

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRODALGA VE İNFRARED KURUTMA**  
**YÖNTEMLERİ İLE KURUTULAN VİŞNENİN KURUTMA**  
**KİNETİĞİNİN VE KALİTE PARAMETRELERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**Gül GENİŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kimya Mühendisliği Programı

Danışman  
Doç. Dr. Osman İSMAİL

Haziran, 2022

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRODALGA VE İNFRARED KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE  
KURUTULAN VİŞNENİN KURUTMA KİNETİĞİNİN VE KALİTE  
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Gül GENİŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

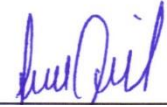
Doç. Dr. Osman İSMAİL  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Osman İSMAİL, Danışman  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Aysel KANTÜRK FİGEN, Üye  
Yıldız Teknik Üniversitesi

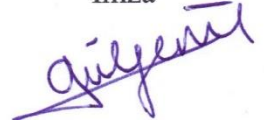
Prof. Dr. Serkan EMİK, Üye  
İstanbul Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Osman İSMAIL sorumluluğunda tarafımca Mikrodalga ve Infrared Kurutma Yöntemleri ile Kurutulan Vişnenin Kurutma Kinetiğinin ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gül GENİŞ

İmza





Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FYL-2021-4585 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



*Aileme*

## TEŞEKKÜR

---

Yüksek lisans tezimin danışmanı olan, fikirleri ile bana ilham veren, çalışma disiplini aşılayan, beni yönlendiren ve her konuda destek olan Doç. Dr. Osman İSMAİL'e çok teşekkür eder ve saygılarımı sunarım. Destekleri için Doç. Dr. Seyhun KIPÇAK'a ve Araştırma Görevlisi Zehra Özden ÖZYALÇIN'a teşekkür eder ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmamın FYL-2021-4585 numaralı proje kapsamında 'Mikrodalga ve İnfrared Kurutma Yöntemleri ile Kurutulan Vişnenin Kurutma Kinetiğinin ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi' destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim. Her kararımda arkamda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan benden ilgi, destek ve anlayışlarını esirgemeyen babam, annem ve kardeşlerime bütün kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

Gül GENİŞ

# İÇİNDEKİLER

|                                          |             |
|------------------------------------------|-------------|
| <b>SİMGE LİSTESİ</b>                     | <b>viii</b> |
| <b>KISALTMA LİSTESİ</b>                  | <b>xi</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                     | <b>xii</b>  |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                     | <b>xiii</b> |
| <b>ÖZET</b>                              | <b>xiv</b>  |
| <b>1 GİRİŞ</b>                           | <b>1</b>    |
| 1.1 Literatür Özeti .....                | 1           |
| 1.2 Tezin amacı .....                    | 3           |
| 1.3 Hipotez .....                        | 3           |
| <b>2 VIŞNE</b>                           | <b>4</b>    |
| 2.1 Çeşitleri .....                      | 5           |
| 2.1.1 Montmorency Vişnesi .....          | 5           |
| 2.1.2 Kütahya Vişnesi .....              | 5           |
| 2.1.3 Katırlı Vişnesi .....              | 5           |
| 2.1.4 Macar Vişnesi .....                | 5           |
| 2.1.5 English Morello Vişnesi .....      | 5           |
| 2.1.6 Heimanns Rubin Vişnesi .....       | 5           |
| 2.2 Türkiye’de Vişne Üretimi .....       | 6           |
| 2.3 Dünya’da Vişne Üretimi .....         | 7           |
| <b>3 KURUTMA</b>                         | <b>9</b>    |
| 3.1 En Yaygın Kurutma Yöntemleri .....   | 10          |
| 3.1.1 Geleneksel Havayla Kurutma .....   | 10          |
| 3.1.2 Sıcak Hava Konvektif Kurutma ..... | 11          |
| 3.1.3 Püskürtmeli Kurutma .....          | 11          |
| 3.1.4 Mikrodalga Kurutma .....           | 12          |
| 3.1.5 İnfrared Kurutma .....             | 13          |
| 3.1.6 Vakumlu Kurutma .....              | 14          |
| 3.1.7 Dondurarak Kurutma .....           | 15          |
| 3.1.8 Radyofrekans Kurutma .....         | 15          |
| 3.1.9 Ozmotik Dehidrasyon .....          | 16          |
| 3.1.10 Birleşik Süreçler .....           | 17          |
| 3.2 Kurutma Mekanizması .....            | 17          |
| 3.3 Kurutma Evreleri .....               | 18          |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4 İnce Tabaka Kurutma Modelleri .....                                 | 20        |
| 3.5 Gıda Malzemelerinin Kurutulması Sırasındaki Kalite Değişimleri..... | 22        |
| 3.6 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler .....                            | 23        |
| 3.6.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi .....                                    | 23        |
| 3.6.2. Ürünün Boyutları .....                                           | 23        |
| 3.6.3. Sıcaklık .....                                                   | 23        |
| 3.6.4. Havanın Hızı .....                                               | 23        |
| 3.6.5. Havanın Kuruluşu.....                                            | 23        |
| 3.6.6. Atmosfer Basıncı .....                                           | 23        |
| <b>4 LİTARETÜR ÖZETİ</b>                                                | <b>24</b> |
| <b>5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                            | <b>28</b> |
| 5.1 Materyal .....                                                      | 28        |
| 5.2 Yöntemler.....                                                      | 28        |
| 5.2.1 Kuru madde tayini .....                                           | 28        |
| 5.2.2 Mikrodalga kurutucu ve kurutma metodu .....                       | 28        |
| 5.2.3 İnfrared kurutucu ve kurutma metodu .....                         | 29        |
| 5.2.4 Renk ölçümleri.....                                               | 29        |
| 5.2.5 Enerji tüketiminin hesaplanması.....                              | 29        |
| 5.2.6 Spesifik Enerji Tüketiminin Hesaplanması .....                    | 30        |
| 5.3 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....                  | 30        |
| 5.4 Etkin Nem Yayılımı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....      | 32        |
| <b>6 DENEYSEL SONUÇLAR</b>                                              | <b>33</b> |
| 6.1 Kuruma ve Kuruma Hızı Eğrileri.....                                 | 33        |
| 6.1.1 Vişne örneklerinin nem oranı değişimi.....                        | 33        |
| 6.1.2 Vişne örneklerinin kuruma hızı değişimi.....                      | 34        |
| 6.2 Vişne Örneklerinin Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi.....             | 35        |
| 6.3 Etkili Nem Yayılımının Belirlenmesi .....                           | 38        |
| 6.4 Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi .....                           | 39        |
| 6.5 Renk Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....                   | 41        |
| 6.6 Enerji.....                                                         | 42        |
| 6.6.1 Enerji Tüketimi .....                                             | 42        |
| 6.6.2 Spesifik enerji tüketimi.....                                     | 43        |
| <b>7 SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                              | <b>45</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                        | <b>47</b> |
| <b>TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR</b>                                        | <b>55</b> |



## SİMGE LİSTESİ

---

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| $1/T$        | 1/Sıcaklık (Kelvin)                     |
| $L$          | Açıklık/koyuluk değerleri               |
| $E_a$        | Aktivasyon enerjisi                     |
| $D_o$        | Arrhenius denkleminin ön-üssel faktörü  |
| $N_0$        | Başlangıç nem içeriği                   |
| $R^2$        | Belirleme katsayısı                     |
| $m_w$        | Buharlaşan suyun kütlesi                |
| $>$          | Büyüktür                                |
| $\chi^2$     | Dağılım uyum kontrol katsayısı          |
| $dk$         | Dakika                                  |
| $NO_{den,i}$ | Deneysel elde edilen boyutsuz nem oranı |
| $N_e$        | Denge nem içeriği                       |
| $S$          | Eğim                                    |
| $D_{eff}$    | Etkin nem yayılımı                      |
| $R$          | Gaz sabiti (8.31451 J/mol K),           |
| $g$          | Gram                                    |
| $kgH_2O$     | Kilogram su                             |
| $kWh$        | Kilogramwatt saat                       |
| $kJ/mol$     | Kilojoule/mol                           |
| $kW/ m^2$    | Kilowatt/metrekare                      |
| $kWh/kg$     | Kilowatt/kilogram                       |
| $a^*$        | Kırmızılık/yeşillik değerleri           |
| $k$          | Kurutma sabiti                          |
| $T$          | Kurutma sıcaklığı (Kelvin)              |

|                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| MJ/kg               | Megajoule/kilogram                    |
| m/s                 | Metre/ saniye                         |
| m <sup>2</sup> /s   | Metrekare/ saniye                     |
| P                   | Mikrodalga güç çıkışı                 |
| mbar                | Milibar                               |
| a                   | Modellerdeki sabit                    |
| b                   | Modellerdeki sabit                    |
| c                   | Modellerdeki sabit                    |
| g                   | Modellerdeki sabit                    |
| h                   | Modellerdeki sabit                    |
| n                   | Modellerdeki sabit                    |
| z                   | Modellerin sabitlerinin sayısı        |
| m                   | Numune ağırlığı (g)                   |
| L                   | Numunenin yarı kalınlığı              |
| RMSE                | Ortalama karekök hatası               |
| Q <sub>s</sub>      | Özgül enerji tüketimi                 |
| s                   | Saniye                                |
| °C                  | Santigrad derece                      |
| cm                  | Santimetre                            |
| b*                  | Sarılık/mavilik değerleri             |
| N <sub>t</sub>      | t anındaki nem içeriği                |
| N <sub>t+Δt</sub>   | t+ Δt'deki nem içeriği                |
| NO <sub>tah,i</sub> | Tahmin elde edilen boyutsuz nem oranı |
| E <sub>t</sub>      | Toplam enerji tüketimidir             |
| ΔE                  | Toplam renk değişimi                  |

|       |                          |
|-------|--------------------------|
| $Q_t$ | Tüketilen enerji         |
| $N$   | Veri değerlerinin sayısı |
| $W$   | Watt                     |
| $W/g$ | Watt/ gram               |
| $\%$  | Yüzde                    |
| $t$   | Zaman                    |



## KISALTMA LİSTESİ

---

|      |                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABD  | Amerika Birleşik Devletleri                                                                                                                        |
| ark  | Arkadaşları                                                                                                                                        |
| CIEL | 3 boyutlu bir alana çizilen tristimulus (kırmızı / yeşil / mavi renklere yakın 3 renk değerinin birleşimi) değerlerini kullanan bir eşleme sistemi |
| exp  | Eksponansiyel                                                                                                                                      |
| FAO  | Dünya Tarım Örgütü                                                                                                                                 |
| IR   | Infrared                                                                                                                                           |
| MBV  | Mabonde Muz Çeşidi                                                                                                                                 |
| NO   | Nem Oranı                                                                                                                                          |
| RMSE | Ortalama karekök hatası                                                                                                                            |
| YSA  | Yapay Sinir Ağı                                                                                                                                    |

## ŞEKİL LİSTESİ

---

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Türkiye’de bazı illere göre yıllık üretim miktarı (ton, 2021) .....                                                                    | 6  |
| Şekil 2.2 Türkiye’de yıllara göre üretim miktarı (ton) .....                                                                                     | 7  |
| Şekil 2.3 Kıtalar arası üretim payı .....                                                                                                        | 7  |
| Şekil 2.4 Ülkelere göre üretim miktarı (ton, 2020) .....                                                                                         | 8  |
| Şekil 3.1 Yeni kurutma araştırma ve geliştirmesi için ana itici güçler .....                                                                     | 10 |
| Şekil 3.2 Sıcak hava kuruturucu şematik diyagramı .....                                                                                          | 11 |
| Şekil 3.3 Püskürtmeli kurutucu şematik diyagramı .....                                                                                           | 12 |
| Şekil 3.4 Mikrodalga kurutucu şematik diyagramı .....                                                                                            | 13 |
| Şekil 3.5 İnfrared kurutma cihazı şematik diyagramı .....                                                                                        | 14 |
| Şekil 3.6 Dondurarak kurutma metoduyla çalışan kurutucu şeması .....                                                                             | 15 |
| Şekil 3.7 Radyofrekans kurutma kurutucu şeması (ısı pompası kombinasyonlu) .....                                                                 | 16 |
| Şekil 3.8 Ozmotik dehidrasyon işlemi .....                                                                                                       | 17 |
| Şekil 3.9 Nem içeriğini zamanın bir fonksiyonu olarak gösteren kurutma eğrisi .....                                                              | 19 |
| Şekil 3.10 Nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak kurutma hızı .....                                                                               | 19 |
| Şekil 6.1 İnfrared ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklık ve güç seviyelerinde kurutulan vişne örneklerinin kurutma eğrileri ..... | 33 |
| Şekil 6.2 Farklı sıcaklık ve güç seviyelerinde vişne örneklerinin nem içeriğine karşı kurutma oranları .....                                     | 34 |
| Şekil 6.3 Farklı sıcaklık ve güç seviyelerinin efektif difüzyon katsayısına etkisi .....                                                         | 38 |
| Şekil 6.4 $\ln(D_{eff})$ 'in $1/T$ ve $m/P$ ile Varyasyonu .....                                                                                 | 40 |
| Şekil 6.5 Vişne örneklerinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında sarfedilen enerji tüketimi .....                                 | 42 |
| Şekil 6.6 Vişne örneklerinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması sonrası hesaplanan spesifik enerji tüketimi .....                          | 44 |

## TABLO LİSTESİ

---

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1</b> Mikrodalga kurutmanın avantajları ve sınırlamaları .....                                                                                        | 13 |
| <b>Tablo 3.2</b> İnce tabaka halinde kurutulma modelleri.....                                                                                                    | 22 |
| <b>Tablo 5.1</b> Vişne örneklerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller.....                                                                       | 31 |
| <b>Tablo 6.1</b> İki farklı kurutma yöntemiyle farklı kurutma koşullarında kurutulan vişne örneklerinin istatistiksel analiz sonuçlarının karşılaştırılması..... | 36 |
| <b>Tablo 6.2</b> Taze ve kuru vişne örneklerinin ölçülen ve hesaplanan renk değerleri .....                                                                      | 41 |



## **Mikrodalga ve İnfrared Kurutma Yöntemleri ile Kurutulan Vişnenin Kurutma Kinetiğinin ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi**

Gül GENİŞ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Osman İSMAİL

Bu çalışmada vişne örnekleri, mikrodalga ve infrared kurutmaya tabi tutulmuştur. Mikrodalga kurutma için 140, 210 ve 350 W olmak üzere üç farklı mikrodalga güç seviyesi, infrared kurutma için ise 50, 60 ve 70 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı kullanılmıştır. Kurutma tamamen azalan oran periyotlarında gerçekleşmiştir. Sonuçlar, nem içeriğinin ve kurutma hızının artan kurutma gücü seviyesi ve kurutma havası sıcaklığından etkilendiğini göstermiştir. Mikrodalga kurutma, infrared kurutmaya kıyasla kurutma süresini kısaltmış ve etkin nem yayılımını ( $D_{eff}$ ) arttırmıştır. On farklı kurutma modeli uygulanmış ve Alibaş modelinin verilere en uygun olduğunu göstermiştir. Aktivasyon enerjisi mikrodalga kurutma ve infrared kurutma için sırasıyla 0.020 kW kg<sup>-1</sup> ve 3.56 kW kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Kurutulmuş vişneler için istenilen sonuç olan, yüksek "L" ve düşük "ΔE" değerleri infrared kurutma yönteminde elde edilmiştir. En yüksek ve en düşük enerji tüketimi sırasıyla 50 °C (0.1870 kWh) ile infrared kurutma yönteminde ve 350 W (0.0175 kWh) ile mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Vişne, mikrodalga kurutma, infrared kurutma, kalite, renk





# **Investigation of Drying Kinetics and Quality Parameters of Sour Cherry Dried by Microwave and Infrared Drying Methods**

Gül GENİŞ

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Osman ISMAIL

In this study, sour cherries samples were subjected to microwave and infrared drying. For microwave drying, three different microwave power levels of 140, 210 and 350 W were used, while for infrared drying, three different drying temperatures of 50, 60 and 70 °C were used. Drying took place entirely in the falling rate period. The results showed that the moisture content and drying rate were affected by increased drying power level and drying air temperature. The microwave drying shortened the drying period and increased the effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) when compared to infrared drying. Ten different drying models were applied and showed that the Alibas model best fits the data. The activation energies were found as 0.020 kW kg<sup>-1</sup> and 3.56 kW kg<sup>-1</sup> for microwave drying and infrared drying, respectively. The high "L" and low "ΔE" values, which are the desired results for dried sour cherries, were obtained in infrared drying method. The highest and lowest energy consumption were obtained in the infrared drying method at 50 °C (0.1870 kWh) and in the microwave drying method at 350 W (0.0175 kWh), respectively.

**Keywords:** Sour cherry, microwave drying, infrared drying, quality, color



---

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING**

### 1.1 Literatür Özeti

Vişne (*Prunus cerasus* L.), özellikle Rusya Federasyonu, Türkiye, Ukrayna, Polonya, İran, Amerika Birleşik Devletleri ve Sırbistan'da üretilen önemli bir meyvedir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) istatistiklerine göre Türkiye 2019 yılında yaklaşık 143197 ton vişne üreterek dünya vişne üretiminde Rusya Federasyonu'ndan sonra ikinci sırada yer almaktadır[1]. Türkiye'de üretilen toplam vişne miktarının yaklaşık yarısı taze meyve olarak tüketilmektedir. Diğer yarısı ise meyve suyu, sos, pastil, reçel ve dondurulmuş gibi işleme amaçlı kullanılmaktadır[2].

Vişneleri dondurmak da bir kurutma işlemidir. Bunların dışında sebze ve meyveler taze olarak tüketildikleri gibi kurutularak farklı amaçlarla da kullanılmaktadır. Kurutma ile saklama koşulları daha kolay olup ekonomik getirisi nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Tarım ürünlerinin önemli bir bölümünün depolanması gerekmektedir [3].

İhracatımızın büyük bir bölümünü kuru meyve, sebze ve baharatlar oluşturmakta olup, bu ürünlerden elde edilen gelir toplam ihracat gelirimizin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. 2020 yılında ülkemizin toplam kuru meyve ihracatı 477 bin 150 ton, değeri ise 1,4 milyar dolar. 2021 yılının ilk beş ayında ihracatımızın bir önceki yılın aynı dönemine göre yüzde 12 artışla 514 milyon dolar ile devam ettiği görülmektedir. İhracatımızda Avrupa Birliği ülkeleri ve ABD ön plana çıkmaktadır[4].

Vişne kurutmada amaç nem içeriğini uzun süre güvenli saklamaya imkan verecek seviyeye indirmektir. Yani kurutma işlemi ile su miktarı azalacağından enzimatik ve mikrobiyolojik bozulma olasılığı önemli ölçüde azalır. Ancak Türkiye'de yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma yöntemi ile hijyenik koşulların sağlanması mümkün olmadığı için ürünler kirlenmektedir. Ayrıca kurutma işleminin çok uzun sürmesi nedeniyle özellikle meyvelerde bir süre solunum devam etmekte ve çoğu zaman hafif bir fermentasyon dahi meydana gelmekte, malzeme kayıpları oluşmakta ve bunun sonucunda ürünlerin kalitesi düşmektedir. Bu nedenle ürünlerin kontrollü koşullarda kurutulması

ihtiyacı ortaya çıkmakta ve kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliği ve sayısı her geçen gün önem kazanmaktadır[5].

Endüstriyel olarak en yaygın kullanılan yöntem konveksiyonla kurutmadır. Genellikle ürünler tepsili kurutucu ile kurutulur. Son yıllarda kurutma sürelerinin uzun olması nedeniyle sıcak hava ile kurutma yerine mikrodalga ve infrared gibi kurutma yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Nedenine gelince, kurutmada ürünün renk kalitesi ve enerji tüketimi çok önemlidir. Kurutma yüksek enerji girdisi gerektirir, ancak Dünya'nın enerji kaynakları sınırlıdır. Bu nedenle, enerji taleplerini dengelemek için yüksek verimli ve minimum maliyetli enerji sistemlerinin geliştirilmesi önemlidir[6].

