

Ön İşlemlerin Kırmızı Pancar (*Beta vulgaris L.*) Pestilinin Kurutma Kinetiği ve Kalite Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Neslihan ERSOYAK^{1*}, Elif KOÇ¹, Perihan YOLCI ÖMEROĞLU^{1, 2}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa / Türkiye

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİTUAM), Bursa / Türkiye

*(nersoyak@gmail.com)

Özet – Pestiller, özellikle fonksiyonel gıda pazarına yönelik yüksek potansiyele sahip seçeneklerden biridir. Üretim sürecindeki ön işlem ve kurutma yöntem seçimi ile süreleri nihai ürünün kalite özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilecek, alternatif teknikler geliştirmek üzere gerçekleştirilen bu çalışmada, biyoaktif bileşenlerce zengin kırmızı pancar pestil formülasyonunun geliştirilmesi, farklı ön işlemlerin kırmızı pancar pestilinin kurutma kinetiğine ve duyuşal özelliklere olan etkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Kırmızı pancar pestili; haşlama, mikrodalga ve ultrosound teknolojilerinden yararlanılan termosonikasyon yöntemleri ve kombinasyonları kullanılarak 11 farklı ön işlem koşulu sonrası elde edilen pestil herleleri, 70°C sıcak hava ile konvansiyonel olarak kurutulmuştur. Kontrol koşulu olarak sadece geleneksel haşlama ön işlemi ile 40 brkse (° Bx) kadar koyulaştırılan kırmızı pancar ürünü, 97 dakikada hedef nem oranına ulaşırken (toplam ısıl işlem süresi: 217dk), 45 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga+ 40° Bx'e kadar evaporasyon hibrit ön işlemleri ile kurutma süresi 75 dakikaya (toplam ısıl işlem süresi: 160 dk) düşmüştür. 40 brx başlangıçlı koşullarda, hibrit ön işlemler sayesinde toplam ısıl proses süresinde %26 azalış tespit edilirken, 20° Bx başlangıçlı koşullarda ise hibrit ön işlemler ile bu avantaj %38 olmuştur. Lewis (Newton), Two Term, Page, Modifiye Page ve Wang ve Singh modelleri, kuruma karakteristiklerini ortaya koyan en uygun modeller olarak belirlenmiştir. Efektif nem difüzyon katsayıları 8,91x10⁻⁰⁸- 1,14x10⁻⁰⁷ (m²/s) olarak hesaplanmıştır. Duyusal analiz için tüm örnekler renk, görünüm, tat/koku gibi değerlendirmeler ile pestil TSE standartlarını göre analiz edilmiş ve standartlara uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2023-1225 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. BUÜ BAP Birimine katkılarından dolayı teşekkür ediyoruz.

Anahtar Kelimeler – Kırmızı Pancar, Pestil, Kurutma Kinetiği, İnce Tabaka Kurutma Modellemeleri, Hibrit Ön İşlemler, Termosonikasyon

I. GİRİŞ

Kırmızı pancar (*Beta vulgaris L.*), geçmişten bugüne tüm iklim koşullarında yetiştirilebilen, Amaranthaceae ailesinden çiçekli bir bitkidir. Pancarların çoğu sebze olarak ya da meyve suyu veya turşu şeklinde ayrıca gıda takviyesi ve renklendirici olarak toz haline getirilerek de tüketilmektedir [1].

Gıdaların tüketim ve üretim şekilleri besinsel içerikte farklılıklara yol açmaktadır. Kırmızı pancarın evde çeşitli tekniklerle işlenmesiyle toplam antioksidan kapasitesi ve in vitro

gastrointestinal sindirim sırasındaki değişimi incelenen [2] çalışmada 6 farklı evsel (haşlanmış, fırında kurutulmuş, salamura, püre haline getirilmiş, suya işlenmiş ve reçel) üretim tekniği ele alınmıştır. En yüksek toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasite kurutulmuş, püre haline getirilmiş ve işlem görmemiş numunelerde sırasıyla 47±23 mg GAE/100 g, 289±53 mg RE/100 g, 3 889±982 mg TEAC/100 g olarak tespit edilmiştir. Ek olarak, kurutulmuş kırmızı pancarda, in-vitro testin ardından toplam flavonoid içeriğinin için daha yüksek geri kazanımı gösterdiği belirtilmiştir.

Dolayısıyla kırmızı pancar, fonksiyonel ve yenilikçi gıdalar geliştirmek için potansiyel girdi olarak kullanılabilir. Kırmızı pancar diğer gıda matrisleri ile kullanıldığında, sinerjik etki yaratabilir ve ürünün toplam besin değerini artırabilir [3].

Geleneksel olarak yıllardır kurutulan sebze ve meyvelerden elde edilmiş pestiller, özellikle enerji, mineral madde ve lif açısından zengin gıdalardır. Uzun raf ömrü, kurutma sonrası elde edilen hacim küçülmesi ile depolama avantajı, hafifliği ve kolay paketlenabilirliği gibi özellikleri ile artan üretim ve tüketim talebine sahiptir. Ayrıca pestil, üretildiği hammadde ve katkı maddeleri açısından içeriğe göre ve üretim süreçlerine göre değişen biyoaktif bileşenler ile fonksiyonel atıştırmalık olarak kullanımını cazip kılmaktadır. Endüstriyel gelişmeler, besin maddelerinin değerlendirilmesi ve katma değerli farklı ürün gelişimini gerekli kılmaktadır. Kurutma ya da pestile işleme, özellikle fonksiyonel gıda pazarına yönelik, önemli potansiyele sahip seçeneklerdendir.

