



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ  
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNCİRİN VAKUM MİKRODALGA KURUTMA, TEPİLİ KURUTMA  
VE GÜNEŞTE KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI  
VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**HÜSEYİN DURAN  
DOKTORA TEZİ**



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ  
ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNCİRİN VAKUM MİKRODALGA KURUTMA, TEPİLİ KURUTMA  
VE GÜNEŞTE KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI VE  
KALİTE ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**HÜSEYİN DURAN  
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. OSMAN KOLA**

**ADANA, 2025**

# BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Bu tezin özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edilerek sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, tez kapsamında bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm veri ve bilgiler için bilimsel etik ve gelenek çerçevesinde kaynak gösterdiğimi; bu kaynakları da kaynakçada belirttiğimi beyan ederim. Çalışmam ile ilgili yaptığım beyana aykırı bir durum saptanması halinde tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

01/12/2025

[İmza]

Hüseyin DURAN

# ÖZET

## İNCİRİN VAKUM MİKRODALGA KURUTMA, TEPSİLİ KURUTMA VE GÜNEŞTE KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE KURUTULMASI VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hüseyin DURAN

Doktora, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman KOLA

Aralık 2025, 86 sayfa

Meyve ve sebzelerin bozulmadan uzun süre saklanabilmeleri konusunda bilinen en yaygın muhafaza yöntemlerinden biri kurutma yöntemidir. Ancak geleneksel kurutma teknikleri meyve ve sebzelerde gıda bileşenlerinde, aynı zamanda renk, lezzet gibi duysal özelliklerinde azalmalara neden olmaktadır. Bu kayıpların azaltılması amacıyla yeni kurutma teknikleri son yıllarda önem kazanmıştır.

Vakum mikrodalga kurutucu, tepsili kurutucu ve güneşte kurutma sistemleri ile üretilen kuru incirler kalite açısından değerlendirilmiştir. Vakum mikrodalga kurutucunun tepsili kurutucu ve güneşte kurutmaya kıyasla kurutma hızını artırdığı ve kurutma süresini düşürdüğü tespit edilmiştir. Vakum mikrodalga kurutucu ve tepsili kurutucuda kurutulan incir örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı olarak değişimini ortaya koyan deneysel sonuçları en iyi temsil edebilecek teorik modelin Page model olduğu tespit edilmiştir. Vakum mikrodalga kurutucunun, tepsili kurutma ve güneşte kurutmaya kıyasla titrasyon asitliği, pH, toplam fenolik madde, toplam karotenoid, toplam antioksidan aktivite ve renk değerleri gibi fiziksel-kimyasal bileşenlerde en düşük düzeyde değişime neden olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, geleneksel sıcak hava kurutma yöntemine göre, vakum mikrodalga kurutmanın daha hızlı ve kolay uygulanabilir bir teknik olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, vakum mikrodalga kurutucu ile kurutulan incirlerin fiziko-kimyasal, biyokimyasal ve duysal özelliklerinin geleneksel ısısal kurutmalardan daha iyi olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Vakum mikrodalga kurutucu, incir, güneşte kurutma, tepsili kurutma.

# **ABSTRACT**

## **DRYING OF FIGS USING VACUUM MICROWAVE DRYING, TRAY DRYING AND SUN DRYING METHODS AND COMPARISON OF QUALITY CHARACTERISTICS**

Hüseyin DURAN

PhD, Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Osman KOLA

December 2025, 86 pages

One of the most common preservation methods known for storing fruit and vegetables for long periods without spoilage is drying. However, traditional drying techniques cause reductions in food components in fruit and vegetables, as well as in sensory characteristics such as colour and flavour. In order to reduce these losses, new drying techniques have gained importance in recent years.

Dried figs produced using vacuum microwave dryers, tray dryer systems, and sun drying were evaluated in terms of quality. It was found that the vacuum microwave dryer increased the drying speed and reduced the drying time compared to tray drying and sun drying. The Page model was found to be the theoretical model that best represents the experimental results showing the change in moisture content over time in fig samples dried using the vacuum microwave dryer and tray dryer. It was determined that vacuum microwave drying caused the least alteration in physicochemical components—such as titratable acidity, pH, total phenolic content, total carotenoids, total antioxidant activity—and in color parameters, compared to tray drying and sun drying.

In conclusion, vacuum microwave drying was determined to be a faster and more easily applicable technique compared to the traditional hot air drying method. Furthermore, it was found that the physicochemical, biochemical, and sensory properties of figs dried using a vacuum microwave dryer were superior to those dried using traditional thermal drying methods.

**Keywords:** Vacuum microwave dryer, fig, sun drying, tray drying



***İthaf***

*Sevgili Aileme,*

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın mümkün olmasını sağlayan, hayatımda çok önemli bir yeri olan, gösterdiği destek, sabır, anlayış için, tez süresince yönlendirme ve yüreklendirmeleri için danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman KOLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans günlerinden itibaren beraber çalışmanın keyfini yaşadığım, tüm çalışma boyunca her noktada desteğini hissettiğim Doç. Dr. Hamza BOZKIR'a, Değerli katkılarından ve desteklerinden dolayı, tez jürimde yer alan Sayın Prof. Dr. Mehmet Sertaç ÖZER, Sayın Prof. Dr. Cemal KAYA, Sayın Prof. Dr. Ahmet Doğan DUMAN, Sayın Doç. Dr. Hamza BOZKIR ve Sayın Doç. Dr. Murat Reis AKKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince ilgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, başta Pamukova MYO Müdürü Prof. Dr. Fatih SÖNMEZ ve laboratuvar çalışmalarında yadsınamaz katkıları için Öğr. Gör. Dr. Zuhel ŞAHİN olmak üzere tüm Pamukova MYO çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince desteğini her zaman hissettiğim, süreç boyunca beni yüreklendiren değerli arkadaşlarım Sefa HİKMET ve Osman EROĞLU'na teşekkür ederim.

Sadece akademik hayatta değil bugünlere gelmemde sonsuz emekleri olan Babaannem Nazmiye DURAN ve Dedem Şükrü DURAN'ı minnetle ve rahmetle anarken, hayatım boyunca desteğim olan kardeşim Gülperi DURAN'a teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarımın gizli kahramanları, ilgi, sabır ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli eşim Tülay DURAN, kızlarım Zeynep DURAN ve Elif DURAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|                                               |      |
|-----------------------------------------------|------|
| JÜRİ ONAY SAYFASI                             | i    |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANNAMESİ           | ii   |
| ÖZET                                          | iii  |
| ABSTRACT                                      | iv   |
| <i>İthaf</i>                                  | v    |
| TEŞEKKÜR                                      | vi   |
| İÇİNDEKİLER                                   | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ                                 | x    |
| TABLO LİSTESİ                                 | xi   |
| KISALTMALAR                                   | xiii |
| SEMBOLLER                                     |      |
| 1. GİRİŞ                                      | 1    |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ                            | 3    |
| 2.1. İncir                                    | 3    |
| 2.1.1. Besin Kompozisyonu ve Temel Bileşenler | 3    |
| 2.1.2. Biyoaktif Bileşenler                   | 3    |
| 2.1.3. Sağlık Üzerine Etkileri                | 5    |
| 2.2. Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar     | 5    |
| 2.2.1. Güneşte Kurutma                        | 5    |
| 2.2.2. Tepsili Kurutma                        | 9    |
| 2.2.3. Vakum Mikrodalga Kurutma               | 11   |
| 3. MATERYAL VE METOT                          | 25   |
| 3.1. Materyal                                 | 25   |
| 3.2. Metot                                    | 26   |
| 3.2.1. Kurutma                                | 26   |
| 3.2.1.1. Vakum Mikrodalga Kurutucu            | 27   |
| 3.2.1.2. Tepsili Kurutucu                     | 28   |
| 3.2.2. Analizler                              | 30   |
| 3.2.2.1. pH tayini                            | 30   |
| 3.2.2.2. Titrasyon asitliği (TA) tayini       | 30   |
| 3.2.2.3. Toplam kurumadde (TKM) tayini        | 30   |

|           |                                                                                                                     |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2.4.  | Su aktivitesi tayini                                                                                                | 31        |
| 3.2.2.5.  | Toplam fenolik madde tayini                                                                                         | 31        |
| 3.2.2.6.  | Toplam karotenoit tayini                                                                                            | 32        |
| 3.2.2.7.  | Toplam antioksidan aktivite tayini                                                                                  | 34        |
| 3.2.2.8.  | Enzimatik olmayan esmerleşme tayini                                                                                 | 35        |
| 3.2.2.9.  | Toplam canlı bakteri ve maya-küf sayımı                                                                             | 35        |
| 3.2.2.10. | Rehidrasyon kapasitesi tayini                                                                                       | 35        |
| 3.2.2.11. | Renk tayini                                                                                                         | 36        |
| 3.2.2.12. | Nem içeriği belirleme                                                                                               | 36        |
| 3.2.2.13. | Kuruma hızı belirlenmesi                                                                                            | 37        |
| 3.2.2.14. | Nem oranı belirlenmesi                                                                                              | 37        |
| 3.2.2.15. | Kuruma kinetiği modellenmesi                                                                                        | 37        |
| 3.2.2.16. | İstatistiksel analiz                                                                                                | 38        |
| <b>4.</b> | <b>BULGULAR VE TARTIŞMA</b>                                                                                         | <b>39</b> |
| 4.1.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının İncirlerin Kurutma Kinetiği Parametreleri Üzerindeki Etkileri | 39        |
| 4.2.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının pH Değeri Üzerindeki Etkileri                                 | 49        |
| 4.3.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Titrasyon Asitliği Değeri Üzerindeki Etkileri                 | 51        |
| 4.4.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Kurumadde Değeri Üzerindeki Etkileri                   | 53        |
| 4.5.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Su Aktivitesi Değeri Üzerindeki Etkileri                      | 54        |
| 4.6.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerindeki Etkileri              | 56        |
| 4.7.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Karotenoit Miktarı Üzerindeki Etkileri                 | 57        |
| 4.8.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Antioksidan Değeri Üzerindeki Etkileri                 | 59        |
| 4.9.      | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Enzimatik Olmayan Esmerleşme Değeri Üzerindeki Etkileri       | 61        |
| 4.10.     | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Canlı Bakteri ve Maya-Küf Sayımı Üzerindeki Etkileri   | 62        |

|           |                                                                                                         |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.11.     | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Rehidrasyon Kapasitesi Değeri Üzerindeki Etkileri | 64        |
| 4.12.     | Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Renk Değeri Üzerindeki Etkileri                   | 66        |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                                                                | <b>69</b> |
|           | <b>KAYNAKÇA</b>                                                                                         | <b>72</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                         | <b>86</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Kurutma öncesi incirler .....                                                                                                   | 25 |
| Şekil 3.2. Kuru incir üretim akış şemaları .....                                                                                           | 26 |
| Şekil 3.3. Vakum mikrodalga kurutucu sisteminin şematik gösterimi .....                                                                    | 27 |
| Şekil 3.4. Vakum mikrodalga kurutucu .....                                                                                                 | 28 |
| Şekil 3.5. Tepsili kurutucu .....                                                                                                          | 29 |
| Şekil 3.6. Güneşte kurutma .....                                                                                                           | 29 |
| Şekil 3.7. Thermo marka pH metre.....                                                                                                      | 30 |
| Şekil 3.8. Nüve marka vakumlu etüv .....                                                                                                   | 31 |
| Şekil 3.9. Novasina marka su aktivitesi cihazı.....                                                                                        | 31 |
| Şekil 3.10. Shimadzu UV-1240 spektrofotometre .....                                                                                        | 32 |
| Şekil 3.11. Toplam fenolik madde standart kalibrasyon eğrisi.....                                                                          | 33 |
| Şekil 3.12. Toplam karotenoit miktarı için standart kalibrasyon eğrisi .....                                                               | 33 |
| Şekil 3.13. Antioksidan aktivite standart eğrisi .....                                                                                     | 34 |
| Şekil 3.14. Hunter Lab Color Flex renk ölçüm cihazı .....                                                                                  | 36 |
| Şekil 4.1. Güneşte kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi .....                                              | 39 |
| Şekil 4.2. Güneşte kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi .....                                  | 40 |
| Şekil 4.3. Güneşte kurutulan incir örneklerine ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi .....                                       | 41 |
| Şekil 4.4. Farklı sıcaklıklarda (TK 60, 70, 80°C) kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi.....                | 41 |
| Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda (TK 60, 70, 80°C) kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi .....   | 42 |
| Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda (TK 60, 70, 80°C) kurutulan incir örneklerine ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi .....        | 42 |
| Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda (VMD 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi.....              | 43 |
| Şekil 4.8. Farklı sıcaklıklarda (VMD 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi ..... | 44 |
| Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda (VKM 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi.....       | 44 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Kuruma modelleri .....                                                                                                                        | 38 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamaları İle Kurutulan İncirlerin Kurutma Hızı, Kurutma Süresi ve Difüzyon Katsayısı Değerleri..... | 45 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları .....                     | 46 |
| <b>Tablo 4.2 (devamı).</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları .....            | 47 |
| <b>Tablo 4.2 (devamı).</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları .....            | 48 |
| <b>Tablo 4.3.</b> İncir Örneklerinin Kurutma Süreçlerinde En Yüksek Uyum Performansı Gösteren Matematiksel Kurutma Modellerinin Özeti .....                     | 49 |
| <b>Tablo 4.4.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının pH Değeri Üzerindeki Etkileri .....                                                     | 50 |
| <b>Tablo 4.5.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Titrasyon Asitliği Değeri Üzerindeki Etkileri .....                                     | 52 |
| <b>Tablo 4.6.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Kurumadde Değeri Üzerindeki Etkileri .....                                       | 53 |
| <b>Tablo 4.7.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Su Aktivitesi Değeri Üzerindeki Etkileri .....                                          | 55 |
| <b>Tablo 4.8.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerindeki Etkileri .....                                  | 56 |
| <b>Tablo 4.9.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Karotenoit Miktarı Üzerindeki Etkileri .....                                     | 58 |
| <b>Tablo 4.10.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Antioksidan Değeri Üzerindeki Etkileri.....                                     | 59 |
| <b>Tablo 4.11.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Enzimatik Olmayan Esmerleşme Değeri Üzerindeki Etkileri.....                           | 61 |
| <b>Tablo 4.12.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Canlı Bakteri ve Maya-Küf Sayımı Üzerindeki Etkileri.....                       | 62 |
| <b>Tablo 4.13.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Rehidrasyon Kapasitesi Değeri Üzerindeki Etkileri.....                                 | 64 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 4.14.</b> Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Renk Değerleri<br>Üzerindeki Etkileri ..... | 67 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## KISALTMALAR

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| VMK                | : Vakum mikrodalga kurutucu                          |
| VMD                | : Vakum mikrodalga                                   |
| GK                 | : Güneşte kurutma                                    |
| TK                 | : Tepsili kurutucu                                   |
| MR                 | : Boyutsuz nem                                       |
| RMSE               | : Ortalama kare hata kökü                            |
| TMAB               | : Toplam mezofil aerofil bakteri                     |
| TMK                | : Toplam maya-küf                                    |
| TE                 | : Trolox eşdeğeri                                    |
| GAE                | : Gallik asit eşdeğeri                               |
| Bx                 | : Briks                                              |
| ANOVA              | : Varyans analizi                                    |
| %SA                | : %Sitrik asit                                       |
| EOE                | : Enzimatik olmayan esmerleşme                       |
| PRESS              | : Tahminlenmiş hata kareler toplamı                  |
| Pre-R <sup>2</sup> | : Tahminlenmiş çoklu regresyon katsayısı             |
| R <sup>2</sup>     | : Regresyon katsayısı                                |
| RSM                | : Response surface methodology (Yanıt-Yüzey Yöntemi) |
| KM                 | : Kurumadde                                          |
| SÇKM               | : Suda çözünür kurumadde değeri                      |
| SPSS               | : Statistical package for the social sciences        |
| TÜİK               | : Türkiye istatistik kurumu                          |
| FAO                | : Birleşmiş milletler tarım ve gıda örgütü           |

## SEMBOLLER

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| $D_{\text{eff}}$ | : Difüzyon katsayısı   |
| dk               | : Dakika               |
| $C^*$            | : Chroma (Kroma)       |
| $\Delta E$       | : Toplam renk değışimi |
| $R^2$            | : R-kare               |
| $\chi^2$         | : Ki-kare              |
| $a_w$            | : Su aktivitesi        |
| kPa              | : Kilo paskal          |
| log              | : Logaritmik birim     |
| cfu              | : Colony forming unit  |

# 1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) tarafından yayımlanan verilere (FAO, 2024) göre, Türkiye 2023-2024 döneminde gerçekleştirdiği yaklaşık 375 bin tonluk yaş incir üretimi ile küresel arzın yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. Bu üretim hacmi, Türkiye'yi dünya yaş incir üretiminde birinci sıraya yerleştirmektedir. Söz konusu sıralamada Türkiye'nin ardından Mısır, Fas, Cezayir, İran, Suriye, ABD ve İspanya gelmektedir.

Kuru incir ihracatı özelinde yapılan değerlendirmeler Türkiye'nin bu alandaki hakimiyetini teyit etmektedir. Türkiye ilgili yılda 70 bin tonluk ihracat hacmi gerçekleştirerek, %55'lik bir pay ile dünya kuru incir ihracatı sıralamasında lider konumda bulunmaktadır. Ülke içi üretim dinamikleri incelendiğinde, Türkiye'nin kurutmalık incir ihtiyacının (veya üretiminin) neredeyse tamamının Ege Bölgesi'nden tedarik edildiği görülmektedir. Bu yüksek coğrafi konsantrasyon, Ege Bölgesi'nin toplam kuru incir üretim miktarının, esasen Türkiye'nin ulusal üretim miktarını temsil ettiği anlamına gelmektedir (TÜİK, 2024). Özellikle Aydın ve İzmir havzasında yoğunlaşan 'Sarılöp' çeşidi üretimi, yüksek kurumadde oranı ve ince kabuk yapısı sayesinde endüstriyel kurutma için dünya standardı olarak kabul edilmekte ve ülkenin rekabet avantajını korumasını sağlamaktadır.

Ticari ve ekonomik açıdan yüksek öneme sahip olan kuru incirin yetiştirilme, hasat edilme, kurutulma ve depolama koşullarına dikkat edilmesi üründe kalite kayıplarının ortadan kaldırılması için önem arz etmektedir. Kuru incir, *Ficus carica L.* türüne ait meyvelerin hasat sonrası doğal ya da yapay kurutma teknikleri sonrası elde edilen bir üründür (Atik, 2012). Olgunlaşan meyveler, ağaçta bırakıldıklarında ileri olgun olarak adlandırılan dönemde su kaybederek orta nemli (su oranı %40-50) hal almaktadırlar. Ürünler zaman içinde ağaçlardan kendiliğinden düşmekte ve 2-3 gün arayla yetiştiriciler tarafından hasat edilmektedir (Aksoy, 2012). Ağaçlardan düşmemiş incirler ise bir sırık yardımıyla düşürülmektedir (Karaca, 2005). Buruklaşarak yere düşen meyveler ağaç diplerinde bekletildiklerinde bozulma sorunuyla karşılaşmaktadır. Bu nedenle orta nemli hal almış meyveler ağaç diplerinden toplanarak "kerevet" olarak adlandırılan plastik veya tahta kurutma kasaları üzerine aktararak nem oranları %22-24'e düşünceye dek kurutulmaktadır.

Konvansiyonel gıda işleme tekniklerinin gıda bileşenleri ve kalitesi üzerindeki olumsuz tesirlerini bertaraf etmek amacıyla, ürün kalitesinin iyileştirilmesini hedefleyen araştırmacılar tarafından yenilikçi işleme stratejileri geliştirilmektedir. Yakın dönemde, tüketici eğilimleri ve taleplerinde belirgin bir değişim gözlenmektedir. Mevcut gıda işleme metotlarına ikame olabilecek yenilikçi teknolojiler üzerine yürütülen bilimsel araştırmaların ve bu alana yönelik akademik ilginin ivme kazanması, büyük ölçüde son dönemdeki tüketici taleplerindeki değişimlerin bir sonucudur. Geleneksel kurutma yöntemine alternatif olabilecek yeni kurutma tekniklerinden biri vakum mikrodalga kurutma prosesidir. Vakum mikrodalga kurutma geleneksel kurutma işlemlerine kıyasla düşük sıcaklıkta hızlı ısı transferine olanak sağlayan alternatif bir tekniktir. Ülkemiz kuru incir üretiminde dünya lideri olmasına rağmen uygun koşullarda üretim yapılmaması ve teknolojik engellerden dolayı üretim kapasitesinin altında üretim yapılmaktadır. Ülkemizde kuru incir üretimi güneşte kurutma ve sıcak hava ile kurutma prosesleriyle gerçekleştirilmektedir. Ancak güneşte kurutma işleminde kontaminasyon riskinin yüksek olması, ürünün böcek, kuş vb. dış etkilere maruz kalması, kurutma süresinin oldukça uzun zaman alması ürünlerde kalite kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca ürünün nem içeriklerinin hızlı düşürülememesi mikrobiyal ve özellikle küf gelişimine bu da aflatoxin gibi yüksek toksisiteye sahip mikotoksinlerin oluşmasına neden olmaktadır. Geleneksel ısıtma proseslerin kuru incirlerde fenolik maddeler, karotenoit maddeler, organik asitler, şekerler, vitaminler ve antioksidanlar gibi gıda bileşenlerinde, aroma bileşenleri, renk, lezzet gibi duysal özelliklerde azalmalar meydana gelmektedir. Bu kayıpların önlenmesi amacıyla araştırmacılar güncel teknolojilerden yararlanarak yeni kurutma sistemleri geliştirmektedir.

Gıdalarda mikrodalga ısıtma ile üründe hacimsel ısınma olmakta ve sistemdeki vakum uygulaması ile birlikte, düşük sıcaklıkta hızlı bir şekilde kütle ve enerji aktarımı sağlayan kombine bir sistemde daha kısa sürede kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Vakum mikrodalga kurutucu sisteminde yapılan kurutma işlemi atmosferik basınç altında yapılan geleneksel kurutma işlemine alternatif bir kurutma tekniğidir (Bozkır, 2022).

Bu çalışmada güneşte kurutma ve tepsili kurutucu sistemlerine alternatif olarak vakum mikrodalga kurutucu sistemi ile kuru incir üretilmiştir. Aynı zamanda bu yeni sistem ile daha iyi kalitede kuru ürün üretimi sağlamak hedeflenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. İncir

#### 2.1.1. Besin Kompozisyonu ve Temel Bileşenler

İncir (*Ficus carica L.*), içerdiği makro ve mikro besin öğeleri açısından zengin bir profile sahip olup, özellikle yüksek karbonhidrat ve diyet lifi içeriği ile karakterize edilmektedir. İncir meyvesi, taze formunda yaklaşık %80 oranında su içerirken, kurutma işlemiyle birlikte su aktivitesinin ( $a_w$ ) düşmesi sonucunda besin öğeleri konsantre hale gelmektedir (Slatnar vd., 2011).

Meyvenin temel enerji kaynağını oluşturan karbonhidrat fraksiyonu, ağırlıklı olarak glikoz ve fruktoz gibi indirgen şekerlerden oluşmaktadır. Kuru incirde toplam şeker oranı %50-70 seviyelerine ulaşabilmektedir. Bu yüksek şeker içeriği, meyvenin higroskopik yapısını ve dokusal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Protein ve yağ içeriği meyve etinde düşük seviyelerde seyrederken, incir çekirdekleri esansiyel yağ asitleri bakımından zengin bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Arvaniti vd., 2019). İncir meyvesinin bileşimi sadece fenolik bileşiklerle sınırlı değildir. Sarılop incirinin fiziksel ve kimyasal kompozisyonu da araştırmalarda detaylı olarak ele alınmıştır. Yazıcı'nın çalışmasında, Sarı Lop incir çekirdeğinin iç ağırlığı 42.44 g, çekirdek sayısı 957 adet, bin tane ağırlığı 3.91 g, kurumadde oranı %91.62 ve çekirdek nem içeriği %11.81 olarak belirlenmiştir (Yazıcı, 2016). Ayrıca, Sarı Lop incir çekirdeğinin yağ içeriği %20.55 olarak rapor edilmiştir. Bu değerler, Sarılop incirinin hem enerji hem de yağ asidi kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Mineral profili incelendiğinde; incirin potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve demir (Fe) açısından en zengin meyvelerden biri olduğu görülmektedir. Özellikle potasyum içeriğinin yüksekliği, sodyum/potasyum dengesinin korunması açısından beslenme fizyolojisinde önem arz etmektedir (Vinson vd., 2005).

#### 2.1.2. Biyoaktif Bileşenler

İncir meyvesinin bileşimi, onu diğer meyvelerden ayıran önemli özellikler taşır. Sarılop inciri, özellikle fenolik bileşikler açısından zengin bir meyvedir. Fenolik bileşikler, bitkilerde doğal olarak bulunan ve antioksidan, antikanserojen, antimutajenik gibi biyolojik aktivitelere sahip

olan kimyasal maddelerdir. Bu bileşikler, insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler göstermekte ve gıdaların fonksiyonel özelliklerini artırmaktadır. Sarılop inciri üzerine yapılan araştırmalarda, bu çeşidin hem taze hem de kuru formlarında önemli miktarda fenolik bileşik bulunduğu gösterilmiştir. Örneğin, Hışıl ve Nakilcioğlu tarafından yapılan bir çalışmada, Sarılop incirinin taze ve kurutulmuş örneklerinde klorojenik asit, gallik asit, (-)-epikateşin, rutin, psoralen ve şiringik asit gibi fenolik bileşiklerin tespit edildiği ve incir meyvesinde fenolik bileşikler arasında (-)-epikateşinin majör komponentlerden biri olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, yaş incirlerin fenolik içeriklerinin kuru incirlere göre daha yüksek olduğu da vurgulanmıştır (Hışıl ve Nakilcioğlu, 2013).

Fenolik bileşiklerin meyve kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, incir gibi meyvelerin fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmesinde temel bir kriterdir. Fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri, serbest radikallerin neden olduğu hücresel hasarı önleyerek, kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve diğer dejeneratif hastalıkların riskini azaltmada önemli rol oynar. Hışıl ve Nakilcioğlu'nun çalışmasında, Sarılop incirinin DPPH ve FRAP yöntemleriyle radikal süpürücü aktivitelerinin analiz edildiği ve taze incirlerin antioksidan aktivitelerinin kuru incirlere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Hışıl ve Nakilcioğlu, 2013).

İncir, sekonder metabolitler açısından oldukça zengin bir matrise sahiptir. Meyvenin antioksidan kapasitesini belirleyen temel bileşenler fenolik asitler ve flavonoidlerdir. Yapılan çalışmalar, incirde baskın olan fenolik bileşenlerin rutin, kateşin, epikateşin, gallik asit ve klorojenik asit olduğunu göstermektedir (Veberic vd., 2008).

Meyve kabuk rengi ile fitokimyasal içerik arasında güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. 'Siyah İncir' veya 'Bursa Siyahı' gibi koyu renkli varyeteler, içerdikleri yüksek antosiyanin (özellikle siyanidin-3-O-rutinosit) konsantrasyonu nedeniyle, 'Sarılop' gibi açık renkli varyetelere kıyasla daha yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite sergilemektedir (Solomon vd., 2006). Ayrıca, incir lateksinde bulunan proteolitik enzimler (fisin vb.), protein hidrolizi yetenekleri nedeniyle gıda teknolojisinde ve terapötik uygulamalarda potansiyel kullanım alanına sahiptir.

### 2.1.3. Sağlık Üzerine Etkileri

Epidemiyolojik çalışmalar ve in-vitro deneyler, düzenli incir tüketiminin çeşitli kronik hastalıkların riskini azaltabileceğini ve metabolik sağlığı destekleyebileceğini ortaya koymaktadır.

**Antioksidan ve Anti-inflamatuvar Etki:** İncirde bulunan polifenollerin, serbest radikalleri süpürücü etkinlik göstererek oksidatif stresi azalttığı ortaya konmuştur. Bu mekanizma, hücrel hasarın önlenmesinde ve inflamasyonla ilişkili hastalıkların patogenezinin baskılanmasında rol oynamaktadır (Vinson vd., 2005).

**Sindirim Sistemi Sağlığı:** İncir, hem çözünebilir (pektin) hem de çözünmez (selüloz, hemiselüloz) diyet lifi açısından zengindir. Bu lif kompozisyonu, bağırsak peristaltik hareketlerini artırarak laksatif etki göstermekte, kabızlık tedavisinde fonksiyonel bir gıda olarak kullanılmaktadır (Oh vd., 2011). Kuru incir, yüksek oranda diyet lifi, fenolik madde ve mineral içeriği ile sağlıklı bir besin olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, kuru meyveler ve kuruyemişlerin birlikte tüketiminin flavonoidlerin biyoyararlılığı üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir in vitro çalışmada, incir-badem ve incir-fındık karışımlarının birlikte tüketilmesinin, ayrı ayrı tüketilmesine göre toplam flavonoid madde emilimini sırasıyla %9 ve %92 oranında artırdığı tespit edilmiştir (Özçelik vd., 2014). Bu bulgular, kuru incirin fonksiyonel gıda olarak önemini ortaya koymaktadır.

**Kardiyovasküler Koruma:** Yüksek potasyum ve lif içeriği, kan basıncının regülasyonuna katkı sağlamaktadır. Ayrıca, incir yapraklarından elde edilen ekstraktların trigliserit seviyelerini düşürücü ve anti-diyabetik potansiyele sahip olduğu, ancak meyve kısmının yüksek glisemik yükü nedeniyle diyabetik bireylerde kontrollü tüketilmesi gerektiği literatürde belirtilmektedir (Mawa vd., 2013).

