

## DAĞ ÇİLEĞİNİN (*ARBUTUS UNEDO L.*) KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hülya Çakmak<sup>1\*\*</sup>, Neslihan Bozdoğan<sup>1</sup>, Gülsüm Merve Turkut<sup>1</sup>,  
Seher Kumcuoğlu<sup>2</sup>, Şebnem Tavman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş tarihi / Received: 05.01.2016

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 08.02.2016

Kabul tarihi / Accepted: 13.02.2016

### Özet

Bu çalışmada, dağ çileği (*Arbutus unedo L.*) meyvelerinin liyofilizatör ve tepsili kurutucuda kuruma kinetiği incelenmiştir. Başlangıç nem içeriği  $2.299 \pm 0.011$  kg su/kg kuru madde olan dağ çileğinin nem içeriği,  $-50^\circ\text{C}$ 'deki liyofilizatörde 12 saat süre sonunda  $0.160 \pm 0.001$  kg su/kg kuru madde içeriğine düşürülürken;  $60^\circ\text{C}$  ve 0.6 m/s sabit hava hızında tepsili kurutucuda 16 saat sonunda  $0.156 \pm 0.001$  kg su/kg kuru madde içeriğine düşürülmüştür. İnce tabaka kuruma modelleriyle deneysel verilerin uyumu incelendiğinde; Page modelinin, dağ çileğinin her iki kurutma yöntemi için deneysel kuruma verilerine en uygun model olduğu belirlenmiştir. Dağ çileğinin C vitamini, fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde, kuruma işlemiyle bu değerlerde azalma olduğu saptanmıştır. Ancak liyofilizatörde kurutulan örneklerin, tepsili kurutucuda kurutulan örneklerle daha yüksek C vitamini, fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan aktivite değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Liyofilizatörde kurutulan örneklerde parlaklık değeri ( $L^*$ ) ve sarılık ( $+b^*$ ) değeri taze örneğe kıyasla daha yüksek bulunurken, tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde kırmızılık ( $+a^*$ ) değerinin taze örneğe kıyasla yüksek bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Dağ çileği (*Arbutus unedo L.*), kurutma, modelleme, ABTS, fenolik madde, C vitamini

## EVALUATION OF DRYING KINETICS OF *ARBUTUS UNEDO L.* FRUIT AND DETERMINATION OF QUALITY CHARACTERISTICS

### Abstract

In this study, drying kinetics of wild strawberry (*Arbutus unedo L.*) fruits in freeze dryer and tray dryer were observed. Fruits having an initial moisture content of  $2.299 \pm 0.011$  kg water/kg dry matter were decreased to  $0.160 \pm 0.001$  kg water/kg dry matter in freeze dryer working at  $-50^\circ\text{C}$  after 12 hour drying, while the final moisture of fruits dried in a tray dryer at  $60^\circ\text{C}$  and 0.6 m/s were decreased to  $0.156 \pm 0.001$  kg water/kg dry matter after 16 hour drying. Thin layer drying behaviour of strawberries was evaluated and Page model was found to be the best fitting model to the experimental drying data. Vitamin C, total phenolic content and total antioxidant activity were found lower in dried fruits compared to the fresh fruit. However, the samples dried in freeze dryer had higher vitamin C, total phenolic and total antioxidant activity than tray dried samples. Lightness ( $L^*$ ) and yellowness ( $+b^*$ ) of freeze dried fruits were higher than the fresh ones and tray dried fruits had higher redness value than both of the fresh sample and freeze dried samples.

**Keywords:** Wild strawberry (*Arbutus unedo L.*), drying, modeling, ABTS, total phenolic, vitamin C.

\* Bu çalışmanın bir kısmı "Pamukkale Gıda Sempozyumu III- Kurutulmuş ve Yarı Kurutulmuş Gıdalar" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur. *Some part of this article was presented as an oral presentation in Pamukkale Food Symposium III- Dried and Semi-dried Foods.*

\*\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ hulya.cakmak@ege.edu.tr,

☎ (+90) 232 311 1312,

☎ (+90) 232 342 7592

## GİRİŞ

Dağ çileği (*Arbutus unedo* L., Ericaceae familyası) veya Türkiye'de bilinen ismi ile kocayemiş bitkisi, daima yeşil kalan bodur bir ağaççık türüdür. Çoğunlukla deniz seviyesinden 600 m kadar yüksekte, kuru, kayalık ve yamaçlarda veya çam ormanlarında yetişen dağ çileği ağacı genellikle 9-12 m'ye kadar uzayabilmektedir (1-3). Türkiye'nin özellikle Akdeniz iklimine sahip Ege ve Akdeniz Bölgelerinde ve bazı Karadeniz Bölgesi illerinde doğal olarak yetişen dağ çileği, buzlanmanın fazla yaşanmadığı ve yaz kuraklıklarının çok yoğun olmadığı batı, orta ve güney Avrupa'da, Kuzey Batı Afrika'da, Kanarya Adaları ve Batı Asya'da da doğal olarak yetişmektedir (1). Dağ çileğinin sonbaharda olgunlaşan meyveleri küre şeklinde, olgunlaştıklarında turuncu- kırmızı bir renge sahip, 2 cm çapa kadar büyüyebilmekte ve meyvenin yüzeyi konik yapılarla çevrelenmiştir (1).

