

## Elma Dilimlerinin Ev Tipi Fırınlarda Kurutulması: Kurutma Kinetiği, Enerji Verimliliği ve Ürün Kalitesi

Bilge Baştürk-Berk<sup>1</sup> , Sevim Yıldırım<sup>1</sup> , Serra Başar<sup>1</sup> , İrem Bıyıklı<sup>2</sup> , Şebnem Tavman<sup>1</sup>  ✉

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Vestel Beyaz Eşya Fabrikası, Pişirici Cihazlar Fabrikası, Manisa, Türkiye

Geliş Tarihi (Received): 27.04.2025, Kabul Tarihi (Accepted): 27.09.2025

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [sebnem.tavman@ege.edu.tr](mailto:sebnem.tavman@ege.edu.tr) (Ş. Tavman)

☎ +90 232 311 30 16 📠 +90 232 311 48 31

### Öz

Bu çalışmada elma (*Malus domestica*) dilimleri tek fanlı (TF) ve çift fanlı (ÇF) ankastre tip fırında tel örgü sepet yapısında (TEL) ve standart fırın tepsileri (STD) üzerinde kurutulmuştur. Üç farklı yöntem (TF-STD, ÇF-TEL ve ÇF-STD) ve sıcaklıkta (65, 75 ve 85°C) kurutulan elma dilimlerinin kurutma kinetikleri, enerji tüketimi, ısı verimliliği ve son ürünün fiziksel, kimyasal ve duyu özellikleri incelenmiştir. Kuruma eğrileri altı farklı matematiksel modelde analiz edilip ve Wang ve Singh Modeli ile Midilli ve Diğerleri Modeli en yüksek  $\text{adj-R}^2$  ve en düşük RMSE değerleri ile elma dilimlerinin kurutma davranışını en iyi yansıtmıştır. ÇF-TEL kurutma yönteminin tüm sıcaklıklarda en kısa kurutma süresi ve yüksek ısı verimlilik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. ÇF-TEL yöntemi ile kurutulan elma dilimlerinin düşük nem oranına sahip olması nedeniyle son ürünün pH ve titrasyon asitliğini, rengini ve tekstürünü etkilemiştir. Bununla birlikte, ÇF-TEL yöntemi ve 85°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimleri panelistler tarafından en yüksek renk, koku, doku, görünüş ve genel kabul edilebilirlik puanını almıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ÇF-TEL kurutma yöntemi hem enerji etkinliği hem de ürün kalitesi bakımından elma dilimlerinin kurutulması için uygun yöntem olarak diğer kurutma yöntemlerine göre öne çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elma, Kurutma, Kurutma kinetiği, Ev tipi fırın, Tel sepet örgü yapısı tepsisi

### Drying Apple Slices in Built-in Ovens: Drying Kinetics, Energy Efficiency and Product Quality

#### ABSTRACT

In this study, apple (*Malus domestica*) slices were dried using built-in single-fan (SF) and double-fan (DF) ovens on mesh wire (MWT) and standard oven trays (SOT). The drying kinetics, energy consumption, thermal efficiency, and the physical, chemical, and sensory properties of the final product were examined for apple slices dried using three different methods (SF-SOT, DF-MWT, and DF-SOT) at three temperatures (65, 75, and 85°C). The drying curves were analyzed using six different mathematical models, and the Wang and Singh Model alongside the Midilli et al. Model provided the best fit for representing the drying behavior of apple slices, with the highest adjusted  $R^2$  and lowest RMSE values. It was determined that the DF-MWT drying method had the shortest drying time and the highest thermal efficiency values at all temperatures. Due to the low moisture content of the apple slices dried with the DF-MWT method, the method influenced the pH, titratable acidity, color, and texture of the final product. Additionally, apple slices dried using the DF-MWT method at 85°C received the highest scores from panelists in terms of color, aroma, texture, appearance, and overall acceptability. Results indicated that the DF-MWT drying method stood out compared to other drying methods as a suitable option for drying apple slices in terms of both energy efficiency and product quality.

**Keywords:** Apple, Drying, Drying kinetics, Built-in oven, Mesh basket structure tray

## GİRİŞ

Güller (*Rosaceae*) ailesine ait olan elma (*Malus domestica*) birçok gıda ürünü için önemli bir hammadde olmakla birlikte tüketilen en eski meyvelerden biri olup Çin, Birleşik Devletler, Türkiye, Polonya, Hindistan ve İran gibi birçok ülkede yetiştirilmektedir [1, 2]. Diğer meyve ve sebzelerde olduğu gibi yüksek su içeriğine sahip (%86) elma vitamin, mineral ve lif içeriği bakımından güçlü olmasından dolayı birçok yerde kullanılmaktadır. Genellikle taze olarak tüketilen elma; meyve suyu, reçel, marmelat olarak işlenerek tüketildiği gibi kurutulmuş da tüketilebilmektedir [3]. Elma, yüksek su içeriği nedeniyle bozulmaya oldukça yatkındır; benzer şekilde birçok meyve ve sebzede de yüksek nem oranı, kimyasal reaksiyonların hızlanmasına, mikrobiyal aktivitenin artmasına ve fiziksel özelliklerde istenmeyen değişimlere neden olabilmektedir. Meyve ve sebzelerin dehidrasyonu, gıda koruma alanında kullanılan en eski yöntemlerden biri olup, ürünlerin stabilitesini artırmak amacıyla en yaygın şekilde uygulanan işlemlerden biridir. Kurutulmuş ya da dehidre edilmiş meyve ve sebzeler, türüne ve istenilen son ürün özelliklerine göre çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilebilmektedir. İstenilen uygun kurutma yöntemi seçilerek, depolama ve işleme sırasında ürünlerin hasar görmesi engellenebilir [2, 4]. Kurutma; gıdada bulunan sıvı veya nemi gaz fazına dönüştürüp gıdadan uzaklaştırarak su aktivitesini, mikrobiyal gelişmeyi ve neme bağlı kinetik bozulmayı azaltmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesidir. Kurutma işlemi sırasında eş zamanlı ısı ve kütle transferi gerçekleştiği için karmaşık işlem olarak kabul edilmekte ve gıda işlemedeki en zor işlemlerden birisi olarak kabul edilmektedir [5, 6]. Meyve ve sebzelerin kurutulması geleneksel ve endüstriyel kurutma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Geleneksel yöntemlerden biri olan açık hava kurutma, basitliği ve düşük yatırım maliyetlerinden dolayı hala kullanılmaktadır [7]. Ancak, bu geleneksel yöntem uzun kurutma süresi, mikrobiyal kontaminasyon gibi bazı sorunlara neden olabilmektedir. Bu sorunların önlenmesi için farklı yapay kurutma yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Kurutma yöntemleri arasında vakumlu kurutma, dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma ve mikrodalga kurutma gibi yöntemler yer almaktadır [8]. Meyve ve sebzelerin kurutulması için kullanılan en yaygın yöntemlerinden birisi konvektif sıcak hava kurutucularıdır [9]. Eş zamanlı ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği konvektif kurutmada ürün içindeki nem transferi, iç buharlaşma ve yüzeyden buharlaşma ile gerçekleştirilir [10].

Kurutma işleminin daha iyi kontrol edilmesi ve son ürün kalitesinin iyileştirilmesi için farklı koşullar altında kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi önemlidir. Kurutmada kullanılan modeller çoğunlukla işlem sırasında yer alan değişkenleri incelemek, kurutma kinetiğini tahmin etmek ve çalışma parametrelerini optimize etmek için kullanılmaktadır [11, 12]. Kurutma koşulları, direkt olarak kurutma süresiyle birlikte enerji tüketimi etkilediği için ürünlerin kurutma kinetiğinin modellenmesi önemlidir [13]. Literatürde birçok matematiksel model (teorik modeller, yarı-teorik ve ampirik modeller) kullanılmaktadır ve Tablo 1’de bazıları verilmiştir [14, 15].

Tablo 1. Kurutma için sık kullanılan matematiksel modeller

**Table 1. Mathematical models commonly used in drying processes**

| Matematiksel Model | Denklem*                                            | Kaynakça |
|--------------------|-----------------------------------------------------|----------|
| Newton             | $NO = \exp(-kt)$                                    | [16]     |
| Page               | $NO = \exp(-kt^n)$                                  | [17]     |
| Modifiye Page      | $NO = \exp(-(kt)^n)$                                | [18]     |
| Henderson ve Pabis | $NO = a \exp(-kt)$                                  | [19]     |
| Logaritmik         | $NO = a \exp(-kt) + c$                              | [20]     |
| İkili Terim        | $NO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$                | [21]     |
| Wang & Singh       | $NO = 1 + at + bt^2$                                | [22]     |
| Singh vd.          | $NO = \exp(-kt) - akt$                              | [23]     |
| Weibull            | $NO = \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$ | [24]     |
| Midilli vd.        | $NO = a \exp(-kt^n) + bt$                           | [25]     |

\*a, b, c, k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub> ve n: modellerde kullanılan katsayılar (birimsiz) ve t: kurutma zamanı (dakika)

Elma dilimlerinin kurutma davranışını araştırmak için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür [2, 5, 6, 12, 13, 26, 27]. Ancak, literatürde tek fanlı ve çift fanlı ankastre fırın ile tel örgü sepet yapısındaki tepsi ve standart fırın tepsisinin elma dilimlerinin kurutma davranışı üzerinde etkisini belirlemek için herhangi bir çalışma bulunmamıştır. Bu çalışmanın amacı, ev-tipi ankastre fırının (konvektif sıcak hava kurutmanın) hava sıcaklığının ve kurutma tipinin elma dilimlerinin kurutma davranışı üzerindeki etkisini ve son ürünlerdeki fiziksel, kimyasal ve duyuşsal olarak etkisini araştırmaktır.

