



Vakum ortamında ozmotik dehidrasyon ön işleminin kırmızı pancarın kütle değişimi, kurutma kinetiği ve fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi

Determination the effect of osmotic dehydration pretreatment under vacuum condition on mass change, drying kinetics and physicochemical properties of red beet

Latife Betül GÜL ^{1*}, Osman GÜL ²

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

² Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4732-7727>; ²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1620-4246>

To cite this article:

Gül, L. & Gül, O. (2023). Vakum ortamında ozmotik dehidrasyon ön işleminin kırmızı pancarın kütle değişimi, kurutma kinetiği ve fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 27(4): 515-530

DOI: 10.29050/harranziraat.1301013

*Address for Correspondence:

Latife Betül GÜL

e-mail:

latife.betul@giresun.edu.tr

Received Date:

26.05.2023

Accepted Date:

08.10.2023

© Copyright 2018 by Harran University
Faculty of Agriculture. Available on-line
at www.dergipark.gov.tr/harranziraat



This work is licensed under a Creative
Commons Attribution-Non
Commercial 4.0 International License.

ÖZ

Bu çalışmada ön işlem olarak ozmotik dehidrasyon (OD) ve vakum emdirme (VE) uygulamalarının birlikte kullanılmasının kırmızı pancarda kütle transferi, kurutma kinetiği ve kalite özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dilimler halinde pancara %40 ve %60 süzkroz çözeltisinde OD işlemi uygulanmıştır. OD işlemi ilk 20 dakika boyunca vakumlu (OD-VE) veya vakum uygulamasız olarak toplam 180 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. OD ön işlemi uygulanmayan örnek kontrol örneği olarak değerlendirilmiştir. Ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış örnekler 60 °C sıcaklıkta 1 m s⁻¹ hava hızında konvektif olarak kurutulmuştur. OD işlemi su kaybı (SK) ve dolayısıyla ağırlık kaybının (AK) önemli düzeyde artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte katı madde kazanımı (KK), OD-VE uygulaması ile önemli düzeyde artmıştır. Kontrol örneğinde nem içeriğinin %8'in altına inmesi için 390 dakika kurutma süresi gerekli iken OD-VE uygulaması ile bu süre 180 dakika kısalmıştır. Pancarın kurutma davranışını tanımlamak için 8 farklı yarı teorik matematiksel model uygulanmış ve Page modelinin ($R^2 > 0.997$, $RMSE < 0.018$ ve $\chi^2 < 0.431 \times 10^{-3}$) OD ve OD-VE ön işlemi uygulanan pancar dilimlerinin deneysel verilerine en iyi şekilde uyduğu, kontrol örneğinde ise Diffusion Approach modelinin daha uygun ($R^2 = 0.998$, $RMSE = 0.013$ ve $\chi^2 = 0.183 \times 10^{-3}$) olduğu saptanmıştır. Çalışmamızda en düşük büzülme oranı (%56.98) kurutma kinetiği verileri ile uyumlu olarak vakum altında %60 süzkroz çözeltisinde dehidre edilen örnekte saptanmış olup en yüksek toplam fenolik madde içeriği (3.39 mg GAE g⁻¹) ile antioksidan aktivite (%36.43) de aynı örnekte tespit edilmiştir. Renk ölçümleri sonuçlarından OD-VE ön işleminin kırmızı pancarın doğal kırmızı rengini korumada kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kırmızı pancar, kurutma, ozmotik dehidrasyon, vakum emdirme, kütle ve ısı transferi

ABSTRACT

Determining the effect of using osmotic dehydration (OD) and vacuum impregnation (VI) applications together as a pretreatment on mass transfer, drying kinetics and quality properties of red beet was aimed. For this, OD treatment was applied to samples in 40% and 60% sucrose solutions. The OD process was carried out for a total of 180 minutes, with (OD-VI) or without vacuum during the first 20 minutes. Pre-treated and untreated samples were convectively dried at 60 °C at an air velocity of 1 m s⁻¹. The OD process caused a significant increase in water loss and thus in weight reduction. However, the

solid gain increased significantly with the OD-VI application. While 390 minutes of drying time was required for the moisture content to fall below 8%, this duration was shortened by 180 minutes with the OD-VI application. To describe the drying behavior of red beet, 8 semi-theoretical models were applied. Page model ($R^2>0.997$, $RMSE<0.018$ and $\chi^2<0.431\times 10^{-3}$) had the best fit to the experimental data of pretreated beet slices. For the control sample, Diffusion Approach model ($R^2 =0.998$, $RMSE=0.013$ and $\chi^2=0.183\times 10^{-3}$) was more suitable. The lowest shrinkage rate (56.98%) was found in the sample dehydrated in 60% sucrose solution under vacuum in accordance with the drying kinetics data. The highest total phenolic content (3.39 mg GAE g^{-1}) and antioxidant activity (36.43%) were also detected in the same sample. According to the color measurements, it was understood that the OD-VI pretreatment could be used to preserve the natural red color of red beet.

Key Words: Red beet, drying, osmotic dehydration, vacuum impregnation, mass and heat transfer

Giriş

Pancar (*Beta vulgaris*), gümüş pancar, şeker pancarı, pancar ve yem pancarı çeşitlerini içeren Chenopodiaceae familyasının tatlandırma ajanı olarak kullanılan bir üyesidir (Hamid ve Mohamed Nour, 2018). Pancar çeşitlerinden biri olan kırmızı pancar (*Beta vulgaris L.*), içeriğindeki yüksek miktarda betalain, askorbik asit, karetonoidler, polifenoller, flavanoidler ve saponinler gibi biyoaktif bileşenlere bağlı olarak en değerli iki yıllık sebzelerden biridir (Calderón-Chiu ve ark., 2019; Ciuzyńska ve ark., 2021; Kowalski ve Łechtańska, 2015; Seremet Ceclu ve ark., 2020). Ayrıca içeriğinde doğal olarak bulundurduğu nitrat, kan damarlarındaki açılmaya ve daha fazla oksijenin taşınmasına yardımcı olan nitrik oksit adı verilen molekülün artışını sağlayarak; vücuttaki beyin, kalp ve kaslara giden kan akışını geliştirilmesinde rol oynamaktadır (Hamid ve Mohamed Nour, 2018). Kırmızı pancar tüketiminin kardiyovasküler sağlığı geliştirdiği, sistolik kan basıncını düşürdüğü, kolesterol seviyesini ve karaciğer fonksiyonlarını düzenlediği yönünde çok sayıda çalışma mevcuttur (Ciuzyńska ve ark., 2021; Hamid ve Mohamed Nour, 2018; Seremet Ceclu ve ark., 2020). Kırmızı pancar aynı zamanda cilt rahatsızlıklarının, soğuk algınlığı ve sindirim sorunlarının tedavisinde kullanılabilir (Ciuzyńska ve ark., 2021). Ancak taze kırmızı pancar diğer sebzeler gibi yüksek nem içeriğine bağlı olarak kolay bozulabilir nitelikte olmasından dolayı uzun dönem tüketimi için muhafazasına yönelik işlemler gerektirmektedir (Hamid ve Mohamed Nour, 2018; Seremet Ceclu ve ark., 2020).

Biyolojik ürünlerin mikrobiyal güvenliğinin sağlanmasında kullanılan en eski ve önemli metotlardan biri kurutmadır (Calderón-Chiu ve ark., 2019; Hamid ve Mohamed Nour, 2018; Mina ve ark., 2022). Kurutma ile gıdadan suyun uzaklaştırılması yoluyla mikrobiyal çoğalma

önlenecek gıda bozulmasının önüne geçilmektedir. Ayrıca kurutma ile birlikte gıdanın hacmi ve ağırlığı azaltılarak taşıma ve depolama işlemleri de kolaylaşmaktadır (Mina ve ark., 2022). Bununla birlikte konvektif kurutma fazla zaman ve enerji gerektiren (Aydos ve Ertaş, 2023; Carvalho ve ark., 2020) ve son üründe besinsel, fiziksel ve duyuşal özellikler açısından bazı kalite göstergelerini olumsuz etkileyen bir proses olduğu için bu olumsuz tarafların iyileştirilmesine yönelik ön işlemler, kurutma işlemine uyarlanması gereklidir (Bozkir ve Ergün, 2020; Karaboğa ve Yildirim, 2022). Literatürde bu doğrultuda yeni tekniklerin geliştirilmesini amaçlayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Ahmad ve Zaidi, 2020; Carvalho ve ark., 2020). Son yıllarda yapılan çalışmalarda kurutma etkinliğini ve kurutma süresini kısaltmaya yönelik ozmotik dehidrasyon (OD), kimyasal ajan donma-çözülme, hidrokolloid kaplama, sulu etanole daldırma, ultrasonikasyon (US) veya bunların kombinasyonları gibi ön işlemler üzerinde durulmaktadır (Wu ve ark., 2023; Yun ve ark., 2023). OD gıdadan nemin uzaklaştırılmasında az enerji tüketimi ve fazlar arasında değiş tokuş meydana getiren teknolojik ve dinamik bir yöntemdir (Xiaojuan Wang ve ark., 2022). OD işleminde gıda materyalinin hipertonic bir çözeltiye daldırılmasıyla hücre duvarının yarı geçirgen bir zar gibi davranması sağlanmaktadır (Hashemi ve Jafarpour, 2021; Mokhtarian ve ark., 2014). Bu işlemin arkasındaki itici güç, her iki faz arasında meydana gelen ozmotik basınç farkıdır. OD sırasında, iki ana kütle akışı meydana gelmektedir (Macedo ve ark., 2022). Hipertonic çözelti ile hücre içi sıvılar arasındaki konsantrasyon farkıyla dokulardan ozmotik etkiyi yaratan hipertonic çözelti içerisine suyun difüzyonu gerçekleşmektedir. Böylece hücre suyu ve bazı

çözünen bileşenler ozmotik çözelti içerisine sızarken; ozmotik çözelti de hücreler arasına difüze olmaktadır (Hashemi ve Jafarpour, 2021; Hosseinzadeh Samani ve ark., 2021; Nowacka ve ark., 2021; Xiaojuan Wang ve ark., 2022). OD teknolojik ekipmanların ve nitelikli işgücünün kullanılmasını gerektirmediğinden ve oda sıcaklığında düşük maliyetle gerçekleştirilebilen doğal bir işlem olmasından dolayı son yıllarda daha fazla dikkat çekmektedir (Macedo ve ark., 2022).