## 2.2. Kurutma konusunda yapılan çalışmalar

### 2.2.1. Güneşte Kurutma

Güneşte incir kurutma, hem geleneksel hem de modern gıda muhafaza teknikleri arasında önemli bir yere sahiptir. İncir (*Ficus carica* L.), insanlık tarihinde ilk kültüre alınan

meyvelerden biri olarak bilinmekte ve günümüzde de dünya genelinde yaygın olarak tüketilmektedir. Ancak, hasat sonrası kayıpların azaltılması ve ürün kalitesinin korunması için uygun kurutma yöntemlerinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, güneşte kurutma ve güneş enerjili kurutma sistemleri üzerine yapılan literatür taraması, incir başta olmak üzere birçok tarımsal ürünün kurutulmasında karşılaşılan avantajlar, dezavantajlar ve teknolojik gelişmelerin anlaşılması açısından önemlidir.

Güneşte incir kurutma, tarihsel olarak en eski ve yaygın gıda koruma yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yapılan derleme çalışmasında, incirin kurutulmasında üç ana sistemin öne çıktığı belirtilmektedir: doğal güneşte kurutma, yapay kurutma ve güneş destekli kurutma. Bu çalışmada, doğal güneşte kurutmanın düşük maliyetli ve enerji gereksinimi olmayan bir yöntem olduğu, ancak kurutma süresinin uzun olması, dış etkenlere (toz, böcek, yağmur vb.) karşı korumasızlık ve ürün kalitesinde düşüş gibi dezavantajlara sahip olduğu vurgulanmaktadır. Buna karşılık, güneş destekli kurutma sistemlerinin daha kısa sürede ve daha kontrollü koşullarda kurutma sağladığı, böylece ürün kalitesinin ve besin değerlerinin daha iyi korunduğu ifade edilmektedir. Ayrıca, kurutma sıcaklığı ve süresinin, incir kurutma başarısında belirleyici parametreler olduğu belirtilmektedir (Desa vd., 2019).

Geleneksel güneşte kurutma yönteminin avantajları arasında düşük maliyet ve enerji ihtiyacının olmaması öne çıkarken, dezavantajları arasında ise ürünün doğrudan güneş ışığına maruz kalması sonucu renk ve besin değerlerinde azalma, uzun kurutma süresi ve dış ortamdan gelebilecek kirleticilere karşı korumasızlık yer almaktadır. Bu sorunlar, yalnızca incir için değil, elma, kivi, muz gibi diğer meyveler için de geçerlidir. Elma dilimlerinin farklı güneş kurutma yöntemleriyle kurutulmasına yönelik çalışmada, doğrudan güneşte kurutmanın ürünün renginde ve besin değerlerinde azalmaya yol açtığı, kurutma süresinin uzun olduğu ve dış ortamdan gelen istenmeyen maddelerle ürünün kirlenebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle, güneş enerjili kurutucuların geliştirilmesiyle daha ekonomik, ekolojik ve kontrollü bir kurutma ortamı sağlanabileceği vurgulanmaktadır (Gökayaz ve Yıldız, 2019).

Kurutma, meyve ve sebze endüstrisinde yaygın olarak başvurulanan temel işleme proseslerinden biridir. Gıdanın yapısındaki nem içeriğinin düşürülmesi esasına dayanan bu yöntem, bilinen en eski gıda muhafaza uygulamaları arasında yer almaktadır. Kurutma işlemiyle gıdanın su aktivitesi düştüğü için mikrobiyal faaliyetler minimum düzeye iner (Alves-Filho ve Strommen,

1996). Bu işlemin getirdiği pratik faydalar da önemlidir. Nem kaybı sayesinde ürünün ağırlığı azaldığından, nakliye süreçleri kolaylaşmakta ve depolama maliyetleri düşmektedir (Ratti, 2001). Temelde, kurutma yöntemleri iki ana grupta incelenir: Güneş enerjisinden yararlanılan doğal kurutma ve ekipman kullanılan yapay (suni) kurutma (Cemeroğlu, 2011). Doğal kurutma, güneş ısısıyla ürünün suyunun buharlaştırılmasıdır. Ancak her gıda bu yöntemeye uygun değildir. Doğal kurutmanın en belirgin zorlukları; geniş alan gerektirmesi, sürecin uzun sürmesi ve ürünlerin dış ortamda toz, kuş, böcek gibi istenmeyen etkenlere maruz kalmasıdır. Yapay kurutma yöntemleri ise kontrollü şartlarda ve kapalı sistemlerde uygulanmaktadır; bu sayede güneşte kurutmanın getirdiği olumsuzluklar engellenmiş olur (Dadalı, 2007; Soysal, 2004). Bununla birlikte, her işleme yönteminde olduğu gibi kurutma da ürün kalitesini olumsuz etkileyebilecek bazı reaksiyonları hızlandırabilmektedir. Kurutma prosesinde tercih edilen yöntem (metot) ve uygulanan parametreler (koşullar), nihai ürünün kimyasal bileşimi ile duyu nitelikleri (tat, koku, doku) üzerinde doğrudan belirleyici bir etkiye sahiptir. Cemeroğlu'na (2011) göre, gıdanın besin değerlerini, aromatik profilini ve lezzet unsurlarını maksimum düzeyde muhafaza edecek bir üretim hedefi doğrultusunda, kurutma süreçlerinin titizlikle kontrol edilmesi ve optimize edilmesi kritik bir zorunluluktur (Cemeroğlu, 2011, Wojdylo vd., 2014). Fakat yapay kurutucularda verimin düşük olması, prosesin uzun sürmesi en önemli dezavantajlarını oluşturmaktadır.

Güneşte kurutma sonucu ortaya çıkan temel dezavantajlar mikrobiyal kontaminasyon ve mikotoksin varlığı olarak ön plana çıkmaktadır. Mikotoksinler gıda ürünlerinin üretim sürecinin her aşamasında ortaya çıkabilmektedir. İncir meyvesi hasat ve işleme sürecinde ortam koşulları, meyvenin yüksek şeker içeriği sebebiyle küf ve mikotoksinlerin görüldüğü bir üründür (Alshannaq ve Yu 2017). Aflatoksinler, mikotoksin çeşitlerinden biri olup kuru gıdalarda bulunan en önemli bulaşanlardan biri olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple, uygun kurutma işleminin ve parametrelerinin belirlenmesi, oluşan aflatoksin miktarının azaltılmasında önem taşımaktadır. Lavkor ve Biçici (2015), farklı dönemlerde toplanan yerfıstığı tanelerinde hasat, hasat sonrası, güneş altında kurutma ve depo öncesi olmak üzere toplam 4 dönemde aflatoksin oluşumunu incelemiştir. Yapılan çalışmada, aflatoksin sonuçlarının kurutma ve depolama öncesi dönemde daha yüksek düzeyde olduğunu belirleyerek bu dönemlerin aflatoksin oluşumu için kritik dönemler olduğunu tespit etmişlerdir. Makaracı (2006) yaptığı çalışmada, kırmızıbiber örneklerinin kurutulmasının aflatoksin miktarı ve mikrobiyal gelişme üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada açık havada kurutma, fırında kurutma ve mikrodalga kurutma

işlemleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, maya ve küf sayısı açık havada kurutulan örneklerde en yüksek miktarda olduğu, mikrodalga kurutmada hiç maya ve küf gelişimi olmadığı saptanmıştır. Açık havada ve fırında kurutulan örneklerde küf gelişimi belirlenirken, aflatoksin oluşumu meydana gelmediği tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, kırmızıbiber örneklerini çift geçişli güneş kurutucusunda, kabin kurutucuda ve açık havada kurutmada kurutulmuş ve farklı kurutma işlemlerin üründeki aflatoksin içerikleri belirlenmiştir. Kuru kırmızı biberlerdeki aflatoksin B1 miktarı çift geçişli güneş kurutucusunda aflatoksin miktarının ( $<0.25 \mu\text{g/kg}$ ) kabin kurutucusu ( $<1.130 \mu\text{g/kg}$ ) ve açık havada ( $<11.980 \mu\text{g/kg}$ ) yapılan kurutma işlemlerine göre daha az olduğu belirlenmiştir (Banout vd., 2011). Bankole vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, kavun çekirdeğinin güneş altında, fırında, dumana maruz bırakarak kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda fırında ve dumana maruz bırakılan kurutma yöntemine ait örneklerde *Aspergillus* gelişiminin daha az olduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar, Fernandez vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada fıstık örneklerinin gölge açık alanda ve fırın destekli sistemde kurutulmasında elde edilmiş, fırın destekli sistemde daha az mikrobiyal gelişme meydana geldiği bildirilmiştir. Özay vd. (1995) tarafından yapılan çalışmada, güneş altında ve güneş enerjisiyle kurutma yöntemlerinin incir örneklerinin kurutulmasında mikotoksin ve küf gelişimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Güneş enerjisiyle kurutma yönteminin güneş altında kurutmaya kıyasla mikrobiyal bulaşmayı önlemede daha etkili olduğu rapor edilmiştir. Villalobos vd. (2016) farklı kurutma sistemlerinin kurutulmuş incir örneklerinin kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada diğer ön işlem uygulamaları ve güneşte kurutma işlemiyle karşılaştırıldığında ultrases ön işlemi sonrasında kurutma işleminin küf, maya ve mezofilik bakteriler üzerine daha etkili olduğu bildirilmiştir. Güneş altında kurutma veya açık alanda yapılan kurutma işlemlerinin, kurutma süresinin uzun sürmesi ve mikrobiyal gelişime uygun bir ortam oluşturarak aflatoksin miktarının artmasına sebep olabileceği vurgulanmış, yapay kurutucuların tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada vakum altında mikrodalga (2450 MHz, 1.8 kW) ve vakum altında mikrodalga ve atmosfer koşullarında mikrodalga işleminin kombine uygulandığı kurutma işlemlerinde havuç örneklerinin kurutulması araştırılmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun yüksek kurutma hızına sahip olduğu ve mikrobiyal yükü (maya ve küf) azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir (Yaghmaee ve Durance, 2007).

Nakilcioğlu ve Hışıl (2013) farklı üreticilerden temin edilen on çeşit taze ve güneşte kurutulan kuru incirlerin toplam fenolik madde miktarlarını, toplam flavonoid içeriklerini, antioksidan

aktivitelerini ve HPLC ile fenolik bileşikler tespit etmişlerdir. Güneşte kurutulan incirlerin toplam fenolik madde, fenolik bileşenleri ve antioksidan aktivite değerlerinin taze incirlere kıyasla azalmaların önemli olduğu belirtilmektedir. Yapılan başka bir çalışmada güneşte kurutma prosesinde incirin (*Ficus carica* L.) toplam karotenoit, karotenoit bileşenleri ( $\beta$ -karoten, zeaksantin, lutein  $\beta$ -kriptoksantin) ve renk değerlerinin değişimleri araştırılmıştır. Güneşte kurutulan incir örneklerinin yaş incirlere kıyasla toplam karotenoit, karotenoit bileşenleri ( $\beta$ -karoten, zeaksantin, lutein  $\beta$ -kriptoksantin) ve  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve hue açısı renk değerleri arasında anlamlı bir fark olduğu bildirilmiştir (Yemiş vd., 2012). Başka bir çalışmada, güneşte kurutma ile kurutulan incirlerin toplam fenolik bileşik miktarında, fenolik bileşenlerinde, antosiyanin ve antioksidan aktivite değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir (Kamiloğlu ve Çapanoğlu, 2015). Bey vd. (2016) yaptığı çalışmada güneşte kurutulan incirin fiziko-kimyasal özellikleri incelemişlerdir. Güneşte kurutulan incirlerin yaş örneğe kıyasla toplam fenolik madde, fenolik bileşenler (22 bileşen), şeker ve antioksidan aktivitesi değerlerinde anlamlı azalmalar bulunmuştur.

### 2.2.2. Tepsili kurutma

Tepsili kurutma yönteminin gıda ürünlerinde uygulanması, özellikle meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak, besin değerlerini korumak ve ekonomik olarak değerli ürünler elde etmek amacıyla tercih edilmektedir. Kurutma işlemi sırasında ürünlerin nem içeriği, kuruma hızı ve enerji tüketimi gibi parametreler önemli rol oynamaktadır.

Gürlek ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, elma dilimlerinin kalite nitelikleri ile enerji kullanım etkinliği üzerinde farklı kurutma sistemlerinin etkisi incelenmiş; bu kapsamda tepsili kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga tabanlı kurutma ve ısı pompalı kurutma yöntemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, tepsili kurutucuda kuruma süresi 50 dakika olarak belirlenmiş ve ürünün fiziksel (nem içeriği, renk, su aktivitesi, rehidrasyon, yığın yoğunluğu), kimyasal (toplam fenolik madde, toplam şeker, invert şeker, pektin miktarı) ve duyu analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, mikrodalga ve dondurarak kurutma yöntemlerinin ürün kalitesini daha iyi koruduğunu, ancak en düşük enerji tüketimi ve en yüksek özgül nem alma hızı (SMER) ile kuruma hızının (MER) ısı pompalı kurutucuda elde edildiğini göstermiştir. Tepsili kurutucu ise enerji ve kalite açısından orta seviyede performans sergilemiştir (Gürlek vd., 2015).

Tepsili kurutma yönteminin enerji verimliliği ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri, farklı ürünler ve kurutma koşulları için de incelenmiştir. Özgen'in kızılcık meyvesi üzerinde yaptığı deneysel çalışmada, konvektif tip bir kurutucu kullanılarak 35 °C sıcaklıkta ve farklı hava hızlarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma süresi, hava hızına bağlı olarak değişmiştir. 1.5 m/s hava hızı uygulandığında kuruma süresinin en uzun değerine ulaşıldığı ve bu sürenin 64 saat olduğu saptanmıştır. Enerji gerekliliği ise hava hızına göre önemli ölçüde değişmiş, daha yüksek hava hızında enerji tüketimi artmıştır. Ayrıca, ürünün parlaklık ve renk kalitesi açısından tepsili kurutucuda kurutmanın olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir (Özgen vd., 2021).

Xanthopoulos vd. (2010) kabuğu soyulmuş ve kabuğu soyulmamış incirleri sıcak hava kurutucuda farklı sıcaklık ve hava hızı değerlerinde (45, 55 ve 65 °C ve 1-5 m/s) kurutarak kurutma kinetiği analiz edilmiş ve yedi matematiksel model kullanılarak karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde sıcak havada kurutulan bütün ve ikiye bölünmüş incirlerin farklı sıcaklık ve hava hızı değerlerinde (45, 55 ve 65 °C ve 1-5 m/s) kurutma kinetiği analiz edilmiş ve yedi matematiksel model kullanılarak karşılaştırılmıştır (Xanthopoulos vd., 2007; 2010). Martínez-García vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada ikiye bölünmüş incirler sıcak hava kurutma sıcaklıklarındaki (45, 55, 65 °C ve 1.4 m/s) artışla kuru incirlerin toplam fenolik madde içeriğinde, antosiyanin ve antioksidan aktivite değerlerinde önemli fark bulunmuştur. Geleneksel ısıl prosesle (sıcak hava) kurutulan incirlerin uçucu bileşenlerinde (60 bileşen) (benzaldehit, aldehit, etil asetat, 2-butanon, 3-hidroksi, ve linalool) azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir (Mujic vd., 2014). Yapılan başka bir çalışmada da sıcak hava ile kurutulan incirlerin taze incirlere kıyasla C vitamini, toplam asitlik ve L\*, a\*, b\* ve hue açısı renk değerlerinde azalmaların olduğu, ayrıca, C vitamini, toplam asitlik ve renk değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (Piga vd., 2004). Slatnar vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada incirleri güneşte kurutmada 7 gün ve tepsili kurutucuda (60 °C) ise 24 saat sürede kurutmuşlardır. Güneşte kurutma ve tepsili kurutmada hammaddeye kıyasla toplam fenolik madde, fenolik bileşikler (epikateşin, gallik asit, kateşin, kaemferol-3-O glikozid, klorogenik asit, rutin ve siyanidin-3), şeker bileşikler (fruktoz, glikoz ve sakkaroz), organik asit bileşikler (malik asit ve sitrik asit) ve antioksidan aktivitesi A, C, E vitaminleri ve renk değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca, iki kurutma yöntemi arasında istatistiksel olarak kayda değer bir fark bulunmuştur. Tan (2017) bir başka çalışmada ise incirin kabin tipi kurutucuda kurutarak sıcaklığın (50 ve 60 °C) ve hava hızının (1.0 m/s) kalite bileşenlerinin

etkisini araştırmıştır. Kurutma işleminin, özellikle 50 °C’de kurutulan incirlerin toplam fenolik içeriği ve antioksidan aktivitesini koruduğu ve sıcaklık artışının kalite özellikleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada kuru incir üretiminde güneşte kurutma ve sıcak hava kurutucu sistemlerini kullanmışlardır. Sıcak hava kurutucunun güneş altında kurutmaya kıyasla kurutma süresini azalttığı belirlenmiştir. Sıcak hava kurutucunun güneşte kurutmaya kıyasla suda çözünür kurumadde, büzüşme ve L\* ve toplam renk değişim değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı olduğu, ancak rehidrasyon kapasiteleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (Manolopoulou vd., 2017). Geleneksel ısıl proseslerin (güneşte kurutma ve sıcak hava kurutma) kuru incirlerde fenolik maddeler, karotenoit maddeler, organik asitler, şekerler, vitaminler ve antioksidanlar gibi gıda bileşenlerinde, aroma bileşenleri, renk, lezzet gibi duysal özelliklerinde azalmalar meydana getirmektedir. Bu kayıpların önlenmesi amacıyla araştırmacılar güncel teknolojilerden yararlanarak yeni kurutma sistemleri geliştirmektedir. Mikrodalga kurutma, vakum mikrodalga kurutma sistemleri bu yeni teknolojiler arasında yer almaktadır.

### **2.2.3. Vakum mikrodalga kurutma**

Mikrodalga enerjisi, frekans aralığı 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen ve iyonizasyon oluşturma kapasitesine sahip olmayan (non-ionizing) bir elektromanyetik ışınlam türü olarak tanımlanmaktadır (Schiffman, 1986). Mikrodalga fırınlar güncel endüstriyel ve evsel uygulamalarda yaygın bir kullanım alanına sahip olup, bu cihazlar genel itibarıyla 915 MHz ve 2450 MHz olmak üzere iki temel frekans bandında operasyon göstermektedir. Bir maddenin mikrodalga uygulaması ile ısıtılmasının ardındaki temel fiziksel prensip, o maddenin yüzeyine çarpan mikrodalgaları absorbe etme (soğurma) kabiliyetine dayanmaktadır. Madde tarafından soğurulan bu elektromanyetik enerji, malzemenin yapısında bulunan polar moleküller (su gibi) üzerinde doğrudan bir etki yaratmaktadır. Bu enerji, söz konusu moleküllerin çok hızlı bir şekilde titreşmesine ve birbirine sürtünmesine yol açmaktadır. Moleküler düzeyde meydana gelen bu yoğun sürtünme hareketi ise doğrudan ısı enerjisine dönüşmekte ve böylece maddenin genel sıcaklığı hızla artmaktadır. Mikrodalga ısıtma tekniğinin gıda maddesinde neden olduğu hacimsel ısıtma, ısıtma süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Vakum sistemiyle düşük sıcaklıkta hızlı şekilde kütle ve enerji aktarımı sağlanabilmektedir. Mikrodalga ısıtma ile vakum uygulamasının kombine kullanıldığı bir sistemde kurutma işleminin süresinin kısaltılması mümkündür. Vakum mikrodalga kurutucu sisteminde yapılan kurutma işlemi atmosferik basınç

altında yapılan geleneksel kurutma işlemine alternatif bir kurutma tekniğidir. Vakum mikrodalga kurutucu sisteminde belirlenecek olan optimum güç, vakum (sıcaklık) ile ürünün hızlı bir şekilde kurutulmasına bağlı olarak ürün kalitesi (renk, tekstür, besin değeri, aroma) arttırılmıştır (Zhang vd., 2007; Song vd., 2009; Dak vd., 2014; Zielinska vd., 2017).

Vakum mikrodalga kurutmanın temel prensipleri, mikrodalga enerjisinin materyal içerisindeki su moleküllerini doğrudan ısıtarak buharlaştırması ve vakumun düşük basınç ortamı sağlayarak buharın hızla uzaklaştırılmasına dayanır. Bu süreçte, mikrodalga enerjisiyle elde edilen hacimsel ısıtma, materyalin iç kısmından dışına doğru bir ısı transferi sağlar ve bu da geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla daha kısa sürede ve daha homojen bir kuruma elde edilmesine olanak tanır (Söğüt vd., 2011).

VMK'nın gıda kurutmadaki avantajları, ürün kalitesinin korunması, renk ve besin değerlerinin daha iyi muhafaza edilmesi ve kuruma süresinin önemli ölçüde kısaltmasıdır. Marelja vd. (Marelja vd., 2020), vakum kurutmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi sayesinde besin öğelerinin, renk ve aromanın daha iyi korunduğunu, ürünün daha yüksek kalitede elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, geleneksel kurutma yöntemlerinde karşılaşılan renk kaybı, aroma kaybı ve doku bozulması gibi dezavantajların VMK ile önemli ölçüde azaltıldığı ifade edilmiştir.

VMK'nın bitkisel ekstraktlar ve fonksiyonel gıdalarda kullanımı da dikkat çekicidir. Li vd. (2017), Scutellaria ekstraktının VMK ve vakum kurutma ile kurutulmasını karşılaştırmış ve VMK'nın kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığını, çözünürlüğü ve antioksidan kapasiteyi artırdığını, higroskopisiteyi azalttığını ve akışkanlığı iyileştirdiğini belirtmiştir (Li vd., 2017). Benzer şekilde, Li vd. (2017), meyan kökü ekstraktının VMK ve vakum kurutma ile kurutulmasında, VMK'nın GA ve flavonoid içeriğini, antioksidan kapasiteyi daha iyi koruduğunu ve higroskopisiteyi azalttığını göstermiştir (Li vd., 2017).

Tıbbi bitkilerde VMK'nın kalite üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Shang ve arkadaşları, Moutan Cortex'in döner tekerlekli mikrodalga vakum kurutma ile kurutulmasının, doğal kurutmaya göre daha yüksek toplam fenol, flavonoid ve antioksidan kapasite sağladığını belirtmiştir. Ayrıca, optimum kurutma koşullarında (45 °C, -65 kPa, 35 Hz) iç yapı korunmuş ve etkin bileşenler maksimum seviyede tutulmuştur (Shang vd., 2024). Benzer şekilde, Zang

ve arkadaşları Angelica sinensis'in döner tepsili VMK ile kurutulmasında, ferulik asit, toplam fenol ve antioksidan aktivitenin yüksek oranda korunduğunu, renk ve doku bütünlüğünün ise optimum düzeyde olduğunu göstermiştir (Zang vd., 2023).

Patates, havuç ve diğer sebzelerde VMK'nın fiziksel ve kimyasal özelliklere etkisi de literatürde detaylı olarak incelenmiştir. Bondaruk ve arkadaşları, patates küplerinin VMK ile kurutulmasında, renk kaybının önlendiğini, nişasta ve şeker kayıplarının minimumda tutulduğunu ve mikro yapısal bozulmaların sıcak hava kurutmaya göre daha az olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, VMK ile en kısa kuruma süresi ve en iyi genel kalite elde edilmiştir (Bondaruk vd., 2007). Béttega ve arkadaşları ise, havuç kurutmasında vakum uygulamasının, mikrodalga ile birlikte kullanıldığında ürünün fiziksel özelliklerini olumlu etkilediğini, özellikle hacimsel büzülmenin azaldığını göstermiştir (Béttega vd., 2014).

VMK'nın kombine kurutma teknikleriyle birlikte kullanımı da literatürde geniş yer bulmuştur. Zhou ve arkadaşları, kıvılcık meyvesinin VMK ile kurutulmasında, sıcak hava konvektif kurutmaya göre kuruma süresinin %54 azaldığını, polifenol, flavonoid ve antosiyanin içeriğinin ise daha yüksek olduğunu rapor etmiştir (Zhou vd., 2021). Karaaslan, mikrodalga destekli vakum, sıcak hava, dondurarak ve ozmotik kurutma sistemlerinin, özellikle meyve ve sebzelerde kuruma süresini kısalttığını ve ürün kalitesini artırdığını belirtmiştir (Karaaslan, 2012).

Hiregoudar vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada incirler (*Ficus carica* Linn.) güneşte, güneş enerjili tünel tip kurutucuda, tepsili kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda kurutulmuşlardır. Mikrodalga kurutucu ile kurutmanın (16 saat) geleneksel kurutmaya göre (66 saat) daha kısa sürede tamamlandığı belirlenmiştir. Ayrıca, kalite göstergesi olarak değerlendirilen toplam çözünür kurumaddenin güneşte kurutulan örneklerde şeker sızmasının olmamasına bağlı olarak daha yüksek bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, mikrodalga ile kurutulan incirlerde toplam asitlik değerinin güneşte kurutulanlara göre daha düşük bulunduğu bildirilmiştir. Mikrodalgada kurutulan incirlerin duyuşal olarak daha çok tercih edildiği rapor edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, Sharifian vd. (2013) incirleri mikrodalgada farklı güç seviyelerinde kurutarak renk değerlerindeki ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma ve hue açısı) değişimleri araştırmışlardır. Mikrodalga güç seviyelerindeki artış ile kuruma

süresinin azaldığı ve enzimatik olmayan esmerleşmenin artmasına bağlı olarak daha koyu ve kırmızı renkte ürün üretilmesine neden olduğu tespit edilmiştir.

Clary vd. (2007) yaptıkları çalışmada sıcaklık kontrolü kullanarak vakum mikrodalga kurutmada mikrodalga gücü seviyesini kontrol edebilmiş ve işlemin performansını arttırarak, kurutulan üzümlerin kalitesinin iyileştirilmesini sağlamışlardır. Vakum mikrodalga ile kurutulmuş üzümlerin kalite özellikleri güneşte kurutulmuş kuru üzümlerle karşılaştırılmış, vakum mikrodalga ile kurutulmuş üzümlerde A vitamini bulunurken, güneşte kurutulmuş olanlarda tespit edilememiştir. Vakum mikrodalga kurutucuya ait örneklerin C vitamini, tiamin ve riboflavin miktarları güneş altında kurutulmuş üzümlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Therdthai ve Zhou (2009) çalışmalarında nane yapraklarını vakum mikrodalga kurutucu ve sıcak hava kurutucu ile kurutmuşlardır. Vakum mikrodalga ile kurutulan nane yapraklarının oldukça gözenekli bir yapıya sahip olduğu, renginin açık yeşil ve rehidrasyon kapasitesinin sıcak hava ile kurutulmuş nane yapraklarından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Nahimana ve Zhang (2011), havuç dilimlerini vakum mikrodalga ve sıcak hava kurutucuları ile kurutmuşlardır. Vakum mikrodalga ile kurutulan örneklerin renk değerleri, rehidrasyon kapasitesi ve karotenoit içeriğini sıcak hava kullanılarak kurutulan havuçlara karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ve L\*, a\* ve b\* renk değerleri, rehidrasyon kapasitesi ve karotenoit değerleri açısından iki yöntem arasındaki fark önemli bulunmuştur. Yapılan diğer bir çalışmada ise yeşil soya fasulyeleri dondurarak kurutucu (-40 °C), mikrodalga kurutucu, sıcak hava kurutucu (1.5 m/s, 70 °C) ve vakum mikrodalga kurutucu (-95 kPa, 2.8 kW) sistemlerinde kurutulmuştur. Vakum mikrodalga kurutucu ile kurutulan yeşil soya fasulyelerinin C vitamini, klorofil içeriği, rehidrasyon kapasitesi ve renk değerlerinin dondurarak kurutucuya kıyasla düşük olduğu ancak sıcak hava kurutucuya kıyasla daha iyi olduğu belirtilmektedir.

Wojdyło vd., (2014) kuru vişne üretiminde vakum mikrodalga kurutucu (50 °C, 60 °C ve 70 °C, 120-480 W), sıcak hava kurutucu (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ve dondurarak kurutucu sistemlerini kullanmışlardır. Kurutma proseslerindeki sıcaklık değerlerindeki artışa paralel olarak ürünlerdeki fenolik bileşikleri, antioksidan aktivite, renk değerleri ve antosiyanin içeriğinin azaldığı saptanmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun dondurarak kurutucu ve sıcak hava kurutucuya kıyasla fenolik bileşikleri, antioksidan aktivite, renk değerleri ve antosiyanin içeriğini daha iyi koruduğu, ayrıca, fenolik bileşikler, antioksidan aktivite, antosiyanin ve renk

değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. Monteiro vd., (2015) ev tipi mikrodalgaya vakum bağlayarak muz, havuç ve domates dilimlerini kurutmuşlardır. Vakum mikrodalga kurutucunun dondurarak kurucuya kıyasla kurutma süresini azalttığı ve kurutulan ürünlerin kalite özelliklerini daha iyi olduğu belirtilmektedir. Zielinska vd., (2017) tarafından yapılan bir çalışmada kızılıcıkların kurutulmasında vakum mikrodalga kurutucu ve sıcak hava kurutucu sistemleri kullanılmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun sıcak hava kurutucuya kıyasla kurutma süresini azalttığı tespit edilmiştir.