Pestillerde, işlem süresini kısaltmak yapı bütünlüğünü sağlamak açısından farklı kıvam artırıcılar değişik oranlarda kullanılmaktadır [4]. Ön denemesini gerçekleştirdiğimiz pestillerde, mısır nişastası, buğday nişastası, glutensiz un, buğday unu, ksantan gam gibi değişik kıvam artırıcılar kullanılsa da duyusal açıdan en çok beğeniyi alan manyok bitkisi kökünden elde edilen tapyoka nişastası ile çalışmaya devam edilmesine karar verilmiştir. Tapyoka nişastası, çölyak hastalarının kullandığı glutensiz ürün formülasyonları dahil birçok gıda matrisinde yer almaktadır [5],[6],[7]. Hızlı şişme özelliği göstererek, yüksek su tutma kabiliyeti ile reçetelere dahil edilmektedir [5]. Ön denemelerimizde lezzet açısından fark yaratmadan tekstürel özellikleri en beğenilen kıvam artırıcı seçeneği olması nedeniyle tapyoka nişastası, proje kapsamında geliştirilen pestil formülasyonuna dahil edilmiştir. Pestil üretiminde meyve püresi veya meyve suyu konsantreleri kullanılmaktadır. Fizikokimyasal ve duyusal özelliklerini iyileştirmek için şeker, asit, nişasta ya da pektin gibi bileşenler de ürün bileşiminde yer almaktadır. Genelde pestillerde kıvam artırıcı olarak nişasta veya nişasta içeren farklı unlar kullanılmaktadır [8]. Pestil üretiminin ön işlem ve kurutulması sırasında geçirilen toplam ısı işlem süresinin nihai ürünün kalite ve fonksiyonel özellikleri üzerine olumsuz etkisini azaltacak alternatif ön işlemler üzerine gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında; sağlıklı

atıştırmalık sektörüne yenilikçi alternatif bir ürün ve proses geliştirmek amaçlanmaktadır. Şeker ikamesi olarak doğal elmanın, kıvam artırıcı olarak tropikal ve yarı tropikal bölgelerde yetişen manyok bitkisinden elde edilen hızlı şişme özelliği olan tapyoka nişastasının kullanımı ile kırmızı pancar pestilinin ön işlemleri için haşlama, mikrodalga ve termosonikasyon kombinasyonları ve kurutma işlemi için ise 70 °C'de sıcak hava ile konvansiyonel kurutma işlemi kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan kırmızı pancarlar ve elmalar Bursa'da yer alan sebze ve meyve halinden temin edilmiştir. Üretim sürecine dek meyve ve sebzeler buzdolabında (4±0,5 °C) muhafaza edilmiştir. Diğer hammaddeler (sitrik asit, tapyoka nişastası) yerel bir marketten temin edilmiştir.

Kırmızı pancar pestil üretimi için Sonerex RK 510H Ultrases cihazı (ısıtma: 30- 80 °C aralığı, çalışma frekansı: 35 kHz, otomatik frekans, ultrasonik tepe gücü: 640 W), Bosh marka ev tipi bir mikrodalga fırın HMT72G420, Munich, Germany (Besleme gerilimi: 230V~ 50Hz, en yüksek güç değeri: 800 W ancak çalışma kapsamında 360 W kullanılmıştır). Ayrıca Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretilen sıcak havalı kabin tipi kurutucu (Enerji: 220 V 50-60 Hz –2000 W), 2 m/s hava hızında, %20 nisbi nemde, 70 °C'de kullanılmıştır.

Optimize edilen reçete yaklaşık olarak ağırlıkça %47 kırmızı pancar ve % 47 elma, % 5,8 tapyoka nişastası ve % 0,2 sitrik asitten oluşmaktadır.

Kırmızı pancarların ve elmaların yaprağı ve sapı ayrılarak işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Meyve ve sebzelerin dış yüzeyi etkin bir şekilde yıkayıp toprak vs. gibi kirliliklerden uzaklaştırıldıktan sonra, dış kabukları soyulmuş ve ayrıca elmaların çekirdekleri çıkartılmıştır. Kırmızı pancar ve elma bir sonraki aşamada kullanılmak üzere yaklaşık 2x 2x 2 cm olacak şekilde küp olarak kesilmiştir.

Literatürde yapılan birçok çalışmada POD (peroksidaz) ve PPO (polifenol oksidaz) enzimlerinin, özellikle 80 °C'nin altında gerçekleşen ısı işlemlere toleransı olduğu raporlanmıştır [9]. Dolayısıyla deney desenimizdeki ultrases işlemlerinin 80°C'lik ısı etki altında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda bu ön işlem, "termosonikasyon" olarak adlandırılmıştır [10]. Bu

nedenle ultrases ön işleminin 35 kHz frekansta ve 80 °C termal destekli ultrasonikasyon (termosonikasyon) ön işlemini planlanmıştır.



Şekil 1. Ultrasonikasyona hazırlık

US banyoda gerçekleştirilen ultrases işlemleri için küp doğranmış pancar ve elmalar uygun miktardaki su içerisine, su yüzeyine çıkmalarını önlemek amacıyla suyun kaldırma kuvvetine karşı gelebilecek kadar içi su dolu petri kabıyla Şekil 1'deki hali ile banyo içerisine yerleştirilmiştir. Banyo, maksimum su seviyesine kadar saf su ile doldurularak, banyo ısı 80 °C ulaştığında ultrases uygulaması başlatılmış olup süre boyunca sabit ısı ve su seviyesi kontrol edilmiştir.

A. Kurutma öncesi uygulanan ön işlemler

Yıkamış, kabukları soyulmuş kırmızı pancar ve elmalar yaklaşık 2x2x2 cm küp şeklinde kesilerek, Tablo 1 'de detayları belirtilen 12 farklı ön işlem sonrasında kurutulmuştur. Tüm kurutmalar, 70 °C sıcaklıkta, 2 m/s hava hızında ve %20 nisbi nem ile kabin kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Pancar tozunun antioksidan özelliklerinin araştırıldığı çalışmada 60 ila 70 °C'lik sıcaklıklarda artış, 80 °C ise yazarlar antioksidan aktivitede önemli bir azalma [2] raporlandığı için aşağıda Tablo 1 'deki tüm ön işlemler sonrası kurutmalar 70 °C sıcak hava uygulaması ile kabin kurutucuda gerçekleştirilmiştir.

Pestil üretimine uygun boyutta bir kapa ağırlıkça "1:1 oranında kırmızı pancar/elma" tartılır ve üzerine ağırlıkça "(sebze+meyve) / su 1:1" oranında su ilave edilir ve aşağıda Çizelge Tablo 1 de açıklanan ön işlem aşamasına geçilir.