OD işlemini takiben yapılan kurutma ile ürün kalitesinin arttığı ifade edilmektedir (Rahaman ve ark., 2019). Fakat ozmotik uygulama esnasında kütle transferi genellikle yavaş gerçekleşmekte olup kütle aktarım hızını arttırmak amacıyla çalışmalar yapılması ayrı bir önem taşımaktadır (Xiaojuan Wang ve ark., 2022). Bu amaçla uygulama esnasında ya da öncesinde kütle transfer hızını arttırmaya yönelik vurgulu vakum, vurgulu elektrik alan, yüksek hidrostatik basınç, radyasyon, merkezkaç kuvveti, US, mikrodalga, ohmik ısıtma gibi OD ile birlikte kullanılacak çeşitli teknikler geliştirilmiştir (Nowacka ve ark., 2021; Prithani ve Dash, 2020; Xiaojuan Wang ve ark., 2022). Özellikle son zamanlarda OD sırasında kütle transfer hızını en üst düzeye çıkarmak için, OD sürecinin ilk dakikalarında vakum emdirme (VE) uygulaması üzerinde durulmaktadır. Vakum uygulaması ile basınç düşmekte ve böylece gıdanın hücreler arası boşluklarında yer alan gazların hidrodinamik mekanizma ile uzaklaştırılması desteklenmektedir. Atmosfer basıncının yeniden başlamasıyla hipertonic çözelti bu boşlukları doldurmakta ve kütle transferi için uygun alanın artması sağlanmaktadır (Junqueira ve ark., 2021; Le ve Konsue, 2021; Macedo ve ark., 2022). Yanı sıra vakum kombinasyonu ile OD uygulamasının (OD-VE) ayrıca kurutulmuş ürünün besinsel değerini ve fizikokimyasal karakteristiğini koruduğu ifade edilmektedir (Le ve Konsue, 2021). Bu çalışmada konvansiyonel kurutma yöntemiyle kırmızı pancarın kurutulmasında ön işlem olarak OD-VE uygulamasının kütle transferi, kurutma kinetiği ve kurutulmuş pancar dilimlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Pancar dilimlerinin hazırlanması

Taze kırmızı pancarlar Kastamonu ilinde ve yetiştirme döneminde (Ekim, 2022) yerel marketten temin edilmiş; çalışma süresince 4–6°C sıcaklıkta depolanmış ve 1 hafta içinde de analizde kullanılmıştır. Dikkatlice kontrol edildikten sonra renk açısından ağırlıklı olarak kırmızı kabuk, bütünlük açısından zarar görmemiş ve olgunlaşmış olanları çalışma için seçilmiştir. Pancarlar sapları kesilip ve kabukları soyulduktan sonra 5x1x1 cm ebatlarında dilimler şeklinde kesilerek kurutma işlemleri ve analizlere hazırlanmışlardır (Günel, 2022; Kırbas ve ark., 2019).

OD ve OD-VE ön işleminin uygulanması

OD işleminde kullanılacak hipertonic çözelti, %40 ve %60 ($a \text{ h}^{-1}$) konsantrasyonlarında gıda olarak tüketilebilir sükröz ve destile su kullanılarak hazırlanmıştır. Bu konsantrasyonlara yapılan ön denemeler sonucu karar verilmiştir. Buna göre kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış, S1), %40 şeker çözeltisinde OD (S2), %40 şeker çözeltisinde OD + VE (S3), %60 şeker çözeltisinde OD (S4) ve %60 şeker çözeltisinde OD + VE (S5) olmak üzere toplam 5 örnekle çalışılmıştır. Analize hazırlanmış kırmızı pancar dilimleri, oda sıcaklığında belirlenen konsantrasyonlarda ozmotik çözelti içeren beherlere örnek/çözelti oranı 1:10 ($a \text{ h}^{-1}$) olacak şekilde aktarılmıştır. Kontrol örneği hariç tüm örneklerde OD işlemi 180 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Vakum uygulamasının yapıldığı örneklere OD işleminin ilk 20 dakikası süresince 200 mbar basınç altında vakum emdirme yapılmıştır. Dehidrasyon işleminin homojen şekilde gerçekleşebilmesi için her 30 dakikada bir ozmotik çözelti karıştırılmıştır. Kırmızı pancar dilimleri dehidrasyon süresi bitiminde çözeltiden alınarak üzerlerinden ozmotik çözeltinin uzaklaştırılması amacıyla absorbant bir kağıt ile kurulandıktan sonra tartılmıştır (Macedo ve ark., 2022).

Sıcak havada kurutma

Ön işlem uygulanan ve uygulanmayan (kontrol)

örnekler laboratuvar ortamında fanlı hava sirkülasyonlu etüv (MiproLab, Türkiye) kullanılarak konvansiyonel olarak kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla örneklerin nem içerikleri %8'in altına düşene kadar atmosferik basınç altında 60 °C'de kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kütle transfer hesaplamaları

Kırmızı pancar örneklerinin OD ön işlemleri sırasındaki kütle transferi olgusu, su kaybı (SK), kuru madde kazanımı (KK) ve ağırlık kaybı (AK) parametreleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Nem içeriği, örneklerin etüvde 105°C'de sabit bir ağırlığa ulaşılan kadar kurutulmasıyla gravimetrik olarak belirlenmiştir. Örneklerin SK, KK ve AK parametrelerinin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır (Bozkir ve Ergün, 2020):

$$SK = \frac{m_i Z_i - m_f Z_f}{m_i} * 100 \quad (1)$$

$$KK = \frac{m_i S_i - m_f S_f}{m_i} * 100 \quad (2)$$

$$AK = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (3)$$

Burada m_i ve m_f örneklerin başlangıç ve son ağırlıklarıdır (g); z_i ve z_f , suyun ilk ve son kütle fraksiyonlarıdır (g su g numune⁻¹); ve s_i ve s_f , toplam katıların (g toplam katı g numune⁻¹) ilk ve son kütle fraksiyonlarıdır.

Kurutma karakteristikleri

Nem oranı

Kurutma kinetiği, kurutma işlemindeki değişimi analiz etmek için zamanla nem oranının (MR) değişimini kullanmakta olup kuruyan örneklerin herhangi bir andaki nem oranı aşağıda verilen eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Elhussein ve Şahin, 2018; Li ve ark., 2020):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

Burada M_t , t anındaki nem içeriğini ve M_e denge nem içeriğini ifade ederken; M_0 başlangıçtaki nem içeriğini ifade etmektedir. Denge nem içeriği, örneklerin 105°C'ye ayarlanmış fanlı etüv kullanılarak sabit ağırlığa kadar kurutulmasıyla elde edilmiştir.

Kurutma oranı

Kurutma hızı (DR) kullanılarak Eşitlik 5 kullanılarak

hesaplanmıştır.

$$DR = \frac{M_{t1} - M_{t2}}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

Burada t_1 ve t_2 sırasıyla kuruma süresidir (dak), DR t_1 ve t_2 arasındaki kuruma hızıdır (g g dak⁻¹) ve M_{t1} ve M_{t2} kuru bazdaki nem içeriğidir (g g⁻¹). Kuru bazda nem içeriği Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{W_t - G}{G} \quad (6)$$

Burada W_t , herhangi bir andaki toplam kütle (g) ve G , kuru madde kütesidir (g).

Kırmızı pancar örneklerinin kurutma işlemi sırasındaki nem kaybını açıklamak için; yaygın olarak kullanılan Newton (7), Page (8), Modified Page (9), Logarithmic (10), Henderson and Pabis (11), Wang and Singh (12), Two Term (13) ve Diffusion Approach (14) olmak üzere 8 adet ince-tabaka kurutma matematiksel model kurutma eğrilerine uygulanmıştır.

$$MR = \exp(-kt) \quad (7)$$

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (8)$$

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (9)$$

$$MR = a \exp(-kt) + b \quad (10)$$

$$MR = a \exp(-kt) \quad (11)$$

$$MR = 1 + at + bt^2 \quad (12)$$

$$MR = a_1 \exp(-k_1 t) + a_2 \exp(-k_2 t) \quad (13)$$

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) \quad (14)$$

Kırmızı pancar örneklerinin kurutma eğrilerine uygulanan modellerin uyumluluğunun belirlenmesinde istatistiksel parametreler olan belirleme katsayısı (R^2), indirgenmiş ki-kare (χ^2) ve ortalama karesel hata (RMSE) kullanılmıştır. R^2 , χ^2 ve RMSE, sırasıyla Eşitlik 15, 16 ve 17 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR)^2} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (16)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

Burada $MR_{exp,i}$, test için deneysel olarak boyutsuz nem oranını; $MR_{pre,i}$, tahmini boyutsuz nem oranını; N , gözlem sayısını ve z model sabitini ifade etmektedir. En düşük χ^2 ve RMSE değeri ile en yüksek R^2 değerlerine sahip olan model, kurutma davranışını en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir.