Figiel (2009), sarımsak dilimlerinin kurutulmasında vakum mikrodalga kurutucu (70 °C ve 240, 480 ve 720 W) ve tepsili kurutucu (3 m/s, 70 °C) sistemlerini kullanmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun tepsili kurutucuya kıyasla kurutma süresini 10 kat azalttığı, ayrıca renk değerlerini koruduğu ve renk değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada yaban mersinin kurutulmasında vakum mikrodalga kurutucu (30 mmHg, 1.2 kW), dondurarak kurutucu (-50 °C) ve sıcak hava kurutucu (1 m/s, 55 °C) sistemleri kullanılmıştır. Vakum mikrodalga kurutucu ve dondurarak kurutucu gruplarının antosiyanin ve antioksidan içerikleri arasında kayda değer fark olmadığı ancak bu iki teknik ile sıcak hava kurutucu arasındaki fark önemli bulunmuştur (Leusink vd., 2010). Letonya ayı üzümeleri vakum mikrodalga kurutucu (70-56 mmHg, 640 W) ve kabin tipi sıcak hava kurutucu (1.2 m/s, 50 °C) sistemlerinde kurutulmuştur. Vakum mikrodalga kurutucu ile kurutulan örneklerin C vitamini içeriğinin geleneksel kurutucuya kıyasla daha iyi korunduğu ve iki yöntem arasındaki farkın anlamlı olduğu bulunmuştur (Dorofjeva vd., 2011).

Nawirska vd., (2009) 12 farklı bal kabağı dilimlerinin kurutulmasında sıcak hava kurutucu (1 m/s, 60 °C), vakum mikrodalga kurutucu (4-6 kPa, 480 W) ve dondurarak kurutucu (-60 °C, 65 Pa) sistemlerini kullanmışlardır. Vakum mikrodalga kurutucunun dondurarak kurutucu ve sıcak hava kurutucuya kıyasla kurutma hızının yüksek olduğu saptanmıştır. Vakum mikrodalga kurutucuya ait örneklerin L\*, a\* ve b\* renk değerlerinin dondurarak ve sıcak hava kurutucuya kıyasla daha iyi korunduğu belirtilmektedir. Ayrıca vakum mikrodalga kurutucu ve dondurarak kurutucu sistemlerinin toplam karotenoid içeriği bakımından önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Calín-Sánchez vd., (2011) vakum mikrodalga kurutucunun farklı vakum (72-74, 78-80, 84-86, 94-96 ve 96-98 kPa) ve güç (240, 360 ve 480 W) seviyelerinin biberiye aroma bileşikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 31 aroma bileşenlerinin tespit edildiği ve düşük vakum ve güç seviyelerinde (72-74 kPa ve 360 W) aroma bileşenlerinin korunduğu belirtilmektedir. Bai-

Ngew vd., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada durian cipsinin kurutulmasında vakum mikrodalga kurutucu kullanılmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun sabit vakum düzeyinde (13.33 kPa) güç yoğunluklarındaki ( $3.88 \text{ Wg}^{-1}$ ,  $5.49 \text{ Wg}^{-1}$  ve  $7.23 \text{ Wg}^{-1}$ ) artışın kurutma hızını artırdığı ancak  $L^*$  ve  $b^*$  renk değerleri arasındaki farkın önemsiz olduğu bildirilmiştir

Literatürde vakum mikrodalga kurutucu ve tepsili kurutucu için seçilen bağımsız değişkenler ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

İncir gibi yüksek nem içeriğine sahip meyvelerin kurutulmasında, kurutma süresi ve enerji gerekliliği önemli parametrelerdir. İncir köpüğünün sıcak hava ve mikrodalga ile kurutulmasının incelendiği çalışmada, kurutma süresinin sıcaklık ve mikrodalga gücü arttıkça kısaldığı, köpük kalınlığının ise kurutma süresini uzattığı belirtilmiştir. Ayrıca, kurutma sürecinin tamamının düşen hız döneminde gerçekleştiği ve sabit hız döneminin gözlenmediği ifade edilmiştir. Kurutma verilerinin matematiksel modellere uyumu incelendiğinde, Wang ve Singh ile Logaritmik modellerin en iyi uyumu gösterdiği tespit edilmiştir (Koç vd., 2019).

Kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi, ürünün nem kaybı ve kuruma hızının öngörülmesi açısından önemlidir. Kurutma verilerinin modellenmesinde çeşitli matematiksel modeller kullanılmaktadır. Örneğin, papatya kurutma üzerine yapılan bir çalışmada, dokuz farklı matematiksel model test edilmiş ve Midilli modeli, kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olarak belirlenmiştir (Amer vd., 2018). Benzer şekilde, elma dilimleri üzerinde yapılan bir çalışmada, on farklı model uygulanmış ve Midilli vd. modeli en iyi uyumu göstermiştir (Kidane vd., 2025).

Güneşte kurutma işleminin verimliliği, ürünün şekli, dilim kalınlığı, ortam sıcaklığı, bağıl nem ve hava akımı gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Patates kurutma üzerine yapılan bir çalışmada, ürünün şekli ve boyutunun kurutma kinetiği üzerinde önemli etkileri olduğu, iç difüzyon katsayısının ürünün karakteristik boyutuna bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir (Nasri ve Belhamri, 2018).

Zhang vd. (Zhang vd., 2023), Camellia oleifera tohumlarının VMK ile kurutulmasında mikrodalga gücü, vakum basıncı ve yükleme miktarının kuruma süresi ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yazarlar, Weibull dağılım modeline dayalı yeni bir kurutma

modeli geliştirmiş ve optimum kurutma koşullarını belirlemiştir. Sonuçlar, mikrodalga gúcü ve vakum basıncı arttıķça, y¼kleme miktarı azaldıkça kuruma süresi ve enerji tüketiminin azaldıķını göstermiştir (Zhang vd., 2023). Aynı ęalıřmanın farklı bir yayında da benzer bulgular sunulmuş, optimum koşulların 150 g y¼kleme, 350 W mikrodalga gúcü ve 0.09 MPa vakum basıncı olduķu belirtilmiştir (Zhang vd., 2023).

Barley malt gibi endüstriyel öneme sahip ürünlerde de VMK'nın avantajları ortaya konmuştur. Carvalho vd. (2021), arpa maltının geleneksel konvektif kurutma ile VMK ve mikrodalga kurutma yöntemlerini karşılaştırmış, VMK'nın kuruma süresini yaklaşık %95 oranında azalttıķını ve ürün sıcaklıķını düşürdüķünü göstermiştir. Ayrıca, optimum mikrodalga şiddetinde kuruma hızının en yüksek olduķu ve Page modeliyle kuruma davranışının süper-difüzyon gösterdiķi belirtilmiştir (Carvalho vd., 2021).

Farmasötik granüller gibi hassas ürünlerde de VMK'nın üstünlükleri vurgulanmıştır. Berteli vd. (2009), farmasötik granüllerin VMK ile kurutulmasında vakum seviyesinin kuruma kinetiķini etkilemediķini, ancak daha düşük vakum seviyelerinde ürünün daha fazla mikrodalga enerji absorbe ettiķini belirtmiştir. Ayrıca, VMK ile elde edilen ürünlerin sıkıştırma testlerinde istenen spesifikasyonlara uygun olduķu ve kuruma süresinin diğer yöntemlere göre en kısa olduķu gösterilmiştir (Berteli vd., 2009).

VMK'nın deniz ürünlerinde ve et ürünlerinde kullanımı da literatürde yer bulmuştur. Liu vd. (2018), tilapia filetosunun osmotik ön işlem sonrası VMK ile kurutulmasında, mikrodalga zamanı, güç yoğunluķu ve vakum derecesinin ürün kalitesi üzerinde önemli etkileri olduķunu, yüksek vakum derecesinin ürün kalitesini artırdıķını belirtmiştir. Optimum parametreler olarak MGR=2, mikrodalga zamanı=10 dakika, güç yoğunluķu=20 W/g ve vakum derecesi=0.08 MPa belirlenmiştir (Liu vd., 2018). Ruan vd. (2025), tilapia filetosunun VMK ile kurutulmasında fileto kalınlıķı, mikrodalga gúcü ve vakum basıncının su aktivitesi, tekstür, rehidrasyon oranı ve beyazlık gibi kalite parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve optimum koşulları 7 mm kalınlık, 330 W mikrodalga gúcü ve 0.06 MPa vakum basıncı olarak belirlemiştir (Ruan vd., 2025).

VMK'nın gıda endüstrisindeki uygulamaları oldukça yaygındır. Ambros ve arkadaşları (2018), laktik asit bakterilerinin kurutulmasında VMK'nın geleneksel dondurarak kurutma ve vakum

kurutmaya alternatif olabileceğini göstermiştir. Çalışmada, mikrodalga gücü, ürün sıcaklığı ve vakum basıncının kuruma süresi, enerji verimliliği ve bakteri canlılığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle 3 W/g mikrodalga gücü, 35 °C maksimum sıcaklık ve 7 mbar basınçta, 64 dakikalık kısa kuruma süresiyle yüksek enerji verimliliği (%27) ve en iyi canlılık oranı (%33) elde edilmiştir. Bu bulgular, VMK'nın hassas biyolojik materyallerin kurutulmasında umut vadeden bir yöntem olduğunu göstermektedir (Ambros vd., 2018).

Literatürde, Sharma ve Prasad (2006) tarafından yürütülen bir çalışma rapor edilmiş olup, bu çalışma kapsamında laboratuvar tipi bir mikrodalga-konvektif kurutucu geliştirildiği belirtilmektedir. Çalışmanın temel amacı, geliştirilen bu kurutucuda sarımsak dilimleri için en uygun (optimum) çalışma koşullarının ne olduğunu belirlemektir. Bu amaca ulaşmak için farklı sıcaklık farklı hava hızı ve farklı mikrodalga güç seviyeleri kullanılarak deneyler yapılmaktadır. Optimizasyon deneyleri sırasında, nihai ürünün kalitesini gösteren renk, C vitamini içeriği ve rehidrasyon kapasitesi, temel yanıt değişkenleri (cevaplar) olarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın neticesinde, sarımsak dilimleri için ideal kurutma koşullarının 70 °C, hava hızının 1.0 m/s ve uygulanan gücün 40 W olduğu belirlenmiştir. Benzer bir yaklaşımla, *Spirulina platensis*'in tepsili kurutucudaki optimum kurutma koşullarını bulmak amacıyla 50-70 °C sıcaklık aralığında deneyler yürütülmektedir. Bu çalışmada ise yanıt değişkenleri olarak kurutma süresi, TBA düzeyi ve fitosiyanin miktarı değerlendirilmektedir. Araştırmanın sonucunda, bu ürün için optimum kurutma sıcaklığının 55 °C olduğu belirlenmektedir (Oliveira vd., 2010). Sıcak hava kurutucuda gerçekleştirilen elma dilimi kurutma prosesinin optimizasyonunu konu alan bir çalışmada, optimum kurutma parametrelerinin belirlenmesi amacıyla Yanıt-Yüzey Metodolojisi (Response Surface Methodology - RSM) uygulanmıştır. Sıcaklık (35-85 °C), çiğlenme noktası sıcaklığı (5-30 °C) ve hava hızı (2.0-4.8 m/s) bağımsız değişkenler; kuruma süresi, renk değişiklikleri ve büzüşme bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Hava hızındaki artışın renk değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunduğu, ayrıca yüksek sıcaklık değerlerinin kuruma süresini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Sturm vd., 2012). Yapılan başka bir çalışmada, Luvhele ve Mabonde muz çeşitlerinin kabin tipi kurutucuda çalışma koşullarının optimizasyonu yanıt yüzey yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yanıt yüzey yönteminde bağımsız değişkenler sıcaklık (35-85 °C) ve kurutma süresi (600-1260 dk) iken; cevap olarak ise renk ve tekstür alınmıştır. Kabin sıcaklığı ve kuruma süresinin her iki çeşit muz örneklerinin renk değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Olusegun-Omolola vd., 2018). Karpuzların kurutulması için

tepsili kurutucu (sıcak hava kurutma) kullanılmıştır. Tepsili kurutucu sisteminin bağımsız değişkenleri sıcaklık (55-75 °C) ve hava hızı (1-2 m/s) olarak seçilmiştir. Kurutulan örneklerde maksimum  $a^*$  değeri 55 °C ve 1 m/s hava hızında elde edilirken, minimum  $a^*$  değeri 65 °C kurutma sıcaklığında gözlenmiştir. Çalışmada kurutma sıcaklığının analiz edilen özellikler üzerindeki etkisinin hava hızından daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Nakilcioğlu-Taş vd., 2021).

Yapılan bir çalışmada, yeşil dolmalık biberin vakum destekli mikrodalga kurutma koşulu altında kurutulması yanıt yüzey metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Bağımsız değişken olarak mikrodalga gücü (100-300 W) ve vakum seviyesi (200-600 mmHg) seçilmiştir. Yanıtlar için tahmine dayalı regresyon modelleri geliştirmek amacıyla merkezi tümleşik yüzey dizaynı kullanılmıştır. Her mikrodalga güç seviyesinde, yani 100, 200 ve 300 W, vakum seviyesindeki artışla birlikte kurutulmuş ürünün yeşil renk oranı değerlerinin sırasıyla 92.58'den 95.55'e, 80.75'ten 83.05'e ve 49.54'ten 79.67'ye yükseldiği görülmüştür. Vakumdaki artışa bağlı olarak daha düşük sıcaklığın yeşil rengi daha iyi koruduğu bildirilmiştir. Doğrusal mikrodalga gücü ve vakum seviyesinin, yeşil renk oranını önemli ölçüde etkilediği kanıtlanmıştır. Tüm mikrodalga güç seviyelerinde vakum seviyesi ile rehidrasyon oranı artmıştır. Mikrodalga güç seviyelerinin kuruma süresi üzerinde vakum düzeylerine göre daha önemli etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Optimum kurutma koşulları 284.4 W mikrodalga gücü, 600 mmHg vakum seviyesi olarak belirlenirken, yanıtların ise yeşil renk oranı %80.70, rehidrasyon oranı 10.75, kuruma süresi 78 dakika olarak elde edilmiştir (Kumar ve Shrivastava 2017). Yeşil bezelyelerin kurutulması amacıyla vakum destekli mikrodalga kurutma sistemi kullanılmıştır. Vakum mikrodalga kurutma sisteminin bağımsız değişkenleri güç (100-300 W) ve vakum (50-400 mmHg) seçilmiştir. Vakum mikrodalga kurutmanın optimum çalışma koşulları (237.31 W ve 360.22 mmHg) yanıt yüzey yöntemi ile optimize edilmiştir (Chauhan ve Srivastava, 2009). Han vd. (2010), elma dilimlerinin kurutulması için vakum mikrodalga'nın yanıt yüzey yöntemi ile proses parametrelerini optimize etmişlerdir. Bağımsız değişkenlerin ve değişkenlerin interaksiyonları yanıt yüzey yöntemi ile analiz edilmiştir. Optimum çalışma koşulları mikrodalga gücü 12.0 W/g, vakum düzeyi 0.089 MPa olarak tespit edilmiştir. Giri ve Prasad (2007), kültür mantarların kurutulmasında vakum mikrodalga kurutucunun çalışma koşullarını yanıt yüzey yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir. Yanıt yüzey yönteminde bağımsız değişkenler mikrodalga gücü (115-285 W), sistem basıncı (6.5-23.5 kPa) ve dilim kalınlığı

(6-14 mm), cevap olarak kurutma verimliliği ve bazı kalite karakteristikleri (renk, tekstür, rehidrasyon kapasitesi ve duyuşal özellikler) alınmıştır.

Nar tanelerinin kurutulmasında kullanılan vakum mikrodalga kurutucunun parametreleri yanıt yüzey yöntemi ile optimize edilmiştir. Sistemdeki bağımsız değişkenler güç (25-95 W), vakum (25-195 mmHg) ve örnek ağırlığı (65-235 g), yanıt olarak kuruma verimliliği ve bazı kalite karakteristikleri (renk, tekstür, rehidrasyon kapasitesi ve duyuşal özellikler) alınmıştır (Dak vd., 2014). Yapılan bir başka çalışmada, vakum mikrodalga tekniğı ile kurutulan nar tanelerine (*Punica granatum L.* cv. Hicaznar) mikrodalga gücü ve vakum seviyesinin bazı kalite ve beslenme özellikleri üzerindeki etkisi yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmiştir. Kurutma deneyleri üç farklı mikrodalga gücü ve üç vakum seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemeler vakum seviyelerinin kurutulmuş ürün özellikleri üzerindeki etkisinin mikrodalga gücünden daha önemli olduğunu göstermiştir. Vakum mikrodalga kurutucunun optimum kurutma koşulları 150 W ve 58 mbar olarak saptanmıştır (Süfer ve Palazoğlu 2019).

Bozkır, Tekgül, ve Erten, (2021), tepsili kurutma (TD), vakum kızılötesi kurutma (VID) ve vakum mikrodalga kurutma (VMD) teknikleri kullanarak portakal kabuklarını kurutmayı ve farklı kurutma tekniklerinin kurutma kinetiğı, fiziksel, kimyasal özellikler ve uçucu bileşikler üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Vakum mikrodalga kurutmanın tepsili kurutma ve vakum kızılötesi kurutma tekniğı ile kıyaslandığında, kurutma hızını ve etkin su dağılımını arttırdığı tespit edilmiş (50 °C’de kurutma süresinin; tepsili kurutma (TD), vakum kızılötesi kurutma (VID) ve vakum mikrodalga kurutmanın (VMD) sırasıyla 300, 106 ve 20.67 dakika olduğu tespit edilmiştir), en yüksek C vitamini, toplam fenolik madde, toplam karotenoid içeriğini gösterirken, tepsili kurutucu (TD) tekniğı ile üretilen ürünlerin en düşük renk değerlerini gösterdiği görülmüştür. Uçucu bileşiklerde en az yıkıma VID tekniğinin, en çok yıkıma ise TD tekniğinin neden olduğu belirlenmiştir.

Zhou vd., (2021), çalışmalarında, mikrodalga vakum destekli kurutmanın, farklı ön işlemlere (sonikasyon, konvektif dondurma ile birleştirilmiş sonikasyon, mikrodalga-vakum ön-muamelesi, konvektif dondurma ile birleştirilmiş mikrodalga-vakum ön-muamelesi, konvektif dondurma ve kriyojenik dondurma) tabi tutulan bütün kızılıcıkların kurutma kinetiğı, biyoaktif bileşikler ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkilerine odaklanmışlardır. Mikrodalga vakum destekli kurutmanın, konvektif kurutma ile karşılaştırıldığında, kuruma süresini %54 oranında

kısalttığı tespit edilmiştir. Mikrodalga vakum destekli kurutma ile kurutulan meyveler, sıcak hava konvektif kurutma ile kurutulan meyveler ile kıyaslandığında, daha yüksek polifenollere ( $22.14 \pm 0.49$  ila  $27.51 \pm 0.56$  mg GAE/g kurumadde), flavonoidlere ( $2.65 \pm 0.05$  ila  $3.79 \pm 0.11$  mg CAE/g kurumadde), antosiyaninlere ( $0.75 \pm 0.10$  ila  $2.22 \pm 0.10$  mg Cy-3G/g kurumadde), antioksidan aktiviteye ( $33.03 \pm 0.72$  ila  $47.67 \pm 0.39$  mg TE/g kurumadde) ve daha fazla arzu edilen bir genel görünüme sahip olduğu bulunmuştur.

Bhagya Raj vd., (2021) çalışmalarında, mikrodalga gücü, vakum seviyesi ve sitrik asit konsantrasyonu gibi işleme parametrelerinin kurutulmuş meyvenin fitokimyasal özellikleri ve rengi üzerindeki etkisini incelemek için sohiong (*Prunus nepalensis*) meyvesinin vakum mikrodalga ile kurutulması gerçekleştirilmiş, işlem parametreleri, yanıt yüzey metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Sonuçlar, işleme parametresinin kurutulmuş meyvenin fitokimyasal özellikleri ve renk değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Optimizasyon işlemi, sohiong dilimlerinin %0.55 sitrik asit konsantrasyonu ile ön işleme tabi tutulduğunda ve 400 W mikrodalga güç seviyesinde ve 690 mmHg vakum basıncında kurutulduğunda yüksek kaliteli kuru meyveler elde edildiğini göstermiştir. Optimum koşullar altında toplam fenolik içerik, antioksidan aktivite ve antosiyanin içeriği sırasıyla 44.948 mg GAE/g, %89.761 ve 3.739 mg/g kurumadde olarak tespit edilmiştir. Çalışma, ilaç ve gıda endüstrisinin büyük ilgisini çeken kurutulmuş fitokimyasal bileşik bakımından zengin ürünler elde etmek için vakum mikrodalga kurutmanın ölçeğinin büyütülmesine olanak sağlayacaktır.

Bhagya Raj ve Dash, (2020) çalışmalarında ejder meyvesi (*Hylocereus undatus*) diliminin vakum mikrodalga ile kurutulmasını ve kurutma işleminin ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı (ANN) yardımıyla modellenmesini çalışmışlardır. ANN modeli mimari olarak üç düğümlü bir girdi katmanı, dört düğümlü bir çıktı katmanı ve on bir düğümlü bir gizli katmandan oluşmaktadır. Dilimler sitrik asit (%0.5-1.5) ile ön işleme tabi tutulmuş ve ardından mikrodalga vakum kurutucuda farklı mikrodalga gücü (200-600 W), vakum seviyesi (3-9 kPa) kombinasyonlarında kurutulmuştur. Bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonlarında altmış deney yapılmıştır. Toplam fenolik içerik, kurutma verimliliği, renk değişimi ve rehidrasyon oranı gibi dört farklı tepki üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisi, genetik algoritma (GA) uygulanarak optimizasyon için analiz edilmiştir. Entegre ANN ve GA ile elde edilen optimize edilmiş mikrodalga gücü, vakum ve sitrik asit konsantrasyonu koşulları sırasıyla 450 W, 9 kPa

ve %1.35 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş ejder meyvesi diliminin toplam fenolik içeriği, kurutma etkinliği, renk değişimi ve rehidrasyon oranı için optimum koşulda öngörülen tepki sırasıyla 8.324 mg GAE/g, %59.099, 14.577 ve 3.463 olarak bulunmuştur. ANN-GA modelinin tahmin edilen değerleri, deneysel verilerle güçlü bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Ishibasi vd., (2022), turp ve patatesin mikrodalga vakumla kurutulması sırasında kuruma ve büzülme özelliklerinin ölçülmesi konusunda yaptığı çalışmada mikrodalga ısıtmanın, numunenin içinde boşluklar oluşturarak ve büzülmeyi azaltarak içeriden dışarıya nem transferini desteklediğini, kritik nem içeriğine ulaşmadan önce, nem içeriği azaldıkça kuruma hızının arttığını tespit etmişlerdir. Yerinde ölçümün, vakum koşulu altında sürekli mikrodalga kurutma sırasında geçici kuruma olayını incelemek için umut verici bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Nguyen ve Le, (2022) yayınlanan çalışmalarında pomelo albedosunun vakum destekli mikrodalga kurutulması ve kurutma kinetiğini rapor etmiştir. 40 kPa'lık vakumla desteklenen beş farklı mikrodalga güç seviyesi (800, 640, 480, 320 ve 160 W), kurutulmuş pomelo albedosunun kurutma kinetiği ve rehidrasyon oranı için incelenmiştir. Çalışma sonucunda daha yüksek mikrodalga güç seviyeleri, daha kısa kurutma süreleri, daha yüksek nem geçişi ve kurutma hızları sağlamıştır. Pomelo albedosunun kurutulması için optimum mikrodalga güç seviyesi 480 veya 640 W ve numune ağırlığı 50 g olarak önerilmiştir. Bu koşullar altında kurutulmuş albedo ürününün yüksek kaliteye sahip olduğu belirlenmiştir.

Jerome ve Divedi, (2022) nar kabuğunun vakum mikrodalga yöntemiyle kurutulması işlemini incelemiş ve kurutma işlemi, yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ve yapay sinir ağı (YSA) yöntemi yardımıyla modellenmiştir. Kurutma deneysel çalışmaları, yüz merkezli bir bileşik tasarım kullanılarak çeşitli mikrodalga gücü (175, 330 ve 485 W) ve vakum basıncı (10, 15 ve 20 kPa) aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Proses parametreleri beş hedef yanıt üzerinden tespit edilmiştir, bunlar toplam hidrolize edilebilir tanen (THT), renk değişimi ( $\Delta E$ ), gelişen maksimum sıcaklık ( $T_{max}$ ), etkili nem yayılımı ( $Deff$ ) ve özgül enerji tüketimi (SEC)'dir. Mikrodalga gücü ve vakum için, RSM ve YSA yardımıyla elde edilen optimum koşullar sırasıyla 260 W, 15.59 kPa ve 287 W, 19 kPa olarak tespit edilmiştir.

Wardhani vd., (2021) Meyvelerde mikrodalga vakum kurutma konusunda yaptıkları derleme çalışmasında kızılcık, elma, ejder meyvesi, çilek, Saskatoon meyvesi ve nar dahil olmak üzere

mikrodalga vakum kurutma kullanarak meyve kurutma üzerine çeşitli çalışmaları gözden geçirmektedir. Çalışmalar, mikrodalga vakum kurutma kullanarak kurutmanın, geleneksel kurutmaya göre kurutma süresinden birçok kez tasarruf sağladığını göstermektedir. Mikrodalga vakum kurutma tekniğinin, daha uzun kurutma süreleri veya yüksek yüzey sıcaklıklarının neden olduğu istenmeyen duyuşsal geçişleri ve besin kaybını azaltabildiği, meyvenin rengini ve fenolik içeriğini önemli ölçüde koruduğu raporlanmıştır. Mikrodalga vakum kurutmanın kullanımı ayrıca, kısa kuruma süresi ile meyvenin görünümündeki hasarı, özellikle renk değişimini ve biyokimyasal bileşimi azaltmada daha iyi göstermiştir. Mikrodalga vakum kurutma kullanarak meyve kurutmanın, kurutma süresini birçok kez kısalttığı ve böylece enerji kullanımından tasarruf ettiği kanıtlanmıştır. Ayrıca mikrodalga vakum kurutmanın kullanımı diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek antioksidan verimleri göstermiştir.

Nogueira vd., (2022) yaptıkları çalışmada aserola kalıntısının mikrodalga fırında vakum ortamda kurutma performansı incelenmiştir. Kurutulmuş üründe %26.2'nin altındaki nihai nem içeriğinde aserola kalıntılarında mezofilik bakteri, küf ve mayaların büyümesi gözlenmemiştir. Kurutma sonrasında vakum seviyesinin, mikrodalga gücünün ve etanol ön işleminin ana biyoaktif bileşikler üzerindeki etkileri başarıyla incelenmiştir. Vakum mikrodalga cihazının, aserola kalıntılarının kalitesini koruyabilen, raf ömürlerini uzatabilen ve güvenli nem ve su aktivitesi seviyeleri sağlayabilen umut verici bir hibrit teknoloji olduğu raporlanmıştır.

Puttalingappa vd., (2022) Mikrodalga destekli vakum kurutma (MAVD) kullanarak yaptıkları çalışmada, kurutulmuş moringa yapraklarının kurutma kinetiğini ve fiziksel ve antioksidan özelliklerini iyileştirmek için incelemişlerdir. 450 W'lık en yüksek güç seviyesi ve 500 mmHg'lık vakum seviyesi, iyi fiziksel ve antioksidan özelliklere sahip daha kaliteli moringa yaprakları üretilmesini sağlamıştır. Ayrıca MAVD ile kurutulmuş moringa yapraklarının kalitesine bakıldığında, MAVD daha iyi renk ve rehidrasyon değeri üretmiştir. Bu çalışmanın, kuruma kinetiğine dayalı olarak moringa yaprakları için bir MAVD sisteminin ölçeğini büyütme ve tasarlamaya yardımcı olması beklenmektedir.

Ren ve Sun, (2022) yaptıkları çalışmada vakum mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmuş sığır eti dilimlerinin nem içerikleri ve rehidrasyon oranlarını hiperspektral görüntüleme sistemi kullanarak belirlemişlerdir. Vakum mikrodalga yöntemiyle kurutulmuş sığır eti dilimlerinin rehidrasyon oranlarının daha yüksek olduğu bu çalışmada bildirilmiştir.

Nguyen vd., (2022) Vakum mikrodalga kurutma ve mikrodalga kurutma ile hazırlanan maş fasüyesi erişmelerinin fiziksel ve duyusal özelliklerini incelemiş, vakum mikrodalga ile kurutulan örneklerin en kısa rehidrasyon süresine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Her iki kurutma yöntemiyle üretilen erişmelerin  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerlerinde artış saptanmıştır.

Ando ve Nei, (2023) Havayla kurutma, kondurarak kurutma ve vakum mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan patateslerin boşluk yapılarının ve öğütme sonrası tozların fiziksel özelliklerinin karşılaştırdıkları çalışmada en yüksek kurutma süresinin dondurarak kurutma yönteminde, en kısa kurutma süresinin ise vakum mikrodalga yönteminde gerçekleştiğini bildirmiştir. Sonuçlara göre kurutma verimliliği ve toz kalitesi açısından vakum mikrodalga yönteminin ciddi avantajları olduğu görülmüştür.

Bozkır ve Tekgül, (2022) vakum mikrodalga evaporasyon ve konvansiyonel üretilmiş portakal suyu konsantrelerini inceledikleri çalışmada vakum mikrodalga evaporasyonun buharlaşma oranını artırdığını belirlemişlerdir. Döner buharlaştırma sistemiyle karşılaştırıldığında C vitamini, toplam fenaolik madde açısından vakum mikrodalga evaporasyonla üretilen konsantrelerin daha az kayıp verdiği tespit edilmiştir.