Tablo 1. Ön işlem koşulları

Koşul	1.Ön İşlem	2.Ön İşlem	3.Ön İşlem	Kurutma Başlangıç Briks
Kontrol	Koyulaştırma			40 brx
1	30 dk termosonikasyon	Koyulaştırma		40 brx
2	45 dk termosonikasyon	Koyulaştırma		40 brx
3	30 dk termosonikasyon	10 dk MW	Koyulaştırma	40 brx
4	45 dk termosonikasyon	10 dk MV	Koyulaştırma	40 brx
5	Koyulaştırma			20 brx
6	30 dk termosonikasyon	Koyulaştırma		20 brx
7	45 dk termosonikasyon	Koyulaştırma		20 brx
8	30 dk termosonikasyon	10 dk MV	Koyulaştırma	20 brx
9	45 dk termosonikasyon	10 dk MV	Koyulaştırma	20 brx
10	45 dk termosonikasyon			14 brx
11	45 dk termosonikasyon	10 dk MV		15 brx
Termosonikasyon		35 kHz frekansta ve 80 °C termal destekli ultrasonikasyon		
Mikrodalga		360 W		
Koyulaştırma		Açık kazan kaynatma		

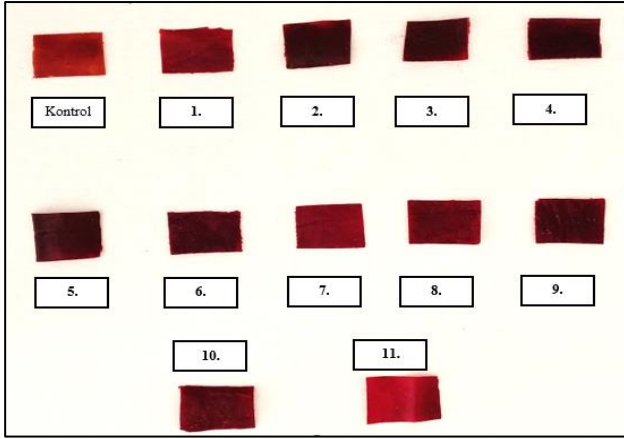
Kaynatma işlemi koyulaştırma amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm malzemeler, bu ön işlemlere uygun koşullarda ve sürede işlem gördükten sonra ev tipi mekanik parçalayıcıda (Arzum, Türkiye) kullanılan su ile püre haline getirilir. Elde edilen pürenin ayrılan %25'lik kısmı, tapyoka nişastası ve sitrik asit ile sonradan karışıma dahil edilir. Bu aşamadan sonra sürekli karıştırılarak koyulaştırma işlemi belirlenen suda çözünür kuru madde oranına ulaşmaya kadar koyulaştırmaya devam edilir. Ancak 10. ve 11. koşulda koyulaştırma işlemi gerçekleştirilmeyeceği için belirlenen ön işlem uygulandıktan sonra ön işlem sırasında kullanılan su süzülerek ayrılır ve geri kalan kısım mekanik karıştırıcıda nişasta ve sitrik asit eklenerek püre haline getirilir.

B. Kurutma İşlemi

Yukarıda açıklanan ön işlemler sonrasında, 25±0.5 g pestil karışımı 8×8×0,5 cm (sırasıyla; uzunluk, genişlik, kalınlık) boyutlarında kalıp kullanılarak yağlı kağıt üzerine serilir ve 70°C’de 2 m/s hızında ve % 20 nispi neminde olan sıcak hava ile konveksiyonel kabin tipi kurutucu kullanılarak kurutulmuştur.

Kurutma işlemi pestillerin nem içeriğinin 0,8-0,10 g su/g kuru madde (% nem içeriği 8-10) oranına ulaşmasına kadar devam edilmiştir. Kurutulacak pestillerdeki nem içeriği, üzüm pestili TS 12680’a göre en çok % 15 [11], kayısı pestili TS 12679 en çok % 18 [12] , erik pestili TS 12678 en çok % 20 [13] ve dut pestili TS 12677 [14] en çok %18 standartlarına uyumlu olarak seçilmiştir.

Her bir kurutma denemesinden önce sıcak havalı kurutucu bir saat boşa çalıştırılarak istenilen sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Kurutma işlemi sırasında, başlangıçta 15 dakikada bir, sonlara doğru 20 dakika bir olacak şekilde, 0,01 g hassasiyetindeki dijital terazi (Mettler Toledo, MS3002S) kullanılarak tartım alınmış ve nem içeriğindeki değişim kaydedilmiştir. Tartımlar 10 saniye gibi bir sürede hızlıca gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Kurutulmuş kırmızı pancar pestil örnekleri

C. Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

Nem içeriğinin hesaplanması

Pestil örneklerinin kurutulması sırasında, nem içeriği değerleri aşağıdaki gibi denkleme göre hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{(M - KM)}{KM} \quad (1)$$

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde) M: Örneğin ağırlığı (g) KM: Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g)’dır.

Kurutma hızının hesaplanması

Kurutma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile hesaplanmıştır. Pestil örneklerinin nem içeriğine (M_t) karşı kuruma hızı (KH) ile çizilen kurutma eğrileri kurutma kinetiğinin ve kurutma hızı periyotlarının irdelemesini sağlayacaktır.

$$KH = \frac{(M_{t+dt} - M_t)}{dt} \quad (2)$$

KH : Kuruma hızı (kg su / kg kuru madde dk.)

M_{t+dt} : t+dt anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

dt : Kuruma zamanını (dk) ifade etmektedir

Nem oranının hesaplanması

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (3)$$

MR : Ayrılabilir nem oranı (birimsiz)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_0 : Başlangıçtaki nem içeriğini (kg su / kg kuru madde) tanımlamaktadır.

MR değerleri hesaplanırken, M_e değeri sıfır alınarak işlemler yapılmıştır [15]. Denge nem içeriğinin, her çalışmanın nihai nem içeriği olduğu varsayılmıştır [16].

Kurutma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

Kırmızı pancar pestil örneklerinin kuruma davranışlarını açıklamak amacıyla ürünlerin kuruma davranışının anlaşılmasında literatürde sıklıkla kullanılan ince tabaka modellerinden, Tablo 2’de belirtilen yedi farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmıştır.

Tablo 2. İnce tabaka kurutma model örnekleri

Model	Denklem	Kaynak
Lewis (Newton)	MR= exp (-kt)	[17]
Page	MR = exp (-kt ⁿ)	[18]
Modifiye Page	MR = exp [-(kt) ⁿ]	[19]
Henderson & Pabis	MR = a exp (-kt)	[20]
Logaritmik	MR = a exp (-kt) + c	[21]
Two Term	MR=a exp(-kt) + (1-a) exp(-kat)	[22]
Wang ve Singh	MR = 1 + at + bt ²	[23]
MR: nem oranı, a, b, c: kurutma katsayıları, k: kurutma sabiti, t: kurutma süresi		

DeneySEL verilerin kurutma modelleri ile uyumu için korelasyon katsayısı (R²), tahmini standart hata (RMSE) ve ki-kare (χ²) değerleri kullanılmıştır. En iyi modelin seçimi için birincil kriter R² değeri 1'e yakınlığı, RMSE ve χ² değerlerinin 0'a yakın olduğu değerlerin karşılaştırılması için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplama yapılmıştır [15].

