

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN BÖĞÜRTLEN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ VE KURUMA KİNETİĞİ

Burcu Dünder Kırt*, Sevdanur Sağol, Erdal Ağçam, Asiye Akyıldız
Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş / Received: 07.07.2022; Kabul / Accepted: 30.12.2022; Online baskı / Published online: 18.01.2023

Dünder-Kırt, B., Sağol, S., Ağçam, E., Akyıldız, A. (2023). Farklı kurutma yöntemlerinin böğürtlen kalite özellikleri üzerine etkileri ve kuruma kinetiği. *GIDA* (2023) 48 (1) 61-72 doi: 10.15237/gida.GD22068

Dünder-Kırt, B., Sağol, S., Ağçam, E., Akyıldız, A. (2023). Effects of different drying methods on quality attributes of blackberry and drying kinetic. GIDA (2023) 48 (1) 61-72 doi: 10.15237/gida.GD22068

ÖZ

Bu çalışmada, böğürtlenler mikrodalga (100 W) ve sıcak hava (70°C) kurutmaya tabi tutularak kuruma kinetiği parametreleri ve kurutulmuş ürününün bazı kalite özellikleri belirlenmiştir. Kurutma yönteminden bağımsız olarak araştırılan kurutma modelleri arasından *Logaritmik* modelin en yüksek belirlilik katsayılarına ($R^2=0.9813-0.9827$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Kurutulmuş böğürtlen örneklerinde, su aktivitesi, renk, hidroksimetilfurfural-(HMF), toplam monomerik antosiyanin-(TMA) ve siyanidin-3-glukozit analizleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutulan örneklerin renk parametrelerindeki (L^* , a^* , b^* ve ΔE^*) değişim mikrodalga ile kurutulanlara kıyasla daha yüksek orandadır. HMF (0.50-1.54 mg/ kg KM) oluşumunun ise mikrodalga ile kurutulan böğürtlenlerde daha düşük düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. TMA içeriğinde (54.03-576.82 mg/100 g KM) mikrodalga kurutma ile meydana gelen azalmanın diğer yöntemle kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, siyanidin-3-glukozid (23.92 – 320.4 mg/100 g KM) sıcak hava kurutmada daha yüksek oranda parçalanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kalite özellikleri ve kuruma hızı bakımından mikrodalga kurutmanın böğürtlen kurutmada önemli avantajlar sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Böğürtlen (*Rubusfruticosus*), kurutma, modelleme, fenolik madde, hidroksimetilfurfural

EFFECTS OF DIFFERENT DRYING METHODS ON QUALITY ATTRIBUTES OF BLACKBERRY AND DRYING KINETIC

ABSTRACT

In this study, the compatibility of drying kinetics and some quality attributes of dried product were determined by subjecting blackberries to microwave (100 W) and hot air (70°C) drying methods. The experimental results showed that the *Logarithmic* model was the best fitted model among the investigated drying models regardless of the method of drying ($R^2=0.9813-0.9827$). Water activity, color, hydroxymethylfurfural-(HMF), total monomeric anthocyanin-(TMA) and cyanidin-3-glucoside analyzes were performed on dried blackberry samples. The change in color parameters (L^* , a^* , b^* and ΔE^*) of samples dried with hot air is higher than those dried with microwave. HMF (0.50-1.54 mg/kg DM) formation was observed to be lower in microwave dried blackberries. It was determined that the decrease in the TMA content (54.03-576.82 mg/100 g DM) after microwave drying was

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: bdunder@cu.edu.tr

☎: (+90)506 460 8692

☎: (+90) 322 338 6945

Burcu Dünder Kırt; ORCID no: 0000-0002-9919-5711

Sevdanur Sağol; ORCID no: 0000-0003-2737-2595

Erdal Ağçam; ORCID no: 0000-0002-2677-2020

Asiye Akyıldız ORCID no: 0000-0001-5584-0849

lower. Similarly, cyanidin-3-glycoside (23.92-320.4 mg/100 g DM) was degraded in higher level in hot air drying. According to the results obtained, it has been determined that microwave drying provides significant advantages in terms of quality characteristics and drying rate.

Keywords: Blackberry (*Rubus fruticosus*), drying, modelling, phenolic compounds, hydroxymethylfurfural

GİRİŞ

Batı, Güney ve Orta Avrupa orijinli *Rosaceae* familyasına ait böğürtlen (*Rubus fruticosus*) meyvesi üzüksü meyveler grubuna dâhildir. Böğürtlen çeşitleri büyük oranda Kuzey Amerika kökenli olmakla birlikte anavatani Güney, Batı ve Orta Avrupa'dır (Ağaoğlu, 1986). Yabani formları Dünya üzerinde oldukça geniş bir alanda yayılma göstermiştir. Böğürtlen üzerine yapılmış ilk çalışmalar, 18. yy. ortalarında başlamış, dikensiz çeşitlerin bulunmasıyla hızla tek türle dikim normlarına uygun olarak tesis edilmiş bahçeler kurulmuştur (Crandall 1995; Demirsoy, 2006). Böğürtlenlerin yabanileri ülkemizde de çok eskiden beri tanınmakta ve toplanarak tüketilmektedir (Hartman, 2009). Türkiye'de yaklaşık 2400 ton böğürtlen üretimi yapılmakta olup, üretimin %82'si Doğu Marmara Bölgesi'nde ve %80'i Bursa'da yapılmaktadır (Fidan, 2013). Böğürtlen, A, B1, B2, B3, B6, B9, E, C ve K vitaminleri, potasyum, kalsiyum, sodyum, fosfor, magnezyum, demir, çinko, bakır, mangan ve selenyum mineralleri, lif ve organik asit içermekte olan antioksidan bakımından zengin bir meyvedir. Kalorisi düşük olan böğürtlenin 100 g'ı, 43 kalori'dir. Kanseri, kalp hastalıkları, alerjik reaksiyonlardan korunmada etkili olduğu bildirilmiştir (Anonim, 2015). Böğürtlen, çeşit ve olgunluk seviyesine bağlı olarak 114-1056 mg/100g arasında değişen polifenol içeriğine ve kırmızıdan mora değişen renkten sorumlu olan zengin antosiyanin içeriğine sahiptir. Böğürtlen antosiyaninlerini, glikoz, rutinoz, ksiloz ve arabinoz şekerleri ile bağ yapan siyanidin türevleri oluşturmaktadır. Böğürtlende en baskın olarak bulunan antosiyanin ise siyanidin-3-glikozid olarak bildirilmiştir (Howard ve Hager, 2007). Ayrıca, β -karoten, kriptoksantin ve lutein pigmentleri ve kompleks olarak mirisetin, kuersetin ve kamferol bulunmaktadır (Anonim, 2019).