## MATERYAL ve METOT

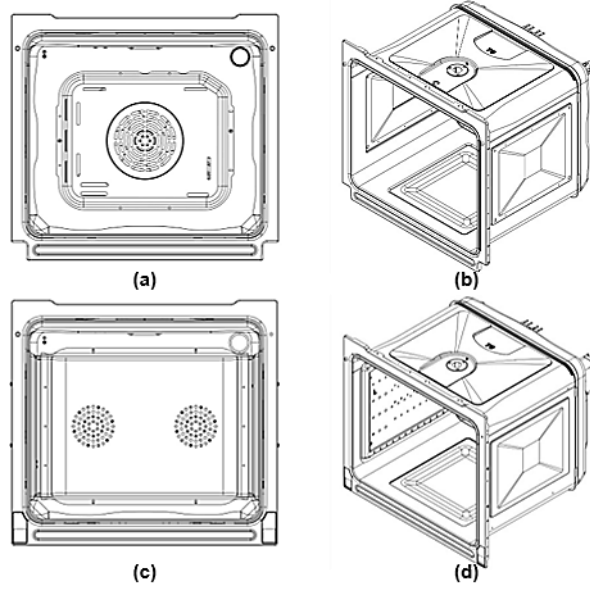
### Materyal

Çalışmada kullanılan elmalar (*Malus domestica*), boyutları ve ağırlıkları eşit hasar görmemiş olarak ulusal bir marketten (Migros, Türkiye) temin edilmiştir. %83.43±0.76 nem içerisine sahip olan elmalar kurutma işlemi gerçekleştirilene kadar 4°C sıcaklıkta saklanmıştır. Kurutmadan önce örnekler oda sıcaklığında bekletilmiş ve örneklerin kabukları soyulduktan sonra çekirdek ve sap kısımları temizlenmiştir. Temizlenen elmalar 5 mm kalınlıkta dilimleme cihazı (Mandochef Tupperware, Brezilya) kullanarak dilimlenmiş ve örnekler 3 g/L sitrik asit solüsyonuna daldırıldıktan sonra fazla suyu bir peçete yardımı ile alınmıştır.

### Metot

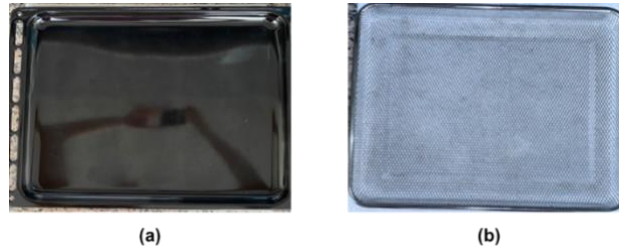
#### Kurutma İşlemleri

Dilimlerin dış çapı 8.0±0.2 cm, iç çapı (çekirdek boşluğu) 2.0±0.1 cm ve kalınlığı 5.0±0.2 mm olacak şekilde standartlaştırılmış ve örnekler fırın tepsilerine 140 g olacak şekilde dizilmiştir. Her bir kurutmada toplam 5 tepsi örnek kullanılmıştır. Kurutma işleminde kullanılan tek fanlı (Vestel, KX-107892, Manisa, Türkiye) ve çift fanlı (Vestel, AF-9786, Manisa, Türkiye) ankastre fırınlar Şekil 1’de görülmektedir. Farklı fırın tepsi tarzlarının kurutmada etkisini gözlemllemek için standart fırın tepsisi ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsileri kullanılmış ve kullanılan tepsiler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek fanlı ankastr e fırın (Vestel KX-107892) (a) ön ve (b) perspektif görünüşü; (Vestel AF-9786) çift fanlı ankastr e fırın (c) ön ve (d) perspektif görünüşü

*Figure 1. Single fan built-in oven (Vestel KX-107892) (a) front and (b) perspective view; (Vestel AF-9786) double fan built-in oven (c) front and (d) perspective view*

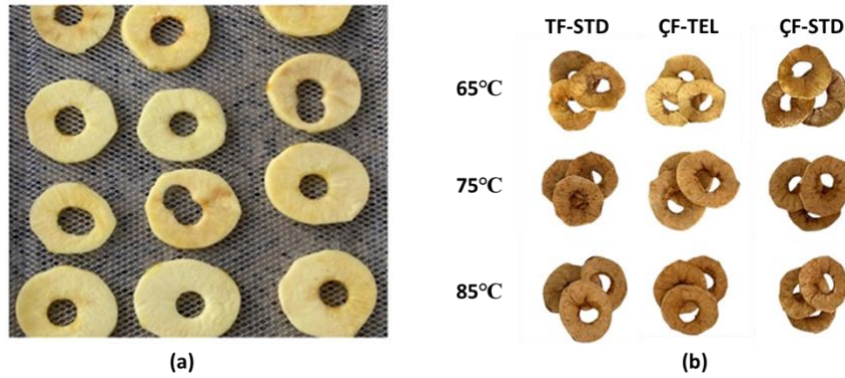


Şekil 2. Kurutmada kullanılan fırın tepsileri; (a) standart ve (b) tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi, (c) ürünlerin tepsideki dizilimleri

*Figure 2. Oven trays used for drying; (a) standard and (b) wire mesh basket*

Kurutma işlemi Vestel KX-107892 tek fanlı ankastr e fırında standart fırın tepsisinde (TF-STD), Vestel AF-9786 çift fanlı ankastr e fırında tel örgü sepet yapısındaki tepside (ÇF-TEL) ve Vestel AF-9786 çift fanlı ankastr e fırında standart fırın tepsisinde (ÇF-STD) ve 65°C, 75°C ve 85°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi, örneklerin arka arkaya yapılan iki tartım (Jadever JWQ-1, Çin, 0.5 g hassasiyet) arasındaki ağırlık farkı %0.1'in

altında oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Bu koşul sabit tartım kriteri olarak kabul edilmiştir. Kurutma işlemi iki tekerrürlü gerçekleştirilmiş olup ürünler kurutma işleminden sonra ağız kilitli polietilen torbalarda 4°C sıcaklıkta karanlık bir ortamda analizler gerçekleşene kadar saklanmıştır. Kurutma öncesi ve sonunda elde edilen örneklerin görselleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kurutma (a) öncesi ve (b) sonrası elma dilimleri

*Figure 3. Apple slices (a) before and (b) after drying*

## Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellenme

Ürünlerin kurutma sırasındaki nem oranları (NO) aşağıdaki Denklem 1 kullanılmıştır;

$$Nem\ Oranı\ (NO) = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (1)$$

Bu denklemde  $M_t$ : t zamanındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde),  $M_e$ : denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde) ve  $M_0$ : örneğin başlangıçtaki nem içeriğidir (kg su/kg kuru madde)

Kurutma eğrilerini en uygun model seçilirken modele ait düzeltilmiş belirleme katsayısının ( $adj-R^2$ ) yüksek değerleri ve ortalama karekök hatası (RMSE) değerlerinin de en düşük olduğu değerler aranmış ve kurutma eğrilerinde kullanılan matematiksel modelleme Tablo 2'de verilmiştir. Matematiksel modellemeler The MathWorks MATLAB 2023b programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan matematiksel modeller

**Table 2. Mathematical models used for modelling drying curves**

| Matematiksel Model | Denklem*                  | Kaynakça |
|--------------------|---------------------------|----------|
| Henderson ve Pabis | $NO = a \exp(-kt)$        | [19]     |
| Newton             | $NO = \exp(-kt)$          | [16]     |
| Page               | $NO = \exp(-kt^n)$        | [17]     |
| Logaritmik         | $NO = a \exp(-kt) + c$    | [20]     |
| Wang ve Singh      | $NO = 1 + at + bt^2$      | [22]     |
| Midilli vd.        | $NO = a \exp(-kt^n) + bt$ | [25]     |

\*a,b,c,k,n: modellerde kullanılan katsayılar (birimsiz), t: kurutma zamanı (dakika)

## Isıl Verimlilik

Isıl verimlilik ( $\eta_E$ ) hesaplamaları, ürünlerin nihai nem içeriğinin %20 (yaş bazda) olduğu koşul dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Isıl verimlilik suyun buharlaşmasında tüketilen toplam enerjinin fırının kullandığı toplam enerjiye bölünmesiyle hesaplanmıştır [28, 29]. Suyu buharlaştırmak için kullanılan enerji ( $Q_w$ ) Denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Q_w = m \times L \quad (2)$$

Burada m: kurutmada uzaklaştırılan suyun kütlesi (kg) ve L: kurutma sıcaklığında suyun buharlaştırma gizli ısıdır (kJ/kg)

Kurutmada kullanılan fırınların kurutma sırasında harcadığı enerji wattmetre (Wozlo, 16A 3680W) kullanılarak ölçülmüş ve ısı verimliliği Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır;

$$\eta_E (\%) = \left( \frac{Q_w}{E_T} \right) \times 100 \quad (3)$$

Burada  $Q_w$ : suyu buharlaştırmak için kullanılan toplam enerji (kJ) ve  $E_T$ : kurutma sırasında fırının harcadığı toplam enerjidir (kJ)

## Nem Analizi ve Su aktivitesi

Kurutulmuş ürünlerin nem içeriği 105°C sıcaklıkta nem tayini cihazıyla (Radwag MA50R, Polonya) [30, su aktivitesi ( $a_w$ ) ise su aktivite ölçüm cihazı (Testo AG400, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Su aktivitesi için kurutulmuş ürünler toz haline getirilerek sızdırmaz çelik ölçüm haznesine konulmuş ve hazne içindeki havanın denge nem değerine gelmesiyle bir prob yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümler oda sıcaklığında iki tekerrür halinde gerçekleştirilmiştir.