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (5)$$

MR_{exp,i} : i. deneysel nem oranı
 MR_{pre,i} : i. tahmin edilen nem oranı
 N : Gözlemlenen deneysel veri adedi,
 n : Modelde yer alan bağımsız değişken sayısındır.

Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması

Pestil örneklerinde efektif nem difüzyonunun belirlenmesinde Fick' in ikinci kullanışlı bir araçtır. Plaka şeklindeki malzemeler için azalan kuruma hızı bölgesinde difüzyon eşitliği için kurutma işlemi sırasında nem transferinin yalnızca difüzyon ile

gerçekleştiği, nem dağılımının düzgün olduğu, kuruma sırasında üründe büzüşme olmadığı, kütle transferine karşı ihmal edilebilir yüzey direncinin olduğu, ortamdaki basınç ve sıcaklık değişimlerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu gibi varsayımlarında bulunulmuştur [24]. Sonsuz levhalar için efektif difüzyon katsayısı 6 numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left(- \frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4 L^2} \right) \quad (6)$$

Burada D_{eff} nem difüzyon katsayısı (m² /s), L levhanın yarı kalınlığı ve n pozitif bir tam sayıdır. Uzun kurutma süreleri için eşit sadeleştirilerek aşağıdaki eşitlik nem difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4 L^2} \right) \quad (7)$$

Örneklerin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) kuruma süresine karşılık çizilen ln MR grafiğinin eğiminden yukarıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [25]. Hesaplama yapılırken sıcaklığın her noktada eşit olduğu varsayılmıştır [6]. Etkin difüzyon katsayısı, boyutsuz nem oranının doğal logaritmasının zamana karşı çizilmesiyle elde edilen grafiğin eğiminin bulunması ve aşağıdaki eşitlikte yerine konulmasıyla hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = \frac{4kL^2}{\pi^2} \quad (8)$$

k: eğim

Hesaplama yapılırken sıcaklığın her noktada eşit olduğu varsayılmaktadır. Etkin difüzyon katsayısı gıdanın sıcaklığı, tekstürü ve nem içeriği gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi açısından D_{eff} 'in hesaplanması önemli bir hesaplamadır [27],[28].

D. Duyusal Analiz

Kırmızı pancar pestil örneklerinin duyusal analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki (BİTUAM) 7 panelist tarafından gerçekleştirilecek olup ekip hem erkek hem kadın olmak üzere bölüm öğretim üyeleri ve yüksek lisans/doktora öğrencilerinden oluşturulmuştur. Üretilen pestil örnekleri 2 cm × 2 cm boyutlarında kare şeklinde bölünerek, 7 paneliste rastgele üç haneli rakamlarla kodlanmış olarak kapalı şeffaf plastik kaplarda oda sıcaklığındaki içme suyu eşliğinde sunulmuştur.1

ile 4 arasında (4 çok iyi, 3 iyi, 2 orta, 1 kötü) puanlama testi uygulanarak, renk, görünüm, tat ve koku açısından yakın ürün pestillere özgü (TS 12677 dut, 12678 erik, 12679 kayısı, 12680 üzüm) TSE kalite kriterleri değerlendirilmesi yapılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

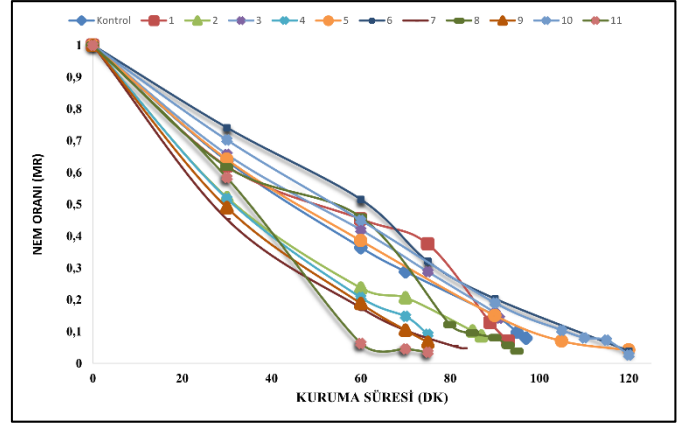
Kırmızı pancar pestil ürününün nem değişimi

Farklı ön işlemler sonrası gerçekleştirilen kurutma koşulları uygulanarak elde edilen kırmızı pancar pestil ürünlerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 3’ de gösterilmektedir.

Kontrol koşulu olarak sadece evaporasyon ön işlemi ile 40 ° Bx’ e kadar koyulaştırılan kırmızı pancar ürünü, 97 dakikada hedef nem oranına ulaşırken, 30 dk termosonikasyon sonrası 40 ° Bx’ e kadar evapore edilen 1 numaralı koşul kuruma süresi 93 dakika, 45 dakika termosonikasyon ve evaporasyon sonrası kurutulan 2 numaralı koşul 87 dakikada, 3 numaralı koşul 91 dakika, 4 numaralı koşul ile üretilen pestil örnekleri ise 75 dakikada Şekil 3’ de görüldüğü üzere kuru maddede hedef 0,1 g H₂O /g nem oranına ulaşmıştır.

20 °Bx başlangıçlı kurutmalarda, 5 numaralı koşuldaki kırmızı pancar pestil ürünü sadece evaporasyon ön işlemine tabi tutularak 120 dakikada, 6 numaralı koşuldaki ürünler 30 dk termosonikasyon ve evaporasyon ön işlemi sonrası yine 120 dakikada, 7 numaralı koşulda 45 dk termosonikasyon sonrası evapore edilen ürünler 83 dakikada, 8 numaralı koşulda 30 dk termosonikasyon sonrası uygulanan 10 dk mikrodalga ve evaporasyon ön işlemleri sonrası ürünlerin kuruması 95 dk, 9 numaralı koşulda 45 dk termosonikasyon, 10 dk mikrodalga ve evaporasyon ön işlemleri sonrası kuruma süresi 75 dk olarak tespit edilmiştir. 5, 6, 7, 8 ve 9 numaralı koşullar arasında en hızlı kuruma süresi 9 numaralı termosonikasyon ve mikrodalga ön işlemi ile kombine edilen koşulda 75 dk olarak tespit edilmiştir.