Renk ölçümü

Kırmızı pancar örneklerinin renk değerleri, beyaz ve seramik plakalar ile öncesinde kalibre edilen bir kolorimetre (Konica Minolta CM-5, Osaka, Japan) kullanılarak ölçülmüştür. CIELAB grafiği L^* , a^* , b^* renk değerlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Macedo ve ark., 2022). Uygulanan OD işleminin renk değişimi üzerinde etkisini tanımlamak için toplam renk farkı (ΔE) Eşitlik 18 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (18)$$

Büzülme oranı (S_R)

Kurutulmuş kırmızı pancar örneklerinin S_R değerleri Eşitlik 19 kullanılarak hesaplanmıştır. Taze ve kurutulmuş örneklerinin her bir ekseninin (x, y ve z) kenarları, bir dijital kumpas ($\pm 0,01$ mm) (Western, DC-60 modeli, Zhejiang, Çin) kullanılarak en az 5 ölçüm yapmak suretiyle belirlenmiştir (Macedo ve ark., 2022; Wu ve ark., 2023).

$$S_R(\%) = \frac{V_t - V_0}{V_0} \times 100 \quad (19)$$

Burada V_0 ve V_t kırmızı pancar örneklerinin sırasıyla kurutma öncesi ve sonrası hacimlerini göstermektedir.

Toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite

OD ve OD-VE ön işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış kuru kırmızı pancar örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitenin belirlenmesinde Tekin ve Başlar (2018) tarafından verilen ekstraksiyon yönteminden yararlanılmıştır. Ekstraksiyon amacıyla 5 g örnek, 1:10 oranında metanol-su (80:10, h⁻¹) çözeltisi ile karıştırılarak ultra-Turrax (IKA, T18 Basic, Almanya) ile 1500 rpm hızında 5 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Ardından örneklerdeki aktif bileşenlerin çözeltiye geçebilmesi için 2 saat boyunca çalkalama işlemi uygulanmıştır. Çalkalama işlemini takiben gerçekleştirilen santrifüj işleminde (4000 rpm'de 10 dakika, Nüve NF 800, Türkiye) elde edilen süpernatant filtre edildikten sonra toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite için kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde miktarı, Na₂CO₃'ün fenolik

bileşikler varlığında fenol ayracının indirgenmesi esasına dayanan Folin-Ciocalteu yöntemine göre tespit edilmiştir. Bu amaçla öncelikle 5 mL ekstrakt 2.5 mL 0.2 N Folin-Ciocalteu ayracı ve 2 mL %35 konsantrasyonda Na₂CO₃ çözeltisi ile karıştırılarak 30 sn süre ile vorteksledikten, sonrasında oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dakika inkübe edilmiş ve inkübasyon bitiminde ivedilikle spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800, Japonya) 760 nm dalga boyunda absorpsiyon ölçümü yapılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı, farklı konsantrasyonlarda standart galik asit çözeltisi (5-50 mg L⁻¹) kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi ($R^2=0.998$) ile hesaplanmış ve sonuçlar mg GAE g⁻¹ olarak verilmiştir.

Kurutulmuş kırmızı pancar örneklerinin antioksidan kapasiteleri, serbest bir radikal olan 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, 0.1 mL ekstrakt üzerine 4.9 mL 0.1 mM metanollü DPPH çözeltisi eklenmiş ve 30 saniye süreyle vorteksledikten sonra karışım oda sıcaklığında 30 dakika süreyle karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon süresi sonunda spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda absorpsiyon ölçümü gerçekleştirilmiştir (Abs₅₁₇^{örnek}) (Singh ve ark., 2002). Şahit olarak pancar numuneleri yerine 0.1 mL metanol içeren aynı aşamaların yapıldığı örnek hazırlanmıştır (Abs₅₁₇^{şahit}). Sonuçlar Eşitlik 20 kullanılarak hesaplanmış ve % inhibisyon olarak verilmiştir.

$$\% \text{ inhibisyon} = \frac{\text{Abs}_{517}^{\text{şahit}} - \text{Abs}_{517}^{\text{örnek}}}{\text{Abs}_{517}^{\text{şahit}}} \times 100 \quad (20)$$

İstatistiksel analiz

Uygulanan tüm ön işlemler ve analizler 2 tekerrürlü ve 2 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. Analizlerden elde edilen veriler SPSS istatistiksel paket programı (21.0 Versiyonu, SPSS Inc., Chicago) kullanımıyla varyans analizine (ANOVA), ardından %95 güven aralığında Duncan testine tabi tutulmuştur. Matematiksel modellerin deneysel verilere uyarlanmasında ise Sigma Plot programı (versiyon 10.0) lineer olmayan regresyon analizi kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

OD, OD-VE ön işleminin kütle transferi üzerine etkisi

Farklı konsantrasyonlarda OD ortamında vakum uygulanan ve uygulanmayan OD ön işleminin kırmızı pancarda neden olduğu kütle transferi sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. OD-VE (S3 ve S5) işlemi uygulanmış örnekler, sadece OD (S2 ve S4) uygulanmış örneklerle kıyasla daha yüksek *KK* göstermiştir ($p < 0.05$). Bu sonucun vakumun kütle transferini artırmasına dayandığı ifade edilmiştir (Junqueira ve ark., 2021; Macedo ve ark., 2022). Vakum ön uygulaması hücreler arası boşluklardaki gazı dokulardan uzaklaştırmış ve atmosferik koşula geldiği anda sükröz çözeltisi gıda matrisindeki

gözeneklere giriş yapmıştır. Bu da gıda ve ozmotik çözelti arasındaki açıktaki kalan alanı artırarak kütle transfer hızının artmasına yol açmıştır (Sharma ve Dash, 2019). Beklenildiği gibi en düşük *KK* değerleri %40 şeker çözeltisi ortamında vakumsuz OD uygulanan örnekte tespit edilmiştir. S2 ve S4 örneklerinde ozmotik çözeltinin konsantrasyonuna bağlı olarak katı madde kazanımında artış olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde Garcia-Noguera ve ark. (2010) çalışmalarında, katı madde kazanımındaki artışın uygulamada kullanılan çözeltinin konsantrasyonundaki artış ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 1. OD ve OD-VE ön işleminin su kaybı (*SK*), katı madde kazanımı (*KK*) ve ağırlık kaybı (*AK*) parametreleri üzerine etkisi
Table 1. Effect of OD and OD-VI pretreatment on water loss (*WL*), solids gain (*SG*) and weight reduction (*WR*) parameters

OD ortamı OD conditions	<i>SK</i> (%)* <i>WL</i> (%)	<i>KK</i> (%) <i>SG</i> (%)	<i>AK</i> (%) <i>WR</i> (%)
S2	15.03±1.18 ^b	-0.32±0.23 ^c	22.64±1.39 ^{ab}
S3	12.06±0.59 ^c	3.01±0.87 ^{ab}	16.20±1.21 ^b
S4	24.61±0.91 ^a	1.29±1.09 ^{bc}	30.97±1.81 ^a
S5	23.43±2.06 ^a	4.44±1.12 ^a	26.42±3.02 ^a

^{a-d} Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0.05$). S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE.

^{a-d} Different letters in the same column are statistically significant ($P < 0.05$). S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; S5, OD + VI in 60% sugar solution.

Örneklerin *SK* değerleri incelendiğinde vakum uygulamasının örnekler üzerinde artırıcı etkisinin olmadığı; aksine vakum uygulamasının *SK* değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Benzer sonuç Junqueira ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da gözlenmiş olup bu sonucun düşük gözenekli sebzelerde bulunan sıkı/yoğun doku yapısı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. %60 konsantrasyona sahip OD ortamında vakum uygulamasının örneklerin *SK* değerlerinde istatistiksel bir fark oluşturmadığı gözlenmiştir ($p > 0.05$). Kejing An ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada atmosferik koşullarda yapılan OD ön işleme kıyasla vakum altında yapılan OD uygulamasının örneklerin *SK* değerlerinde çok az bir artışa neden olduğu ve hatta 70 °Brix değerine sahip hipertonic çözeltideki *SK*’nın istatistiki olarak önemli olmadığı ifade edilmiştir. Hipertonic çözeltinin konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak çözelti viskozitesinin arttığı, yüksek viskozitenin de

SK için gerçekleşen kütle transferinde bir direnç meydana getirdiği ve hidrodinamik kütle transferini arttırdığı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. S2 ve S4 örnekleri değerlendirildiğinde dehidrasyonda kullanılan hipertonic çözelti konsantrasyonuna bağlı olarak *KK* değerlerine paralel şekilde *SK* değerinde de artış olduğu belirlenmiştir. Örneklerde artan *SK* değerinin, ozmotik çözelti içerisinde çözünebilir toplam kuru madde konsantrasyonunun artışıyla gerçekleşen yüksek ozmotik basınca bağlı olduğu literatürde bildirilmiştir (Kejing An ve ark., 2013; Rodrigues ve ark., 2009).

