



**ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK DEHİDRASYON ÖN İŞLEMİNİN  
BALKABAĞI (*Cucurbita moschata*) KURUTMA KİNETİĞİ VE BAZI  
FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Osman Gül<sup>1</sup>, Nilüfer Açıkgöz<sup>1</sup>, Latife Betül Gül<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye  
<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

Geliş / Received: 06.07.2022; Kabul / Accepted: 21.09.2022; Online baskı / Published online: 05.10.2022

Gül, O., Açıkgöz, N., Gül, L.B. (2022). Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ön işleminin balkabağı (*Cucurbita moschata*) kurutma kinetiği ve bazı fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi. *GIDA* (2022) 47 (5) 874-888 doi: 10.15237/gida.GD22065

Gül, O., Açıkgöz, N., Gül, L.B. (2022). Effect of ultrasound assisted osmotic dehydration pre-treatment on drying kinetics and some functional properties of pumpkin (*Cucurbita moschata*). *GIDA* (2022) 47 (5) 874-888 doi: 10.15237/gida.GD22065

**ÖZ**

Bu çalışmada balkabağının (*Cucurbita moschata*) kurutma kinetiği ve bazı fonksiyonel özellikleri üzerine ultrases destekli ozmotik dehidrasyon (US-OD) ön işleminin etkisi araştırılmıştır. Örnekler 3 farklı konsantrasyonda (%12.5, %25 ve %50) şeker çözeltisi içeren ultrasonik banyo içerisinde kavitasyon işlemi ile (45 kHz, 90 dakika) dehidre edilmiş ve ardından sıcak havada kurutma yöntemi kullanılarak 60°C sıcaklıkta kurutulmuştur. US-OD işlemi ile birlikte en yüksek su kaybı ve katı madde kazanımı %50'lik ozmotik çözelti kullanılarak dehidre edilen örnekte tespit edilmiştir. US-OD işlemi şeker çözeltisi konsantrasyonuna bağlı olarak kurutma süresini kontrol örneğine göre yaklaşık 180 dakika kısaltmıştır. Bununla birlikte ozmotik çözeltinin şeker konsantrasyonuna bağlı olarak rehidrasyon oranında azalma gözlenmiştir. En yüksek toplam fenolik madde miktarı (120.08 mg GAE/100 g kuru ağırlık) ve antioksidan kapasite (%38.21) %50'lik ozmotik çözeltide dehidre edilen ve kurutulan örnekte belirlenmiştir. Elde edilen çıktılar matematiksel modellere uyarlandığında US-OD ön işlemi uygulanmış balkabağının kurutulmasını en iyi tanımlayan modelin Page modeli olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Balkabağı, kurutma, ultrases, ozmotik dehidrasyon

**EFFECT OF ULTRASOUND ASSISTED OSMOTIC DEHYDRATION PRE-TREATMENT ON DRYING KINETICS AND SOME FUNCTIONAL PROPERTIES OF PUMPKIN (*Cucurbita moschata*)**

**ABSTRACT**

In this study, the effect of ultrasound assisted osmotic dehydration (US-OD) pretreatment on drying kinetics and some functional properties of pumpkin (*Cucurbita moschata*) were investigated. The samples were dehydrated by cavitation (45 kHz, 90 minutes) in an ultrasonic bath containing sugar solution with three different concentrations (12.5%, 25% and 50%) and then dried with oven at 60°C. With the US-OD process, the highest water loss and solid gain were detected in the sample

\* Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding author

✉: latife.betul@giresun.edu.tr

☎: (+90) 454 310 1740

☎: (+90) 454 310 1749

Osman Gül, ORCID no: 0000-0003-1620-4246

Nilüfer Açıkgöz, ORCID no: 0000-0002-8473-9560

Latife Betül Gül, ORCID no: 0000-0002-4732-7727

dehydrated using osmotic solution with 50% concentration. Depending on the sugar solution concentration of the US-OD process, the drying time was shortened by approximately 180 min compared to the control sample. However, a decrease in the rehydration rate was observed depending on the sugar concentration of osmotic solution. The highest total phenolic content (120.08 mg GAE/100 g dry weight) and antioxidant capacity (38.21%) were determined in the sample dehydrated in osmotic solution with 50% concentration and dried. When the outputs obtained from the study were adapted to the mathematical models, it was concluded that the best describing model drying of the US-OD pre-treated pumpkin was the Page model.

**Keywords:** Pumpkin, drying, ultrasound, osmotic dehydration

### GİRİŞ

Balkabağı, antioksidan, amino asit, polisakarit, lif ve beta-karoten, vitamin C, E ve B<sub>6</sub> gibi vitaminler ve aynı zamanda potasyum, fosfor, magnezyum, demir ve selenyum gibi mineralleri yüksek oranda bulduran *Cucurbitaceae* familyasına ait bir meyvedir (Jansrimanee ve Lertworasirikul, 2020; Gliemmo vd., 2009; Nawirska vd., 2009). Taze balkabağı toplam kütledeki 2-10 mg/100 g arası karotenoid, 9-10 mg/100 g arası vitamin C ve 1.03-1.06 mg/100 g arası vitamin E yüksek besinsel içeriğini etkileyen önemli faktördür (Nawirska vd., 2009). Kurutma, az miktarda su içeriği ile kararlı ürünler elde etmek için; gıda muhafaza yöntemi olarak endüstriyel boyutta yaygın şekilde kullanılan önemli, temel bir işlemdir (Carvalho vd., 2020). Gıdadan suyun uzaklaştırılmasıyla enzimatik aktivite ve mikrobiyal gelişim inhibe edilmekte, ürünün ağırlığı düşmekte ve aynı zamanda depolama ve nakliye problemleri azalmaktadır (Ahmad ve Zaidi, 2020). Balkabağı dilimleri genellikle konvektif kurutma yoluyla kurutulmaktadır (Nawirska vd., 2009). Konvektif kurutmanın zaman ve enerji tüketen (Carvalho vd., 2020) ayrıca nihai üründe kimyasal (besinsel değer), fiziksel (çözünabilir katı içeriği) ve duyuşal (tekstür, renk, tat, aroma) gibi bazı kalite parametrelerini olumsuz şekilde etkileyen bir işlem olması sebebiyle bu olumsuz tarafları elemine edici alternatif ön işlemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Bozkir ve Ergün, 2020). Kurutma işleminin ve kurutulmuş ürünün nihai özelliklerinin iyileştirilmesi için yeni alternatif teknikler geliştirmeye dayalı çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur (Ahmad ve Zaidi, 2020; Carvalho vd., 2020). Ultrases (US) ve ozmotik dehidrasyon (OD) uygulamaları bu ön işlemlerdendir (Nowacka vd., 2021; Bozkir ve Ergün, 2020) ve kurutma öncesi meyve ve

sebzelelerin besinsel öğelerinin tutulumu için uygulanan modern tekniklerdir (Tayyab Rashid vd., 2020). US ve OD uygulamaları düşük maliyetli ve komplike olmayan işlem olmalarından dolayı diğer işlemlere göre daha fazla dikkat çekmektedir (Ahmad ve Zaidi, 2020; Bozkir ve Ergün, 2020).