Shao vd., (2023) yaptıkları çalışmada vakum mikrodalga kurutma süresinin uzatılmasının kahverengi pirinç ununun fizikokimyasal özelliklerini, in vitro sindirilebilirliğini ve antioksidan aktivitesini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Vakum mikrodalga kurutma sisteminin serbest radikal süpürme aktivitesini suda çözünürlük indeksi ve amiloz içeriğini de önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır.

Kuru incir üretiminde vakum mikrodalga kurutucu, tepsili kurutucu ve güneş altında kurutma sistemlerini kullanan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak bu çalışma ile kuru incirlerin vakum mikrodalga kurutucu, tepsili kurutucu ve güneş altında kurutma ile üretilmesi ve farklı proseslerle üretilen ürünlerin kurutma hızları ve kalite değerleri açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca vakum mikrodalga kurutucu ile edilen sonuçların avantaj sağlanması durumunda kurutma sanayisine aktarabilecek verileri içermesi açısından çalışma önem taşımaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu çalışma çerçevesinde kuru incir üretiminde hammadde olarak kullanılan “Sarılop” çeşidi (*Ficus carica* L.) Aydın- Germencik “İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü”nden temin edilmiştir. İncir örnekleri bütün halde kurutulmuş olup, başlangıç nem içeriği %55-60 olan incir örnekleri ağaçtan elle hasat edilmiş, yıkanmış, sap ve yabancı maddeler ayıklanmıştır.

Temin edilen incirlerin enleri ortalama  $2.1 \pm 0.3$  cm, boyları  $4.3 \pm 0.2$  cm, ortalama ağırlıkları  $52 \pm 0.4$  g olarak tespit edilmiştir.

İncir örnekleri (Şekil 3.1.) Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Pamukova Meslek Yüksekokulu’nda Gıda İşleme Bölümündeki  $+4$  °C’deki soğuk hava deposunda işleninceye kadar muhafaza edilmiştir.

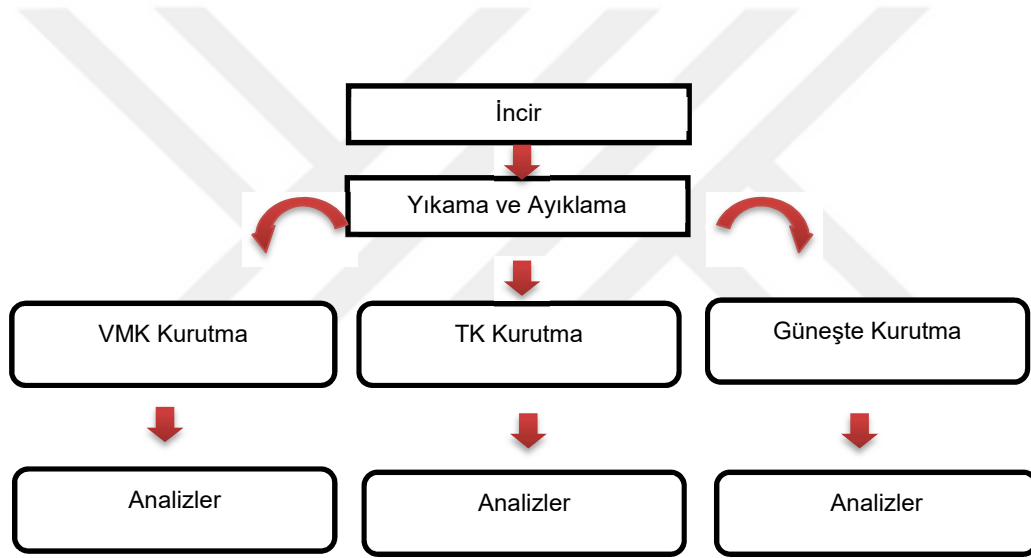


Şekil 3.1. Kurutma öncesi incirler

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Kurutma

Kuru incir üretim akış şeması Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda, vakum mikrodalga kurutucu ile tepsili kurutucunun en uygun çalışma koşulları belirlenmiştir. Bu koşullar esas alınarak vakum mikrodalga kurutma, tepsili kurutma ve güneşte kurutma işlemleri gerçekleştirilmiş; her üç yöntemle kurutulan incirlerde hedeflenen %10 nem içeriğine ulaşıldığında numuneler kalite analizleri için ayrılmıştır. Ayrıca, üç farklı kurutma yöntemine ait kurutma hızları ile kurutma süreci boyunca ürünlerin kalite parametrelerinde meydana gelen değişimler sistematik olarak izlenmiş ve değerlendirilmiştir.

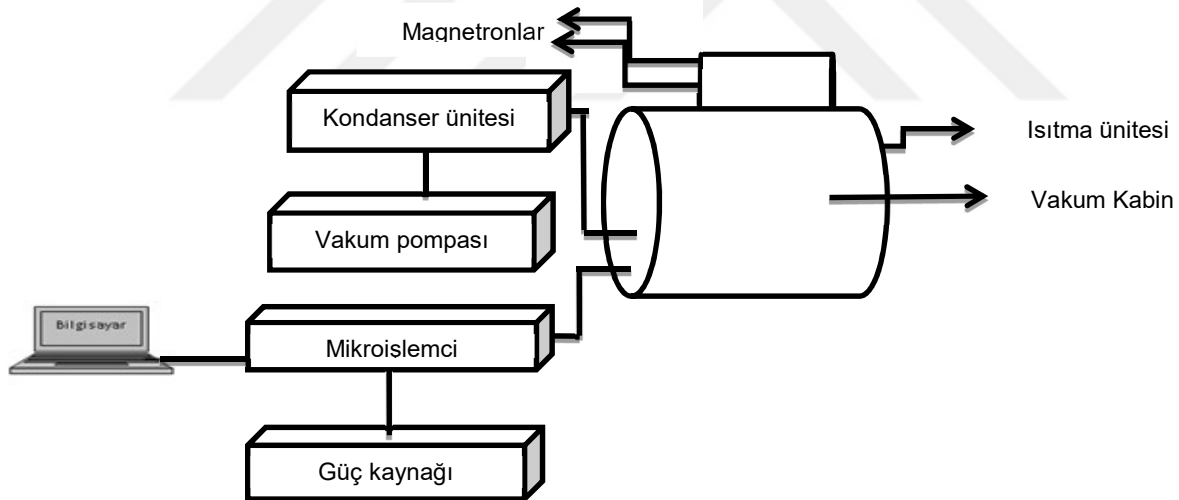


Şekil 3.2. Kuru incir üretim akış şemaları

Vakum mikrodalga kurutucu ve tepsili kurutucu denemeleri için, incir ağacı üzerinde olgunluk dönemine ulaşan ve “buruk” olarak nitelendirilen, yaklaşık %55–60 nem içeriğine sahip toplam 6000 g incir örneği kullanılmıştır. Vakum mikrodalga kurutma işlemlerinde kurutma parametresi olarak sabit mikrodalga gücü (4 kW) ile üç farklı sıcaklık düzeyi (60, 70 ve 80 °C) kullanılmıştır. Tepsili kurutma uygulamalarında ise hava hızı 2 m/s’de sabit tutulmuş ve aynı sıcaklık seviyeleri (60, 70 ve 80 °C) kurutma koşulları olarak uygulanmıştır. Kurutulacak incirler kalınlıkları 2 cm olacak şekilde yassılaştırılıp, tek sıra halinde dizilerek kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1.1. Vakum mikrodalga kurutucu

Bu çalışmada, Bozkır (2019) tarafından geliştirilen prototip niteliğindeki vakum mikrodalga kurutucu sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.3. ve 3.4.). Cihaz, 1–4 kW aralığında ayarlanabilir mikrodalga gücü ve 0–1000 mbar aralığında değiştirilebilir vakum kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem bünyesinde yer alan dört adet yüksek frekanslı magnetron vasıtasıyla, ürünün tüm hacmi boyunca homojen enerji dağılımı sağlanmış ve böylece etkin bir kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca cihaz, kurutma sıcaklığı ve iç ortam vakum düzeyinin hassasiyetle kontrol edilebildiği dijital bir gösterge paneli ile donatılmıştır. Bu sayede, işlem parametrelerinin gerçek zamanlı takibi yapılmış ve belirlenen kurutma profiline göre sürece müdahale edilebilmesi sağlanmıştır. İncirler 25×65×5 cm ebatlarına sahip delikli (perfore) yapıdaki beş adet teflon sepet içerisine, üst üste binmeyecek şekilde tek sıra halinde dizilerek kurutma kabine yerleştirilmiştir. Tercih edilen sepetlerin perfore yapısı sayesinde, mikrodalga enerjisinin materyal ile daha etkin etkileşimi sağlanmış ve işlem sırasında açığa çıkan su buharının sistemden uzaklaştırılması (kütle transferi) kolaylaştırılmıştır.



**Şekil 3.3.** Vakum mikrodalga kurutucu sisteminin şematik gösterimi

Kurutma işlemi boyunca, örneklerde meydana gelen kütle değişimleri belirli periyotlarda hassas terazi kullanılarak kaydedilmiş ve elde edilen veriler ışığında nem kaybı kinetiği izlenmiştir. Süreç, ürünlerin nihai nem içeriği hedeflenen değer olan %10'un altına düştüğünde sonlandırılmıştır. Bu sayede, son ürünün mikrobiyolojik stabilitesinin korunması ve raf ömrünün uzatılması açısından gerekli olan güvenli nem düzeyine ulaşılması sağlanmıştır.



**Şekil 3.4.** Vakum mikrodalga kurutucu

#### **3.2.1.2. Tepsili kurutucu**

Tepsili kurutma işlemleri paslanmaz çelik gövde yapısına sahip, dört tepsili ve programlanabilir özellikteki bir kabin tipi kurutucu ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5.). Kurutma sistemi, hava akış hızının ayarlanabildiği yatay yönlü bir fan mekanizması ile teçhiz edilmiştir. Kabin içi sıcaklık regülasyonu, alt ve üst bölgelere konumlandırılan rezistanslar vasıtasıyla bağımsız olarak sağlanmıştır. Kurutma periyodu boyunca ortam sıcaklığı, bağıl nem, giriş havası sıcaklığı ile alt ve üst bölge sıcaklık değerleri dijital kontrol paneli üzerinden anlık olarak izlenmiş; sistem, işlem parametrelerine manuel müdahale imkânı sunacak şekilde yapılandırılmıştır.

Denemelerde, yaklaşık  $30 \times 50$  cm boyutlarında dört adet kurutma tepsisi kullanılmıştır. Kare gözenekli (perfore) plastik materyalden üretilen bu tepsiler tercih edilerek, hava-ürün temas yüzeyi artırılmış ve böylece ısı ve kütle transferi etkinliği optimize edilmiştir. İncir numuneleri, tepsiler üzerine tek sıra halinde (monolayer) dizilmiş ve konvektif sıcak hava akımına tabi tutulmuştur. İşlem süresince numunelerin kütle değişimleri periyodik olarak gravimetrik yöntemle takip edilmiş ve nem içeriği hedeflenen nihai değere ( $<10\%$ ) ulaştığında süreç sonlandırılmıştır.



**Şekil 3.5.** Tepsili kurutucu

Güneşte kurutma yönteminde incir üretimi için incirler olgunlaştıktan sonra %55-60 nem içeriğine kadar ağaç üzerinde kurumaya bırakılmış ve bu halde toplanarak plastik kerevetler üzerinde güneş ışığı altında tutularak son nem içeriği %20'ye gelene kadar kurutulmuştur.

Kurutma Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Pamukova Meslek Yüksekokulu bahçesinde kurulan düznenekle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6.). Güneşte kurutma işleminin gerçekleştiği 31.08.2023-11.12.2023 tarihleri arasında ortalama hava sıcaklığı  $32.5 \pm 1.2$  °C, ortalama hava nemi  $\%35 \pm 1.2$  olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 3.6.** Güneşte kurutma

### 3.2.2. Analizler

#### 3.2.2.1. *pH tayini*

Kuru incirler sulandırarak (1:10 w:v) pH-metre (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Thermo marka pH metre

#### 3.2.2.2. *Titrasyon asitliği (TA) tayini*

Numunelerin asit miktarı potansiyometrik titrasyon yöntemiyle ortaya konmuş, titrasyon asitliği tayinde, pH tayininde kullanılan süzüntüler kullanılarak pH 8.1'e erişmek için 0.1 N NaOH çözeltisi ile titrasyon uygulanmıştır ve sitrik asit cinsinden % asitlik değerleri (KM) hesaplanmıştır (Anon., 1995).

#### 3.2.2.3. *Toplam kurumadde (TKM) tayini*

Çalışmada yaş ve kuru incir nem içerikleri Cemeroğlu (2010) analiz yöntemine göre belirlenmiştir. Örnekler sabit 65°C'de vakum etüvde (Nüve, EV 018, Türkiye) sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur (Şekil 3.8.). Sonuçlar % nem (KM) olarak hesaplanmıştır.

$$\%Nem = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \quad (1)$$

$m_1$  : dara ( g )

$m_2$  : örnek + dara ( g )



**Şekil 3.8.** Nüve marka vakumlu etüv

#### **3.2.2.4. Su aktivitesi tayini**

Çalışmada yaş ve kuru incir numunelerinin su aktivitesi dijital su aktivitesi cihazı (Novasina, Almanya) kullanılarak 20 °C sıcaklıkta ölçülmüştür (Şekil 3.9.).



**Şekil 3.9.** Novasina marka su aktivitesi cihazı

#### **3.2.2.5. Toplam fenolik madde tayini**

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla, Folin–Ciocalteu yöntemi (Singleton ve Rossi, 1965) kullanılmaktadır. Analiz sürecine, 1 gram numune tartımıyla başlanmıştır. Bu örnek, saf su kullanılarak 100 mL’lik son hacme tamamlanmıştır. Homojen hale gelen karışım, partikülleri ayırmak için Whatman No 1 filtre kağıdından süzölmüştür. Daha sonra, reaksiyonu başlatmak amacıyla elde edilen süzöntüye Folin-Ciocalteu reaktifinden 5 mL ilave edilmiş ve bunu takiben 10 mL %20 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi eklenmiştir. Bu karışım, son hacmi 100 mL olacak

şekilde tekrar saf su ile dikkatlice tamamlanmıştır. Karakteristik mavi rengin tam olarak gelişebilmesi ve reaksiyonun tamamlanabilmesi için, hazırlanan bu örnekler oda sıcaklığında, 1 saat boyunca karanlık bir ortamda inkübasyona (beklemeye) bırakılmıştır. Bekleme süresinin sonunda, şahit numuneye (kör denemeye) karşı 760 nm dalga boyunda spektrofotometrik okuma yapılmıştır (Şekil 3.10.). Son aşamada, örnekten okunan absorbans değerine karşılık gelen toplam fenolik bileşik miktarı, gallik asit eşdeğeri olarak (KM) hesaplanmıştır. Bu hesaplama, önceden gallik asit standartları kullanılarak hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisi yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11.).



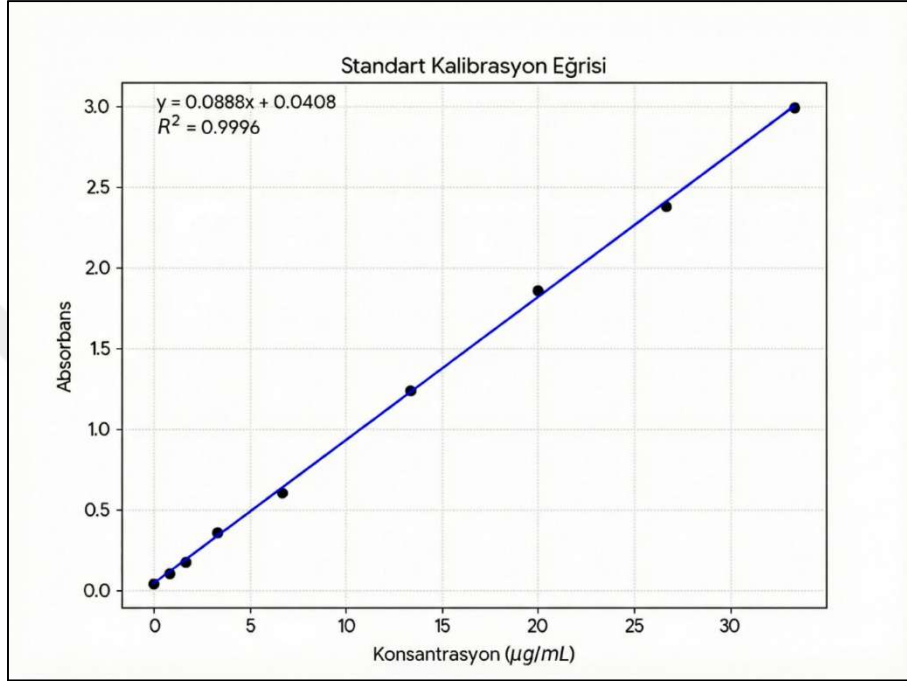
**Şekil 3.10.** Shimadzu UV-1240 spektrofotometre

#### **3.2.2.6. Toplam karotenoit tayini**

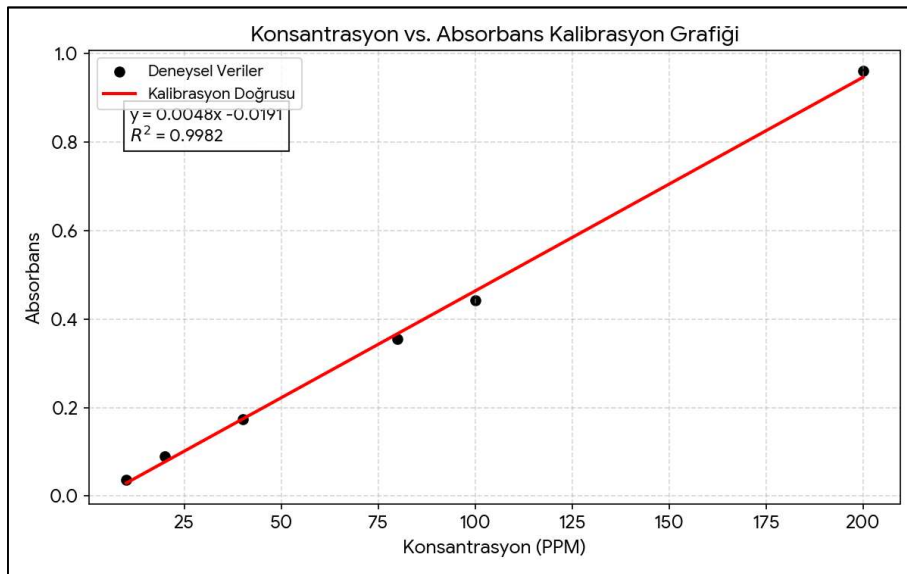
Analiz sürecine 5 g örnek tartılarak başlanmıştır. Bu örneğin üzerine, (v/v; 50:25:25) oranında hazırlanmış 50 mL'lik hegzan–aseton–etanol ekstraksiyon (özütleme) çözeltisi ilave edilmiştir. İçeriğin çözeltiye tam olarak geçmesini sağlamak amacıyla, bu karışım oda sıcaklığında, orbital bir çalkalayıcıda 200 rpm hızda 10 dakika boyunca çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. Çalkalama süresi dolduğunda, katı ve sıvı fazları birbirinden net bir şekilde ayırmak için, karışım 4 °C'de 6500 rpm hızda 5 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında, aranan bileşenleri içeren berrak üst faz (süpernatant) dikkatlice toplanmıştır.

Toplanan bu kısım, ekstraksiyon çözeltisi kullanılarak tam olarak 50 mL hacme tamamlanmıştır. Hazırlanan bu nihai çözeltinin absorbans ölçümü, Shimadzu UV-Visible 1240 model bir spektrofotometrede, 450 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Miktarı

hesaplayabilmek için, saf  $\beta$ -karoten standardı kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi (standart grafik) hazırlanmıştır (Şekil 3.12.). Örnekten okunan absorbans değerine karşılık gelen konsantrasyon, bu standart grafik yardımıyla belirlenmiştir. Nihai sonuçta ise,  $\beta$ -karoten içeriği, 100 g kuru örnek üzerinden hesaplanarak saptanmıştır (Lee, 2001).



Şekil 3.11. Toplam fenolik madde standart kalibrasyon eğrisi

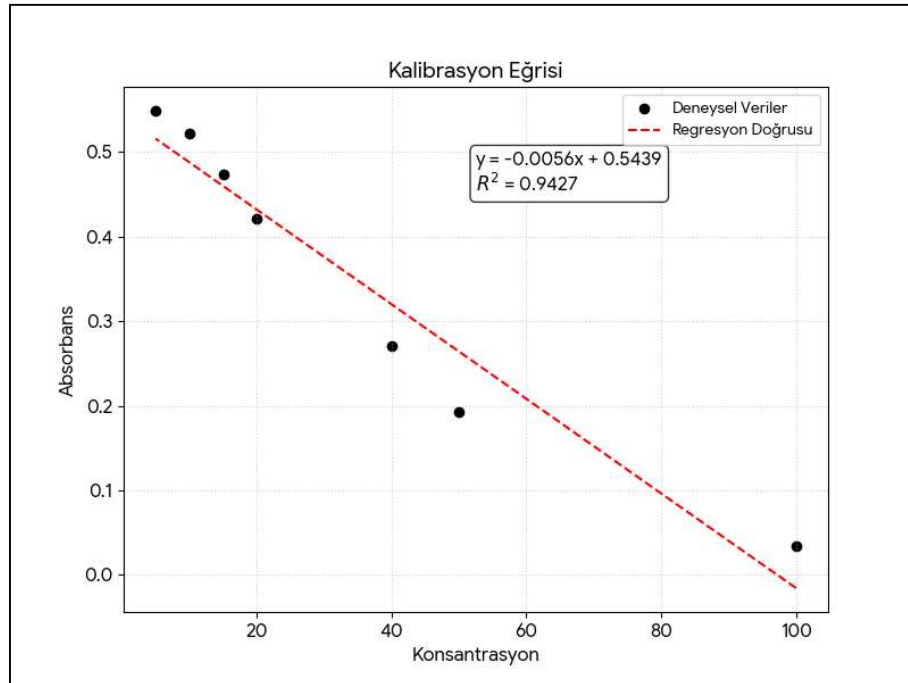


Şekil 3.12. Toplam karotenoit miktarı için standart kalibrasyon eğrisi

### 3.2.2.7. Toplam antioksidan aktivite tayini

Analiz sürecine 0.5 g örnek tartılarak başlanmıştır. Bu örneğin üzerine %80'lik metanol çözeltisinden 9.5 mL ilave edilmiş ve karışım 60 dakika boyunca çalkalayıcıda tutulmuştur. Bu sürenin sonunda, katı ve sıvı kısımları ayırmak için karışım 5204 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemiyle elde edilen berrak üst kısım (süpernatant), ekstraksiyon çözeltisi kullanılarak 50 mL'lik son hacme tamamlanmıştır.

Daha sonra 600 µL DPPH radikal çözeltisi bulunan tüplere, hazırlanan örnek çözeltisinden farklı konsantrasyonlarda (yani 20 ile 100 µL arasında değişen 20'şer µL artışlarla hazırlanan hacimlerinde) ilaveler yapılmıştır. Tüm tüplerdeki toplam hacmi eşitlemek amacıyla, her bir karışım %80'lik (v/v) metanol çözeltisi ile 6 mL'ye ulaşacak biçimde ayarlanmıştır. Test tüpleri, reaksiyonun tamamlanabilmesi için karanlıkta 20 °C'de beklemeye (inkübasyona) alınmıştır. Bu bekleme süresinin ardından, Shimadzu UV 1240 model spektrofotometre kullanılarak 517 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur. Farklı konsantrasyonlardan elde edilen absorbans değerleri kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş (Şekil 3.13.) ve bu eğri temel alınarak EC50 değeri hesaplanmıştır (Brand-Williams vd., 1995).



Şekil 3.13. Antioksidan aktivite standart eğrisi

### **3.2.2.8. Enzimatik olmayan esmerleşme tayini**

Örneklerin enzimatik olmayan esmerleşme testi Cohen vd. (1998) tarafından kullanılan yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Santrifüj tüpüne 5 mL örnek alınıp üzerine 5 mL (%95) etil alkol ilave edilip 1000 g'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra çökmeyen kısım alınıp 420 nm'de absorbans okunmuştur.

### **3.2.2.9. Toplam canlı bakteri ve maya-küf sayımı**

Dalında yarı kurumuş, güneşte kurutulmuş, tepsili kurutucuda ve vakum mikrodalga kurutucuda kurutulmuş incirlerin her birinden 10 g tartılmış, 90 mL %0.1'lik peptonlu su ile blenderda homojenize edilmiştir. Homojenize örneklerden steril koşullarda %0.1'lik peptonlu su ile 10:1-10:9 arasında dilüsyonlar hazırlanmıştır (Harrigan, 1998; Villalobos vd., 2018). Ekimler 3 paralel yapılmış ve 30-300 arası koloni gelişen petriler tercih edilmiştir. Sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma şeklinde sunulmuştur.

#### **Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB) Sayımı**

TMAB sayımı için plate count agar besiyerinde yayma yöntemi uygulanmış 30 °C'de 24-48 saat inkübasyon sonunda koloniler sayılmıştır. Sonuçlar log cfu/g olarak verilmiştir (Harrigan, 1998; Villalobos vd., 2018).

#### **Toplam Maya - Küf Sayımı (TMK)**

Toplam maya-küf sayımı için potato dextrose agar kullanılarak dökme yöntemi uygulanmıştır. 25°C'de 3-5 gün inkübasyon ardından koloniler sayılmış ve sonuçlar log cfu/g olarak verilmiştir (Harrigan, 1998; Villalobos vd., 2018).

### **3.2.2.10. Rehidrasyon kapasitesi tayini**

Kuru ürünlerin rehidrasyon kapasitesinin tayininde Cui vd. (2008), tarafından kullanılan yöntem kullanılmıştır.

$$\text{Rehidrasyon kapasitesi} = \frac{W_r}{W_d} \quad (2)$$

Wr : Rehidrasyon sonrası ağırlık (g)

Wd : Kuru ürün ağırlığı (g)

### 3.2.2.11. Renk tayini

Bu çalışmada renk tayini, Hunter Lab Color Flex CX1633 marka renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14.). Analizler kapsamında örneklerin L\*, a\* ve b\* renk parametreleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarından elde edilen L\*, a\* ve b\* değerleri kullanılarak toplam renk farkı ( $\Delta E$ ), chroma (kroma) farkı ( $\Delta C$ ) ve ton açısı (Hue açısı) değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Hunter Lab Color Flex renk ölçüm cihazı

### 3.2.2.12. Nem içeriği belirleme

Ürünlerin kurutulması sırasında, nem içerik değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Mt = \frac{m-KM}{KM} \quad (3)$$

Mt : t anındaki nem içeriği (kg su/kg kurumadde)

M : Numune ağırlığı (kg)

KM : Numunen kurumadde miktarı (kg) olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.2.13. Kuruma hızı belirlenmesi

Kuruma hızının belirlenmesinde, nem içeriği verilerinin kuruma zamanına karşı grafiğe aktarılmasıyla elde edilen eğrilere diferansiyel analiz (türev alma işlemi) uygulanmıştır.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \text{ (kg su/kg kurumadde.h)} \quad (4)$$

$M_{t+dt}$  :  $t + dt$  anındaki nem miktarı (kg su/kg kurumadde)

$M_t$  : Herhangi bir  $t$  anındaki nem miktarı (kg su/kg kurumadde)

$Dt$  : Kuruma zamanı (saat) (Bozkır, 2020).

### 3.2.2.14. Nem oranı belirlenmesi

Nem oranı (Boyutsuz nem içeriği) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (5)$$

$MR$  : Nem oranı (birimsiz)

$M_t$  :  $t$  anındaki nem miktarı (g su/g kurumadde)

$M_e$  : Denge anındaki nem miktarı (g su/g kurumadde)

$M_0$  : Başlangıçtaki nem miktarı (g su/g kurumadde) olarak tanımlanmıştır (Maskan, 2001).

Difüzyon katsayısı eşitlik 6'ya göre hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ -(2n-1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right] \quad (6)$$

$D_{eff}$  : Difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )

$L$  : Ürün kalınlığı (m) (Bozkır, 2020).