Gıdanın düşük ısı iletkenliği nedeniyle, geleneksel ısıtma sırasında gıdanın iç kısmına ısı transferi sınırlıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak, yani önemli kalite kayıplarını önlemek hızlı ve etkili ısı ı işlem gerçekleştirmek için gıda kurutmada infrared ve mikrodalgaların kullanımının artmasıyla sonuçlanmıştır.

Mikrodalga kurutmada, yüksek frekanslı dalgalar kurumuş materyalin içinden hızla geçer, emilir ve ısı enerjisine dönüştürülür ve materyaldeki suyun buharlaşmasına neden olur. Mikrodalga kullanılarak kurutulan gıdanın iç sıcaklığı yüzey sıcaklığından daha yüksektir ve geleneksel kurutmaya göre daha dinamik bir nem transferi gerçekleşir[7].

Yüksek nem içeriğine sahip gıdaların en popüler kurutma yöntemlerinden biri infrared radyasyondur. İnfrared kurutma teknolojisinde önemlidir, kurutulmakta olan malzemenin içine nüfuz eder ve ısı üretir, ancak nüfuz etme gücü sınırlıdır. Termal verimlilik, hızlı ısıtma hızı, dalga boyu, ürüne doğrudan ısı penetrasyonu ve yansıtma gibi belirli özellikler, bazı uygulamalar için infrared ısıtmayı daha etkili hale getirir ve enerji tüketiminde önemli düşüşler sağlar[8,9].

Kurutma işlemi genellikle ince tabaka halinde gerçekleştirilir. Bu nedenle, vişne dilimlerinin konvektif ince tabaka kurutmasının modellenmesi, kurutma işleminin daha iyi kontrol edilmesi ve vişnelerin ithalatçı ülkelerin standartlarına uygun kaliteli kurutulması için gereklidir. Ne yazık ki, literatürde vişnenin mikrodalga ve infrared kurutma yöntemleri ile kurutma davranışı ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Ghaderi ve ark. ve Motavali ve ark. vişnenin kurutulmasını incelemek için mikrodalga vakumlu kurutma teknikleri geliştirmiştir[10, 11]. Amiri Chayjan ve ark. ise infrared ışı nım altında matematiksel modeller ve yapay sinir ağları kullanarak vişnenin bazı kuruma özelliklerini modellemeye çalışmışlardır[9].

## 1.2 Tezin amacı

Bu çalışmada, Çorlu'daki yerel bir marketten alınan vişnelerin, iki farklı kurutma yöntemiyle (mikrodalga ve infrared kurutma) farklı kurutma koşullarında kurutulması ve kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda deneysel veriler kullanılarak kuruma hızı eğrileri çizilmiş ve ve literatürden seçilen on farklı kurutma modelleri ile matematiksel modellemeler yapılmıştır. Regresyon katsayısı ( $R^2$ ) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Deneysel olarak bulunan ve modeller ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak amacıyla tahminin standart hatası (RMSE) ve ki-kare ( $\chi^2$ ) hesaplanarak belirlenmiştir. Böylelikle vişne örneklerinin kuruma davranışını en iyi açıklayan model tespit edilmiştir. Elde edilen veriler neticesinde her kurutma şartı için efektif difüzyon katsayıları, toplam enerji tüketimi ve her kurutma yöntemi için de aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Yaş ve kurutulmuş vişne örneklerinin renk analizleri yapılarak kurutma yöntem ve şartlarının vişnenin kurutulmasındaki renk kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 1.3 Hipotez

Mikrodalga ve İnfrared Kurutma Yöntemleri ile Kurutulan Vişnenin Kurutma Kinetiğinin ve Kalite Parametrelerinin incelendiği bu tez çalışmasında aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Mikrodalga ve İnfrared kurutmanın farklı güç seviyelerinde ayarlanması kurutma hızına etkisi nedir?
- Mikrodalga ve İnfrared kurutmanın farklı güç seviyelerinde ayarlanması nem yayılımına etkisi nedir?
- Farklı güç seviyelerinde mikrodalga ve infrared kurutmanın difüzyon katsayısına etkisi nedir?
- Farklı güç seviyelerinde mikrodalga ve infrared kurutmanın renk parametresine etkisi nedir?
- Farklı güç seviyelerinde mikrodalga ve infrared kurutmanın enerji tüketimine etkisi nasıldır?
- 10 adet ince tabaka kurutma modeli incelendiğinde en uygun model hangisidir?

Vişne bahar meyvelerinden olup, ekşi olduğu için taze olarak tüketilmesi zor fakat sağlığımız için son derece faydalı bir meyvedir. Vişne (*Prunus cerasus*) ve kiraz (*Prunus avium*) aynı aileden olup vişne de erik, kayısı, şeftali gibi meyveler ile birlikte gülgiller (*Rosaceae*) familyasından gelmektedir. Vişnenin yaprakları kiraz yapraklarından daha küçük, dalları ise kiraz ağacının dallarına göre daha yaygındır. Birçok kaynakta vişnenin muhtemel anavatanı, Hazar Denizi ile Kuzey Anadolu Dağları arasında kalan bölge olarak kabul edilmektedir[12].

Vişne ılıman iklim kuşağı meyvesidir. Yazları daha serin geçen, nemi fazla olan bölgelerde daha kaliteli ürün alınmaktadır. Yazın yüksek sıcaklığı sevmediği gibi, kışın da soğuğu sevmemektedir. Aşırı sıcaklar vişne yetiştiriciliğinde gelişimin yavaş olmasına yol açmakta, eğer su sıkıntısı olursa, bu durum da ürüne zarar vermektedir[12].

Vişne ilkbaharda geç çiçeklenmeye başladığından, bu dönem olan donlardan zarar görmemektedir. Ancak çiçek gözlerinin ve çiçeklerin donması vişne yetiştiriciliğindeki en fazla görünen sorunlardan biri olmaktadır. Yine yağmurun çiçeklenme döneminde yağması verimi düşürmekte, hasat zamanına yakın yağışlarda meyvelerde çatlamaya yol açmaktadır. Yağış yeterli olmadığında, mutlaka uygun şekilde sulama yapılmalıdır. Yapılacak bu sulama meyvelerin rengine ve kalitesinde olumlu etkiler sağlamaktadır[12].

Yumuşak bir kabuğa sahip olan vişnede su oranı fazladır. Doğal asit içerdiği için ekşi ve keskin bir tadı vardır. Bundan dolayı sofralık tüketimi fazla olmamaktadır. Ancak mutfaka en yakışan meyvelerden birisi olan vişne kullanıldığı bütün tariflere inanılmaz bir lezzet katmaktadır. Genellikle reçel, marmelat, şurup, komposto, meyve suyu yapılarak tüketilmektedir. Muhteşem tadı ve aromasıyla pastalara, tatlılara ve bazı yemeklere çok yakışmaktadır. Vişne kurutularak veya dondurularak saklanabilmektedir[12].

## **2.1 Çeşitleri**

### **2.1.1 Montmorency Vişnesi**

Amerika’da ve Avrupa çok yaygın bir vişne çeşididir. Bu çeşidin kısa ve ya uzun saplı, Sauringy Montmorency ve sarkık dallı olarak dört farklı türü vardır. En fazla yetiştirilen türü kısa saplı montmorency vişnesi olmaktadır. Meyvesi sap ve uç tarafı basık, sap çukuru derin, yuvarlak, karın kısmı geniş, uç tarafı yuvarlak; meyve kabuğu düz, açık kırmızı veya kırmızı, üzeri koyu kırmızı benekli, meyve eti yumuşak, sarımsı pembe, bazen kırmızımsı, sulu, mayhoş ve yüksek kaliteli olmaktadır[13].

### **2.1.2 Kütahya Vişnesi**

Ülkemizdeki en tanınan ve önemli vişne çeşidi olup birçok tipi vardır. Meyve ucu küt, yuvarlakça kalp şeklinde olmaktadır. Meyve kabuğu parlak koyu kırmızı, sulu, aromalı ve mayhoş olmaktadır. Meyve suyu koyu renkte olup çok sert, az lifli, çok sulu, ve çok iyi kalitede olmaktadır[13].

### **2.1.3 Katırlı Vişnesi**

Başlıca vişne çeşitlerimizden biri olup meyve ucu küt ve kalp şeklinde olmaktadır. Meyve eti yumuşak, kabuğu parlak koyu kırmızı, suyu koyu, mayhoş, aromalı ve kırmızı renklidir[13].

### **2.1.4 Macar Vişnesi**

Macar vişnesi yaprakları diğer vişne yapraklarından daha büyük olup meyve eti yumuşak, kabuğu parlak koyu kırmızı, suyu koyu, mayhoş, aromalı ve kırmızı renkli olmaktadır. Meyve suyu sanayisinde kullanılmaktadır[13].

### **2.1.5 English Morello Vişnesi**

Meyveleri yuvarlakça, orta veya küçük, kalp şeklindedir. Meyve ucu yuvarlakça, bunun orta kısmı çukur olup kabuk rengi siyahımsı koyu kırmızı, meyve eti koyu kırmızı, sertçe, suyu koyu renkli ve ekşi olmaktadır[13].

### **2.1.6 Heimanns Rubin Vişnesi**

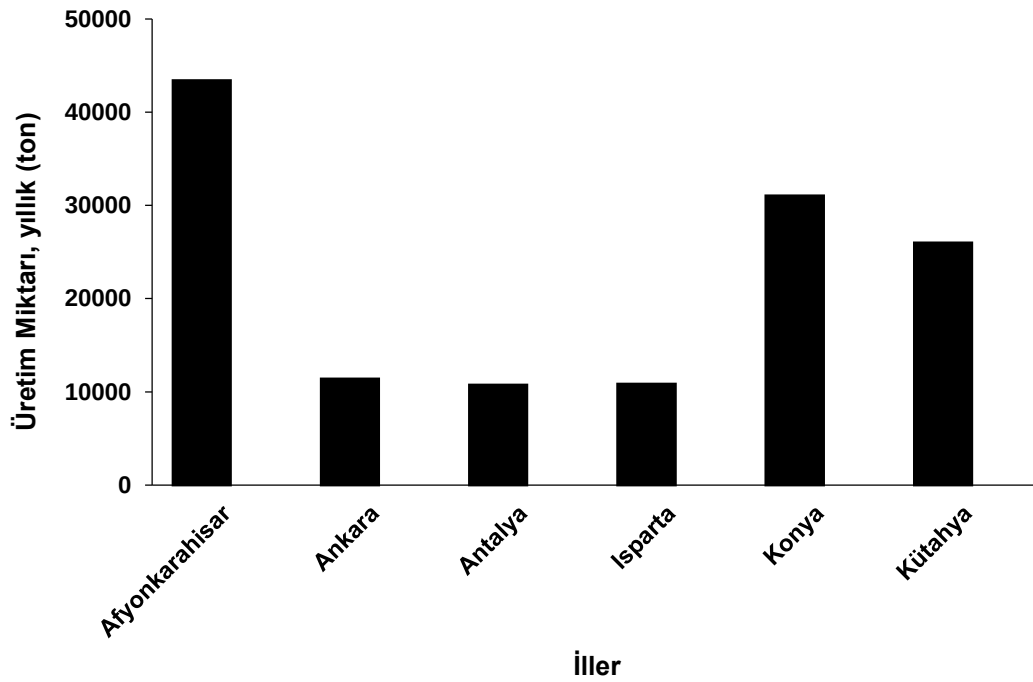
Monilyaya dayanıklı ve kendine verimli olup ağaçları toplu ve nispeten küçük taç teşkil etmektedir. Her yıl düzenli olarak meyve vermektedir. Meyveleri yuvarlakça, koyu kırmızı renkli, kalp şeklinde parlak ucu küt ve uç kısmının ortasında nokta olarak çukurluk olup meyve eti sulu, yumuşak, koyu kırmızı ve kendine özgü aromaya sahiptir. Meyve suyu sanayisinde kullanılmaktadır[13].

## 2.2 Türkiye’de Vişne Üretimi

Vişne ülkemizde ılıman iklime sahip ortamlarda yetiştirilmeye uygundur. Gülgiller ailesine sahip bir bitki olduğu için yağış miktarının fazla olduğu, serin ve nemli hava koşullarına sahip ortamlarda üretime elverişli olmaktadır.

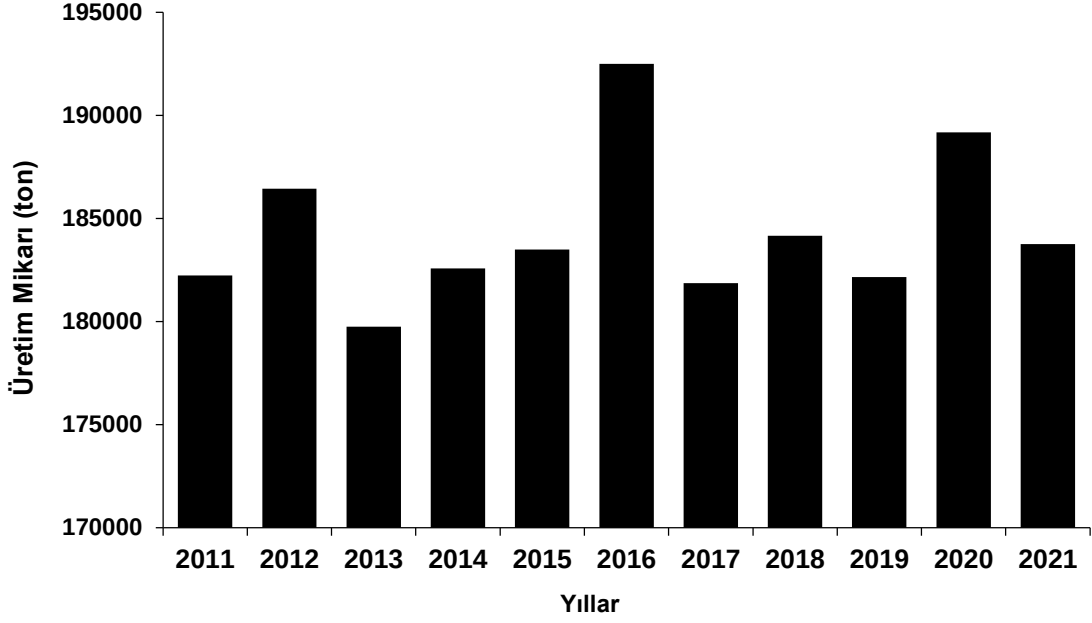
Şekil 2.1’de Türkiye’de bazı illere göre yıllık üretim miktarı verilmiştir. Türkiye’de vişne en çok 43430 ton ile Afyonkarahisar’da üretilmektedir. Daha sonra sırasıyla 31033 tonla Konya, 25990 tonla Kütahya ili takip etmektedir[14].

Şekil 2.2’ de Türkiye’de yıllara göre üretim miktarı 2011-2021 yılları arasında verilmiştir. Görüldüğü üzere her yıl üretim miktarlarında değişim yaşanmıştır. Bu yıllar arasında en düşük üretim 179752 ton ile 2013 yılı, en yüksek üretim 192500 ton ile 2016 yılında yaşanmıştır[14].



Şekil 2.1 Türkiye’de bazı illere göre yıllık üretim miktarı (ton, 2021)[14]

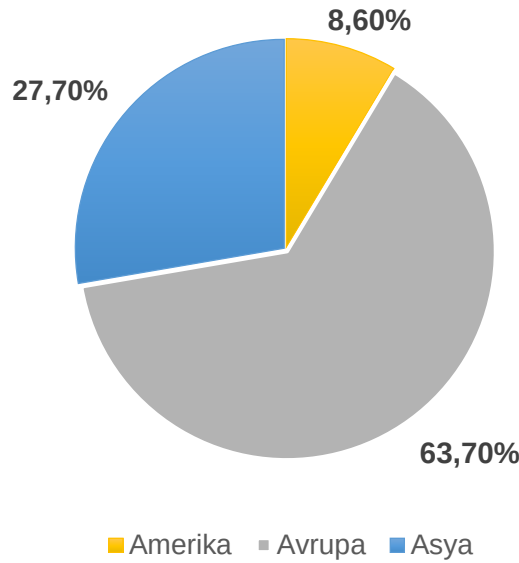




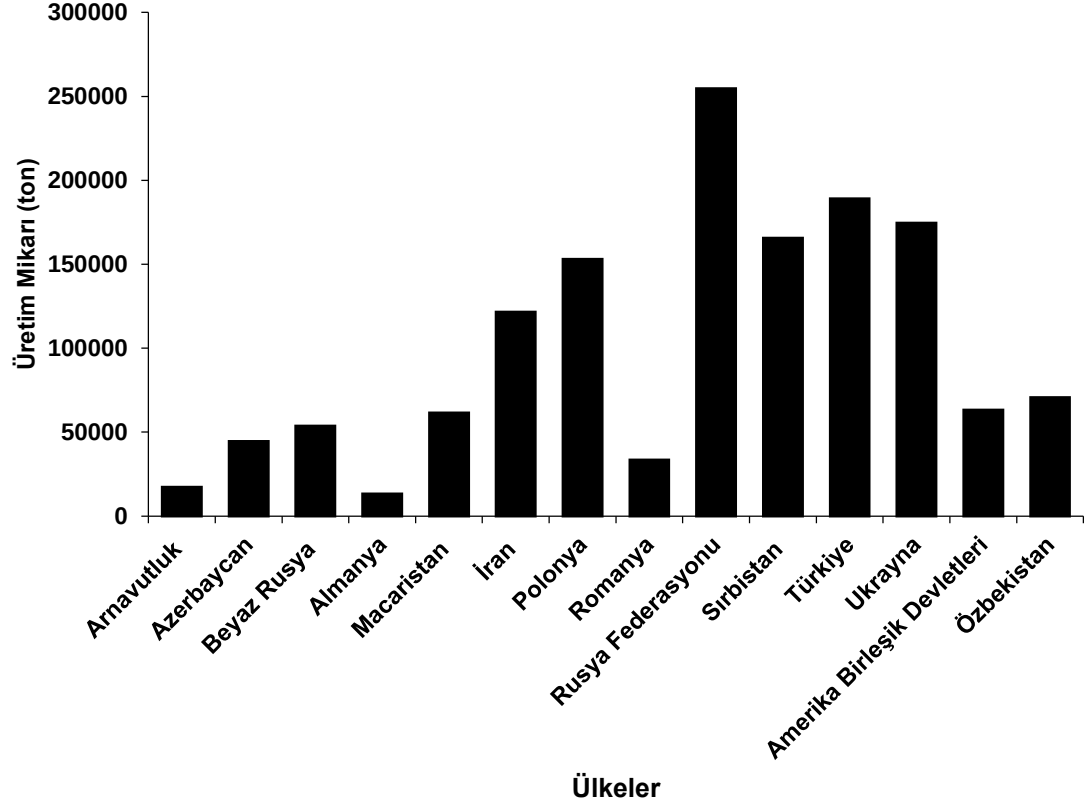
Şekil 2.2 Türkiye’de yıllara göre üretim miktarı (ton)[14]

### 2.3 Dünya’da Vişne Üretimi

Dünya vişne Avrupa, Asya ve Amerika kıtasında üretilmektedir. Kıtalara göre üretim payı Şekil 2.3’te verilmiştir. Kıtalar arası dağılım incelendiğinde en çok üretim %63,7 ile Avrupa, en az üretim ise %8,6 ile Amerika kıtasında olduğu görülmektedir. Ülkelere göre üretim miktarı şekil 2.4’te verilmiştir. Dünya vişne üretiminde 2020 yılında 254800 ton ile Rusya lider üretici ülke olmuştur. Rusya’yı 189184 ton ile Türkiye, 174630 ton ile Ukrayna, 153100 ton ile Polonya takip etmektedir[15].