Dağ çileği taze olarak tüketilebilmesinin yanında; şarap, brendi ve likör gibi alkollü içecekler, reçel, jöle ve marmelat şeklinde de tüketilebilmektedir. Ayrıca yoğurtlara tat vermek amacıyla ve turta gibi ürünlerde dolgu maddesi olarak da kullanıldığı bilinmektedir (1, 3-5).

Geleneksel tıpta ağacın meyveleri ve yaprakları antiseptik, diüretik, antihipertansif ve laksatif özellikleri nedeniyle kullanılmakta, ayrıca arteriyel hipertansiyon ve tromboz gibi kalp ve damar hastalıklarının tedavisine yardımcı olarak da kullanılabilir (1, 6). Bununla birlikte meyvelerinin antimikrobiyel özellik gösterdiği bildirilmiştir (6).

Dağ çileği, içerdiği flavonoidler sayesinde yüksek antioksidan aktive göstermektedir. Meyvenin yanı sıra yapraklardan elde edilen sulu ekstraktların, meyveden elde edilen sulu ekstraktlara göre daha yüksek fenolik madde içerdiği belirtilmektedir (7). Ayrıca genotipe bağlı olarak yapraklardan elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde içeriği 148-215 mg GAE/g ekstrakt arasında değiştiği bulunmuştur (8). Yaprak ve meyvenin antioksidan etkisi farklı kimyasal yöntemlerle saptanırken (6-9), serbest radikallerin insandan elde edilen eritrositlerin hemolizine karşı koruyucu etkisi kıyaslandığında, yapraktan elde edilen ekstraktın ( $IC_{50} = 0.062 \pm 0.002$  mg ekstrakt/ml) daha yüksek koruyucu etki gösterdiği belirlenmiştir (7). Bouzid ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre, meyvelerin toplam fenolik madde içeriği kullanılan çözügen tipine bağlı olarak farklı bulunmuş; en düşük fenolik madde sulu ekstrakttan ( $12.75 \pm 0.06$  mg GAE/g ekstrakt) elde edilirken, en yüksek fenolik madde içeriği etil asetat ekstraksiyonu ile ( $32.84 \pm 0.53$  mg GAE/g ekstrakt) elde edilmiştir.

Dağ çileğinin olgunlaşmış meyveleri, %42-52 oranında kuru madde ve yüksek oranda şeker içermektedir (4, 10). Yapılan çalışmalarda meyvenin, gallik asit ve gentisik asit gibi fenolik bileşenleri (1, 4, 10),  $\alpha$ -linolenik asit ve linoleik asit gibi yağ asitlerini (11), E, C vitamini,  $\beta$ -karoten, niasin gibi vitamin ve vitamin öncüllerini (1, 10), fumarik, laktik, malik ve sitrik asit gibi organik asitleri (10) ve kalsiyum, potasyum, magnezyum ve sodyum gibi mineralleri içerdiği belirlenmiştir (1, 2, 10). Ayrıca literatürde yer alan çalışmalarda, meyvenin içeriğinde alkoller ve esansiyel yağlar gibi uçucu bileşenlerin de bulunduğu belirtilmiştir (1).

Kurutma işlemi eş zamanlı ısı ve kütle aktarımı işlemi olarak tanımlanmaktadır. Gıda materyalinden suyu buharlaştırmak amacıyla; hissedilir ısı ve gizli ısı aktarımı gerekmektedir (11). Kurutma işlemi, tahıl, meyve, sebze, baharat, et ve deniz ürünleri gibi gıda ürünlerindeki su oranını mikrobiyel bozulmanın en az ölçüde gerçekleşebileceği bir seviyeye düşürmek amacıyla sıklıkla uygulanan bir işlemdir (12, 13). Kurutma üniteleri, güneşte kurutma veya sıcak hava kurutma ünitelerinden; yüksek kapasiteli, gelişmiş püskürtmeli kurutuculara veya dondurarak kurutma ünitelerine kadar büyük bir yelpazede çeşitlilik göstermektedir. Günümüzde marketlerde çok farklı çeşitlilikte kurutulmuş ürün bulmak mümkündür ve bu durum hazır gıda sektörüne önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (11). Gıdaların işlenmesinde en yaygın olarak kullanılan kurutucular; fırın, tepsili kurutucu, tünel kurutucu ve dondurarak kurutucu gibi kurutuculardır (12). Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden biri olan tepsili kurutucuda kurutma yönteminde ısı; taşınım ile havadan gıdanın yüzeyine ve iletim yolu ile de gıda içinde aktarılmaktadır. Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) işleminde ise, gıda materyali dondurulmakta ve gıdada oluşan buz, süblimasyon ile üründen uzaklaştırılmaktadır. Buzun uzaklaştırılma işlemi, genellikle çok düşük basınca sahip ortamda, iletim veya ışınım yoluyla ısı aktarımı ile gerçekleştirilmektedir (11). Bu kurutma yönteminde düşük sıcaklık ve vakumun birlikte kullanılması, ürünün şekil, renk ve tat özelliklerinin korunmasına yardımcı olmaktadır (12).

