

Mikroalga ve Sıcak Su Ön İşlemlerin Şili (*Capsicum annuum*) Biberinin Kuruma Modelleri, Efektif difüzyon ve Termo-Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Effects on Drying Models, Effective Diffusion and Thermo-Physical Properties for Chili (*Capsicum annuum*) Pepper of Microwave and Hot Water Pretreatments

Muhammed Taşova^{1,*}, Hakan Polatçı¹

¹ Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M. Taşova, e-mail (e-posta): muhammed.tasova@gop.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 29 Temmuz 2021
Düzeltilme tarihi : 21 Eylül 2021
Kabul tarihi : 21 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

Şili biberi
Kurutma işlemi
Kuruma karakteristikleri
Termo-fiziksel özellikler

ÖZET

Şili biberi kapsaisin etken maddesi açısından oldukça bol olan bir biber türüdür. Bununla beraber C, K1 ve B6 vitaminlerince zengindir. Şili biberi taze olarak kullanıldığı gibi kurutulduktan sonra öğütülerek de baharat şeklinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Şili biberi örnekleri mikrodalga fırında 1, 2 ve 3'er dakika bekletme ve kaynamış suya 1, 3 ve 5'er dakika bandırma ön işlemlerinden sonra sabit 65 °C sıcaklığa ayarlanmış konvansiyonel bir kurutucuda % 10 (y.b.) nem içeriği seviyelerine kadar kurutulmuştur. Yapılan ön işlemlerin Şili biberinin kuruma süresi, ince tabaka kuruma modelleri, efektif difüzyon, özgül ısı, termal iletkenlik, termal difüzyon ve özgül kütle değerlerine etkileri araştırılmıştır. Tespit edilen en kısa kuruma süreleri sırasıyla mikrodalga ön işleminde 3 dk ve kaynamış suya bandırma ön işleminde ise 5 dk bekletilen örneklerde belirlenmiştir. En uzun kuruma süresi kontrol örneklerinin kurutulması işleminde tespit edilmiştir. Wang-Sing, Lewis, Page ve Jena-Das ince tabaka kuruma modelleri arasında ise en yüksek R² değeri Wang-Sing modelinde belirlenmiştir. Kurutulan tüm Şili biberlerinin efektif difüzyon değerlerinin 5.14-8.52x10⁻⁶ m².s⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kontrol ve ön işlem uygulanmış örnekler arasında en yüksek ortalama termo-fiziksel değerler 5 dk kaynamış suya bandırma ön işleminde tespit edilirken bu değerler özgül ısı; 842.60 J kgK⁻¹, termal iletkenlik; 0.17 W m.K⁻¹, termal difüzyon; 2.637x10⁷ m².s⁻¹ ve özgül kütle; 763.22 kg.m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga ve kaynamış suya bandırma ön işlemlerinin Şili biberinin kuruma sürelerini azalttığı, efektif difüzyon değerlerini artırdığı bunun yanında termo-fiziksel özelliklerindeki yükselttiği tespit edilmiştir.

Article Info

Received date : 29 July 2021
Revised date : 21 September 2021
Accepted date : 21 September 2021

Keywords:

Chili pepper
Drying process
Drying characteristic
Thermo-physical properties

ABSTRACT

Chili for capsacin is a type of pepper that is abundant for educational purposes. It is rich in vitamins C, K1 and B6 together. Chili peppers are used after being grown fresh. In this case, how long is estimated for 1, 2 and 3 minutes of soaking each type of pepper and dipping into boiled water for 1, 3 and 5 minutes for a constant 65 °C and 10% (wb) humidity for a conventional bird. Thin layer model, effective diffusion, specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity and low density investigations. Detection is in the applications that are kept for 5 minutes in front of watering during the training process due to the shortest drying process. The longest drying time was determined in the drying process of the control sample. Wang-Sing, Lewis, Page, and Jena-Das are among the thin-layer drying models. The effective di height of all dried peppers was determined as 5.14-8.52x10⁻⁶ m².h⁻¹. Among the control and pre-treated samples, the highest average thermo-physical values were determined in the pre-treatment of dipped in boiled water for 5 minutes, while these values were determined as specific heat; 842.60 J kg.K⁻¹, thermal conductivity; 0.17 W m.K⁻¹, thermal diffuse; 2.6x10⁷ m².h⁻¹ and well; It is calculated as 763.22 kg.m⁻³. It was determined that dipping them in microwave-boiled water can shorten the drying time of the peppers and the front, and increase it thermo-physically because effective diffusion can be increased.

Reference / Atıf: Taşova, M., Polatçı, H., (2021). "Mikrodalga ve Sıcak Su Ön İşlemlerin Şili (*Capsicum annuum*) Biberinin Kuruma Modelleri, Efektif difüzyon ve Termo-Fiziksel Özelliklerine Etkisi", Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 17(3): 86-93.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde, hasat edilen tarımsal ürünlerin muhafazası uygun koşullarda olmadığından veya ürüne özgü teknik şartların iyi belirlenmemesinden dolayı yaş ürünün% 30-40'ı bozularak çöpe gitmektedir (Karim ve Hawdar, 2005). Uygulanan en eski muhafaza yöntemlerinden biri kurutma işlemidir. Kurutmanın temel kuramı ürünlerdeki serbest nemin uzaklaştırılmasıdır. Bonazzi ve Dumoulin (2011), teknik açıdan ise kurutma işlemindeki amaç oksidatif ve enzimatik reaksiyonlarla gerçekleşen bozulmaları azaltma bunun yanında ürünün tat, aroma, renk özelliklerini de korumaktır.