Şekil 2.3 Kıtalar arası üretim payı[15]



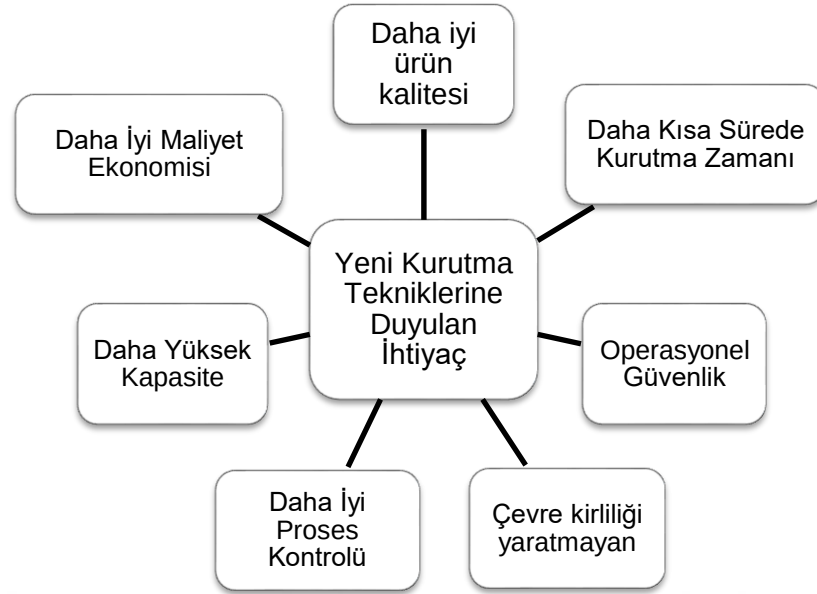
Şekil 2.4 Ülkelere göre üretim miktarı (ton, 2020)[15]

Nemin buharlaşma yoluyla uzaklaştırıldığı ve numune ile bitişik ortam arasında eş zamanlı ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği kurutma gıda muhafazasının en eski ve önde gelen fiziksel yöntemleri arasındadır[16]. Meyve ve sebzelerin kurutulmasındaki zorluk, nem içeriğini yüksek besin değerini korurken mikrobiyolojik büyümenin oluşmayacağı belirli bir düzeye indirmektir. Gıda maddelerinin nem içeriğini düşürmeyi amaçlar ve ağırlıklı olarak meyveler, sebzeler, baharatlar ve nem içeriği yüksek (>%80) diğer ürünler gibi ve 'yüksek derecede bozulabilir' olarak kabul edilen gıdalar için kullanılmaktadır[17].

Kurutulmuş gıdalar, uzun ürün raf ömrü, azaltılmış paketlenme, depolama, taşıma ve nakliye maliyetleri dahil olmak üzere birçok fayda sağlar ve sezon dışı mevcudiyet olasılığını uzatır ve tüketiciler için daha geniş bir ürün yelpazesi sunmaktadır[17].

Meyve ve sebzelerin kurutulmasının faydası, yalnızca mahsulleri gıda olarak korumak değil, aynı zamanda hasat edilen ürünlere değer katma imkanı sunarken, ağırlık ve hacim açısından ambalaj ve nakliye maliyetlerini azaltmaktır[17].

Besleyici, fonksiyonel ve duyuşal özellikler açısından ürün kalitesi önemli bir husustur. İletken ve konvektif ısı transfer modlarına dayanan geleneksel kurutma yöntemleriyle, mevcut ürün kalitesi düşük olabilir ve ürüne istenmeyen zararlı maddelerin veya mikroorganizmaların çeşitli yollarla besine bulaşma olasılığını arttırılabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda gıda kurutmada kurutma ön işlemleri, teknikler, ekipman ve kalite açısından önemli teknolojik gelişmeler olmuştur. Bu çalışmalar, artan enerji kullanımında mevcut kalitenin korunması için gelişmiş kurutma teknikleri bulma ihtiyacına yöneliktir. Şekil 3.1 yeni kurutma araştırma ve geliştirmesinin ana itici güçlerini özetlemektedir[18].



**Şekil 3.1** Yeni kurutma araştırma ve geliştirmesi için ana itici güçler[18]

### 3.1 En Yaygın Kurutma Yöntemleri

Gıdalardan su kaybı çok enerji gerektiren yoğun bir süreçtir. Bu nedenle, zaman verimliliği ile birlikte enerji, gıda işlemede en önemli tasarım ve işletme parametrelerinden birini temsil etmektedir[19].

Rekabetçi bir maliyetle verimli, yüksek kaliteli ve uygun ürünler üretme ihtiyacının artması, uygulamada çeşitli kurutma yöntemlerinin kullanılmasına yol açmıştır. Her kurutma yönteminin, nem taşıma mekanizmasını ve kurutma hızını değiştiren, düzenlenebilen bazı karakteristik kurutma parametreleri vardır. Nem taşıma mekanizmasının ve malzemenin kurutulduğu kuruma hızının, kurutulan ürünün kalite özellikleri ile ilişkili olduğu kanıtlanmıştır. En yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemleri şunlardır[20]:

#### 3.1.1 Geleneksel Havayla Kurutma

Gıda dehidrasyonu için en sık kullanılan işlemlerden biridir. Gıda kalitesi için genellikle incelenen kurutma parametreleri şunlardır[20]:

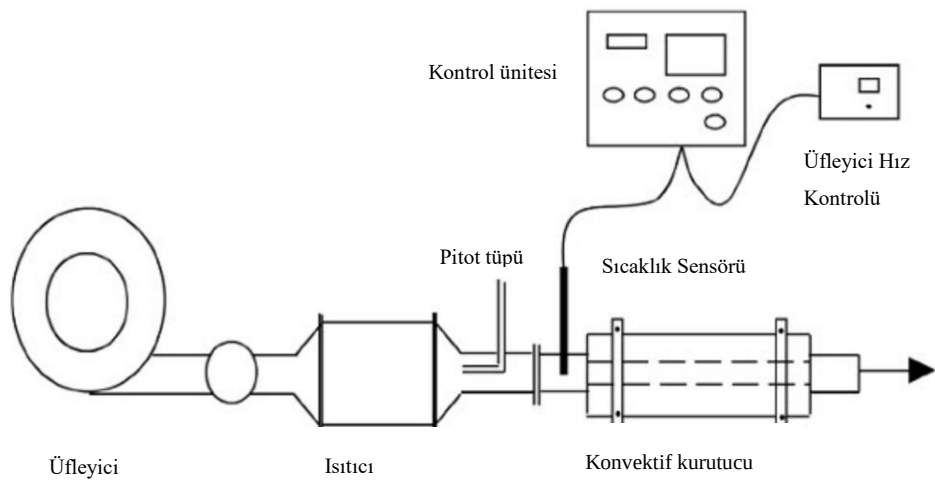
- Hava sıcaklığı (gıda malzemeleri için 50 – 90 °C)
- Hava bağıl nemi (gıda malzemeleri için %10 – 40) hava hızı (1-4m/sn)

### 3.1.2 Sıcak Hava Konvektif Kurutma

Sıcak hava kurutucusu, çeşitli meyve ve sebzeleri ve biyomateryalleri kurutmak için kullanılmaktadır[20]. Yüksek kullanılabilirliği ve neme doyma kapasitesi nedeniyle hava şüphesiz en çok kullanılan kurutma ajanıdır[18]. Kurutma için kullanılacak ortam havasının ısıtılması, basit ve uygun maliyetli bir prosedürdür. Hava sıcaklığındaki artış, havanın nemini azaltır ve bu da kurutma sırasında yüzey kütle transferini artırmak için uygun koşulları sağlamaktadır[21].

Sıcak havayla kurutma hala bir gıda koruma yöntemi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ürünün nihai kalitesini olumsuz etkilemektedir. Konvektif kurutma, meyve ve sebzeler gibi termal olarak hassas malzemeler için özellikle sorunlu olan büzülme, renk bozulması ve besin kaybı nedeniyle oldukça yıkıcı bir işlem olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, sıcak havayla kurutma, genellikle istenmeyen, uzun süreli ve enerji tüketen gıda muhafaza işlemidir[19].

Tipik bir sıcak hava kurutucusu, Şekil 3.2 'de gösterilmektedir[21].



Şekil 3.2 Sıcak hava kuruturucu şematik diyagramı[21]

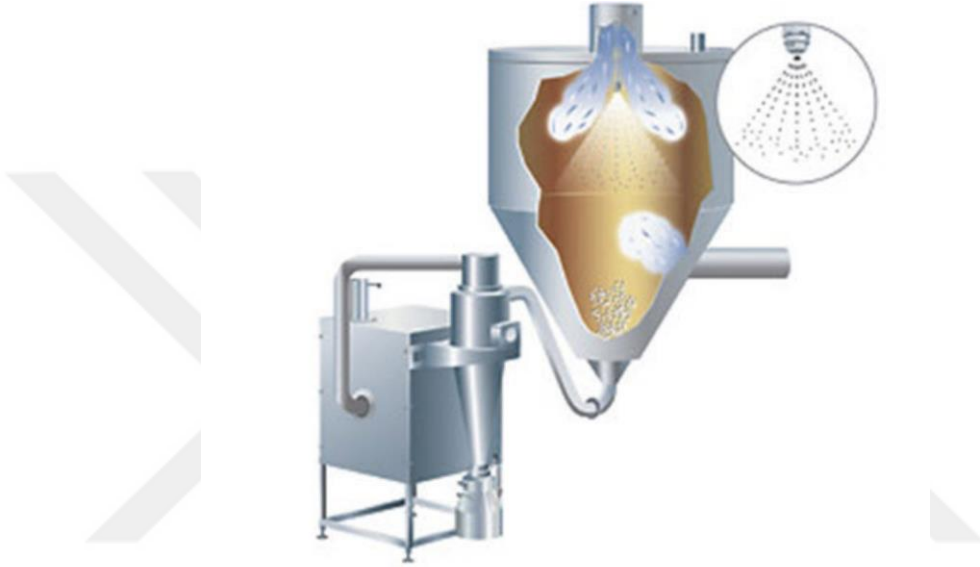
### 3.1.3 Püskürtmeli Kurutma

Püskürterek kurutma, sıvı bir durumu toz formuna dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Malzemeyi damlacıklara (10-200  $\mu\text{m}$ ) bölmek için bir atomizer veya spreyden geçen çözeltiler veya bulamaçlar için kullanılmaktadır[19].

Püskürtmeli kurutucular, süt, içecek ve ilaç endüstrilerinde toz gıda katkı maddelerinin ve aromaların oluşumu için en yaygın kullanılan kurutma sistemleridir. Bu teknik,

beslemeyi sıcak bir kurutma ortamına püskürterek beslemenin sıvı halden kurutulmuş parçacık formuna dönüştürülmesini sağlamaktadır. Sürekli bir partikül işleme kurutma işlemidir. Besleme bir solüsyon, süspansiyon, dispersiyon veya emülsiyon olabilmektedir. Kurutulan ürün, beslemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, kurutucu tasarımına ve istenen nihai toz özelliklerine bağlı olarak tozlar, granüller veya aglomeralar şeklinde olabilmektedir[21].

Tipik bir püskürtmeli kurutucu Şekil 3.3 'de gösterilmektedir[21].



**Şekil 3.3** Püskürtmeli kurutucu şematik diyagramı[21]

#### **3.1.4 Mikrodalga Kurutma**

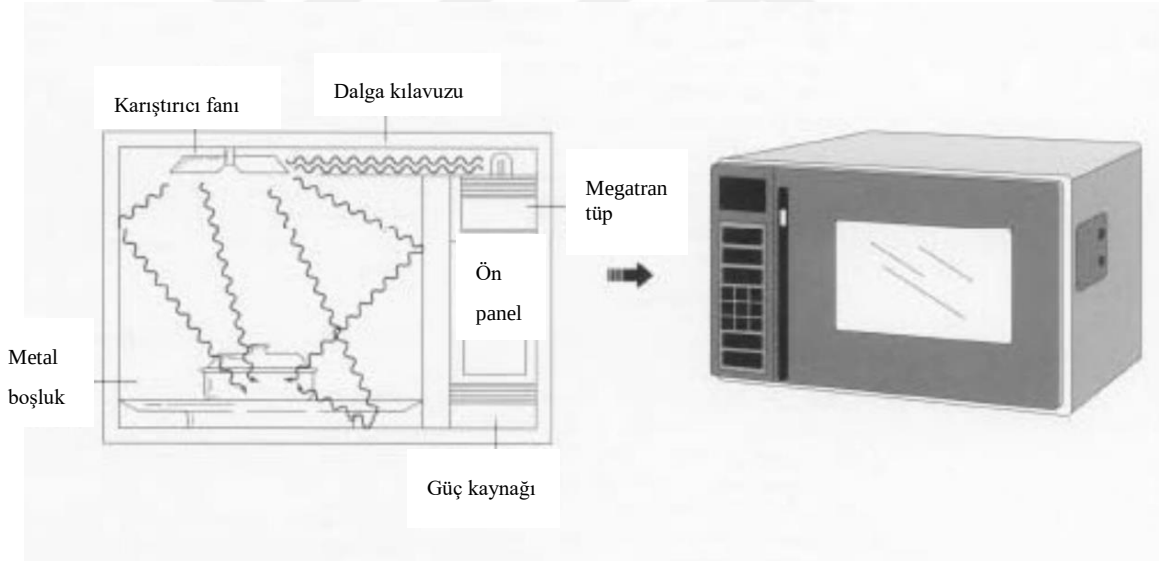
Mikrodalga kurutmada, malzeme mikrodalga enerjisiyle birleştiğinde, moleküler uyarım yoluyla ürün içinde ısı üretilmektedir. Bir sonraki kritik adım, su buharını hemen çıkarmaktır. Suyu uzaklaştırmak için basit bir teknik, malzemenin yüzeyinden hava geçirmektir, bu nedenle “mikrodalga konvektif kurutma” olarak adlandırılan şeyi oluşturmak için süreçleri birleştirmektedir. Birçok durumda mikrodalga kurutmadan bahsedildiğinde, bunun mikrodalga konvektif kurutma olduğu anlaşılmaktadır. Üründen geçen hava sıcaklığı, kuruma süresini kısaltmak için değiştirilebilmektedir.

Seçilen hava sıcaklığı, ürünün özelliklerine bağlıdır. Ürünün sıcaklığını kontrol etmek için ya güç yoğunluğu (watt/gram malzeme) ya da görev döngüsü (güç açma/kapama süresi) kontrol edilmelidir. Mikrodalga kurutmanın konveksiyonlu kurutmaya göre sayısız avantajı vardır, ancak işlemde bazı sınırlamalar da bulunmaktadır. Avantajlar ve sınırlamalar Tablo 3.1'de sunulmuştur[17].

**Tablo 3.1** Mikrodalga kurutmanın avantajları ve sınırlamaları

| Avantajlar                     | Sınırlamalar                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Hızlı hacimsel ısıtma          | Endüstriyel ölçek için yüksek başlangıç maliyetleri kurutucular |
| Daha yüksek kurutma hızı       | Kısmi aroma kaybı ve negatif duyusal değişiklikler              |
| Kısa kuruma süresi             | Ürün dokusu etkilenebilir                                       |
| Ürünün gelişmiş kalitesi       | Etkili kurutma için özel numune boyutu ve şekli gerekebilir     |
| Daha düşük işletme maliyetleri | Azaltılmış enerji tüketim                                       |

Tipik bir mikrodalga kurutucu Şekil 3.4 'de gösterilmektedir[21].



**Şekil 3.4** Mikrodalga kurutucu şematik diyagramı[21]

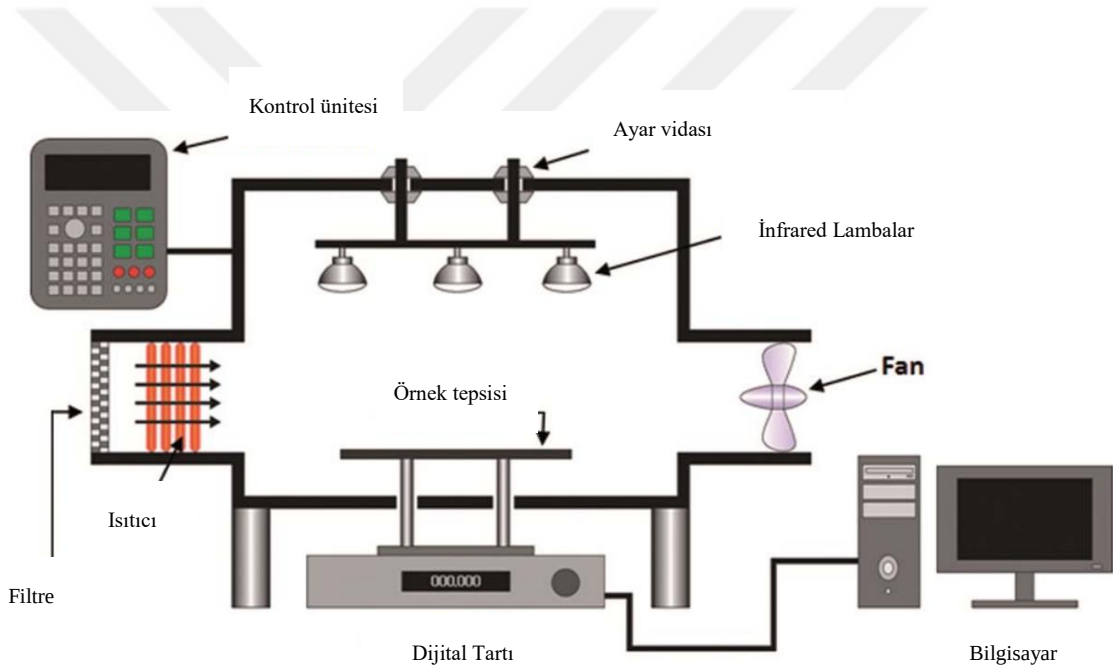
### 3.1.5 İnfrared Kurutma

Endüstriyel kurutucular arasında infrared kurutucular, kimya mühendisliğinde önemli kurutma işlemlerini gerçekleştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır. İnfrared radyasyon, gıda ve diğer endüstrilerde uzun süredir kullanılmaktadır. İnfrared radyasyonla kurutma, kurutma işlemi verimli bir şekilde kurulursa enerji açısından verimli olabilmektedir.

İnfrared kurutma, enerji tasarrufu, daha düşük kuruma süresi, yüksek kaliteli kurutulmuş ürünler, aralıklı enerji beslemesi, proses parametrelerinin kolay kontrolü, homojen sıcaklık dağılımı, temiz çalışma ortamı ve yerden tasarruf gibi sayısız avantajları nedeniyle kurutma endüstrisinde önemli bir teknik haline gelmiştir.

Bu avantajlara ek olarak, IR'nin konvektif, iletken, titreşim, dondurma, vakum ve mikrodalga teknolojileri ile kolay entegrasyonu, düşük sermaye maliyeti ve düşük enerji maliyeti, gerekli ekipmanın basitliği gibi başka avantajlar da vardır. İnfrared kurutucunun hızlı geçici tepkisi, çok yönlülüğü ve kolay kurulumu, infrared kurutucunun popüler bir dehidrasyon yöntemi olarak ortaya çıktığı anlamına gelmektedir[19].

Tipik bir infrared kurutucu Şekil 3.5 'de gösterilmektedir[23].