### 3.2.2.15. Kuruma kinetiği modellenmesi

Kuruma kinetiğinin ortaya konması için kullanılacak modeller Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Kuruma modelleri

| Model ismi                  | Model denklemleri                              | Kaynak                    |
|-----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| Newton                      | $MR = -exp(-k*t)$                              | Mujumdar (1987)           |
| Page                        | $MR = -exp(-k*t^n)$                            | Arslan ve Özcan (2010)    |
| Modifiye Page               | $MR = -exp(-(kt)^n)$                           | Toğrul ve Pehlivan (2003) |
| Henderson ve Pabis          | $MR = a*exp(-kt)$                              | Yağcıoğlu vd., (1999)     |
| Modifiye Henderson ve Pabis | $MR = a*exp(-k*t) + b*exp(-g*t) + c*exp(-h*t)$ | Toğrul ve Pehlivan (2003) |
| Logaritmik                  | $MR = a*exp(-k*t) + c$                         | Yaldız ve Ertekin (2001)  |
| İki Terimli                 | $MR = a*exp(-k*t) + b*exp(-k_1*t)$             | Arslan ve Özcan (2010)    |
| İki terimli Üstel           | $MR = a*exp(-k_0*t) + (1-a)*exp(-a*k*t)$       | Yaldız ve Ertekin (2001)  |
| Midilli vd.,                | $MR = a*exp(-k*t^n) + b*t$                     | Midilli vd., (2002)       |
| Difüzyon Yaklaşımı          | $MR = a*exp(-k*t) + (1-a)*exp(-k*b*t)$         | Kassem (1998)             |
| Weibull                     | $MR = a-b*exp(-(kt^n))$                        | Corzo vd., (2008)         |
| Verma                       | $MR = a*exp(-k*t) + (1-a)*exp(-g*t)$           | Verma vd., (1985)         |
| Wang ve Singh               | $MR = 1 + at + bt^2$                           | Eştürk ve Soysal (2010)   |

Modellerin deneysel ve tahminlenen verilerin birbirleri ile istatistiksel uyumu hatalar ki-kare ( $\chi^2$ ), hata kareleri ortalamasının karekökünü (RMSE), düzeltilmiş kareler toplamı (CSS) ve kalan kareler toplamı (RSS) aşağıdaki verilen eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{CSS} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(MR_{deneysel,i} - MR_{beklenen,i})^2}{N - n_p} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{beklenen,i})^2} \quad (9)$$

Burada;  $MR_{deneysel,i}$  değeri i. deneysel gözlemde nem değerini,  $MR_{beklenen,i}$  i. değeri modeldeki i. gözlemde beklenen nem değerini, N gözlem sayısı ve  $n_p$  modeldeki katsayısını ifade etmektedir (Erbay ve İçier, 2009).

### 3.2.2.16. İstatistiksel analiz

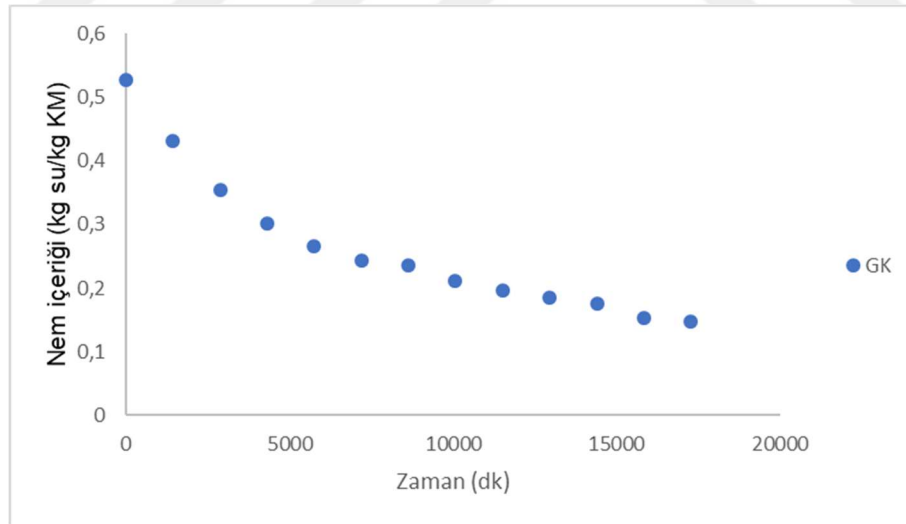
İstatistiksel analizler SPSS 20.0 paket programı (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının İncirlerin Kurutma Kinetiği Parametreleri Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmada, incir (*Ficus carica* L.) örneklerinin kurutulmasında Geleneksel Güneşte Kurutma (GK), Tepsili Kurutma (TK) ve Vakum Mikrodalga Kurutma (VMD) yöntemlerinin etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kurutma süreci boyunca örneklerin nem içeriklerine bağlı olarak kuruma hızındaki değişimler analiz edilmiş, nem içeriği ve boyutsuz nem oranının zamana bağlı değişimleri grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.1.-Şekil 4.8.).

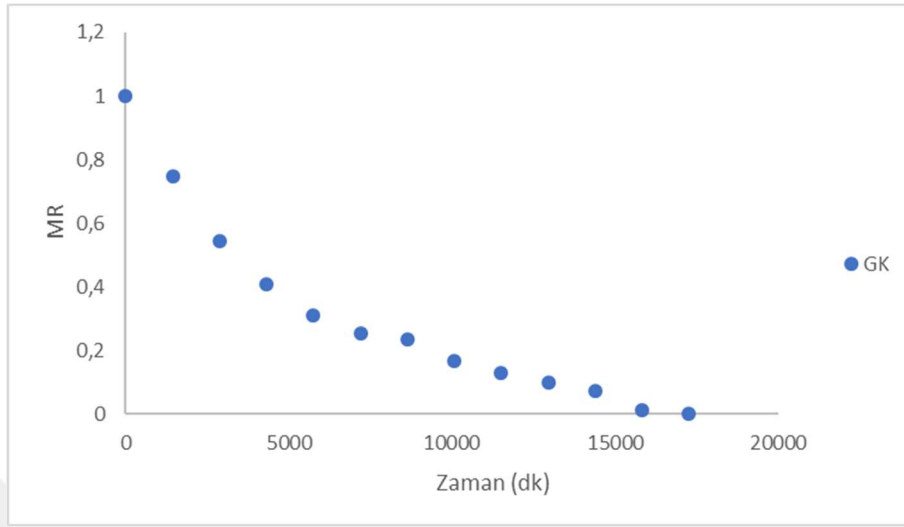
Güneşte kurutma işlemine tabi tutulan incir örneklerinin nem içeriğindeki zamana bağlı değişim Şekil 4.1.'de verilmiştir. Başlangıç nem içeriğinin azalması, kurutma süresi boyunca sürekli bir düşüş eğilimi göstermiştir. Düşük ısı transfer hızı ve çevresel koşulların (sıcaklık, nem) kontrol edilememesi nedeniyle nemin uzaklaştırılması oldukça yavaş gerçekleşmiş ve ürünün denge nemine ulaşması 17.280 dakika sürmüştür.



**Şekil 4.1.** Güneşte kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

Güneşte kurutulan örnekler için boyutsuz nem oranı (MR) değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.2.'de sunulmuştur. MR değerleri, kurutma işleminin başında 1.0 seviyesinden başlayarak zamanla eksponansiyel (üstel) bir azalma kaydetmiştir. Eğrinin eğimi incelendiğinde, buharlaşmanın yavaş seyrettiği ve nem oranının sıfıra yaklaşmasının (kurumanın

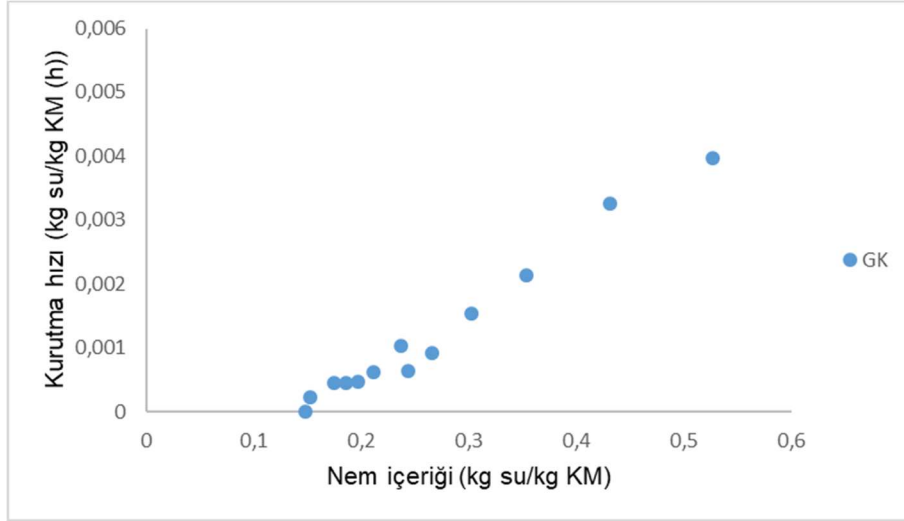
tamamlanmasının) oldukça uzun bir zaman dilimine yayıldığı (17.280 dakika) görülmektedir.



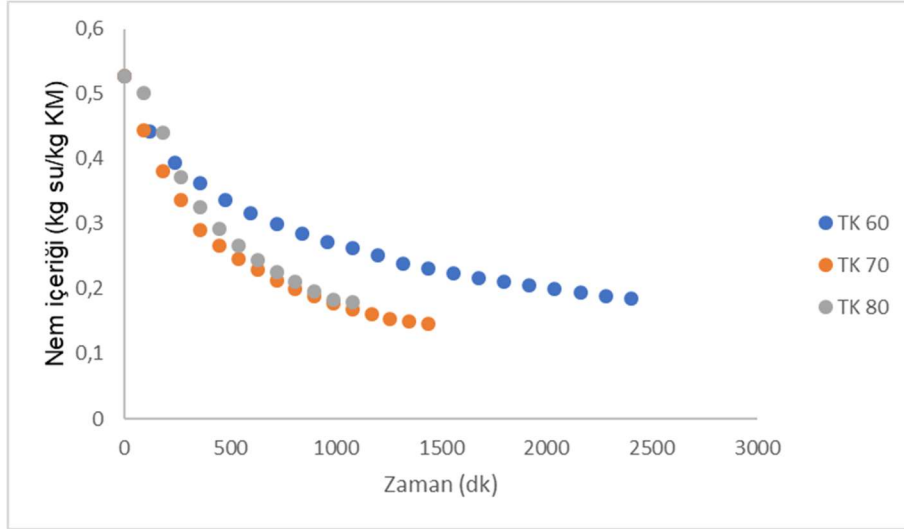
**Şekil 4.2.** Güneşte kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi

Güneşte kurutma yöntemi için kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Kurutma sürecinde sabit hız dönemi gözlemlenmemiş olup, işlemin tamamı azalan hız döneminde gerçekleşmiştir. Nem içeriği azaldıkça kuruma hızında doğrusal bir düşüş meydana gelmiştir. Maksimum kuruma hızı, nem içeriğinin yüksek olduğu başlangıç aşamasında yaklaşık 0.004 kg su/kg KM h olarak tespit edilmiştir. Bu değer, diğer kontrollü kurutma yöntemlerine kıyasla oldukça düşüktür ve işlemin verimliliğinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tepsili kurutucuda 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda kurutulan incirlerin nem içeriği-zaman grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Sıcaklık artışının, nem içeriğinin azalma hızını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Tepsili kurutucuda 2 m/s hava hızında 60 °C uygulamasında kuruma süresi 2.400 dakika iken, sıcaklığın 80 °C'ye çıkarılmasıyla bu süre 1.080 dakikaya düşmüştür. Artan sıcaklık, ürün ile hava arasındaki buhar basıncı farkını artırarak kütle transferini hızlandırmış ve kuruma süresini kısaltmıştır.



**Şekil 4.3.** Güneşte kurutulan incir örneklerine ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi

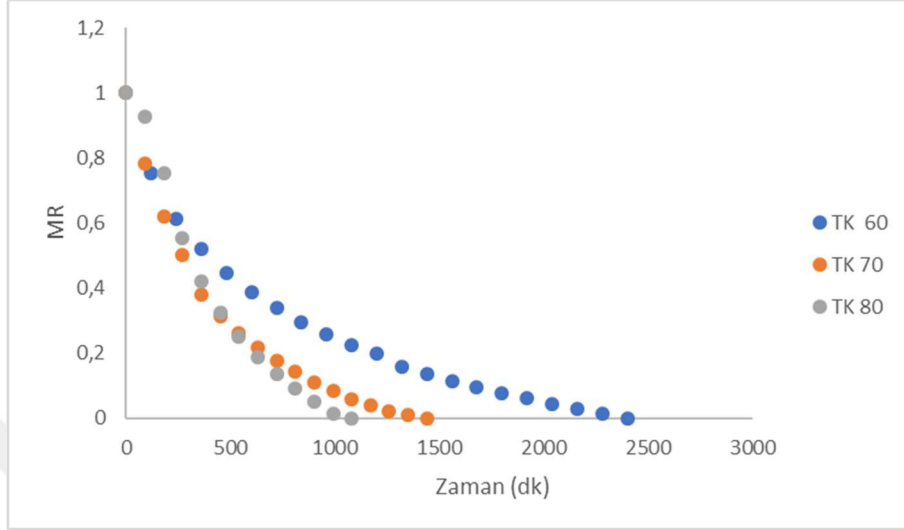


**Şekil 4.4.** Farklı sıcaklıklarda (TK 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

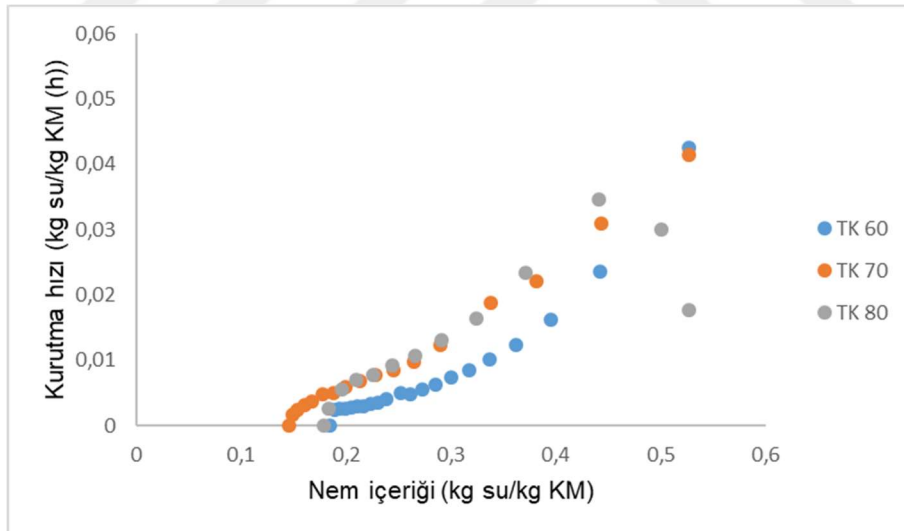
Farklı sıcaklık parametrelerinde elde edilen MR değişim eğrileri Şekil 4.5'te sunulmuştur. Tüm sıcaklık seviyelerinde MR değerleri zamanla azalma göstermiştir. Ancak TK 80 eğrisinin, TK 60 ve TK 70 eğrilerine göre daha dik bir eğime sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun, yüksek sıcaklığın su moleküllerinin difüzyon katsayısını artırarak nemin üründen daha hızlı uzaklaştırılmasını sağladığı düşünülmektedir.

Tepsili kurutma yönteminde kuruma hızının nem içeriği ile değişimi Şekil 4.6'da yer almaktadır. Sıcaklık arttıkça kuruma hızında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Maksimum

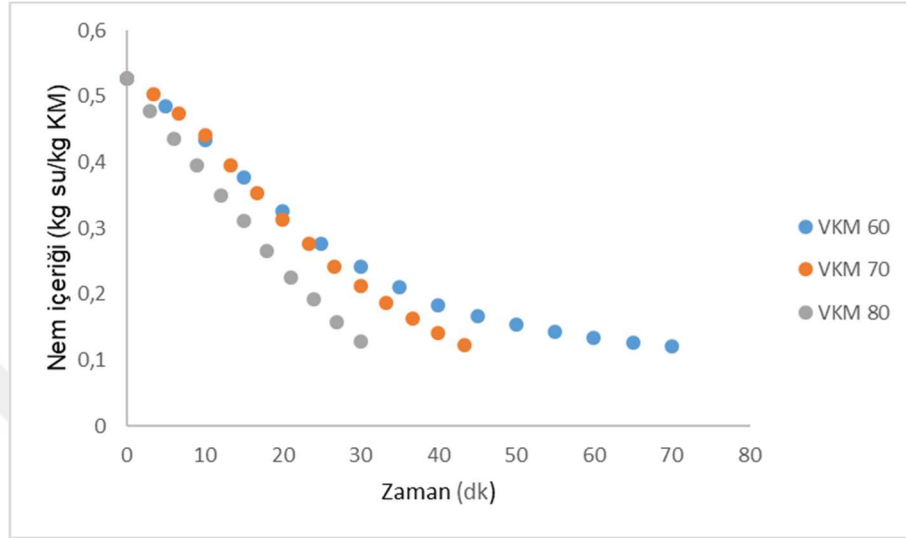
kuruma hızı TK 80 uygulamasında yaklaşık 0.0137 kg su/kg KM h seviyesine ulaşırken, TK 60 uygulamasında bu değer daha düşük(0.0081 kg su/kg KM h) kalmıştır.



**Şekil 4.5.** Farklı sıcaklıklarda (TK 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi



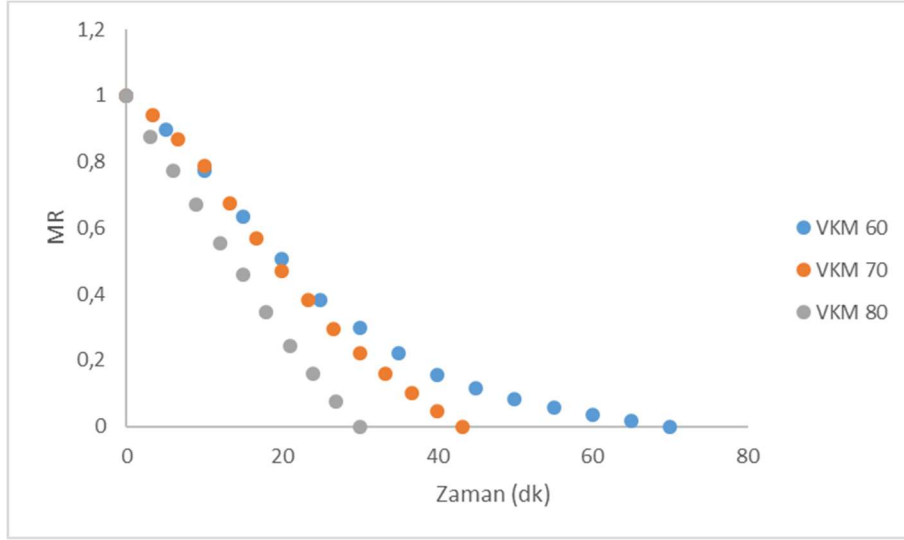
ulaşması yaklaşık 30 dakika sürerken, VMD 60 uygulamasında bu süre 70 dakika civarında tamamlanmıştır. Mikrodalga enerjisinin sağladığı hacimsel ısıtma etkisi, suyun ürün yapısından hızla uzaklaştırılmasını sağlamıştır.



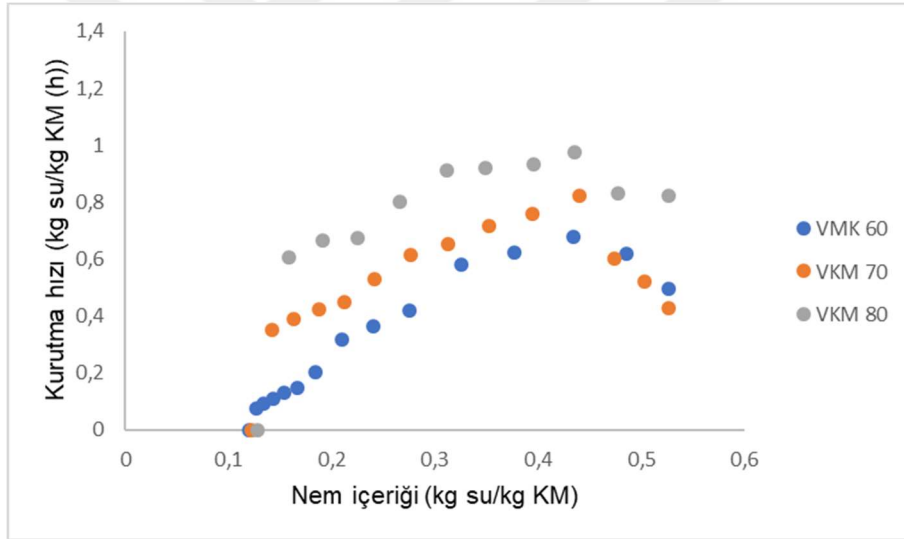
**Şekil 4.7.** Farklı sıcaklıklarda (VMD 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

VMD yöntemiyle kurutulan örnekler için MR-zaman grafiği Şekil 4.8. ve kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.9’da sunulmuştur. MR değerlerinde işlem başlangıcından itibaren çok hızlı bir düşüş kaydedilmiştir. Özellikle ilk 20 dakikalık periyotta, nem oranının 1.0’dan 0.22 seviyelerine kadar gerilediği görülmektedir. Bu hızlı düşüş, vakum ortamının kaynama noktasını düşürmesi ve mikrodalga enerjisinin su moleküllerini doğrudan hedef alması sonucunda oluşan yüksek kurutma potansiyelini yansıtmaktadır.

İncir örneklerinin üç farklı kurutma yöntemi (Güneş, TK ve VMD) ile kurutulması sonucunda elde edilen ortalama kuruma hızları, toplam işlem süreleri ve Fick’in ikinci yasasına göre hesaplanan efektif nem difüzyon katsayıları  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Elde edilen veriler, enerji kaynağının ve ısı transfer mekanizmasının kurutma performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını nicel olarak ortaya koymaktadır.



**Şekil 4.8.** Farklı sıcaklıklarda (VMD 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait boyutsuz nem oranının (MR) zamana bağlı değişimi



**Şekil 4.9.** Farklı sıcaklıklarda (VKM 60, 70, 80 °C) kurutulan incir örneklerine ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi

Kurutma sürecinde suyun ürün içinden yüzeye taşınım hızını ifade eden  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) değerleri, kurutma mekanizmasının anlaşılması açısından en kritik parametredir. Gıda maddeleri için literatürde belirtilen genel  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) aralığı  $10^{-11}$  ile  $10^{-9}$   $m^2/s$  arasındadır (Zogzas vd., 1996).

Güneşte Kurutma Hesaplanan  $6.35 \times 10^{-9}$   $m^2/s$  değeri, literatürdeki standart difüzyon aralığı ile uyumludur ve suyun sadece konsantrasyon farkı ile (yavaş difüzyon) hareket ettiğini göstermektedir.

Tepsili Kurutma (TK): Sıcaklık artışıyla birlikte  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) değerleri  $4.93 \times 10^{-8}$  ile  $11.83 \times 10^{-7}$

$m^2/s$  aralığında değişmiştir. Sıcaklığın artmasının su moleküllerinin kinetik enerjisini artırarak difüzyonu kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

**Tablo 4.1.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamaları İle Kurutulan İncirlerin Kurutma Hızı, Kurutma Süresi ve Difüzyon Katsayısı Değerleri

| Numune        | Kurutma Hızı<br>(kg su/kg KM h) | Süre<br>(dk) | Difüzyon Katsayısı<br>$D_{eff} (m^2/s)$ |
|---------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------------------|
| <b>GK</b>     | 0.0012                          | 17280.00     | $6.35 \times 10^{-09}$                  |
| <b>TK 60</b>  | 0.0081                          | 2400.00      | $4.93 \times 10^{-08}$                  |
| <b>TK 70</b>  | 0.0109                          | 1400.00      | $9.42 \times 10^{-08}$                  |
| <b>TK 80</b>  | 0.0137                          | 1080.00      | $11.83 \times 10^{-07}$                 |
| <b>VMD 60</b> | 0.3240                          | 70.00        | $1.87 \times 10^{-06}$                  |
| <b>VMD 70</b> | 0.5190                          | 43.33        | $2.23 \times 10^{-06}$                  |
| <b>VMD 80</b> | 0.7400                          | 30.00        | $2.73 \times 10^{-06}$                  |

Kurutma sürecinde suyun ürün içinden yüzeye taşınım hızını ifade eden  $D_{eff} (m^2/s)$  değerleri, kurutma mekanizmasının anlaşılması açısından en kritik parametredir. Gıda maddeleri için literatürde belirtilen genel  $D_{eff} (m^2/s)$  aralığı  $10^{-11}$  ile  $10^{-9} m^2/s$  arasındadır (Zogzas vd., 1996).

Güneşte Kurutma Hesaplanan  $6.35 \times 10^{-9} m^2/s$  değeri, literatürdeki standart difüzyon aralığı ile uyumludur ve suyun sadece konsantrasyon farkı ile (yavaş difüzyon) hareket ettiğini göstermektedir. Tepsili Kurutma (TK): Sıcaklık artışıyla birlikte  $D_{eff} (m^2/s)$  değerleri  $4.93 \times 10^{-8}$  ile  $11.83 \times 10^{-7} m^2/s$  aralığında değişmiştir. Sıcaklığın artmasının su moleküllerinin kinetik enerjisini artırarak difüzyonu kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

Vakum Mikrodalga (VMD): VMD yönteminde  $D_{eff} (m^2/s)$  değerleri  $1.87 \times 10^{-6}$  ile  $2.73 \times 10^{-6} (m^2/s)$  seviyelerine yükselmiştir. Bu değerler, Tepsili kurutma yönteminden yaklaşık 20-50 kat, güneşte kurutma yönteminden ise yaklaşık 300-400 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

İncir örneklerinin farklı kurutma koşullarındaki boyutsuz nem oranı (MR) verileri, kurutma davranışını en uygun tahmin modelini saptamak amacıyla, literatürde sıkça tercih edilen on farklı ince tabaka kurutma modeline (Thin Layer Drying Models) uygulanmıştır. Modellerin performans değerlendirmesi; determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama kare hata kökü (RMSE) ve ki-kare ( $\chi^2$ ) istatistiksel parametreleri dikkate alınarak yapılmıştır (Tablo 4.2 ve 4.3.).