Ürünlerin kurutulması işlemlerinde birçok kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Bunların başında ise geleneksel olan doğal (gölgeye-güneşe sererek) kurutma yöntemi sayılabilir. Bu yöntem enerji ve iş gücü açısından avantajlı olmakla birlikte kurutulan ürünlerde hijyen sorunu ve kuruma süresinin uzunluğu gibi dezavantajları da barındırmaktadır (Göztok ve İçier, 2017). Konvansiyonel kurutma yöntemleri ise doğal kurutma yöntemlerindeki olumsuzlukları ortadan kaldırarak ürünleri daha kısa sürede istenilen nem düzeyine düşürmektedir (Azoubel ve ark., 2010; Ozuna ve ark., 2014).

Kurutma işlemlerinde tarımsal materyaller kurutulmadan önce bazı fiziksel ve/veya kimyasal ön işlemlere maruz bırakılmaktadır. Bu ön işlemler, ısının üründe homojen bir şekilde dağılmasını sağlarken kuruma süresini azaltarak kalite özelliklerinin korunmasına katkı sağlamaktadır (Md Salim ve ark., 2016). Uygulanan ön işlemlerdeki en önemli amaç ürünün fiziksel yapısını etkileyerek nem difüzyonunun hızlanması ve dolayısıyla kuruma süresinin azaltmasıdır. Kuruma süresinin azalmasıyla birlikte ısıyla paraçalan fonksiyonel madde miktarında azalacaktır.

Kurutularak tüketilen ürünlerden birisi Şili biberidir. Bu ürün dünya genelinde çok fazla yetiştirilmekle birlikte içerisindeki etken maddelerden dolayı hem beslenmede hem de alternatif tıp uygulamalarında çok fazla kullanılmaktadır (Di Scala ve Crapiste, 2008; Cao ve ark., 2016). Ayrıca A, C vitaminleri ve sodyum, magnezyum, potasyum ve folik asitlerce zengin bir biber türüdür (Wangcharoen ve Morasuk, 2009). Literatürde Şili biberi üzerine kurutma ön işlemlerinin etkisi konusunda pek çok makale bulunmaktadır: Tunde-Akintunde (2010), Şili biberini 60° ve 70° brix'lik şeker çözeltilerinde osmotik ön kurutma işlemi uygulayarak konvansiyonel fırında 60 °C sıcaklıkta kurutmuş ve kontrole göre ön işlem uygulananların kuruma süresinin % 33.30-41.70 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Arifin ve Djaeni (2018), Şili biberi tuzlu su ve kalsiyum çözeltilerine bandırdıktan sonra sıcak havalı bir kurutucuda 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurutmuş ve yapılan ön işlemlerin kontrol gruplarına göre kuruma süresini azalttığını buna karşın kuruma oranını yükselttiğini bulmuşlardır. Zhang ve ark. (2019), kimyasal çözeltiye ve sıcak suya bandırma ön işlemleri ile termal olmayan soğuk plazma ön uygulamalarının Şili biberinin kuruma özellikleri ve kalite değerlerine olan etkisini araştırmışlardır. Kimyasal çözelti ve sıcak suya bandırma ön işlemlerinin kontrol göre kuruma oranını artırarak kuruma süresini azalttığı ancak kalite özelliklerini koruyamadığını bildirmişlerdir. Soğuk plazma ön uygulamasının ise kontrol örneklerine göre kuruma süresini azalttığını, buna karşın renk, antioksidan ve mikro-yapı gibi kalite özelliklerini ise iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Romauli ve ark. (2020), Şili biberini 2 cm kalınlıklarında ve ikiye dilimleme ön işlemlerini uygulayarak güneş enerjili bir kurutucuda ve sıcak havalı fırında 60-65 °C sıcaklık aralığında kurutmuş ve dilimlenerek kurutulan Şili biberlerinin kontrol örneklerine göre kuruma sürelerinde yaklaşık yarı yarı bir azalma tespit etmişlerdir. Araştırmada Şili biberine mikrodalga ışın ve onun farklı sürelerde maruz kalmalarının kuruma süresine olan etkisi konulu bir çalışma rastlanılmamıştır. Mikrodalga ön işlem ürünün yapısında ısı oluşturarak nem difüzyonunun hızlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca çalışmalarda Şili biberinin sıcak suya bandırma ön işlemlerinin olduğu ancak bandırma sürelerinin kurumaya etkisi hakkında bir bilgiye ulaşılamamıştır.