## pH ve Titrasyon Asitliği

Kurutulmuş ürünlerin pH değerleri Yusufe vd. [31] tarafından gerçekleştirilen yöntem esas alınarak ölçülmüştür. 3 g kurutulmuş ürün santrifüj tüpüne konularak üzerine 50 mL saf su eklenilmiştir. Daha sonra örnekler homojenizatör cihazı (IKA, T25 Ultra-turrax, Almanya) kullanılarak homojen hale getirildikten sonra örneklerin pH ölçümleri pH metre (WTW GmbH, 7110, Almanya) ile gerçekleştirilmiş olup 2 paralel halinde yapılmıştır.

Kurutulmuş ürünlerin titrasyon asitliği Kahraman vd. [32] çalışmasında belirtilen yöntemde bazı değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. 1 g öğütülmüş ürün santrifüj tüplerine konulup 20 mL saf su eklenilmiştir. Örnekler 200 rpm'de dairesel çalkalayıcıda (WiseBath, WSB-45, Kore) 1 saat bekletildi ve %1 fenolftalein çözeltisi indikatör olarak kullanılarak 0.1 N NaOH ile renk değişimi gözlemlenene kadar titre edilmiştir. Sonuçlar malik asit cinsinden belirtilmiş olup aşağıdaki verilen Denkleme 4'e göre hesaplanmıştır [33]. Ölçümler 2 paralel şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$Titrasyon\ asitli\gi\ (\%) = \frac{V_{\text{örnek}} \times N \times E}{M} \quad (3)$$

Burada  $V_{\text{örnek}}$ : titrasyonda harcanan NaOH miktarı (mL), N: NaOH çözeltisinin normalitesi, E: malik eşdeğer asit miktarı (0.0067) ve M: titre edilen örnek miktarıdır (g)

## Renk

Rastgele seçilen kurutulmuş elma dilimleri öğütülmüş ve her ürün için renk değerleri Hunterlab Colorflex (Hunter CFLX 45-2 Colorimeter, Reston, ABD) renk cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar CIE renk sisteminde  $L^*$  (açıklık-koyuluk),  $a^*$  (kırmızılık-yeşillik) ve  $b^*$  (sarılık-mavilik) cinsinden ifade edilmiştir [34].

## Tekstür

Kurutulmuş ürünlerin sertlik değerleri tekstür analiz cihazı (TA XT-XT2i, Stable Microsystems Ltd, Surrey, Birleşik Krallık) kullanılarak ölçülmüştür. Analiz P/2 probu ve 50 N yük hücresinde sıkıştırma testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [35]. Analiz parametreleri ön test, test ve son test hızları sırasıyla 0.33, 0.33 ve 0.45 mm/s olup %40 deformasyon olana kadar sıkıştırma yapılmıştır. Tetiklenme kuvveti 25 g olarak belirlenmiş ve ölçümler 12 kez tekrarlanmıştır. Tekstür için kullanılan elma

dilimlerinin çapı  $6.8 \pm 0.4$  cm ve kalınlığı  $4.25 \pm 0.25$  mm olacak şekilde seçilmiştir.

### Duyusal Analiz

Kurutulmuş elmaların duysal analizi; 24 yarı eğitimli ve 18-60 yaş aralığında her iki cinsiyetten panelist seçilerek gerçekleştirilmiştir [36]. Renk körlüğü, koku alma bozukluğu gibi duyu kayıplarına sahip olan panelistler panele davet edilmemiştir. Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ndeki lisansüstü öğrenciler ve öğretim üyeleri arasından seçilen panelistler 5 noktalı hedonik ölçeğin nasıl kullanılacağı hakkında ayrıntılı talimatlar verilmiştir. Panelistlerden, ürünlerin rengi, kokusu (yoğunluk, hoş olmayan kokular), doku (çıtırılık, sertlik, kırılma) ve genel kabul edilebilirliği açısından 5 = son derece beğendim, 1 = hiç beğenmedim olmak üzere 5 puanlı bir hedonik ölçek kullanılarak değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme bölümün duysal değerlendirme laboratuvarında tek oturumda gerçekleştirilmiştir ve duysal analiz için laboratuvarda bölmeli ayrı kabinler kullanılmıştır. Örnekler rastgele üç basamaklı sayılar kullanılarak kodlanmış ve beyaz tabaklara koyulup panelistlere sunulmuştur. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Kurulu, bu çalışma için etik izin vermiştir (Protokol No: 2539) ve duysal analizler tüm ilgili mevzuata uygundur.

### İstatistiksel Analiz

Çalışma sonucunda elde edilen tüm sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma olarak ifade edilmiş ve sonuçlar arasındaki farklılıklar Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. (Minitab Inc., Coventry, Birleşik Krallık). Sonuçların karşılaştırılmasında %95 güven aralığında Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellenme

Farklı kurutma işlemleri ve sıcaklıklarında kurutma kinetiğinin matematiksel modellenmesi için yaygın olarak kullanılan altı matematiksel model kullanılmıştır. Tüm kurutmaların matematiksel modellerin düzeltilmiş belirleme katsayısı ( $adj-R^2$ ) ve ortalama karekök hatası (RMSE) değerlerinin sırasıyla; Wang & Singh için 0.9982-0.9996 ve 0.0076-0.0153, Midilli vd. modeli için 0.9959-0.9983 ve 0.0146-0.0225 arasında olduğu belirlenmiştir. Tablo 3'te Wang & Singh ve Midilli vd. modelinin en yüksek  $adj-R^2$  ve RMSE değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Wang & Singh ve Midilli vd. modelinin elma dilimlerinin kurutma davranışını tanımlamak için uygun bir model olduğu tespit edilmiştir. Khawas vd. [37] tarafından yapılan bir çalışmada muzlar farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60 ve 70°C) kurutulmuş ve kurutma kinetikleri dokuz farklı modelle incelenmiştir. Bu modeller arasında, Wang & Singh modelinin en uygun model olduğu bulunmuştur. Rasooli Sharabiani vd. [1] elma dilimlerinin sıcak hava kurutması için yaptıkları çalışmada da beş ampirik model (Midilli vd., Page, Lojistik, İkili-terim, Logaritmik) test edilmiş ve tüm modeller arasında elma dilimlerinin kurutma kinetiğinin tahmin için en iyi model Midilli bulunmuştur. Kidane vd. [26] yaptığı başka bir çalışmada ise elma dilimlerini

kurutmak için on farklı model (Newton, Wang & Singh, Page model, modifiye Page model, logaritmik, ikili-terim, İkili terim üstel model, Weibull dağılımı, Handerson & Pabis ve Midilli vd. modeli) değerlendirilmiş ve Midilli vd. modeli, logaritmik ve iki terimli modelin kurutma eğrileri için en iyi uyumu sağladığı belirlenmiştir. Başka bir çalışmada ise kızılötesi konveyör bantlı kurutucuda farklı kurutma koşullarında elma dilimlerinin kurutma kinetikleri incelenmiş ve on bir farklı kurutma modeli değerlendirilmiştir [38]. Elde edilen sonuçlardan Wang & Singh ve Midilli vd. modelinin tüm kurutma koşullarında elma dilimlerinin kurutma eğrilerini modellemek için en iyi denklem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### Isıl Verimlilik

Elmaların nem oranı (yaş bazda) %20'ye düşene kadar farklı kurutma işlemlerindeki ve sıcaklıklardaki gerekli kurutma süreleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre sıcaklık arttıkça kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Bu olay, sıcaklığın artmasının, hava ve ürün arasındaki sıcaklık farkının artmasına neden oluşu ve ürünlerdeki buharlaşmanın daha hızlı olması ile açıklanabilir [2]. Bununla birlikte, ÇF-TEL ile kurutulan ürünlerin daha kısa kurutma süresine sahip olduğu görülmektedir. Bir ürünün kurutma hızı, içerdiği nemin kurutma sırasında ne kadar hızlı buharlaşabileceğiyle ve buharın ürünün iç bölgesinden ne kadar hızlı yayıldığı ile ilgilidir [39]. Bu nedenle, ÇF-TEL kurutma ile kurutulan dilimlenmiş elmaların diğerlerine göre daha yüksek kurutma hızına sahip olduğu söylenebilir.