**Tablo 4.2.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları

| Model                       | Sabitler ve Katsayılar | GK      | TK      |         |         |          | VKM     |         |  |
|-----------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|--|
|                             |                        | 35 °C   | 60 °C   | 70 °C   | 80 °C   | 60 °C    | 70 °C   | 80 °C   |  |
| Lewis                       | $k$                    | 0.012   | 0.092   | 0.153   | 0.149   | 0.040    | 0.043   | 0.062   |  |
|                             | $X^2$                  | 0.00073 | 0.00121 | 0.00022 | 0.00391 | 0.00344  | 0.00933 | 0.00716 |  |
|                             | $RMSE$                 | 0.02602 | 0.03398 | 0.01441 | 0.06011 | 0.05666  | 0.09309 | 0.08066 |  |
|                             | $R^2$                  | 0.993   | 0.983   | 0.996   | 0.967   | 0.970    | 0.922   | 0.936   |  |
| Page                        | $k$                    | 0.016   | 0.142   | 0.159   | 0.065   | 0.01     | 0.004   | 0.012   |  |
|                             | $n$                    | 0.937   | 0.837   | 0.982   | 1.407   | 1.417    | 1.738   | 1.569   |  |
|                             | $X^2$                  | 0.00065 | 0.00045 | 0.00023 | 0.00044 | 0.000052 | 0.00072 | 0.00178 |  |
|                             | $RMSE$                 | 0.02351 | 0.02010 | 0.01411 | 0.01927 | 0.00672  | 0.02491 | 0.03816 |  |
|                             | $R^2$                  | 0.994   | 0.994   | 0.998   | 0.997   | 1        | 0.996   | 0.987   |  |
| Henderson ve Pabis          | $k$                    | 0.011   | 0.085   | 0.152   | 0.162   | 0.044    | 0.049   | 0.067   |  |
|                             | $a$                    | 0.984   | 0.93    | 0.991   | 1.096   | 1.09     | 1.125   | 1.08    |  |
|                             | $X^2$                  | 0.00081 | 0.00078 | 0.00023 | 0.00286 | 0.00258  | 0.00727 | 0.00666 |  |
|                             | $RMSE$                 | 0.02626 | 0.02657 | 0.01413 | 0.04919 | 0.04726  | 0.07896 | 0.07383 |  |
|                             | $R^2$                  | 0.993   | 0.99    | 0.998   | 0.978   | 0.979    | 0.943   | 0.947   |  |
|                             | $k$                    | 0.011   | 0.077   | 0.152   | 0.162   | 0.044    | 0.049   | 0.067   |  |
|                             | $a$                    | 0.496   | 0.617   | 0.352   | 0.312   | 0.366    | 0.377   | 0.360   |  |
|                             | $g$                    | 0.039   | 0.077   | 0.152   | 0.162   | 0.044    | 0.049   | 0.067   |  |
|                             | $b$                    | 0.117   | 0.221   | 0.305   | 0.504   | 0.391    | 0.370   | 0.360   |  |
| Modifiye Henderson ve Pabis | $h$                    | 0.011   | 0.818   | 0.152   | 0.162   | 0.044    | 0.049   | 0.067   |  |
|                             | $c$                    | 0.390   | 0.161   | 0.334   | 0.279   | 0.350    | 0.378   | 0.360   |  |
|                             | $X^2$                  | 0.00111 | 0.00030 | 0.00031 | 0.00449 | 0.00377  | 0.01091 | 0.01199 |  |
|                             | $RMSE$                 | 0.02439 | 0.01469 | 0.01413 | 0.04919 | 0.04755  | 0.07896 | 0.07383 |  |
|                             | $R^2$                  | 0.994   | 0.997   | 0.998   | 0.978   | 0.979    | 0.943   | 0.947   |  |

**Tablo 4.2 (devamı).** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları

| Model             | Sabitler ve Katsayılar | GK      | TK      |         |         |         | VKM     |         |  |
|-------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|                   |                        | 35 °C   | 60 °C   | 70 °C   | 80 °C   | 60 °C   | 70 °C   | 80 °C   |  |
| Logaritmik        | <i>k</i>               | 0.011   | 0.087   | 0.144   | 0.115   | 0.031   | 0.012   | 0.012   |  |
|                   | <i>a</i>               | 0.985   | 0.928   | 1.001   | 1.23    | 1.214   | 2.607   | 3.343   |  |
|                   | <i>c</i>               | -0.001  | 0.04    | -0.018  | -0.171  | -0.162  | -1.563  | -2.341  |  |
|                   | <i>X</i> <sup>2</sup>  | 0.00088 | 0.00227 | 0.00019 | 0.00120 | 0.00086 | 0.00078 | 0.00006 |  |
|                   | <i>RMSE</i>            | 0.02601 | 0.04408 | 0.01265 | 0.03040 | 0.02617 | 0.02476 | 0.00698 |  |
|                   | <i>R</i> <sup>2</sup>  | 0.993   | 0.99    | 0.998   | 0.992   | 0.994   | 0.995   | 0.999   |  |
| İki terimli       | <i>k</i>               |         | 0.882   | 0.152   | 0.162   | 0.044   | 0.049   | 0.067   |  |
|                   | <i>a</i>               |         | 0.159   | 0.570   | 0.87    | 0.545   | 0.551   | 0.779   |  |
|                   | <i>c</i>               |         | 0.078   | 0.152   | 0.162   | 0.044   | 0.049   | 0.067   |  |
|                   | <i>b</i>               |         | 0.842   | 0.38    | 0.226   | 0.545   | 0.026   | 0.3     |  |
|                   | <i>X</i> <sup>2</sup>  |         | 0.00014 | 0.00026 | 0.00350 | 0.00305 | 0.11535 | 0.00666 |  |
|                   | <i>RMSE</i>            |         | 0.01046 | 0.01413 | 0.04919 | 0.04726 | 0.28704 | 0.06792 |  |
|                   | <i>R</i> <sup>2</sup>  |         | 0.997   | 0.998   | 0.978   | 0.979   | 0.943   | 0.947   |  |
|                   | <i>k</i>               | 0.225   | 0.509   | 0.160   | 0.232   | 0.078   | 0.073   | 0.097   |  |
|                   | <i>a</i>               | 0.049   | 0.155   | 0.8     | 1.999   | 2.159   | 2.105   | 1.978   |  |
| İki terimli Üstel | <i>X</i> <sup>2</sup>  | 0.00063 | 0.00032 | 0.00024 | 0.00036 | 0.00382 | 0.00168 | 0.00219 |  |
|                   | <i>RMSE</i>            | 0.02300 | 0.01689 | 0.01449 | 0.01740 | 0.05754 | 0.03796 | 0.04310 |  |
|                   | <i>R</i> <sup>2</sup>  | 0.994   | 0.996   | 0.996   | 0.997   | 0.943   | 0.987   | 0.979   |  |
|                   | <i>k</i>               | 0.039   | 0.881   | 1.652   | 0.063   | 0.08    | 0.1     | 0.13    |  |
|                   | <i>a</i>               | 0.113   | 0.158   | 0.024   | 15.567  | -54.399 | -77.963 | -70.201 |  |

**Tablo 4.2 (devamı).** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının On Farklı Kurutma Modeline Ait İstatistiksel Analiz Sonuçları

| Model              | Sabitler ve Katsayılar | GK       | TK      |         |         | VKM     |          |          |
|--------------------|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|                    |                        | 35 °C    | 60 °C   | 70 °C   | 80 °C   | 60 °C   | 70 °C    | 80 °C    |
| Difüzyon Yaklaşımı | <i>b</i>               | 0.273    | 0.088   | 0.091   | 0.938   | 0.984   | 0.986    | 0.987    |
|                    | <i>X<sup>2</sup></i>   | 0.00064  | 0.00012 | 0.00023 | 0.00161 | 0.00012 | 0.00142  | 0.00213  |
|                    | <i>RMSE</i>            | 0.02221  | 0.01014 | 0.01375 | 0.03524 | 0.00974 | 0.03344  | 0.04051  |
|                    | <i>R<sup>2</sup></i>   | 0.994    | 0.997   | 0.998   | 0.989   | 0.999   | 0.990    | 0.981    |
|                    | <i>k</i>               |          | 0.1     | 0.133   | 0.061   | 0.079   | 0.1      | 0.129    |
|                    | <i>a</i>               |          | -0.046  | 244.641 | 92.521  | 151.88  | -199.762 | 219.516  |
| Verma              | <i>g</i>               |          | 0.1     | 0.133   | 0.061   | 0.08    | 0.099    | 0.129    |
|                    | <i>X<sup>2</sup></i>   |          | 0.00177 | 0.00189 | 0.10391 | 0.05290 | 0.05564  | 0.05885  |
|                    | <i>RMSE</i>            |          | 0.03898 | 0.03949 | 0.28272 | 0.20573 | 0.20909  | 0.21276  |
|                    | <i>R<sup>2</sup></i>   |          | 0.977   | 0.997   | 0.989   | 0.999   | 0.990    | 0.981    |
| Wang ve Sing       | <i>a</i>               | -0.008   | -0.063  | -0.104  | -0.109  | -0.029  | -0.028   | -0.043   |
|                    | <i>b</i>               | 0.000017 | 0.001   | 0.003   | 0.003   | 0.00022 | 0.000088 | 0.000331 |
|                    | <i>X<sup>2</sup></i>   | 0.47317  | 0.38587 | 0.66892 | 0.06946 | 0.20809 | 0.00694  | 0.01059  |
|                    | <i>RMSE</i>            | 0.63275  | 0.59086 | 0.69123 | 0.24243 | 0.42467 | 0.07714  | 0.09465  |
|                    | <i>R<sup>2</sup></i>   | 0.954    | 0.916   | 0.961   | 0.991   | 0.996   | 0.993    | 0.992    |

**Tablo 4.3.** İncir Örneklerinin Kurutma Süreçlerinde En Yüksek Uyum Performansı Gösteren Matematiksel Kurutma Modellerinin Özeti

| Kurutma Yöntemi        | En İyi Model | R <sup>2</sup> Aralığı | RMSE Aralığı  | $\chi^2$ Aralığı |
|------------------------|--------------|------------------------|---------------|------------------|
| Güneşte Kurutma (GK)   | Page         | 0.993 - 0.994          | 0.023 - 0.026 | < 0.001          |
| Tepsili Kurutucu (TK)  | Page         | 0.994 - 0.998          | 0.014 - 0.020 | < 0.001          |
| Vakum Mikrodalga (VMD) | Page         | 0.987 - 1.000          | 0.006 - 0.038 | < 0.002          |

Analiz sonuçlarına göre; hem Vakum Mikrodalga (VMD) hem de Tepsili Kurutma (TK) yöntemlerinde deneysel verilere en yüksek uyumu sağlayan modelin Page Modeli olduğu belirlenmiştir.

Page Modeli Performansı: VMD ve TK uygulamaları için Page modeline ait R<sup>2</sup>değerleri 0.987 ile 1.000 arasında değişirken, hata parametreleri oldukça düşük seviyelerde ( $\chi^2 < 0.0018$  ve RMSE < 0.038) hesaplanmıştır. Özellikle VMD 60 uygulamasında modelin deneysel verilerle mükemmel bir örtüşme (R<sup>2</sup>=1.000) sergilediği görülmüştür. Buna karşılık, Wang ve Singh modeli bazı kurutma koşullarında yüksek hata değerleri (RMSE > 0.59) vererek incir kurutma kinetiğini tanımlamada yetersiz kalmıştır. Ayrıca Difüzyon Yaklaşımı modeli de VMD verileriyle güçlü bir uyum (R<sup>2</sup>> 0.98) göstermiştir.

Elde edilen bu bulgular, incir kurutma sürecinin simülasyonunda ve endüstriyel kurutma sistemlerinin tasarımında Page Modelinin en güvenilir ve tutarlı model olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, literatürde incir ve benzeri meyveler üzerine yapılan çalışmalarla (Doymaz, 2005; Xanthopoulos vd., 2007) uyumluluk göstermektedir.

#### 4.2. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının pH Değeri Üzerindeki Etkileri

İncir örneklerinin pH değerleri üzerine farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklık uygulamalarının etkisi Tablo 4.4’de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, uygulanan

işlemlerin örneklerin asitlik değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşturduğu görülmektedir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.4.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının pH Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune   | pH                     |
|----------|------------------------|
| Hammadde | $5.05 \pm 0.04^d$      |
| GK       | $5.31 \pm 0.02^a$      |
| TK 60    | $4.89 \pm 0.01^{e, A}$ |
| TK 70    | $4.80 \pm 0.05^{f, B}$ |
| TK 80    | $4.48 \pm 0.01^{g, C}$ |
| VMD 60   | $5.36 \pm 0.01^{a, A}$ |
| VMD 70   | $5.23 \pm 0.01^{b, B}$ |
| VMD 80   | $5.15 \pm 0.01^{c, C}$ |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

Hammaddeye ait pH değeri  $5.05 \pm 0.04$  olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemleri kıyaslandığında, en düşük pH değerleri tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerde tespit edilmiştir. Tepsili kurutma yönteminde sıcaklık arttıkça pH değerinde düşüş gözlemlenmiştir. TK 60 °C uygulamasında 4.89 olan pH değeri, TK 80 °C uygulamasında 4.48'e kadar gerilediği, gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Tepsili kurutma sırasında uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmanın, meyve yapısındaki şekerlerin parçalanmasına ve enzimatik olmayan esmerleşme (Maillard) reaksiyonlarını tetikleyerek formik asit ve asetik asit gibi asidik karakterli yan ürünlerin oluşumuna neden olduğu bilinmektedir (Lertworasirikul vd., 2011).

Polat ve Çalışkan (2008) tarafından yapılan Türkiye'de yetişen farklı incir genotiplerinin fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği çalışmada incirlerin pH aralığı (4.85-5.23), çalışmamızdaki VMD ve GK bulguları ile örtüşürken, yüksek sıcaklıklı TK uygulamalarının bu aralığın altında kaldığı görülmektedir.

Diğer taraftan, VMD (Vakum Mikrodalga) ve Güneşte Kurutma yöntemlerinde pH değerlerinin hammaddeye kıyasla daha yüksek veya benzer seviyelerde korunduğu belirlenmiştir. En yüksek pH değeri VMD 60 ( $5.36 \pm 0.01$ ) ve Güneş ( $5.31 \pm 0.02$ ) örneklerinde gözlemlenmiştir. VMD yönteminde ortamın vakum altında olması, düşük kaynama noktasına sahip bazı uçucu asitlerin ortamdan uzaklaşmasına olanak tanımış ve bu durum nihai üründe pH değerinin TK yöntemine göre daha yüksek kalmasını sağlamış olabileceği düşünülmektedir. Ancak VMD yönteminde de sıcaklık artışı ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye), TK yöntemine benzer şekilde pH değerinde kısmi bir düşüşe ( $5.36$ 'dan  $5.15$ 'e) neden olduğu ve gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Bu durum, literatürdeki bilgilere paralel olarak, yöntem fark etmeksizin termal yükün artmasının asiditeyi etki ettiğini göstermektedir (Arslan ve Özcan, 2010).

#### **4.3. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Titrasyon Asitliği Değeri Üzerindeki Etkileri**

İncir örneklerinin sitrik asit cinsinden titrasyon asitliği değerleri (%) üzerine farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklık parametrelerinin etkisi Tablo 4.5'de sunulmuştur. Gıdalarda tat dengesinin (şeker/asit oranı) ve mikrobiyal stabilitenin önemli bir göstergesi olan titrasyon asitliği açısından, uygulanan işlemler istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

Hammaddeye ait titrasyon asitliği değeri  $\%1.30 \pm 0.001$  olarak ölçülmüş olup, bu değer tüm örnekler içerisindeki en yüksek asitlik değeridir. Kurutma işlemiyle birlikte tüm örneklerde asitlik değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Literatürde, kurutma sırasında organik asitlerin (özellikle sitrik ve malik asit) yüksek sıcaklığa duyarlı olmaları nedeniyle termal degradasyona uğradığı, ayrıca bazı uçucu asitlerin buharlaşarak uzaklaştığı belirtilmektedir (Wojdyło vd., 2009).

VMD 60 uygulamasında asitlik  $\%0.42$  ile en düşük seviyedeysen, sıcaklık değerinin artmasıyla birlikte VMD 70'te  $\%0.68$ 'e, VMD 80'de ise  $\%0.80$ 'e yükselmiştir. Vakum mikrodalga kurutma yönteminde sıcaklığın tistrasyon asitliği üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Buna karşın TK yönteminde, sıcaklık artışı asitliğin korunmasına olumlu bir katkı sağlamamıştır. TK 70 örneğinde  $\%0.55$  olan asitlik, TK 80 örneğinde  $\%0.45$ 'e

düştüğü tespit edilmiştir. Konvektif kurutma sırasında sıcak havanın sürekli sirkülasyonu ve işlemin uzun sürmesi, uçucu asitlerin kaybını artırmış ve termal parçalanmayı hızlandırmıştır (Alibas, 2007).

**Tablo 4.5.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Titrasyon Asitliği Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune          | Titrasyon Asitliği<br>(%sitrik asit cinsinden KM) |
|-----------------|---------------------------------------------------|
| <b>Hammadde</b> | 1.30±0.001 <sup>a</sup>                           |
| <b>GK</b>       | 0.47±0.010 <sup>f</sup>                           |
| <b>TK 60</b>    | 0.50±0.012 <sup>e, B</sup>                        |
| <b>TK 70</b>    | 0.55±0.027 <sup>d, A</sup>                        |
| <b>TK 80</b>    | 0.45±0.010 <sup>fg, C</sup>                       |
| <b>VMD 60</b>   | 0.42±0.009 <sup>g, C</sup>                        |
| <b>VMD 70</b>   | 0.68±0.028 <sup>c, B</sup>                        |
| <b>VMD 80</b>   | 0.80±0.023 <sup>b, A</sup>                        |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir (p<0.05).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir (p<0.05).

Elde edilen bulgular, Türk Kuru İncir Standardı (TS 541) ve literatür verileri ile kıyaslandığında; VMD ve GK numunelerinin asitlik değerlerinin, kaliteli kuru incir için öngörülen 0.5-1.2 (g/100g) referans aralığında kaldığı, TK 80 gibi yüksek ısı işlem gören numunelerin ise bu aralığın üst sınırını zorladığı veya aştığı değerlendirilmektedir.

Polat ve Çalışkan (2008) tarafından yapılan çalışmada, Sarılop çeşidi kuru incirlerde titrasyon asitliğinin genotipe ve ekolojik koşullara bağlı olarak %0.65 ile %1.10 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Bu sonuç çalışmada elde edilen verilerle uyumluluk göstermektedir.

Sonuç olarak; incirin karakteristik ekşi-tatlı dengesinin korunması açısından asitleri en iyi muhafaza eden yöntemin, hızlı işlem süresi avantajıyla VMD 80 uygulaması olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.4. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Kurumadde Değeri Üzerindeki Etkileri

Farklı kurutma yöntemleri (Güneş, TK ve VMD) ve sıcaklık parametreleri ile kurutulan incir örneklerinin nihai nem içerikleri (%) Tablo 4.6’da sunulmuştur. Kurutma işleminin temel amacı olan nemin uzaklaştırılması açısından yöntemler değerlendirildiğinde, tüm uygulamaların hammaddeye kıyasla nem içeriğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşürdüğü görülmektedir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.6.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Kurumadde Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune   | Nem (%)                    |
|----------|----------------------------|
| Hammadde | 47.33±0.40 <sup>a</sup>    |
| GK       | 12.67±0.23 <sup>c</sup>    |
| TK 60    | 13.20±0.36 <sup>c, B</sup> |
| TK 70    | 15.80±0.41 <sup>b, A</sup> |
| TK 80    | 15.33±0.14 <sup>b, A</sup> |
| VMD 60   | 11.05±0.65 <sup>d, A</sup> |
| VMD 70   | 9.31±0.43 <sup>e, B</sup>  |
| VMD 80   | 9.66±0.22 <sup>e, B</sup>  |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

Başlangıçta %47.33±0.40 nem içeriğine sahip olan taze incirler, uygulanan işlemler sonucunda TS 541 Kuru incir standartlarında belirtilen maksimum nem sınırının (%26) altına düşürülmüştür. Bu durum, uygulanan tüm yöntemlerin ürünü yasal ve ticari olarak kabul edilebilir kuruluk seviyesine getirebildiğini göstermektedir.

Yöntemler etkinlik açısından kıyaslandığında, en düşük nem değerlerine VMD (Vakum Mikrodalga) yöntemiyle ulaşılmıştır. Özellikle VMD 70 (%9.31) ve VMD 80 (%9.66) uygulamaları arasında istatistiksel bir fark bulunmamış ve bu grup en düşük nem içeriğine sahip grup olarak belirlenmiştir.

Beklenenin aksine, sıcaklık artışı nem içeriğinde doğrusal bir düşüş sağlamamıştır. 60 °C’de kurutulan örneklerin nem içeriği %13.20 iken, sıcaklık 70 °C ve 80 °C’ye çıkarıldığında nem oranı sırasıyla %15.80 ve %15.33 seviyelerinde bulunmuştur. Yüksek sıcaklık, ürün yüzeyindeki suyun çok hızlı buharlaşmasına neden olarak yüzeyde sert ve gözeneksiz bir tabaka oluşturmuş; bu durum iç kısımdaki nemin dışarıya difüzyonunu fiziksel olarak engellemiştir (Moscetti vd., 2017). Bu bulgu, TK 70 ve TK 80 gruplarının su aktivitesi ( $a_w$ ) değerlerinin yüksek çıkmasıyla da örtüşmektedir.

Güneşte kurutma yöntemi sonucunda elde edilen nem değeri ( $\%12.67 \pm 0.23$ ), TK 60 uygulaması ile istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Sonuç olarak; nemin üründen uzaklaştırılması (kurutma etkinliği) açısından en başarılı yöntemin VMD olduğu, TK yönteminde ise 70 °C ve üzeri sıcaklıkların yüzey sertleşmesine neden olarak nem atımını zorlaştırdığı düşünülmektedir.

#### **4.5. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Su Aktivitesi Değeri Üzerindeki Etkileri**

Farklı kurutma yöntemleri (Güneş, TK ve VMD) ve sıcaklık parametreleri uygulanarak kurutulan incir örneklerinin su aktivitesi ( $a_w$ ) değerleri Tablo 4.7’de sunulmuştur. Gıdaların raf ömrü, mikrobiyal stabilitesi ve fiziksel özellikleri üzerinde belirleyici bir parametre olan su aktivitesi açısından, tüm kurutma yöntemleri hammaddeye kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş sağlamıştır ( $p < 0.05$ ).

Hammadde su aktivitesi değeri  $0.65 \pm 0.00$  olarak ölçülmüştür. Uygulanan kurutma işlemleri sonucunda tüm örneklerin su aktivitesi değerleri, küf ve maya gelişimi için kritik sınır kabul edilen 0.60 değerinin (Tapia vd., 2020) oldukça altına düşürülmüştür. Bu sonuç, uygulanan tüm yöntemlerin mikrobiyal bozulmayı engelleyerek ürünün raf ömrünü uzatacak güvenli kuruluk seviyesini sağladığını göstermektedir.

Yöntemler karşılaştırıldığında, en düşük su aktivitesi değerlerine VMD (Vakum Mikrodalga) yönteminde ulaşılmıştır ( $0.34 \pm 0.001$ ). Vakum ortamının suyun kaynama noktasını düşürmesi ve mikrodalga enerjisinin ürünün iç kısmında oluşturduğu iç basınç sayesinde suyun yüzeye difüzyonunu hızlandırması, suyun yapıdan daha etkin uzaklaştırılmasını sağlamıştır (Motevali

vd., 2011). Vakum mikrodalga kurutma yönteminde sıcaklığın su aktivitesi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.7.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Su Aktivitesi Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune          | Su Aktivitesi<br>( $a_w$ ) |
|-----------------|----------------------------|
| <b>Hammadde</b> | $0.65 \pm 0.001^a$         |
| <b>GK</b>       | $0.36 \pm 0.010^d$         |
| <b>TK 60</b>    | $0.39 \pm 0.002^{c, B}$    |
| <b>TK 70</b>    | $0.45 \pm 0.005^{b, A}$    |
| <b>TK 80</b>    | $0.36 \pm 0.010^{d, C}$    |
| <b>VMD 60</b>   | $0.35 \pm 0.001^{d, A}$    |
| <b>VMD 70</b>   | $0.34 \pm 0.001^{e, B}$    |
| <b>VMD 80</b>   | $0.34 \pm 0.003^{e, C}$    |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

TK yönteminde ise dikkat çekici bir bulguya rastlanmıştır. TK 60 örneği 0.39  $a_w$  değerine sahipken, sıcaklık 70 °C'ye çıkarıldığında su aktivitesi beklenmedik bir şekilde artarak 0.45 değerine ulaşmıştır. Yüksek sıcaklıkta yüzeyden hızlı nem kaybı, ürün yüzeyinde geçirimsiz sert bir tabaka (kabuk) oluşumuna neden olarak iç kısımdaki nemin dışarı çıkmasını engellemiş olabilir (Rahman, 2007). Ancak sıcaklık 80 °C'ye çıkarıldığında (TK 80), artan termal enerji bu direnci kırarak su aktivitesini tekrar 0.36 seviyesine düşürdüğü düşünülmektedir. Tepsili kurutma yönteminde sıcaklığın su aktivitesi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

Sonuç olarak; incirlerin depolama stabilitesi açısından en düşük su aktivitesi değerlerini sağlayan yöntemin, sıcaklık farkı gözetmeksizin (70-80 °C) vakum mikrodalga kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.6. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerindeki Etkileri

Farklı kurutma yöntemlerinin (GK, TK ve VMD) ve sıcaklık parametrelerinin, incir örneklerinin toplam fenolik madde (TFM) içeriği üzerindeki etkisi Tablo 4.8’de sunulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde, uygulanan kurutma yönteminin ve sıcaklık normlarının TFM değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir fark oluşturduğu görülmektedir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.8.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerindeki Etkileri

| Numune   | Toplam Fenolik Madde<br>(GAE/100g KM) |
|----------|---------------------------------------|
| Hammadde | 5.51±0.02 <sup>g</sup>                |
| GK       | 6.27±0.06 <sup>f</sup>                |
| TK 60    | 6.71±0.09 <sup>e, B</sup>             |
| TK 70    | 6.97±0.01 <sup>d, A</sup>             |
| TK 80    | 6.98±0.02 <sup>d, A</sup>             |
| VMD 60   | 7.15±0.09 <sup>c, C</sup>             |
| VMD 70   | 7.73±0.06 <sup>a, A</sup>             |
| VMD 80   | 7.53±0.01 <sup>b, B</sup>             |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

Tüm kurutulmuş örneklerin TFM miktarının (6.27 ile 7.73 GAE/100g KM arasında), hammaddeye (5.51±0.02 GAE/100g KM) kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kurutma işlemiyle birlikte üründen suyun uzaklaştırılması, kurumaddedeki biyoaktif bileşenlerin konsantrasyonunu artırmaktadır. Ayrıca ısıl işlemin, bitkisel dokuda hücre duvarı yapısını modifiye ederek kovalent bağlarla bağlı fenolik bileşiklerin serbest kalmasını sağladığı ve bu durumun ekstraksiyon verimini artırdığı belirtilmektedir (Wojdyło vd., 2009; Kamiloglu vd., 2015).

Kurutma yöntemleri karşılaştırıldığında; hammadde haricinde en düşük toplam fenolik madde içeriği güneşte kurutma (6.27±0.06 GAE/100g KM) yönteminde belirlenmiştir. TK uygulamalarında sıcaklık artışının (60°C’den 80°C’ye), TFM miktarını kısmen artırdığı

gözlemlense de TK 70 ( $6.97 \pm 0.01$  GAE/100g KM) ve TK 80 ( $6.98 \pm 0.02$  GAE/100g KM) örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı gözlenmiştir ( $p > 0.05$ ). Bu durum, belirli bir sıcaklık eşiğinden sonra fenolik bileşiklerin matristen salınımı ile termal bozunması arasında bir denge olduğu düşünülmektedir.

En yüksek toplam fenolik madde değeri, VMD 70 ( $7.73 \pm 0.06$  GAE/100g KM) örneğinde elde edilmiştir. VMD yönteminin, vakum ortamında oksijenin sınırlandırılması ve mikrodalga enerjisi ile kuruma süresinin kısalması sayesinde, fenolik bileşenleri oksidatif ve termal bozulmalara karşı daha iyi koruduğu düşünülmektedir (Özkan vd., 2019). Ancak, VMD yönteminde sıcaklığın  $80^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılması ( $7.53 \pm 0.01$  GAE/100g KM), TFM miktarında  $70^\circ\text{C}$ 'ye göre istatistiksel olarak önemli bir düşüşe neden olmuştur ( $p < 0.05$ ). Bu bulgu, aşırı yüksek sıcaklıkların veya mikrodalga gücünün ısıya duyarlı fenolik bileşiklerin yapısını bozduğunu düşünülmektedir (Vega-Gálvez vd., 2009). Sonuç olarak, incir örneklerinde toplam fenolik madde içeriklerinin korunması açısından en uygun yöntemin  $70^\circ\text{C}$  sıcaklıkta uygulanan vakum mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir.

#### **4.7. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Karotenoit Miktarı Üzerindeki Etkileri**

İncir örneklerinin toplam karotenoit miktarı üzerine farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklık uygulamalarının etkisi Tablo 4.9'da sunulmuştur. Biyoaktif bileşenler arasında yer alan ve özellikle lipofilik karakterleri ile bilinen karotenoitlerin, uygulanan ısı işlem ve koşullarından istatistiksel anlamlı bir etki altında olduğunu ortaya koymuştur ( $p < 0.05$ ).

Hammaddeye ait toplam karotenoit içeriği  $17.01 \pm 0.09$  ppm olarak belirlenmiştir. TK yöntemi, karotenoitler üzerinde en fazla yıkıma neden olan yöntem olduğu tespit edilmiştir. TK 60 uygulaması,  $7.88 \pm 0.06$  ppm ile tüm örnekler arasında en düşük değeri vermiştir. Sıcaklık  $60^\circ\text{C}$ 'den  $80^\circ\text{C}$ 'ye çıktığında karotenoit miktarı düşmek yerine kısmen artarak  $9.95 \pm 0.11$  ppm seviyesine ulaşmıştır. Düşük sıcaklıkta ( $60^\circ\text{C}$ ) kuruma süresinin çok uzaması, ürünün sıcak havaya ve oksijene maruz kaldığı süreyi artırarak oksidatif bozulmayı maksimize etmiştir. Buna karşın  $80^\circ\text{C}$ 'de kuruma süresinin kısalması, karotenoitleri oksidasyondan kısmen korumuştur (Goula ve Adamopoulos, 2010). Tepsili kurutma yönteminde sıcaklığın toplam karotenoit madde üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.9.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Karotenoit Miktarı Üzerindeki Etkileri

| Numune   | Toplam Karotenoit<br>(mg/1000 g KM) |
|----------|-------------------------------------|
| Hammadde | 17.01±0.09 <sup>a</sup>             |
| GK       | 8.07±0.06 <sup>f</sup>              |
| TK 60    | 7.88±0.06 <sup>g, C</sup>           |
| TK 70    | 9.03±0.06 <sup>d, B</sup>           |
| TK 80    | 9.95±0.12 <sup>c, A</sup>           |
| VMD 60   | 8.81±0.06 <sup>e, B</sup>           |
| VMD 70   | 13.92±0.04 <sup>b, A</sup>          |
| VMD 80   | 13.98±0.04 <sup>b, A</sup>          |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

VMD (Vakum Mikrodalga) yöntemi, özellikle yüksek sıcaklık/ sabit güç kombinasyonlarında TK yöntemine göre karotenoitleri daha iyi korumuştur. VMD 70 (13.92±0.04 ppm) ve VMD 80 (13.98±0.04 ppm) grupları arasında istatistiksel bir fark görülmemiş ( $p>0.05$ ) ve bu değerler hammaddeye en yakın kurutulmuş ürün değerleri olarak tespit edilmiştir.

Yemiş vd. (2012) yaptıkları çalışmada Sarılop incirinde toplam karotenoit miktarını 29.65 µg lutein eşdeğeri / g KM olarak tespit etmiştir. Aynı çalışmada 7 günlük güneşte kurutma süreci sonunda karotenoitlerin %80'inin parçalandığı belirlenmiştir.

Vakum ortamında oksijenin elimine edilmesi, oksidasyona son derece hassas olan karotenoitlerin (özellikle beta-karoten ve likopen türevlerinin) korunmasında belirleyici faktör olmuştur (Wojdyło vd., 2009). Sonuç olarak; kontrollü kurutma yöntemleri arasında karotenoit stabilitesini en iyi sağlayan yöntemin, işlem süresini kısaltması ve oksijeni uzaklaştırması nedeniyle VMD (70-80 °C) olduğu saptanmıştır.