Örneklerin *AK* verileri *SK* verileri ile uyumlu olacak şekilde belirlenmiştir. Ağırlık kaybının en fazla (%30.97) gözlemlendiği örnek su kaybının en fazla olduğu örneklerden biri olan S4 örneğinde; en az (%16.2) olduğu ise su kaybının en az olduğu S3 örneğinde belirlenmiştir.

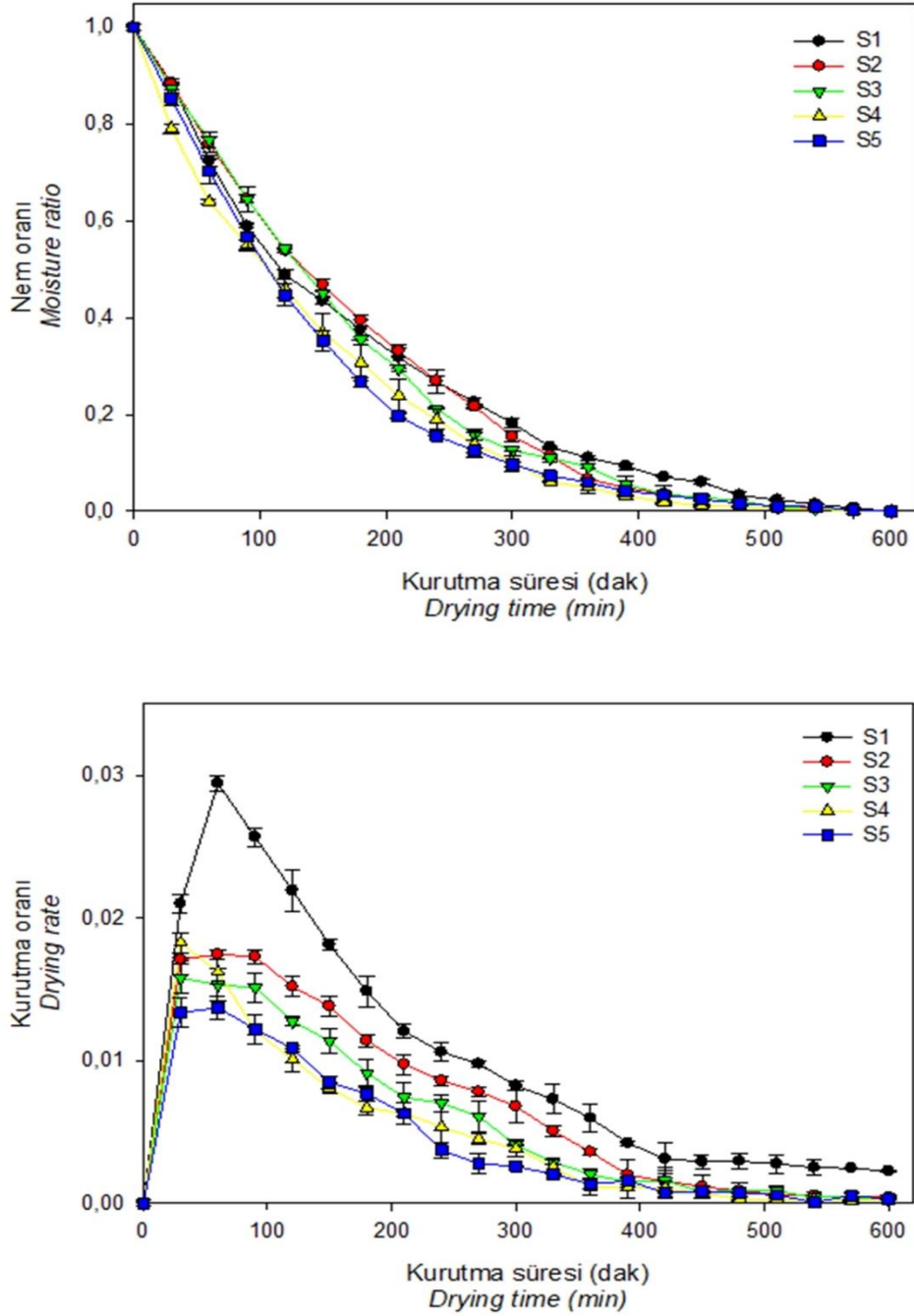
Vakum uygulamasının örneklerin kurutma kinetiği

parametrelerinde *KK* üzerinde *SK* değerine göre daha anlamlı bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum vakum emdirmenin su ve çözünen maddelerin akışı üzerindeki etki mekanizmasının farklı şekilde gerçekleşmesi ile ilişkilidir. *SK*, gıda materyali ve ozmotik çözelti arasındaki basınç gradyenleri tarafından teşvik edilen temel kinetik parametresidir. Ancak *KK* daha çok gıda dokularının mikro yapısına bağlıdır ve her ikisi de hipertonic çözeltinin vizkozitesi ile sınırlandırılmaktadır. VE ozmotik basınç gradyenleri üzerinde etki göstermemekte fakat büyük oranda gıda dokusunun yapısını değiştirmekte böylece çözünmüş şeker ve sıvı difüzyonunun artmasında rol oynamaktadır. Ayrıca *KK* ve *SK* örneklerin gözenekli yapısından da etkilenmektedir. Bundan dolayı OD esnasında uygun bir *KK/SK* elde edebilmek için vakum, çözelti konsantrasyonu ve gıdanın biyolojik yapısı göz önünde bulundurulmalıdır (Kejing An ve ark., 2013).

Pancar örneklerinin sıcak havada kurutulması

Çalışmada kullanılan tüm örneklerin nem ve kurutma oranları Şekil 1'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm örneklerin kuruma hızı kurutma işleminin başlangıç aşamasında ürün sıcaklığındaki artış ile hızla artmış, tepe noktasına ulaştıktan sonra ise kademeli bir azalma eğilimi sergilemiştir. Maksimum değere ulaştıktan sonra kuruma hızının azalmasının nedeni, örneklerin çok fazla serbest su kaybetmesinden sonra bağlı suyu uzaklaştırmak için daha fazla enerji harcaması ve dolayısıyla hızın yavaşlamasıdır. Sıcak havanın etkisi nedeniyle, iç nem zamanla yüzeye yeterince transfer olamamakta ve materyalin içindeki nemin difüzyon hızı, yüzeyin buharlaşma hızından daha küçük olduğundan materyal sabit hızda kuruyamamaktadır. Bazı çalışmalarda benzer kuruma hızı davranışı bildirilmiştir (K. An ve ark., 2019; X. Wang ve ark., 2019). Beklenildiği gibi ön işlem uygulanmasıyla

kurutma işleminin hızlandığı gözlenmiştir. Kurutma işleminin başlangıcında kurumanın en hızlı gerçekleştiği örnek %60 şeker ortamında vakum emdirmeli OD ön işlemi uygulanan S5 örneği olmuştur ($p < 0.05$). Kontrol örneğinin (S1) nem içeriğinin %8'in altına ulaşması için geçen süre 420 dakika olarak belirlenmiş olup OD ön işlemi kurutma süresinin önemli bir şekilde kısalmasını sağlamış, S2, S3, S4 ve S5 örnekleri için kurutma süresi sırasıyla 300, 270, 240 ve 210 dakika olarak tespit edilmiştir. OD ile kombine bir şekilde VE ön işlemi kullanılmasının kurutmada hedef nem içeriğine ulaşılması için gerekli olan süreyi kısalttığı tespit edilmiştir. Sıcak havayla kurutma sırasında, yüzeydeki nem uzaklaştığında, dokuların içindeki su moleküllerinin sıcak hava ile taşınabilmesi için yüzeye göç etmesi gerekmektedir. Nem göçüyle beraber dokudaki çözünür maddeler (karbonhidratlar ve diğerleri) yüzeye taşıdığından numune yüzeyi zenginleşmekte; bu da iç dokularından suyun uzaklaştırılmasına karşı daha büyük bir direnç sağlamaktadır. Literatürde vakum işleminin dokuların hücreler arası boşlukları genişlettiği, bunun da çözünür katı tabakadaki tıkanıkları azaltabileceğinin ve sonuç olarak VE-OD uygulanmış örneklerde nemin daha hızlı salınacağı belirtilmiştir (Xiaojuan Wang ve ark., 2022). Janowicz ve ark. (2021) tarafından da vakum uygulamasıyla yapılan OD işleminin atmosferik koşullarda yapılan OD işleme kıyasla denge nem içeriğine ulaşmada kurutma süresini istatistiki olarak anlamlı şekilde kısalttığı belirtilmiştir. Aynı şekilde Şahin ve Öztürk (2016) tarafından incirlerin kurutulması üzerine gerçekleştirilen çalışmada OD işleminin vakum ortamında gerçekleştirilmesiyle kurutma süresinin önemli bir şekilde kısaldığı, ön işlemin kabukta meydana gelen mikro kabuklar ve mumsu tabakaları uzaklaştırması sonucu kurumanın kolaylaştığını bildirmişlerdir.