Geleneksel olarak kullanılan en yaygın kurutma yöntemi olan güneşte kurutma işleminin uzun kuruma süresi gerektirmesi, mikrobiyel bulaşma riski taşınması ve hava durumuna bağlı olarak üründen kalite kaybına neden olabilmesi gibi durumlar bu kurutma işleminin dezavantajları arasında yer almaktadır. Orak ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, güneşte kurutma yönteminin belirtilen dezavantajlarının yanı sıra; dağ çileğinin sonbahar ve kış aylarında olgunluğa

ulaşması sebebiyle güneşte kurutma yönteminin bu ürüne uygun olmadığı ve bu nedenle farklı kurutma tekniklerinin uygulanması gerektiği belirtilmiştir (13). Belirtilen sebepler nedeniyle gerçekleştirilen bu çalışmada, kurutma yöntemi olarak tepsili kurutucuda kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri denenmiştir.

Kaliteli bir kurutulmuş ürün elde edebilmek ve bu işlem sırasında enerji verimliliğini arttırabilmek amacıyla kurutma işlemi sırasındaki nem aktarım özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Kurutma işlemi daha iyi kontrol edebilmek ve tahminlemek amacıyla, farklı koşullar altında oluşturulan kuruma eğrilerine uygun modeller uygulanması önemlidir (14, 15). Gıdaların kuruma mekanizmalarını açıklayan matematiksel modellerden sıcaklık ve nem bilgilerini elde edebilmek mümkündür. Matematiksel modellerin içerisinde ince tabaka kuruma modeli, kolay kullanımı ve karmaşık teorik modellerdeki gerekli verilere ihtiyaç duyulmaması nedeniyle geniş kullanım alanı bulmuştur (16). Birçok gıda ürününün kurutulmasında çoğunlukla araştırılan teorik kuruma modelleri, Fick'in ikinci yasasının seri çözümlerinin basitleştirilmesiyle elde edilmektedir (14).

Bu çalışmada ülkemizde sınırlı alanda doğal olarak yetişen dağ çileğinin, tepsili kurutucu ve liyofilizatörde ince tabaka kuruma davranışları incelenmiştir. Tepsili kurutucu ve liyofilizatörde kurutulan örnekler için etkin difüzyon katsayıları hesaplanmış ve literatürde sıkça kullanılan Lewis, Page, Henderson and Pabis, logaritmik, two-term ve Midilli et al. ince tabaka kuruma modelleri deneysel verilere uygulanmıştır. Ayrıca taze ve kurutulmuş örneklerin; C vitamini, toplam antioksidan aktivite ve fenolik madde içerikleri ile meyve içi renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ , C, WI) belirlenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Çalışmada kullanılan taze ve tam olarak olgunlaşmış dağ çilekleri, Aydın ili Efeler ilçesi Zeytin Köyü'nden temin edilmiştir. Taze örnekler yıkanıp dilimlendikten sonra analize hemen alınmış, liyofilizatörde kurutulacak örnekler ise yıkanıp dilimlendikten sonra analizlere kadar  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dondurucuda (MDF-U443, Sanyo, Osaka, Japonya) depolanmıştır.

### Dağ çileğinin kurutulması ve kurutmanın matematiksel modellenmesi

Yıkanıp, fazla suyu uzaklaştırılan ve  $1.00\pm 0.13$  cm kalınlığında dilimlenen tam olgunlaşmış dağ çilekleri  $60\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $0.6$  m/s sabit hava hızında tepsili kurutucuda (UOP8, Armfield, Hampshire, İngiltere)

kurutulmuştur. Tekdüze olarak alüminyum tepsiye ( $18\times 27$ cm) yerleştirilen örneklerin ağırlıkları ilk saat 5'er dakika aralıklarla, daha sonra 30 dakika aralıklarla toplam 16 saat süreyle kaydedilmiştir. Dondurarak kurutma işlemi liyofilizatörde (FT33, Armfield, Hampshire, İngiltere) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi öncesi örnekler,  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat boyunca dondurulmuş ve kondenser sıcaklığı  $-50\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  ve plaka sıcaklığı  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmış liyofilizatörde, alüminyum petri kapları içerisinde yaklaşık 12 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan örnekler sızdırmaz cam kaplarda analizlere kadar  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de depolanmıştır. Kurutma işlemi 2 paralel 3 tekrür halinde gerçekleştirilmiştir.