Bu çalışmada, 1, 2 ve 3 dakika mikrodalga ön işlemi ve 1, 3 ve 5 dakika kaynamış suya bandırma ön işlemin Şili biberinin kuruma süresi, kuruma modeli, efektif difüzyon-aktivasyon enerjisi ve termo-fiziksel özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kurutulan ürün

Materyal olarak kullanılan taze Şili biberleri Tokat ilindeki semt pazarından satın alınmıştır. Temin edilen ürünler zaman geçirmeden deneme sonuna kadar $+4 \pm 0.5$ °C sıcaklığa ayarlanmış bir buzdolabı ortamında muhafaza edilmiştir. Şili biberinin ilk nem içeriğinin belirlenmesi için sabit 70 °C sıcaklık ortamında ağırlık değişimi 0.01 g olana kadar bekletilmiştir. Kurutma işlemlerinde Şili biberleri boyuna ikiye dilimlenerek kurutulmuştur.

2.2. Nem tayinin belirlenmesi

Ürünün başlangıç nem içeriğini belirlemek için ortalama 25 ± 2 g örnek kullanılmıştır. Kurutma kabini iç sıcaklığı 70 °C'ye ayarlanarak materyalin ağırlık değişimi sabitlenene kadar kurutulmuştur (Yağcıoğlu, 1999). Kuruma esnasında üründe oluşan ağırlık değişimi % 1 g hassasiyetli terazide tartılarak belirlenmiştir.

2.3. Yapılan ön işlemler

Taze Şili biberleri kurutma işleminden önce kaynamış suda sırasıyla 1, 3 ve 5'er dakika ve mikrodalga fırında 360 W güç değerinde ise sırasıyla 1, 2 ve 3'er dakika sürelerinde bekletme ön uygulamaları yapılmıştır.

2.4. Kurutma işlemi

Kontrol örnekleri ve ön işlem yapılmış örnekler 3'er paralel olmak üzere etüvde kabin iç sıcaklığı 65 °C'ye ayarlanmış bir kurutma ortamında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminde örneklerin son nem içerikleri yaş baza göre % 10 nem

seviyelerine kadar kurutulmuştur. Ürünlerin süreye bağlı ağırlık değişimini tespit edebilmek için örnekler 0.01 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmış ve değerler kayıt edilmiştir.

2.5. Kullanılan kurutucu

Çalışmada kullanılan etüv, Şimşek Laborteknik marka olup ST-120 tip modelidir. Kurutma havasının sıcaklığı üzerinde bulunan PID denetleyiciler kullanılarak kontrol edilmektedir.

2.6. İnce tabaka kuruma modelleri

Kurutma işlemi esnasında Şili biberinden uzaklaşan nem oranı değerlerinin belirlenmesi için 1 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Burada: MR; Ayrılabilir nem oranı, M; Ürünün anlık nem içeriği [(kg su.kg kuru madde⁻¹)], M_e; Ürünün denge nem içeriği [(kg su.kg kuru madde⁻¹)], M₀; Ürünün ilk nem içeriğidir. [(kg su.kg kuru madde⁻¹)]. En uygun ince tabaka kuruma modelini belirlemek için kullanılan eşitlikler [2-5] arasında verilmiştir.

$$\text{Lewis} \quad MR = \exp(-k \cdot t) \quad \text{Lewis (1921)} \quad (2)$$

$$\text{Jena-Das} \quad MR = k \cdot \exp(-h \cdot t + j(t^{0.5}) + m) \quad \text{Jena and Das (2007)} \quad (3)$$

$$\text{Wang-Sing} \quad MR = 1 + k \cdot t + h \cdot t^2 \quad \text{Wang and Sing (1978)} \quad (4)$$

$$\text{Page} \quad MR = \exp(-k \cdot (t^h)) \quad \text{Page (1949)} \quad (5)$$

Burada: h, j, k, m; modellere ait katsayılar, t; süre.

2.7. Efektif difüzyon değerleri

Efektif difüzyon değerleri hesaplamak için 6 eşitliği kullanılmıştır (Corzo ve ark., 2008).

$$\ln ANO = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (6)$$

Burada: D_{eff}; efektif difüzyon değerini (m².s⁻¹), L; ürünün kalınlık değerinin (m) yarısıdır.

2.8. Termo-fiziksel özellikler

Şili biberi dilimlerinin kuru baza göre nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak özgül ısı, termal iletkenlik, termal difüzyon ve özgül kütle özellikleri hesaplanmıştır. Özgül ısı değerini belirlemek için 7 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Huang ve ark., 2013).

$$C_{p=837+3348\left(\frac{X}{1+X}\right)} \quad (7)$$

Burada: C_p; özgül ısı (J kg.K⁻¹), X; kurubaza göre olan nem içeriğini (kg su.kg kuru madde⁻¹) temsil eder.

Şili biberi dilimlerinin termal iletkenlik değeri 8 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ruiz-Lopez ve ark., 2004).

$$k = 0.49 - 0.44 \exp(-0.206X) \quad (8)$$

Burada: k; termal iletkenlik (W m.K⁻¹) değerini temsil eder.

Kurutma materyalinin termal difüzyon hızı α değerinin hesaplanmasında 9 numarada verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ruiz-Lopez ve ark., 2004).

$$\alpha = \frac{k}{p \cdot C_p} \quad (9)$$

Burada: α ; termal difüzyon hızı ($m^2 \cdot s^{-1}$), p ; özgül kütle ($kg \cdot m^{-3}$) değerini temsil eder.

Şili biberi dilimlerinin özgül kütle değeri ise 10 numarada verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Perusello ve ark., 2013; Tzempelikos ve ark., 2015).