Kurutma, bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutma ile materyalin su

aktivitesi azaltılmakta olup bu sayede mikrobiyal gelişim ile enzimlerin çalışması engellenmekte ve böylece ürünün bozulmasının önüne geçilebilmektedir. Kurutma ile gıdada bulunan serbest su uzaklaştırıldığından, kurutulan meyve ve sebzelerde hacimsel olarak küçülme ve önemli ölçüde ağırlık kaybı da meydana gelmektedir. Bu hacim azalması ve ağırlık kaybı, taşımacılık ve depolamada avantaj oluşturmaktadır (Yamashita, 2017). Sıcak havayla kurutma, meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan bir muhafaza yöntemidir. Ancak bu yöntemde kurutma süresinin ve enerji tüketiminin yüksek olması, ürün içerisinde çözünenlerin homojen dağılmaması, kuru ürünün bünyesinde yüksek sıcaklığa bağlı olarak çeşitli kalite kayıplarının oluşması, rehidrasyon kabiliyetinin azalması gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır (Akpınar, 2006; Figiel, 2010). Mikrodalga kurutma sistemlerinde ise çoğu zaman mikrodalga ve sıcak hava ısıtma kombine olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga kurutma sistemleri ürünün kalitesini etkilemeksizin kuruma süresini önemli düzeyde azaltmaktadır (Cemeroğlu, 2004; Sham vd., 2001). Mikrodalga kurutmada, materyallerin hızlı kurutulması için uygun basınç ve sıcaklıktaki nemli materyallerde, mikrodalga enerjisi ısı enerjisine çevrilir. Mikrodalga yöntemi, hacimsel ısıtma ile sağlanan dielektrik ısıtma tekniklerindedir. Hacimsel ısıtma ile böylece ısının materyalin içinde oluşması ve su molekülleri tarafından absorbe edilmesinden dolayı, ürünler sıcak hava ile kurutma yönteminden daha kısa sürede istenilen sıcaklık seviyelerine getirilebilmektedir (Ramesh vd., 2002). Mikrodalga kurutma, kurutma süresinin kısa olması, enerji tasarrufu sağlaması, materyalde tekdüze bir kuruma oluşturulması ve kalite kayıplarını en aza indirmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Gerek mikrodalga gerekse sıcak hava kurutma ile gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde materyaller, optimum kurutma sağlamak ve yanık oluşumuna yol

açmamak için tek tabaka halinde kurutulmaktadırlar (Özdemir ve Devres, 1999).

Bu çalışmada, sıcak hava ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin böğürtlenin kuruma kinetiği üzerine etkisinin incelenmesi ve kurutma sürecinde nem oranında meydana gelen değişimin matematiksel olarak modellenmesi, elde edilen kurutulmuş böğürtlenlerin bazı fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerinin (su aktivitesi, renk, HMF, TMA ve siyanidin-3-glikozid) karşılaştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada yeni hasat edilen, standart olgunluktaki böğürtlenler (Prime® ark-45), Çukurova Üniversitesi Bahçe Bitkileri Bölümünden temin edilmiştir. Örnekler öncelikle yıkama, ayıklama ve sap ayırma işlemleri uygulanmıştır.

Metot

Kurutma uygulamaları ve kinetiği

Böğürtlenlerin mikrodalga ile kurutulmasında fan destekli mikrodalga fırın (MW71E, Samsung, Güney Kore, 100 W) kullanılmıştır. Kurutma işlemi boyunca eşit aralıklarla (30 dk) tartım yapılmıştır. Sıcak hava ile kurutma ise laboratuvar ölçekli yapay bir kurutma sistemi olan ve kesikli rejimle çalışan kabin tipi kurutucuda (Nüve-KD 400D Türkiye) 70°C'de sabit hava akımında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerine ön denemeler sonucunda karar verilmiştir. Kurutucu, oda koşullarındaki taze havayı kullanmıştır. Taze hava, kurutucunun rezistans odacığında istenilen kurutma sıcaklığına (70°C) getirildikten sonra kurutma bölümünde dolaşımı sağlanmıştır. Kurutulacak örnekler öncelikle iki ayrı kerevete tek katman şeklinde yerleştirilmiş ve kurutma tek seferde gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi nem oranı %10 olduğunda sonlandırılmıştır. Kurutma işleminde ağırlık ölçümleri nem kaybının hızlı olduğu ilk anlarda 30 dakikada bir gerçekleştirilmişken daha sonrasında 60 dakikada bir yapılmıştır. Mikrodalga kurutma ile kurutmanın sonlandırılması için hedeflenen nem oranına 300. dakikada, sıcak hava ile kurutmada ise 420. dakikada ulaşılmıştır. Ancak, hedeflenen

nem oranına ulaşıldıktan 60 dk sonra kurutma işlemleri sonlandırılmıştır. Kalite analizleri mikrodalga ile kurutulan örnekler için 0, 60, 120 ve 360. dakikalarda, sıcak hava ile kurutulan örnekler için ise 0, 60, 120, 360, 420 ve 480. dakikalarda gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş böğürtlen örnekleri analiz süresine kadar -65°C'lik dondurucuda depolanmıştır.

Örneklerin kurutulması sırasında sabit kurutma koşullarında denge sağlanıncaya kadar toplanan ağırlık azalış verileri kullanılarak örneklerin kuru maddedeki su içeriği "kg H₂O/kg KM" cinsinden hesaplanmıştır. Zamana bağlı nem içeriği değerleri kullanılarak nem oranı $((M_t - M_d) / (M_0 - M_d))$ değerleri hesaplanıp nem oranı-zaman grafiği oluşturulmuştur. Kurutulan böğürtlen örneklerinin boyutsuz nem oranları (MR) Eşitlik (1) kullanılarak belirlenmiştir.