#### 4.8. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Antioksidan Değeri Üzerindeki Etkileri

Taze incir örneklerinin toplam antioksidan aktivite değeri 82.03  $\mu\text{mol TE/g KM}$  olup tepsili kurutucu ve vakum destekli mikrodalga kurutucu sistemleri kullanılarak kurutulan kuru incir dilimlerin toplama antioksidan aktivite değerleri 59.23 -69.68  $\mu\text{mol TE/g KM}$  arasında değiştiği bulunmuştur (Tablo 4.10.). Sıcak hava ve mikrodalga kurutma sistemleri ile kurutulan incilerin taze incire kıyasla antioksidan aktivite değerinde önemli bir azalma olduğu gözlenmiştir. Horuz vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada mikrodalga (120, 150 ve 180 W) ve sıcak hava (50, 60 ve 70 °C) ile kurutulmuş kayısıların antioksidan özelliklerini karşılaştırmıştır. Sıcak hava ile kurutulan örneklerdeki antioksidan aktivite kaybının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 4.10.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Antioksidan Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune   | Antioksidan Aktivite<br>( $\mu\text{mol TE/g KM}$ ) |
|----------|-----------------------------------------------------|
| Hammadde | 82.03 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>                       |
| GK       | 60.75 $\pm$ 0.01 <sup>f</sup>                       |
| TK 60    | 59.23 $\pm$ 0.13 <sup>g, C</sup>                    |
| TK 70    | 63.70 $\pm$ 0.06 <sup>d, B</sup>                    |
| TK 80    | 65.39 $\pm$ 0.14 <sup>c, A</sup>                    |
| VMD 60   | 62.82 $\pm$ 0.09 <sup>e, C</sup>                    |
| VMD 70   | 65.47 $\pm$ 0.09 <sup>c, B</sup>                    |
| VMD 80   | 69.68 $\pm$ 0.09 <sup>b, A</sup>                    |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

Vakum mikrodalga ve tepsili kurutma işlemleri ile üretilen örnekler arasında toplam antioksidan aktivite açısından fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Tepsili kurutucuda kurutulan incir örneklerinde antioksidan aktivitenin hammaddeye kıyasla daha fazla azaldığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu azalmanın beklenen bir sonuç olduğu karşımıza çıkmaktadır. Antioksidan özellik gösteren karotenoit ve fenolik maddelerdeki azalmaya bağlı olarak antioksidan aktivite değerinde azalmanın olduğu düşünülmektedir.

İncir örneklerinin antioksidan aktivite değerleri ( $\mu\text{mol TE/g KM}$ ) üzerine farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklık uygulamalarının etkisi Tablo 4.10'da sunulmuştur. Biyoaktif bileşenlerin serbest radikalleri (DPPH vb.) indirgeme kapasitesini ifade eden bu değerler incelendiğinde, uygulanan kurutma işlemlerinin antioksidan kapasite üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişimlere neden olduğu görülmektedir ( $p<0.05$ ).

Kurutma işlemi sonucunda tüm gruplarda antioksidan aktivitede hammaddeye kıyasla bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durumun, C vitamini ve bazı fenolik bileşikler gibi ısıya duyarlı (termolabile) antioksidanların kurutma işlemi sırasında termal degradasyona uğraması ve oksidasyon sonucu yapılarının bozulması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Kamiloglu vd., 2015).

Yöntemler analiz edildiğinde; VMD (Vakum Mikrodalga) yöntemi, antioksidan kapasiteyi en iyi koruyan kurutma tekniği olarak öne çıkmaktadır. Özellikle VMD 80 uygulaması,  $69.68\pm0.09 \mu\text{mol TE/g KM}$  değeri ile kurutulmuş ürünler arasında en yüksek aktiviteyi göstermiştir. Vakum mikrodalga kurutma yönteminde sıcaklığın toplam antioksidan kapasite üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Vakum ortamında oksijenin elimine edilmesi oksidatif kayıpları önlerken, mikrodalga enerjisiyle kuruma süresinin kısalması biyoaktif bileşenlerin bozunmasını sınırlandırmıştır.

TK verileri incelendiğinde en düşük sıcaklık olan TK 60 uygulamasında antioksidan aktivite en düşük seviyede ( $59.23\pm0.12 \mu\text{mol TE/g KM}$ ) kalırken, sıcaklık  $80^\circ\text{C}$ 'ye çıkarıldığında aktivite  $65.39\pm0.14 \mu\text{mol TE/g KM}$  değerine yükselmiştir. Tepsili kurutma yönteminde sıcaklığın toplam antioksidan kapasite üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Güneşte kurutma yöntemi ( $60.75\pm0.01 \mu\text{mol TE/g KM}$ ), TK 60 grubuyla yakın değerler sergilemiştir.

Sonuç olarak; doğal biyoaktif bileşenlerin korunması ve yüksek antioksidan kapasitenin sürdürülmesi açısından en başarılı yöntemin VMD 80 olduğu, konvektif kurutmadaki aktivite artışının ise esmerleşme reaksiyonları ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.

#### 4.9. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Enzimatik Olmayan Esmerleşme Değeri Üzerindeki Etkileri

Farklı kurutma yöntemlerinin (Güneş, TK ve VMD) ve sıcaklık parametrelerinin, incir örneklerindeki enzimatik olmayan esmerleşme (EOE) reaksiyonları üzerindeki etkisi Tablo 4.11’de sunulmuştur. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimlerinin temel göstergesi olan enzimatik olmayan esmerleşme değerleri incelendiğinde, uygulanan tüm işlemlerin hammaddeye kıyasla esmerleşme derecesini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı belirlenmiştir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.11.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Enzimatik Olmayan Esmerleşme Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune   | Enzimatik Olmayan Esmerleşme<br>(A420 g <sup>-1</sup> KM) |
|----------|-----------------------------------------------------------|
| Hammadde | 0.18±0.03 <sup>g</sup>                                    |
| GK       | 0.49±0.02 <sup>a</sup>                                    |
| TK 60    | 0.32±0.02 <sup>d, B</sup>                                 |
| TK 70    | 0.34±0.01 <sup>cd, B</sup>                                |
| TK 80    | 0.43±0.02 <sup>b, A</sup>                                 |
| VMD 60   | 0.22±0.02 <sup>f, C</sup>                                 |
| VMD 70   | 0.26±0.02 <sup>e, B</sup>                                 |
| VMD 80   | 0.36±0.01 <sup>c, A</sup>                                 |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

Hammaddeye ait EOE değeri 0.18±0.03 olarak ölçülmüş olup, bu değer analiz edilen tüm gruplar arasındaki en düşük absorbans değeridir. Yöntemler karşılaştırıldığında, en yüksek esmerleşme değeri (0.49±0.01) güneşte kurutma yönteminde tespit edilmiştir. Güneşte kurutma işleminde, kurutma süresinin oldukça uzun olması ve ürünün doğrudan güneş ışığına (UV radyasyonu) maruz kalması, esmerleşme reaksiyonlarının ilerlemesine ve oksidatif değişimlere zemin hazırlamıştır (Maskan, 2001).

TK yöntemi incelendiğinde, sıcaklık artışının esmerleşme derecesini artırdığı görülmektedir. TK 60 örneğinde 0.32 olan enzimatik olmayan esmerleşme değeri, sıcaklığın 80 °C’ye

çıkarılmasıyla 0.43'e yükselmiştir. VMD (Vakum Mikrodalga) yöntemi, TK ve güneşte kurutma yöntemlerine kıyasla esmerleşme reaksiyonlarını en iyi minimize eden yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle VMD 60 ( $0.22 \pm 0.02$ ) ve VMD 70 ( $0.26 \pm 0.01$ ) örnekleri, hammaddeye en yakın değerleri vermiştir. Vakum mikrodalga kurutma yönteminde sıcaklığın enzimatik olmayan esmerleşme üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Vakum ortamında oksijen konsantrasyonunun düşük olması oksidatif esmerleşmeyi sınırlarken, mikrodalga enerjisi sayesinde kuruma süresinin kısalması da ısıl maruziyeti azaltmıştır (Zielinska vd., 2013).

Sonuç olarak; incir kurutma işleminde doğal rengin korunması ve istenmeyen esmerleşme reaksiyonlarının (yanık tadı ve koyu renk oluşumu) engellenmesi açısından en uygun yöntemin düşük sıcaklıkta (60-70 °C) uygulanan vakum mikrodalga kurutma (VMD) olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.10. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Canlı Bakteri ve Maya-Küf Sayımı Üzerindeki Etkileri

Hammadde, güneşte kurutulmuş, tepsili kurutucuda ve vakum mikrodalga kurutucuda kurutulmuş incirlerin TMAB ve TMK sayıları Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.12.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Toplam Canlı Bakteri ve Maya-Küf Sayımı Üzerindeki Etkileri

| Numune   | TMAB<br>(log cfu/g) | TMK<br>(log cfu/g) |
|----------|---------------------|--------------------|
| Hammadde | $8.87 \pm 0.05$     | $8.95 \pm 0.04$    |
| GK       | $5.73 \pm 0.07$     | $5.75 \pm 0.05$    |
| TK 60    | $2.49 \pm 0.05$     | $2.71 \pm 0.05$    |
| TK 70    | $1.75 \pm 0.02$     | $1.94 \pm 0.04$    |
| TK 80    | <1                  | <1                 |
| VMD 60   | $1.54 \pm 0.07$     | $1.48 \pm 0.06$    |
| VMD 70   | -                   | -                  |
| VMD 80   | -                   | -                  |

Hammadde de TMAB ve TMK sayıları sırasıyla  $8.87 \pm 0.05$  ve  $8.95 \pm 0.04$  log cfu/g olarak bulunmuştur. Güneşte kurutulmuş örneklerde ise yaklaşık 3 log'luk bir azalmayla TMAB ve TMK sayıları sırasıyla  $5.73 \pm 0.07$  ve  $5.75 \pm 0.05$  log cfu/g olarak tespit edilmiştir. 60 °C tepsili kurutucuda yapılan kurutmada TMAB ve TMK sayıları sırasıyla  $2.49 \pm 0.05$  ve  $2.71 \pm 0.05$  log cfu/g, 70 °C- tepsili kurutucu ise  $1.75 \pm 0.02$  ve  $1.94 \pm 0.04$  log cfu/g olarak belirlenmiştir. 60 °C, 4kW- vakum mikrodalga kurutmada hammaddeye göre yaklaşık 7 log'luk azalma ile TMAB ve TMK sayıları sırasıyla  $1.54 \pm 0.07$  ve  $1.48 \pm 0.06$  log cfu/g olarak tespit edilmiştir. 70 °C ve 80 °C'de uygulanan vakum mikrodalga kurutmada ise koloni oluşumu gözlenmemiştir. Vakum mikrodalga kurutmada tepsili kurutucuda kurutmaya göre kısa sürelerde gerçekleşse de mikrobiyal yük oldukça düşüktür.

Bedir vd. (2021) yaptıkları çalışmada dilimlenmiş sarılop incir türünü güneşte ve dondurarak kurutarak TMAB ve TMK sayılarını belirlemiştir. Güneşte kurutmada TMAB ve TMK sayıları sırasıyla  $5.13 \pm 0.07$  ve  $5.69 \pm 0.18$  log cfu/g olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar görülmüştür.

Loumani vd. (2022) yaptıkları çalışmada taze ve güneşte kurutulmuş incirlerin TMAB ve TMK sayıları tespit etmiştir. TMAB sayıları 4.3 log cfu/g (taze)'dan 3.4 log cfu/g (kurutulmuş)'a, TMK sayıları 2.3 log cfu/g'dan 1.2 log CFU/g'a düşmüştür. Loumani vd. (2022) TMAB ve TMK sayılarında güneşte kurutmaya yaklaşık 1 log'luk bir azalma gözlemlenmişken bu çalışmada yaklaşık 3 log'luk bir azalma belirlenmiştir.

Konveksiyonel kurutucu kullanılan çalışmalarda numuneye ve uygulanan sıcaklığa göre hammaddeye göre TMAB ve TMK sayılarında azalmalarda farklılıklar belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada kayısı 70 °C'de kurutulmuş ve TMAB ve TMK sayılarında sırasıyla  $>3$  log cfu/g ve  $>1$  log cfu/g'lık bir azalma gözlenmiştir (Wachukwu vd., 2003). Taze soğanın 70 °C'de kurutulduğu bir çalışmada TMAB ve TMK sayılarında sırasıyla 2-3 log cfu/g ve 1 log cfu/g'lık azalma belirlenmiştir (Garcia vd., 2010). İncirlerin kurutulduğu bu çalışmada ise 70 °C tepsili kurutmada yaklaşık 7 log cfu/g, 60 °C tepsili kurutmada yaklaşık 6 log cfu/g azalma gözlenmiştir.

Yaghmaee ve Durance (2007) yaptıkları bir çalışmada havuç dilimleri vakum mikrodalga kurutucuda (8 ila 15 kPa'da 1800 W 58 dakika) kurutulmuş ve hammaddeye göre TMAB ve

TMK sayılarında sırasıyla 1.7 log cfu/g ve 1.5-2.2 log cfu/g'lık azalma belirlenmiştir. Aynı çalışmada maydanoz da kurutulmuş (8 ila 15 kPa'da 1500 W 20 dakika) ve hammaddeye göre TMAB ve TMK sayılarında sırasıyla 2.5 log cfu/g ve 2.7 log cfu/g'lık azalma gözlenmiştir. Bu çalışmada ise 4 kW mikrodalga gücü kullanılmış ve sadece 60 °C'de üreme gözlenmiştir. TMAB ve TMK sayılarında hammaddeye göre yaklaşık 7 log cfu/g'lık azalma belirlenmiştir. Aynı şartlarda sıcaklık arttırıldığında ise mikrobiyal üreme görülmemiştir.

#### 4.11. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Rehidrasyon Kapasitesi Değeri Üzerindeki Etkileri

Kurutulmuş ürünlerin kalitesini belirleyen en önemli fiziksel özelliklerden biri olan rehidrasyon kapasitesi (yeniden su alma yeteneği) sonuçları Tablo 4.13'de sunulmuştur. Kurutma işleminin doku üzerindeki tahribatını ve oluşan gözenek yapısını (porozite) yansıtan bu parametre açısından, kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak önemli farklar tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.13.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Rehidrasyon Kapasitesi Değeri Üzerindeki Etkileri

| Numune          | Rehidrasyon<br>(g/g)      |
|-----------------|---------------------------|
| <b>Hammadde</b> | -                         |
| <b>GK</b>       | 1.22±0.01 <sup>e</sup>    |
| <b>TK 60</b>    | 1.44±0.01 <sup>c, A</sup> |
| <b>TK 70</b>    | 1.41±0.01 <sup>c, B</sup> |
| <b>TK 80</b>    | 1.38±0.01 <sup>d, C</sup> |
| <b>VMD 60</b>   | 1.78±0.02 <sup>a, A</sup> |
| <b>VMD 70</b>   | 1.77±0.02 <sup>a, A</sup> |
| <b>VMD 80</b>   | 1.69±0.02 <sup>b, B</sup> |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ( $p<0.05$ ).

TK yöntemi kendi içerisinde değerlendirildiğinde, sıcaklık artışının rehidrasyon kapasitesini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. TK 60 uygulamasında 1.44 olan değer, TK 80 uygulamasında

1.38'e gerilemiştir. Tepsili kurutma yönteminde sıcaklığın rehidrasyon yeteneği üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

VMD yönteminde de sıcaklığın 80 °C'ye çıkarılması (VMD 80), rehidrasyon kapasitesinde 60 °C ve 70 °C'ye kıyasla istatistiksel bir düşüşe (1.69) neden olmuştur. Bu durumun, aşırı ısı yükünün gözenekli yapının stabilitesini kısmen bozduğunu gösterdiği düşünülmektedir. Vakum mikrodalga kurutma yönteminde 60 ve 70 °C sıcaklıkların rehidrasyon kapasitesi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ( $p>0.05$ ).

Kurutma sonrası rehidrasyon düzeyini yüksek olması kurutma işleminin örneğin yapısına ne ölçüde zarar verdiğinin bir göstergesi olup, bu değer ne kadar yüksekse o kadar yapının korunmuş olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de vakum mikrodalga kurutucunun örneklerde dokuyu diğer yöntemlere kıyasla önemli seviyede koruduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Cui vd. (2010) yaptığı çalışmada sıcak hava (60–65 °C, 0.5 m/s), vakum destekli mikrodalga (2 W/g), ve dondurarak kurutulmuş (0.2 kPa'da 30 °C) elma ve havuç dilimlerinde en yüksek rehidrasyon düzeyine vakum destekli mikrodalgada kurutulan örneklerde ulaşıldığını bildirmişlerdir. Vakum altında ılımlı sıcaklık ile ve mikrodalga hacimsel ısıtma tekniği sayesinde bu sonuca ulaşıldığı düşünülmektedir. Contreras vd. (2012) yaptığı bir çalışmada mikrodalga (destekli sıcak hava ile kurutma 0.4 W/g, 50 °C) ve sıcak hava (50 °C) ile kurutma işlemi uygulanmış kayısının rehidrasyon kapasitesine etkisini incelenmiştir. Mikrodalga ve sıcak hava kurutma işlemleri için sırası ile rehidrasyon düzeyini 4.44 (g/g) ve 4.08 (g/g) olarak bulunmuştur.

Kurutulmuş ürünlerin kalitesini belirleyen en önemli fiziksel özelliklerden biri olan rehidrasyon kapasitesi (yeniden su alma yeteneği) sonuçları Tablo 4.13'de sunulmuştur. Kurutma işleminin doku üzerindeki tahribatını ve oluşan gözenek yapısını (porozite) yansıtan bu parametre açısından, kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak önemli farklar tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ).

Analiz sonuçları incelendiğinde, en yüksek rehidrasyon kapasitesine Vakum Mikrodalga (VMD) yöntemiyle kurutulan örneklerde ulaşılmıştır. VMD 60 ve VMD 70 uygulamalarında sırasıyla  $1.78\pm0.02$  ve  $1.77\pm0.02$  değerleri saptanmıştır. VMD yönteminin bu başarısı, literatürde “vakum şişmesi” (vacuum puffing effect) olarak tanımlanan mekanizma ile

açıklanmaktadır. Mikrodalga enerjisi ürün içindeki suyun hızla buharlaşarak iç basınç oluşturmamasını sağlamakta, vakum ortamı ise yapının büzülmesini engelleyerek gözeneklerin açık kalmasına ve genişlemesine olanak tanımaktadır. Oluşan bu süngerimsi ve gözenekli yapı, rehidrasyon sırasında suyun kapiler yolla doku içerisine hızla emilmesini kolaylaştırmaktadır (Marabi ve Saguy, 2004).

Buna karşın TK ve GK yöntemlerinde rehidrasyon değerlerinin belirgin şekilde düşük olduğu gözlemlenmiştir. En düşük rehidrasyon kapasitesi  $1.22 \pm 0.01$  ile güneşte kurutulan örneklerde ölçülmüştür. Uzun süreli kurutma işlemleri sırasında hücresel yapının geri dönüşümsüz olarak çökmesi (irreversible structural collapse) ve dokunun büzülmesi (shrinkage), suyun dokuya tekrar girişini sağlayan kanalların kapanmasına neden olmaktadır (Lewicki, 1998).

Therdthai ve Zhou (2009) çalışmalarında nane yapraklarını vakum mikrodalga kurutucu ve sıcak hava kurutucu ile kurutmuşlardır. Vakum mikrodalga ile kurutulan nane yapraklarının oldukça gözenekli bir yapıya sahip olduğu, renginin açık yeşil ve rehidrasyon kapasitesinin sıcak hava ile kurutulmuş nane yapraklarından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### **4.12. Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Renk Değerleri Üzerindeki Etkileri**

Kurutulmuş incir örneklerinin dış görünüş kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biri olan renk parametreleri  $L^*$  (aydınlık),  $a^*$  (kırmızı-yeşil) ve  $b^*$  (sarı-mavi), toplam renk değişimi  $\Delta E$ ,  $\Delta C$  ve Hue açısı değerleri Tablo 4.14’de sunulmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları, farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklık uygulamalarının tüm renk parametreleri üzerinde önemli farklılıklar yarattığını göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

Parlaklık değerini ifade eden  $L^*$  parametresi incelendiğinde, hammaddeye ( $76.93 \pm 0.03$ ) en yakın değerlerin Vakum Mikrodalga (VMD) yönteminde korunduğu görülmektedir. Özellikle VMD 70 örneği ( $67.01 \pm 0.10$ ), diğer tüm kurutma yöntemlerinden istatistiksel olarak ayrılarak en yüksek parlaklık değerine sahip olmuştur. Buna karşın, TK yönteminde sıcaklık artışı ile birlikte  $L^*$  değerinde düşüş gözlemlenmiştir. TK 80 örneğinde parlaklık değeri 33.81 seviyesine kadar gerileyerek en koyu ürün elde edilmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık ve

atmosferik oksijen varlığında melanoidin pigmentlerinin oluşumuna neden olan Maillard reaksiyonunun ve karamelizasyonun şiddetlenmesi ile açıklanmaktadır (Maskan, 2001).

**Tablo 4.14.** Farklı Kurutma Teknikleri ve Sıcaklık Uygulamalarının Renk Değerleri Üzerindeki Etkileri

| Numune          | L*                         | a*                         | b*                         | $\Delta E$                 | Chroma                     | hue                        |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Hammadde</b> | 76.93±0.03                 | 7.23±0.05 <sup>g</sup>     | 24.46±0.06 <sup>e</sup>    | -                          | 25.50±0.08 <sup>e</sup>    | 73.54±0.07 <sup>a</sup>    |
| <b>GK</b>       | 52.57±0.07 <sup>d</sup>    | 8.42±0.100 <sup>f</sup>    | 14.65±0.005 <sup>g</sup>   | 26.29±0.080 <sup>d</sup>   | 16.90±0.095 <sup>g</sup>   | 60.11±0.210 <sup>f</sup>   |
| <b>TK 60</b>    | 44.88±0.06 <sup>e, A</sup> | 11.59±0.05 <sup>e, B</sup> | 26.54±0.04 <sup>d, B</sup> | 32.41±0.06 <sup>e, C</sup> | 28.96±0.02 <sup>d, B</sup> | 66.41±0.12 <sup>d, B</sup> |
| <b>TK 70</b>    | 41.87±0.10 <sup>f, B</sup> | 13.10±0.40 <sup>a, A</sup> | 29.77±0.01 <sup>c, A</sup> | 35.94±0.17 <sup>b, B</sup> | 33.52±0.16 <sup>b, A</sup> | 66.25±0.65 <sup>d, A</sup> |
| <b>TK 80</b>    | 33.81±0.10 <sup>g, C</sup> | 11.34±0.10 <sup>c, B</sup> | 20.67±0.02 <sup>f, C</sup> | 43.48±0.11 <sup>a, A</sup> | 23.58±0.07 <sup>f, C</sup> | 61.25±0.19 <sup>e, A</sup> |
| <b>VMD 60</b>   | 64.32±0.10 <sup>b, B</sup> | 9.50±0.05 <sup>e, C</sup>  | 32.19±0.04 <sup>a, A</sup> | 14.96±0.08 <sup>f, B</sup> | 33.56±0.03 <sup>b, B</sup> | 73.56±0.10 <sup>a, A</sup> |
| <b>VMD 70</b>   | 67.01±0.10 <sup>a, A</sup> | 10.72±0.02 <sup>d, B</sup> | 32.00±0.03 <sup>a, B</sup> | 12.94±0.05 <sup>g, C</sup> | 33.75±0.04 <sup>a, A</sup> | 71.48±0.02 <sup>b, B</sup> |
| <b>VMD 80</b>   | 63.27±0.10 <sup>e, C</sup> | 12.13±0.03 <sup>b, A</sup> | 30.76±0.02 <sup>b, C</sup> | 15.82±0.09 <sup>e, A</sup> | 33.07±0.01 <sup>c, C</sup> | 68.48±0.06 <sup>c, C</sup> |

<sup>a-g</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir (p<0.05).

<sup>A-C</sup> Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen kurutma yönteminin 60, 70 ve 80 °C grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir (p<0.05).

Kırmızılık (a\*) ve sarılık (b\*) değerleri incelendiğinde; kurutma işlemi genel olarak örneklerin kırmızılık değerini artırmıştır. En yüksek a\* artışı TK 70 (13.10) ve TK 80 (11.34) gruplarında görülmüştür. TK 80 grubunda b\* (sarılık) değerinin 20.67'ye düşmesi, aşırı ısı işlem sonucu sarı pigmentlerin (karotenoidler vb.) degradasyona uğradığını ve baskın rengin kahverengiye döndüğünü işaret ettiği düşünülmektedir.

Tian vd. (2016) çalışmasında mantar örnekleri konvansiyonel ve vakum mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve kalite özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda mantar örneklerinin kırmızılık değerinin kurutma işlemi ile azaldığı, konvansiyonel yöntem ile kurutulan örneklerin kırmızılık değerlerinin vakum mikrodalga kurutma sistemi ile kurutulanlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Wojdyło vd. (2014) kuru vişne üretiminde vakum mikrodalga kurutucu (50 °C, 60 °C ve 70 °C, 120-480 W), sıcak hava kurutucu (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ve dondurarak kurutucu sistemlerini kullanmışlardır. Kurutma proseslerindeki sıcaklık değerlerindeki artışa paralel

olarak ürünlerdeki  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ,  $\Delta E$  renk değerlerinin azaldığı saptanmıştır. Vakum mikrodalga kurutucunun dondurarak kurutucu ve sıcak hava kurutucuya kıyasla renk değerlerini daha iyi koruduğu rapor edilmiştir.

Ürünün genel renk kalitesini özetleyen en kritik parametre olan toplam renk değişimi değerlerine bakıldığında; hammaddeye en yakın ürünün VMD 70 ( $12.94 \pm 0.06$ ) ve VMD 60 ( $14.96 \pm 0.08$ ) uygulamalarıyla elde edildiği belirlenmiştir. Buna karşılık TK 80 uygulaması,  $43.48 \pm 0.10$  gibi oldukça yüksek bir  $\Delta E$  değeri ile rengin en çok bozulduğu yöntem olmuştur. TK yöntemindeki yüksek renk değişimi, uzun kurutma süresi ve yüksek sıcaklığın sinerjik etkisiyle ilişkilidir (Chua vd., 2001).

Renk doygunluğunu ifade eden kroma ( $C^*$ ) ve renk tonunu belirten Hue açısı ( $h^\circ$ ) değerleri de VMD yönteminin üstünlüğünü desteklemektedir. Hammaddenin hue açısı 73.54 (sarı-turuncu bölge) iken, VMD 60 örneği 73.56 ile bu değeri birebir korumuştur. Ancak güneşte kurutma (60.11) ve TK 80 (61.25) örneklerinde hue açısının düşmesi, rengin koyu kırmızı-kahverengi tonlara kaydığını göstermektedir. Sonuç olarak; incirlerin doğal renginin (parlaklık ve sarı tonların) korunması ve esmerleşmenin minimize edilmesi açısından en başarılı yöntemin VMD olduğu saptanmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Meyve ve sebzelerin bozulmadan uzun süre saklanabilmeleri konusunda bilinen en yaygın muhafaza yöntemlerinden biri kurutma yöntemidir. Kurutma işlemi depolama, ambalaj ve taşıma maliyetlerini düşürmekte, aynı zamanda ürün mikrobiyolojik ve kimyasal açıdan stabil hale gelmektedir. Kurutma endüstrisinde, meyve ve sebzelerin yüksek (%80–95) su içeriği, genellikle güneşte kurutma ve yapay kurutucular kullanılarak %10–20 seviyelerine düşürülmekte ve böylece ürünlerin raf ömrü uzatılmaktadır. Ancak geleneksel kurutma teknikleri meyve ve sebzelerde vitaminler, fenolik maddeler, karotenoid maddeler ve antioksidanlar gibi gıda bileşenlerinde, aynı zamanda renk, lezzet gibi duyu özelliklerinde azalmalara neden olmaktadır.

Gıda teknolojisinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, geleneksel işleme yöntemlerinin gıdalar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve ürün kalitesini artırmak amacıyla yeni işleme stratejilerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Son yıllarda tüketicilerin, minimum işlem görmüş, doğal, besin değeri yüksek ve sağlık açısından avantajlı gıdalara yönelimi, konvansiyonel işleme yöntemlerine alternatif oluşturabilecek yeni teknolojilerin araştırılmasını teşvik etmiştir. Bu bağlamda, gıda endüstrisinde uygulanabilirliği yüksek yenilikçi işleme yöntemlerinin etkinliğini inceleyen çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif olabilecek yeni kurutma tekniklerinden biri vakum mikrodalga kurutma prosesidir.

Bu çalışmada, incir (*Ficus carica* L.) meyvesinin kurutulmasında geleneksel (Güneşte Kurutma), Tepsili kurutma (TK) ve Vakum Mikrodalga (VMD) yöntemlerin ürün kalitesi üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı sıcaklık (60, 70, 80 °C) ve işlem parametrelerinin fiziksel (nem, su aktivitesi, renk, rehidrasyon), kimyasal (pH, titrasyon asitliği, SÇKM) ve biyoaktif (toplam fenolik madde, toplam antioksidan aktivite, toplam karotenoid) özellikler üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında varılan temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

### 1. Kurutma Etkinliği:

Kurutma yöntemi ve sıcaklığın incirlerin kurutma kinetiği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Güneşte kurutma (GK) en düşük kurutma hızına

(0,0012 kg su/kg KM·h) ve en uzun kurutma süresine (17.280 dk) sahip olup, buna paralel olarak en düşük difüzyon katsayısı değerini göstermiştir ( $6.35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Tepsili kurutma sisteminde sıcaklık artışı kurutma hızını önemli ölçüde artırmış; 60 °C’de 0.0081 kg su/kg KM h olan kurutma hızı 80 °C’de 0.0137 kg su/kg KM h’ye yükselmiştir. Bu artışa bağlı olarak kurutma süresi 2400 dakikadan 1080 dakikaya düşmüş ve difüzyon katsayısı yaklaşık bir büyüklük mertebesi iyileştirdiği tespite edilmiştir ( $4.93 \times 10^{-8}$ ’den  $11.83 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ’ye).