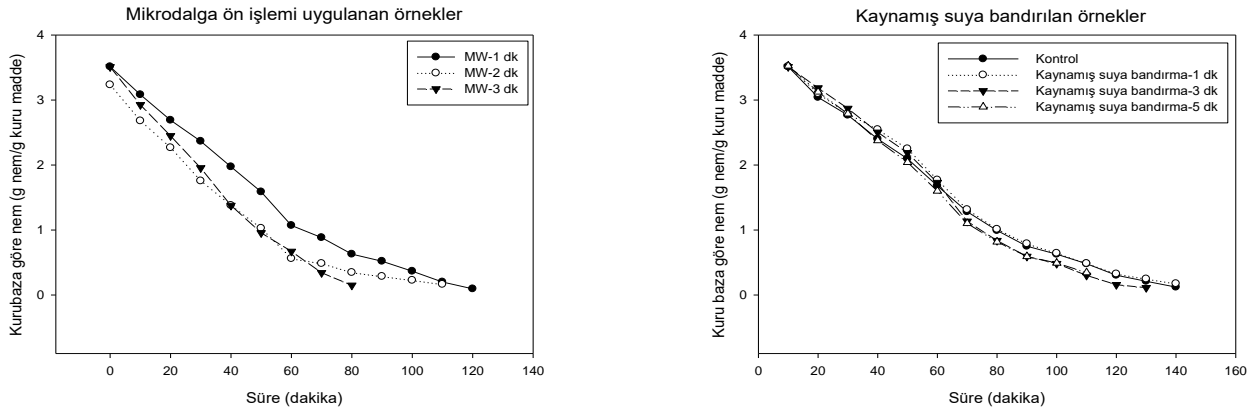
$$P_p = 147.95 \frac{X}{X_0} + 691.46 \quad (10)$$

Burada: P_p ; özgül kütle ($kg \cdot m^{-3}$), X_0 ; ilk baştaki kurubaza göre nem içeriğini ($kg \text{ su} \cdot kg \text{ kuru madde}^{-1}$) değerini temsil eder.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Kuruma süreleri

Kaynamış suya bandırma ve mikrodalga uygulama ön işlemlerinin Şili biberinin ortalama kuruma sürelerine olan etkilerini belirlenmiştir. Örneğin ilk nem içeriği % 77.87 (y.b.) olarak belirlenmiş ve kurutma işlemlerinde yaş baza göre % 10-13 (y.b.) son nem değerlerine kadar kurutulmuştur. Deng ve ark. (2018), kırmızı biber kurutma çalışmasında ilk nem içeriğini % 74.40 olarak belirledikleri örneklerin nem içeriğini % 10 seviyelerine kadar düşürmüşlerdir. Kurutulan örneklerin süreye bağlı nem içeriği değişimi (k.b.) Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Şili biberi örneklerinin kuruma süreleri

Şekil 1’e göre, mikrodalga ön işlemin uygulama süresinin artması ile Şili biberinin kuruma süresi azalmıştır. Mikrodalga ön işleminin kontrole göre uygulama süresine bağlı olarak kuruma süresini % 14.29 ile % 42.86 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Kaynamış suya bandırma ön işlemi ise örneklerin kuruma süresini bandırma süresine bağlı olarak % 7.14-28.57 oranında kısaltmıştır. Mikrodalga uygulama ön işlemi ise kaynamış suya bandırma ön işlemine göre Şili biberinin kuruma süresini % 57.11 oranında azaltmıştır. İncedayı (2020), kırmızı biberleri 95 °C sıcaklıktaki tuz çözeltisine bandırma, ohmik ısıtma ve mikrodalga uygulama ön işlemlerinin etkisini araştırmak için 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurutarak kuruma süreleri açısından kontrol örnekleriyle kıyaslamışlardır. Örnekler 60 °C sıcaklıkta kurutulduğunda kontrol, tuz çözeltisi, mikrodalga ve ohmik ısıtma uygulanan örneklerin kuruma sürelerini sırasıyla 315, 275, 270 ve 290 dakika olarak hesaplanmıştır. Örnekler 70 °C sıcaklıkta kurutulduğunda ise bu değerleri sırasıyla 280, 215, 205 ve 210 dakika olarak belirlemişlerdir.