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (1)$$

M_t herhangi bir t anında böğürtlenin nem içeriği (g nem/g kuru madde), M_0 başlangıçta böğürtlenin nem içeriği (g nem/g kuru madde) ve M_d böğürtlenin dengedeki nem içeriğini (g nem/g kuru madde) ifade etmektedir. Nem oranına çevrilen deneysel kurutma verilerinin matematiksel modellenmesi amacıyla Çizelge 1'de verilmiş olan üç farklı kuruma modeli kullanılmıştır.

Her ne kadar teorik modeller tüm proses koşulları için kullanılabilir olsa da pratik olmayışları sebebiyle gıdalarda yapılan kurutma çalışmalarında genellikle yarı teorik ve ampirik modeller tercih edilmektedir (Özdemir ve Devres, 1999). Böğürtlenlerin kuruma davranışlarının modellenmesinde kullanılan kuruma modelleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Kullanılan model eşitliklerindeki model sabitleri Microsoft Excel 2016 (Microsoft, USA) programı kullanılarak belirlenmiştir. Matematiksel modeller ile deneysel veriler arasındaki uygunluğu belirlemek üzere belirlenim katsayısı (R^2), deneysel ve tahmin verileri ortalamalarının karesi ki-kare (X^2), hataların karelerinin toplamı (RSS) ve hataların karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) parametrelerinden faydalanılmıştır. Bu

parametreler (2), (3) ve (4) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{den,i} - MR_{hes,i})^2}{N-n} \quad (2)$$

$$RSS = \sum_{i=1}^n (MR_{den,i} - MR_{hes,i})^2 \quad (3)$$

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

Bu eşitliklerde $MR_{den,i}$, deneysel olarak belirlenen nem oranını; $MR_{hes,i}$, matematiksel model kullanılarak hesaplanan nem oranını; N , deneysel olarak belirlenen veri sayısını; n ise matematiksel modeldeki sabitlerin sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 1. Böğürtlen kurutmada uygulanan kuruma modelleri

Table 1. Drying models applied in blackberry drying

Model adı <i>Model name</i>	Model denklemleri <i>Model equation</i>	Kaynak <i>Reference</i>
<i>Page</i>	$MR = \exp(-k t^n)$	(Hassan vd., 2009, Sobukola ve Dairo, 2007)
<i>Henderson & Pabis</i>	$MR = a \exp(-k t)$	(Ghodake vd., 2006)
<i>Logaritmik</i>	$MR = a \exp(-k t) + c$	(Wang vd. 2007, Xanthopoulos vd. 2007)

a ve c : Model katsayıları, k : Kinetik sabit (1/dk), n : Page model sabiti, t : Kuruma süresi (dk), MR : Nem oranı
 a and c : Model parameter, k : Kinetic constant (1/min), n : Page model parameter, t : Drying time (min), MR : Moisture

Uygulanan analizler

Böğürtlenler, Çukurova Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Meyve Sebze Analiz Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Kurutulmuş böğürtlen örnekleri, saf su ile 40 kat seyreltilerek karıştırıcı (Waring Commercial Blender, USA) yardımıyla homojen bir karışım elde edilmiştir. Çalışmada, mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin renk değerleri kurutma boyunca bir saatlik aralıklarla ölçülerek ısı işlemlerin renk değişimleri üzerine etkisi ve yöntemlerin kurutma başarısı incelenmiştir. Kuru örneklerin su aktivitesi 25°C'de su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, LabMaster, USA) ile ölçülmüştür. Kuru madde analizi ise örneklerden 1-5 g kadar alınarak etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuş ve sonuçlar yüzde kuru madde olarak hesaplanmıştır (g/100mL).

Renk analizi

Böğürtlen örneklerinin renk parametreleri, renk ölçüm cihazı (Minolta, model CR-400, Tokyo, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. L^* , a^* , b^* değerleri 3 boyutlu koordinat sistemi ile verilmekte ve bu koordinat sisteminde L^* değeri dikey eksenle parlaklıktan koyuluğa doğru değişimi belirtirken $+a^*$ kırmızılığa, $-a^*$ yeşillığe, $+b^*$ sarılığa, $-b^*$ ise maviliği göstermektedir (Lee and Castle, 2001). Kuru örneklerin su aktivitesi değerleri ise su aktivitesi cihazı (Novasina, LabMaster, USA) ile 25°C'de belirlenmiştir.

HMF analizi

Farklı kurutma metotları uygulanan böğürtlen örnekleri (1-5 g) kurutucuda sabit ağırlığa kadar kurutulmuş ve sonuçlar yüzde kuru madde cinsinden hesaplanmıştır (g/100 g) (Cemeroğlu, 2007). HMF, meyve ve sebzelerde doğal olarak bulunmayan ancak ısı ve asit etkisiyle monosakkaritlerden oluşan bir bileşiktir. Kurutulmuş böğürtlen örneklerinin HMF analizi yüksek basınç sıvı kromatografisi (HPLC, Shimadzu, LC-20AT, Kyoto, Japonya, 2006) kullanılarak örneklerin ekstraksiyonu ise Gökmen ve Acar (1998) tarafından önerilen yöntemle uygulanan bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Analizin prensibi örneklerin etilasetat ile ekstraksiyonu ve sonra sulu sodyum karbonat çözeltisi ile ekstraktın muamele edilmesi esasına dayanmaktadır. Analiz için Akyıldız vd. (2021) tarafından bildirilen HPLC koşulları ve mobil faz akışı uygulanmıştır.

TMA analizi

TMA tayininde ise Fuleki ve Francis (1968) tarafından önerilen ve Giusti ve Wrolstad (2001) tarafından geliştirilen pH diferansiyel yönteminden faydalanılarak mg siyanidin-3-glikozid/100 g KM cinsinden sonuçlar belirlenmiştir. Tüm absorbans okumaları, UV/VIS spektrofotometrede (Perkin Elmer Lambda 25 UV/VIS) gerçekleştirilmiştir.