Dağ çileği örneklerinin nem difüzyonunun belirlenmesinde Fick'in ikinci kanunundan yararlanılmıştır. Plaka şeklinde malzemeler için azalan kuruma hızı bölgesinde difüzyon eşitliği için bazı varsayımlar göz önüne alınmaktadır. Bunlar; kurutma işlemi sırasında nem transferinin yalnızca difüzyon ile gerçekleştiği, kuruma sırasında üründe büzüşme olmadığı, ortamdaki sıcaklık ve basınç değişimlerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğudur (17-20). Sonsuz levha için Fick kanunu Eşitlik 1'de gösterilmiştir;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ -(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{etkin} t}{L^2} \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte belirtilen  $MR$  boyutsuz nem oranını,  $M_0$  başlangıç nem miktarını ve  $M_e$  ise denge nem miktarını göstermektedir.  $M$  ise herhangi bir  $t$  anında ürünün nem miktarıdır.  $L$  buharlaşmanın iki yönden gerçekleştiği durumlarda levhanın yarı kalınlığını ( $m$ ) ve Detkin etkin difüzyon katsayısını ( $m^2/s$ ) temsil etmektedir (19, 20). Uzun kuruma süreleri için Eşitlik 1'de gösterilen seri basitleştirilerek Eşitlik 2'de belirtilen ilk terimi difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır (19, 20).

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

Örneklerin etkin difüzyon katsayıları ( $D_{etkin}$ ), kuruma süresine karşılık çizilen  $\ln(MR)$  grafiğinin eğiminden hesaplanmıştır (21).

$$k = \frac{(\pi^2 D_{etkin})}{4L^2} \quad (3)$$

Tepsili kurutucu ve liyofilizatörde gerçekleştirilen kurutma işleminde örneklerin kuruma davranışının belirlenmesi amacıyla Çizelge 1'de yer alan altı ince tabaka kuruma modeli Matlab 7.12.0 (MathWorks Inc., USA) yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Deneysel ve tahminlenen verilerin birbirleri ile istatistiksel uyumu; düzeltilmiş belirleme katsayısı ( $\text{adj-R}^2$ ) (Eşitlik 4 ve 5), indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) (Eşitlik 6) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) (Eşitlik 7) değerleri kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller  
Table 1. Mathematical models fitted to experimental drying data

Model adı Model name	Model denklemleri Model equation	Kaynak Reference
Lewis	MR = exp (-kt)	19; 22; 23
Page	MR = exp (-kt <sup>n</sup> )	19; 22; 23
Henderson and Pabis	MR = aexp (-kt)	19; 22; 23
Logaritmik	MR = aexp (-kt) + c	19; 22; 23
Two-term	MR = aexp (-k <sub>0</sub> t) + bexp (-k <sub>1</sub> t)	19; 22; 23
Midilli et al.	MR = aexp (-kt <sup>n</sup> ) + bt	19; 22; 23

$$Adj - R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-m-1} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i}) \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i})^2][\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (6)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Eşitliklerde kullanılan  $MR_{pre,i}$  tahminlenen nem oranını,  $MR_{exp,i}$  deneysel nem oranını, N gözlem sayısını, m regresyon parametrelerinin sayısını ve n ise sabitlerin sayısını temsil etmektedir (19).

#### Kimyasal Analizler ve Renk değerleri

Taze ve kurutulan dağ çileği örneklerinin C vitamini içeriği Hışıl (2007)'de belirtilen yöntemle göre askorbik asit cinsinden spektrofotometrik yöntem ile belirlenmiştir (24).

Taze ve kurutulmuş çilek örneklerinin fenolik madde içeriği Cemeroglu (2007)'de belirtilen yöntemle göre tayin edilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda 760 nm dalga boyunda gallik asit için standart eğri çizilmiş, örnekler için toplam fenolik madde içerikleri, standart eğri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g km örnek olarak belirtilmiştir (25).

Taze ve kurutulmuş çilek örneklerinin toplam antioksidan aktivitesi ABTS.+ radikali indirgenmesiyle Cemeroglu (2007)'de belirtilen yöntemle göre belirlenmiştir. 734 nm'de troloks için standart eğri çizilmiştir. Ekstrakte edilen örneklerden ABTS.+ radikalinin % inhibisyon grafiği elde edilerek Eşitlik 8'den toplam antioksidan madde içeriği mM Troloks/g km örnek olarak hesaplanmıştır (25).

$$\text{Troloks eşdeğeri antioksidan içerik} = \frac{\text{örnek eğimi}}{\text{standart eğri eğimi}} \quad (8)$$

Taze ve kurutulan dağ çileği örneklerinin meyve içi (et kısmı) renk ölçümleri Minolta renk cihazı (CR-400, Konika Minolta Sensing, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen L\*, a\* ve b\* değerleri kullanılarak Khan ve ark. (2014) çalışmasında belirtildiği gibi; toplam renk değişimi ( $\Delta E^*$ ), chroma (C\*) ve beyazlama

indeksi (WI) değerleri aşağıda belirtilen denklemlere göre hesaplanmıştır;

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L^* - L_{taze}^*)^2 + (a^* - a_{taze}^*)^2 + (b^* - b_{taze}^*)^2]} \quad (9)$$