OD, gıdanın uygun konsantrasyon bir çözelti ile direkt teması sonucunda dokulardan kısmi suyun uzaklaştırılması işlemidir (Hosseinzadeh Samani vd., 2021; Jansrimanee ve Lertworasirikul, 2020). Bu işlemde meyve veya sebze hiper-tonik bir çözelti içine daldırılarak hücre duvarlarının yarı geçirgen zar gibi davranması sağlanmaktadır (Hashemi ve Jafarpour, 2021; Mokhtarian vd., 2014). Hiper-tonik çözelti ile intraselüler akışkanlar arasında konsantrasyon farkı olması sebebiyle dokulardan ozmotik çözelti içerisine suyun difüzyon hareketi oluşturulmaktadır. Sonuç olarak hücre suyu ve bazı çözünen bileşenler ozmotik çözelti içerisine sızmakta ve aynı zamanda çözgen de hücreler arasına sızmaktadır (Hashemi ve Jafarpour, 2021; Hosseinzadeh Samani vd., 2021; Nowacka vd., 2021). OD sonrası yapılan kurutma işlemiyle gıda ürününün kalitesinin arttığı kanıtlanmıştır (Rahaman vd., 2019). Ancak önemle bahsetmek gerekir ki ozmotik uygulama esnasında kütle transferi genellikle yavaş gerçekleşmektedir (Azarpazhooh vd., 2020; Shekar ve Javadi, 2019). Bu yüzden uygulama süresince veya öncesinde kütle transfer hızını arttırmak için vurgulu vakum, vurgulu elektrik alan, yüksek hidrostatik basınç, radyasyon, merkezkaç kuvveti, ultrases gibi OD ile kombine bir dizi teknik geliştirilmiştir (Nowacka vd., 2021; Azarpazhooh vd., 2020; Prithani ve Dash, 2020).

Ultrases (US), insan kulağının işitme eşiğinden daha yüksek bir frekansa sahip (18 kHz–100

MHz) ses dalgaları tarafından üretilen enerji şeklindedir. Ses dalgaları belirli frekans, uzunluk ve genlik ile karakterize edilmektedir (Nowacka vd., 2021). Gıda işlemede genellikle fiziksel ve kimyasal etkisine bağlı olarak 20 kHz ile 1 MHz dalga boyu aralığında değişen US uygulamaları gerçekleştirilmektedir. US destekli OD işlemi (US-OD) gıda materyali yüzeyindeki ultrasonik etkiyi ve ozmotik basınç etkisini kombine ederek dehidrasyon esnasında kütle aktarımını hızlandırmaktadır (Bchir vd., 2020). US-OD ile sıvı fazda kaviteler oluşmakta ve meydana gelen mikro ajitasyon ile kütle transferinin hızı artmakta ve zar yüzeyinde katı difüzyon kalınlığı azalmaktadır. Katı fazda, alternatif sıkışmalar ve genişlemeler sünger benzeri bir etki ile sonuçlanmakta; böylece katı ortamdan suyun akışını kolaylaştıran mikrokanallar oluşmaktadır (Sakooei-Vayghan vd., 2020). Ayrıca gözeneklerde sıkışan gazın genişmesi ile ozmotik çözelti tarafından doldurulacak boş gözeneklerin oluşmasına yol açmaktadır (Pantelidou vd., 2021).

Metabolitler ve antioksidanlar gibi biyoaktif bileşiklerin ve bazı diğer fitokimyasalların tüketimi insan sağlığı için çok önemlidir (Rahaman vd., 2019). US-OD işlemi düşük enerji maliyeti, ürünlerdeki biyoaktif bileşenlerin muhafazası, proses zamanını ve maliyetini azaltması avantajlarına bağlı olarak gıda muhafazası ve işlenmesinde mükemmel bir yaklaşım olabilmektedir (Bchir vd., 2020). Literatürde çeşitli meyve ve sebzelerin kurutulmasından önce ön işlem olarak US-OD'nun su ve kuru madde kaybının kinetiği üzerine etkisinin araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur (Rahaman vd., 2019; Goula vd., 2017; Corrêa vd., 2015). Ancak bunlar arasında US-OD uygulaması ile kurutma sonrası üründe besinsel kalite ve fonksiyonel özelliklerin incelendiği sınırlı sayıda araştırma mevcuttur (Hashemi ve Jafarpour, 2021; Rahaman vd., 2019). Dolayısıyla bu çalışmada kurutma öncesi balkabağında US-OD uygulamasının ozmotik difüzyon parametreleri (su kaybı ve şeker kazanımı), kurutma kinetiği ve biyoaktif bileşiklerin tutulumu üzerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Kimyasallar

Bu çalışmada kullanılan Folin-Ciocalteu (FC) ayracı, Gallik asit, 2,2-defenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) ve diğer tüm kimyasallar ve çözümler Sigma-Aldrich (St. Louis, MO) ve Merck (Darmstadt, Germany) firmalarından temin edilmiştir.

### Balkabağı örneklerinin hazırlanması

Taze balkabağı Kastamonu ilinde hasat zamanından hemen sonra (Ekim, 2021) yerel marketten temin edilmiştir. Dikkatlice kontrol edildikten sonra yıkanmış, tohumlarından ayıklanmış ve dilimlere ayrılarak kabukları soyulmuştur. Kabuk kısmına yakın yerler ise dilimlerden ayrılmıştır. Balkabağı dilimleri 0.5 mm kalınlığında ve 30 mm çapında silindirik dilimler şeklinde analize hazırlanmıştır. Örneklerde renk değişimlerinin önüne geçebilmek için ağzı kapalı bir kavanoz içerisinde +4°C'de saklanmıştır.

### US-OD ön işleminin uygulanması

OD işlemi için kullanılacak çözelti, gıda olarak tüketilebilir sükröz ve destile su kullanılarak %12.5, %25 ve %50 (a/h) konsantrasyonlarında hazırlanmıştır. Çalışılan bu konsantrasyonlara ön denemeler sonucu karar verilmiştir. Hazırlanan balkabağı dilimleri, sıcaklığı 30°C'ye ayarlanmış belirlenen konsantrasyonlarda ozmotik çözelti içeren beherlere çözelti:katı oranı 4:1 (h/a) olacak şekilde aktarılmıştır (Bozkir vd., 2019). Kontrol örneği olarak sadece destile su kullanılmıştır. Sonikasyon işlemi 45 kHz frekansında 90 dakika süreyle ultrasonik banyo (Isolab) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. US işlemi süresince sıcaklık termometre ile kontrol edilmiştir. Ozmotik çözelti homojen şekilde dehidrasyon işlemi olması amacıyla her 2 dakikada bir karıştırılmıştır. Dehidrasyon süresince her 15 dakikada bir ve dehidrasyon sonunda balkabağı dilimleri çözülden çıkarılmış ve ozmotik çözeltinin örneklerin üzerinden uzaklaştırılması için absorbant bir kağıt ile nazikçe kurulanmış ve tartılmıştır (Sakooei-Vayghan vd., 2020).