Evaporasyon ön işlemi uygulanmadan, sadece 45 dk termosonikasyon ve 45 dk + 10 dk mikrodalga kombine edilerek üretilen 10 ve 11 numaralı koşullardaki kurutma süreleri Şekil 3 ‘de görüldüğü üzere 120 ve 75 dakikadır.



Şekil 3. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi

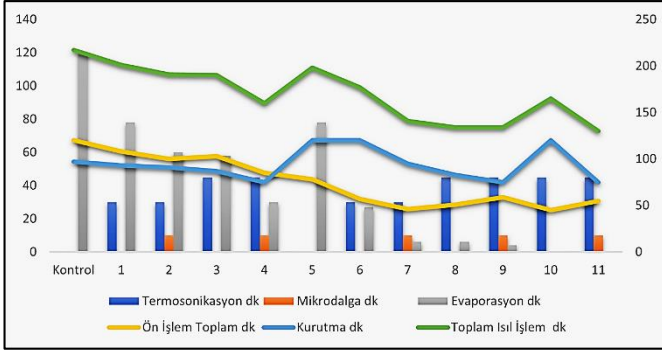
Benzer şekilde 5, 10 ve 15 dakikalık ultrasonikasyon ön işlem sonrası 60 ve 80 °C sıcaklıktaki yer elması kurutmalarında, ultrasonikasyon işleminin son ürün nem içeriğine daha kısa sürede ulaşım sağladığı raporlanmaktadır [29]. Kavun dilimlerinin 25 kHz' de 10, 20 ve 30 dakika ultrason ile ön işlem sonrası 50, 60 ve 70 °C kurutulmasında, 20 ve 30 dakika ultrason ön işlemi, kuruma süresini %25 (50 °C) ve %40'a (70 °C) oranında düşürdüğü raporlanmaktadır [30].

Toplam ısıl işlem süreleri açısından bakıldığında ise kontrol koşulu 217 dk, 1 numaralı koşulda ise farklı ön işlem ile en uzun ısıl işlem süresi olan 201 dk , en kısa toplam ısıl işlem süresi 130 dk ile 11 numaralı koşulda, olacak şekilde ölçümlenmiştir. Ön işlem, kurutma ve toplam ısıl işlem süre değişimleri Şekil 4.’ de karşılaştırılmaktadır.

40 °Bx başlangıçlı pestil kurutmaların 30 dk termosonikasyon, 30 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga, 45 dk termosonikasyon, 45 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga ön işlemleri sırasıyla 10%, 17%, 14% ve 29% sadece evaporasyon ön işlemine göre kısa sürmüştür. 20 ° Bx başlangıçlı pestil kurutmalarda; sadece evaporasyon yolu ile hedef brikse ulaşım süresi, 30 dk termosonikasyon, 30 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga, 45 dk termosonikasyon, 45 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga ön işlemleri sayesinde 27%, 41%, 35% ve 24% kısalmıştır. Evaporasyon ön işlemi uygulanmadan, sadece 45 dk termosonikasyon ve 45 dk termosonikasyon+ 10 dk mikrodalga ön işlemi, kontrol koşulu ön işlem süresine göre 63% ve 54% kısa sürmüştür.

Toplam ısıl işlem süresi kontrol koşulu kırmızı pestil üretimi ile kıyaslandığında 8. ve 9. koşul %38

daha kısa sürede, 11. koşul ise %40 daha kısa sürmüştür.



Şekil 4. Ön işlem, kurutma ve ısıl işlem toplam süre değişimleri

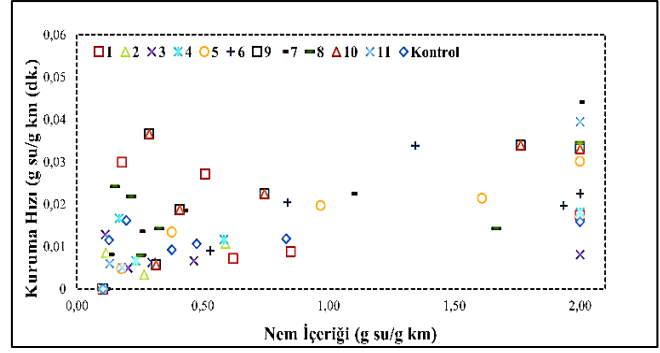
Kuruma hızı değişimi

Genellikle, azalan hız kuruma evresinde kurumaların gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Yani birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarı, bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermektedir. Sabit oranlı kuruma fazı çok belirgin değildir. Isı iletim ve kütle iletim hızının eşit olduğu bu periyodunun görülmemesi pestil ürünlerinin üst tabakasının önemli ve uzun bir süre sabit su bulunmamasından veya ölçümlerin uzun zaman aralıklarında gerçekleştirilmesinden dolayı olabilir [31].

45 dk termosonikasyon sonrası 20 ° Bx 'e evapore edilen 8 numaralı koşulda en yüksek hız dakikada 0,134 g su/ g km olarak kaydedilmiştir. Ultrason destekli kurutma çalışmalarında kuruma hızının zamana göre değişim periyotları araştırıldığında; çoğunlukla nispeten kısa bir süre için gözlenen, ortam ve ürün yüzey nemindeki farkına bağlı olan ve ön ısıtma dönemi olarak da bilinen artan oran dönemi, ikincil olarak ise asıl kuruma işleminin gerçekleştiği ve daha uzun süre gözlemlenen düşen hız periyodu görülmektedir [32],[33],[34].

Şekil 5 'de, koşul 8,9 ve 10 'da kurutma hızında, kısa süreli ani azalış ardından artış gözükmemektedir. Kuruma hızının azalmaya başladığı, difüzyonun etkili olduğu dönemde oluşan bu hız düşüşleri, yüzeyde oluşmuş kuru tabakanın, nemli olan alt tabakalara, büzüşerek baskı yapması ve alt tabakalarında henüz nemli olması sebebiyle baskıya direnç göstermesi, kuruma sonucunda büzüşme olanağı bulamayan üst tabakada sert kabuk oluşması kuruma hızını birdenbire düşürmüş olabilir. Kabuk

bağlama çözünür kuru madde göçüne bağlı olarak da oluşabilir [35].



Şekil 5.40° Kırmızı pancar pestil ürünleri hız değişimi

Benzer şekilde [33] çalışmasında sıcak havayla kurutma işleminden önce 20 kHz'de 10 dakika boyunca 600 W güçte sarı manyok örneklerine ultrasonikasyon uygulaması sonrası kuruma süresinin işlem görmemiş numunelere göre %35 oranında azaldığı, kurutma hızında da %63'lük artış tespit edilmiştir.