Şekil 3.5 İnfrared kurutma cihazı şematik diyagramı[21]

### 3.1.6 Vakumlu Kurutma

Kurutmanın düşük basınçta gerçekleştirildiği bir kurutma yöntemidir. Basınç azaldıkça suyun kaynama noktasının düşmesi gerçeğinden yararlanmaktadır. Gıda kalitesi için genellikle incelenen kurutma parametreleri şunlardır[20]:

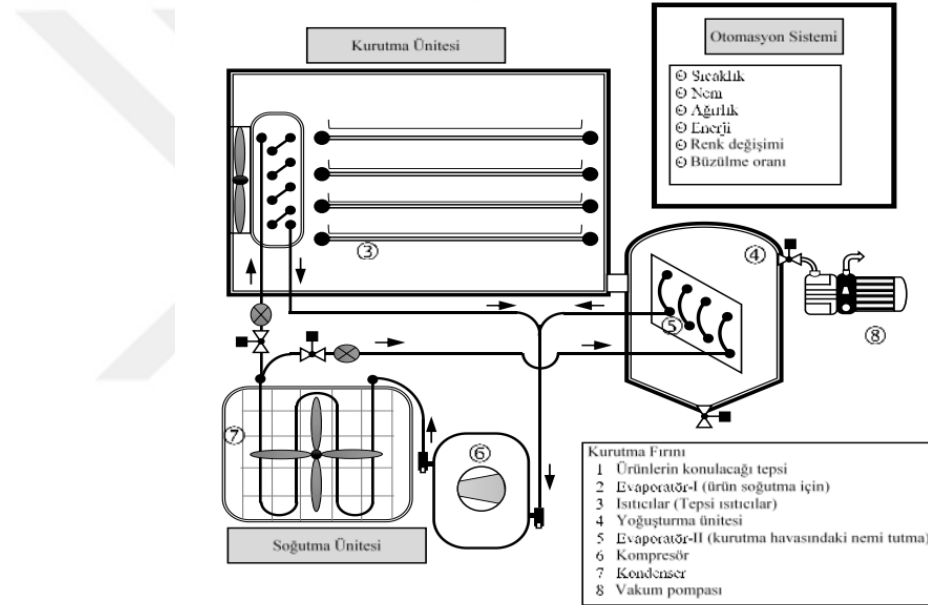
- Basınç (30-600 mbar)
- Hava sıcaklığı (50-100 °C)



### 3.1.7 Dondurarak Kurutma

En gelişmiş yöntemlerden biridir. Sistem basıncı, kaynama noktası 0°C'nin altına düşecek kadar düşük tutulduğunda, malzemedeki suyun donmuş halde kalması ve kuru katılardan süblime olması gerçeğinden yararlanmaktadır. Dondurarak kurutma yöntemi, yüksek işlem maliyetine karşı ağırlıklı olarak avantajlı kalite özelliklerine sahip gözenekli yapıya sahip kurutulmuş ürünler sağlamaktadır. Kurutma yönteminin ana parametresi, buzun süblime ettiği belirli bir sıcaklığa karşılık gelen uygulanan basınçtır[20].

Tipik bir dondurarak kurutma kurutucusu Şekil 3.6 'de gösterilmektedir[24].



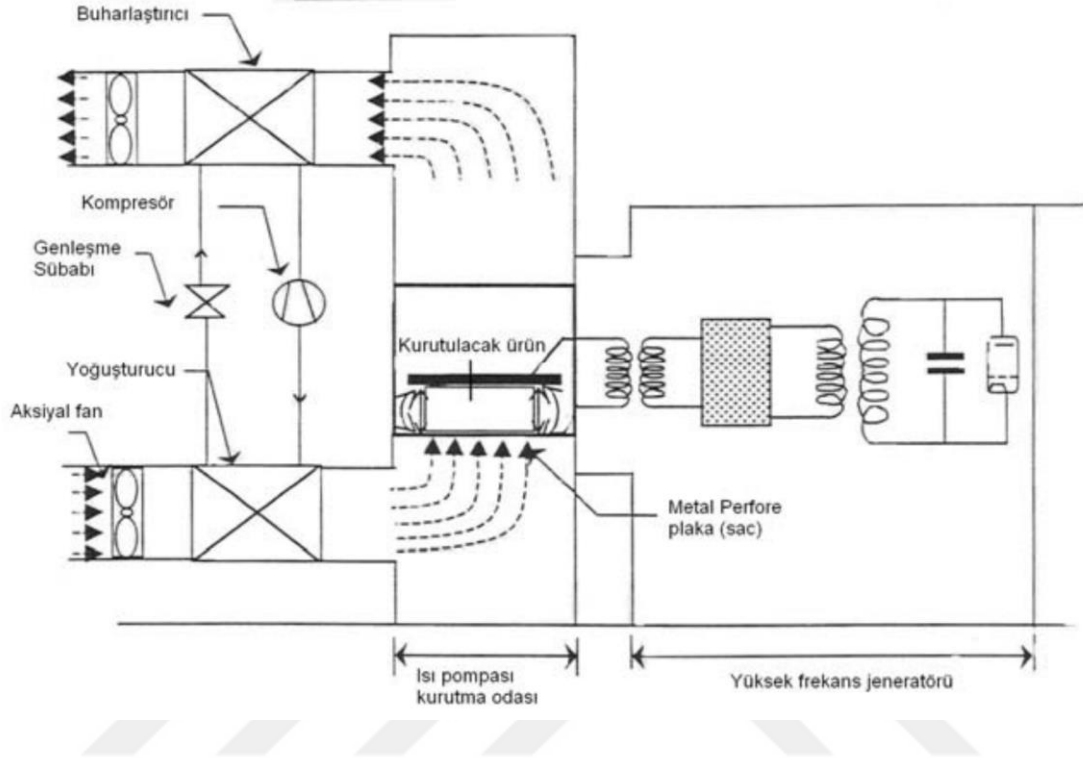
Şekil 3.6 Dondurarak kurutma metoduyla çalışan kurutucu şeması[24]

### 3.1.8 Radyofrekans Kurutma

Gıda maddelerinin dielektrikle ısıtılması için radyofrekans enerjisinin kullanılması, tarım ürünlerinin kurutulması için olası bir yöntem olarak üzerinde çalışılan önemli bir uygulama alanıdır. Radyofrekans ısıtma doğrudan ürüne hitap eder, böylece iç kısmı yüzeyinden daha hızlı ısıtılmaktadır. Su, yüzeyin aşırı ısınması veya dehidrasyonu olmadan serbest bırakılmaktadır. Bu nedenle, diğer kurutma proseslerinin tamamlayıcısı olarak kullanılabilir ve kalite üzerinde minimum etki ile %1 ila %2 gibi çok düşük nem seviyelerine ulaşmayı sağlayabilmektedir. Bu yeni kurutma yöntemi, geleneksel sıcak

havaıyla ısıtmaya kıyasla daha kısa süre, daha yüksek enerji verimliliği ve daha iyi ürün kalitesi sağlamaktadır[18].

Tipik bir radyofrekans kurutucu Şekil 3.7 'de gösterilmektedir[25].

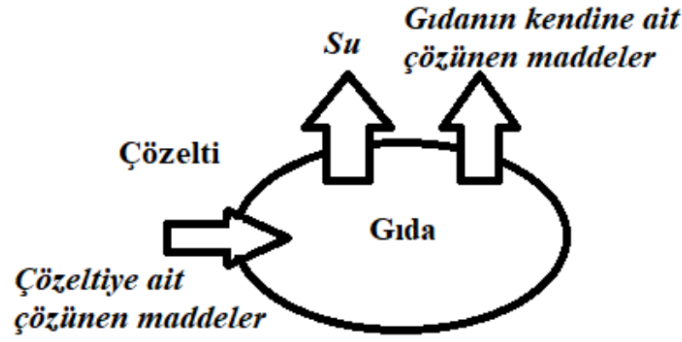


Şekil 3.7 Radyofrekans kurutma kurutucu şeması (ısı pompası kombinasyonlu)[25]

### 3.1.9 Ozmotik Dehidrasyon

Ozmotik dehidrasyon, hücresel materyaller hipertonik bir sulu çözeltiye daldırıldığında, hipertonik çözeltinin daha yüksek ozmotik basıncı nedeniyle suyun uzaklaştırılması için bir itici gücün oluşması ilkesine dayanmaktadır. Genellikle şeker veya tuz çözeltisine (gıdadan daha yüksek ozmotik basınca sahip olan) daldırılan meyve veya sebzelerden suyun kısmen uzaklaştırılması için kullanılmaktadır[19].

Tipik bir ozmotik dehidrasyon kurutucusunda kütle transferleri Şekil 3.8 'de gösterilmektedir[26].



Şekil 3.8 Ozmotik dehidrasyon işlemi[26]

### 3.1.10 Birleşik Süreçler

Bazı tipik kombine kurutma işlemleri konveksiyon ve mikrodalgalar, konveksiyon ve ozmotik dehidrasyon, konveksiyon ve infrared radyasyon, konveksiyon ve ultraviyole radyasyon, konveksiyon ve vakum, konveksiyon ve ultrason, sprej kurutma ve liyofilizasyon, liyofilizasyon ve ultrason, liyofilizasyon ve infrared radyasyon, bunların birçoğu arasında diğer olası kombinasyonları içerir[19].

### 3.2 Kurutma Mekanizması

Kurutmanın özü, kurutma ortamı ile kurutma malzemesi arasında bir ısı ve kütle değişimi sürecidir. Taze meyveler kurutma ortamı ile temas ettiğinde ısı enerjisi malzemenin yüzeyine geçirilir ve daha sonra yüzeyden malzemenin içine geçmektedir.

Nem, malzemenin içinden sıvı veya gaz halinde yüzeye aktarılmakta ve daha sonra malzemenin yüzeyindeki gaz filmi aracılığıyla havaya yayılmaktadır. Kurutma ortamı ve taze meyveler arasındaki sıcaklık ve nem gradyanı, kurutma işleminde nem difüzyonu için birincil itici güçtür.

Meyvelerin iç suyu, ortam ve malzeme arasındaki sıcaklık gradyanı nedeniyle buharlaşmakta ve iç suyun dışarı doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Kuruma, malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki nem gradyanı ve malzemenin iç yüzeyi ile yüzeyi arasındaki nem gradyanı ile gerçekleşmekte, bu da suyun sürekli olarak malzemenin içinden dış ortama geçmesini sağlamaktadır.

Malzemelerdeki nem difüzyonu, su difüzyon aşaması ve su dışarı difüzyon aşamasına ayrılmaktadır. Nemin dışarı difüzyon aşaması (yüzey buharlaşması), kuruma

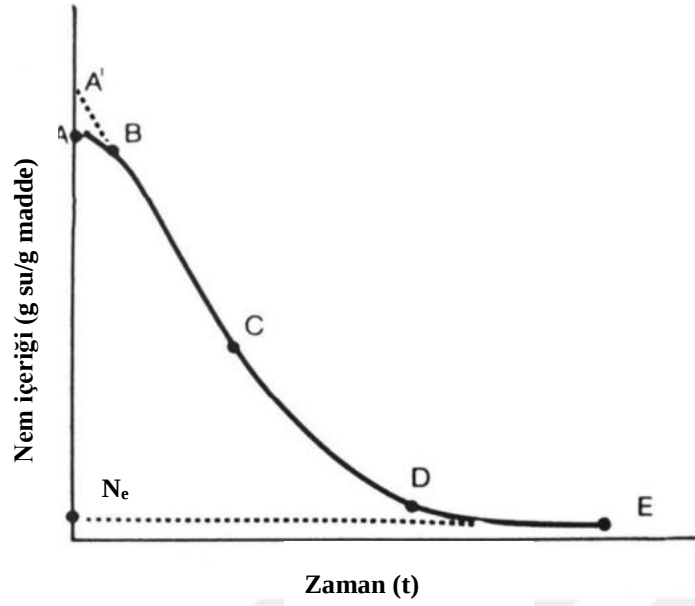
başlangıcındaki emme enerjisi ve malzemenin yüzeyinden havaya nem nedeniyle malzemenin yüzeyindeki nemin buharlaşmasını ifade etmektedir. Bu aşamada, nemin dışarı difüzyonunun etkisi, malzemenin yüzey alanı, hava hızı, bağıl nemi ve sıcaklığı ile pozitif olarak ilişkilendirilmektedir.

Difüzyondaki nem fazı, malzemenin iç yüzeyi ile yüzeyi arasındaki su basıncına neden olan suyun dışarı difüzyonu ile malzeme yüzeyinin nem içeriğinin iç sudan daha az olduğu ve iç suyun aktarılacağı anlamına gelmektedir. Bu aşamada, difüzyondaki nemin etkisi, malzemenin içindeki nem gradyanı ile pozitif olarak ilişkilendirilmektedir. Kurutma işleminde, nemin içeri difüzyonu ile dışarı difüzyonu arasındaki koordinasyon ve dengenin sağlanması çok önemlidir. Dış difüzyon hızı içeri difüzyonu aştığında bazı malzemelerin yüzeyinde sert kabuklar oluşturmak kolay olmakta ve kuruma hızı gecikmektedir. Ayrıca, yüksek nem içeriği ve malzeme içindeki büyük buhar basıncı nedeniyle deformasyon ve fisürasyon genellikle bazı yumuşak malzemelerde bulunmakta ve bu nedenle kurutma kalitesini düşürmektedir. Malzeme yüzeyinin buharlaşması çok yavaşsa, malzemenin içindeki nemin dışarıya yayılması zor olmakta, bu da malzemelerin kuruma hızının düşmesine ve hatta malzeme olgunlaşması ve küflenmesine neden olmaktadır[27].

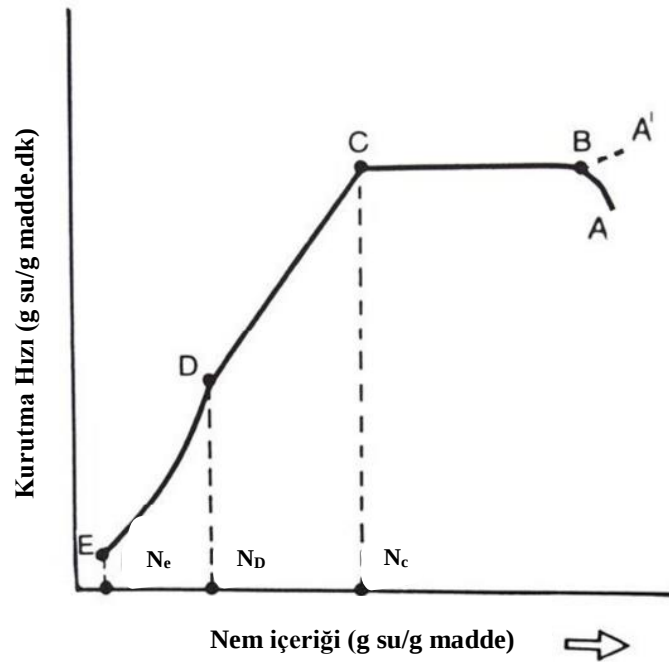
### **3.3 Kurutma Evreleri**

Katıların kuruma davranışı, zamana karşı nem içeriği kaybının fonksiyonu ölçülerek tanımlanabilmektedir. Sürekli tartım, nem farkı ve aralıklı tartım sıklıkla kullanılan yöntemlerdir.

Mahsulleri ısıtılmış hava kullanarak kuruturken, genellikle sabit oranlı periyot ve azalan oranlı periyot olarak iki kurutma periyodu meydana gelmektedir. Sabit oranlı kuruma, yüzey suyunun buharlaşması ile gerçekleşirken, azalan oran periyodunda nem hareketi iç dirençler tarafından kontrol edilmektedir. Kurutma süresinin bir fonksiyonu olarak nem içeriği Şekil 3.9'da çizilirken, çoğu tarımsal materyal için nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının bir örneği şekil 3.10' da gösterilmektedir[28].



**Şekil 3.9.** Nem İçeriğini Zamanın Bir Fonksiyonu Olarak Gösteren Kurutma Eğrisi[28]



**Şekil 3.10** Nem İçeriğinin Bir Fonksiyonu Olarak Kurutma Hızı[28]

Sıfır zamanında, ilk nem içeriği A noktasında gösterilmektedir. Başlangıçta, katı genellikle nihai sıcaklığından daha soğuk bir sıcaklıkta olmaktadır. Alternatif olarak, katı başlangıç için oldukça sıcaksa, hız A noktasında başlayabilmektedir. AB Segmenti, ilk kararsız durum, ısınma periyodunu temsil etmektedir. Bu ilk kararsız durum periyodu genellikle oldukça kısadır ve kuruma zamanlarının analizinde sıklıkla göz ardı edilmektedir. BC sabit oran dönemidir. Aynı noktalar, kurutma hızının nem içeriğine

karşı çizildiği Şekil 3.10' da işaretlenmiştir. Sabit hız periyodu sırasında, katının yüzeyi başlangıçta çok ıslaktır ve kuruyan yüzeyde sürekli bir su filmi bulunmaktadır. Bu su tamamen bağlanmamış sudur ve su katı yokmuş gibi davranır. Verilen hava koşulları altında buharlaşma hızı katıdan bağımsızdır ve esasen serbest sıvı yüzeyinden gelen hız ile aynı olmaktadır. Sabit oranlı kurutmadan ayrıldığıının ilk fark edildiği geçiş nem içeriği, C noktası ile gösterilen kritik nem içeriği olarak adlandırılmaktadır. Bu noktada, sürekli bir su filmi sağlamak için yüzeyde yeterli su yoktur. Sıvı hareketinin olduğu gıda sistemlerinde kılcal ve yerçekimi kuvvetleri tarafından kontrol edilmesi muhtemel olan, ölçülebilir bir sabit hız periyodunun mevcut olduğu bulunmuştur. Bazı gıdalarda (yapılandırılmış) sıvı hareketi difüzyonla olur ve bu nedenle yüzeyden buharlaşan su, sıvının gıdanın içinden hareketiyle hemen doldurulmaz. Bu tür yiyeceklerin herhangi bir sabit oran periyodu göstermeden kuruması muhtemel olmaktadır. Elma, tapyoka, şeker pancarı kökü ve avokado'nun sıcak hava ile kurutulması, herhangi bir sabit oran periyodu göstermeden bu tür gıdalar olarak verilmektedir. C ve D noktaları arasına ilk düşen hız periyodu denmektedir. Bu süre boyunca, yüzeye sıvı hareketinin hızı, yüzeyden buharlaşma oranından daha azdır ve yüzey, sıvı su içinde sürekli olarak tükenmektedir. Tüm yüzey artık ıslanmaz ve ıslak alan, ilk düşme hızı periyodunda yüzey D noktasında tamamen kuruyana kadar sürekli olarak azalmaktadır. D noktasının ötesinde, nem içeriği azalmaya devam ettikçe hem ısının hem de kütlenin taşınması için yol daha uzun ve daha dolambaçlı hale gelmektedir. Bu döneme ikinci düşen oran dönemi denmektedir. Son olarak, katının buhar basıncı, kurutma havasının kısmi buhar basıncına eşit hale gelir ve artık kurutma gerçekleşmez. Belirli bir kurutma koşulu altında bir malzemenin kurutulabileceği bu aşamadaki sınırlayıcı nem içeriğine denge nem içeriği (  $N_e$  ) denmektedir[28].

### 3.4 İnce Tabaka Kurutma Modelleri

İnce tabakalı kurutma, toplu sistemler için kullanılan terimdir ; yani, kurutulmadan önce dilimlenen meyve veya sebzenin ince yapısından dolayı genellikle üniform bir sıcaklık varsayılır. İnce katmanlı modeller teorik, yarı ampirik (yarı teorik) ve ampirik olarak sınıflandırılmasına rağmen, ampirik denklemler basitlikleri ve hesaplama kolaylığı nedeniyle hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Teorik modellerin parametreleri, genel ısı ve kütle transfer yasaları teorisine dayandıkları ve kurutma işleminin temellerini dikkate aldıkları için fiziksel bir anlam taşımaktadır[16].