OD esnasında örnekler ve sükröz çözeltisi arasındaki kütle transferi hesaplamaları su kaybı

(*SK*), kuru madde kazanımı (*KK*) ve ağırlık kaybı (*AK*) parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *SK*'nin hesaplanabilmesi için ön işlemden sonra örnekler tartılmıştır. *KK* ve *AK*'nin belirlenebilmesi için de örnekler US-OD sonrası 105 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve ardından ağırlık ölçümü yapılmıştır. Balkabağı örnekleri arasındaki kütle transferini değerlendirmek için *SK*, *KK* ve *AK* sırasıyla (1), (2) ve (3) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (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  $m_i$  örneklerin başlangıç ağırlığı iken  $m_f$  işlem sonu ağırlıkları (g),  $Z_i$  yaş ağırlık üzerinden örneklerin başlangıç nem miktarları iken  $Z_f$  işlem sonundaki ağırlıkları (g su/g),  $S_i$  örneklerin başlangıçtaki toplam kuru madde üzerinden kütle fraksiyonunu,  $S_f$  ise dehidrasyon işlemi sonrasındaki toplam kuru madde üzerinden kütle fraksiyonunu (g kuru madde/g) ifade etmektedir.

### Sıcak havada kurutma

US-OD uygulanan balkabağı örneklerinin nem içerikleri %10'un altına düşene kadar laboratuvarda etüv (Mommert, Almanya) kullanılarak 60 °C'de (Bozkir ve Ergün, 2020) 600 dakika süresince kurutulmuştur. Kurutma işlemi boyunca örneklerin ağırlıkları sabit ağırlığa gelene kadar belirli aralıklarla tartılmıştır. Kurutma tamamlandıktan sonra örneklerin sahip olduğu nem içerikleri belirlenmiştir.

### Kurutma kinetiği

Kurutma kinetiği örneklerin ağırlık kaybı üzerinden hesaplanmıştır. Her bir örneğin kuru madde miktarı son nem içeriğinden ve ağırlıklarından yola çıkılarak hesaplanmış; kurutma sırasında örneklerden elde edilen nem verileri (4) numaralı eşitlik kullanılarak kurutma oranına (*MR*) dönüştürülmüştür (Li vd., 2020; Elhussein ve Şahin, 2018):

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

Burada  $M_t$ ,  $t$  anındaki nem miktarını ve  $M_e$  denge nem miktarını ifade etmektedir.  $M_0$  başlangıçtaki nem miktarını ifade etmektedir.

Balkabağı dilimlerinin kurutma kinetiğini açıklamak için verilerden elde edilen kurutma eğrileri, ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan yedi adet ince-tabaka kurutma kinetik modeline uygulanmıştır. Bunlar Newton (5), Page (6), Modiye Page (7), Logaritmik (8), Henderson ve Pabis (9), Wang ve Singh (10) ve İki terimli (11) modeller olarak aşağıda ifade edilmektedir:

$$MR = \exp(-kt) \quad (5)$$

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (6)$$

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

$$MR = a \exp(-kt) + b \quad (8)$$

$$MR = a \exp(-kt) \quad (9)$$

$$MR = 1 + at + bt^2 \quad (10)$$

$$MR = a_1 \exp(-k_1 t) + a_2 \exp(-k_2 t) \quad (11)$$

Bu modellerin parametrelerini belirlemek için lineer olmayan bir regresyon işlemi kullanılmıştır. Balkabağı örneklerinin kurutma eğrilerine uygulanan modellerin uyumluluğu belirleme katsayısı ( $R^2$ ), indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) ve hataların ortalama karekökü (*RMSE*) ile değerlendirilmiştir. Bu parametreler aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (12)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

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  $\chi^2$  ve *RMSE* değeri ile en yüksek  $R^2$  değerlerine sahip olan model, çalışmada ince tabaka kurutma karakteristiğini en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir.

### Rehidrasyon

Rehidrasyon analizi Santos vd. (2021) tarafından verilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

US-OD uygulanmış ve kurutulmuş balkabağı örneklerinin rehidrasyon kinetikleri, tartımı yapılan örneğin 25°C'de örnekten 40 kat daha fazla destile suya daldırılmasıyla belirlenmiştir. Rehidrasyon kinetiği için numuneler sudan çıkarılmış, süzölmüş ve filtre kağıdı ile yüzeysel olarak kurulanmış, tartılmış ve tekrar suya daldırılmıştır. Bu işlem ilk 30 dakika boyunca 15 dakikada bir, daha sonra sabit ağırlığa ulaşana kadar her 30 dakikada bir tekrarlanmıştır. Rehidrasyon işlemine sabit ağırlığa gelene kadar devam edilmiştir. Rehidrasyon oranı (RR), (14) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Wang vd., 2019):

$$RR = \frac{W_t}{W_0} \quad (14)$$

Burada  $W_t$  (g), t anında rehidre edilen örneklerin ağırlığını;  $W_0$  (g) ise kuru örneklerin ağırlığını ifade etmektedir.

Kuru örneklerin rehidrasyon kinetikleri Peleg modeli (15) üzerine uyarlanmıştır (Peleg, 1988):

$$M(t) = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 * t} \quad (15)$$

Bu denklemde  $M(t)$  rehidrasyon esnasında belirli bir zamanda kuru madde üzerinden nem miktarını ifade ederken (g su/g kuru madde);  $M_0$  başlangıçtaki nem miktarını;  $k_1$  ve  $k_2$  ise suyu absorbe etme oranı ve miktarı ile ilgili parametreleri ifade etmektedir.

### Toplam fenolik madde miktarı

US-OD uygulanmış kuru balkabağı örneklerinin toplam fenolik madde miktarını belirlemek için Tekin ve Baslar (2018) tarafından verilen ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Taze ve rehidre edilen kurutulmuş örnekler (5 g) 1:10 oranında metanollü su (80:10, h/h) çözeltisi ile karıştırılmış ve ultra-Turrax (IKA, T18 Basic, Almanya) ile 5 dakika süreyle 1500 rpm hızında homojenize edilmiştir. Takiben örnekler oda sıcaklığında 2 saat süre çalkalayıcı yardımı ile çalkalanmıştır. Ardından karışım 4000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiş (Nüve NF 800, Türkiye) ve süpernatant toplanarak filtre edilmiştir. Elde edilen ekstrakt hem toplam fenolik madde miktarı hem de antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Ekstraktın toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metodu ile tespit edilmiştir. Bunun için 5 mL ekstrakt 2.5 mL 0.2 N Folin-Ciocalteu fenol ayracı ve 2 mL sulu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (%35) çözeltisi ile karıştırılmış ve 30 sn süre ile vortekslenmiştir. Karışım oda sıcaklığında karanlıkta 30 dakika süre ile bekletilmiş ve ardından 760 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800, Japonya) absorbans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı, 5-50 mg/L standart gallik asit çözeltisi kullanılarak oluşturulan kalibrasyon eğrisi ile ( $R^2=0.998$ ) hesaplanmış ve kuru ağırlık üzerinden (mg GAE/100 g kuru ağırlık) gallik asit eşdeğeri cinsinden ifade edilmiştir.