Siyanidin-3-glikozid analizi

Örneklerin siyanidin-3-glikozid içeriği, Dündar vd. (2019) tarafından önerilen analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, örneklere metanol çözeltisi (%80) ilave edilerek 6000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmesinden (Heraeus Bofuge Primo R, Germany) sonra, süpernatant (20 µL) filtre (0.45 µm PTFE) edilerek 30°C sıcaklıktaki HPLC kolonuna (Xterra RP C18, 5 µm, 4.6x250 mm (Waters, Milford, ABD)) enjekte edilmiştir.

İstatistiksel analiz

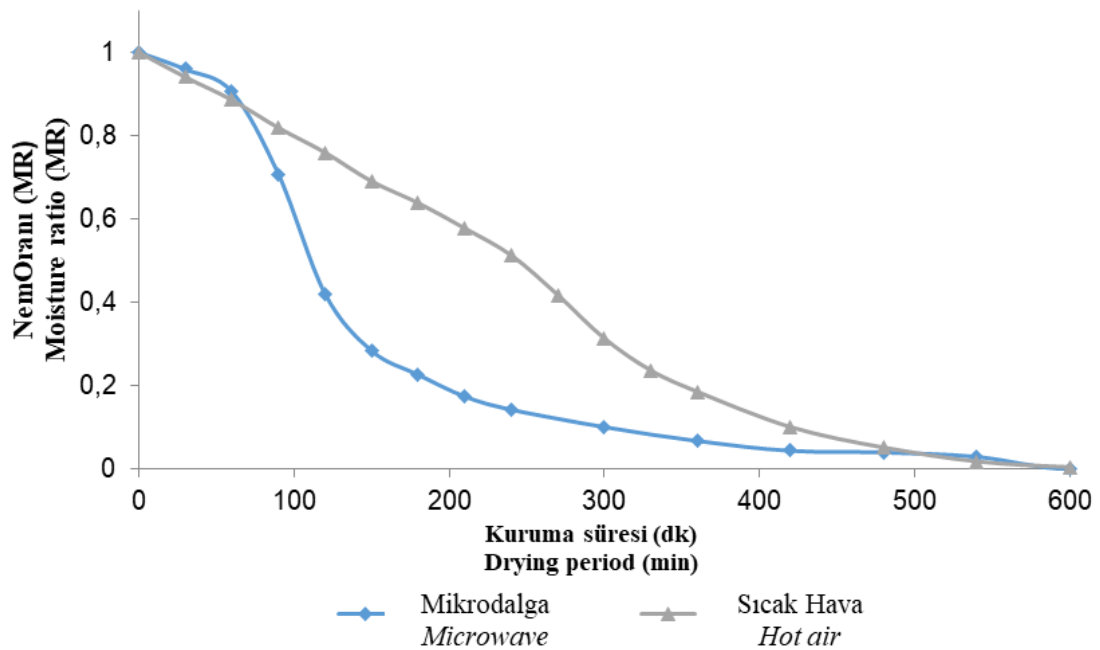
Elde edilen sonuçlar, SPSS (PASW Statistic 18) paket programı ile varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Varyans analiz sonuçlarına göre önemli bulunan uygulamaların ortalamaları Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır ($P < 0.05$).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kuruma kinetiği

İki kurutma yöntemi için de kurutulan böğürtlenlerin kuruma boyunca nem oranlarındaki değişim zamana bağlı olarak Şekil

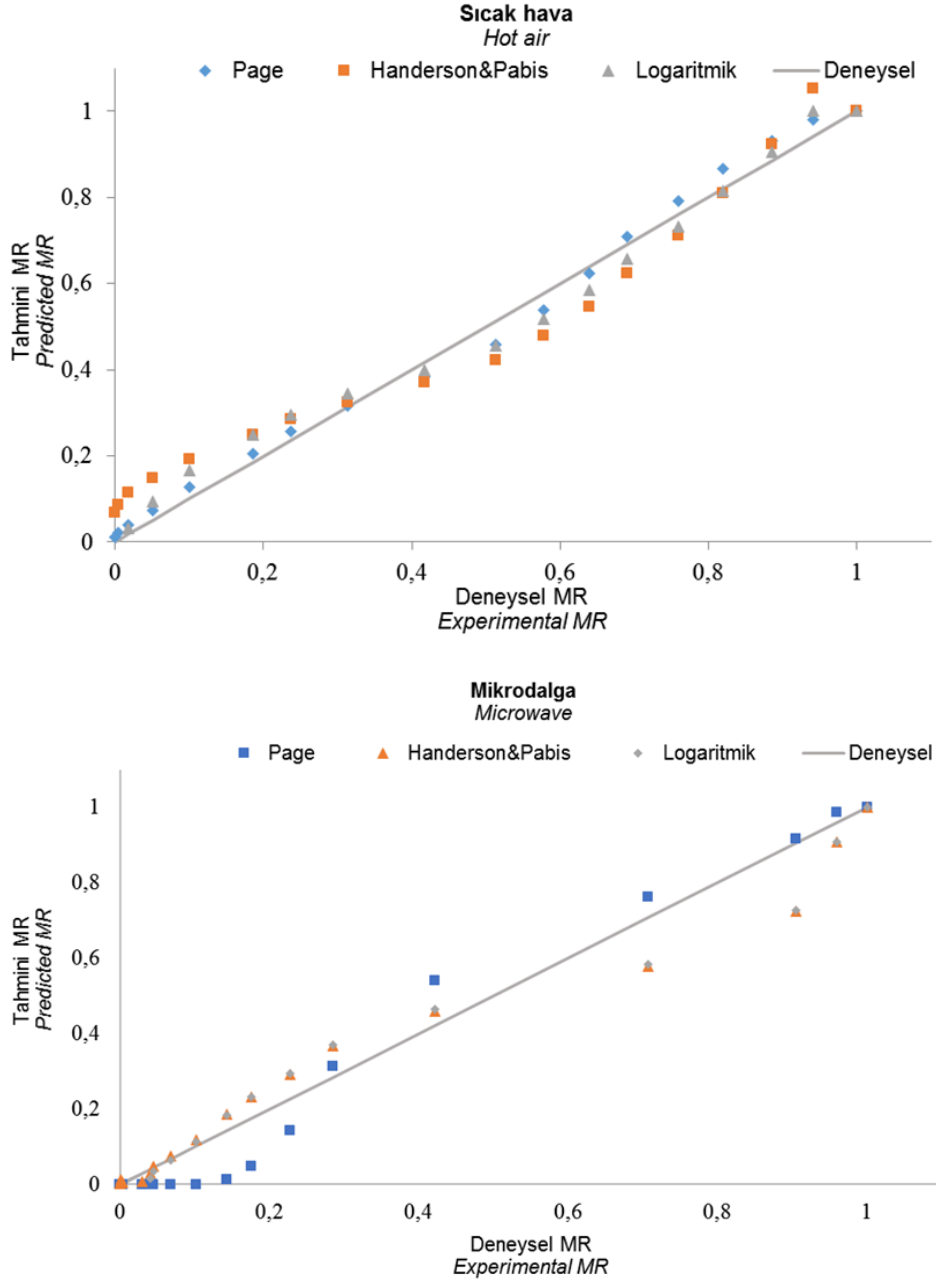
1.'de verilmiştir. Mikrodalga kurutma ile nem oranı ~300 dk içerisinde 0.1 değerine düşüş gösterirken sıcak hava kurutmada ile ~420 dk sonunda ulaşılmıştır. Her iki metotla kurutulan böğürtlenlerde bu sürelerden bir saat sonrasına kadar örnek alınarak kalite analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuruma kinetiklerinin modellenmesi amacıyla ise 600 dk boyunca ağırlık değişimleri kaydedilerek nem oranları hesaplanmıştır. Kurutma uygulamalarının nem oranı üzerindeki etkisi, kurutmanın 60. dakikasından sonra, özellikle 60–150 dk aralığında, belirginleşmeye başlamıştır. Mikrodalga kurutma tekniğine kıyasla, sıcak hava kurutma ile daha yavaş bir kuruma gerçekleşmiştir. Bunun sebebi mikrodalga kurutma tekniğinin direkt böğürtlenin merkezine ve serbest suya etki etmesi sonucu daha hızlı bir kurutma sağlanması olabilir. İki farklı yöntemle kurutulan böğürtlenlerin aynı nem oranına ulaşması için geçen süreler arasında karşılaştırıldığında, mikrodalga ile kurutmanın %29 oranında kurutma süresini azalttığı görülmektedir.