Ahududuların kurutulmasında konvektif kurutmanın kontrol proses olarak belirlendiği, mikrodalga ve ultrason kurutma yöntemlerinin kombinasyonu olarak hibrit kurutmaya karşı kuruma davranışlarının incelendiği çalışmada; ahududunun (100 W) mikrodalga enerjisi ile (100–200 W, 55 °C) ultrason destekli kurutma sistemi ile kurutma süresinin MW yardımıyla %79, MW olmadığı koşulda %59 azaldığı raporlanmaktadır. Çalışma, kombine hibrit proseslerin, kurutma kinetiğini ve enerji kullanımını önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymaktadır [36].

Kurutma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

DeneySEL verilerin kurutma modelleri ile uyumu için korelasyon katsayısı (R^2), tahmini standart hata (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmıştır. En iyi modelin seçimi için birincil kriter R^2 değeri 1'e yakınlığı, RMSE ve χ^2 değerlerinin 0'a yakın olduğu değerler karşılaştırılarak tespit edilmiştir. R^2 , χ^2 ve RMSE gibi istatistiksel parametreler ve model katsayıları EK 1 'de gösterilmektedir.

Tüm kurutmalarda R^2 değerleri 0,9321 – 0,9941 aralığındadır. RMSE değerleri 0,0044 ve 0,2586 aralığında, χ^2 değerleri ise 0,0002- 0,8819 aralığında değişmektedir. Kontrol koşulu, 1, 2, 4, 7 ve 8 numaralı koşullar için Lewis (Newton) sırasıyla

(0,9836- 0,9321- 0,9921- 0,9926- 0,9941- 0,9618), 3 numaralı koşul için Two Term (0,9834), koşul 5,6,10 ve 11 koşulu için Page ve Modifiye Page (0,9849- 0,9695- 0,9734- 0,9826), 9 numaralı koşulda ise Wang ve Singh modeli ile (0,9908) en yüksek R² değerleri elde edilmiştir.

Mikrodalga (90 ve 180 W), sıcak hava (60 ve 70°C) ve vakum (250 mbar ile 60 ve 70°C) kurutma teknikleri ile dut pestilinin kurutma kinetiği ve fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmada Page ve Modified Page en yüksek R² (0,9997) ve en düşük RMSE (0,000927) ve χ^2 (0,000011) değerleri ile en iyi şekilde uyum sağlayan model olarak belirlenmiştir [37]. Bir başka mikrodalga (90 W ve 180 W), sıcak hava (60 ve 70 °C) ve vakum (200 ve 300 mbar 60 ve 70 °C) kurutma yöntemleri ile muşmula pestili kurutma özelliklerinin incelendiği çalışmada, R², RMSE and χ^2 değerlerinin 0,8820 – 0,9995, 0,001676 – 0,111869 ve 0,000048- 0,155179 olduğu ve en iyi uyum gösteren modelin Page ve Modifiye Page olduğu raporlanmaktadır [38]. EK1 de model kat sayıları yer almaktadır.

Literatürde termosonikasyon ön işleme tabii tutulmuş pestil kurutmanın ince tabaka modellemesi yaygın olmamakla birlikte sebze ve meyvelerin kurutulması öncesi uygulama çalışmaları mevcuttur ve gün geçtikçe artmaktadır.

Efektif nem difüzyon katsayısı (Deff) değerleri

Efektif nem difüzyon katsayıları 8,91x10⁻⁸- 1,14x10⁻⁷ (m²/s) arasında hesaplanmış ve gıdalar için belirtilen sınırlar içerisinde yer almaktadır. Gözenekli ve katı gıdalarda nem difüzyonu genellikle 3,6 x 10⁻¹⁰ m²/s ve (donduruluş gıdalar için) 3,6 x 10⁻⁵ m²/s arasında değişmektedir [39], [40].

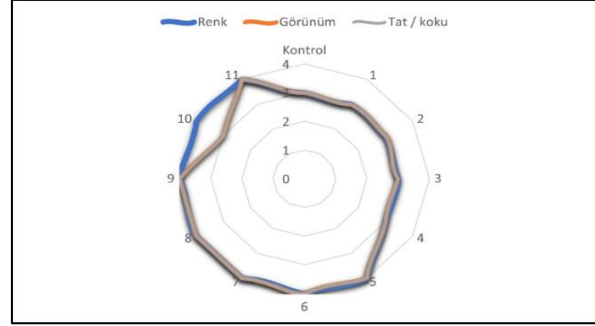
40 °Bx başlangıçlı kurutmalarda, 30 dk termosonikasyon ön işleme, kontrol ön işlemine göre 1,77x10⁻⁸ m²/s Deff değerini 2,49x10⁻⁸ m²/s'e, 45 dk termosonikasyon ise 3,94x10⁻⁸ m²/s 'ye yükseltmiştir.

20° Bx başlangıçlı üretimler sonrası kurutmalarda da termosonikasyon uygulamaları D_{eff} değerlerinde artışa yol açmıştır. Sadece evaporasyon ön işlemi olan 5 numaralı koşul sonrası kurutmada 4,94x10⁻⁸ m²/s olan değer, sadece 30 ve

45 dk ısı ultrason ön işleme ile 5,67x 10⁻⁸ ve 8,20x 10⁻⁸ m²/s 'e yükselmiştir.

Duyusal Analiz

Pestile özgü renk, karamelizasyon varlığı, kahverengileşme, matlık ve kalınlık, yeknesak yapı, pestile özgü aromatik tat ve koku gibi TSE kriterleri renk, görünüm, tat ve koku değerlendirilmelerine (4 =Çok iyi 3 = İyi 2 = Orta 1 = Kötü) ait analiz sonuçları Şekil 4.12 'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Duyusal analiz sonuçları

Kontrol, 1, 2, 3 ve 4. koşulları renk, tat ve koku, görünüm açısından iyi, 10. koşul görünüm, tat ve koku açısından iyi, renk açısından çok iyi, diğer koşullar 5, 6, 7, 8, 9 ve 11 tüm kriterlerde çok iyi olarak değerlendirilmiştir.

SONUÇLAR

Farklı ön işlem uygulamaları sonrası, aynı ısıda konveksiyonel sıcak hava ile kurutulan kırmızı pancar pestil ürünlerinin, kuruma süresinin ön işlemlerden etkilendiği görülmektedir.