Elmaların nem oranı (yaş bazda) %20'ye düşene kadar farklı kurutma işlemlerindeki ve sıcaklıklardaki harcanan enerji değerleri (kWh) Tablo 5'te gösterilmiştir. Tüm kurutma tiplerinde sıcaklık arttıkça harcanan enerjide bir azalma gözlemlenmektedir. Bu durum, sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinin azalması ve tüketilen toplam enerjinin azalmasıyla açıklanabilir [40]. Kurutma tipi, kurutma sırasında tüketilen enerji miktarını etkilemekte ve bu farklılık uygulanan hava akış düzeni, ısı transferi verimliliği ve ürün ile sıcak hava teması gibi parametrelerden kaynaklanabilir [41-43]. Kullanılan kurutma tekniği ve sıcaklığın enerji tüketimini doğrudan etkilediği görülmektedir.

Isıl verimlilik kurutmada kullanılan enerjinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan temel parametrelerden birisidir [44]. Isıl verimliliğinin yüksek olması, tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun ürünün içindeki nemi uzaklaştırmak için kullanıldığını ve enerji kayıplarının azaltıldığını göstermektedir [45]. Tablo 6'da farklı kurutma tipleri ve sıcaklıklarında kurutulan elma dilimlerinin ısı verimlilik değerleri verilmiştir. Tüm kurutma teknikleri için sıcaklık arttıkça ısı verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin kurutma süresinin azalmasıyla ve enerji kayıplarının düşmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin yüzeyinden nemin daha hızlı şekilde uzaklaştırılmasının sağlanarak, kurutmanın etkin bir şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşılabilir. Aynı trend, Motevali vd. [46] tarafından yapılan konveksiyonel kurutucu farklı sıcaklıklarda kurutulan papatya için elde edilmiştir.



Tablo 3. Kurutma eğrilerinin model katsayıları ve istatistiksel parametreleri

Table 3. Model coefficients and statistical parameters of drying curves

| Kurutma Yöntemi | Sıcaklık (°C) | Henderson ve Pabis                                                | Newton                                                | Page                                                               | Logaritmik                                                                    | Wang & Singh                                                                               | Midilli vd.                                                                                           |
|-----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TF-STD          | 65            | a=1.0755<br>k=0.0063<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9763<br>RMSE=0.0581 | k=0.0058<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9691<br>RMSE=0.0663 | k=0.00096<br>n=1.350<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9953<br>RMSE=0.0251  | a=1.263<br>c=-0.2407<br>k=0.0039<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9964<br>RMSE=0.0225 | a=-0.0042<br>b=4.37e <sup>6</sup><br>k=0.0039<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9995<br>RMSE=0.0083 | a=0.9847<br>b=-1.58e <sup>4</sup><br>k=0.0014<br>n=1.249<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9988<br>RMSE=0.0132 |
|                 | 75            | a=1.0790<br>k=0.0079<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9748<br>RMSE=0.0580 | k=0.0073<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9690<br>RMSE=0.0639 | k=0.00086<br>n=1.5070<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9945<br>RMSE=0.0261 | a=1.359<br>c=-0.3241<br>k=0.0054<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9907<br>RMSE=0.0361 | a=-0.0054<br>b=7.25e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9992<br>RMSE=0.0107             | a=0.9862<br>b=-1.52e <sup>4</sup><br>k=0.0015<br>n=1.303<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9988<br>RMSE=0.0126 |
|                 | 85            | a=1.0870<br>k=0.0091<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9595<br>RMSE=0.0540 | k=0.0083<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9475<br>RMSE=0.0858 | k=0.00086<br>n=1.507<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9945<br>RMSE=0.0261  | a=1.359<br>c=-0.3241<br>k=0.0054<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9907<br>RMSE=0.0361 | a=0.0062<br>b=9.26e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9922<br>RMSE=0.0332              | a=0.9813<br>b=-1.67e <sup>4</sup><br>k=0.0010<br>n=1.454<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9981<br>RMSE=0.0154 |
| ÇF-TEL          | 65            | a=1.0730<br>k=0.0099<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9753<br>RMSE=0.0567 | k=0.0092<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9711<br>RMSE=0.0599 | k=0.00161<br>n=1.371<br>2=0.9944<br>RMSE=0.0269                    | a=1.229<br>c=-0.2053<br>k=0.0066<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9959<br>RMSE=0.0229 | a=-0.0068<br>b=1.17e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9991<br>RMSE=0.0106             | a=0.9877<br>b=-1.96e <sup>4</sup><br>k=0.0024<br>n=1.264<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9982<br>RMSE=0.0155 |
|                 | 75            | a=1.0850<br>k=0.0117<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9720<br>RMSE=0.0600 | k=0.0108<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9650<br>RMSE=0.0671 | k=0.00157<br>n=1.423<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9960<br>RMSE=0.0227  | a=1.231<br>c=-0.1924<br>k=0.0080<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9942<br>RMSE=0.0273 | a=-0.0080<br>b=1.57e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9982<br>RMSE=0.0153             | a=0.9931<br>b=-1.79e <sup>4</sup><br>k=0.0022<br>n=1.329<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9979<br>RMSE=0.0164 |
|                 | 85            | a=1.0805<br>k=0.0141<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9574<br>RMSE=0.0704 | k=0.0130<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9529<br>RMSE=0.0741 | k=0.00165<br>n=1.473<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9980<br>RMSE=0.0307  | a=1.430<br>c=-0.3955<br>k=0.0082<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9906<br>RMSE=0.0345 | a=-0.0095<br>b=2.13e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9948<br>RMSE=0.0256             | a=0.9949<br>b=-4.75e <sup>4</sup><br>k=0.0025<br>n=1.345<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9982<br>RMSE=0.0146 |
| ÇF-STD          | 65            | a=1.0675<br>k=0.0086<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9759<br>RMSE=0.0568 | k=0.0079<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9712<br>RMSE=0.0620 | k=0.00152<br>n=1.347<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9946<br>RMSE=0.0268  | a=1.223<br>c=-0.1950<br>k=0.0058<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9957<br>RMSE=0.0231 | a=-0.0060<br>b=8.89e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9996<br>RMSE=0.0076             | a=0.9862<br>b=-1.56e <sup>4</sup><br>k=0.0020<br>n=1.269<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9978<br>RMSE=0.0173 |
|                 | 75            | a=1.0200<br>k=0.0102<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9694<br>RMSE=0.0573 | k=0.0094<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9619<br>RMSE=0.0640 | k=0.00147<br>n=1.411<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9957<br>RMSE=0.0226  | a=1.339<br>c=-0.3058<br>k=0.0064<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9941<br>RMSE=0.0252 | a=-0.0073<br>b=1.27e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9955<br>RMSE=0.0153             | a=0.9966<br>b=-2.67e <sup>4</sup><br>k=0.0021<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9983<br>n=1.311<br>RMSE=0.0142 |
|                 | 85            | a=1.0715<br>k=0.0132<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9616<br>RMSE=0.0689 | k=0.0122<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9529<br>RMSE=0.0763 | k=0.00215<br>n=1.423<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9933<br>RMSE=0.0274  | a=1.306<br>c=-0.2724<br>k=0.0084<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9875<br>RMSE=0.0393 | a=-0.0093<br>b=2.09e <sup>6</sup><br>adj-R <sup>2</sup> =0.9898<br>RMSE=0.0355             | a=0.9945<br>b=-3.05e <sup>4</sup><br>k=0.0029<br>n=1.331<br>adj-R <sup>2</sup> =0.9959<br>RMSE=0.0225 |

TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi

Tablo 4. %20 (yaş bazda) nem oranına gelene kadar kurutma süreleri (dakika)

Table 4. Drying time (min) to reach 20% (wet basis) moisture content

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                     | ÇF-TEL                      | ÇF-STD                      |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                             |                             |                             |
| 65              | 383.24±5.24 <sup>Aa**</sup> | 248.9±36.50 <sup>Ab</sup>   | 259.30±7.08 <sup>Ab</sup>   |
| 75              | 297.65±20.00 <sup>Ba</sup>  | 214.10±3.67 <sup>Ab</sup>   | 225.50±22.60 <sup>Aab</sup> |
| 85              | 209.46±0.74 <sup>Ca</sup>   | 167.90±24.30 <sup>Aab</sup> | 149.71±0.08 <sup>Bb</sup>   |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Tablo 5. %20 (yaş bazda) nem oranına gelene kadar kurutmada tüketilen enerji (kWh)

Table 5. Energy consumption (kWh) of drying process to reach 20% (wet basis) moisture content

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                   | ÇF-TEL                    | ÇF-STD                    |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                           |                           |                           |
| 65              | 1.925±0.016 <sup>Aa</sup> | 1.801±0.298 <sup>Aa</sup> | 1.972±0.001 <sup>Aa</sup> |
| 75              | 1.603±0.037 <sup>Aa</sup> | 1.348±0.029 <sup>Aa</sup> | 1.618±0.410 <sup>Aa</sup> |
| 85              | 1.174±0.140 <sup>Aa</sup> | 1.303±0.635 <sup>Aa</sup> | 1.229±0.117 <sup>Aa</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Tablo 6. Farklı kurutma koşullarının ısı verimlilik değerleri (%)

Table 6. Thermal efficiency values of different drying conditions (%)