### Antioksidan aktivite kapasitesi

US-OD uygulanmış kurutulmuş balkabağı örneklerinin antioksidan aktivitesi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil radikal-süpürme aktivite (DPPH) yöntemi ile belirlenmiştir. DPPH radikal süpürme aktivitesinin belirlenebilmesi için 0.1 mL ekstrakte edilmiş örnek 4.9 mL DPPH çözeltisi (0.1 mM metanol) ile karıştırılmış; elde edilen karışım oda sıcaklığında 30 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından 517 nm dalga boyunda absorbans ölçümü gerçekleştirilmiştir (Singh vd., 2002). Sonuçlar "% inhibisyon" olarak verilmiştir.

### İstatistiksel analiz

US-OD işlemi ve analizler 2 tekerrürlü ve 2 paralelli olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir. Sonuçlar SPSS istatistiksel paket programı (21.0 Versiyonu, SPSS Inc., Chicago) kullanılarak ANOVA ile değerlendirilmiş ve örnekler arasındaki farklılıklar Duncan testi ile %5 güven aralığında tespit edilmiştir. Sigma Plot programı (versiyon 10.0) lineer olmayan regresyon analizi yoluyla matematiksel modelleri deneysel verilere uyarlamak için kullanılmıştır.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### US-OD ön işleminin balkabağının kütle transferi üzerine etkisi

Ozmotik dehidrasyon esnasında çözünabilir kuru maddenin çözeltiden gıdaya difüzyonu ve gıdadan çözeltiye suyun difüzyonu olacak şekilde iki tip kütle transferi gerçekleşmektedir. Ozmotik basınç

farkı, kütle transferini etkileyen ilk kuvvet olup ikincisi ise konsantrasyon farkıdır. US uygulaması hücre yıkımı için yaygın olarak kullanılmakta ve kuru madde kazanımı ile su kaybını hızlandırmaktadır. US uygulamasından sonra mikroskopik kanallar meydana gelmekte ve bu da suyun difüzyonunu kolaylaştırmaktadır (Bozkir ve Ergün, 2020). Kütle transferinin ürün ve ozmotik ajanın tipi, ozmotik çözeltinin konsantrasyonu, dehidrasyon süresi ve dehidrasyon esnasında ozmotik çözeltinin sıcaklığı gibi bazı parametrelerden etkilendiği bilinmektedir (Atique Rahman vd., 2015; Abraão vd., 2013). Balkabağı dilimlerinde US-OD işleminin kütle transferi üzerine etkisi su kaybı (*SK*), kurumadde kazanımı (*KK*) ve ağırlık kaybı (*AK*) parametreleri hesaplanarak belirlenmiş olup sonuçlar Çizelge

1’de verilmiştir. Literatür verileri ile uyumlu olacak şekilde çizelge üzerinden US-OD işleminin bu parametreler üzerinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Beklenildiği gibi yüksek sükröz konsantrasyonu US-OD süresince *SK* değerinde artışa neden olmuştur ( $P < 0.05$ ). En yüksek *SK* değeri en yüksek sükröz konsantrasyonuna sahip hiper-tonik çözeltinin kullanıldığı dehidrasyon işleminde; en düşük su kaybının ise kontrol örneğinde olduğu gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışmada örneklerde artan su kaybı değerinin, ozmotik çözelti içerisinde çözünebilir toplam kuru madde konsantrasyonunun artışına bağlı olarak gerçekleşen yüksek ozmotik basınç ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Rodrigues vd., 2009).

Çizelge 1. US-OD uygulamasının su kaybı (*SK*), katı madde kazanımı (*KK*) ve ağırlık kaybı (*AK*) parametreleri üzerine etkisi

Table 1. The effect of US-OD application on water loss (*WL*), solid gain (*SG*) and weight loss (*WL*) parameters

Ozmotik dehidrasyon ortamı	<i>SK</i> (%)	<i>KK</i> (%)	<i>AK</i> (%)
Kontrol (Saf su)	2.502±0.552 <sup>d</sup>	-4.262±0.007 <sup>d</sup>	6.764±0.546 <sup>b</sup>
%12.5	7.397±0.714 <sup>c</sup>	0.791±0.026 <sup>c</sup>	6.606±0.688 <sup>b</sup>
%25	10.919±0.300 <sup>b</sup>	2.592±0.112 <sup>b</sup>	8.328±0.188 <sup>a</sup>
%50	13.420±0.543 <sup>a</sup>	5.115±0.504 <sup>a</sup>	8.305±0.039 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup> Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ ).

<sup>a-d</sup> Different letters in the same column are statistically significant ( $P < 0.05$ ).

Kuru madde kazanımları su kaybı ile uyumlu olacak şekilde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde Garcia-Noguera vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, kuru madde kazanımındaki artışın uygulamada kullanılan özeltinin konsantrasyonundaki artışa bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ozmotik çözeltinin kullanılmadığı kontrol örneğinde kuru madde kazanımının -4.262±0.007 olarak tespit edildiği; yani kuru madde kaybı olduğu dikkate çarpmaktadır. Çalışmamıza benzer şekilde Corrêa vd. (2015) çalışmalarında destile su kullanarak US uyguladıkları örneklerinin tümünde kurumadde kazanımını negatif değerlerde tespit etmişlerdir.

En yüksek su kaybı ve katı madde kazanımı %50’lik ozmotik çözelti kullanıldığında sağlanmıştır. Bu durum yüksek ozmotik basınçtan

ve işlem sırasında meyve dokusunda meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Ultrason işlemi ile birlikte mikrokanalların meydana gelmesi doku boyunca su ve şekerin kütle transferini kolaylaştırmaktadır. US-OD işlemi ile birlikte mikrokanalların oluşumu ve hücrelerin parçalanmasıyla şeker molekülleri gibi büyük moleküllerin hücreye difüzyonuna karşı direncin azalmasına neden olmakta ve katı madde kazanımı artmaktadır (Fernandes vd., 2008).

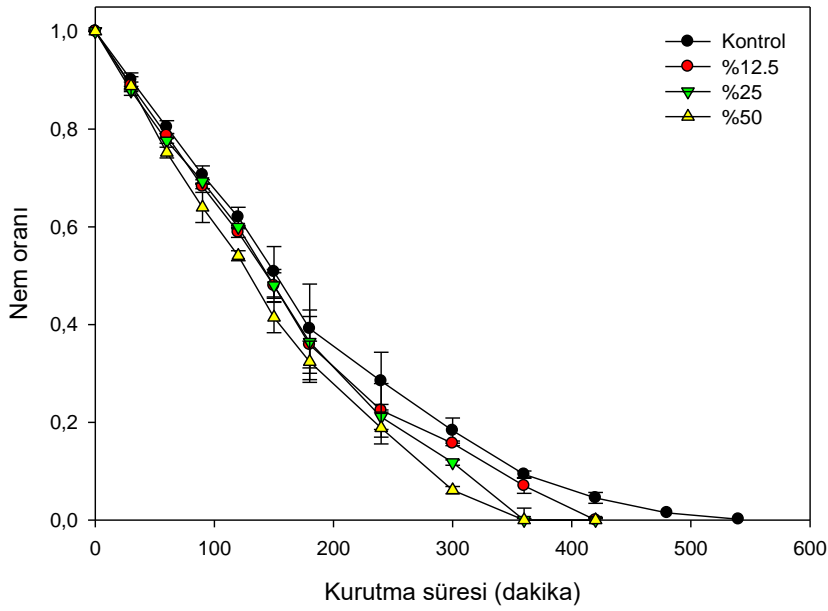
Ağırlık kaybı sonuçları incelendiğinde en fazla ağırlık kaybının %25’lik sükröz çözeltisinde, en düşük ağırlık kaybının ise %12.5 konsantrasyonda hazırlanan sükröz çözeltisinde olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde ettiğimiz verilerle uyumlu olarak; yapılan önceki çalışmalarda US uygulaması ile ozmotik dehidrasyon

uygulamasının ağırlık kaybını artırdığı belirlenmiştir (Bozkir vd., 2019; Fernandes ve Rodrigues, 2008).