Şekil 1. Kontrol ve OD ön işlemleri uygulanmış pancar dilimlerinin kurutma süresince nem ve kurutma oranındaki değişim (S1, kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış); S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE)

Figure 1. Change in moisture and drying rate of control and OD pretreated beet slices during drying (S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; and S5, OD + VI in 60% sugar solution)

Kurutma kinetiği

Pancar örneklerinin kurutma karakteristiğini tanımlamak için elde edilen deneysel veriler sekiz farklı modele uyarlanmış ve elde edilen çıktılar Çizelge 2'de verilmiştir. R^2 , χ^2 ve $RMSE$ değerleri hesaplanarak oluşturulan modellerin uyumluluğuna karar vermek için kullanılmıştır. Pancar örneklerinin kurutulmasının tahmininde, modellerden elde edilen yüksek R^2 (>0.95), düşük χ^2 (en yüksek 2.731×10^{-3}) ve $RMSE$ (<0.05) değerleri uygulanan bütün

matematiksel modellerin pancar örneklerinin kurutma davranışına uyumlu olduğunu ifade etmektedir. Ancak R^2 , χ^2 ve $RMSE$ değerleri tek tek incelendiğinde Page modelinin kontrol örneği hariç bütün örneklerin kurutma davranışını tanımlayan en iyi model olduğu söylenebilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde nar taneleri (Horuz ve Maskan, 2013), şeftali dilimleri (Zhu ve Shen, 2014), sarımsak püresinin (İlter ve ark., 2018), patates dilimleri (Rojas ve Augusto, 2018), kırmızı pancar

Çizelge 2. Ön işlem uygulanmamış (kontrol) ve OD ön işlemleri uygulanmış kırmızı pancarın kurutulması için 8 adet ince-tabaka kurutma matematiksel modellerinin parametreleri ve istatistiksel parametreler

Table 2. Parameters of 8 thin layer drying mathematical models for drying unpretreated (control) and OD pretreated red beet and statistical parameters

Örnek Sample	Model Model	R^2	RMSE	$\chi^2(10^{-3})$	Model sabitleri Model constants
S1	Newton	0.9946	0.021	0.482	$k=0.0058$
	Page	0.9969	0.016	0.317	$k=0.0036; n=1.0844$
	Modified Page	0.9965	0.017	0.316	$k=0.0057; n=1.0858$
	Logarithmic	0.9949	0.019	0.457	$k=0.0059; a=1.0265; b=7.29 \times 10^{-13}$
	Henderson and Pabis	0.9952	0.019	0.433	$k=0.0049; a=1.0261$
	Wang and Singh	0.9808	0.039	1.719	$a=-0.004; b=4.11 \times 10^{-6}$
	Two Term	0.9946	0.019	0.484	$k_1=0.0059; k_2=0.0059; a_1=0.5458; a_2=0.4808$
	Diffusion Approach	0.998	0.013	0.183	$k=0.0051; a=1.0495; b=0.4127$
S2	Newton	0.9827	0.041	1.731	$k=0.0058$
	Page	0.9982	0.017	0.355	$k=0.0014; n=1.2581$
	Modified Page	0.9962	0.018	0.384	$k=0.0055; n=1.2592$
	Logarithmic	0.9849	0.036	1.515	$k=0.0061; a=1.0597; b=9.45 \times 10^{-13}$
	Henderson and Pabis	0.9857	0.036	1.435	$k=0.0056; a=1.0547$
	Wang and Singh	0.997	0.016	0.296	$a=-0.004; b=4.03 \times 10^{-6}$
	Two Term	0.9840	0.036	1.605	$k_1=0.0061; k_2=0.0063; a_1=1.0597; a_2=0.4059$
	Diffusion Approach	0.9888	0.031	1.118	$k=0.0064; a=1.121; b=0.4707$
S3	Newton	0.9814	0.038	1.558	$k=0.006$
	Page	0.9988	0.009	0.119	$k=0.0015; n=1.2766$
	Modified Page	0.9988	0.01	0.121	$k=0.0058; n=1.2773$
	Logarithmic	0.9873	0.039	1.265	$k=0.0061; a=1.065; b=8.34 \times 10^{-13}$
	Henderson and Pabis	0.988	0.032	1.198	$k=0.0061; a=1.006$
	Wang and Singh	0.9932	0.025	0.679	$a=-0.0042; b=4.33 \times 10^{-6}$
	Two Term	0.9866	0.033	1.339	$k_1=0.0064; k_2=0.0063; a_1=1.065; a_2=0.4077$
	Diffusion Approach	0.9922	0.026	0.775	$k=0.0068; a=1.1373; b=0.4671$
S4	Newton	0.9938	0.023	0.535	$k=0.0071$
	Page	0.997	0.018	0.431	$k=0.0048; n=1.0761$
	Modified Page	0.9961	0.019	0.435	$k=0.007; n=1.0763$
	Logarithmic	0.9932	0.022	0.589	$k=0.0072; a=1.0061; b=6.84 \times 10^{-13}$
	Henderson and Pabis	0.9935	0.022	0.558	$k=0.0059; a=1.0081$
	Wang and Singh	0.9694	0.049	2.646	$a=-0.0046; b=5.09 \times 10^{-6}$
	Two Term	0.9928	0.022	0.624	$k_1=0.0072; k_2=0.007; a_1=0.5089; a_2=0.4972$
	Diffusion Approach	0.9932	0.022	0.585	$k=0.0072; a=1.014; b=0.6217$
S5	Newton	0.9935	0.024	0.591	$k=0.0072$
	Page	0.9998	0.003	0.018	$k=0.0029; n=1.1761$
	Modified Page	0.9991	0.004	0.022	$k=0.0071; n=1.1769$
	Logarithmic	0.9952	0.019	0.441	$k=0.007; a=1.047; b=5.49 \times 10^{-13}$
	Henderson and Pabis	0.9954	0.019	0.418	$k=0.0075; a=1.0485$
	Wang and Singh	0.9701	0.049	2.738	$a=-0.0046; b=5.21 \times 10^{-6}$
	Two Term	0.9949	0.019	0.467	$k_1=0.0075; k_2=0.0071; a_1=0.8352; a_2=0.2117$
	Diffusion Approach	0.999	0.004	0.018	$k=0.0092; a=1.4936; b=0.6003$

S1, kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış); S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE.

S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; S5, OD + VI in 60% sugar solution.

(Ceclu ve ark., 2016) gibi ürünlerin kurutulmasında da Page modelinin en uygun model olduğu rapor edilmiştir. Kontrol örneğinin kurutma davranışını belirleyen en iyi model ise Diffusion Approach modeli olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinin kurutma davranışındaki farklılık kurutma kinetiği verileri ile de örtüşmektedir. Literatürde kurutma çalışmalarında Diffusion Approach modelin etkinliğinin araştırıldığı ve

hatta uygun bulunduğu çok sayıda çalışma bulunmaktadır (de Freitas ve ark., 2021; Fotiou ve ark., 2023; Mina ve ark., 2022; N. C. Santos ve ark., 2023; Newton Carlos Santos ve ark., 2022; Wu ve ark., 2023)

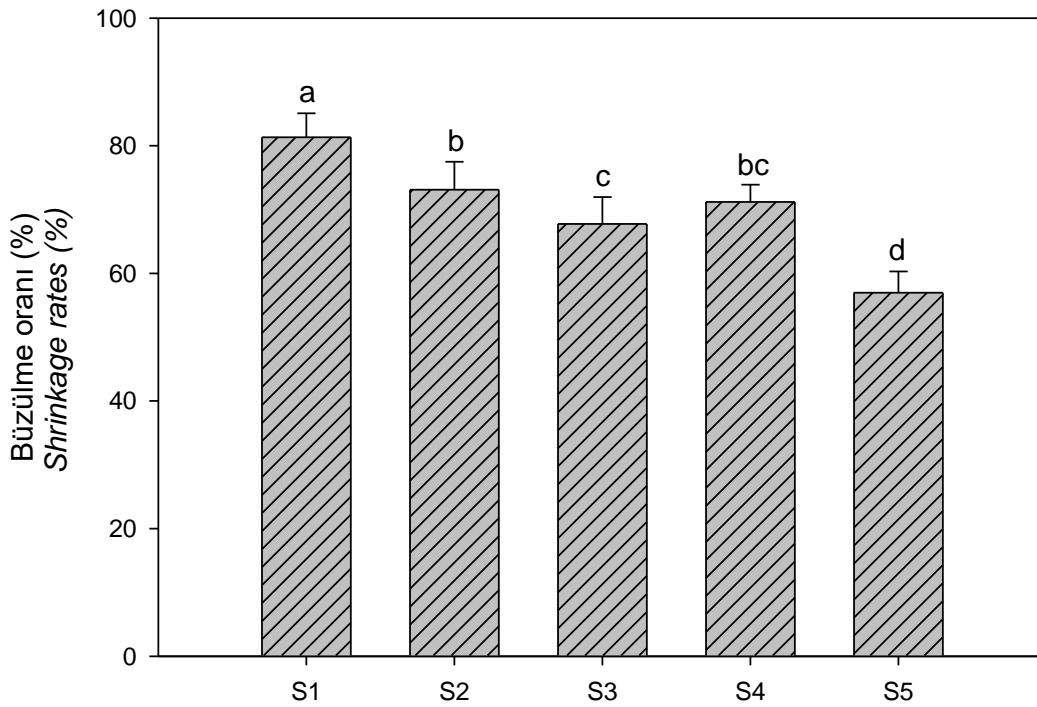
Page modeldeki kütle transferi ile ilişkili kinetik parametrelerden biri olan k değeri 0.0014 ile 0.0048 arasında tespit edilmiştir ve ozmotik dehidrasyonda

şeker konsantrasyonunun artışına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Yine kurutma esnasındaki kütle transferi ile ilgili parametrelerden bir diğeri olan n değeri (Simpson ve ark., 2017), 1.0761 ile 1.2766 aralığında bulunmuştur. Genel bir ifadeyle hesaplanan n değerlerinin 1'den büyük olması süper difüze olma özelliğine işaret etmektedir (Simpson ve ark., 2017). Page modeli ile elde edilen n değeri hipertonic çözeltideki artan şeker konsantrasyonuna bağlı olarak azalma göstermiş, OD işleminin VE uygulamasıyla birlikte yapılması sonucu kısmen artmıştır.