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                    | ÇF-TEL                    | ÇF-STD                    |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                            |                           |                           |
| 65              | 19.46±0.24 <sup>Aa**</sup> | 21.11±3.48 <sup>Aa</sup>  | 21.57±10.34 <sup>Aa</sup> |
| 75              | 23.96±5.00 <sup>Aa</sup>   | 27.17±1.20 <sup>Aa</sup>  | 23.63±6.39 <sup>Aa</sup>  |
| 85              | 31.43±0.19 <sup>Aa</sup>   | 31.70±15.20 <sup>Aa</sup> | 30.51±2.49 <sup>Aa</sup>  |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harfler (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

En düşük ısı verimliliği (%19.46) TF-STD kurutma yöntemi ve 65°C sıcaklıkta elde edilirken en yüksek ısı verimliliği değeri (%31.70) ise ÇF-TEL kurutma yöntemi ve 85°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimlerinde bulunmuştur. Bununla birlikte, ÇF-TEL yönteminde 85°C sıcaklıkta elde edilen ısı verimliliği değerinin standart sapmasının (%15.20) yüksek olması tel örgü sepet yapısının sebep olduğu hava akışındaki düzensizlik nedeniyle ve bu yüzden gerçekleşen nem transferindeki heterojenlikle açıklanabilir [47]. Benzer şekilde, ÇF-STD yönteminde 65°C için de yüksek standart sapma gözlenmiştir. Ancak, her iki durumda da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamış ve sonuçlar genelinde kurutma eğilimlerini değiştirmedeği gözlemlenmiştir.

Isı verimliliği kurutmada kullanılan enerjinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan temel parametrelerden birisidir [44]. Isı verimliliğinin yüksek olması, tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun ürünün içindeki nemi uzaklaştırmak için kullanıldığını ve enerji kayıplarının azaltıldığını göstermektedir [45]. Tablo 6'da farklı kurutma tipleri ve sıcaklıklarında kurutulan elma dilimlerinin ısı verimliliği değerleri verilmiştir. Tüm kurutma teknikleri için sıcaklık arttıkça ısı verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin kurutma süresinin azalmasıyla ve enerji kayıplarının düşmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin yüzeyinden nemin daha hızlı şekilde uzaklaştırılmasının sağlanarak, kurutmanın etkin bir şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşılabilir. Aynı trend, Motevali vd. [46] tarafından yapılan konveksiyonel kurutucu farklı sıcaklıklarda kurutulan papatya için elde edilmiştir.

Isı verimliliği kurutmada kullanılan enerjinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan temel parametrelerden birisidir [44]. Isı verimliliğinin yüksek olması, tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun ürünün içindeki nemi uzaklaştırmak için kullanıldığını ve enerji kayıplarının azaltıldığını göstermektedir [45]. Tablo 6'da farklı kurutma tipleri ve sıcaklıklarında kurutulan elma dilimlerinin ısı verimliliği değerleri verilmiştir. Tüm kurutma teknikleri için sıcaklık arttıkça ısı verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin kurutma süresinin azalmasıyla ve enerji kayıplarının düşmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte,

yüksek sıcaklıklarda kurutulan elma dilimlerinin yüzeyinden nemin daha hızlı şekilde uzaklaştırılmasının sağlanarak, kurutmanın etkin bir şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşılabilir. Aynı trend, Motevali vd. [46] tarafından yapılan konveksiyonel kurutucu farklı sıcaklıklarda kurutulan papatya için elde edilmiştir.

En düşük ısı verimliliği (%19.46) TF-STD kurutma yöntemi ve 65°C sıcaklıkta elde edilirken en yüksek ısı verimliliği değeri (%31.70) ise ÇF-TEL kurutma yöntemi ve 85°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimlerinde bulunmuştur. Bununla birlikte, ÇF-TEL yönteminde 85°C sıcaklıkta elde edilen ısı verimliliği değerinin standart sapmasının (%15.20) yüksek olması tel örgü sepet yapısının sebep olduğu hava akışındaki düzensizlik nedeniyle ve bu yüzden gerçekleşen nem transferindeki heterojenlikle açıklanabilir [47]. Benzer şekilde, ÇF-STD yönteminde 65°C için de yüksek standart sapma gözlenmiştir. Ancak, her iki durumda da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamış ve sonuçlar genelinde kurutma eğilimlerini değiştirmedeği gözlemlenmiştir.

### Nem ve Su Aktivitesi

Ürün içerisindeki nemi uzaklaştırarak mikrobiyal bozulmayı önlemek ve ürünün raf ömrü uzatmak kurutma işleminin temel amaçlarından biridir [48]. Kurutma yöntemi ve sıcaklığı, son ürünün nem içeriğini doğrudan etkilemektedir. Tablo 7'de çalışmada kurutulan elma dilimlerinin farklı kurutma teknikleri ve sıcaklıkları kullanılarak elde edilen son nem değerleri verilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde sıcaklık artışı son ürünün nem değerinin önemli bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Kurutma sıcaklığı arttıkça ürün ve hava arasındaki sıcaklık farkının artmasına ve böylelikle nemin buharlaşma hızının artmasına neden olmuştur [49]. Son ürünün en yüksek nem içeriği değeri (%5.23) TF-STD kurutma yöntemi ve 75°C sıcaklıkta; en düşük nem içeriği değeri (%1.40) ise ÇF-TEL kurutma yöntemi ve 85°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimleri için saptanmıştır.

Tablo 7. Kurutulmuş elma dilimlerinin nem değerleri (%)

Table 7. Moisture content (%) of dried apple slices

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                   | ÇF-TEL                  | ÇF-STD                  |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                           |                         |                         |
| 65              | 4.90±0.56 <sup>Aa**</sup> | 3.21±0.26 <sup>Ab</sup> | 3.96±0.31 <sup>Ab</sup> |
| 75              | 5.23±0.42 <sup>Aa</sup>   | 2.36±0.27 <sup>Bb</sup> | 2.73±0.36 <sup>Bb</sup> |
| 85              | 2.50±0.19 <sup>Bb</sup>   | 1.40±0.09 <sup>Cc</sup> | 2.93±0.20 <sup>Ba</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harfler (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Su aktivitesi, gıdaların mikrobiyal stabilitesini ve raf ömrünü etkileyen önemli bir parametredir ve su aktivitesi 0.6 altında olan gıdalarda daha az mikrobiyal bozulma gözlemlenmektedir [50, 51]. Elma dilimlerinin farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklıklarda kurutulmasıyla elde edilen su aktivitesi değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde, sıcaklığın artması ile su aktivitesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında ise ÇF-TEL yöntemi ile

kurutulan elma dilimlerinin tüm sıcaklıklarda daha düşük su aktivitesi değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tel örgü sepet yapısındaki tepsinin hava akışını etkin bir şekilde kullanarak daha fazla nemin uzaklaştırılmasını sağlaması ile açıklanabilir.

Tablo 8. Kurutulmuş ürünlerin su aktivitesi ( $a_w$ ) değerleri  
*Table 8. Water activity ( $a_w$ ) values of dried sample*

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                   | ÇF-TEL                  | ÇF-STD                   |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                           |                         |                          |
| 65              | 0.32±0.01 <sup>Aa**</sup> | 0.26±0.02 <sup>Ab</sup> | 0.27±0.00 <sup>Ab</sup>  |
| 75              | 0.27±0.02 <sup>Ba</sup>   | 0.23±0.00 <sup>Bb</sup> | 0.24±0.01 <sup>Bab</sup> |
| 85              | 0.24±0.02 <sup>Ba</sup>   | 0.20±0.01 <sup>Cb</sup> | 0.20±0.01 <sup>Cb</sup>  |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

## pH ve Titrasyon Asitliği

Kurutulmuş meyve ve sebzeler gibi düşük su aktivitesine sahip ürünlerde, ürünün pH değeri; mikrobiyal kalitesini, kimyasal, fiziksel ve duyuşal özelliklerini ve raf ömrünü etkilemektedir. Kurutma ile ürünün serbest nemin uzaklaştırılması her zaman ürünün mikrobiyal dayanıklılığı için tek başına yeterli bir özellik değildir. Ürünün pH değeri, mikrobiyal gelişimi engelleyen en önemli faktörlerden birisidir [52,53]. pH değeri 4.5'in altındaki ürünlerde patojen bakterilerin gelişimi büyük ölçüde engellenmektedir [54]. Tablo 9'a göre kurutma sıcaklığı arttıkça pH değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Kurutma sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ürünün organik asitlerin parçalanmasına ve ürünün nemin düşmesiyle birlikte kalan organik asitlerin daha konsantre olmasına sebep olmaktadır ve bu durum da pH değerlerini değiştirmektedir [32, 55]. Bununla birlikte, ÇF-TEL yöntemindeki tel sepet örgü yapısındaki fırın tepsisi ve çift fan sıcak havanın daha etkili bir biçimde ürüne ulaşmasını sağlayarak diğer kurutma yöntemlerine göre nem içeriğinin daha fazla azalmasına neden olmaktadır. Böylelikle, ÇF-TEL kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin pH değerleri diğer yöntemlere göre daha düşük sonuç vermiştir.