### Balkabağı örneklerinin sıcak havada kurutulması

US-OD uygulanmış balkabağı örneklerinin nem ve kurutma oranı Şekil 1'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde beklenildiği gibi ozmotik dehidrasyon işleminin kurutmayı hızlandırdığı görülmektedir. Kurutmanın ilk aşamalarında

( $t < 160$  dakika), tüm ultrason destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri için kurutma eğrileri birbirine benzer eğilim göstermiştir. Ancak bu süreden sonra, kontrol örneğinin kuruma hızında sabit bir azalma eğilimi gözlenirken, US-OD ön işlemine tabi tutulmuş örnekler ise 240 dakikaya kadar yüksek kuruma hızlarını korumuşlardır. Bununla birlikte, 240 dakikadan sonra dehidrasyon ortamı için kullanılan şeker konsantrasyonuna bağlı olarak kurutma hızında farklılıklar gözlenmiştir.



Şekil 1. Balkabağı örneklerinin kurutma süresince nem oranı  
*Figure 1. Moisture rate of pumpkin samples during drying*

Yalnızca su ile US uygulanan örnekte hedef nem içeriğine 540 dakikada ulaşıldığı tespit edilmiş; bu sürenin ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan örneklerde azaldığı ve aynı zamanda artan şeker konsantrasyonuna bağlı olarak da kurutma işleminin daha kısa sürede sonuçlandığı saptanmıştır. Dehidrasyon ortamı olarak şeker çözeltisi kullanıldığında kurutma süresi %12.5 ve %25 oranları için 420 dakika, %50 oranı için 360 dakika olarak tespit edilmiş olup kontrol örneğine kıyasla kurutma süresinde %22.22 ile %33.33 aralığında azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde farklı araştırmacılar tarafından sıcak havada kurutma öncesi US-OD ön işleminin; ön işlem

uygulanmayan örneklere göre kurutma süresini kısalttığı saptanmıştır (Bozkir ve Ergün, 2020; Liu vd., 2014; Garcia-Noguera vd., 2010). Kek vd. (2013), guava meyvesinin sıcak havada kurutulmasından önce meyveye uygulanan US destekli ozmotik dehidrasyon ön işleminin toplam kurutma süresini %33 oranında kısalttığını rapor etmişlerdir. Bir diğer çalışmada, Garcia-Noguera vd. (2010) çileklerin 60°C'de kurutma işleminden önce 50 °Brix sükröz çözeltisinde 30 dakika süreyle US-OD uygulanması sonucu örneklerin kuruma hızının en yüksek olduğunu saptamışlardır. US-OD ön işleminin kurutma süresinde azalmaya neden olması sıcak hava ile

kurutma esnasında uzaklaştırılacak düşük su miktarı ile açıklanabilmektedir. Ayrıca meyvede US-OD uygulaması esnasında meydana gelen yapısal değişiklikler de kurutma süresini etkileyen önemli etkenlerdir. Bazı araştırmacılar US-OD esnasında meydana gelen mikro kanalların kurutma sırasında su difüzyonunu hızlandırdığını ve buna bağlı olarak da kurutma süresinin kısaldığını rapor etmişlerdir (Bozkir vd., 2019).

### Kurutma kinetiği

Balkabağı örneklerinin kurutma davranışını tanımlamak için elde edilen deneysel veriler yedi farklı modele uyarlanmış ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Belirleme katsayısı ( $R^2$ ), indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmış ve oluşturulan

modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Balkabağı örneklerinin kurutulmasının tahmininde, modellerin yüksek belirleme katsayısı ( $>0.95$ ), düşük indirgenmiş ki-kare değerleri ( $4.06 \times 10^{-3}$ ) ve hataların ortalama karekökü ( $<0.07$ ) değerleri uygulanan bütün kurutma modellerinin balkabağı örneklerinin kurutma davranışı için uyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE dikkate alındığında Page modelinin bütün örneklerin kurutma davranışını temsil eden en iyi model olduğu söylenebilir. Benzer şekilde nar taneleri (Horuz ve Maskan, 2013), şeftali dilimleri (Zhu ve Shen, 2014) ve sarımsak püresinin (İlter vd., 2018) kurutulmasında page modelin en uygun sonuçları verdiği rapor edilmiştir.

Çizelge 2. Seçilmiş kurutma modelleri, model sabitleri ve istatistiksel değerler ( $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$ )  
Table 2. Selected drying models, model constants and statistical values ( $R^2$ , RMSE and  $\chi^2$ )