Kurutma, enerji yoğun bir uygulamadır, çünkü gelişmiş ülkelerdeki tüm gıda endüstrilerinin toplam enerji ihtiyacının %10-15'inin bu işlem tarafından tüketildiği tahmin edilmektedir. Kurutma verilerinin modellenmesi ve tanımlanması, sırasıyla ekipman tasarımı, optimizasyonu ve gıda kalitesinin iyileştirilmesi için önemli olan uygun kurutma koşullarının seçilmesi için önemlidir. Bu nedenle, ince katman modellemeyi içeren matematiksel modelleme, yalnızca deneysel verileri tanımlamak için değil, aynı zamanda kurutma işleminin optimizasyonu ve nihayetinde toplam enerji gereksinimini azaltmak için de önemli bir araç olabilmektedir[16].

Ayrıca, bu modeller kurutma sırasında meydana gelen olayları açıklamak için kullanılabilir. Bununla birlikte, yarı ampirik ve ampirik modellere göre uygulanması daha zor olmaktadır. Yarı deneysel modeller, Fick'in ikinci difüzyon yasasından (teorik model) veya Newton'un pişirme yasasından, yani Fick'in ikinci yayılma yasasının basitleştirilmiş bir versiyonundan türetilmiştir. Ampirik modeller genellikle nem içeriği ile kuruma süresi arasındaki doğrudan ilişkiden formüle edilir ve parametrelerinin hiçbir fiziksel anlamı olmayabilmektedir[16].

Gıdaların ince tabaka halinde kurutulmasının modellenmesi esas olarak uygun matematiksel model veya modeller kullanılarak nem oranı (NO) - zaman (t) verilerinin tanımlanmasına dayanmaktadır. Bu amaçla birçok farklı model kullanılmış ve çalışmaların çoğu bu modellerin verilere uydurulması, modellerin karşılaştırılması ve aralarından en uygun model veya modellerin seçilmesi ile ilgili olmuştur. Modellerin karşılaştırmaları genellikle belirleme katsayısı ( $R^2$ ) olan uydurma performanslarına dayanmaktadır ve model parametrelerinin belirsizlikleri (standart hata veya güven aralığı) nadiren parametre değerleri ile birlikte verilmektedir. Ancak, parametre değerlerinin kendisi kadar önemlidirler ve belirsizlikler ihmal edilirse parametre tahminleri yorumlanamaz. Bu genellikle ince tabaka kurutma modelleme çalışmalarında geçerlidir. Ayrıca farklı matematiksel yapılara sahip aynı modeller aynı verilere uydurularak karşılaştırmalar da yapılmıştır[16].

Literatürde ince katman modelleri üzerine inceleme makaleleri mevcuttur ve bu incelemelerin bazılarında 20'den fazla model incelenmiştir[16]. Bazı ince katmanlı modeller Tablo 3.2' de verilmiştir.

**Tablo 3.2 İnce Tabaka Halinde Kurutulma Modelleri**

| Model                                                       | Model Adı                        | Kaynak |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|
| $NO = \exp(-kt)$                                            | Newton                           | [29]   |
| $NO = \exp(-ktn)$                                           | Page                             | [30]   |
| $NO = \exp[(-kt)n]$                                         | Geliştirilmiş Page I             | [29]   |
| $NO = \exp[-(kt)n]$                                         | Geliştirilmiş Page II            | [29]   |
| $NO = a \exp(-kt)$                                          | Henderson ve Pabis               | [29]   |
| $NO = a \exp(-kt) + c$                                      | Logaritmik                       | [32]   |
| $NO = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$                      | İki terimli                      | [29]   |
| $NO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$                       | İki terimli exponansiyel         | [29]   |
| $NO = 1 + at + bt^2$                                        | Wang ve Sing                     | [33]   |
| $NO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$                       | Difüzyon yaklaşım                | [29]   |
| $NO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$                        | Verma ve ark.                    | [33]   |
| $NO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$              | Geliştirilmiş Henderson ve Pabis | [29]   |
| $NO = a \exp(-ktn) + bt$                                    | Midilli ve ark.                  | [34]   |
| $NO = \ln(-\ln NO) = a + b \cdot \ln t + c \cdot (\ln t)^2$ | Diamante                         | [16]   |
| $NO = a e^{(-kt^n)} + bt + g$                               | Alibaş                           | [35]   |

### 3.5 Gıda Malzemelerinin Kurutulması Sırasındaki Kalite Değişimleri

Kalite terimi, ya kurutma işleminin ara aşamalarında ya da kurutma işleminin tamamlanmasından sonra, kurutma malzemesinin bir seri parametresinden meydana gelmektedir. Bu özellikler kurutulan ürünün kalitesinin tahmini ve karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için önemlidir. Ayrıca istenilen özelliklerde yeni endüstriyel ürünlerin geliştirilmesi veya mevcut ürünün kalitesini iyileştirilme çalışmaları için de çok önemlidir. Kurutma sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişikliklerin, ürünün kalite özelliklerini etkilediği görülmektedir. Kalite ile ilgili özellikler; yapısal (gözenek



boyutu , yoğunluk, gözeneklilik, özgül hacim), optik (görünüm, renk), dokusal (stres gevşeme testi, sıkıştırma testi, çekme testi), duyuşal (tat,aroma), beslenme özellikleri (proteinler, vitaminler) gibi katogarilerde sınıflandırılabilir[20].

### **3.6 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler**

Kurutma hızına etki eden faktörler; ürünün kimyasal bileşimi, ürünün boyutları, sıcaklık havanın hızı, havanın kuruluğı ve atmosfer basıncıdır.

#### **3.6.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi**

Şeker, tuz, nişasta, glikoz ve pektince zengin ürünler, bu maddeleri daha az içeren ya da hiç içermeyen ürünlere göre daha zor kurumaktadır. Suyun buhar basıncını düşüren çözünmüş maddeler, suyun buharlaşmasını güçleştirmektedir[36].

#### **3.6.2. Ürünün Boyutları**

Kuruma hızı, parçacıkların yüzey alanı küçüldükçe artar, kalınlaştıkça azalmaktadır. Bu sebeple kurutulacak ürünlerin parçalara ayrılmasıyla parça ne kadar küçükse yüzey alanı fazla, kalınlığı az olmaktadır. Böylece kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir[36].

#### **3.6.3. Sıcaklık**

Kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek ve ürünün sıcaklığı ne kadar düşük olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olmaktadır [34].

#### **3.6.4. Havanın Hızı**

Havadaki hareketin hızlı oluşu kurutmayı olumlu yönde etkilemektedir[36].

#### **3.6.5. Havanın Kuruluğı**

Nisbi nem, kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin etmektedir. Hava nemi ile kurutulmakta olan ürün arasında bir dengeye gelene kadar kurutma işlemi devam etmektedir[36].

#### **3.6.6. Atmosfer Basıncı**

Hava basıncı düştükçe yani buharlaşma artmaktadır[36].

Aghbashlo ve arkadaşları, vişnenin kurutma kinetiğine hava sıcaklığı ve hızının etkisi laboratuvar ölçekli statik tip kurutucu kullanılarak 60, 70 ve 80°C hava sıcaklıklarında ve 0,3, 0,6 ve 0,9 m/s hava hızlarında incelemiştir. Weibull dağılım modeli, MATLAB bilgisayar programında doğrusal olmayan regresyon analizi teknikleri kullanılarak deneysel verilere uydurulmuş, yüksek regresyon katsayıları ( $R^2 > 0.998$ ) ve düşük indirgenmiş ki-kare ve kök ortalama kare hatası, Weibull modelinin nem oranını tahmin etmek için uygun olduğunu göstermişler. Vişnenin efektif yayılımı  $3.46 \times 10^{-9}$  ile  $13.08 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s arasında, vişnenin aktivasyon enerjisi 64.39–66.05 kJ/mol aralığında olduğunu bulmuşlar. Rehidrasyon testleri, 70°C hava sıcaklığında ve 0.3 m/s hava hızında kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasitesinin diğer deneylerden daha iyi olduğunu göstermişlerdir[37].

Gazor ve arkadaşları, vişne kurutma kinetiği üzerine ön işlem çözeltisinin (kaynar suya daldırma, tuzlu kaynar su, etil oleat) etkilerini incelenmişler. Vişnelerin ince tabaka halinde kurutulması, 50, 60 ve 70°C'lik üç hava sıcaklığında ve 1 m/s'lik hava akış hızında gerçekleştirilmiş, deneysel veriler Newton, Henderson ve Pabis, Page, Logaritmik, Yaklaşık Difüzyon, İki terimli üstel ve Midilli ve diğerleri gibi birkaç ince tabaka kurutma modeline yerleştirmişler. Üç istatistiksel araç belirleme katsayısı ( $R^2$ ), azaltılmış chi uyumun iyiliğini ölçmek için kare ( $\chi^2$ ) ve ortalama karekök hatası (RMSE) kullanmışlar. Elde edilen sonuçlara göre tuzlu kaynar su çözeltisine batırılan vişne örneklerinin kuruma süresi ön işlem ve kontrol uygulamalarına göre daha kısa olduğunu ayrıca Midilli ve ark. vişnenin kuruma özelliklerini tanımlamada sırasıyla en uygun logaritmik modeller olduğunu bulmuşlar. Fick'in ikinci yasasının analitik çözümüne dayalı olarak vişnelerin etkin nem yayılımı  $2.07 \times 10^{-11}$  ile  $2.33 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiğini, vişne kurutma işleminde ön işlem görmüş çözeltilerin kullanılması aktivasyon enerjisinin azalmasına neden olduğu sonucuna varmışlardır. Aktivasyon enerjisi değerleri 23.74 ile 83.05 kJ/mol arasında olduğunu hesaplamışlardır[38].

Ertekin ve arkadaşları, iki çilek çeşidini (Camarosa ve Festival) infrared kurutma metodu ile kurutmuşlardır. Kuruma süresi ve kuruma hızını incelemişler. Numuneler dört parçaya ayrılmış, ayrılan parçalar laboratuvar ölçekli bir infrared kurutucu ile 60, 70 ve 80°C'lik çalışma sıcaklıklarında kurutmuşlar. Kurutma işlemi Camarosa çeşidinde 60, 70 ve 80°C kurutma sıcaklıklarında sırasıyla 508, 280 ve 246 dk ve festival çeşitleri için 536, 304 ve 290 dk olarak tamamlamışlar. Kuruma süresi kuruma sıcaklığından etkilendiğini, Camarosa çeşidinin kuruma süresi Festival çeşidine göre daha uzun olduğu sonucuna varmışlardır. Kurutma hızı kurutma sıcaklığından etkilenmiş ve en yüksek kuruma hızı 80°C kurutma sıcaklığında belirlenmiştir. Her iki çeşit için de en yüksek toplam fenolik miktarları 80°C kurutma sıcaklığında elde edildiğini ifade etmişlerdir[39].

Chayjan ve arkadaşları, hava sıcaklığı, hava hızı ve infrared (IR) radyasyonun vişnenin kurutma kinetiği üzerindeki etkisi laboratuvar infrared kurutucusu kullanılarak araştırmışlar. Deneyler 35, 50 ve 65 °C hava sıcaklıklarında, 0,5, 1,1 ve 1,7 m/s hava hızlarında ve 500, 1.000 ve 1.500 W IR radyasyonlarında gerçekleştirilmiş, nem oranı değişiminin zamana bağlılığını açıklamak için beş deneysel kurutma modeli deneysel verilere uydurmuşlar. Numunelerin etkin nem yayılımını ve özgül enerji tüketimini tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) yöntemi kullanılmış, uygulanan modeller arasında Midilli ve ark. modeli vişnenin ince tabaka kuruma davranışını en iyi tahmin eden model olduğu sonucuna varmışlardır. Vişnenin efektif nem yayılımı  $1.17 \times 10^{-10}$  ile  $8.13 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s , vişnenin aktivasyon enerjisi 30.31- 41.68 kJ/mol aralığında olduğunu bulmuşlar. Spesifik enerji tüketimi 56.12-891.16 MJ/kg aralığında olduğunu hesaplamışlardır[40].

Omolola ve arkadaşları, 100 ile 300 W arasındaki güç seviyelerinde ince tabakalı Mabonde muz çeşidinin (MBV) mikrodalga kurutma kinetiğini araştırmışlardır. Altı matematiksel kurutma modeli: Wang ve Singh, Verma, İki terimli, Sayfa, İki terimli üstel ve Logaritmik modellerini kullanmışlar. Çalışmadan elde edilen deneysel kurutma verileri modeldeki yerlerine yerleştirilmiş, modellerin istatistiksel tutarlılığı, belirleme katsayısı, ortalama yanlılık hatası, ortalama hata karekökü ve azaltılmış ki kare dahil olmak üzere istatistiksel parametreler hesaplamışlardır. Muz dilimlerinden nem geçişini, Fick'in difüzyon modeli kullanılarak tanımlamışlar. Efektif difüzyon hesaplanmış, sonuçlar, kurutmanın büyük ölçüde düşen hız döneminde gerçekleştiğini göstermişlerdir. Muzun nemini belirli bir seviyeye indirmek için gereken süre mikrodalga çıkışına bağlı olduğunu, 100 W'da en uzun ve 300 W'da en kısa olduğunu bulmuşlar.

Mikrodalga gücünün artmasıyla etkin nem yayılımı, 100, 200 ve 300' W'de sırasıyla  $4.89 \times 10^{-10}$ ,  $1.09 \times 10^{-9}$  ve  $1.69 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s değerleriyle arttığını ve Wang ve Singh modeli, MBV'nin ince tabaka kurumasının tanımlanması için en iyi sonuçları verdiğini bulmuşlardır[41].

Darvishi ve arkadaşları, patates dilimlerinin mikrodalgada kurutulması için kurutma özellikleri ve enerji gereksinimleri, 5, 10, 15 ve 20W/g olmak üzere dört mikrodalga güç yoğunluğunda rapor etmişler. Deneyler sırasında patates dilimleri, 2.294'ten (kgH<sub>2</sub>O/kg kuru madde) 0.08'lik nihai nem içeriğine kadar kurutulmuş, deneysel veriler altı kurutma modeline yerleştirilmiş: (Linear, Lewis, Henderson ve Pabis, Wang ve Singh, Page ve Midilli ve ark.) Modeller, belirleme katsayısı, ortalama karekök hatası ve indirgenmiş ki-kare kullanılarak karşılaştırmışlar. Midilli ve ark. model, patates dilimlerinin kuruma eğrisini en iyi şekilde tanımladığını ispatlamışlar. Etkin nem yayılımı Fick'in ikinci yasası kullanılarak belirlenmiş ve  $0.025 \times 10^{-8}$  ile  $3.05 \times 10^{-8}$  m arasında olduğu gözlemlenmiştir. Patates örnekleri için patates dilimlerinin kurutulması için minimum ve maksimum enerji gereksinimleri de sırasıyla 15 ve 5 W/g için 4,22 MJ/kgH<sub>2</sub>O ve 10,56 MJ/kgH<sub>2</sub>O olarak belirlemişlerdir[42].

Zarein ve arkadaşları, elmanın ince tabaka mikrodalga kurutma özellikleri, 2450 MHz'de laboratuvar ölçekli bir mikrodalga kurutucuda değerlendirmişler. Kurutma deneyleri 200, 400 ve 600 W'da gerçekleştirilmiş, deneysel veriler dokuz ince tabaka kurutma modeline uyarlamışlar. Modeller, belirleme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karekök (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) kullanılarak karşılaştırılmış, Midilli et al. model, elma dilimlerinin kuruma eğrisini en iyi şekilde tanımladığını göstermişler. Etkin nem yayılımı Fick'in ikinci yasası kullanılarak belirlenmiş ve  $3,93 \times 10^{-7}$  ile  $2,27 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> arasında olduğu gözlemlenmiştir. Etkili yayılma katsayısının mikrodalga gücüne bağımlılığı, Arrhenius tipi bir ilişki izlediğini bulmuşlar. Nem difüzyonu için aktivasyon enerjisi 12.15 W/g olarak belirlenmiş, en yüksek enerji verimliliği 600 W'da %54,34 ile kurutulan numunelerde, en düşük ise %17,42 ile 200 W'da kurutulan numunelerde kaydetmişler[43].

Evin ve arkadaşları, beyaz dutun mikrodalgada kurutulması üzerine deneysel çalışma yapmışlar ve bu deneysel verilerin matematiksel modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Dutun nem içeriğini 3,76'dan 0,25'e (g su/g kuru madde) düşüren mikrodalga kurutma işlemini, modifiye edilmiş bir mikrodalga kurutma düzeneğinde 90,

180, 360, 600 ve 800 W'da gerçekleştirmişler. Mikrodalga kurutma tekniğinin beyaz dutun nem oranı ve kuruma hızına etkisi deneysel olarak incelemişler. Hem mikrodalga güç seviyesinin (90-800W aralığının altında) hem de ilk numune ağırlığının (50-150 g) etkileri incelemişler. Kurutmanın sabit bir kuruma periyodunda gerçekleştiğini gözlemlemişler. Beyaz dutun mikrodalga işlemi altında ince tabaka kurutma kinetiğinin matematiksel modellemesi, deneysel kurutma verilerinin sekiz ince tabaka kurutma modeline uyarlanmasıyla da incelemişler. Önerilen modeller arasında Midilli ve ark. model, 0.999'dan yüksek belirleme katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama sapma karesi ( $\chi^2$ ) ile beyaz dutun mikrodalga kurutma davranışını tam olarak temsil etmiş ve incelenen tüm mikrodalga kurutma koşulları için sırasıyla  $1,1 \times 10^{-4}$  ve  $8,9 \times 10^{-3}$ 'ten düşük ortalama karekök hata (RMSE) bulmuşlar. Beyaz dutun etkin nem yayılımı ( $D_{eff}$ )  $0,45 \times 10^{-8}$  ile  $3,25 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  arasında değişmekte olduğunu gözlemlemişler. Mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla hem kurutma sabiti (k) hem de  $D_{eff}$  arttığını gözlemlemişler [44].

Shingare ve arkadaşları hindistan cevizi dilimlerinin (2-4 mm) ince tabakalı kurutma özelliklerini, bir infrared kurutucu (3 ila  $4,2 \text{ kW/m}^2$  infrared güç) kullanılarak araştırmışlar. Kurutma, azalan oran periyotlarında gerçekleştirmişler. İnfrared güç ve dilim kalınlığı, kuruma hızını önemli ölçüde etkilemiş, ön işlemin kuruma hızı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde olduğunu bulmuşlar. Etkin yayılımın infrared güçle arttığını, etkin yayılım, araştırılan infrared güç aralığında  $6,09 \times 10^{-11}$  ile  $5,07 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  arasında değiştiğini gözlemlemişler. Deneysel kurutma verilerini çeşitli kurutma denklemlerine uygulamışlar (Newton, Page, Modified Page, Modified Page II, Wang ve Singh, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Yaklaşık difüzyon, İki terim, Verma ve diğerleri). Yaklaşık difüzyon denklemi, tüm infrared güç aralığı için hindistancevizi dilimlerinin kuruma davranışını karakterize etmek için en iyisi olduğunu tespit etmişler. İnfrared kurutmanın; kısa kuruma süresinde, hindistancevizi dilimlerindeki yüksek nem içeriğini azaltmak için umut verici olduğunu gözlemlemişlerdir[45].

### 5.1 Materyal

Bu çalışmadaki kurutma denemelerinde vişne kullanılmıştır. Çorlu lokasyonunda (Tekirdağ, Türkiye) yetiştirilen vişneler, Ağustos 2021'de Çorlu'daki yerel bir marketten temin edilmiş ve buzdolabında 4°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Denemelerde kullanılan vişnelerin ortalama boy ve eni sırasıyla 1.72 cm ve 1.89 cm şeklindedir. Kurutma deneyleri ve nem tayini öncesinde vişne örnekleri buzdolabından çıkarılmış ve 2 saat oda sıcaklığında desikatörde tutulmuştur.