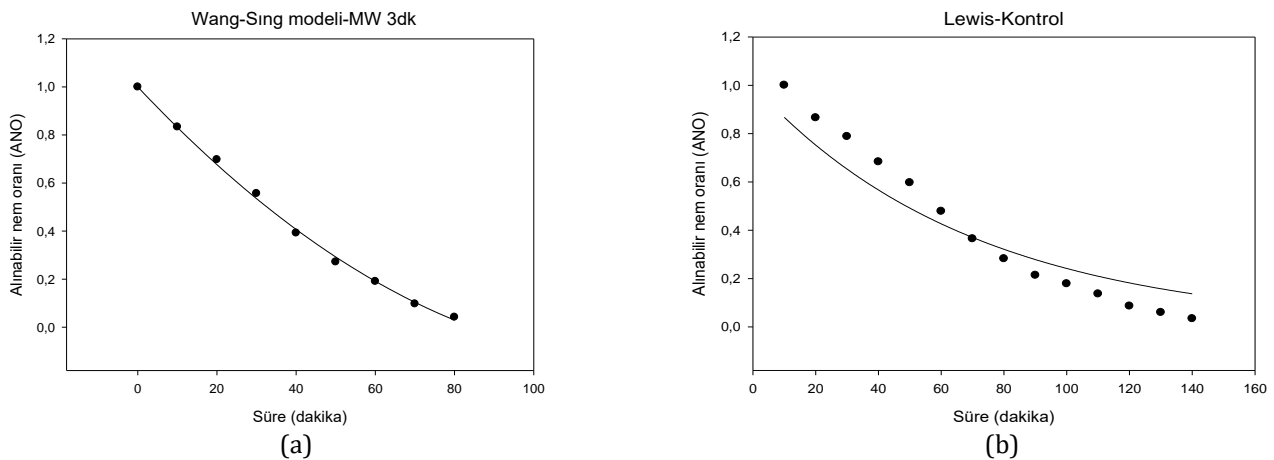
3.2. Kuruma modelleri

Kurutma işlemleri esnasında üründen uzaklaşan nem oranı değerleri Lewis, Jena-Das, Wang-Sing, Page modellerinde işlenerek en iyi tahmin eden matematiksel model tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kuruma modellerine ait veriler

	Kurutma ön işlemleri	k	H	j	m	R ²	P
Lewis	Kontrol	0.0142				0.9118	<0.0001
	MW-1 dk	0.0184				0.9632	<0.0001
	MW-2 dk	0.0181				0.9912	<0.0001
	MW-3 dk	0.0236				0.9811	<0.0001
	Kaynamış su-1 dk	0.0163				0.9562	<0.0001
	Kaynamış su-3 dk	0.0176				0.9347	<0.0001
	Kaynamış su-5 dk	0.0177				0.9547	<0.0001
Jena-Das	Kontrol	1.1318	0.4130	0.7895	0.1268	0.9741	<0.0001
	MW-1 dk	1.0394	0.4138	0.7880	0.0347	0.9715	<0.0001
	MW-2 dk	1.0285	0.4163	0.7829	0.0237	0.9850	<0.0001
	MW-3 dk	1.0325	0.4170	0.7815	0.0278	0.9687	<0.0001
	Kaynamış su-1 dk	1.0425	0.4127	0.7900	0.0380	0.9661	<0.0001
	Kaynamış su-3 dk	1.0545	0.4136	0.7882	0.0506	0.9506	<0.0001
	Kaynamış su-5 dk	1.0399	0.4135	0.7886	0.0358	0.9655	<0.0001
Wang-Sing	Kontrol	-0.0098	1.8352			0.9774	<0.0001
	MW-1 dk	-0.0134	4.3835			0.9951	<0.0001
	MW-2 dk	-0.0181	8.6941			0.9963	<0.0001
	MW-3 dk	-0.0175	6.7377			0.9981	<0.0001
	Kaynamış su-1 dk	-0.0120	3.4683			0.9907	<0.0001
	Kaynamış su-3 dk	-0.0124	3.2856			0.9845	<0.0001
	Kaynamış su-5 dk	-0.0128	3.4158			0.9912	<0.0001
Page	Kontrol	0.0007	1.7001			0.9977	<0.0001
	MW-1 dk	0.0032	1.4263			0.9959	<0.0001
	MW-2 dk	0.0081	1.2773			0.9962	<0.0001
	MW-3 dk	0.0048	1.4384			0.9953	<0.0001
	Kaynamış su-1 dk	0.0023	1.4742			0.9948	<0.0001
	Kaynamış su-3 dk	0.0011	1.6712			0.9956	<0.0001
	Kaynamış su-5 dk	0.0025	1.4849			0.9958	<0.0001

Çizelge 1'e göre, modeller arasında kuruma oranlarını en iyi Wang-Sing modeli tahmin etmiştir. Bu model Şili biberlerine 3 dakika mikrodalga ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Seçilen tüm matematiksel modeller istatistiksel açıdan $P < 0.05$ olduğu için kullanılmalarının güvenli olduğu tespit edilmiştir. En iyi ve en zayıf tahmin eden matematiksel modellere ait eğriler sırasıyla Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. En iyi (a) ve en zayıf (b) tahmin eden modellere ait kuruma eğrileri

3.3. Efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi

Mikrodalga uygulama ve kaynamış suya bandırma ön işlemlerinin Şili biberinin efektif difüzyon değerlerine olan etkisi inceleniş ve tespit edilen bulgular Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Şili biberi dilimlerinin efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerleri

Kurutma ön işlemleri	Efektif difüzyon ($m^2.s^{-1}$)
<i>Kontrol</i>	4.64×10^{-6}
<i>MW-1 dk</i>	6.36×10^{-6}
<i>MW-2 dk</i>	6.49×10^{-6}
<i>MW-3 dk</i>	8.52×10^{-6}
<i>Kaynamış su-1 dk</i>	5.14×10^{-6}
<i>Kaynamış su-3 dk</i>	5.35×10^{-6}
<i>Kaynamış su-5 dk</i>	5.67×10^{-6}