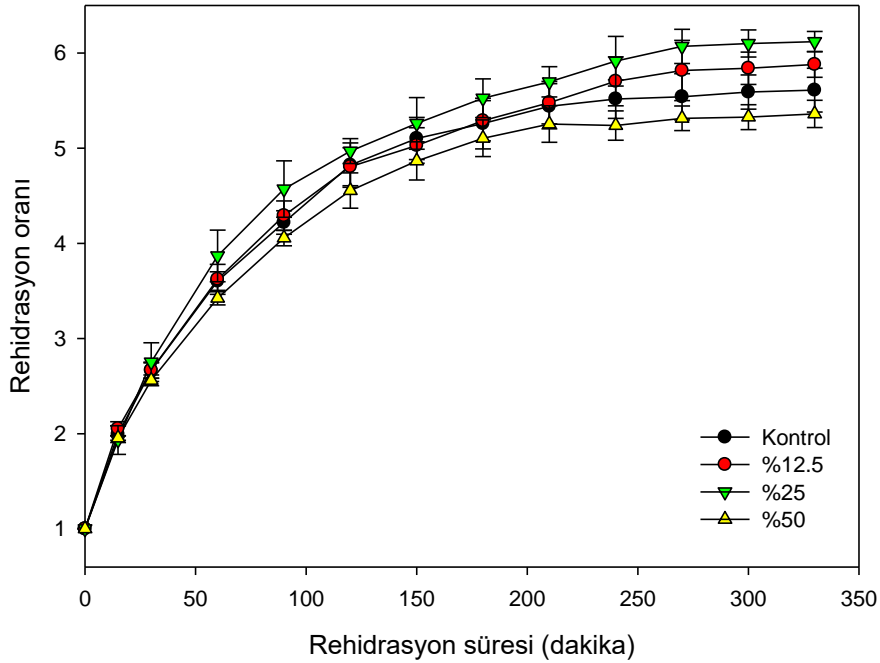
Ozmotik dehidrasyon ortamı	Model	$R^2$	RMSE	$\chi^2(10^{-3})$	Model sabitleri
Kontrol	Newton	0.9691	0.05	2.545	$k=0.005$
	Page	0.9979	0.014	0.192	$k=0.0005; n=1.355$
	Modifiye Page	0.9979	0.014	0.202	$k=0.0051; n=1.353$
	Logaritmik	0.9802	0.043	1.854	$k=0.0054; a=1.0688; b=1.82 \times 10^{-9}$
	Henderson ve Pabis	0.9882	0.049	1.719	$k=0.0054; a=1.0688$
	Wang ve Singh	0.9975	0.015	0.238	$a=-0.0036; b=3.69 \times 10^{-6}$
	İki terimli	0.9802	0.043	1.854	$k_1=0.0054; k_2=0.0054; a_1=0.5558; a_2=0.513$
%12.5 konsantrasyonda US-OD	Newton	0.9692	0.051	2.586	$k=0.0054$
	Page	0.9963	0.017	0.21	$k=0.0008; n=1.3735$
	Modifiye Page	0.996	0.018	0.031	$k=0.0055; n=1.3741$
	Logaritmik	0.9762	0.048	2.355	$k=0.0059; a=1.0661; b=4.56 \times 10^{-12}$
	Henderson ve Pabis	0.9762	0.041	2.209	$k=0.0059; a=1.0661$
	Wang ve Singh	0.9967	0.016	0.273	$a=-0.0041; b=4.13 \times 10^{-6}$
	İki terimli	0.9762	0.048	2.355	$k_1=0.0059; k_2=0.0058; a_1=0.6532; a_2=0.4129$
%25 konsantrasyonda US-OD	Newton	0.9545	0.063	4.068	$k=0.0056$
	Page	0.9921	0.026	0.408	$k=0.0009; n=1.4773$
	Modifiye Page	0.9929	0.029	0.718	$k=0.0057; n=1.4712$
	Logaritmik	0.9626	0.061	3.716	$k=0.0061; a=1.0718; b=6.97 \times 10^{-12}$
	Henderson ve Pabis	0.9626	0.06	3.7	$k=0.0061; a=1.0722$
	Wang ve Singh	0.9954	0.032	0.412	$a=-0.004; b=3.98 \times 10^{-6}$
	İki terimli	0.9623	0.061	3.716	$k_1=0.0061; k_2=0.006; a_1=0.6246; a_2=0.4477$
%50 konsantrasyonda US-OD	Newton	0.9655	0.0559	3.131	$k=0.0062$
	Page	0.9955	0.0145	0.21	$k=0.001; n=1.3658$
	Modifiye Page	0.9952	0.02	0.405	$k=0.0062; n=1.4202$
	Logaritmik	0.9729	0.049	2.46	$k=0.0067; a=1.0718; b=1.98 \times 10^{-9}$
	Henderson ve Pabis	0.9729	0.045	2.419	$k=0.0067; a=1.0718$
	Wang ve Singh	0.9908	0.013	0.178	$a=-0.0046; b=5.28 \times 10^{-6}$
	İki terimli	0.9732	0.049	2.46	$k_1=0.0067; k_2=0.007; a_1=0.073; a_2=0.007$



Page modeldeki kinetik parametrelerden biri olan ve kütle transferi ile ilişkili olan  $k$  değeri 0.001 ile 0.0008 arasında bulunmuştur ve ozmotik dehidrasyonda şeker konsantrasyonunun artışına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Kurutma esnasındaki kütle transferi ile ilişkili olan parametrelerden bir diğeri olan  $n$  değeri (Simpson vd., 2017), kontrol örneği için 1.355 olarak hesaplanırken; US-OD uygulanmış olan örnekler için 1.3658 ile 1.4773 aralığında saptanmıştır. Genel olarak hesaplanan  $n$  değerleri 1'den büyük olup, şeker çözeltisinde dehidre olan örneklerin  $n$  değerleri kontrol örneğine göre daha yüksek bulunmuştur. Simpson vd. (2017)  $n$  değerinin 1'den büyük olması durumunda süper difüze olma karakterine işaret etmektedir.

### Rehidrasyon kinetiği

Rehidrasyon, kurutma ve öncesinde yapılan uygulamalar esnasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri göstermekte (Jia vd., 2019) olup; kurutulmuş ürünlerin fizikokimyasal karakteristik özelliklerindeki değişimin ölçütü olarak kullanılan önemli bir karakteristik tanımlamadır (Wang vd., 2018). Kurutma metodu, ön işlem uygulaması, rehidrasyon ortamı ve sıcaklığın kurutulmuş gıda ürünüde rehidrasyonunu etkileyen önemli faktörler olduğu bilinmektedir (Aral ve Bese, 2016). US-OD ön işlem uygulanan ve sıcak hava ortamında kurutulan balkabağı örneklerinin rehidrasyon oranları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kurutulmuş balkabağı örneklerinin rehidrasyon oranları

Figure 2. Rehydration rates of dried pumpkin samples

Genel olarak, zamana bağlı olarak tüm örnekler nem kazanmış ve rehidrasyon oranları tüm örnekler için rehidrasyonun başlangıcında dik bir şekilde artma eğilimi göstermiştir. Grafik incelendiğinde başlangıçtaki hızlı nem çekme özelliğinin zamanla yavaşladığı gözlemlenmiştir. Bütün örneklerin nem kazanma eğilimi 15.

dakikaya kadar benzerlik göstermiş olup bundan sonra farklılaşma tespit edilmiştir. %50 konsantrasyonda US-OD ön işlemi uygulanmış örneğin ve yalnızca US uygulanmış örneğin 200 dakikada, %25 ve %12.5 konsantrasyonda US-OD ön işlemi uygulanmış örneğin 275 dakikada rehidrasyon oranında doyma noktasına geldiği

gözlenmiştir. Bchir vd. (2020) nar tanelerinde US-OD ön işlemleri uygulayarak kuruttukları örneklerinin rehidrasyon aşamasında benzer davranışı sergilediğini belirtmişlerdir. Aynı şekilde Fan vd. (2019) ve Amami vd. (2017) de sırasıyla kurutulmuş çilek ve karnabaharda yaklaşık sonuçları gözlemlemişlerdir.