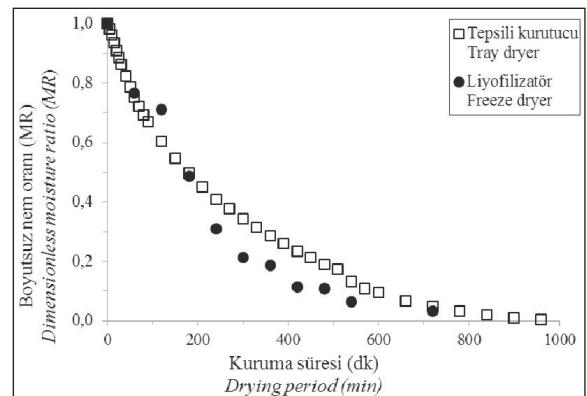
$$C^* = \sqrt{[(a^*)^2 + (b^*)^2]} \quad (10)$$

$$WI = 100 - \sqrt{[(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]} \quad (11)$$

#### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

##### Dağ çileğinin kurutulması ve kurutmanın matematiksel modellemesi

Tam olarak olgunlaşmış, 2.299±0.011 kg su/kg kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip dağ çileği örnekleri, tepsili kurutucuda 0.156±0.001 kg su/kg kuru madde içeriğine, liyofilizatörde ise 0.160±0.001 kg su/kg kuru madde içeriğine kadar kurutulmuştur. Şekil 1'de her iki kurutma yöntemine ait ortalama boyutsuz nem grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde liyofilizatör ile kuruyan örneklerin, tepsili kurutucuda kuruyan örneklerle kıyasla daha kısa sürede benzer nem içeriğine ulaştığı görülmektedir. Her iki kurutma yöntemi için kurumanın azalan kuruma hızı bölgesinde olduğu,



Şekil 1. Dağ çileğine ait ortalama boyutsuz nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

Figure 1. Dimensionless moisture ratio versus time.

sabit kuruma hızının görülmeyeceği belirlenmiştir. Meyvenin sahip olduğu pürüzlü kabuk yapısı ve meyve dokusu kurumaya karşı bir direnç oluşturmakta olup, meyvenin tam olarak kurutulabilmesi

için çok daha uzun kuruma sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle liyofilizasyon sırasında yoğun enerji tüketimi, kurutulmuş ürünlerin ekonomik değerini oldukça yükseltmekte, ancak üründe büzüşmenin olmaması, besin içeriğinin diğer kurutma yöntemlerine kıyasla korunması, kuru ürünün canlı rengini ve aromasını koruması bu kurutma yönteminin bazı gıda ürünleri için tercih edilmesine yol açmaktadır (14). Liyofilizasyon işlemi sırasında dondurma, vakum uygulanması, süblimasyon ve kondensasyon sırasında enerji tüketilmekte olup 1 kg suyu buharlaştırmak için 6000 kJ'den fazla enerjiye ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (27). Sıcak hava ile kurutmada ise daha düşük enerji tüketimi olmasına karşın (liyofilizatöre göre 4-8 kat daha düşük), kurutulan gıdanın yüzeyinde sıcaklık yükselmesi ile kabuk oluşumu ve büzüşme gerçekleşirken ısı etkisiyle Maillard reaksiyonlarını destekleyerek üründe pişmiş/yanmış renk oluşumuna yol açabilmektedir (27).

Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modellere ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 2' de gösterilmektedir. İncelenen modellerin tümünde, yüksek düzeltilmiş belirleme katsayısı (>0.97) değerleri elde edilmiştir. Ancak en yüksek düzeltilmiş belirleme katsayısı ve en düşük indirgenmiş ki-kare ve RMSE değerleri Page modelinden elde edilmesi sebebiyle dağ çileği örneklerinin deneysel kuruma davranışını en iyi bu modelin temsil ettiği belirlenmiştir. Her iki kurutma yöntemi için Page modelinin deneysel sabitleri ve difüzyon katsayıları Çizelge 3' te yer almaktadır. Olanipekun ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, farklı kurutma yöntemleri (sıcak hava, mikrodalga ve güneşte

kurutma) ile ananas dilimleri kurutulmuş ve 60°C' lik sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde de bu çalışmaya benzer şekilde Page modelinin deneysel kuruma değerlerine en uygun matematiksel model olduğu belirlenmiştir. Örneklerin ln (MR)'a karşılık kuruma süresi grafiğinin eğiminden difüzyon katsayıları hesaplanmış olup, liyofilizasyon yöntemi ile kurutmada, tepsili kurutucuya kıyasla daha yüksek etkin difüzyon katsayısı elde edilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği üzere, liyofilizatörde kurutulan örnekler, tepsili kurutucuda kurutulan örneklere göre benzer nem içeriğine daha kısa sürede ulaşmıştır.