Titrasyon asitliği, meyve ve sebzelerde önemli bir rol oynayan temel bir kimyasal parametredir ve elma için malik asit cinsinden ifade edilmektedir. Kurutma yöntemi ve sıcaklığı gibi faktörler ürünün malik asit miktarını etkileyerek ürünün duyuşal ve mikrobiyolojik özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir [56, 57]. Tablo 10'da en yüksek titrasyon asitliği değeri (%0.22 malik asit) TF-STD kurutma yöntemi ve 65°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimlerinde gözlemlenirken en düşük değer (%0.16 malik asit) ÇF-STD kurutma yöntemi ve 65°C sıcaklıkta kurutulan ürünlerde ölçüldüğü görülmektedir. TF-STD kurutma yönteminde sıcaklık artışıyla titrasyon asitliğinde düşüş gerçekleşmiştir ve bu düşüş malik asidin yüksek sıcaklıkla birlikte bozunması ve uçucu bileşikler haline geçmesiyle açıklanabilir [30, 55]. Bununla birlikte, ÇF-TEL ve ÇF-STD kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerde

artan kurutma sıcaklığıyla birlikte titrasyon asitliğinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum, kurutma sonucunda ürünün nem kaybından kaynaklanan malik asidin daha konsantre hale gelmesiyle açıklanabilir [58]. Kahraman vd. [32] tarafından gerçekleştirilen çalışmada elma kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı arttıkça malik asit miktarında azalma olduğu gözlemlenmiş ve bunun malik asidin termal olarak kararsız yapısından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Tablo 9. Kurutulmuş elma dilimlerinin pH değerleri  
*Table 9. pH values of dried apple slices*

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                   | ÇF-TEL                   | ÇF-STD                  |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                           |                          |                         |
| 65              | 4.69±0.04 <sup>Aa**</sup> | 4.51±0.08 <sup>Ab</sup>  | 4.52±0.00 <sup>Ab</sup> |
| 75              | 4.48 ±0.08 <sup>Ba</sup>  | 4.36±0.12 <sup>Aab</sup> | 4.31±0.00 <sup>Bb</sup> |
| 85              | 4.41±0.12 <sup>Ba</sup>   | 4.48±0.02 <sup>Aa</sup>  | 4.33±0.04 <sup>Bb</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Tablo 10. Kurutulmuş elma dilimlerinin titrasyon asitliği değerleri (% malik asit)  
*Table 10. Titratable acidity of dried apple slices (malic acid %)*

| Kurutma Yöntemi | TF-STD*                   | ÇF-TEL                   | ÇF-STD                  |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Sıcaklık (°C)   |                           |                          |                         |
| 65              | 0.22±0.04 <sup>Aa**</sup> | 0.20±0.02 <sup>Aab</sup> | 0.16±0.03 <sup>Bb</sup> |
| 75              | 0.21±0.02 <sup>Aa</sup>   | 0.17±0.02 <sup>Aa</sup>  | 0.20±0.01 <sup>Aa</sup> |
| 85              | 0.18±0.04 <sup>Aa</sup>   | 0.20 ±0.03 <sup>Aa</sup> | 0.22±0.01 <sup>Aa</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

## Renk

Kurutulmuş meyvelerin tüketiciler tarafından kabul edilmesini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesi de renktir [30]. Bu çalışmada farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklık değerlerinde kurutulan elma dilimlerinin L\*, a\* ve b\* renk değerleri Tablo 11'de verilmiştir. Ölçülen renk değer aralıkları L\*, a\* ve b\* için sırasıyla 53.39-62.26, 10.42-12.19 ve 32.77-35.69 olarak kaydedilmiştir. L\* renk değerlerindeki artış, yüksek sıcaklıklarda ürünün nem kaybına uğraması sonucu polifenol oksidaz enziminin aktivitesinin kısıtlanması ve bununla birlikte enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının sınırlandırılmasıyla ilişkilendirilebilir [59-61]. Nemin hızlı uzaklaştırılmasıyla kurutulmuş elmanın L\* değerlerinin artışı birçok çalışmada rapor edilmiştir [62-64]. Sıcaklıkla birlikte a\* değerleri azalmakta b\* değeri ise artmaktadır. Gerçekleşen renk değişimleri enzimatik esmerleşme, enzimatik olmayan esmerleşme, renk degradasyonu ve askorbik asit oksidasyonundan kaynaklanabilir [63].



Tablo 11. Kurutulmuş elma dilimlerinin L\*, a\* ve b\* değerleri

Table 11. L\*, a\* and b\* values of dried apple slices

| Kurutma<br>Yöntemi<br>Sıcaklık<br>(°C) | L*                       |                          |                          | a*                       |                          |                          | b*                       |                          |                          |
|----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                        | TF-STD*                  | ÇF-TEL                   | ÇF-STD                   | TF-STD*                  | ÇF-TEL                   | ÇF-STD                   | TF-STD*                  | ÇF-TEL                   | ÇF-STD                   |
| 65                                     | 53.39±3.62 <sup>Bb</sup> | 59.86±0.87 <sup>Aa</sup> | 55.93±2.49 <sup>Cb</sup> | 11.57±0.63 <sup>Ab</sup> | 11.44±0.06 <sup>Ab</sup> | 12.19±0.08 <sup>Aa</sup> | 33.25±2.54 <sup>Aa</sup> | 34.43±1.13 <sup>Ba</sup> | 33.32±1.14 <sup>Ba</sup> |
| 75                                     | 59.54±2.85 <sup>Aa</sup> | 60.28±1.12 <sup>Aa</sup> | 58.63±0.72 <sup>Ba</sup> | 10.96±1.12 <sup>Ab</sup> | 11.05±0.58 <sup>Aa</sup> | 11.78±0.22 <sup>Ba</sup> | 32.77±0.72 <sup>Aa</sup> | 33.59±1.20 <sup>Ba</sup> | 33.91±0.38 <sup>Ba</sup> |
| 85                                     | 62.26±0.33 <sup>Aa</sup> | 60.61±1.54 <sup>Ab</sup> | 62.16±1.03 <sup>Aa</sup> | 10.42±0.58 <sup>Bb</sup> | 11.52±0.66 <sup>Aa</sup> | 11.32±0.26 <sup>Ca</sup> | 32.77±1.27 <sup>Ab</sup> | 35.69±0.44 <sup>Aa</sup> | 35.51±0.32 <sup>Aa</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

## Tekstür

Tüketici kabulünde önemli bir yere sahip olan sertlik, gıdalarda dokusal kaliteyi belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesidir [65]. Kurutulmuş meyvelerde sertlik değeri son ürünün duysal özelliklerini ve fiziksel stabiliteyi etkilemektedir [66]. Kurutma sıcaklığının ve yönteminin elma dilimlerinin sertlikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Tablo 12). Kurutma sürecinde nem içeriğinin düşmesiyle meyve hücrelerinin duvarları büzülmekte ve ürünün gözenekliliğinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu da üründe sertleşmenin meydana gelmesine neden olmaktadır [67, 68]. Yüksek kurutma sıcaklıklarında ürünlerdeki nem, daha hızlı uzaklaşmakta ve doku yoğunluğunun artmasıyla ürünün sertlik değerleri yükselmektedir [69, 70]. Bununla birlikte, meyvedeki pektinlerin sıcaklık etkisi ile doku yapısının bozulması son ürünlerdeki sertlik değerlerini etkilemektedir [71, 72]. En düşük sertlik değerleri ÇF-TEL yöntemi ile kurutulan elma dilimlerinde görülmektedir. Bu durum, standart fırın tepsisinde hava sirkülasyonunun tel sepet yapısındaki fırın tepsisine göre daha sınırlı olmasından dolayı kütle ve ısı transferinin etkin bir şekilde gerçekleşmemesi ile açıklanabilir. Ancak, ÇF-STD yöntemi ile kurutulan ürünlerin daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kurutmada kullanılan çift fan ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi nemi diğer kurutma yöntemlerine göre daha fazla düşürmesiyle son ürünün sertlik değerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Tablo 12. Kurutulmuş elma dilimlerinin sertlik değerleri (N)

Table 12. Hardness values (N) of dried apple slices

| Kurutma<br>Yöntemi<br>Sıcaklık<br>(°C) | TF-STD*                      | ÇF-TEL                     | ÇF-STD                       |
|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 65                                     | 328.22±27.39 <sup>Cb</sup>   | 337.59±24.58 <sup>Cb</sup> | 446.70±32.70 <sup>Ca</sup>   |
| 75                                     | 575.40±50.90 <sup>Ba</sup>   | 495.80±52.40 <sup>Bb</sup> | 598.20±54.70 <sup>Ba</sup>   |
| 85                                     | 1281.00±156.40 <sup>Aa</sup> | 888.70±95.40 <sup>Ab</sup> | 1438.90±108.70 <sup>Aa</sup> |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi. \*\*Aynı sütundaki farklı büyük harflerle (A-C) yazılan ortalamalar ilgili özellik için sıcaklığın istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05); Aynı satırdaki farklı küçük harfler (a-b) yazılan ortalamalar ilgili özellik için kurutma yönteminin istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