Grafik incelendiğinde rehidrasyon oranı, dehidrasyon çözeltisi konsantrasyonunun %25'e kadar artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Şeker konsantrasyonunun %50'ye artırılması ile birlikte rehidrasyon oranı kontrol örneğine kıyasla azalma göstermiş olup düşük rehidrasyon oranı US-OD sırasında yüzeyde kalan fazla şekerden dolayı emilebilecek su miktarının düşük olması ile ilişkilendirilmektedir (Noshad vd., 2012). Benzer şekilde Sakoei-Vayghan vd. (2020) dehidrasyon uygulanmış kayısı örneklerinin ön işlem uygulanmamış kontrol örneğine kıyasla daha iyi rehidrasyon özelliğine sahip olduklarını ve bu durumun ozmotik dehidrasyon sırasında örneklerin merkezi dokularının genişlemesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Amami vd. (2017) US-OD ön işlemi ile birlikte düşük katı kazanımının kurutma sırasında maksimum büzölmeye neden olabileceğini ve buna bağlı olarak US-OD ön işlem uygulanmış örneklerin

daha iyi su içerebileceğini rapor etmişlerdir. Diğer taraftan Noshad vd. (2012) US-OD ön işlem uygulanmış ve kurutulmuş yaban mersini örneklerinin daha düşük rehidrasyon oranına sahip olduğunu ve bunun nedeninin rehidrasyon sırasında absorbe olabilen su miktarının azalmasına yol açan dehidre meyvelerin üzerinde bulunan şekerden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

US-OD ön işlemi uygulanmış ve sıcak hava ile kurutulmuş balkabağı örneklerinin rehidrasyon kinetiğini tanımlamak için Peleg modeli uygulanmıştır. Peleg modelinin uyumluluğu ve elde edilen  $k_1$  ve  $k_2$  tahmini verileri Çizelge 3'te verilmiştir. Genel olarak, belirleme katsayısının oldukça yüksek olması ( $R^2 > 0.99$ ), Peleg modelinin kurutulmuş balkabağı örneklerinin rehidrasyon davranışını başarıyla tanımladığını göstermektedir. Peleg hız sabiti  $k_1$  kütle aktarım hızı ile ilişkilidir ve bu değer ne kadar düşükse, başlangıçtaki rehidrasyon hızı o kadar yüksektir. En düşük  $k_1$  değeri %25 şeker konsantrasyonunda dehidre olan örnekte elde edilmiş olup diğer örneklerle karşılaştırıldığında su absorpsiyon kapasitesi daha yüksektir. Gıdaların absorpsiyon kabiliyeti ile ters orantılı olan  $k_2$  değeri en yüksek %50 şeker konsantrasyonunda dehidre olan örnekte elde edilmiştir.

Çizelge 3. Rehidrasyon verilerinin Peleg modeline uyumluluğu ve elde edilen model parametreleri

Table 3. Compatibility of the rehydration data with the Peleg model and the model parameters obtained

Ozmotik dehidrasyon ortamı	$R^2$	RMSE	$\chi^2(10^{-3})$	$k_1$	$k_2$
Kontrol	0.9959	0.084	7.071	11.344	0.173
%12.5 konsantrasyonda US-OD	0.9992	0.038	1.469	12.576	0.164
%25 konsantrasyonda US-OD	0.9989	0.043	1.848	11.302	0.155
%50 konsantrasyonda US-OD	0.9951	0.063	3.971	12.263	0.182

### Toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite

Taze ve kurutulmuş balkabağı örneklerinin toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan kapasiteleri Çizelge 4'te görülmektedir. Genel olarak dehidrasyon işleminde şeker çözeltisinin kullanılması ve konsantrasyonun farklılaşması örneklerin toplam fenolik madde miktarlarında önemli değişikliğe neden olmuştur ( $P < 0.05$ ). Bununla birlikte, kontrol ve %12.5 şeker konsantrasyonunda dehidre edilmiş örneğin fenolik madde miktarı taze (kurutulmamış)

örnekten daha düşük bulunmuştur. Benzer şekilde Bozkir vd. (2019) tarafından US-OD ön işleminin kontrol grubuna kayısla Trabzon hurması örneklerinde toplam fenolik madde miktarında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Toplam fenolik madde miktarındaki azalma US-OD sırasında fenolik bileşiklerin ozmotik çözeltiye fiziksel geçişi ile açıklanabilir. Diğer taraftan ozmotik dehidrasyon sırasında ultrases uygulaması fenolik bileşiklerin azalmasında da rol oynayabilmektedir (Kroehnke vd., 2021). Şeker konsantrasyonunun %25 ve üzerinde artırılması

kurutulmuş örneklerdeki toplam fenolik madde içeriğinin önemli düzeyde artmasına neden olmuştur. Bu artışın nedeni ultrases işlemi ile birlikte yüksek konsantrasyonlarda şeker kullanımının hücre dokularındaki porların

oluşmasına neden olması ve buna bağlı olarak ekstraksiyon sırasında ekstrakte edilebilir bileşiklerin miktarının artması olabilir (Amami vd., 2017).

Çizelge 4. Taze ve kurutulmuş balkabağı örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite özellikleri

Table 4. Total phenolic content and antioxidant capacity properties of fresh and dried pumpkin samples

Ozmotik dehidrasyon ortamı	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g kuru ağırlık)	DPPH (% inhibisyon)
Taze	100.43±5.45 <sup>b</sup>	28.16±1.69 <sup>c</sup>
Kontrol	85.57±3.21 <sup>c</sup>	24.05±1.11 <sup>d</sup>
%12.5 konsantrasyonda US-OD	89.28±2.95 <sup>c</sup>	27.21±1.96 <sup>cd</sup>
%25 konsantrasyonda US-OD	104.5±4.04 <sup>b</sup>	31.69±2.61 <sup>b</sup>
%50 konsantrasyonda US-OD	120.08±9.28 <sup>a</sup>	38.21±1.96 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup> Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ ).

<sup>a-d</sup> Different letters in the same column are statistically significant ( $P < 0.05$ ).

Kurutulmuş kabak örneklerinin antioksidan aktivite sonuçları toplam fenolik madde miktarları ile benzer eğilim göstermiştir. Taze kabak örneğinin DPPH radikal süpürme aktivitesi %28.16 olarak belirlenmiş olup kontrol ve %12.5 şeker konsantrasyonunda dehidre edilen örnekte daha düşük (sırası ile %24.05 ve %27.21) tespit edilmiştir. En yüksek antioksidan aktivite (%38.21) ise %50 şeker içerisinde dehidre edilen örnekte saptanmıştır. Benzer sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarda da elde edilmiştir (Amami vd., 2017; Wojdyło vd., 2009).

## SONUÇ

Bu çalışmada, balkabağı dilimlerine sıcak hava ile kurutma işleminden önce farklı şeker konsantrasyonlarına sahip ortamlarda ultrases ile dehidrasyon uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminin kabak dilimlerinin kurutma fenomeni üzerine etkili olduğu, kurutulmuş örneklerin özelliklerinde değişiklikler meydana getirdiği gözlenmiştir. Dehidrasyon işlemiyle artan şeker konsantrasyonuna bağlı olarak su kaybının ve katı madde kazanımının arttığı ve buna bağlı olarak kurutma süresinin önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan %25 şeker konsantrasyonuna kadar dehidre ortamında işlem uygulanan balkabağı örneklerinin rehidrasyon

özelliğinin iyileştiği, ancak daha yüksek şeker konsantrasyonunun rehidrasyon özelliğini önemli düzeyde azalttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte en yüksek toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasite %50 şeker çözeltisi ortamında dehidre edilen örneklerde saptanmıştır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu araştırma makalesi ile ilgili olarak başka kişiler ve/veya kurumlar arasında çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## YAZAR KATKILARI

Bu çalışmanın hazırlanması ve yayımlanmasında ismi geçen yazarlar dışında hiç kimsenin ya da hiçbir kuruluşun herhangi bir katkısı olmamıştır. Çalışmanın tasarlanması Osman Gül tarafından yapılmış olup analizler ile makalenin yazımı ve düzenlenmesinde yazarlar eşit katkı sağlamışlardır.