### 5.2 Yöntemler

#### 5.2.1 Kuru madde tayini

Kurutma işlemi öncesi vişne örneklerinin kuru madde ve nem içerikleri belirlenmiştir. Başlangıç nem içeriğini belirlemek için 10 g numune bir etüvde (Memmert UM-400, Almanya) 105 °C'de 24 saat boyunca sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur [46]. Etüvden çıkarılan ürünlerin soğuması için desikatöre konulup, belli bir süre bekledikten sonra tartımları yapılmıştır. Kurutulan vişnelerin nem içeriklerinin belirlenmesinde AOAC, 920,151 yöntemi uygulanmıştır [46]. Nem tayininde örneklerin ağırlık ölçümleri  $\pm 0,0001$  hassasiyete sahip hassas teraziyle ölçülmüştür. Veriler neticesinde vişnelerin ortalama başlangıç nem içeriği yaklaşık %74.40 olarak hesaplanmıştır.

#### 5.2.2 Mikrodalga kurutucu ve kurutma metodu

Mikrodalga kurutma işleminde 140-790W (Delonghi, Treviso, İtalya) aralığında çalışan ev tipi Delonghi MW 205 S model mikrodalga kurutucu kullanılmıştır.

Kurutmadan önce numunelerin çekirdeği çıkarılmış ve iki parçaya bölünmüştür. Vişne örnekleri (yaklaşık  $15 \pm 0.2$  g) mikrodalga fırın kullanılarak 140, 210 ve 350W güç seviyelerinde su içeriği yaklaşık %8.5'e (w.b) düşene kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler mikrodalgadan 140W için 60 s, 210W için 30 s ve 350W için 15 s aralıklarla çıkarıldı ve ağırlık kayıpları dijital bir terazi (model BB3000, Mettler-Toledo AG, Greifensee, İsviçre) ile ölçülmüştür.

### 5.2.3 İnfrared kurutucu ve kurutma metodu

İnfrared kurutma deneyleri, 50 MHz'de 230 V akımda çalışan Radwag MA 50.R model infrared nem tayin cihazı (Radwag Balances and Scales, Radom, Polonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnfrared kurutma cihazı 50 gr numune kapasiteli olup 250 °C sıcaklığa kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, verilerin ekrandan okunabilmesi için bir Sıvı Kristal Ekrana sahiptir.

Sıcaklığın etkisi dikkate alınarak vişneler infrared kurutucuda 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuştur. İnfrared kurutma yönteminde her sıcaklık için infrared radyasyon kurutucu ekranından numune ağırlığı 15 dakikalık aralıklarla not edilmiştir. Kurutma işlemi, nem içeriği %74.40'lık bir başlangıç değerinden (w.b.) yaklaşık %8.5'e (w.b.) düştüğünde sonlandırılmıştır.

Her iki kurutma yöntemi deneyi de üç kopyalanmış ve kurutma eğrilerinin çizilmesi için nem içeriğinin ortalama değerleri kullanılmıştır.

### 5.2.4 Renk ölçümleri

Taze ve kuru vişne örneklerinin renk ölçümleri proje kapsamında alınan Chroma Meter (PCE-CSM 1, PCE Deutschland GmbH, Almanya) ile yapılmıştır. Seçilen her numune için beş rastgele okuma kaydedilmiştir. Renk CIEL cinsinden ölçülmüştür. L değeri parlaklığı (açıklık/koyuluk) temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. a değeri kırmızılık ve yeşilliği ifade etmekte olup, -90 ile +90 arasında değişmektedir. b değeri ise sarılık ve maviliği ifade etmekte olup -90 ile +90 arasında değişmektedir. Vişne örneklerinin renk değerlerindeki değişimi tanımlamak için ölçülen L, a ve b değerlerine ek olarak toplam renk farkı ( $\Delta E$ ) değeri aşağıdaki Denklem 5.1'e [47] göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (5.1)$$

### 5.2.5 Enerji tüketiminin hesaplanması

Kızılötesi radyasyonun enerji tüketimi, 0,01 kWh hassasiyetli bir dijital elektrik sayacı (Benetech GM36, Türkiye) kullanılarak belirlenmiştir.

Mikrodalga ile kurutmada ise kurutma sırasındaki toplam enerji tüketimi Denklem 5.2[48] kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_t = P * t \quad (5.2)$$

Burada;  $E_t$  toplam enerji tüketimi (kWh),  $P$  mikrodalga güç çıkışı (kW),  $t$  ise kurutma süresidir (h).

### 5.2.6 Spesifik Enerji Tüketiminin Hesaplanması

Kurutma işleminin toplam enerji tüketimi, Spesifik Enerji tüketimi (SEC) ile değerlendirildi. Kurutma işlemi sırasında elektrik enerjisi tüketilmiştir. Üründen birim kütledeki suyu buharlaştırmak için gereken enerjinin bir ölçüsü olan özgül enerji tüketimi, aşağıdaki Denklem 5.3 [49] kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Q_s = \frac{Q_t}{m_w} \quad (5.3)$$

burada  $Q_s$ , kWh\*kg<sup>-1</sup> [H<sub>2</sub>O] cinsinden özgül enerji tüketimidir,  $Q_t$ , kWh cinsinden tüketilen enerjidir,  $m_w$ , kg [H<sub>2</sub>O] cinsinden buharlaşan suyun kütlesidir.

### 5.3 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Kurutma kinetiği için ağırlık kaybının ölçülmesiyle elde edilen veriler, ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Kuruyan numunelerin  $t$  zamanındaki nem içeriği, nem oranına (NO) dönüştürülebilir [50].

$$NO = \frac{N_t - N_e}{N_o - N_e} \quad (5.4)$$

Denklem 5.4 'ki  $N_e$  değeri  $N_t$  veya  $N_o$ 'a kıyasla nispeten küçüktür ve ihmal edilebilir.

Burada;  $N_t$ , herhangi bir andaki nem içeriği (g su/g km),  $N_o$  başlangıç nem içeriği (g su/g km),  $N_e$  denge nem içeriğidir (g su/g km).

Vişne örneklerinin kuruma hızı (KH) Denklem 5.5 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$KH = \frac{N_t - N_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Burada  $N_{t+\Delta t}$ ,  $t + \Delta t$ 'deki nem içeriği (g su/g km) ve  $t$  zamandır (dk).

Bu çalışmada, vişne örneklerinin kurutma sürecini tanımlamak için uygun bir model seçmek için on farklı ince tabaka kurutma modeline kurutma eğrileri uydurulmuştur (Tablo 5.1). Bu denklemlerdeki NO, numunelerin herhangi bir andaki nem içeriğini veya nem oranını ve kuruma süresini temsil eder. Nem oranı, bazı araştırmacılar [51,47] tarafından Denklem 5.4 yerine  $N_t/N_o$  olarak basitleştirilmiştir.

Elde edilen veriler modellere uyduruldu ve karşılık gelen sabitleri Statistica 6.0 program yazılımı (Statsoft Inc., Tulsa, OK) kullanılarak hesaplanmıştır. Belirleme katsayısı ( $R^2$ ),



kuruma eğrilerini tanımlamak için en iyi modeli seçmek için birincil kriterlerden biridir. Uyumun kalitesini belirlemek için  $R^2$ 'ye ek olarak, indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) ve ortalama karekök hatası (RMSE) kullanılmıştır.

Bu parametreler Denklem 5.6, 5.7 kullanılarak hesaplanabilir:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (NO_{den,i} - NO_{teo,i})^2}{N-z} \quad (5.6)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NO_{teo,i} - NO_{den,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.7)$$

$NO_{den,i}$  ve  $NO_{teo,i}$  sırasıyla deneysel ve tahmin edilen boyutsuz NO, N veri değerlerinin sayısı ve z modellerin sabitlerinin sayısıdır. Numunelerin kuruma özelliklerini en iyi tanımlayan model, en yüksek  $R^2$ , en az  $\chi^2$  ve RMSE'ye sahip olan model olarak seçilmiştir [47].

**Tablo 5.1** Vişne örneklerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller

| Model              | Denklem                                        | Referans |
|--------------------|------------------------------------------------|----------|
| Aghbashlo          | $NO = e^{\left(\frac{-k_1 t}{1+k_2 t}\right)}$ | [53]     |
| Alibas             | $NO = a e^{(-kt^n)} + bt + g$                  | [35]     |
| Henderson ve Pabis | $NO = A_0 \exp (-k.t)$                         | [31]     |
| Jane Das           | $NO = ae^{(-kt+bt^{0.5})} + c$                 | [53]     |
| Logarithmic        | $NO = a \exp (-k.t)+c$                         | [54]     |
| Midilli            | $NO = a \exp ((-k.t^n) + (b.t))$               | [34]     |
| Page               | $NO = \exp (-k.t^n)$                           | [30]     |
| Parabolik          | $NO = a + bt + ct^2$                           | [51]     |
| Verma              | $NO = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-gt)}$           | [33]     |
| Wang               | $NO = \exp (-k.t^n)$                           | [33]     |

#### 5.4 Etkin Nem Yayılımı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kurutmada difüzyon, nem akış hızını veya nemin malzemeden dışarı hareketini belirtmek için kullanılır. Gıda maddelerinin kurutma işlemi (infrared-mikrodalga kurutma) genellikle düşen oran döneminde gerçekleşir. Nem, esas olarak azalan kurutma hızı periyodu sırasında moleküler difüzyon yoluyla aktarılır.

Etkili nem difüzyon katsayılarını belirlemek için Fick'in ikinci difüzyon yasasına dayanan bir difüzyon modeli (bazı varsayımlara dayalı) kullanılmıştır[50]. Bu nedenle, etkin nem yayılım katsayısı aşağıdaki Denklem 5.8 ile hesaplanmıştır.

$$\ln NO = \left( \frac{8}{\pi^2} \right) - \left( \frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{4 \cdot L^2} t \right) \rightarrow S = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4 L^2} \quad (5.8)$$

Burada  $D_{eff}$  etkin nem yayılımıdır ( $m^2/s$ ),  $L$  numunenin yarı kalınlığı (cm),  $t$  kuruma süresi (s) ve  $S$  eğimdir.

İnfrared kurutucuda kurutulan vişnelerin efektif yayılımın sıcaklık ile değişimi 5.9 denkleminde görüldüğü gibi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla ifade edilir [47,56].

$$D_{eff} = D_0 \exp(-E_a/RT) \quad (5.9)$$

Mikrodalga kurutucuda farklı mikrodalga güçlerde kurutulan vişnelerin aktivasyon enerjileri ise 5.10 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = D_0 \exp(-m E_a / P) \quad (5.10)$$

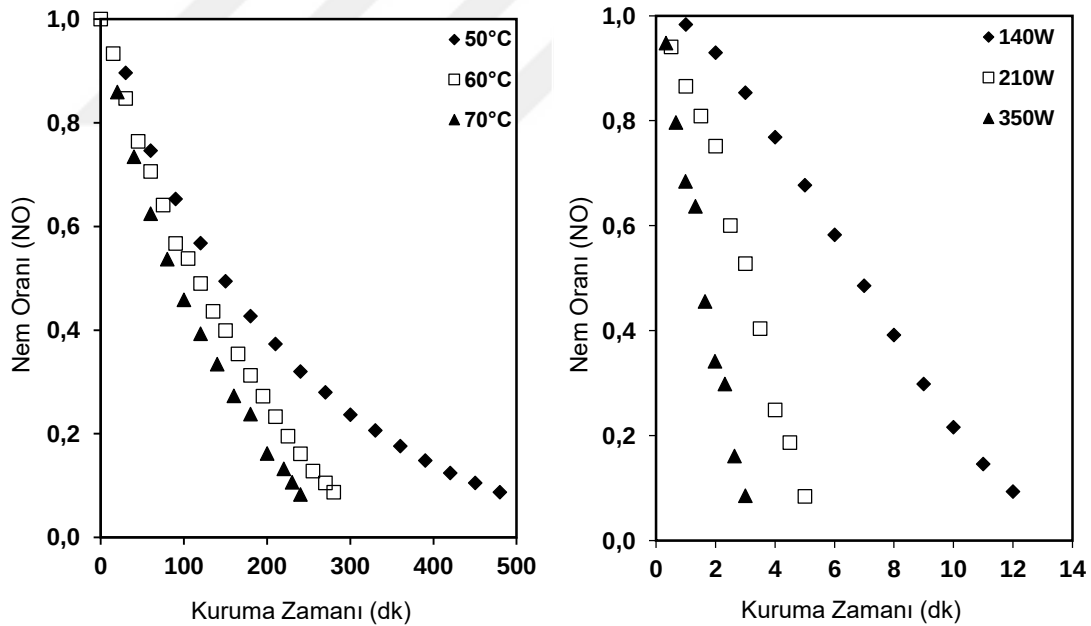
Burada;  $D_0$  Arrhenius denkleminin ( $m^2/s$ ) ön-üssel faktörüdür,  $E_a$  aktivasyon enerjisi (J/mol),  $R$  gaz sabiti (8.31451 J/mol K),  $T$  kurutma sıcaklığı (Kelvin) ve  $m$  ise numune ağırlığıdır (g).

Bu çalışmada, iki farklı yöntemle vişne kurutma gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin kuruma üzerine etkileri incelenmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır.

### 6.1 Kuruma ve Kuruma Hızı Eğrileri

#### 6.1.1 Vişne örneklerinin nem oranı değişimi

Mikrodalga ve infrared kurutucuda farklı mikrodalga güç ve sıcaklıklarda kurutulan vişne örneklerinin kuruma eğrileri (kurutma zamanı-nem oranı) Şekil 6.1'de görülmektedir. Vişne örneklerinin hem mikrodalga hem de infrared kurutucularla kurutulmasına, yaklaşık %74.40 (ağırlıkça) başlangıç nem içeriği ile başlanılmış olup, %8.50 (ağırlıkça) nihai nem içeriğine ulaşılan kadar devam edilmiştir.



**Şekil 6.1** İfrared ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklık ve güç seviyelerinde kurutulan vişne örneklerinin kurutma eğrileri

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi, vişne örneklerinin başlangıç nem içeriğinden nihai son nem içeriğine ulaşma süreleri; infrared kurutma yöntemindeki 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda sırasıyla 480, 280 ve 240 dakika, buna karşılık mikrodalga kurutma yöntemindeki 140, 210 ve 350W mikrodalga güçlerinde ise sırasıyla 12, 5 ve 3 dakika olarak tespit edilmiştir.

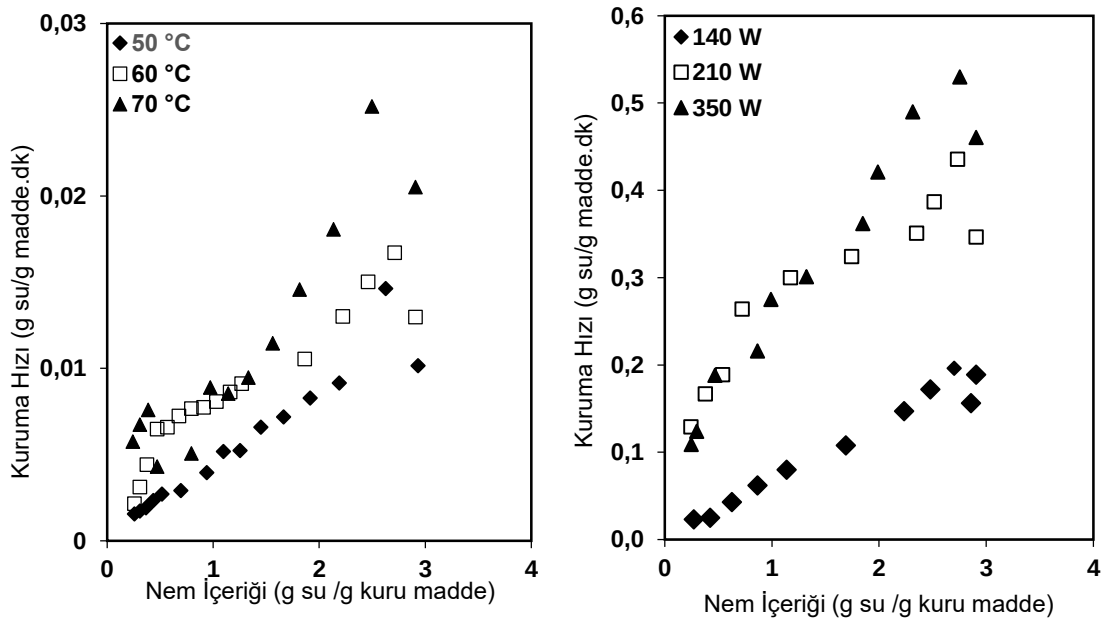
Gıdaların nem içeriğinin ağırlıkça %10 ila %20 arasında azaltılması. bakteri, maya, küf ve enzim hasarını önler [55].

Beklendiği gibi, kurutma sıcaklığı ve güç seviyelerindeki artış, her iki kurutma yöntemi için de vişne örneklerinin kuruma süresinin azalmasına neden olmuştur. Kurutma işleminin başlangıcında uygulanan tüm kurutma koşulları için nem içeriğinde hızlı bir düşüş gözlemlenmiş; ancak bu kuruma hızı kuruma ilerledikçe azalmıştır. Daha önceki araştırmacılar tarafından meyve ürünleri için de benzer sonuçlar bildirilmiştir [56,57].

Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan vişne örneklerinin, infrared kurutma yöntemine göre daha kısa kuruma süresine sahip olduğu tespit edilmiş ve sonuçlar, mikrodalga kurutma yönteminin vişne örneklerinin kurutulmasında daha etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

### 6.1.2 Vişne örneklerinin kuruma hızı değişimi

Infrared ve mikrodalga kurutucuda, farklı sıcaklık ve mikrodalga güçlerinde kurutulan vişne örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriğiyle değişimi Şekil 6.2'de görülmektedir.



**Şekil 6.2** Farklı sıcaklık ve güç seviyelerinde vişne örneklerinin nem içeriğine karşı kurutma oranları

Kurutma hızı, azalan nem içeriği veya artan kurutma süreleri ile sürekli olarak azalmıştır. Bu bulgular önceki çalışmalarla da uyumludur[58]. Mikrodalga kurutma yöntemi, infrared kurutma yöntemine kıyasla her üç koşulda da daha yüksek kurutma hızı

göstermiştir. Sıcaklık ve güç seviyesi arttıkça her iki kurutma yönteminde de kuruma hızı artmıştır.

Şekil 6.2 incelendiğinde, her iki kurutma yöntemindeki farklı kurutma şartlarında gerçekleştirilen vişne örneklerinin kurutulmasında; ilk başlangıçta nem kaybı çok yüksek oranda olduğu, daha sonraları ise azalan nem içeriğine bağlı olarak azalan hız periyodunda gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka ifadeyle; kurutmanın başlangıcında nem içeriği yüksek olduğundan, tüm kurutma koşulları altında kurutma hızı, izotermal ve izobarik olmayan koşulların mevcut olduğu bir geçiş dönemine karşılık gelen zamanla artmış olup, daha sonraları ise nem içeriğinin azalmasıyla istikrarlı bir şekilde azalmıştır. Düşen hızda kuruma davranışının varlığı, hem kütle hem de ısı transferine karşı iç dirençte kademeli bir artışın göstergesidir[59]. Numunelerin gözenekliliği zamanla azalabilir, kuruma ilerledikçe büzülmenin bir sonucu olarak suyun hareketine karşı direnç artar, bu da kuruma hızlarında daha fazla azalmaya yol açar[60].