## Duyusal Analiz

Duyusal analiz, görme, koku, tat ve dokunma gibi duyarların gıdaların çeşitli özelliklerine verdiği tepkilerin sistematik olarak ölçülmesine ve ürünlerin tüketiciler tarafından değerlendirilmesine olanak tanıdığı için ürün karakterizasyonunda önemli bir parametredir [73]. Farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklıkları ile kurutulan elma dilimlerinin duysal analizi renk, koku, doku (çıtırılık, sertlik ve kırılma), görünüş ve genel kabul edilebilirlik bakımından panelistler tarafından 5 puanlık skalada incelenmiş ve sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir. En yüksek genel kabul edilebilirlik puanı (4.46±0.72) ÇF-TEL yöntemi ile 85°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimlerine aittir. Ayrıca, bu ürün panelistler tarafından renk, koku, doku ve görünüş olarak da diğer örneklerle göre daha iyi puan almıştır. En düşük genel kabul edilebilirlik puanını (2.83±0.87), çıtırılık (2.13±0.95) ve sertlik (2.54±1.14) değerleri ile TF-STD kurutma yöntemi ile ve 65°C sıcaklıkta kurutulan elma dilimlerine aittir. Genel olarak kurutma sıcaklığının artmasıyla duysal özelliklerde bir artış gözlemlenmiştir. Bu olumlu artış, yüksek sıcaklıkla birlikte düşük nem oranı ve artan şeker konsantrasyonu ve son üründe Maillard reaksiyonu sayesinde gelişen renk ve aroma bileşenleriyle daha çekici hala gelmesiyle açıklanabilir [54, 70].

## SONUÇ

Bu çalışmada elma (*Malus domestica*) dilimleri, tek fanlı ve çift fanlı ev tipi fırınlarda, tel örgü sepet ve standart fırın tepsisi kullanılarak elmalar üç farklı yöntem (TF-STD, ÇF-TEL ve ÇF-STD) ve üç sıcaklıkta (65, 75 ve 85°C) kurutulmuştur. Kurutma kinetiği, matematiksel modelleme, enerji tüketimi, ısı verimliliği ile son ürünün fiziksel, kimyasal ve duysal özellikleri incelenmiştir. Kurutma eğrileri altı farklı matematiksel model ile analiz edilmiş ve en yüksek düzeltilmiş belirlleme katsayısı ( $R_{adj}^2$ ) ve en düşük RMSE değerleri Wang & Singh ve Midilli vd. modellerinde elde edilmiştir. ÇF-TEL kurutma yönteminin kurutma süresini azaltarak ısı verimliliği artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sonuçlara bakıldığında genel olarak 85°C sıcaklıkta ÇF-TEL kurutma yöntemi ile kurutulan elmalar daha homojen kuruma sağlayarak renk ve doku ile tüketiciler tarafından daha yüksek beğeni almıştır.

Tablo 13. Kurutulmuş elma dilimlerinin duyu değerlendirmesi

Table 13. Sensory evaluation of dried apple slices

| Kurutma Yöntemi | Sıcaklık (°C) | Renk      | Koku      | Doku      |           |           | Görünüş   | Genel Kabul Edilebilirlik |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
|                 |               |           |           | Çıtırılık | Sertlik   | Kırlıma   |           |                           |
| TF-STD          | 65            | 3.50±1.25 | 3.17±1.17 | 2.13±0.95 | 2.54±1.14 | 2.25±1.07 | 3.38±1.10 | 2.83±0.87                 |
|                 | 75            | 3.21±1.14 | 3.42±1.14 | 2.67±1.13 | 2.79±0.98 | 2.75±0.85 | 3.33±1.13 | 3.04±0.91                 |
|                 | 85            | 3.63±0.97 | 3.75±1.07 | 2.92±1.18 | 3.21±0.88 | 3.13±1.08 | 3.50±1.06 | 3.54±0.72                 |
| ÇF-TEL          | 65            | 3.83±1.01 | 3.63±0.92 | 3.25±1.07 | 3.38±0.92 | 3.42±1.21 | 3.50±1.18 | 3.75±0.85                 |
|                 | 75            | 4.21±0.88 | 3.75±0.85 | 3.38±1.06 | 3.42±1.06 | 3.42±1.14 | 3.79±1.06 | 3.88±0.80                 |
|                 | 85            | 4.38±0.82 | 3.96±0.86 | 3.42±0.93 | 4.33±0.76 | 4.29±0.75 | 4.13±0.95 | 4.46±0.72                 |
| ÇF-STD          | 65            | 3.67±1.13 | 3.63±0.92 | 2.50±0.98 | 2.79±1.02 | 2.70±0.98 | 3.67±0.82 | 3.33±0.76                 |
|                 | 75            | 3.71±1.12 | 3.88±0.90 | 3.21±1.14 | 3.25±1.07 | 3.29±1.20 | 3.54±1.18 | 3.54±1.14                 |
|                 | 85            | 3.58±0.97 | 4.00±0.83 | 3.92±1.18 | 3.54±1.25 | 3.71±1.30 | 3.71±1.00 | 3.79±1.02                 |

\*TF-STD: Tek fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi, ÇF-TEL: Çift fanlı fırın ve tel örgü sepet yapısındaki fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi ve ÇF-STD: Çift fanlı fırın ve standart fırın tepsisi ile yapılan kurutma yöntemi.

Elde edilen sonuçlar, ÇF-TEL kurutma yönteminin hem enerji verimliliği hem de ürün kalitesi bakımından elma dilimlerinin kurutulması için küçük ölçekte uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir. Endüstriyel uygulamalar için yapılabilecek bir ölçek büyüme çalışması sayesinde çift fanlı fırın ve tel örgü sepet kullanımı, ısı verimliliği artırılabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilir. Bu yöntemin özellikle küçük ve orta ölçekli gıda işleme tesisleri için ekonomik ve pratik bir çözüm sunabileceği düşünülmektedir.

Gelecekteki araştırmalarda, farklı elma çeşitleri, farklı dilim kalınlıkları ve daha geniş sıcaklık aralıkları ile kurutma performansının incelenmesi çalışabilir. Bununla birlikte, son ürünün mikrobiyal stabilitesi, besin değerleri ve aromatik bileşenleri üzerinde detaylı incelemeler yapılması, kurutma süreçlerinin optimize edilmesi açısından faydalı olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1139B412300953 proje numarası ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Rasooli Sharabiani, V., Kaveh, M., Abdi, R., Szymanek, M., Tanaś, W., (2021). Estimation of moisture ratio for apple drying by convective and microwave methods using artificial neural network modeling. *Scientific Reports*, 11(1), 9155.
- [2] Zarein, M., Samadi, S.H., Ghobadian, B., (2013). Kinetic drying and mathematical modeling of apple slices on dehydration process. *Journal of Food Processing & Technology*, 4, 247.
- [3] Beigi, M., (2016). Hot air drying of apple slices: dehydration characteristics and quality assessment. *Heat and Mass Transfer*, 52(8), 1435-1442.
- [4] Barbosa-Cánovas, G.V., Vega-Mercado, H., (1996). *Dehydration of foods*. Springer Science & Business Media.
- [5] Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R., Hamdami, N., Talati, F., Moghaddam, M., (2010). Convective drying of apple: Mathematical modeling and determination of some quality parameters.

*International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), 171-178.

- [6] 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(1), 39-46.
- [7] Soysal, Y., (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167-173.
- [8] Demiray, E., Tulek, Y. (2012). Thin layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. *Heat and Mass Transfer*, 48, 841-847.
- [9] Adeyeye, S.A.O., Ashaolu, T.J., Babu, A.S., (2022). Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*, 1(8).
- [10] Sahin, A.Z., Dincer, I., (2005). Prediction of drying times for irregular shaped multi-dimensional moist solids. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 119-126.
- [11] Karathanos, V.T., Belessiotis, V.G., (1999) Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 74(4), 355-361.
- [12] El-Mesery, H.S., Ashiagbor, K., Hu, Z., Rostom, M., (2024). Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics and moisture diffusivity study of apple slices using infrared conveyor-belt dryer. *Journal of Food Science*, 89(3), 1658-1671.
- [13] Menges, H.O., Ertekin, C., (2006). Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples, *Journal of Food Engineering*, 77(1), 119-125.
- [14] Onwude, D.I., Hashim N., Janius, R.B., Nawi, N.M., Abdan, K., (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618.
- [15] Inyang, U.E., Oboh, I.O., Etuk, B.R., (2018). Kinetic models for drying techniques-Food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2), 27-48.
- [16] Lewis, W.K., (1921). The rate of drying of solid materials. *Industrial & Engineering Chemistry*, 13(5), 427-432.
- [17] Page, G.E., (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers [MS thesis]. *West Lafayette, IN, USA: Purdue University*.