Şekil 1. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan böğürtlenlerin nem oranlarının zamanla değişimi
Figure 1. Variation of moisture content of blackberries dried with different drying methods over time

Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutma için elde edilen deneysel veriler ile kuruma modellerinden yararlanılarak tahminlenen değerlerin uygunluğunu Şekil 2’de verilmiştir. Mikrodalga ile kurutma yönteminde incelenen modellerde *Logaritmik* ve *Handerson&Pabis* modelleri benzer özellik göstererek deneysel kuruma davranışını Şekil 2.

temsil etmektedir. En az uyum gösteren model mikrodalga ile kurutma yönteminde *Page* modeli olurken sıcak hava ile kurutma yönteminde *Handerson&Pabis* modeli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulan böğürtlen örneklerine ait kuruma kinetiği verileri
Figure 2. Drying kinetic data of blackberry samples dried with microwave and hot air

Mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan böğürtlen örneklerinin kuruma davranışına uygun modelin saptanması için analiz edilen kuruma modellerine ilişkin katsayılar ve parametreler Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde en yüksek R^2 ve en düşük RSS ve $RMSE$ değerleri uygulanan model için en

uygunluğun bir ölçüsüdür. Değerlendirmeler sonucunda iki kurutma yöntemi içinde en uygun modelin *Logaritmik* model olduğu görülmektedir. Mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerine ait *Logaritmik* modellerin R^2 değerlerinin sırasıyla 0.9813 ve 0.9827 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Böğürtlen kurutma verilerine uygulanan kuruma modellerine ait sabitler ve modellerin istatistiksel uygunluk parametreleri

Table 2. The constants of the drying models applied to the blackberry drying data and the statistical fitness parameters of the models

Kurutma Yöntemi Type of dryer	Modeller Models	Model Sabitleri Model constants		İstatistiksel Parametreler Statistical parameters		
				R^2	RSS	$RMSE$
Mikrodalga Microwave	Page	k	7.92669×10^{-7}	0.8673	0.0792	0.0664
		n	2.83332			
	Henderson & Pabis	k	0.00911	0.9812	0.0405	0.0475
		a	1.37654			
	Logaritmik	k	0.00929	0.9813	0.0402	0.0473
		c	0.00721			
	a	1.37750				
Sıcak hava Hot air	Page	k	5.73×10^{-5}	0.8032	0.0166	0.0304
		n	1.73712			
	Henderson & Pabis	k	0.00436	0.9547	0.0944	0.0724
		a	1.19867			
	Logaritmik	k	0.00240	0.9827	0.0360	0.0484
		c	-0.37247			
	a	1.47454				

a ve c : Model katsayıları/Model parameters

k : Kinetik sabit (1/dk)/ Kinetic constant (1/min)

n : Page model sabiti/Page model parameter

Modelleme çalışmaları incelendiğinde, zeytin küspesinin farklı sıcaklıklarda kurutularak kuruma eğrisinin modellendiği çalışmada, altı farklı model (Page, Geliştirilmiş Page, Henderson&Pabis, Geliştirilmiş Henderson&Pabis, İki terimli, Logaritmik) test edilmiş ve en yüksek uyum gösteren modelin Geliştirilmiş Henderson&Pabis ($R^2=0.999$, $X^2=9.303 \times 10^{-5}$) olduğu görülmüştür (Vega-Galvez vd., 2010). Başka bir çalışmada ise dağ çileğinin kurutulmasıyla elde edilen deneysel verilerden yola çıkarak en düşük indirgenmiş kare ($X^2=0.00044$) ve $RMSE$ (0.02058) değerlerinin Page modelinde elde edilmesiyle, dağ çileği örneklerinin deneysel kuruma davranışını en iyi bu model ile açıklandığı belirlenmiştir (Çakmak vd., 2016). Kuşburnunun kurutulduğu bir başka

çalışmada ise Newton, Page, Henderson & Pabis, Logaritmik, İki terimli ve Wang & Singh modelleri arasından deneysel verilere, bu çalışmaya benzer şekilde, Logaritmik modelin ($R^2=0.994$) diğerlerine kıyasla daha yüksek uyum gösterdiği bildirilmiştir (Erenturk vd., 2004).