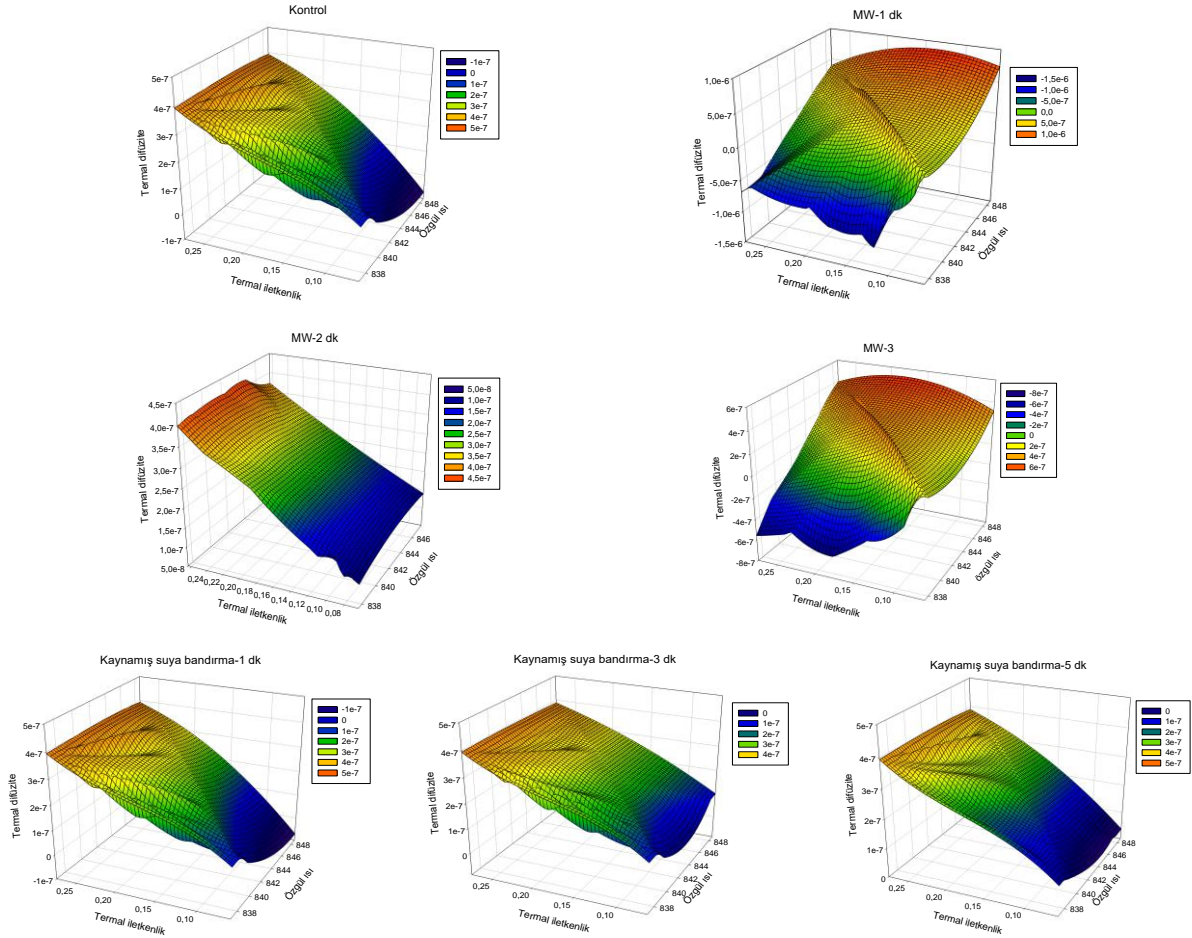
Çizelge 2’ye göre, Şili biberinin uygulanan ön işlemlerin kurutma esnasındaki efektif difüzyon değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ön işlem uygulanan örneklerin efektif difüzyon değerleri $6.36-8.52 \times 10^{-6} m^2.s^{-1}$ arasında değişirken, kaynamış suya bandırma ön işlemi uygulanan örneklerin efektif difüzyon değerleri ise $5.14-5.67 \times 10^{-6} m^2.s^{-1}$ arasında değişmiştir. Her iki ön işlem için uygulama sürelerinin artmasıyla efektif difüzyon değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ön işleminin kaynamış suya bandırma ön işlemine göre kıyaslandığında efektif difüzyon değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum mikrodalga ışınların Şili biberi üzerinde bir basınç farkı oluşturarak kurutma esnasında nemin daha kolay uzaklaşmasına ve yayılmasına neden olduğu düşünülmektedir.