- [18] Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.I., (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5), 457-465.
- [19] Hendorson, S.M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory (i) temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
- [20] Chandra, P.K., Singh, R.P., (2017). Applied numerical methods for food and agricultural engineers. CRC Press.
- [21] Rahman, M.S., Perera, C. O., Thebaud, C., (1997). Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas. *Food Research International*, 30(7), 485–491.
- [22] Wang, C.Y., Singh, R.P., (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper, No. 78-3001 (St. Joseph, MI, USA).
- [23] Singh, F., Katiyar, V.K., Singh, B.P., (2014). Mathematical modeling to study drying characteristic of apple and potato. *International Conference on Chemical, Environment & Biological Sciences* (CEBS-2014), Sept. 17-18, 2014, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [24] Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., Vásquez, A., (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2023–2028.
- [25] Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513.
- [26] Kidane, H., Farkas, I., Buzás, J., (2025). Mathematical modelling of golden apple drying and performance evaluation of solar drying systems using energy and exergy approach. *Scientific Reports*, 15(1), 7805.
- [27] Fang, S., Wang, L.P., Wu, T., (2015). Mathematical modeling and effect of blanching pretreatment on the drying kinetics of Chinese yam (*Dioscorea opposita*). *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 21(4), 511-518.
- [28] Cengel, Y.A., Cimbala, J.M., Ghajar, A.J., (2021). Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, 6th Edition, McGraw-Hill, New York.
- [29] El-Mesery, H.S., Farag, H.A., Kamel, R.M., Alshaer, W.G., (2023). Convective hot air drying of grapes: drying kinetics, mathematical modeling, energy, thermal analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(14), 6893-6908.
- [30] Ghinea, C., Prisacaru, A.E., Leahu, A., (2022). Physico-chemical and sensory quality of oven-dried and dehydrator-dried apples of the Starkrimson, Golden Delicious and Florina cultivars. *Applied Sciences*, 12(5), 2350.
- [31] Yusufe, M., Mohammed, A., Satheesh, N., (2017). Effect of duration and drying temperature on characteristics of dried tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cochoro variety. *Acta Universitatis Cibiniensis, Series E: Food Technology*, 21(1), 41–50.
- [32] Kahraman, O., Malvandi, A., Vargas, L., Feng, H., (2021). Drying characteristics and quality attributes of apple slices dried by a non-thermal ultrasonic contact drying method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105510.
- [33] Sadler, G.D., Murphy, P.A., (2010). pH and titratable acidity. In Food analysis (pp. 219-238). Boston, MA: Springer USA.
- [34] Darvishi, H., Khoshtaghaza, M.H., Minaee, S., (2014). Drying kinetics and colour change of lemon slices. *International Agrophysics*, 28(1), 1-6.
- [35] Zielinska, M., Sadowski, P., Błaszczak, W., (2015). Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *LWT- Food Science and Technology*, 62(1), 555-563.
- [36] Heybeli, N., Ertekin, C., (2007). Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(3), 179-187.
- [37] Khawas, P., Dash, K.K., Das, A.J., Deka, S.C., (2015). Drying characteristics and assessment of physicochemical and microstructural properties of dried culinary banana slices. *International Journal of Food Engineering*, 11(5), 667-678.
- [38] El-Mesery, H.S., Ashiagbor, K., Hu, Z., Alshaer, W.G., (2023). A novel infrared drying technique for processing of apple slices: Drying characteristics and quality attributes. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52, 103676.
- [39] Chandramohan, V.P., (2018). Influence of air flow velocity and temperature on drying parameters: An experimental analysis with drying correlations. International Conference on Mechanical, Materials and Renewable Energy Dec 8–10, 2017, Sikkim, Hindistan.
- [40] Akpınar, E.K., Bicer, Y., Yıldız, C., (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 59(1), 99-104.
- [41] Mayor, L., Sereno, A.M., (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386.
- [42] Mujumdar, A.S., (2006). Handbook of Industrial Drying (3rd ed.). CRC Press.
- [43] Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H., (2011). Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 52 (2), 1192-1199.
- [44] Kudra T., (2004). Energy aspects in drying. *Drying Technology*, 22(5), 917-932.
- [45] EL-Mesery, H.S., (2022). Improving the thermal efficiency and energy consumption of convective dryer using various energy sources for tomato drying. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10245-10261.
- [46] Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M.H., (2014). Comparison of energy parameters in various dryers. *Energy Conversion and Management*, 87, 711-725.
- [47] Rakyat, M., Yeunyongkul, P., Wuttikid, K., Promdan, S., Nuntapap, N., Chaichana, C., Hokpunna, A., Chungcharoen, T., Ruttanadech, N., Srichai, P., Munsin, R., (2021). Study of air distribution in tray dryer using computational fluid dynamics. *Engineering and Applied Science Research*, 48(6), 684-693.
- [48] Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., Uyttendaele, M., (2016). Performance of drying technologies to ensure microbial safety of dried

- fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1056-1066.
- [49] Kaya, A., Aydın, O., Demirtas, C., Akgün, M., (2007). An experimental study on the drying kinetics of quince. *Desalination*, 212(1-3), 328-343.
- [50] Sandulachi, E., (2012). Water activity concept and its role in food preservation. *Meridian Ingineresc*, (4), 40-48.
- [51] Fernández, V.M., (2011). Water Activity. In *Encyclopedia of Astrobiology*, Edited by Gargaud, M., Irvine W.M., Amils R., et al., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1763-1764p.
- [52] Leistner, L., Gorris, L.G., (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science and Technology*, 6(2), 41-46.
- [53] Fellows, P.J., (2009). Properties of food processing. In *Food Science, Technology and Nutrition, Food Processing Technology* (Third Edition), Edited by P.J Fellows, Woodhead Publishing Limited, Oxford, England, 11-95p.
- [54] Jay, J.M., (1992). *Modern Food Microbiology*. Spinger Science+Business Media, Inc, New York, USA.
- [55] Owusu, J., Ma, H., Wang, Z., Amissah, A., (2012). Effect of drying methods on physicochemical properties of pretreated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) slices. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 7(1-2), 106-111.
- [56] Koyuncu, M., Bayındır, D., (2013). Scarlet spur elma çeşidinin normal ve kontrollü atmosfer koşullarında depolanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 71-76.
- [57] Coşkun, A.L., Ünsal, F., (2020). Ticari olarak satışı yapılan baharatlar ve kuru meyvelerin bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(3), 99-111.
- [58] Souto Ribeiro, W., Sant'Ana Silva, A., Ferreira da Silva, Á.G., Marinho do Nascimento, A., Rocha Limão, M.A., Bezerra da Costa, F., Augusto de Souza, P., José de Melo Queiroz, A., Soares da Silva, O., Oliveira Galdino, P., Feitosa de Figueirêdo, R.M., de Melo Silva, S., Luiz Finger, F., (2021). Handmade solar dryer: an environmentally and economically viable alternative for small and medium producers. *Scientific Reports*, 11(1), 17177.
- [59] Lavelli, V., Caronni, P., (2010). Polyphenol oxidase activity and implications on the quality of intermediate moisture and dried apples. *European Food Research and Technology*, 231(1), 93-100.
- [60] El-Hadary, A.E., Ramadan, M.F., (2019). Phenolic profiles, antihyperglycemic, antihyperlipidemic, and antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum*) peel extract. *Journal of Food Biochemistry*, 43(4), e12803.
- [61] Zawawi, N.A.F., Hazmi, N.A.M., How, M.S., Kantono, K., Silva, F.V., Sulaiman, A., (2022). Thermal, high pressure, and ultrasound inactivation of various fruit cultivars' polyphenol oxidase: Kinetic inactivation models and estimation of treatment energy requirement. *Applied Sciences*, 12(4), 1864.
- [62] Li, X., Wu, X., Bi, J., Liu, X., Li, X., Guo, C., (2019). Polyphenols accumulation effects on surface color variation in apple slices hot air drying process. *LWT*, 108, 421-428.
- [63] Aradwad, P.P., Thirumani Venkatesh, A.K., Mani, I., (2023). Infrared drying of apple (*Malus domestica*) slices: Effect on drying and color kinetics, texture, rehydration, and microstructure. *Journal of Food Process Engineering*, 46(2), 1-21.
- [64] Beigi, M., (2016). Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. *Food Science and Technology (Campinas)*, 36(1), 145-150.
- [65] Harker, F.R., Johnston, J.W., (2008). Importance of texture in fruit and its interaction with flavour. In *Fruit and Vegetable Flavour: Recent Advances and Future Prospects*, Edited by B. Bruckner, S.G. Wyllie, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 132-149.
- [66] Ismail, M. and Gögüs, F., (2023). The effect of drying on the physical and chemical properties of fruits. *International Topkapı Congress-II*, Oct 20, 2023, İstanbul, Türkiye, 444-450p.
- [67] Omolola, A.O., Jideani, A.I.O., Kapila, P.F., (2017). Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 95-108.
- [68] Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J., Oliveira, F.A., (2008). Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 430-440.
- [69] de PF Guiné, R., (2006). Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 84(3), 179-185.
- [70] Mrad, N.D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., Bonazzi, C., (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 433-441.
- [71] Fraeye, I., De Roeck, A., Duvetter, T., Verlent, I., Hendrickx, M., Van Loey, A., (2007). Influence of pectin properties and processing conditions on thermal pectin degradation. *Food Chemistry*, 105(2), 555-563.
- [72] Sila, D.N., Smout, C., Elliot, F., Van Loey, A., Hendrickx, M., (2006). Non-enzymatic depolymerization of carrot pectin: Toward a better understanding of carrot texture during thermal processing. *Journal of Food Science*, 71(1), E1-E9.
- [73] Eminoğlu, G., Şenel, E., (2019). Süt ve ürünlerinin duyuşal değeriendirmesinde kemometrik yaklaşımlar. *Akademik Gıda*, 17(1), 102-110.