Kalite özelliklerindeki değişimler

Renk değişimi

Çalışmada, mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin renk değerleri kurutma süresi boyunca belirli zamanlarda ölçülmüş ve renk değerleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE^*) üzerine kurutma yöntemlerinin etkisini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır. Yapılan renk analizinde farklı kurutma yöntemleri ve zamanına

bağlı olarak böğürtlenlerin renklerine ilişkin parlaklık (L^*), yeşillik-kırmızılık (a^*), sarılık-mavilik (b^*), parametrelerinin kurutma süresi boyunca değişimleri ve taze böğürtlen renk değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Kurutma yönteminden bağımsız olarak, L^* değerinde kurutma süresi boyunca belirgin bir azalma söz konusudur. İki farklı kurutma yöntemi uygulanan böğürtlen örneklerinde en büyük değişim, sıcak hava ile kurutulanlarda gözlemlenmiştir. Sıcak hava kurutulan örneklerin a^* değerinde zamana bağlı olarak belirgin bir azalma görülmektedir ($P < 0.05$). Bu durum böğürtlenlerin kırmızı-mor renginin kurutma süresince zamana bağlı olarak

giderek koyulaştığının göstergesidir. Tazeye en yakın a^* değerlerine mikrodalga kurutma ile ulaşılmıştır. İki farklı kurutma uygulaması b^* değeri açısından kıyaslandığında, mikrodalga kurutmada önemli bir değişim olmazken, sıcak hava ile kurutmada 360. dakikaya kadar azalma gözlemlenmiştir. Farklı kurutma uygulamaları sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünlerin renk değerleri karşılaştırıldığında, sıcak hava ile kurutmanın rengi daha yüksek düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Ancak, kurutma yöntemlerinin renk değişimleri üzerindeki etkileri arasında 360. dakikaya kadar önemli düzeyde bir fark görülmemiştir.

Çizelge 3. Kurutma yöntemlerinin renk özellikleri üzerine etkileri
Table 3. Effects of drying methods on color attributes

Kuruma süresi (dk) Drying period (min)	L^*		a^*		b^*		ΔE^*	
	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air
0	41.0±0.1		0.84±0.1		-0.73±0.06		-	
60	32.57±1.69 ^{bc}	33.24±2.95 ^b	6.69±0.59 ^{de}	7.97±1.84 ^c	1.41±0.15 ^c	1.56±0.65 ^{bc}	10.48±1.64 ^c	10.78±3.34 ^c
120	31.51±1.76 ^d	32.65±2.37 ^{bc}	5.96±1.16 ^e	7.76±0.63 ^c	1.21±0.09 ^c	1.59±0.13 ^{bc}	10.95±0.71 ^c	11.09±1.83 ^c
360	30.57±4.26 ^e	31.75±1.64 ^{cd}	4.56±2.30 ^f	7.19±0.62 ^{cd}	0.68±0.25 ^c	1.03±0.10 ^c	11.17±3.71 ^c	11.35±1.12 ^c
420	-	32.37±0.93 ^{bcd}	-	10.13±1.60 ^b	-	2.4±0.70 ^b	-	13.06±1.92 ^b
480	-	35.45±1.20 ^a	-	22.09±1.08 ^a	-	8.13±0.65 ^a	-	23.7±1.11 ^a

^{a-f} Her bir özellik için farklı harflerle gösterilen ortalama değerler önemli düzeyde farklıdır ($P < 0.05$).

^{a-f} The mean values of each parameter with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir.

Results are given as mean \pm standard deviation.

Farklı kurutma yöntemleri uygulanan böğürtlenlerde, kurutma sonucunda ham maddede bulunan kuru madde içeriği önemli miktarda artmıştır. Nitekim en büyük değişim mikrodalga ile kurutulan böğürtlen örneklerinde gözlemlenmiştir. Kuru madde değeri ham örnekte %12.80, mikrodalga ile kurutmada %90.23, sıcak hava ile kurutmada %87.22 olarak bulunmuştur. Su aktivitesi (a_w) değerleri ise sıcak hava ve mikrodalga kurutmada sırasıyla 0.362 ± 0.02 ve 0.369 ± 0.02 olarak ölçülmüştür ($P > 0.05$). Su aktivitesi, gıdalarda mikrobiyal çoğalmanın gerçekleşmesi için gerekli olan, kullanılabilir sudur. Kurutulmuş meyveler için a_w değeri 0.7 olduğunda bu değerlerin güven aralığının altında ve mikrobiyolojik açıdan güvenli olduğu

belirlenmiştir. Genellikle yaşamsal faaliyetler için bakteriler 0.9; maya ve küfler ise 0.7 su aktivitesine ihtiyaç duymaktadır; 0.7 değeri altındaki su aktivitesi değerine sahip olan gıdalarda ise mikrobiyolojik faaliyetler gerçekleşmemektedir (Ayan, 2010).

HMF içeriğindeki değişim

İki farklı kurutma yönteminin kurutma süresince belirlenen HMF, TMA ve siyanidin-3-glikozit değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Böğürtlen örneklerine ait HMF değerleri kurutma süreleri boyunca önemli düzeyde artış göstermiştir. Bunun sebebi, ısıya maruz kalma süresinin uzaması ve gıdada bulunan nem miktarının azalması sonucu sıcaklık artışının HMF

oluşumunu arttırması olarak görülmektedir. Sıcak hava kurutmada da 0.58 ± 0.01 mg/kg KM olan kurutma başlangıcındaki HMF içeriği, kurumanın ilerlemesiyle 1.54 mg/kg KM düzeyine ulaşmıştır.

