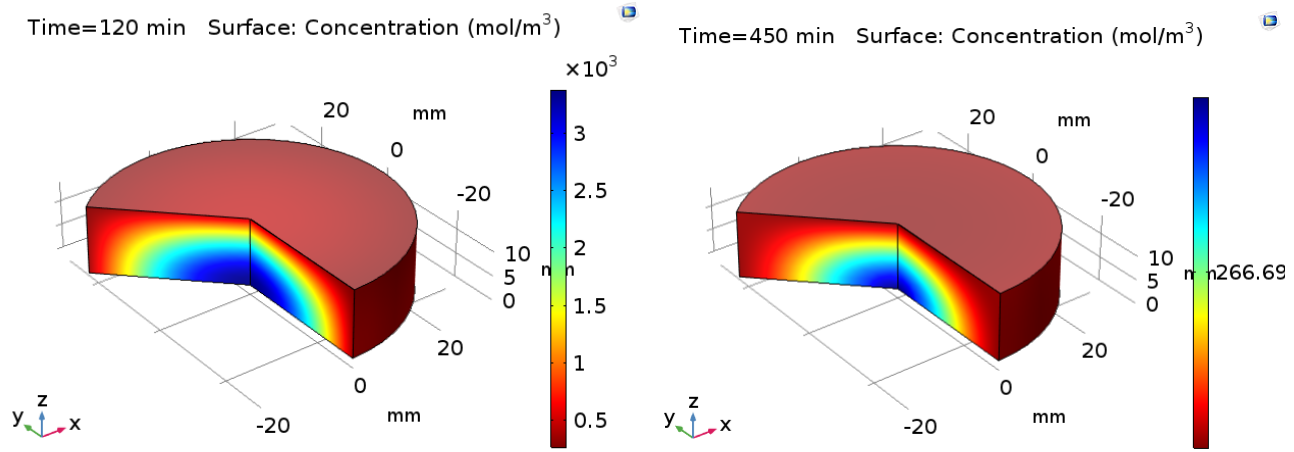
Şekil 9. Sıcaklık zaman eğrileri Comsol analizi ve deney sonuçları karşılaştırması



Şekil 10. Boyutsuz nem oranı zaman eğrileri Comsol analizi ve deney sonuçları karşılaştırması

Şekil 11'de nem konsantrasyonunun kontürleri gösterilmektedir. Elma ürünü kurutma başlangıç zamanı (0 dak) ile bitiş zamanı (420 dak) arasındaki nem konsantrasyonu incelendiğinde ürün içerisindeki nemin giderek azaldığı görülmektedir.





Şekil 11. Nem konsantrasyon dağılımları (mol/m³)

SONUÇLAR

Güneş enerjisi destekli kurutma siteminde kurutulan elma ürünü için yaş ve kuru baz nem içerik değerleri hesaplanmıştır. Kurutma sisteminde elma ürünü 420 dakikada kuruma işlemini tamamlamıştır. Deney şartlarında kurutulan elma ürününe ait nem oranı değeri için sayısal analiz programı kullanılarak aynı deney şartlarında tekrar hesaplanmaya çalışılmıştır. Sayısal analiz programının bulduğu nem oranı değerleri deneysel değerlerle benzerlik göstermiştir. Elma ürününün yaş baz nem içeriği değerleri %83.1 den %20.7 değerine 420 dakikada düşüş göstermiştir. Aynı şekilde kuru baz nem içeriği değeri 4.92 gsu/gkmadde den 0.3 gsu/gkmadde değerine düşüş göstermiştir. Kuruma işlemi süresince elma ürünü yüzey sıcaklık değeri 4-54 °C arasında değişim göstermiştir. Sayısal analiz programı ile elma ürünü yüzey sıcaklığı modellemesi sonucu değerleri 9-51.2 °C arasında değişim göstermiştir. Boyutsuz nem oranı (MR) deneysel olarak değeri 1-0.023 değerleri arasında değişmiştir. Sayısal analiz programı ile nem oranı modellemesi sonucu MR değerleri 1-0.011 değerleri arasında değişmiştir. Deneysel ve sayısal model verilerine göre MR değerleri benzerlik göstermiştir.


Sayısal analiz ile kurutma deneyleri sırasında elma ürününün sıcaklık değerlerinin zamanla değişimini göstermek adına çalışmaya faydalı görsel veriler kazandırmıştır. Sayısal analiz programları ile farklı ürünlerin nem oranları belirlenebilir ve ürün sıcaklıkları hakkında görsel bilgiler elde edilebilir.


KAYNAKLAR

- Adrover, A., Brasiello, A., & Ponso, G. (2019). A moving boundary model for food isothermal drying and shrinkage: A shortcut numerical method for estimating the shrinkage factor. *Journal of Food Engineering*, 244(September 2018), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.030>
- Akay, O. E., Gizlenci, Ö. S., Sönmez, K. (2018). Bir Kurutma Sisteminde Kullanılan Zeolit Kurutma Yatağının Adsorpsiyon Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 100-106.
- Akpınar, E. K., & Bicer, Y. (2008). Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1367-1375.
- Akpınar, E.K., (2006). Experimental investigation of convective heat transfer coefficient of various agricultural products under open sun drying. *International Journal of Green Energy*, 1(4): 429- 440.
- Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., & Zhou, Y. (2015). Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short-and medium-wave infrared radiation. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 759–766. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.071>

- Defraeye, T., & Martynenko, A. (2019). Electrohydrodynamic drying of multiple food products: Evaluating the potential of emitter-collector electrode configurations for upscaling. *Journal of Food Engineering*, 240(July 2018), 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.011>
- Elgamal, R., Ronsse, F., Radwan, S. M., Pieters, J. G. (2014). Coupling CFD and diffusion models for analyzing the convective drying behavior of a single rice kernel. *Drying Technology*, 32(3), 311-320.
- Hacıhafızoğlu, O., Susantez, Ç., Kahveci, K., & Akyol, E. (2015). Simulation of Intermittent Drying of Corn. In *World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering* (Vol. 1900, pp. 323-1).
- Hashim, N., Daniel, O., & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.048>
- Kamer, M. S., Şahin, H. E., Sönmez, K., İmal, M., Kaya A. (2016). Kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışının deneysel incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 1-8.
- Karacabey, E. and Buzrul, S., (2017). Modeling and Predicting the Drying Kinetics of Apple and Pear: Application of the Weibull Model. *Chemical Engineering Communications*, 204(5), 573-579.
- Kumar, C., Joardder, M. U., Farrell, T. W., Millar, G. J., & Karim, A. (2018). A porous media transport model for apple drying. *Biosystems engineering*, 176, 12-25.
- Reddy, R. S., Ravula, P. R., Arepally, D., Munagala, S. R., & Golla, S. (2017). Drying kinetics and modelling of mass transfer in thin layer convective drying of pineapple. *Chemical Science International Journal*, 1-12.
- Yuan, Y., Tan, L., Xu, Y., Yuan, Y., & Dong, J. (2019). Numerical and experimental study on drying shrinkage-deformation of apple slices during process of heat-mass transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 136(September 2018), 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.10.042>
- Zhang, M.G., Li, W.H., Liu, M.Q. (2005). Adaptive PID control strategy based on RBF neural network identification, *IEEE International Conference on Neural Networks and Brain*, 1854-1857.

ORCID

Erdem ALIÇ  <https://orcid.org/0000-0002-2852-0353>

Mehmet DAŞ  <https://orcid.org/0000-0002-4143-9226>