## **6.2 Vişne Örneklerinin Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi**

İnce tabaka kurutma modelleri, ön değerlendirmesi mühendisler için önemli pratik değere sahiptir. Bu sebeple modelleme çalışmalarının kolaylıkla yapılabilmesi için vişne örneklerinin nem içerikleri boyutsuz nem oranına dönüştürülmüştür. Vişne örneklerinin nem oranı değerleri Denklem 5.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki kuruma yöntemiyle farklı sıcaklık ve güçte kurutulan vişne örneklerinin deney sonuçlarından yararlanılarak lineer olmayan regresyon analiz metoduyla nem içeriği –kuruma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellemesi yapılmıştır. Tablo 5.1’ de verilen matematiksel modeller deneysel verilere uyarlanmış olup regresyon katsayıları ( $R^2$ ), khi-kare ( $\chi^2$ ) ve tahmini standart hata (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Modellerden elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

**Tablo 6.1** İki farklı kurutma yöntemiyle farklı kurutma koşullarında kurutulan vişne örneklerinin istatistiksel analiz sonuçlarının karşılaştırılması

| Modeller           | Parametre      | Mikrodalga Kurutma |         |         | İnfrared Kurutma |         |         |
|--------------------|----------------|--------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
|                    |                | 140 W              | 210 W   | 350 W   | 50°C             | 60°C    | 70°C    |
| Aghbashlo          | R <sup>2</sup> | 0,9412             | 0,9382  | 0,9661  | 0,9997           | 0,9976  | 0,9924  |
|                    | $\chi^2$       | 0,01310            | 0,01422 | 0,00793 | 0,00005          | 0,00062 | 0,00142 |
|                    | RMSE           | 0,10530            | 0,10888 | 0,08055 | 0,00689          | 0,02308 | 0,03575 |
| Alibas             | R <sup>2</sup> | 0,9979             | 0,9929  | 0,9965  | 0,9993           | 0,9996  | 0,9998  |
|                    | $\chi^2$       | 0,00814            | 0,00244 | 0,00111 | 0,00012          | 0,00009 | 0,00018 |
|                    | RMSE           | 0,07077            | 0,03775 | 0,02462 | 0,00939          | 0,00762 | 0,01181 |
| Henderson ve Pabis | R <sup>2</sup> | 0,9605             | 0,9961  | 0,9752  | 0,9993           | 0,9975  | 0,9944  |
|                    | $\chi^2$       | 0,00882            | 0,01100 | 0,00580 | 0,00005          | 0,00054 | 0,00113 |
|                    | RMSE           | 0,08641            | 0,09575 | 0,06892 | 0,00691          | 0,02169 | 0,03191 |
| Jane Das           | R <sup>2</sup> | 0,9990             | 0,9971  | 0,9965  | 0,9993           | 0,9992  | 0,9997  |
|                    | $\chi^2$       | 0,00021            | 0,00060 | 0,00097 | 0,00001          | 0,00020 | 0,00016 |
|                    | RMSE           | 0,01206            | 0,02006 | 0,02493 | 0,00180          | 0,01197 | 0,01128 |
| Logaritmik         | R <sup>2</sup> | 0,9952             | 0,9936  | 0,9955  | 0,9992           | 0,9990  | 0,9993  |
|                    | $\chi^2$       | 0,00110            | 0,00176 | 0,00123 | 0,00002          | 0,00009 | 0,00016 |
|                    | RMSE           | 0,02911            | 0,03642 | 0,02996 | 0,00406          | 0,00839 | 0,01179 |
| Midilli            | R <sup>2</sup> | 0,9980             | 0,9953  | 0,9932  | 0,9990           | 0,9993  | 0,9991  |
|                    | $\chi^2$       | 0,00033            | 0,00121 | 0,00166 | 0,00000          | 0,00007 | 0,00013 |

**Tablo 6.1** İki farklı kurutma yöntemiyle farklı kurutma koşullarında kurutulan vişne örneklerinin istatistiksel analiz sonuçlarının karşılaştırılması (devamı)

|           |          |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           | RMSE     | 0,01602 | 0,03021 | 0,03482 | 0,00216 | 0,00762 | 0,01055 |
| Page      | $R^2$    | 0,9990  | 0,9953  | 0,9961  | 0,9991  | 0,9981  | 0,9970  |
|           | $\chi^2$ | 0,00015 | 0,00108 | 0,00093 | 0,00005 | 0,00028 | 0,00060 |
|           | RMSE     | 0,01144 | 0,03008 | 0,02759 | 0,00665 | 0,01555 | 0,02326 |
| Parabolik | $R^2$    | 0,9963  | 0,9954  | 0,9953  | 0,9982  | 0,9981  | 0,9991  |
|           | $\chi^2$ | 0,00083 | 0,00116 | 0,00120 | 0,00054 | 0,00034 | 0,00026 |
|           | RMSE     | 0,02527 | 0,02957 | 0,02960 | 0,02116 | 0,01651 | 0,01492 |
| Verma     | $R^2$    | 0,9765  | 0,9665  | 0,9944  | 0,9995  | 0,9991  | 0,9977  |
|           | $\chi^2$ | 0,00598 | 0,00891 | 0,00146 | 0,00005 | 0,00008 | 0,00056 |
|           | RMSE     | 0,06782 | 0,08175 | 0,03265 | 0,00693 | 0,00792 | 0,02179 |
| Wang      | $R^2$    | 0,9944  | 0,9955  | 0,9940  | 0,9970  | 0,9982  | 0,9991  |
|           | $\chi^2$ | 0,00116 | 0,00111 | 0,00128 | 0,00088 | 0,00044 | 0,00030 |
|           | RMSE     | 0,03141 | 0,03049 | 0,03245 | 0,02801 | 0,01950 | 0,01640 |

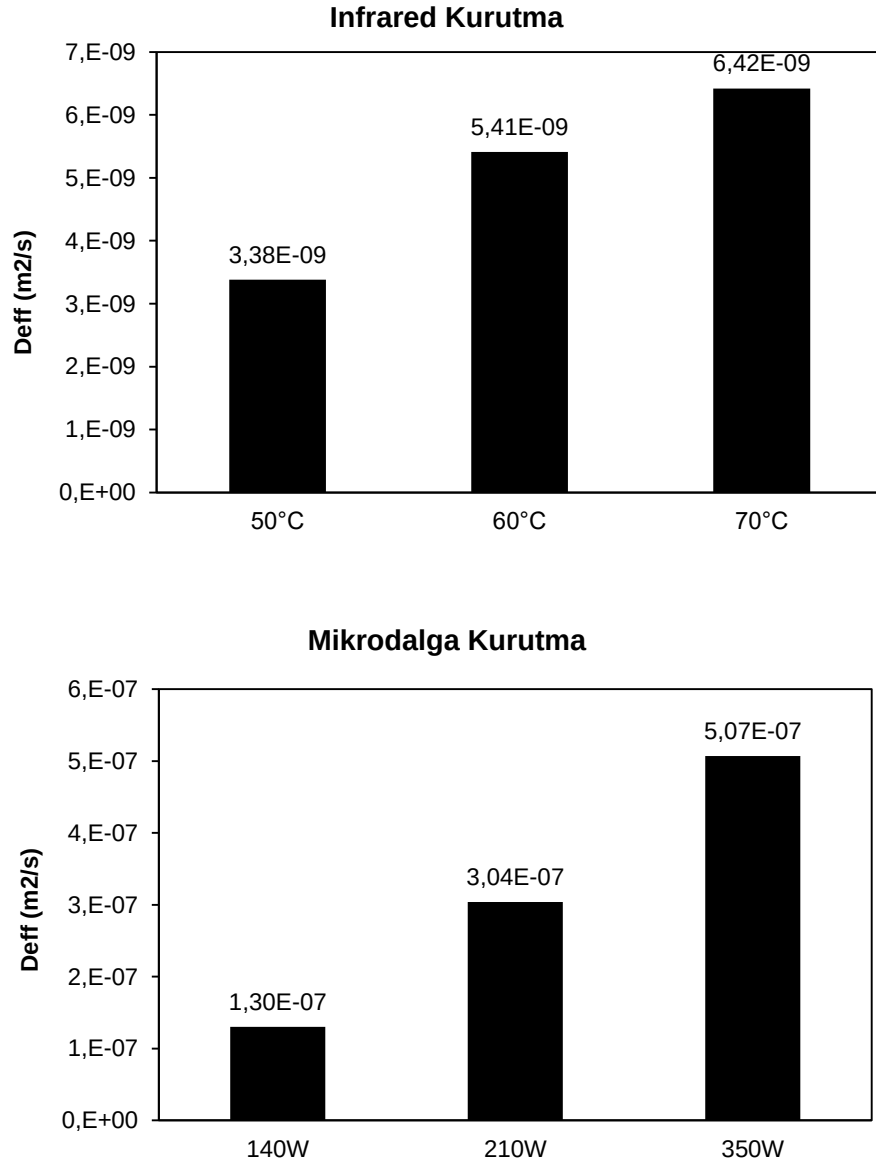
Seçilen modellerdeki herhangi bir modelin uygunluğunu belirlemek için yüksek ( $R^2$ ), düşük ( $\chi^2$ ) ve (RMSE) değerlerine bakılarak karar verilir. Vişne örneklerinin ince tabaka kuruma özelliklerini en iyi tanımlayan model,  $R^2$  değerlerinin en yüksek,  $\chi^2$  ve RMSE değerleri en düşük olan model, en iyi model olarak seçilmiştir. Tablo 6.1 ‘den de görüldüğü gibi,  $R^2$  değerlerinin 0,9382’ten yüksek olması iyi bir uyuma işaret etmektedir. Bire yakın  $R^2$  değeri, tahmin edilen kurutma verilerinin deneysel kurutma verilerine yakın olduğunu ima etmektedir.

Bu, tüm yerleşik modellerin zaman ve nem oranı arasındaki ilişkiyi başarıyla tanımladığı anlamına gelir. Başka bir deyişle; aslında, kurutma işleminin herhangi bir anında numunelerin nem oranı bu modeller kullanılarak tahmin edilebilir. Modelin doğruluğunu

karşılaştırmak için hesaplanan bir diğer istatistiksel parametre, tahmin edilen ve deneysel değerler arasındaki farkları temsil eden  $\chi^2$  ve RMSE değerleridir. Bu nedenle  $\chi^2$  ve RMSE'nin sıfıra yakın olması istenir. Beklendiği gibi, Alibaş modeli tüm kurutma yöntemleri ve kurutma koşulları için en yüksek  $R^2$  değerlerini ve en düşük  $\chi^2$  ve RMSE değerlerini verir.

### 6.3 Etkili Nem Yayılmının Belirlenmesi

Infrared ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan vişne örneklerinin farklı kurutma koşullarındaki efektif difüzyon katsayıları 5.8 denklemi kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 6.3** Farklı sıcaklık ve güç seviyelerinin efektif difüzyon katsayısına etkisi

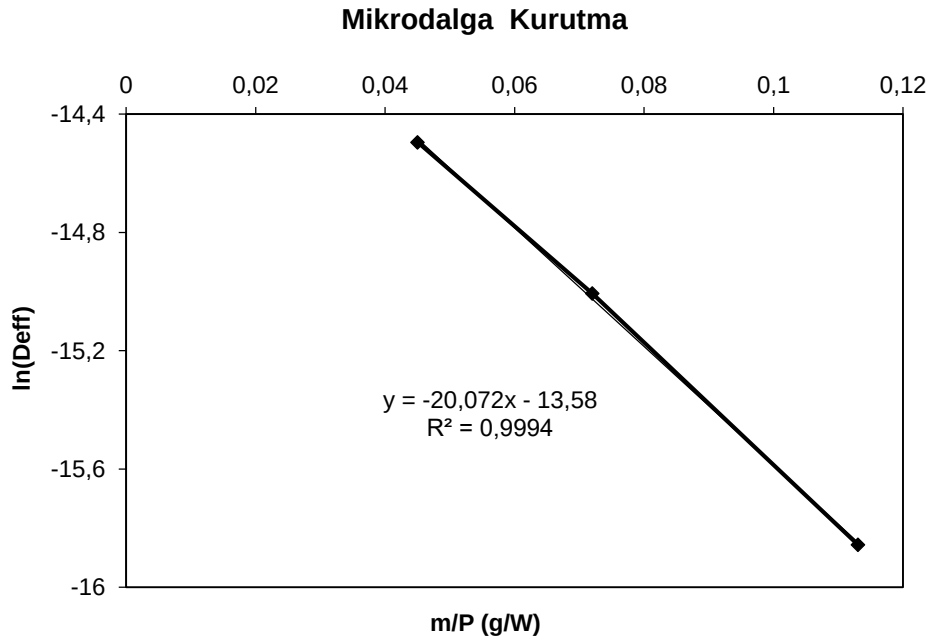
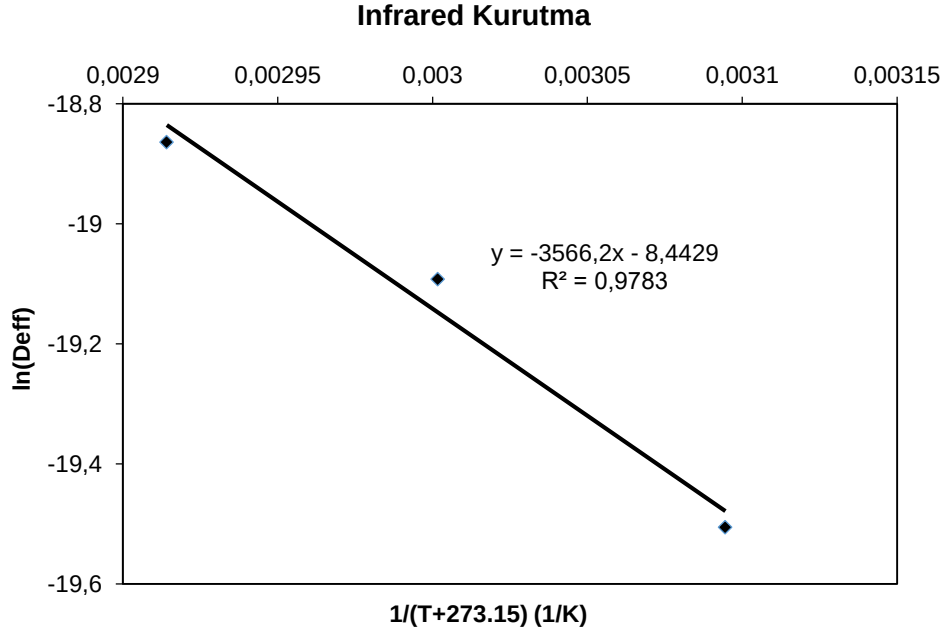


Şekil 6.3'te görüldüğü gibi, Fick'in ikinci yasasının analitik çözümüne dayalı olarak, mikrodalga kurutmada vişnelerin efektif nem difüzyonu veya efektif difüzyon katsayısı değerleri  $1.30 \times 10^{-7}$  ve  $5.07 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , infrared kurutmada ise  $3.38 \times 10^{-9}$  ve  $6.42 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  aralığında bulunmuştur, Beklendiği gibi, kurutma sıcaklığı ve güç seviyelerindeki artışla efektif difüzyon katsayısı değeri de artmıştır. Bu durum; kurutma koşullarındaki, sıcaklık ve gücün artmasıyla ürün içerisindeki sıcaklığın ve basıncın da ani bir şekilde artması ile nemin daha kolay buharlaşması ve bunun sonucunda kuruma hızının artması olarak açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar literatürde infrared ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Ayrıca mikrodalga kurutma yönteminde efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin infrared kurutma yöntemine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı durum; Doymaz ve ark., (2015), Kipcak ve Yalçın, (2019) sebze ve meyve üzerinde yaptıkları mikrodalga ve infrared kurutma çalışmaları birbiri ile karşılaştırıldığında benzer sonuçların da bu çalışmalarda olduğu görülmektedir [61, 62].

#### **6.4 Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi**

Aktivasyon enerjisi, nem transferinin başlaması ve devam etmesi için gereken minimum enerjidir. Arrhenius denklemi bazen,  $D_0$  ve  $E_a$  değerlerinin uygun doğrusal olmayan regresyon sabitlerini temsil ettiği, fiziksel yorum olmaksızın basitçe bir eğri uydurma yöntemi olarak görülmelidir. Her iki kurutma yöntemiyle kurutulan vişne örneklerinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) değerlerinin hesaplanmasında 5.9 ve 5.10 eşitlikleri kullanılmıştır. Aktivasyon enerjisi, infrared kurutmada sıcaklığın ( $1/T$ ), mikrodalga kurutmada ise  $m/P$  karşı  $\ln(D_{eff})$  çizilerek hesaplanmış ve Şekil 6.4'te sunulmuştur.



**Şekil 6.4**  $\ln(D_{eff})$ 'in  $1/T$  ve  $m/P$  ile Varyasyonu

Şekil 6.4'de görülen eğrilerin eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Doğrunun eğimi  $(-E_a/R)$  veya  $(-E_a)$ 'dir ve kesişme noktası  $\ln(D_0)$ 'ya eşittir.

Elde edilen denklemlerden, infrared kurutma ile kurutulan vişne örneklerinin tahmini  $D_0$  ve  $E_a$  değerleri sırasıyla  $2.156 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  ve  $3.56 \text{ kW/kg}$ 'dır. Mikrodalga kurutma ile kurutulan vişne örneklerinin  $D_0$  ve  $E_a$  değerleri ise sırasıyla  $1.267 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $0.020 \text{ kW/kg}$  olarak bulunmuştur. Elde edilen aktivasyon enerjisi değerlerinin literatürdeki

değerler arasında olduğu görülmektedir[63]. Aktivasyon enerjisi değerindeki farklılıklar ise uygulanan kurutma yöntemleri, farklı sıcaklık ve güç'ten ileri gelmektedir.

### 6.5 Renk Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kurutma işlemi gıdaların yüzey özelliklerini değiştirir. Bu, yansıtıcılığa ve renk değişimine yol açar. Bu nedenle çalışma sıcaklıkları düşük tutulmalıdır. Bu çalışmada, her iki yöntemde, taze ve kuru vişneler arasındaki renk farklılıklarını belirlemek için L, a ve b renk değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler yardımıyla toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değeri hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama L, a ve b değerleri ve bu değerlere karşılık gelen toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

**Tablo 6.2** Taze ve kuru vişne örneklerinin ölçülen ve hesaplanan renk değerleri

| Kurutma Metodu        | Kurutma Koşulları | Renk Parametreleri |       |       | $\Delta E$ |
|-----------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|------------|
|                       |                   | L                  | a     | b     |            |
|                       | Taze              | 15.14              | -9.71 | 20.55 | 0          |
| Mikrodalga<br>Kurutma | 140 W             | 15,65              | -5.74 | 7.06  | 14.06      |
|                       | 210 W             | 14.98              | -7.00 | 8.79  | 12.06      |
|                       | 350 W             | 14.56              | -8.15 | 10.84 | 9.84       |
| İnfrared<br>Kurutma   | 50 °C             | 15.90              | -5.46 | 8.07  | 13.20      |
|                       | 60 °C             | 15.38              | -6.30 | 9.20  | 11.85      |
|                       | 70 °C             | 15.60              | -7.45 | 13.37 | 7.53       |

Tablo 6.2'de görüldüğü gibi, taze vişne örneklerinde renk değerleri “L”, “a” ve “b” için sırasıyla 15.14, -9.71 ve 20.55 olarak ölçülmüştür. Taze ve kurutulmuş vişne örneklerinin renk değerleri arasında bir farklılığın olduğu görülmektedir. Kurutulmuş ürünlerdeki bu renk değişiklik farklılığı, Mailard reaksiyonu ve pigmentlerin bozulması ile ilişkili olabilir [64].