Vakum mikrodalga kurutma sonuçları, tüm yöntemler arasında en yüksek kurutma hızlarının ve difüzyon katsayılarının elde edildiğini göstermiştir. Kurutma hızı 60 °C’de 0.3240 iken 80°C’de 0.7400 kg su/kg KM h değerine ulaşmış; buna karşılık kurutma süresi yalnızca 30 dakikaya kadar düşmüştür. Difüzyon katsayısı da  $1.87 \times 10^{-6}$ ’dan  $2.73 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ’ye yükselerek konvansiyonel yöntemlere kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek bulunmuştur.

İncir örneklerinin tüm kurutma yöntemlerinde kurutma kinetiğini en iyi açıklayan matematiksel modelin Page modeli olduğu görülmektedir. Güneşte kurutma, tepsili kurutucu ve vakum mikrodalga kurutma yöntemleri için elde edilen yüksek  $R^2$  değerleri (0.987–1.000), modelin kurutma verilerini oldukça yüksek doğrulukla temsil ettiğini göstermektedir. Tüm yöntemlerde RMSE değerlerinin düşük (0.006–0.038) ve  $\chi^2$  değerlerinin çok küçük ( $\leq 0.002$ ) olması, model tahminlerinin deneysel nem oranı verileriyle yüksek uyum içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, Page modelinin incirin farklı kurutma tekniklerinde gerçekleşen nem değişimini açıklamada güvenilir ve istatistiksel olarak üstün bir performans gösterdiğini doğrulamaktadır.

2. **Renk Kalitesi:** Tüketici tercihini doğrudan etkileyen renk parametreleri incelendiğinde; TK yönteminin ve yüksek sıcaklıkların enzimatik olmayan esmerleşme (Maillard reaksiyonu) ve karamelizasyon reaksiyonlarını hızlandırdığı, bunun sonucunda ürün renginde istenmeyen koyulaşmalar ( $L^*$  değerinde düşüş,  $\Delta E$  değerinde artış) meydana geldiği belirlenmiştir. Doğal renk özelliklerini, parlaklığı ve sarı tonları en iyi koruyan yöntemin VMD 70 uygulaması olduğu saptanmıştır.

3. **Doku ve Rehidrasyon:** Kurutulmuş ürünün son kullanım kalitesini gösteren rehidrasyon kapasitesi açısından, VMD yöntemi diğer yöntemlere kıyasla belirgin bir üstünlük sağlamıştır. Vakum ortamının yarattığı “puffing” (şişme) etkisi, ürün yapısının gözenekli kalmasını sağlamış ve su alma kapasitesini artırmıştır. TK ve Güneşte kurutma yöntemlerinde ise hücresel çökme ve büzülme nedeniyle rehidrasyon kabiliyeti düşük bulunmuştur.
4. **Biyoaktif Bileşenlerin Korunması:** Titrasyon asitliği, toplam fenolik madde, toplam karotenoit ve toplam antioksidan aktivite sonuçları değerlendirildiğinde; ısıtılmanın süresi ve oksijen maruziyetinin kritik faktörler olduğu görülmüştür. Güneşte kurutma yönteminin uzun işlem süresi oksidasyon riskini beraberinde getirmektedir. Kontrollü şartlar altında, VMD 70 uygulaması biyoaktif bileşenlerin termal degradasyonunu minimize ederek besin değerini en üst düzeyde korumuştur.

Bu sonuçlar, vakum mikrodalga kurutmanın kütleli ısıtma ve düşük basınç koşullarının sağladığı avantajlar nedeniyle difüzyon kontrollü su uzaklaştırma mekanizmasını belirgin şekilde hızlandırdığını, kurutma hızını artırdığı tepsili kurutmanın ise sıcaklık artışına duyarlı olmakla birlikte daha kademeli bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Yapılan tüm analizler bütüncül olarak değerlendirildiğinde; incir kurutma sürecinde 70 °C sıcaklıkta uygulanan vakum mikrodalga kurutma (VMD 70) yönteminin, hem fiziksel kalite (renk, doku) hem de besin değeri (antioksidan, fenolik madde) açısından optimum koşul olduğu sonucuna varılmıştır.

Geleneksel güneşte kurutma yönteminin uzun sürmesi, hava şartlarına bağımlı olması ve kontaminasyon riski taşıması; konvektif kurutmanın ise uzun süre ve yüksek sıcaklık gereksinimi nedeniyle kalite kayıplarına (renk kararması, kabuk bağlama) yol açması nedeniyle, endüstriyel ölçekte yüksek kaliteli kuru incir üretimi için Vakum mikrodalga kurutma teknolojisinin güçlü bir alternatif olduğu önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda, bu yöntemin enerji verimliliği ve maliyet analizlerinin yapılması, endüstriyel uygulanabilirliğin daha net ortaya konulması açısından faydalı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Aksoy, U. (2012). Kuru incir yetiştiriciliği ve aflatoksin yönetimi el kitabı. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, İncir Araştırma İstasyonu Müdürlüğü Yayınları. [http://arastirma.tarim.gov.tr/incir/Belgeler/Kitap-Liflet/Kuru\\_incir\\_yetistiriciligi\\_Kitap.pdf](http://arastirma.tarim.gov.tr/incir/Belgeler/Kitap-Liflet/Kuru_incir_yetistiriciligi_Kitap.pdf)
- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1445-1451. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.002>
- Alshannaq, A., ve Yu, J. H. (2017). Occurrence, toxicity, and analysis of aflatoxins: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 661. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060661>
- Alves-Filho, O., ve Strømmen, I. (1996). Performance and microstructure of dried products. *Drying Technology*, 14(2), 63–80. (Not: Alves-Filho’nun bu yılda “Drying ‘96” konferans bildirileri de mevcuttur, ancak dergi makalesi olarak en yaygın kullanılanı budur.)
- Ambros, S., Foerst, P., Kulozik, U., Foerst, P., ve Kulozik, U. (2018). Temperature-controlled microwave-vacuum drying of lactic acid bacteria: impact of drying conditions on process and product characteristics. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.025>
- Amer, B. M., Gottschalk, K., ve Hossain, M. (2018). Integrated hybrid solar drying system and its drying kinetics of chamomile. *Renewable Energy* 121. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.055>
- Ando, Y., ve Nei, D. (2023). Effect of freeze-drying, hot-air drying, and blanched hot-air drying on the quality of okra. *Journal of Food Processing and Preservation*, 47(1), e17282.
- Anon, AOAC. (1995). Official Methods Of Analysis Of AOAC International (16th Ed.).
- Arslan, D., ve Özcan, M. M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1127. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.019>
- Arvaniti, O. S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., ve Stasinakis, A. S. (2019). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, 119, 244-267.

Atik, A. (2012). Aydın ilinde doğal olarak kurutulan, geleneksel ve endüstriyel işlenen incirlerin bazı özellikleri ve aflatoksin içerikleri [Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bai-Ngew, S., Therdthai, N., ve Dhamvithee, P. (2011). Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. *Journal of Food Engineering*, 104(1), 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.004>

Bankole, S. A., Osho, A., Joda, A. O., Enikuomelin, O. A. (2005). “Effect of drying method on the quality and storability of ‘egusi’ melon seeds (*Colocynthis citrullus* L.)”, *African Journal of Biotechnology*, 4(8), 799-803.

Banout, J., Ehl, P., Havlik, J., Lojka, B., Polesny, Z., Verner, V. (2011). “Design and performance evaluation of a Double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum* L.)”, *Solar energy*, 85(3), 506-515.

Bedir, T. B., Yavuz, A., Büyük, H., ve Kuleaşan, H. (2021). The Effects of Different Drying and Packaging Applications on the Microbiological Properties of Sliced Figs. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(2), 56-65.

Berteli, M. N., Rodier, E., ve Jr, A. M. (2009). Study of the microwave vacuum drying process for a granulated product. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322009000200009>

Béttega, R., Rosa, J. G., Corrêa, R. G., ve Freire, J. T. (2014). Comparison of carrot (*daucus carota*) drying in microwave and in vacuum microwave. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002668>

Bey, M. B., Louaileche, H., ve Zemouri, S. (2016). Phenolic compounds and antioxidant activity of fig leaves (*Ficus carica* L.) extracts with different maturity levels. *Industrial Crops and Products*, 94, 1–7.

Bhagya Raj, G. V. S., ve Dash, K. K. (2020). Microwave-vacuum drying of dragon fruit slices: Drying kinetics, hygroscopic properties, and ascorbic acid degradation. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13485.

Bondaruk, J., Markowski, M., ve Błaszczak, W. (2007). Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering* 81(2). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.028>

Bozkir H. Effects of hot air, vacuum infrared, and vacuum microwave dryers on the drying kinetics and quality characteristics of orange slices. *J. Food. Process. Eng.* 2020;43:e13485. doi: 10.1111/jfpe.13485.

Bozkir H. (2020). Effects of hot air, vacuum infrared, and vacuum microwave dryers on the drying kinetics and quality characteristics of orange slices. *J. Food. Process. Eng.* 2020;43:e13485. doi: 10.1111/jfpe.13485.

Bozkir, H., Tekgöl, Y., ve Erten, E. S. (2021). Effects of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying kinetics and quality properties of persimmon. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 249–260.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., ve Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.

Calin-Sanchez, A., Szumny, A., Figiel, A., Jałoszyński, K., Adamski, M., ve Carbonell-Barrachina, A.A. (2011). Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 103, 219–227.

Carvalho, G. R., Monteiro, R. L., Laurindo, J. B., ve Augusto, P. E. D. (2021). Microwave and microwave-vacuum drying as alternatives to convective drying in barley malt processing. *Innovative Food Science ve Emerging Technologies* 73. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102770>

Cemeroğlu, B. (2010). *Gıda Analizleri* (2. Basım). Ankara.

Cemeroğlu, B. (2011). *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi* (Cilt 1). Ankara.

Chauhan, A.K.S., ve Srivastava, A.K. (2009). Optimizing drying conditions for vacuum-assisted microwave drying of green peas (*Pisum sativum* L.). *Drying Technology*, 27(6), 761-769.

Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., ve Ho, J.C. (2001). Batch drying of banana pieces—effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34, 721–731.

Clary, C. D., Wang, S., ve Petrucci, V. E. (2007). Fixed and variable microwave power drying of grapes. *International Journal of Food Properties*, 10(1), 69–79.

Cohen, E., Birk, Y., Mannheim, C. H., ve Saguy, I. S. (1998). A rapid method to monitor quality of apple products during thermal processing. *Journal of Food Science*, 63(1), 25–29.

- Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., ve Martínez-Navarrete, N. (2012). Influence of microwave application on the quality of air dried apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 59–66.
- Corzo, O., Brocho, N., Pereira, A., ve Vasquez, A. (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 2023- 2028.
- Cui, Z. W., Li, C. Y., Song, C. F., ve Song, Y. (2008). Combined microwavevacuum and freeze drying of carrot and apple chips. *Drying Technology*, 26, 1517-1523.
- Dadalı, G. (2007). Bamyas ve ıspanağın mikrodalga tekniğini kullanarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dak, M., Jain, M.K., ve Jat, S.L. (2014). Optimization of Microwave-vacuum Drying of Pomegranate Arils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8, 398-411.
- Desa, W. N. M., Mohammad, M., ve Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science ve Technology* 88. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.018>
- Dorofejeva, K., Rakcejeva, T., Galoburda, R., Dukalska, L. J., ve Kviesis, J. (2011). Vitamin C content in Latvian cranberries dried in convective and microwave vacuum driers. *Procedia Food Science*, 1, 433-440.
- Doymaz, I. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 275-279.
- Erbay, Z., ve İçier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and new trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>
- Eştürk, O., ve Soysal, Y. (2010). Drying properties and quality parameters of dill dried with intermittent and continuous microwave-convective air treatments. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences*, 16, 26-36.
- FAO. (2024). Crops and livestock products trade and production statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/>
- Fernández, L., Castellero, C., ve Aguilera, J. M. (1997). An application of geometrical optics to color measurement of food. *Color Research ve Application*, 22(1), 15–22.

- Figiel, A. (2009). Drying kinetics and quality of vacuum–microwave dehydrated garlic cloves and slices. *Journal of Food Engineering*, 94(1), 98–104.
- Garcia SV, Brumovsky LA, Fretes RM, Schmalko ME. (2010). Influence of drying temperature on the physical and microbiological parameters and the quality of dried green onion. *Dry Technol* 28(12):1435–44.
- García-Martínez, E., Igual, M., Martín-Esparza, M. E., ve Martínez-Navarrete, N. (2013). Assessment of the bioactive compounds, color and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 3247–3255.
- Giri, S.K., ve Prasad, S. (2007b). Optimization of microwave–vacuum drying of button mushrooms using response-surface methodology. *Drying Technology*, 25(5), 901–911.
- Goula, A. M., ve Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science ve Emerging Technologies*, 11(2), 342–351.
- Gökayaz, L. ve Yıldız, Z. (2019). Elma dilimlerinin farklı güneş kurutma yöntemleri ile kurutulması. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*. <https://doi.org/dergipark.org.tr/tr/pub/gidaveyem/issue/47614/601526>
- Gürlek, G., Özbalt, N., ve Güngör, A. (2015). Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucunun termodinamik analizi. 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK'15), Balıkesir, Türkiye.
- Han, Q.H., Yin, L.J., Li, S.J., Yang, B.N., ve Ma, J.W. (2010). Optimization of Process Parameters for Microwave Vacuum Drying of Apple Slices Using Response Surface Method. *Drying Technology*, 28, 523-532.
- Harrigan, W. F. (1998). *Laboratory methods in food microbiology* (3rd ed.). London, UK: Academic Press Limited.
- Hışıl, Y. ve Nakilcioğlu, E. (2013). Research on the phenolic compounds in sarılop (ficus carica l.) fig variety. *GIDA*. <https://doi.org/search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/181636/research-on-the-phenolic-compounds-in-sarilop-ficus-carica-l-fig-variety>
- Hiregoudar, P., Kulkarni, S. G., ve Manjunatha, H. (2006). Microwave drying of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74(4), 540–549.

- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., ve Maskan, M. (2018). Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: Drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. *Heat and Mass Transfer*, 54, 425–436.
- Ishibashi, R., Numata, T., Tanigawa, H., ve Tsuruta, T. (2022). In-situ measurements of drying and shrinkage characteristics during microwave vacuum drying of radish and potato. *Journal of Food Engineering* 323. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110988>
- Jerome, P., ve Dwivedi, M. (2022). Drying characteristics and quality evaluation of Konjac (*Amorphophallus konjac*) slices. *Journal of Food Process Engineering*, 45(10), e14112.
- Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. D., ve Capanoglu, E. (2015). A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(sup1), S110-S129. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1045969>
- Kamiloğlu, S., ve Capanoglu, E. (2015). In vitro gastrointestinal digestion of polyphenols from different fig varieties (*Ficus carica* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(6), 686–693.
- Karaaslan, S. (2012). Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/dergipark.org.tr/tr/pub/sduzfd/issue/29595/317539>
- Kassem, A. S. (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. 13th International Congress on Agricultural Engineering, Morocco.
- Kidane, H., Farkas, I., ve Buzás, J. (2025). Performance evaluation of solar drying chambers and drying kinetics of apple slices. *Energy Reports* 13. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.04.016>
- Koç, M., Elmas, F., Varhan, E. (2019). Drying of fig with microwave and hot air assisted foam-mat drying method. *Türk Tarım- Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7(2). <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i2.291-300.2272>
- Kumar, S., ve Shrivastava, S. L. (2017). Vacuum drying kinetics of mango. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 3673–3681.

- Lavkor, I., Bicici, M. (2015). "Aflatoxin Occurrence in Peanuts Grown in Osmaniye at Harvest, Post-Harvest, Drying and Pre-Storage Periods", *Tarım Bilimleri Dergisi -Journal Of Agricultural Sciences*, 21(3), 394-405.
- Lee, Y. L., Huang, G. W., Liang, Z. C., ve Mau, J. L. (2001). Antioxidant properties of three extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. *LWT- Food Science and Technology*, 50(8), 169–176.
- Lertworasirikul, S., Saetan, S., ve Tipanate, N. (2011). Effect of drying conditions on quality of dried kaffir lime leaves. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(2), 179-184.
- Leusink, G.J., Kitts, D.D., Yaghmaee, P., ve Durance, T. (2010). Retention of antioxidant capacity of vacuum microwave dried cranberry. *Journal of Food Science*, 75(3), 311–316.
- Lewicki, P. P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/10942919809524561>
- Li, Y., Li, Y., Li, H., Qi, Y., Wu, Z., ve Yang, M. (2017). Comparative study of microwave-vacuum and vacuum drying on the physicochemical properties and antioxidant capacity of licorice extract powder. *Powder Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.07.076>
- Liu, B., Cao, J., Feng, A., Liu, Y., Yu, Q., Li, C., ve Duan, Z. (2018). Effects of osmotic dehydration vacuum-microwave drying on the properties of tilapia fillets. *Czech Journal of Food Sciences*. <https://doi.org/10.17221/137/2017-CJFS>
- Loumani, A., Larbi, A. A., Mediani, A., Foullanine, M., Tigani, C., Djaber, A., ve Belkacem, Z. (2022). Assessment Microbiological and Physicochemical Quality of Figs Dried in Adrar Region, Algeria. *Journal of Renewable Energies*, 151-158.
- Makaracı, A. (2006). "Effects of three different drying methods on aflatoxin formation on dried red peppers".
- Manolopoulou, E., Tsiavtari, E., ve Demopoulos, V. (2017). Sun drying and hot air drying of figs: Performance evaluation. *Acta Horticulturae*, 1173, 341–346. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.59>
- Marabi, A., ve Saguy, I. S. (2004). Effect of porosity on rehydration of dry food particulates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(10), 1105-1110. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1783>

- Marelja, M., Dujmić, F., Ježek, D., Škegro, M., Bosiljkov, T., Karlović, S., Lasić, M., ve Brnčić, M. (2020). Vacuum drying in food industry. Croatian journal of food technology, biotechnology and nutrition. <https://doi.org/10.31895/hcptbn.15.3-4.8>
- Maskan, M. (2001). Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48(2), 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)
- Mawa, S., Husain, K., ve Jantan, I. (2013). *Ficus carica* L. (Moraceae): Phytochemistry, traditional uses and biological activities. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, Article ID 974256.
- Midilli, A., Kucuk, H., ve Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. Drying Technology, 20(7), 1503-1513.
- Monteiro, R.L., Carciofi, B.A.M., Marsaioli, A., ve Laurindo, J.B. (2015). How to make a microwave vacuum dryer with turntable. Journal of Food Engineering, 166, 276-284.
- Moscetti, R., Haff, R. P., Stella, E., Contini, M., Monarca, D., Cecchini, M., ve Massantini, R. (2017). Feasibility of NIR spectroscopy to detect olive fruit infested by *Bactrocera oleae*. Postharvest Biology and Technology, 123, 33-41.
- Motevali, A., Minaei, S., ve Khoshtaghaza, M. H. (2011). Evaluation of energy consumption in different drying methods. Energy Conversion and Management, 52(2), 1192-1199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.014>
- Mujić, I., Jukić, M., Kotnik, P., Prislán, I., Živković, A., ve Jokić, S. (2014). Influence of drying method on antioxidant activity and sensory properties of dried figs (*Ficus carica* L.). Journal of Food Processing and Preservation, 38(5), 2055–2062.
- Mujumdar, A.S. (1987). Handbook of industrial drying. New York: Marcel Dekker.
- Nahimana, H., ve Zhang, M. (2011). Drying and radial shrinkage: Changes in color and shape of carrot tissues (*Daucus carota* L) during air drying. African Journal of Biotechnology, 10(69), 15327–15338.
- Nakilcioğlu, E., ve Hışıl, Y. (2013). Research on the occurrence of ochratoxin A in dried figs and raisins cultivated in Turkey. Food Additives ve Contaminants: Part B, 6(4), 282–287.
- Nakilcioğlu-Taş, E., ve Ötleş, S. (2021). The effects of different drying methods on the drying kinetics, energy analysis and quality of watermelon. Journal of Food Processing and Preservation, 45(5), e15372.

- Nasri, M. Y. ve Belhamri, A. (2018). Effects of the climatic conditions and the shape on the drying kinetics, application to solar drying of potato-case of maghreb's region. *Journal of Cleaner Production* 183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.103>
- Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., ve Biesiada, A. (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering*, 94(1), 14–20.
- Nguyen, Q. D., Dang, T. T., Nguyen, T. V. L., ve Le, V. V. M. (2022). Impact of blanching and ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality of dried chili (*Capsicum frutescens*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16456.
- Nguyen, T. V. L., ve Le, V. V. M. (2022). Influence of ultrasound pretreatment on the quality of vacuum-dried mulberry (*Morus alba* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e16960.
- Nogueira, G. D., Silva, P. B., Oliveira, R. A., ve Park, K. J. (2022). Ultrasound and osmotic dehydration as pretreatments for drying of strawberries. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 1163–1173.
- Oh, H. G., Lee, H. Y., Seo, M. Y., Kang, Y. R., Kim, J. H., Park, J. W., ... ve Chae, H. B. (2011). Effects of *Ficus carica* paste on loperamide-induced constipation in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 49(5), 1111-1115.
- Oliveira, M. I. S., Duarte, M. E. M., ve Clemente, E. (2010). Postharvest conservation of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch): Microwave drying and storage. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(3), 657–666.
- Omolola, A. O., Jideani, A. I. O., ve Kapila, P. F. (2018). Drying kinetics of banana (*Musa* spp.): Pretreatment and mathematical modeling. *Food Science and Technology*, 38, 376–384.
- Özay, G., Aran, N., Pala, M. (1995). “Influence of harvesting and drying techniques on microflora and mycotoxin contamination of figs”, *Molecular Nutrition ve Food Research*, 39(2), 156-165.
- Özçelik, B., Çapanoğlu, E., Paslı, A. A., Kamiloğlu, S., (2014). Kuru meyvelerin kuruyemişler ile birlikte tüketiminin flavonoidlerin in vitro biyoyararlılığına etkisinin incelenmesi. *Gıda*. <https://doi.org/dergipark.org.tr/tr/pub/gida/issue/6967/92889>

- Özgen, F., (2021). Kızılciğın kurutma karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi ve enerji gerekliliğinin belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 33(2). <https://doi.org/10.35234/fumbd.845408>
- Özkan, K., Akbudak, B., ve Akbudak, N. (2019). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 245, 1–9.
- Piga, A., Pinna, I., ve Aksoy, U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): Drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science ve Technology*, 39(7), 793–802.
- Puttalingappa, A. D., Anandakumar, S., ve Rudra, S. G. (2022). Infrared drying of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.): Process optimization and quality evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 45(3), e13978.
- Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation* (2nd ed.). CRC press.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319.
- Ren, A., ve Sun, D. W. (2022). Recent developments in osmotic dehydration of fruits and vegetables assisted by ultrasound, microwave, and high-pressure processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 4991–5020.
- Ruan, J., Xue, G., Liu, Y., Ye, B., Li, M., ve Xu, Q. (2025). Optimization of the vacuum microwave drying of tilapia fillets using response surface analysis. *FOODS*. <https://doi.org/10.3390/foods14050873>
- Schiffman, S. S. (1986). Physiochemical correlates of sensory perception. *Chemical Senses*, 11(4), 539–541. (Not: Bu kaynak genellikle duyusal analiz ve gıda algısı için temel bir referanstır).
- Shang, J., Ma, G., Wan, F., Zang, Z., Xu, Y., Zhang, Q., Wang, T., ve Huang, X. (2024). Drying characteristics of moutan cortex by rotary wheel microwave vacuum drying and its influence on quality. *Agriculture*. <https://doi.org/atif.sobiad.com/index.jsp?modul=articleveID=ng2V9o4BQzmg-9NMwuO9>
- Shao, Y., Li, Y., Wu, Y., ve Zhang, Y. (2023). Effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics, energy consumption, and quality of microwave-vacuum dried lotus seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 46(2), e14235.

- Sharifian, F., Motlagh, A. M., ve Nikbakht, A. M. (2013). Influence of drying methods on specific energy consumption and quality properties of fig. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 19(3), 439–448.
- Sharma, G. P., ve Prasad, S. (2006). Drying of garlic cloves by microwave–hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 72(2), 113–118.
- Singleton, V. L., ve Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F., ve Veberic, R. (2011). Effect of drying of figs (*Ficus carica* L.) on the contents of sugars, organic acids, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11696-11702.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., ve Flaishman, M. A. (2006). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717-7723.
- Song, X., Zhang, M., Mujumdar, A.S., ve Fan, L. (2009). Drying characteristics and kinetics of vacuum microwave–dried potato slices. *Drying Technology*, 27(9), 969–974.
- Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167–173.
- Söğüt, E., Kumcuğlu, S., ve Tavman, Ş. (2011). Mikrodalga destekli vakum kurutma tekniği ve gıdaların kurutulmasında kullanımı. Akademik Gıda. <https://doi.org/www.idealonline.com.tr/IdealOnline/lookAtPublications/paperDetail.xhtml?uid=29725>
- Sturm, B., Hofacker, W., ve Roskilly, A. P. (2012). Influence of process control on drying kinetics and product attributes of dried apples. 18th International Drying Symposium (IDS 2012), Xiamen, China.
- Süfer, Ö., ve Palazoğlu, T. K. (2019). Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), e13258.
- Tan, S. P., Adnan, R., ve Chin, S. K. (2017). Mathematical modeling of drying of *Ganoderma lucidum* slices using infrared dryer. *International Food Research Journal*, 24(4), 1460–1465.

- Tapia, M. S., Alzamora, S. M., ve Chirife, J. (2020). Effects of water activity (aw) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In *Water activity in foods* (pp. 323-355). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch14>
- Therdthai, N. ve Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*mentha cordifolia* opiz ex fresen). *Journal of Food Engineering* 91(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.031>
- Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H., ve Zheng, B. (2016). Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chemistry*, 197, 714–722.
- TÜİK. (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2024. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/>
- Veberic, R., Colaric, M., ve Stampar, F. (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food Chemistry*, 106(1), 153-157.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., ve Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
- Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., ve Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 28(1), 296–301.
- Villalobos, M. C., Serradilla, M. J., Martín, A., Pereira, C., López-Corrales, M., Córdoba, M. G. 2016. “Evaluation of different drying systems as an alternative to sun drying for figs (*Ficus carica* L)”, *Innovative Food Science ve Emerging Technologies*, 36, 156-165.
- Villalobos, M. C., Serradilla, M. J., Martín, A., Ruíz-Moyano, S., Casquete, R., Hernández, A., Córdoba, M. G. (2019). Use of efficient drying methods to improve the safety and quality of dried fig. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(1), e13853.
- Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., ve Proch, J. (2005). Dried fruits: excellent in vitro and in vivo antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1), 44-50.

- Wachukwu CK, Sokari TG, Wemedo SA. (2003). Effects of sun drying and smoking on *Salmonella typhimurium* (LT 2) during cowpea-daddawa processing. *Plants Food Hum Nutr* 58:1–7.
- Wardhani, D. H., Cahyono, H., ve Aryanti, N. (2021). Drying kinetics of glucomannan from porang (*Amorphophallus muelleri*) tubers using fluidised bed dryer. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering ve Catalysis*, 16(1), 162–171.
- Wojdyło, A., Figiel, A., ve Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with application of vacuum-microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1337-1343. <https://doi.org/10.1021/jf802507j>
- Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., ve Oszmianski, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 829–841.
- Xanthopoulos, G., Oikonomou, N., ve Lambrinos, G. (2007). Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs. *Journal of Food Engineering*, 81(3), 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.009>
- Xanthopoulos, G., Yanriotis, S., ve Lambrinos, G. (2010). Applicability of a single-layer drying model to quantify the drying kinetics of whole figs. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 447–453.
- Yaghmaee P, Durance T. (2007). Efficacy of vacuum microwave drying in microbial decontamination of dried vegetables. *Dry Technol* 25(6):1099–104.
- Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A., ve Çağatay, F. (1999). Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, Adana, Turkey.
- Yaldız, O., ve Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19, 583-596.
- Yazıcı, A. S. (2016). Taze ve kuru incir çekirdeklerinin fiziksel ve kimyasal kompozisyonları. <https://doi.org/hdl.handle.net/11630/6127>

Yemiş, O., Bakkalbaşı, E., & Artık, N. (2012). Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica* L.) during drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(8), 1710-1719.

Zang, Y., Pei, Y., ve Li, D. (2023). Drying technology development for future starchy staples food processing: Research process, challenges, and application prospects. *Drying Technology*, 42(3), 1–22.

Zhang, D., Huang, D., Zhang, X., Zhao, H., Gong, G., Tang, X., ve Li, L. (2023). Drying performance and energy consumption of camellia oleifera seeds under microwave-vacuum drying. *Food Sci Biotechnol*. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01239-0>

Zhang, J., Zhang, M., Shan, L., ve Fang, Z. (2007). Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 885–891.

Zhou, Y., Staniszewska, I., Liu, Z., Zielinska, D., Xiao, H., Pan, Z., Nowak, K. W., ve Zielinska, M. (2021). Microwave-vacuum-assisted drying of pretreated cranberries: drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity. *LWT*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111464>

Zielinska, M., RopelewskA, E., ve Markowski, M. (2017). Thermophysical properties of raw, hot-air and microwave-vacuum dried cranberry fruits (*Vaccinium macrocarpon*). *LWT- Food Science and Technology*, 85, 204-211.

Zielinska, M., Zapotoczny, P., Alves-Filho, O., Eikevik, T., ve Blaszcak, W. (2013a). A multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas. *Journal of Food Engineering* 115(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.047>