## KAYNAKLAR

Abraão, A. S., Lemos, A. M., Vilela, A., Sousa, J. M., Nunes, F. M. (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and Bioprocess Processing*, 91(4), 481-494, doi:10.1016/j.fbp.2013.04.006.

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.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300, doi:10.1016/j.ultsonch.2016.12.007.
- Aral, S., Bese, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210, 577-584, doi:10.1016/j.foodchem.2016.04.128.
- Atiqure Rahman, S. M., Enamul Hoque, M., Rahman, S., Hasanuzzaman, M. (2015). Osmotic dehydration of pumpkin using response surface methodology - influences of operating conditions on water loss and solute gain. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 5(5), 1-6.
- Azarpazhooh, E., Sharayei, P., Ramaswamy, H. S. (2020). Optimization of ultrasound-assisted osmotic treatment of Aleo vera gel impregnated with grape pomace phenolic compounds using response surface methodology. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22(3), 202-212.
- Bchir, B., Bouaziz, M. A., Ettaib, R., Sebi, H., Danthine, S., Blecker, C., Besbes, S., Attia, H. (2020). Optimization of ultrasound-assisted osmotic dehydration of pomegranate seeds (*Punica granatum* L.) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), doi:10.1111/jfpp.14657.
- Bozkir, H., Ergün, A. R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *LWT - Food Science and Technology*, 131, 109704, doi:10.1016/j.lwt.2020.109704.
- Bozkir, H., Rayman Ergun, A., Serdar, E., Metin, G., Baysal, T. (2019). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 135-141, doi:10.1016/j.ultsonch.2019.02.006.
- 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.
- Corrêa, J. L. G., Justus, A., de Oliveira, L. F., Alves, G. E. (2015). Osmotic dehydration of tomato assisted by ultrasound: evaluation of the liquid media on mass transfer and product quality. *International Journal of Food Engineering*, 11(4), 505-516, doi:10.1515/ijfe-2015-0083.
- 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:10.1007/s00231-018-2278-6.
- Fan, K., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Osmotic-ultrasound dehydration pretreatment improves moisture adsorption isotherms and water state of microwave-assisted vacuum fried purple-fleshed sweet potato slices. *Food and Bioprocess Technology*, 115, 154-164, doi:10.1016/j.fbp.2019.03.011.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S. (2008). Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. *Drying Technology*, 26(12), 1509-1516, doi:10.1080/07373930802412256
- Fernandes, F. A. N., Linhares, F. E., Rodrigues, S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 1049-1054, doi:10.1016/j.ultsonch.2008.03.009.
- García-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.
- Gliemmo, M. F., Latorre, M. E., Gerschenson, L. N., Campos, C. A. (2009). Color stability of pumpkin (*Cucurbita moschata*, Duchesne ex Poiret) puree during storage at room temperature:

- effect of pH, potassium sorbate, ascorbic acid and packaging material. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 196-201.
- Goula, A. M., Kokolaki, M., Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioprocess Technology*, 105, 157-170, doi:10.1016/j.fbp.2017.07.008.
- 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., Akyl, 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.
- Jansrimanee, S., Lertworasirikul, S. (2020). Synergetic effects of ultrasound and sodium alginate coating on mass transfer and qualities of osmotic dehydrated pumpkin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 69, 105256, doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105256.
- Jia, Y., Khalifa, I., Hu, L., Zhu, W., Li, J., Li, K., Li, C. (2019). Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 118, 67-76, doi:10.1016/j.fbp.2019.08.018.
- Kek, S. P., Chin, N. L., Yusof, Y. A. (2013). Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioprocess Technology*, 91, 495-506, doi:10.1016/j.fbp.2013.05.003.
- 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:10.1016/j.ultsonch.2020.105219.
- Kroehnke, J., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G., Mierzwa, D. (2021). Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)—The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 105377, doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105377.
- Liu, Y., Wu, J., Chong, C., Miao, S. (2014). Ultrasound assisted osmotic dehydration as pretreatment for hot-air drying of carrot. *Food Science and Technology Research*, 20(1), 31-41, doi:10.3136/fstr.20.31.
- 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.
- Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łetowska, A., Biesiada, A. (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering*, 94, 14-20, doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.02.025.
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Ali Mortazavi, S. (2012). Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2098-2110, doi:10.1007/s11947-011-0577-8.
- Nowacka, M., Dadan, M., Tylewicz, U. (2021). Current applications of ultrasound in fruit and vegetables osmotic dehydration processes.

- Applied Sciences*, 11(3), 1269, doi:10.3390/app11031269.
- Pantelidou, D., Gerogiannis, K., Goula, A. M., Gonas, C. (2021). Ultrasound-assisted osmotic dehydration as a method for supplementing potato with unused chokeberries phenolics. *Food and Bioprocess Technology*, 14(12), 2231-2247, doi:10.1007/s11947-021-02720-0.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53(4), 1216-1217.
- Prithani, R., Dash, K. K. (2020). Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102407, doi:10.1016/j.ifset.2020.102407.
- Rahaman, A., Zeng, X. A., Kumari, A., Rafiq, M., Siddeeg, A., Manzoor, M. F., Baloch, Z., Ahmed, Z. (2019). Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104643, doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104643.
- 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.
- Sakooei-Vayghan, R., Peighambaroust, S. H., Hesari, J., Soltanzadeh, M., Peressini, D. (2020). Properties of dried apricots pretreated by ultrasound-assisted osmotic dehydration and application of active coatings. *Food Technology and Biotechnology*, 58(3), 249-259, doi:10.17113/ftb.58.03.20.6471.
- Santos, K. C., Guedes, J. S., Rojas, M. L., Carvalho, G. R., Augusto, P. E. D. (2021). Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105304, doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105304.
- Shekar, F., Javadi, A. (2019). The Effect of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration pretreatment on the convective drying of apple slices (var. Golab). *Journal of Food Biosciences and Technology*, 9(2), 83-94.
- 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.
- Tayyab Rashid, M., Ahmed Jatoui, M., Safdar, B., Wali, A., Muhammad Aadil, R., Sarpong, F., Ma, H. (2020). Modeling the drying of ultrasound and glucose pretreated sweet potatoes: The impact on phytochemical and functional groups. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105226, doi:10.1016/j.ultsonch.2020.105226.
- 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, J., Xiao, H.-W., Ye, J.-H., Wang, J., Raghavan, V. (2019). Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*actinidia deliciosa*) slices: Pros and cons. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 865-876, doi:10.1007/s11947-019-02256-4.
- Wang, Y., Li, X., Chen, X., Li, B., Mao, X., Miao, J., Zhao, C., Huang, L., Gao, W. (2018). Effects of hot air and microwave-assisted drying on drying kinetics, physicochemical properties, and energy consumption of chrysanthemum. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 129, 84-94, doi:10.1016/j.cep.2018.03.020.
- Wojdyło, A., Figiel, A., Oszmianski, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive

compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 1337-1343.

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.