Termosonikasyon uygulaması sayesinde kırmızı pestil pancar ürünlerinde, mekanik ve termal uyarımlarla oluşan mikroskobik kanallar sayesinde hücre yapısının zayıflaması, sıcak hava ile kurutma sırasında nem transferine karşı iç direnci azaltarak yüzeyde oluşan sıcaklık artışın etkisiyle kütle transferini hızlanmasıyla sonuçlanmıştır. Mikrodalga ön işlemi de sıcak hava ile kurutma sırasında yine kütle transfer hızını artırmış ve tüm mikrodalgasız ön işlemlere göre kuruma süresinde süre avantajı elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2023-1225 nolu ‘‘ Ön İşlemlerin Kırmızı

Pancar (*Beta vulgaris L.*) Pestilinin Kurutma Kinetiği ve Kalite Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ‘‘ adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. BUÜ BAP Birimine katkılarından dolayı teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- [1] Bilişli, A. *Gıda Kimyası* (III.Baskı). Sidas Medya Ltd.Şti. (2015).
- [2] Guldiken, B., Toydemir, G., Nur Memis, K., Okur, S., Boyacıoğlu, D., & Capanoğlu, E. Home-Processed Red Beetroot (*Beta vulgaris L.*) Products: Changes in Antioxidant Properties and Bioaccessibility. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 858. (2016). <https://doi.org/10.3390/ijms17060858>
- [3] Ceclu L., & Nistor O. V. Red beetroot: ccomposition and health effects - A review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 5 (2). (2020). <https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043>.
- [4] Tontul, I., & Topuz, A. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, 80, 294–303. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035>
- [5] Prameswari I. K., G J Manuhara, B S Amanto, & W Atmaka. Effect of water volume based on water absorption and mixing time on physical properties of tapioca starch – wheat composite bread.” *Journal of Physics: Conference Series*, (2018). 1022: 012029 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012029>
- [6] Silva, J. H. F., Silva Neto, J. S., Silva, E. S., Cavalcanti, D. E. de S., Azoubel, P. M., & Benachour, M. Effect of Ultrasonic Pretreatment on Melon Drying and Computational Fluid Dynamic Modelling of Thermal Profile. *Food Technology and Biotechnology*, 58(4), 381–390 (2020). <https://doi.org/10.17113/ftb.58.04.20.6813>
- [7] Silva Simão R., Moraes, Jaqueline O., Souza P. G., Mattar Carciofi, B.A., Laurindo, J.B. Production of mango leathers by cast-tape drying: Product characteristics and sensory evaluation. *LWT*, (), S0023643818308491 (2018). doi:10.1016/j.lwt.2018.10.013”
- [8] Kara, O. O., & Küçüköner, E. Geleneksel Bir Meyve Çerezi: Pestil. *Akademik Gıda*, 260–268 (2019). <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613621>
- [9] Yoruk R., & Marshall M. R. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase a review. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5): 361-422. (2003).
- [10] Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 135–141. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>
- [11] TS (Türk Standardı). TS 12680 Üzüm pestili. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara. (2000).
- [12] TS (Türk Standardı). TS 12679 Kayısı pestili. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara. (2000)
- [13] TS (Türk Standardı). TS 12678 Erik pestili. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara. (2000)
- [14] TS (Türk Standardı). TS 12677 Dut pestili. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara. (2000)
- [15] Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 08(02), 27–48. (2018). <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>
- [16] Maskan, M. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. (2001). [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2)
- [17] Lewis, W. K. The Rate of Drying of Solid Materials. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 13(5), 427–432. (1921). <https://doi.org/10.1021/ie50137a021>
- [18] Page G.E. *Factors Influencing The Maximum Rate of Air Drying Shelled Corn Thin Layers* [Purdue University]. (1949). <https://www.proquest.com/docview/301817819>
- [19] Overhults D.G., White G. M., Hamilton H. E., & Ross I. J., Drying Soybeans With Heated Air. *Transactions of the ASAE*, 16(1), 0112–0113. (1973). <https://doi.org/10.13031/2013.37459>
- [20] Henderson S.M. Grain Drying Theory (I) Temperature Effect on Drying Coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169–174. (1961). [https://www.semanticscholar.org/paper/Grain-Drying-Theory-\(I\)-Temperature-Effect-on-Hendorson/6ef7b1ff7a3e369cc802187641eea87e93dcb82d](https://www.semanticscholar.org/paper/Grain-Drying-Theory-(I)-Temperature-Effect-on-Hendorson/6ef7b1ff7a3e369cc802187641eea87e93dcb82d)

- [21] Doymaz, İ. Drying of Eggplant Slices In Thin Layers at Different Air Temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(2), 280–289. (2011). <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00454.x>
- [22] Ertekin C. & Yaldiz O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359 (2014). doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007
- [23] Wang, C. Y., & Singh, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668–672 (1978).
- [24] Süfer, Ö., & Palazoğlu, T. K. A study on hot- air drying of pomegranate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137(6), 1981–1990 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08102-1>
- [25] Kılıç, F., & Tabanlıgil Calam, T. Kırmızı Kapya Biberlerinin (*Capsicum Annuum L.*) Kurutma ve Rehidrasyon Kinetiklerinin Belirlenmesi, Kurutma İşleminin Termodinamik Analizi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 22(65), 343–352(2020). <https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226503>
- [26] Tütüncü M. A., T.P. Labuza T. P. Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering*, 30 (3–4): 433-447(1996). [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00028-3).
- [27] Jangam S.V. & Mujumdar, A.S. Basic concepts and definitions. In: *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1*, Ed. Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S., 2010, ISBN - 978-981-08-6759-1.
- [28] Kutlu N., İsci A., Şakıyan Demirkol Ö. Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda* 40 (1): 39-46 (2015).
- [29] Aydar, A. Y., Mataraci, C. E., Sağlam, T. B., & Yılmaz, T. EFFECT OF ULTRASOUND PRE-TREATMENT ON DRYING KINETICS AND QUALITY PROPERTIES OF JERUSALEM ARTICHOKE. *Latin American Applied Research - An International Journal*, 52(2),77–82 (2022). <https://doi.org/10.52292/j.laar.2022.750>
- [30] Silva, J. H. F., Silva Neto, J. S., Silva, E. S., Cavalcanti, D. E. de S., Azoubel, P. M., & Benachour, M. Effect of Ultrasonic Pretreatment on Melon Drying and Computational Fluid Dynamic Modelling of Thermal Profile. *Food Technology and Biotechnology*, 58(4), 381–390. (2020). <https://doi.org/10.17113/ftb.58.04.20.6813>
- [31] Prakash, S., Jha, S. K., & Datta, N. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 305–313 (2004). [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00244-9)
- [32] Wang, C., Zhang, L., Qiao, Y., Liao, L., Shi, D., Wang, J., & Shi, L. Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice. *LWT*, 160, 113232 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113232>
- [33] Oladejo, A. O., Ekpene, M. M., Onwude, D. I., Assian, U. E., & Nkem, O. M. Effects of ultrasound pretreatments on the drying kinetics of yellow cassava during convective hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3) (2021). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15251>
- [34] Malvandi, A., Nicole Coleman, D., Loor, J. J., & Feng, H. A novel sub-pilot-scale direct-contact ultrasonic dehydration technology for sustainable production of distillers dried grains (DDG). *Ultrasonics Sonochemistry*, 85,105982 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105982>
- [35] Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Ozkan, M., “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi”, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 28,541-542 (2003).
- [36] Kowalski, S. J., Pawłowski, A., Szadzińska, J., Łechtńska, J., & Stasiak, M. High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 225–233 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.006>
- [37] Suna, S., & Özkan-Karabacak, A. Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8) (2019). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14051>
- [38] Suna, S. Effects of hot air, microwave and vacuum drying on drying characteristics and in vitro bioaccessibility of medlar fruit leather (pestil). *Food Science and Biotechnology*, 28(5), 1465–1474 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00588-7>
- [39] Labuza, T.P. “Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use.” The American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 1984.
- [40] Doulia, D., Tzia, K., & Gekas, V. A knowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (D_{EFF}) of foods. *International Journal of Food Properties*, 3(1), 1–14. (2000).