Kurutma işlemleri sonlandırıldığında, sıcak hava ile kurutulan örneklerin mikrodalga ile kurutulanlara kıyasla daha yüksek HMF içeriğine sahip olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4. Kurutma yöntemlerinin farklı kurutma sürelerinde hidroksimetilfurfural (HMF), toplam monomerik antosiyanin (TMA) ve siyanidin-3- glikozit bileşen değerleri

Table 4. Hydroxymethylfurfural (HMF), total monomeric anthocyanin (TMA) and cyanidin-3- glucoside values of drying methods at different drying times

Kurutma süresi (dk) Drying period (min)	HMF (mg/kg KM) HMF (mg/kg DM)		TMA (mg/100 g KM) TMA (mg/100 g DM)		Siyanidin-3- glikozit (mg/100 g KM) Cyanidin-3- glucoside (mg/100 g DM)	
	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air	Mikrodalga Microwave	Sıcak hava Hot air
60	0.94 ± 0.01^c	0.58 ± 0.01^g	576.82 ± 1.05^a	353.11 ± 1.72^c	320.39 ± 5.1^a	196.79 ± 5.25^b
120	0.50 ± 0.02^h	1.08 ± 0.02^d	427.33 ± 0.84^b	280.29 ± 1.52^d	112.40 ± 1.35^d	157.93 ± 0.9^c
360	0.75 ± 0.01^f	1.36 ± 0.01^c	128.73 ± 0.93^e	89.03 ± 0.91^f	48.41 ± 1.8^e	55.60 ± 1.8^c
420	-	1.49 ± 0.02^b	-	76.08 ± 2.78^g	-	35.59 ± 2.88^f
480	-	1.54 ± 0.02^a	-	54.03 ± 2.09^h	-	23.92 ± 3.45^g

^{a-f} Farklı harflerle gösterilen ortalama değerler önemli düzeyde farklıdır ($P < 0.05$).

^{a-f} The mean values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir.

Results are given as mean \pm standard deviation.

TMA içeriğindeki değişim

Her iki kurutma yönteminde de başlangıçtaki TMA miktarları zamana bağlı olarak önemli düzeyde azalma göstermiştir (Çizelge 4). İki yöntem karşılaştırıldığında ise mikrodalga kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya kıyasla antosiyanin parçalanması bakımından daha olumlu sonuç verdiği ifade edilebilir. Isıl işlem uygulamalarında, meyve ve sebzelerde bulunan bazı biyoaktif bileşenlerin miktarı üzerine sıcaklık kadar bu sıcaklığın uygulama süresi de etkili olmaktadır (Cemeroğlu, 2004). Benzer şekilde, sıcak hava ve vakum altında mikrodalga ile kurutulan yaban mersinlerinde TMA içeriğinin %70-95 oranında azalma gösterdiği bildirilmiştir (Zielinska ve Michalska, 2016).

Siyanidin-3-glikozit içeriğindeki değişim

Çalışma kapsamında uygulanan her iki kurutma yönteminde de başlangıçtaki siyanidin-3-glikozit içeriği zamanla belirgin miktarlarda azalma göstermiştir. Çağındı (2016) yaptığı çalışmasında, kırmızı üzüm suyu örneklerine mikrodalga uygulamasının fenolik madde içeriğinde azalmalara neden olduğunu gözlemlemiştir. Hem

mikrodalga hem de sıcak hava kurutmada, ısı ve oksidasyon etkisiyle siyanidin-3-glikozit bileşiklerin parçalanması yüksektir. Farklı çalışmalarda sıcaklık artışı ve maruz kaldığı süreye bağlı olarak siyanidin-3-glikozit parçalanmasının *Logaritmik* modele uyum gösterdiği bildirilmiştir (Rhim, 2002).

SONUÇ

Bu çalışmada, böğürtlenler mikrodalga ve sıcak hava yöntemleri ile kurutulmuş, kurutma boyunca nem oranı değişimlerinin bazı kuruma modellerine uygunluğu incelenmiş ve bazı önemli kalite parametrelerinin kurutma işlemleri ile değişimleri değerlendirilmiştir. Böğürtlen örneklerinin kuruma süreleri incelendiğinde, mikrodalga ile kurutma yönteminde nem oranlarındaki zamana bağlı değişimlerin eğimleri dikkate alındığında daha hızlı kuruma gerçekleştiği belirlenmiştir. Kuruma kinetiği belirlenirken kullanılan modellerine ait istatistiksel veriler dikkate alınarak böğürtlenlerin kurutulması sırasında nem oranında meydana gelen değişimin *Logaritmik* modele uygun olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga (fan destekli mikrodalga fırında 100

W) ve sıcak hava (70°C) ile gerçekleştirilen kurutma uygulamalarında, sıcak hava ile kurutulan örneklerin renk parametrelerindeki (L^* , a^* ve b^*) değişimin mikrodalga ile kurutulanlara kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga ile kurutulmuş böğürtlenlerin HMF içeriği diğer yöntemle kıyasla %51 daha düşüktür. TMA içeriğinde ise her iki kurutma yöntemi için de önemli düzeyde azalma söz konusu olmasına rağmen sıcak hava ile kurutulan böğürtlenlerde antosiyanin parçalanmasının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, siyanidin-3-glikozidin en fazla parçalandığı kurutma yöntemi sıcak hava ile kurutmadır. Her iki kurutma yönteminde de araştırılan kalite parametrelerindeki değişim, kurutma süresine bağlı olarak önemli düzeyde değişim göstermektedir.

Sonuç olarak, çalışma kapsamında ortaya konan matematiksel modeller böğürtlenlerin mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemleri ile kurtulması sırasında, daha iyi kalite özelliklerine sahip kurutulmuş böğürtlen üretiminde ve proses koşullarının optimize edilmesinde yol gösterici olacaktır. Ayrıca, mikrodalga kurutma yönteminin, özellikle kurutma süresi bakımından, sıcak hava kurutmaya kıyasla önemli avantajlar sağladığı tespit edilmiştir. Böylece kurutma sırasındaki enerji maliyetlerinin azaltılarak sürdürülebilir üretime önemli katkılar sağlanmış olacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili potansiyel çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKILARI

Çalışma tüm yazarlar tarafından tasarlanmıştır. Burcu Dündar Kırıt ve Sevdanur Sağol, analizlerin yürütülmesi, sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi, makale taslağının yazımı ve düzeltilmesine katkı sağlamışlardır. Erdal Ağçam, elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve taslak makalenin düzeltilmesine katkıda bulunmuştur. Asiye Akyıldız ise örneklerin temin edilmesi, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi,

taslak makalenin düzeltilmesi aşamalarında katkı ve danışmanlık sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın kimyasal analiz sürecindeki yardımlarından dolayı, Enes Erenmemişoğlu, Yaşar Burak Bulut, Pınar Altıntaş ve Aylin Doğruer'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Akyıldız, A., Mertoglu, T.S., Agcam E. (2021). Kinetic study for ascorbic acid degradation, hydroxymethylfurfural and furfural formations in orange juice, J. Food Compos. Anal. 103996,

Ağaoğlu, Y.S. (1986). Üzümsü Meyveler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

Akpınar, E.K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. Journal of Food Engineering, 73: 75-84.