3.4. Termo-fiziksel değerleri

Mikrodalga ve hibrit (mikrodalga+konvektif) fırınlarda kurutulan Şili biberi dilimlerinin ortalama özgül ısı, termal iletkenlik, termal difüzyon ve özgül kütle değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Bununla beraber kurutma yöntemlerine göre kuruma seyri boyunca değişen özgül ısı, termal iletkenlik ve özgül kütle verilerinin dağılımı ise Şekil 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Kurutulan Şili biberi dilimlerinin termo-fiziksel değerleri

Termofiziksel özellikler	Özgül ısı ($J.kg.K^{-1}$)	Termal iletkenlik ($Wm.K^{-1}$)	Termal difüzyon ($m^2.s^{-1}$)	Özgül kütle ($kg.m^{-3}$)
<i>Kontrol</i>	Maks: 848.72	0.28	3.937×10^{-7}	839.41
	Min: 837.00	0.06	1.041×10^{-7}	697.34
	Ort: 841.81	0.16	2.391×10^{-7}	752.48
<i>MW-1 dk</i>	Maks: 848.72	0.28	3.882×10^{-7}	839.41
	Min: 837.32	0.06	1.005×10^{-7}	695.47
	Ort: 841.88	0.16	2.395×10^{-7}	752.95
<i>MW-2 dk</i>	Maks: 847.79	0.26	3.710×10^{-7}	839.41
	Min: 837.55	0.06	1.103×10^{-7}	698.95
	Ort: 841.01	0.14	2.159×10^{-7}	746.41
<i>MW-3 dk</i>	Maks: 848.71	0.28	3.881×10^{-7}	839.41
	Min: 837.50	0.06	1.082×10^{-7}	697.72
	Ort: 842.32	0.16	2.516×10^{-7}	758.59
<i>Kaynamış su-1 dk</i>	Maks: 848.73	0.28	3.938×10^{-7}	839.41
	Min: 837.00	0.07	1.118×10^{-7}	699.80
	Ort: 841.96	0.16	2.434×10^{-7}	754.56
<i>Kaynamış su-3 dk</i>	Maks: 848.72	0.28	3.936×10^{-7}	839.41
	Min: 837.00	0.06	1.028×10^{-7}	696.14
	Ort: 842.01	0.16	2.420×10^{-7}	754.99
<i>Kaynamış su-5 dk</i>	Maks: 848.76	0.28	3.944×10^{-7}	839.41
	Min: 837.00	0.08	1.353×10^{-7}	705.90
	Ort: 842.60	0.17	2.637×10^{-7}	763.22



Şekil 3. Kurutma ön işlemlerine göre özgül ısı, termal iletkenlik ve termal difüzyon değerlerinin dağılımı

Şili biberini kurutmadan önce yapılan mikrodalga uygulama ve kaynamış suya bandırma ön işlemlerinin termo-fiziksel özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Kuruyan örneklerin son durumdaki termo-fiziksel özellikleri birbirlerine çok yakın değer almıştır. Yapılan ön işlemlerin Şili biberi üzerindeki farklı kuruma karakteristikleri oluşturduğu için kuruma seyrince farklı değişiklikler sergilemiştir. Kurutulan örneklerin en yüksek özgül ısı, termal iletkenlik, termal difüzyon ve özgül kütle değerleri 3 dk mikrodalga ön işleminde tespit edilirken bandırma uygulamasında ise 5 dk kaynamış suda bekletilen örneklerde belirlenmiştir. Koç ve ark. (2008), ayva dilimlerini farklı yöntemlerde kurutarak özgül kütle değişiminin nem içeriğine göre dağılımını tespit etmişler. Sıcak havalı tepsi kurutma işleminde özgül kütle değişimi yaklaşık $1050-1000 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında belirlenirken, dondurarak yapılan kurutma işleminde ise bu değer $950-400 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında değiştiğini belirtmişler. Mariani ve ark. (2008), muz meyvesinin kurutulması işleminde $17-65 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında değişen kurutma sıcaklığı $3.43-0.01$ aralığında değişen nem değerinde termal difüzyon değerlerinin $2.49 \times 10^{-10}-1.88 \times 10^{-7} (\text{m}^2.\text{s}^{-1})$ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Yagua ve ark. (2011), patates dilimlerini $120, 130$ ve $140 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda sıcak havalı bir fırında kuruttuklarında örneklerin özgül kütle değişiminin giderek azaldığı ve ortalama $1100-420 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında değiştiğini tespit etmişler.