Model No	Model Coefficient	Kontrol	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	R ² RMSE X ²	k	0,02140	0,02060	0,02490	0,01830	0,02840	0,02370	0,02030	0,03400	0,02780	0,03200	0,02300	0,06510
		0,98360	0,93210	0,99210	0,98340	0,99260	0,97770	0,96830	0,99410	0,96180	0,99020	0,96010	0,97900	
		0,01056	0,02848	0,00917	0,17831	0,01452	0,03524	0,02724	0,01084	0,03696	0,01701	0,03646	0,08232	
		0,00223	0,00982	0,00077	0,32191	0,00172	0,00894	0,00972	0,00131	0,01383	0,00236	0,01215	0,04879	
2	R ² RMSE X ²	n	1,43470	1,41960	1,16690	1,34160	1,33440	1,43730	1,71760	1,32260	1,67180	1,33190	1,59820	2,04740
		k	0,00303	0,00310	0,01200	0,00410	0,00690	0,00310	0,00070	0,00840	0,00137	0,00610	0,00138	0,00054
		0,94860	0,82970	0,97330	0,97450	0,98730	0,98490	0,96950	0,98730	0,90000	0,98430	0,97310	0,98260	
		0,00542	0,02017	0,00594	0,00821	0,00440	0,01065	0,00913	0,00357	0,02150	0,01782	0,01028	0,00655	
3	R ² RMSE X ²	n	1,43470	1,41960	1,16690	1,34160	1,33440	1,43730	1,71760	1,32260	1,67180	1,33190	1,59820	2,04740
		k	0,01755	0,01690	0,02258	0,01650	0,02400	0,01790	0,01500	0,02710	0,01939	0,02560	0,01620	0,02520
		0,94860	0,82970	0,97330	0,97450	0,98730	0,98490	0,96950	0,98730	0,90000	0,98430	0,97310	0,98260	
		0,00542	0,02017	0,00594	0,00821	0,00440	0,01065	0,00913	0,00357	0,02150	0,00509	0,01028	0,00655	
4	R ² RMSE X ²	k	0,02140	0,02090	0,02490	0,01830	0,02840	0,02370	0,02190	0,03400	0,02780	0,03200	0,02300	0,04150
		a	2,14470	1,47060	1,10010	1,52590	1,12513	1,99210	1,64560	1,21680	1,52166	1,17304	1,47110	1,50863
		0,98360	0,91540	0,99210	0,98340	0,99260	0,97770	0,96540	0,99410	0,96180	0,99020	0,96010	0,96870	
		0,07266	0,05295	0,01419	0,07287	0,02001	0,17710	0,05654	0,02236	0,06286	0,02656	0,06086	0,08948	
5	R ² RMSE X ²	k	0,03070	0,02690	0,03460	0,02910	0,03920	0,02720	0,02780	0,04620	0,33320	0,04220	0,02530	0,05090
		a	1,85726	1,54130	1,11728	1,23146	1,08112	1,29540	2,08760	1,46961	1,66500	1,19650	1,48914	1,62418
		c	0,07972	0,07001	0,08670	0,14173	0,09198	0,04165	0,03861	0,04712	0,03792	0,06682	0,02652	0,03525
		0,93920	0,88750	0,95340	0,92390	0,97060	0,96700	0,92540	0,95940	0,95330	0,96860	0,97150	0,93620	
6	R ² RMSE X ²	k	0,01356	0,01303	0,01440	0,01057	0,01618	0,01510	0,01350	0,02195	0,01734	0,02078	0,01442	0,02592
		a	0,57781	0,58105	0,52380	0,73106	0,75494	0,56970	0,62201	0,54889	0,60344	0,53982	0,59532	0,60138
		0,98360	0,93210	0,99210	0,98340	0,99260	0,97770	0,96540	0,99410	0,96180	0,99020	0,96010	0,96870	
		0,04739	0,05774	0,07691	0,06219	0,06876	0,06276	0,04683	0,06017	0,05636	0,07470	0,05448	0,06040	
7	R ² RMSE X ²	b	0,00010	0,00001	0,00010	0,00003	0,00009	0,00004	0,00008	0,00010	0,00010	0,00010	0,00002	0,00020
		a	-0,01300	0,98738	-0,01870	-0,01220	-0,01880	-0,01310	-0,00900	-0,02170	-0,01310	-0,02000	-0,01050	-0,01620
		0,93490	0,87800	0,97390	0,88830	0,99030	0,98070	0,90380	0,98770	0,88790	0,99080	0,94950	0,89320	
		0,17720	0,06086	0,00786	0,00838	0,00467	0,00786	0,22820	0,04011	0,25862	0,00583	0,00449	0,31303	
1	2	3	4	5	6	7								
Lewis (Newton)	Page	Modifiye Page	Henderson & Pabis	Logarit mik	Two Term	Wang ve Singh								