#### Kimyasal Analizler ve Renk değerleri

Taze ve kurutulmuş dağ çileği örneklerine ait C vitamini içerikleri Çizelge 4'te verilmiştir. Taze örneklere ait C vitamini değeri 170.53±8.77 mg askorbik asit/100 g km örnek olarak tespit edilmiştir. Şeker ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, meyvenin C vitamini içeriği 124-243 mg/100 g yaş ağırlık olarak, Ruiz-Rodriguez ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise 122-262 mg/100 g yaş ağırlık olarak belirtilmiş olup, bu çalışmada taze meyve için bulunan C vitamini değeri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kurutulan örneklere ait C vitamini değerleri ise, tepsili kurutucu için 76.29±3.58 mg askorbik asit/100 g km ve liyofilizatör için ise 107.84±1.16 mg askorbik asit/100 g km örnek olarak bulunmuştur. Çalışmamıza benzer şekilde, Orak ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada liyofilizatörde kurutulan dağ çileğinin toplam C vitamini içeriği, sıcak hava ile kurutulan örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada belirtilen taze (528.42±18.44 mg askorbik asit/100 g km),

Çizelge 2. Kuruma eğrilerine uygulanan kuruma modellerin istatistiksel sonuçları  
Table 2. Statistical results of tested models

Model	Tepsili Kurutucu Tray dryer			Liyofilizatör Freeze dryer		
	adj- R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE	adj- R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Newton	0.9943	0.00068	0.02568	0.9740	0.00292	0.05400
Page	0.9963	0.00044	0.02058	0.9851	0.00167	0.04081
Henderson and Pabis	0.9959	0.00049	0.02179	0.9737	0.00295	0.05431
Logaritmik	0.9959	0.00050	0.02179	0.9737	0.00332	0.05431
Two-term	0.9957	0.00052	0.02244	0.9662	0.00379	0.06158
Midilli <i>et al.</i>	0.9963	0.00045	0.02067	0.9812	0.00211	0.04588

Çizelge 3. Page modeli deneysel sabitleri ve difüzyon katsayıları.  
Table 3. Constants of Page model and effective diffusion coefficients

Kurutucu Dryer type	k	n	D <sub>etkin</sub> Deff (m <sup>2</sup> /s)
Tepsili kurutucu Tray dryer	0.006091	0.9171	8.55x10 <sup>-10</sup>
Liyofilizatör Freeze dryer	0.001026	1.2650	9.40x10 <sup>-10</sup>

liyofilizatörde kurutulmuş ( $396.46 \pm 16.38$  mg askorbik asit/100 g km) ve sıcak hava ile kurutulmuş ( $246.95 \pm 16.78$  mg askorbik asit/100 g km) örneklerin C vitamini içerikleri, çalışmamızdan oldukça yüksek bulunmuştur.

Dağ çileği örneklerinin fenolik madde içeriği Çizelge 4'te verilmiştir. En yüksek fenolik madde  $2.42 \pm 0.01$  mg GAE/ g km ile taze örneklerde, en düşük fenolik madde ise  $1.62 \pm 0.01$  mg GAE/g km ile tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerde elde edilmiştir. Çalışmaya benzer şekilde Orak ve ark. (2012), taze, sıcak hava ( $65^\circ\text{C}$ ) ve liyofilizatörde ( $-40^\circ\text{C}$ ) kurutulmuş dağ çileği örneklerinden, en yüksek fenolik madde içeriklerinin taze örneklerde, en düşük fenolik madde içeriğinin ise sıcak hava uygulanarak kurutulmuş örneklerde olduğunu belirlemişlerdir. Ruiz-Rodriguez ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, farklı yıllarda hasat edilen dağ çileği örnekleri için toplam fenolik madde içeriği  $951-1973$  mg GAE/100 g yaş ağırlık olarak belirtilmekte olup, bu çalışmada taze örnek için verilen değerlere yakın olduğu görülmektedir. Kurutma sırasında uzun süreler sıcak havaya maruz kalan çileğin fenolik madde içeriği azalmış, ancak literatüre benzer şekilde liyofilizatörde kurutulmuş örneklerde fenolik madde kaybı tepsili kurutucuda kurutulmuş örneğe kıyasla daha düşük çıkmıştır (13).

Taze ve kurutulmuş dağ çileği örneklerine ait toplam antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4'te görülmektedir. Taze örneklere ait toplam antioksidan miktarı  $21.10 \pm 0.01$  mM Troloks/g km dağ çileği olarak tespit edilirken; kurutulmuş örneklere ait değerler tepsili kurutucu ve liyofilizatör için sırasıyla  $2.83 \pm 0.00$  ve  $3.86 \pm 0.00$  mM troloks/g km dağ çileği olarak bulunmuştur. Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında; liyofilizatörde kurutulmuş örneklerde toplam antioksidan aktivite değerlerinin, tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerden daha yüksek olması, liyofilizatör ile kurutma süresinin daha düşük olmasıyla ilişkilendirilebilir. Literatür incelendiğinde kurutulmuş veya taze dağ çileğinin troloks eşdeğeri cinsinden toplam antioksidan aktivite değeri bulunmadığı görülmektedir. Ancak

diğer çilek çeşitlerinde taze örnekler için toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde; iki farklı türe ait çilek posasında  $68.34-71.71$  mmol troloks/g (29), farklı genotipe ait ve farklı zamanlarda hasat edilen çileklerde ise  $5.9-8.9$  mmol troloks/kg yaş ağırlık olarak bulunmuştur (30).