Büzülme oranı

Bitkisel gıdalar kurutma sırasında dokulardan nemin uzaklaştırılmasıyla orantılı olarak büzülme oranları artmaktadır (Richter Reis ve ark., 2022). Büzülme oranı olarak üründen suyun uzaklaştırıldığı andaki oluşan basınç dengesizliğinin neden olduğu kasılma stresinin

sonuçta ortaya çıkardığı hacimsel azalmadır. Kasılma, OD sırasındaki difüzyon katsayısını düşürerek yapıyı değiştirmekte ve bitkisel dokunun gözenekliliğini azaltmaktadır. Bu nedenle büzülme, OD'a maruz kaldığında gıdada meydana gelen temel fiziksel değişikliklerden biridir (Macedo ve ark., 2022). Kuruma hızları düşük olduğunda ürün büzülme ve daha yoğun hale gelmektedir. Kuruma hızı yüksek olduğunda ise büzülme bir dereceye kadar sınırlayan yüzey sertleşmesi meydana gelmektedir (Richter Reis ve ark., 2022). Şekil 2'de pancar örneklerinde meydana gelen büzülme oranları (%) yer almaktadır. Ön işlemin büzülme oranını azalttığı ve OD esnasında VE uygulamasının da bu oranı daha da düşürdüğü tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Şahin ve Öztürk (2016) çalışmalarında sonuçlarımızla benzer şekilde ön işlemin büzülme oranında azalmaya sebep olduğunu saptamışlardır.



Şekil 2. Pancar örneklerinin kurutma sonrası büzülme oranları (%) (S1, kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış); S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE)

Figure 2. Shrinkage rates (%) of beet samples after drying (S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; and S5, OD + VI in 60% sugar solution)

Çalışmamızda en düşük büzülme oranı (%56.98) %60 şeker çözeltisinde vakum altında dehidre edilen S5 örneğinde saptanmıştır. Bu sonuç kurutma kinetiği verileri ile de örtüşmektedir. Hızlı kuruma ile kurumaya eşlik eden kabarma olgusu, gıdada

gözenekli bir doku oluşturmaktadır. Bu da çitir ve narin bir doku oluşumunu sağlayarak ürünün yoğunluğunu ve büzülmesini azaltmaktadır (Nistor ve ark., 2017). Kejing An ve ark. (2013) araştırmalarında en az büzülme oranını 50 °Brix değerinde vakum

altında OD ön işlemleri uyguladıkları örnekte tespit etmişlerdir. Bu durumu ozmoz sırasındaki şeker infüzyonunun kurutma esnasında meydana gelebilecek hücrel hasara karşı, pektin iskeletini desteklemesi ve kaplaması ile açıklamışlardır. Ön işlemlerin kullanımı ve bunların kombinasyonları kullanılan kurutma yönteminden bağımsız olarak kurutulmuş meyve ve sebzelerin büzülmesinde azalmaya neden olmakta ve bu da daha iyi bir ürün kalitesi ile sonuçlanmaktadır (Richter Reis ve ark., 2022).

Renk özellikleri

Gıdaların rengi, tüketicilerin gıdalarda algıladığı ilk özelliktir ve kalite değerlendirmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir (Mocanu ve ark., 2020; Richter Reis ve ark., 2022; Seremet Ceclu ve ark., 2020). Kırmızı pancara rengini veren pigment betalain olarak adlandırılmakta ve bu bileşiğin yaklaşık %75-95'i betaninden oluşmaktadır (Kowalski ve Łechtańska, 2015). Pancarın çeşitleri ve kırmızılıkları betasiyanin ve betaksantin oranlarına bağlıdır (Seremet Ceclu ve ark., 2020). Taze ve kurutulmuş kırmızı pancar örneklerinde meydana gelen renk değişimleri (L^* , a^* ve b^*) ve hesaplanmış ΔE ve C^* değerleri Çizelge 3'te görülmektedir. Maillard reaksiyonu, pigment degradasyonu, enzimatik esmerleşme ve askorbik asit oksidasyonu gibi birçok faktör, kurutma sırasında ürün renginin değişmesine neden olabilmektedir. Bahsi geçen bu faktörlerin kombinasyonu, ürünün nihai renk

özelliklerini belirlemektedir (Richter Reis ve ark., 2022; Xiaojuan Wang ve ark., 2022). Benzer şekilde, OD ve OD-VE süreçlerindeki farklı konsantrasyona sahip ozmotik çözeltiler pancar örneklerinin renk değerlerinde farklılaşmalara neden olmuştur. Çizelgeden de görüldüğü üzere taze kırmızı pancarın L^* , a^* , b^* ve C^* değeri sırasıyla 23.96, 24.39, 9.86 ve 25.91 olarak belirlenmiş olup kurutma işlemi ile birlikte renk değerlerinde azalma meydana gelmiştir ($P<0.05$). Uygulanan OD ön işlemi S4 örneği hariç kontrol örneğine kıyasla L^* değerinin daha fazla azalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte OD'nun VE işlemi ile birlikte gerçekleştirilmesiyle L^* değerlerinde daha fazla azalma gözlenmiştir. Her iki konsantrasyonda da OD'na VE işleminin dahil edilmesi örneklerin parlaklığının azalmasında rol oynamıştır. L^* değeri için ortaya çıkan değişimin benzeri C^* parametresi için de gözlenmiştir. Kırmızı rengi ifade eden a^* değerinin hem OD çözelti konsantrasyonunun artışı hem de dehidrasyon işleminin vakum ortamında yapılmasıyla artış gösterdiği saptanmıştır ($p<0.05$). OD-VE ön işleminin kısmen kırmızı pancarın doğal kırmızı rengini korumada etkili bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Sarı rengin göstergesi olan b^* değerinin ise kurutma işlemi ile birlikte azalma gösterdiği tespit edilmiş olup aynı zamanda OD ve OD-VE işlemlerinin azalma hızını arttırdığı gözlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 3. Taze, ön işlem uygulanmamış (kontrol) ve OD ön işlemi uygulanmış kırmızı pancarın renk değerleri

Table 3. Color values of fresh, untreated (control) and OD pretreated red beet

Örnek Sample	L^*	a^*	b^*	ΔE	C^*
Taze Fresh	23.96±0.59 ^a	24.39±0.42 ^a	9.86±0.63 ^a	-	25.91±0.57 ^a
S1	21.65±0.79 ^b	11.66±0.19 ^e	3.63±0.61 ^b	14.57±0.27 ^a	21.91±0.91 ^b
S2	20.21±0.19 ^c	12.27±0.83 ^e	3.39±0.39 ^{bc}	14.12±0.64 ^{ab}	20.55±0.22 ^c
S3	19.78±0.54 ^c	13.25±0.19 ^d	2.6±0.28 ^{cd}	13.97±0.68 ^{ab}	19.95±0.56 ^c
S4	22.17±0.46 ^b	14.01±0.48 ^c	1.84±0.5 ^{de}	13.29±0.53 ^{bc}	22.25±0.48 ^b
S5	19.67±1.56 ^c	16.39±0.32 ^b	1.34±0.1 ^e	12.49±0.61 ^c	19.71±1.56 ^c

^{a-d} Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.05$). S1, kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış); S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE.

^{a-d} Different letters in the same column are statistically significant ($P < 0.05$). S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; S5, OD + VI in 60% sugar solution.

Bu sonuç doğrudan kurutma işleminin kırmızı pancarın rengini sarı-kahverengiye doğru değiştirdiğini göstermekte; öte yandan VE ve OD ön işlemlerinin kurutma esnasında gerçekleşen esmerleşme reaksiyonlarına yön veren enzimleri inhibe ettiğini ifade etmektedir (K. An ve ark., 2019; X. Wang ve ark., 2019). ΔE işlem görmemiş taze kırmızı pancar örneği baz alınarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda düşük ΔE değeri taze örnek ile işlem görmüş örnek arasında renk farkının az olduğunu ifade etmektedir. OD ön işleminin örneklerde meydana gelen toplam renk farklılığını azalttığını, dahası uygulanan OD-VE ön işleminin bu azalmaya önemli düzeyde katkı sağladığı görülmektedir. En düşük ΔE değeri vakum altında %60 sükröz çözeltisi kullanılarak dehidre edilen S5 örneğinde belirlenmiştir. Sonucumuza paralel olarak. Kejing An ve ark. (2013) çalışmalarında 50 °Brix sükröz çözeltisi kullanarak yaptıkları dehidrasyon işlemindeki örnekte ön işlem görmeden kurutulmuş örneğe göre daha düşük ΔE değeri saptamışlardır. Öte yandan Macedo ve ark. (2022) tarafından da çalışmalarında dehidrasyon esnasında sükröz ve eritritol çözeltileri kullanıldığında vakum uygulamasının ΔE 'yi arttırdığını tespit etmişler; bunu da vakumun kütle transferini artırmasına bağlamışlardır. Çalışmalar arasındaki bu farklılık kullanılan hammadde ve bileşiminin farklı olması, kurutma koşullarındaki farklılık ve dahası OD sırasında kullanılan hipertonic ortam farklılığından kaynaklanmış olabilir.

Toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite

Çizelge 4. Ön işlem uygulanmamış (kontrol) ve OD ön işlemi uygulanmış kırmızı pancar örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi

Table 4. Total phenolic content and antioxidant capacity of untreated (control) and OD pretreated red beet samples

Örnek Sample	Toplam fenolik madde (mg GAE g ⁻¹) Total phenolic substance (mgGAE g ⁻¹)	Antioksidan kapasite (% inhibisyon) Antioxidant capacity (inhibition %)
S1	2.29±0.04 ^c	22.39±3.27 ^b
S2	2.83±0.09 ^b	32.34±1.78 ^a
S3	2.94±0.07 ^b	35.54±1.66 ^a
S4	3.32±0.13 ^a	35.24±2.2 ^a
S5	3.39±0.18 ^a	36.43±2.97 ^a

^{a-d} Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0.05). S1, kontrol (dehidrasyon işlemi uygulanmamış); S2, %40 şeker çözeltisinde OD; S3, %40 şeker çözeltisinde OD + VE; S4, %60 şeker çözeltisinde OD; ve S5, %60 şeker çözeltisinde OD + VE.

^{a-d} Different letters in the same column are statistically significant (P < 0.05). S1, control (not dehydrated); S2, OD in 40% sugar solution; S3, OD + VI in 40% sugar solution; S4, OD in 60% sugar solution; S5, OD + VI in 60% sugar solution.

Çizelge 4'te kontrol ve OD işlemi uygulanmış pancar örneklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite (% inhibisyon) değerleri verilmiştir. Ön işlem uygulanmadan kurutulan kontrol örneğinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 2.29 mg GAE g⁻¹ ve %22.39 olarak belirlenmiştir. Kurutma öncesi uygulanan OD işleminin örneklerin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite değerlerinde önemli artışa neden olduğu tespit edilmiştir (P<0.05). Dahası OD ile birlikte vakum uygulaması yapıldığında vakum uygulaması yapılmayan örneklere kıyasla toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite değerlerinde kısmi bir artış gözlenmiş olup istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05). Buna göre en yüksek toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite değerleri S5 örneğinde tespit edilmiş olup sırasıyla 3.73 mg GAE g⁻¹ ve %36.43'dür. Bulgularımıza benzer şekilde Xiaojuan Wang ve ark. (2022) tarafından da vakum ön işlemi uygulanarak ozmotik dehidrasyona tabi tutulan örnekler ile yalnız OD uygulanan örnekler arasında toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite açısından önemli bir fark tespit edilmediği ifade edilmiştir. Tabloda veriler değerlendirildiğinde genel olarak toplam fenolik madde içeriği değerlerinde saptanan farklılaşmanın antioksidan kapasite değerlerinde tespit edilmediği gözlemlenmektedir. Antioksidan kapasite OD esnasında fenolik ve flavonoid bileşenlerin tutulmasına bağlıdır.

Bazı araştırmacılar, OD'nin nihai ürünün kimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin, OD sırasında değişen ve değişmeyen hücrelerin oranı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir (Calderón-Chiu ve ark., 2019). Bununla birlikte kurutulmuş pancar örneklerinde AK artışının toplam fenolik içeriğindeki artış ile paralel şekilde gerçekleştiğine dair literatürde çalışmalar mevcuttur (Hamid ve Mohamed Nour, 2018; Petruț ve ark., 2018). Ancak aksi şekilde yüksek konsantrasyona sahip hipertonic çözeltide uygulanan OD işleminde örneklerdeki şeker kazanımındaki artışın biyoaktif bileşiklerin tutulmasında ve antioksidan kapasite üzerinde doğrudan etkiye sahip olduğu da literatürde ifade edilmiştir (Le ve Konsue, 2021).

Sonuçlar

Bu çalışmada farklı konsantrasyonda vakum altında veya vakumsuz OD işlemi uygulamasının kırmızı pancarın kütle transferi, kuruma özellikleri ve kinetiği ile ürün kalitesi üzerine etkisi ortaya konmuştur. Çalışma, ön işlem görmemiş ve %40 ve %60 şeker ortamında sadece OD ve OD-VE ön işlemlerinin uygulanmasıyla örnekler arasındaki farklılıkların karşılaştırılmasıyla kuruma kinetiklerinin matematiksel modellemesini içeren yenilikçi bilgiler sunmaktadır. OD-VE ön işleminin kırmızı pancarın kurutulması üzerine etkili olduğu, kurutulmuş örneklerin özelliklerinde değişiklikler meydana getirdiği belirlenmiştir. Dehidrasyon işleminde artan şeker konsantrasyonunun yanında vakum uygulanmasıyla su kaybının ve katı madde kazanımının arttığı ve sonuçta bu artış ile ilişkili şekilde kurutma süresinin anlamlı düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmış kırmızı pancar örneklerinin kurutulmasında kuruma davranışını en iyi tanımlayan modelin Page modeli olduğu; buna karşın kontrol örneğinde ise Diffusion Approach modelin kurutma işlemine en uygun matematiksel model olduğu tespit edilmiştir. OD-VE ön işleminin nihai kurutulmuş kırmızı pancar dilimlerinde renk, mekanik (büzülme) ve biyoaktif özellikler (toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite) açısından iyileşmelere yön verdiği çalışmanın çarpıcı ve arzu edilen sonuçlardan olmuştur.

Ekler

Analizler Kastamonu Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yürütülmüş olup; katkısı olanlara teşekkür ederiz. Bu çalışmanın özeti 5. Uluslararası Gıda, Tarım ve Veteriner Bilimleri Kongresi'nde sunulmuştur.

Beyanlar

Çıkar çatışması: Herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Yazar katkısı: Latife Betül GÜL çalışmayı tasarlayıp, yürütmüş, verileri analiz etmiş ve makaleyi yazmıştır. Osman GÜL verileri incelemiş, değerlendirme yapmış ve makalenin okunması, incelenmesi ve düzeltmelerin yapılmasında görev almıştır.

Kaynaklar

- Ahmad, F., & Zaidi, S. (2020). Osmotic Dehydration and Ultrasound Assisted Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review. *International Journal of Tropical Agriculture*, 38(4), 417-421.
- An, K., Li, H., Zhao, D., Ding, S., Tao, H., & Wang, Z. (2013). Effect of Osmotic Dehydration with Pulsed Vacuum on Hot-Air Drying Kinetics and Quality Attributes of Cherry Tomatoes. *Drying Technology*, 31(6), 698-706. doi:10.1080/07373937.2012.755192
- An, K., Tang, D., Wu, J., Fu, M., Wen, J., Xiao, G., & Xu, Y. (2019). Comparison of pulsed vacuum and ultrasound osmotic dehydration on drying of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles. *Food Sci Nutr*, 7(8), 2537-2545. doi:10.1002/fsn3.1103
- Aydos, M., & Ertaş, N. (2023). Fonksiyonel bisküvi üretiminde farklı yöntemlerle kurutulmuş muşmula (*Mespilus germanica*) meyve tozu kullanımı. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(1), 113-124. doi:10.29050/harranziraat.1177638
- Bozkir, H., & Ergün, A. R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *Lwt*, 131, 109704. doi:10.1016/j.lwt.2020.109704
- Calderón-Chiu, C., Martínez-Sánchez, C. E., Rodríguez-Miranda, J., Juárez-Barrientos, J. M., Carmona-