Anonim, (2014). Bitkisel Üretim İstatistikleri (<http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>) (Erişim: 26.12.2014) 17. Strik, B., Finn, C., Clark, J. R., Banados, M. P. 2006. Worldwide Production of Blackberries.

Anonim, (2019). Ulusal Gıda Kompozisyon Veritabanı. <http://www.turkomp.gov.tr/> adresinden 24 Mayıs 2019 tarihinde alınmıştır.

Ayan, H. (2010). Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (*Lycopersicon esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Ankara.

Cemeroğlu, B. (2004). Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. cilt. ISBN 975-98578- 2-0

Cemeroğlu, B. (2007). Gıda Analizleri. (Bölüm yazarları: Cemeroğlu, Mehmet Özkan, Ahmet Yemenicioğlu, Ayşegül Kırca, Oktay Yemiş). Bizim Büro Basımevi, Ankara, 535 s.

Crandall, PC. (1995). Bramble Production: The Management Marketing of Raspberries and Blackberries. 147– 167, New York.

Çağındı, Ö. (2016). Mikrodalga Uygulamasının Kırmızı Üzüm Suyunun Antosiyanin İçeriği ile

- Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi, Akademik Gıda 14(4) (2016) 356-361
- Çakmak, H., Bozdoğan, N., Turkut, G.M., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş. (2016). Dağ Çileğinin (*Arbutus Unedo L.*) Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gıda.*; 41(4): 227-234.
- Demirsoy, L., Demirsoy, H., Bilgener, Ş., Öztürk, A., Ersoy, B., Çelikel, G., Balcı, G. (2006). Samsunda Yapılan Böğürtlen Çeşit adaptasyon Çalışmaları. II. Ulusal Üzümü Meyveler Sempozyumu, 14-16 Eylül 2006, Tokat, 237– 243.
- Dündar, B., Ağçam, E., Akyıldız, A. (2019). Optimization of thermosonication conditions for cloudy strawberry nectar with using of critical quality parameters. *Food Chemistry*, 276, 494–502.
- Erenturk, S., Gulaboglu, M.S., Gultekin, S. (2004). The thin-layer drying characteristics of rosehip. *Biosystems Engineering*, 89(2), 159e166.
- Fidan, M.S., Öz, A., Adanur, H., Turan, B. (2013). Gümüşhane Yöresinde Yetişen Bazı Önemli Odun Dışı Orman Ürünleri ve Kullanım Miktarları. *Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2).
- Figiel, A. (2010). Drying Kinetics and Quality of Beet roots Dehydrated by Combination of Convective and Vakuum-Microwave Methods. *Journal of Food Engineering*, 98: 461-470.
- Fuleki, T., Francis, F.J. (1968). Quantitative Methods for Anthocyanins. II. Determination of Total Anthocyanin and Degradation Index for Cranberry Juice. *Journal of Food Science*, 33, 78-83.
- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. R. E. Wrolstad, S. J. Schwartz (Eds), John Wiley and Sons, New York, pp 1-13.
- Ghodake, H.M., Goswami, T.K., and Chakraverty, A. (2006). “Mathematical Modeling of Withering Characteristics of Tea Leaves”, *Drying Technology*, 24:159-164.
- Gökmen, V., Acar J. (1998). An Investigation on the Relationship Between Patulin and Fumaric Acid in Apple Juice Concentrates. *Lebensm- Wiss Technol*, 31:480-483.
- Hassan-Beygi, S.R., Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Massah, J. (2009). “Drying Characteristics of Walnut (*Juglans regia L.*) During Convection Drying”, *International Agrophysics*, 23:129-135.
- Hartman, J.R. (2009). PoorFruit Set in Brambles, *PlantPathologyFactSheet*, Univ. of Kentucky Extension Service. UK.
- Howard, L.R., Hager, T.J. (2007). Berryfruit phytochemicals. In *BerryFruit Value-Added Products for Health Promotion*, 1st ed.; Zhao, Y., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, Vol. 1, pp 73-104.
- Lee, H.S., Castle, W.S. (2001). Seasonal changes of carotenoid pigments and color in Hamlin, Earlygold, Budd Blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 877– 882.
- Özdemir M., Devres, Y.O., (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *J Food Eng*, 42, 225-233.
- Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D., Bognar, A., (2002). Microwave Blanching of Vegetables. *Journal of Food Science*, 67(1): 390-398.
- Rhim J.W., (2002). Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage. *J Food Sci Biotechnol*, 11: 361-364.
- Sham, P.W.Y., Scaman, C.H., Durance, T.D. (2001). Texture of Vacuum Microwave Dehydrated Apple Chips as Affected by Calcium Pretreatment, Vacuum Level, and Apple Variety. *Journal of Food Science*, 66 (9):1341- 1347.
- Sobukola, O.P., Dairo, O.U. (2007). “Modeling Drying Kinetics of Fever Leaves (*Ocimum viride*) in a Convective Hot Air Dryer”, *Nigerian Food Journal*, 25:146-154.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., Hu, X. (2007). “Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace”, *Food Research International*, 40:39-46.

Xanthopoulos, G., Lambrinos, GR., Manolopoulou, H. (2007). "Evaluation of Thin-Layer Models for Mushroom (*Agaricus bisporus*) Drying", *Drying Technology*, 25:1471-1481.

Vega-Galvez, A., Miranda M., Diaz, LP., Lopez, L., Rodriguez, K., Di-Scala K. (2010). Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake. *Bioresour Technol*, 101, 7265-7270.

Yamashita, C., Chung, M.M.S., dos Santos, C., Mayer, C.R.M., Moraes, I.C.F., Branco, I.G.

(2017). Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. *LWT-Food Science and Technology*, 84, 256-262.

Zielinska, M., Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680.