Taze ve kurutulmuş dağ çileği örnekleri için renk analizi sonuçları Çizelge 5'te görülmektedir. Örneklerin parlaklık değerleri ( $L^*$ )  $46.53-83.68$  arasında değişirken, en az parlaklık değerinin tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerde olduğu belirlenmiştir. Bu farklılığın sıcak hava etkisiyle meyvede Maillard reaksiyonları gerçekleşerek oluştuğu düşünülmektedir. Literatüre benzer şekilde (13), sıcak hava ile liyofilizatörde kurutulmuş örneklerin parlaklık değeri karşılaştırıldığında, liyofilizatörde kurutulmuş örneklerin taze örnekten ve sıcak hava ile kurutulmuş örnekten daha yüksek olduğu görülmektedir. Liyofilizatörde kurutulmuş örneklerde, parlaklık değeri ( $L^*$ ) ve sarılık değerinin artışı ( $+b^*$ ), toplam renk değişimi ( $\Delta E^*$ ) ve beyazlama indeksi değerlerinde artışa yol açmıştır. Tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerde; kırmızılık ( $+a^*$ ) değerinin taze örneğe kıyasla daha yüksek olmasına karşın, toplam renk değişimi liyofilizatörde kurutulmuş örneklerden daha düşük bulunmuştur. Sıcak hava etkisiyle meyve yüzeyinde Maillard reaksiyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan esmerleşmenin (27), tepsili kurutucuda parlaklık değerinin azalması ve kırmızılık değerinin artmasına yol açtığı düşünülmektedir.

Dağ çileği; C vitamini, fenolik madde ve toplam antioksidan madde içeriği yüksek bir meyve olmakla beraber, meyvenin doğal olarak ve belirli bölgelerde yetişmesi, kısa süreli olarak hasat edilmesi sebebiyle ihracat potansiyeli olan bu meyveden ülkemiz ekonomik açıdan yeteri kadar faydalanamamaktadır. Ayrıca olgun meyvelerin yumuşak dokusu, meyvenin hızla bozulmasına sebep olmakta ve ürünün işlenmiş olarak kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada dağ çileği meyvesinin iki farklı kurutucu ile kurutma kinetiği incelenmiş ve deneysel sonuçlar ile ince tabaka kurutma modellerinin uyumluluğu

Çizelge 4. Taze ve kurutulmuş dağ çileğinin C vitamini, fenolik madde ve toplam antioksidan aktivitesi  
Table 4. Vitamin C, phenolic content and total antioxidant activity of fresh and dried wild strawberry

Örnek Sample	C vitamini (mg askorbik asit/100 g km) Vitamin C (mg ascorbic acid/ 100 g dm)	Fenolik madde (mg GAE/g km) Phenolic content (mg GAE/ g dm)	Toplam antioksidan aktivite (mM Troloks/g km) Total antioxidant activity (mM Trolox eq./ g dm)
Taze Fresh	$170.53 \pm 8.77$	$2.42 \pm 0.01$	$21.10 \pm 0.01$
Liyofilizatörde kurutulmuş Freeze dried	$107.84 \pm 1.16$	$1.65 \pm 0.02$	$3.86 \pm 0.00$
Tepsili kurutucuda kurutulmuş Dried in tray dryer	$76.29 \pm 3.58$	$1.62 \pm 0.01$	$2.83 \pm 0.00$

Çizelge 5. Kurutma yöntemlerinin meyve içi renk özellikleri üzerindeki etkileri  
Table 5. Effect of dryer type on fruit flesh colour

Kurutma yöntemi Type of dryer	L*	a*	b*	ΔE*	C*	WI
Taze Fresh	49.62±2.32	7.42±0.53	38.49±3.22	-	39.20±3.56	36.12±3.44
Tepsili Kurutucu Tray dryer	46.53±2.86	11.70±1.58	28.04±3.13	12.42±3.15	30.50±3.46	38.05±1.85
Liyofilizatör Freeze dryer	83.68±1.92	5.28±2.39	43.17±4.38	34.82±1.75	43.54±4.74	53.47±4.81

belirlenmiştir. Kurutma işlemiyle meyvenin yapısındaki biyoaktif bileşenlerde (C vitamini, fenolik madde ve toplam antioksidan aktivite) azalma olmuş ve kurutulmuş meyvelerde tazeye kıyasla renk değerlerinde değişim gözlenmiştir. Ancak liyofilizatör ile kurutulan örneklerde C vitamini, fenolik madde ve toplam antioksidan aktivite değerleri, tepsili kurutucuya kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Kurutma işlemi, özellikle liyofilizasyon, enerji yoğun bir işlem olması sebebiyle kurutma süresinin kısaltılmasıyla enerji maliyetleri düşecek, ayrıca kuru üründe kalite kayıpları oldukça azaltılmış olacaktır. İleriki çalışmalarda farklı kurutucular kullanılması veya kurutma öncesi ön işlem uygulanmasının dağ çileğinin kuruma süresine ve kuru ürün kalite özelliklerine etkisi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Miguel MG, Faleiro ML, Guerreiro AC, Antunes MD. 2014. *Arbutus unedo L.*: chemical and biological properties. *Molecules*, 19(10), 15799-15823.
- Özcan MM, Hacısferoğulları H. 2007. The Strawberry (*Arbutus unedo L.*) fruits: Chemical composition, physical properties and mineral contents. *J Food Eng*, 78 (3), 1022-1028.
- Gomes MFFN. 2011. Strategies for the improvement of *Arbutus unedo L.* (strawberry tree): *in vitro* propagation, mycorrhization and diversity analysis. Universidade De Coimbra PhD thesis, Portugal, 216 p.
- Ayaz FA, Küçükismailoğlu M, Reunanen M. 2000. Sugar, non-volatile and phenolic acids composition of strawberry tree (*Arbutus unedo L. var. ellipsoidea*) fruits. *J Food Compos Anal*, 13, 171-177.
- Şeker M, Yücel Z, Nurdan E. 2004. Çanak kale yöresi doğal florasında bulunan kocayemiş (*Arbutus unedo L.*) popülasyonunun morfolojik ve pomolojik özelliklerinin incelenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(4), 422-427.