- García, R., & Herman-Lara, E. (2019). Evaluation of the combined effect of osmotic and Refractance Window drying on the drying kinetics, physical, and phytochemical properties of beet. *Drying Technology*, 38(12), 1663-1675. doi:10.1080/07373937.2019.1655439
- Carvalho, G. R., Rojas, M. L., Silveira, I., & Augusto, P. E. D. (2020). Drying Accelerators to Enhance Processing and Properties: Ethanol, Isopropanol, Acetone and Acetic Acid as Pre-treatments to Convective Drying of Pumpkin. *Food and Bioprocess Technology*, 13(11), 1984-1996. doi:10.1007/s11947-020-02542-6
- Ceclu, L., Berbec (Ctchelanel), A., Nistor, O.-V., & LudmilaRudi. (2016). *Effect of drying conditions on the physical properties of red beetroot samples*. Paper presented at the International Scientific Conference on Microbial Biotechnology (3rd edition), Moldova.
- Ciurzynska, A., Falacinska, J., Kowalska, H., Kowalska, J., Galus, S., Marzec, A., & Domian, E. (2021). The Effect of Pre-Treatment (Blanching, Ultrasound and Freezing) on Quality of Freeze-Dried Red Beets. *Foods*, 10(1). doi:10.3390/foods10010132
- de Freitas, L. D. C., Brandao, S. C. R., Fernandes da Silva, J. H., Sa da Rocha, O. R., & Azoubel, P. M. (2021). Effect of Ethanol and Ultrasound Pretreatments on Pineapple Convective Drying. *Food Technol Biotechnol*, 59(2), 209-215. doi:10.17113/ftb.59.02.21.7045
- Elhussein, E. A. A., & Şahin, S. (2018). Drying behaviour, effective diffusivity and energy of activation of olive leaves dried by microwave, vacuum and oven drying methods. *Heat and Mass Transfer*, 54, 1901-1911. doi:https://doi.org/10.1007/s00231-018-2278-6
- Fotiou, D., Argyropoulos, K., Kolompourda, P., & Goula, A. M. (2023). Valorization of peach peels: preservation with an optimized drying process based on ultrasounds pretreatment with ethanol. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi:10.1007/s13399-023-03753-5
- Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., Weller, C. L., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2010). Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency. *Drying Technology*, 28(2), 294-303. doi:10.1080/07373930903530402
- Günel, Z. (2022). Enrichment of potato slices with vitamins C and D by vacuum impregnation. *Food and Health*, 8(3), 181-192. doi:10.3153/fh22018
- Hamid, M. G., & Mohamed Nour, A. A. A. (2018). Effect of different drying methods on quality attributes of beetroot (*Beta vulgaris*) slices. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 287-298. doi:10.1108/wjstsd-11-2017-0043
- Hashemi, S. M. B., & Jafarpour, D. (2021). Antimicrobial and antioxidant properties of Saturn peach subjected to ultrasound-assisted osmotic dehydration. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2516-2523. doi:10.1007/s11694-021-00842-9
- Horuz, E., & Maskan, M. (2013). Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 285-293. doi:10.1007/s13197-013-1032-9
- Hosseinzadeh Samani, B., Khodadadi, A., Rostami, S., & Lorigooini, Z. (2021). Investigation and optimization of the effect of osmotic-ultrasound drying pretreatment on qualitative properties and process energy consumption of Cornus mas. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5). doi:10.1111/jfpp.15377
- İlter, I., Akyıl, S., Devseren, E., Okut, D., Koç, M., & Kaymak Ertekin, F. (2018). Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 54(7), 2101-2112. doi:10.1007/s00231-018-2294-6
- Janowicz, M., Ciurzynska, A., & Lenart, A. (2021). Effect of Osmotic Pretreatment Combined with Vacuum Impregnation or High Pressure on the Water Diffusion Coefficients of Convection Drying: Case Study on Apples. *Foods*, 10(11). doi:10.3390/foods10112605
- Junqueira, J. R. d. J., Corrêa, J. L. G., Mendonça, K. S. d., Mello Junior, R. E. d., & Souza, A. U. (2021). Modeling mass transfer during osmotic dehydration of different vegetable structures under vacuum conditions. *Food Science and Technology*, 41(2), 439-448. doi:10.1590/fst.02420
- Karaboğa, Z., & Yildirim, A. (2022). Change in some physical characteristics of ultrasound pre-treated corn during hot-air convection and vacuum drying. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(1), 118-132. doi:10.29050/harranziraat.1036363
- Kırbaş, İ., Tuncer, A. D., Şirin, C., & Usta, H. (2019). Modeling and developing a smart interface for various drying methods of pomelo fruit (*Citrus maxima*) peel using machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104928. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104928
- Kowalski, S. J., & Łechtańska, J. M. (2015). Drying of red beetroot after osmotic pretreatment: Kinetics and quality considerations. *Chemical and Process Engineering*, 36(3), 345-354. doi:10.1515/cpe-2015-0024
- Le, D., & Konsue, N. (2021). Mass Transfer Behavior During Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation of "Phulae" Pineapple and the

- Effects on Dried Fruit Quality. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 9(1), 308-319. doi:10.12944/crnfsj.9.1.29
- Li, Y., Wang, X., Wu, Z., Wan, N., & Ming, Y. (2020). Dehydration of hawthorn fruit juices using ultrasound-assisted vacuum drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68. doi:https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105219
- Macedo, L. L., Corrêa, J. L. G., da Silva Araújo, C., & Vimercati, W. C. (2022). Effect of osmotic agent and vacuum application on mass exchange and qualitative parameters of osmotically dehydrated strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7). doi:10.1111/jfpp.16621
- Mina, Z. P., Kaseke, T., Fadji, T., & Fawole, O. A. (2022). Effect of gum Arabic and ethanol pretreatments on drying kinetics and quality attributes of dried carrot slices. *Heliyon*, 8(12). doi:10.1016/j.heliyon.2022.e12037
- Mocanu, G.-D. N., Oana-Viorela, Andronoiu, D. G., Ceclu, L., Gheonealonica, I. D. M., Liliana, Barbu, V. V., & Constantin, O. E. P., Livia (2020). Effects of drying methods on quality parameters of potato and red beetroot purée with *Lactobacillus delbrueckii*. *Journal of Food and Nutrition Research*, 29(1), 23-34.
- Mokhtarian, M., Heydari Majd, M., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Daraei Garmakhany, A., & Rashidzadeh, S. (2014). Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modelling. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(2), 201-214. doi:10.3920/qas2012.0121
- Nistor, O. V., Seremet Ceclu, L., Andronoiu, D. G., Rudi, L., & Botez, E. (2017). Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chem*, 236, 59-67. doi:10.1016/j.foodchem.2017.04.129
- Nowacka, M., Dadan, M., & Tylewicz, U. (2021). Current Applications of Ultrasound in Fruit and Vegetables Osmotic Dehydration Processes. *Applied Sciences*, 11(3). doi:10.3390/app11031269
- Petruț, G., Pop, A., Muste, S., Păucean, A., Vlad, M., Man, S., . . . Mureșan, A. (2018). Impact of thermal treatment on bioactive compounds of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations by hot air drying. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies 2018*, 24(4), 258-262.
- Prithani, R., & Dash, K. K. (2020). Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64. doi:10.1016/j.ifset.2020.102407
- Rahaman, A., Zeng, X. A., Kumari, A., Rafiq, M., Siddeeg, A., Manzoor, M. F., . . . Ahmed, Z. (2019). Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum. *Ultrason Sonochem*, 58, 104643. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104643
- Richter Reis, F., Marques, C., Moraes, A. C. S. d., & Masson, M. L. (2022). Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*, 142. doi:10.1016/j.foodcont.2022.109254
- Rodrigues, S., Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., & Fernandes, F. A. N. (2009). Effect of Immersion Time in Osmosis and Ultrasound on Papaya Cell Structure during Dehydration. *Drying Technology*, 27(2), 220-225. doi:10.1080/07373930802605883
- Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2018). Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 65-75. doi:10.1016/j.ifset.2018.08.005
- Şahin, U., & Öztürk, H. K. (2016). Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 104-111. doi:10.1016/j.ifset.2016.06.003
- Santos, N. C., Almeida, R. L. J., da Silva, G. M., de Alcantara Silva, V. M., de Alcantara Ribeiro, V. H., de Oliveira Brito, A. C., . . . Saraiva, M. M. T. (2023). Impact of pretreatments with ethanol and freezing on drying slice papaya: drying performance and kinetic of ultrasound-assisted extraction of phenolics compounds. *J Sci Food Agric*, 103(1), 125-134. doi:10.1002/jsfa.12119
- Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Monteiro, S. S., Silva, E. T. d. V., Silva, V. M. d. A., André, A. M. M. C. N., . . . Brito, A. C. O. d. (2022). Influence of ethanol and ultrasound on drying, bioactive compounds, and antioxidant activity of strawberries (*Fragaria × ananassa*). *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(7). doi:10.1016/j.jics.2022.100542
- Seremet Ceclu, L., Nistor, O. V., Andronoiu, D. G., Mocanu, G. D., Barbu, V. V., Maidan, A., . . . Botez, E. (2020). Development of several hybrid drying methods used to obtain red beetroot powder. *Food Chem*, 310, 125637. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125637
- Sharma, M., & Dash, K. K. (2019). Effect of ultrasonic vacuum pretreatment on mass transfer kinetics during osmotic dehydration of black jamun fruit. *Ultrason Sonochem*, 58, 104693. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104693
- Simpson, R., Ramírez, C., Nuñez, H., Jaques, A., & Almonacid, S. (2017). Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion

- phenomena in food matrices. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 194-201. doi:10.1016/j.tifs.2017.01.003
- Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 81-86.
- Tekin, Z. H., & Baslar, M. (2018). The effect of ultrasound-assisted vacuum drying on the drying rate and quality of red peppers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 132(2), 1131-1143. doi:10.1007/s10973-018-6991-7
- Wang, X., Feng, Y., Zhou, C., Sun, Y., Wu, B., Yagoub, A. E. A., & Aboagarib, E. A. A. (2019). Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). *Food Chem*, 295, 432-440. doi:10.1016/j.foodchem.2019.05.145
- Zhu, A., & Shen, X. (2014). The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72, 345-351. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.001
- Wang, X., Kahraman, O., & Feng, H. (2022). Impact of Osmotic Dehydration With/Without Vacuum Pretreatment on Apple Slices Fortified With Hypertonic Fruit Juices. *Food and Bioprocess Technology*, 15(7), 1588-1602. doi:10.1007/s11947-022-02834-z
- Wu, X., Zhao, Y., Shi, Q., Liu, J., & Fang, Z. (2023). Effects of ethanol pretreatment on drying kinetics and quality attributes of scallop adductors during heat pump drying. *Drying Technology*, 1-18. doi:10.1080/07373937.2023.2166059
- Yun, S.-M., Kang, M., Park, S. Y., Eun, J.-B., & Chun, H. H. (2023). Combined Pre-treatment of Freeze–Thaw and Ultrasonic-Assisted Aqueous Ethanol for Hot Air Drying of Watery Kimchi Cabbage Waste: Effects on Drying Efficiency, Physicochemical and Microbiological Characteristics, and Microstructure. *Waste and Biomass Valorization*. doi:10.1007/s12649-023-02077-9