4. SONUÇ

Bu çalışmada mikrodalgada bekletme ve kaynamış suya bandırma ön işlemlerinin Şili biberi örneklerindeki termo-fiziksel, ince tabaka kuru modelleri ve efektif difüzyon değerlerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan ön işlem ve uygulama sürelerinin Şili biberinde incelenen özellikleri etkilediği bulunmuştur. Şili biberinin kuruma eğrilerini modellemek için Wang-Sing, Jena-Das, Lewis ve Page modelleri kullanılmış ve Wang-Sing modeli Şili biberinin kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden model olarak tespit edilmiştir. Şili biberinin efektif difüzyon değerlerini mikrodalga ve kaynamış suya bandırma gibi ön işlemlerin farklı seviyelerde etkilediği ve mikrodalga ön işleminde en yüksek efektif difüzyon değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Çalışmada efektif difüzyon değerlerinin $5.14-8.52 \times 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca ön işlemlerin termo-fiziksel özelliklerini de etkilediği de belirlenmiştir. Mikrodalga ön işleminde belirlenen en yüksek özgül ısı, termal iletkenlik, termal difüzyon ve özgül kütle değerleri 3 dk bekletme uygulamasında tespit edilirken sırasıyla, $842.32 \text{ J kg.K}^{-1}$, 0.16 W m.K^{-1} , $0.2516 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, 758.59 kg.m^{-3} olarak hesaplanmıştır. Kaynamış suya bandırma ön işleminde ise 5 dk bekletme uygulamasında en yüksek değerler sırasıyla $842.60 \text{ J kg.K}^{-1}$, 0.17 W m.K^{-1} , $2.637 \times 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, 763.22 kg.m^{-3} olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Arifin, U.F., ve Djaeni, M., 2018. Thermal degradation kinetics of capsaicin on drying of blanching-brine-calcium pretreatment red chili pepper. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13 (2): 365-372.
- Azoubel, P.M., Baima, M.D.A.M., Amorim, M.D.R. ve Oliveira, S.S.B., 2010. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97 (2): 194-198.
- Bonazzi, C., ve Dumoulin, E., 2011. Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. *Modern Drying Technology: Volume 3: Product Quality and Formulation*, Volume 3, pp: 1-20.
- Cao, Z.Z., Zhou, L.Y., Yi, J.Y., Chen, Q.Q., Wu, X.Y., Zheng, J.K., ve Li, S.R., 2016. Effect of different drying technologies on drying characteristics and quality of red pepper (*Capsicum frutescens* L.): a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (10): 3596-3603.
- Corzo, O., Bracho, N., ve Alvarez, C., 2008. Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87 (4): 479-484.
- Deng, L.Z., Yang, X.H., Mujumdar, A.S., Zhao, J.H., Wang, D., Zhang, Q., Gao, Z.J., ve Xiao, H.W., 2018. Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36 (8): 893-907.
- Di Scala K and Crapiste G, 2008. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT – Food Science Technology*, 41:789-795.
- Göztok, S.P. ve İçier, F., 2017. Karbon Fiber Destekli Kabin Kurutucuda Farklı Sıcaklıklarda Elma Diliplerinin Kurutulmasının İncelenmesi: Kurutma Karakteristikleri ve Performans Değerlendirmesi. *Akademik Gıda*, 15 (4): 355-367.
- Huang, S.R., Yang, J.I., ve Lee Y.C., 2013. Interactions of heat and mass transfer in steam reheating of starchy foods. *Journal of Food Engineering*, 114: 174-182.
- İncedayı, B., 2020. Assessment of pretreatments on drying kinetics and quality characteristics of thin-layer dried red pepper. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44: 543-556. doi:10.3906/tar-2001-62.
- Jena, S., ve Das, H., 2007. Modeling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79: 92-99.
- Karim, M.A. ve Hawlader, M.N.A., 2005. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 48: 4914-4925.
- Koç, B., Eren, İ., ve Ertekin, F.K., 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85 (3): 340-349.
- Lewis, W.K., 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13: 427-432.
- Mariani, V.C., De Lima, A.G.B., ve Coelho, L.D.S., 2008. Apparent thermal diffusivity estimation of the banana during drying using inverse method. *Journal of Food Engineering*, 85 (4): 569-579.
- Md Salim N.S., Gariépy, Y., ve Raghavan, V., 2016. Hot air drying and microwave-assisted hot air drying of broccoli stalk slices (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *Journal Food Process. Preservation*, 10.1111/jfpp.12905.
- Ozuna, C., Alvarez-Arenas, T.G., Riera, E., Carcel, J.A. ve Garcia-Perez, J.V., 2014. Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21 (3): 1235-1243.
- Page, G.1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer. M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Perusello, C., Cocco, V., Masson, M., ve De Castilhos F., 2013. Determination of thermophysical properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) to be used in a finite element simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67: 1163-1169. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.09.004.
- Romauli, N.D.M., Purba, H.F., Purba, T., Manurung, E.D., ve Ambarita, H., 2019. Assessment of drying method and pretreatment size on characteristic of dried chillipowder. *Earth and Environmental Science*, 454 012101, doi:10.1088/1755-1315/454/1/012101.
- Ruiz-Lopez, I.I., Rodriguez-Jimenes, G.C., ve Garcia-Alvarado, M.A., 2004. Moisture and temperature evolution during food drying: effect of variable properties. *Journal of Food Engineering*, 63 (1): 117-124.
- Wangcharoen, W., ve Morasuk, W., 2009. Antioxidant capacity changes of bird chili (*Capsicum frutescens* Linn.) during hot air drying. *Kasetsart Journal of Nature and Science*, 43: 12-20.
- Tunde-Akintunde, T.Y., 2010. Effect of pretreatment on drying time and quality of chili pepper. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34 (4): 595-608.
- Tzempelikos, D.A., Mitrakos, D., Vouros, A.P., Bardakas, A.V., Filios, A.E., ve Margaritis. D.P., 2015. Numerical modeling of heat and mass transfer during convective drying of cylindrical quince slices. *Journal of Food Engineering*, 156: 10-21.
- Wang, C.Y., ve Singh, R.P., 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Yagua, C.V., ve Moreira, R.G., 2011. Physical and thermal properties of potato chips during vacuum frying. *Journal of Food Engineering*, 104 (2): 272-283.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları*, No: 536. Bornova, İzmir.
- Zhang, X.L., Zhong, C.S., Mujumdar, A.S., Yang, X.H., Deng, L.Z., Wang, J., ve Xiao, H.W., 2019. Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Engineering*, 241: 51-57.