- Ruiz-Rodriguez BM, Morales P, Fernandez-Ruiz, V, Sanches-Mata MC, Camara M, Diez-Marques C, Pardo-de Santayana M, Molina M, Tardío J. 2011. Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo L.*) through nutritional assessment and natural production data. *Food Res Int*, 44, 1244-1253.

- Mendes L, de Freitas V, Baptista P, Carvalho M. 2011. Comparative antihemolytic and radical scavenging activities of strawberry tree (*Arbutus unedo L.*) leaf and fruit. *Food Chem Toxicol*, 49(9), 2285-2291.

- Malheiro R, Sá O, Pereira E, Aguiar C, Baptista, P, Pereira JA. 2012. *Arbutus unedo L.* leaves as source of phytochemicals with bioactive properties. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 473-478.

- Bouزيد K, Benali FT, Chadli R, Bouzouina M, Bouzid A, Benchohra A. 2014. Extraction, identification and quantitative HPLC analysis of flavonoids from fruit extracts of *Arbutus unedo L.* from Tiaret area (Western Algeria). *Eur J Mol Biotechnol*, 6(4), 160-168.

- Olveria I, Baptista P, Malheiro R, Casal A, Pereira JA. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo L.*) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity. 2011. *Food Res Int*, 44, 1401-1407.

- Brennan JG. (Ed.). 2006. *Food Processing Handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 85 p.

- Law CL, Chen HHH, Mujumdar AS. 2014. Drying. In: *Encyclopedia of Food Safety, Food Technologies*, Volume 3, 156-167.

- Orak HH, Aktas T, Yagar H, İşbilir SS, Ekinci, N, Sahin, FH. 2012. Effects of hot air and freeze drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo L.*) fruit. *Food Sci Technol Int*, 18(4), 391-402.

- Schössler K, Jäger H, Knorr D. 2012. Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze drying of vegetables. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 16, 113-120.

15. Bezerra CV, Meller da Silvia LH, Correa DF, Rodrigues AMC. 2015. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. *Int J Heat and Mass Transfer*, 85, 750-755.
16. Türk-Toğrul İ, Pehlivan D. 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *J Food Eng*, 65, 413-425.
17. Özdemir M, Devres YO. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *J Food Eng*, 42, 225-233.
18. Demirtas C, Ayhan T, Kaygusuz K. 1998. Drying behaviour of hazelnuts. *J Sci Food Agric*, 76, 559-564.
19. Çakmak H, Kumcuoğlu S, Tavman Ş. 2014. Mathematical modeling and thin layer drying of chicken meat enriched baguette bread slices. *GIDA*, 39 (3), 131-138.
20. Perry RH, Green DW. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Professional, USA, 2400 p.
21. Crank J. 1975. *The mathematics of diffusion*. 2<sup>nd</sup> Edition, Clarendon Press Oxford, UK, 414 p.
22. Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. 2002. A new model for single layer drying. *Dry Technol*, 20 (7), 1503-1513.
23. Kavak-Akpınar E. 2006. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *J Food Eng*, 73, 75-84.
24. Hışıl, Y. 2007. *Enstrümental Gıda Analizleri Laboratuvar Deneyleri*. Ege Üniversitesi Basımevi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları No: 45, İzmir, Türkiye, 41 s.
25. Cemeroğlu B. 2007. *Gıda Analizleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 34, Ankara, Türkiye, 535 s.
26. Khan MKI, Cakmak H, Tavman Ş, Schutyser M, Schroën. 2014. Anti-browning and barrier properties of edible coatings prepared with electrospraying. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 25, 9-13.
27. Chen XD, Mujumdar AS (eds). 2008. *Drying Technologies in Food Processing*. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 322 p.
28. Olanipekun BF, Tunde-Akintunde TY, Oyelade OJ, Adebisi MG, Adenaya TA. 2015. Mathematical modeling of thin-layer pineapple drying. *J Food Process Pres*, 39, 1431-1441.
29. Saponjac VT, Girones-Vilaplana A, Djilas S, Mena P, Cetkovic G, Moreno DA, Canadanovic-Brunet J, Vulic J, Stajic S, Vincic M. 2015. Chemical composition and potential bioactivity of strawberry pomace. *RSC Adv*, 5, 5397-5405.
30. Gündüz K, Özdemir E. 2014. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. *Food Chem*, 155, 298-303.