Her iki kurutma yönteminde de “b” değerlerinde önemli bir düşüş gözlenirken “a” değerlerinde ise bir miktar artış gözlemlenmiştir. Buna karşılık, mikrodalga kurutma

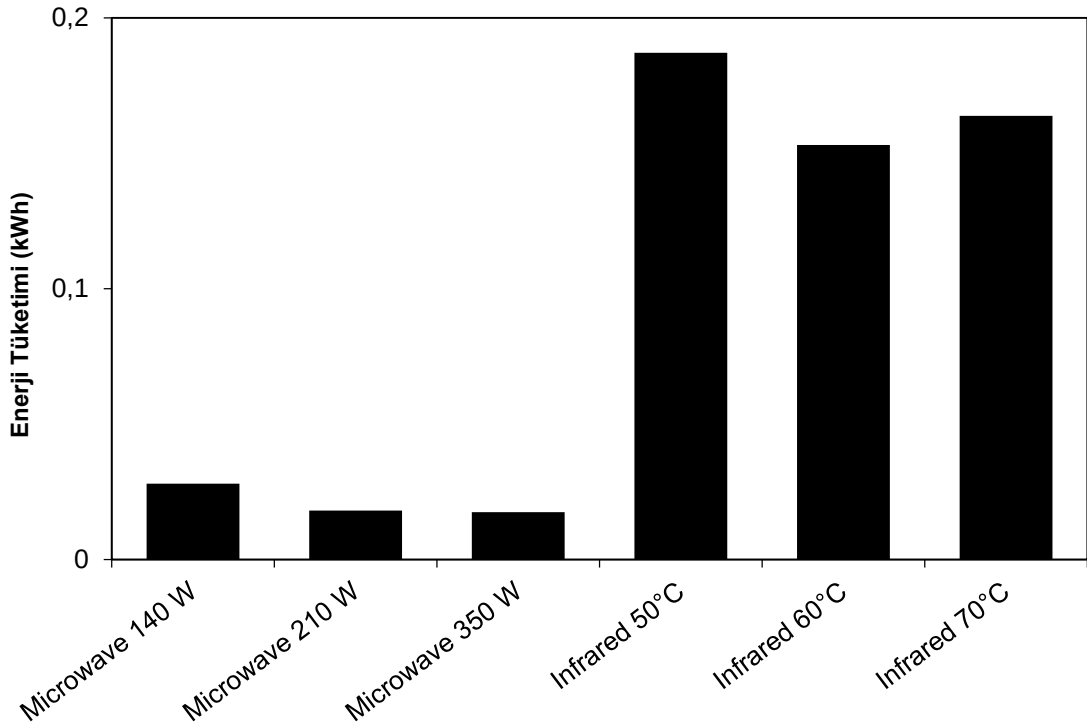
yönteminde 210 ve 350W'da “L” değerlerinde önemli bir düşüş gözlenirken, infrared kurutmada “L” değerlerinde artış gözlenmiştir.

Mikrodalga kurutma ve infrared kurutma için  $\Delta E$  değerleri sırasıyla 9.84 – 14.06 ve 7.53 – 13.20 arasında değişmektedir. En düşük toplam renk değişimi 70°C'de infrared kurutmada olduğu görülmektedir. İnfrared kurutma ve mikrodalga kurutma karşılaştırıldığında, infrared kurutma ile kurutulan vişne örnekleri, tüm kurutma koşullarında mikrodalga kurutmaya göre daha düşük toplam renk değişimine ( $\Delta E$ ) sahip olduğu tespit edilmiştir.

## 6.6 Enerji

### 6.6.1 Enerji Tüketimi

Vişne örneklerinin kurulması için farklı güç ve sıcaklıklarda sarfedilen enerji tüketimi Şekil 6.5'te verilmiştir.



**Şekil 6.5** Vişne örneklerinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında sarfedilen enerji tüketimi

İstatistiksel analizler, 140-350 W aralığında mikrodalga gücünün ve 50-70°C aralığında infrared sıcaklıklarının, vişne örneklerinin kurutulmasında tüketilen toplam enerji miktarı değerleri üzerinde önemli olduğunu göstermiştir. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan vişne örneklerinde, tüketilen en yüksek enerji miktarının

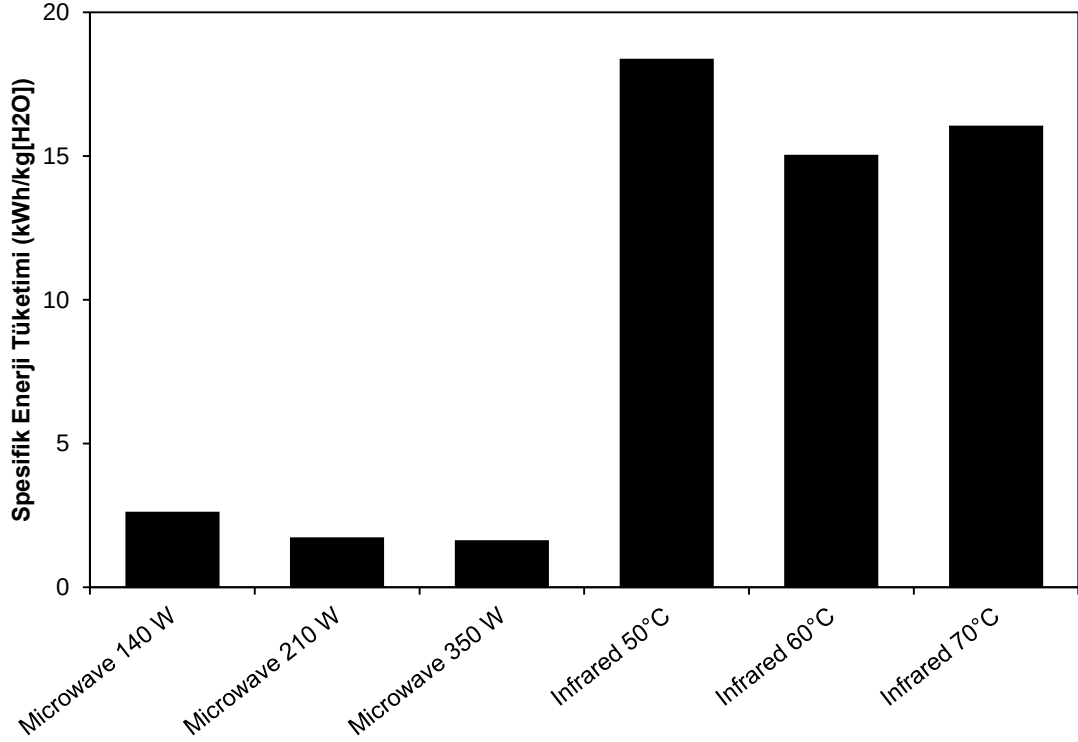
0,028 kWh ile 140 W güçte olduğu tespit edilmiştir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 0,0175 kWh ile 350 W mikrodalga gücünde kurutulan vişne örneklerinde elde edilmiştir. Sonuç olarak, mikrodalga kurutma yönteminde artan mikrodalga güç seviyesi ile tüketilen toplam enerji miktarı ile bir azalış söz konusudur. Literatürdeki çalışmalarda da görüldüğü gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerjide bir artışın olduğu söz konusudur[65]. Yüksek mikrodalga güçlerinde üretilen ısı çok olduğundan, üretilen ısıнын kurutulan ürünün içerisine transferi ve kurutulan üründen çevreye olan ısı transferi için daha az zaman söz konusudur. Böylelikle kurutulan ürün içerisindeki suyun buharlaşma sıcaklığına erişmesi için gereken süre kısaltmakta ve buharlaşma için harcanan toplam enerji azalmaktadır.

Yine Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, artan infrared sıcaklık seviyesi ile toplam enerji tüketimi azalmış gibi görülmekte, 60 ve 70°C sıcaklıklarda tüketilen enerji seviyeleri birbirine yakın olarak bulunmuştur. Enerji tüketimi açısından en yüksek enerji tüketim değeri 0,1870 kWh ile 50°C sıcaklıkta kurutulan vişne örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük enerji tüketim değeri ise 0,1570 kWh ile 60°C sıcaklıkta infrared kurutma yöntemiyle kurutulan vişne örneklerinde bulunmuştur. Sonuç olarak daha uzun kurutma süresi sağlayan düşük sıcaklık ve güç seviyelerinde gerçekleştirilen kurutma işleminde enerji tüketiminin daha yüksek oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar daha önceki araştırmacıların gözlemleriyle de uyumludur [21,66].

#### **6.6.2 Spesifik enerji tüketimi**

Spesifik enerji tüketimi, her iki kurutucuda da yaklaşık 2.90 g su/g kuru madde başlangıç nem içeriğinden yaklaşık 0,05-0,10 g su/g kuru madde aralığında nihai nem içeriğine kadar kurutulmuş vişne örnekleri için sarfedilen toplam enerji dikkate alınarak belirlenmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ve koşulları altında kurutma kurutulan vişne örnekleri için sarfedilen spesifik enerji tüketimi ölçülerek hesaplanmış ve Şekil 6.6'da verilmiştir.



**Şekil 6.6** Vişne örneklerinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması sonrası hesaplanan spesifik enerji tüketimi

Şekil 6.6'dan da görüldüğü gibi mikrodalga kurutma yöntemi ile 350 W mikrodalga gücünde 1 kg vişne dilimini kurutmak için sarfedilen spesifik enerji tüketimi 1,641 kWh/kg'tir. Buna karşılık 140 W mikrodalga gücünde 1 kg vişne dilimini kurutmak için sarfedilen spesifik enerji tüketimi ise 2,628 kWh/kg olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga kurutma yönteminde, mikrodalga gücü arttıkça, kuruma sürelerinin ve spesifik enerji tüketiminin azalmasına, kurutma veriminin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Infrared kurutma yöntemi için minimum spesifik enerji tüketimi 15,049 kWh/kg ile 60 °C sıcaklıkta, maksimum spesifik enerji tüketimi ise 18,391 kWh/kg olarak 50 °C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Şekil 6.6 incelendiğinde, taze vişne örneklerinin kurutulması için mikrodalga kurutma yönteminin seçilmesi gerektiğini göstermiştir. Yine Şekil 6.6' da görüldüğü gibi, 60 ve 70 °C' deki enerji harcamaları arasında 1 birimlik artış görünse de güç seviyesi ve sıcaklıktaki artışla spesifik enerji tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki bazı araştırmacıların farklı meyve ve sebze üzerinde yaptıkları çalışmalarla kıyaslandığında benzer sonuçlar elde ettiklerini göstermektedir [53, 67, 68].

Bu çalışmada, mikrodalga ve infrared kurutma yöntemleri ile kurutma koşullarının vişne örneklerinin kurutulması üzerindeki etkilerinin incelenerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Mikrodalga ve infrared kurutucuda kurutulan vişne örneklerinin nem içeriği ve kuruma süresi buna bağlı olarak kuruma hızı, efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değişim değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler neticesinde matematiksel modeller yapılmış ve kurutma süresince sarfedilen toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır. Ayrıca yaş ve kurutulmuş vişne örneklerinin renk değerleri ölçülmüş, ölçülen renk değerleri yardımıyla toplam renk değişimi hesaplanmıştır. Deneysel verilerden elde edilen ve hesaplanan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Vişne örneklerinin kurutulmasındaki kurutma yöntemi ve koşulların; kuruma süresi, kuruma hızı, ürün kalitesi ve tüketilen toplam enerji üzerinde önemli ölçüde etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kurutma yönteminde de artan sıcaklık ve güç seviyesi ile kuruma süresi azalmış buna karşılık kuruma hızı ile birlikte efektif difüzyon katsayısı artmıştır. Aktivasyon enerjisi incelendiğinde ise, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan vişne örneklerindeki kuruma daha hızlı gerçekleştiği için aktivasyon enerjisi değerlerinin infrared kurutma yöntemine göre epey düşük kaldığı tespit edilmiştir.

Mikrodalga kurutma yönteminin daha kısa bir kurutma süresi ve artan nem difüzyonu sağladığı bulunmuştur; bu nedenle, mikrodalga kurutma yönteminin gıdaların dehidrasyonunda ilk tercih olması mümkün olabileceği kanısına varılmıştır.

Vişne örneklerinin kuruma davranışını açıklamak için literatürden on farklı ince tabaka kurutma modelleri tespit edilmiş olup; örneklerin verilerinden yararlanılarak nem içeriği ile kuruma süresi değişimini belirlemek amacıyla modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çoklu regrasyon analiz yöntemiyle; regrasyon katsayıları, indirgenmiş ki-kare ve kök ortalama kare hata değerleri kullanılarak en uygun model tespit edilmiştir. Her iki kurutma yönteminin sonuçlarına göre Alibaş modeli, diğer modellere kıyasla deneysel vişne verilerine daha iyi uyum göstermiştir.

Yaş ve kurutulmuş vişne örneklerinin, beş farklı noktadan renk ölçümleri yapılmış ve ölçülen “L”, “a” ve “b” değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Kurutulan üründe istenilen

temel özellik yüksek “L” ve toplam renk değeri değişiminin ( $\Delta E$ ) düşük olmasıdır. Elde edilen sonuçlara göre, infrared kurutma yöntemi aroma ve besin bileşenlerinin bozulmasına neden olmamakla birlikte, kurutulmuş vişne örneklerinin renk kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Vişnenin kurutulmasında, spesifik enerji tüketimi baz alındığında en iyi sonuç mikrodalga çıkış gücü 350 W olan kurutma yöntemiyle elde edilmiştir. Bu yöntemle vişnenin kurutulmasında, kuruma süresi 3 dk, toplam enerji tüketimi 0,028 kWh ve spesifik enerji tüketimi 1,641 kWh/kg olarak bulunmuştur.

Mevcut araştırma sonuçlarına göre; kısa kuruma süresi ve tüketilen toplam enerji açısından mikrodalga kurutma infrared kurutma metoduna göre (ürün kalitesi açısından infrared kurutma tercih edilmesine karşılık) büyük ölçekli üretim için daha uygun bir yöntemdir.



- [1] FAO, 2019, Statistical database, <http://www.faostat.fao.org/>, 04.03.2022.
- [2] H.R. Gazor, S. Maadani, H. Behmadi, "Influence of Air Temperature and Pretreatment Solutions on Drying Time, Energy Consumption and Organoleptic Properties of Sour Cherry", *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 79(2), 119-124, 2014.
- [3] A. Basman, S. Yalcin, "Quick-boiling noodle production by using infrared drying" *Journal of Food Engineering*, 106(3), 245-252, 2011.
- [4] Türk Tarım, <http://www.turktarim.gov.tr>, 24.02.2022
- [5] J. Wang, Y.S. Xi, "Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process", *Journal of Food Engineering* 68: 505-511, 2005
- [6] I. Shabbir, M. Mirzaeian, "Feasibility analysis of different cogeneration systems for a paper mill to improve its energy efficiency", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(37), 16535-16548, 2016.
- [7] J. Wang, K. Sheng, "Far-infrared and microwave drying of peach", *LWT*, 39, 247–255, 2006.
- [8] N. Sakai, W. Mao, "Infrared heating" In: Sun, D.-W. (Ed.), *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues*. CRC Press LLC, USA, 2006.
- [9] R. Amiri Chayjan, M. Kaveh, S. Khayati, "Infrared heating. In: Sun, D.-W. (Ed.), *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues*", CRC Press LLC, USA, 2014.
- [10] A. Ghaderi, S. Abbasi, A. Motevali, S. Minaei, "Selection of a Mathematical Model for Drying Kinetics of Sour Cherry (*Prunus Cerasus* L.) In a Microwave-Vacuum Dryer", *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology* 6(2);55-64, 2011.
- [11] A. Motavali, G.H. Najafi, S. Abbasi, S. Minaei, A. Ghaderi, "Microwave-vacuum drying of sour cherry: comparison of mathematical models and artificial neural networks", *Journal of Food Science and Technology*. 2013 Aug;50(4):714-722, 2013.
- [12] Türk Tarım, <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/84/antioksidan-kaynagi-visne>, 30.06.2022.
- [13] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Bahçecilik Vişne Yetiştiriciliği Ankara, 2011
- [14] TÜİK Merkezi Dağıtım Sistemi, <https://biruni.tuik.gov.tr>, 29.06.2022.
- [15] FAO, 2020, Statistical database, <http://www.faostat.fao.org/>, 04.03.2022.
- [16] S. Buzrul, "Reassessment of Thin-Layer Drying Models for Foods: A Critical Short Communication Processes", 10(1), 118, 2022.
- [17] V. Changrue, V.G. Raghavan, V. Orsat, G. Vijaya Raghavan, "Microwave drying of fruits and vegetables", *Stewart Postharvest Review*, 2(6), 1-7, 2006.

- [18] J. A. Moses, , T. Norton, K. Alagusundaram, B. K. Tiwari, “Novel drying techniques for the food industry”, *Food Engineering Reviews*, 6(3), 43-55, 2014.
- [19] R. Guiné, “The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties”, *International Journal of Food Engineering*, 2(4), 93-100, 2018.
- [20] M. Krokida, Z. Maroulis, “Quality changes during drying of food materials”, *Drying technology in agriculture and food sciences*, 4(2), 61-68, 2020.
- [21] M.T. Kumpavat, P.P. Sutar, “Drying and Storage Engineering”, <https://www.hzu.edu.in/agriculture/Drying-and-Storage-Engineering.pdf>, 15.05.2022
- [22] H.S. El-Mesery, G. Mwitiga, “Comprasion of a gas fired hot-air dryer with an electrically heated o-air dryer in terms f drying process, energy consumption and qualiyy of dried onion slices”, *African Journal of Agricultural Research*, 7(31): 4440-4452, 2012.
- [23] A. Salarikia, S.H. Miraei Ashtiani, M.R. Golzarian, “Comparison of drying characteristics and quality of peppermint leaves using different drying methods”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12930, 2017.
- [24] T. Kovacı, E. Dikmen, “Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı”, *Teknik Bilimler Dergisi*, 8(2), 25-39, 2018.
- [25] İ.K. Tunçer, “Yüksek frekans (RF) teknolojisiyle çay kurutma”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(3), 197-201, 2006.
- [26] A. Kamiloğlu, N.K. Kantar, T. Elbir, “Etlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 534-542, 2021.
- [27] Y. Sun, M. Zhang, A. Mujumdar, “Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models”, *Food Engineering Reviews*, 11(2), 61-77, 2019.
- [28] C.D. Chukwunonye, N.R. Nnaemeka, O.V. Chijioke, N.C. Obiora, “Thin layer drying modelling for some selected Nigerian produce: a review”, *American Journal of Food Science and Nutrition Research*, 3(1), 1-15, 2016.
- [29] N. Kutlu, A. İşci, Ö.Ş. Demirkol, “Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri”, *Gıda*, 40(1), 39-46, 2015.
- [30] G.E. Page, “Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers”, *Purdue University, MSc Thesis, Purdue, USA*, 1949.
- [31] S.M. Henderson, S. Pabis, “Grain Drying Theory I. Temperature effect on drying coefficient”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169–174, 1961.
- [32] I. Doymaz, O. İsmail, “Drying characteristics of sweet cherry”, *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 31–38, 2011.
- [33] I. Alibas, “Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy”, *Food Science and Technology*, 34(2), 394-401, 2014.

- [34] A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, "A new model for single-layer drying", *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513, 2002.
- [35] I. Alibas, "Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters", *J Agric Sci* 18(1), 43-53, 2012.
- [36] Millî Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, Ankara, 19-20, 2012.
- [37] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, S.R. Hassan-Beygi, "Drying and Rehydration Characteristics of Sour Cherry (*Prunus Cerasus* L.)", *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 351–36, 2010.
- [38] H.R. Gazor, O.R. Roustapour, "Modeling of drying kinetic of pretreated sour cherry" *International Food Research Journal* 22(2):476-481, 2015.
- [39] C. Ertekin, S. Gozlekci, N. Heybeli, A. Gencer, N. Adak, B.S. Oksal, "Drying of strawberries with infrared dryer", In *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*, Zurich (pp. 06-10), 2014.
- [40] R.A .Chayjan, M. Kaveh, S. Khayati, "Modeling some drying characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) under infrared radiation using mathematical models and artificial neural networks", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(1), 265-279, 2014.
- [41] A.O. Omolola, A.I. Jideani, P.F. Kapila, "Modeling microwave drying kinetics and moisture diffusivity of Mabonde banana variety", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(6), 107-113, 2014.
- [42] H. Darvishi, "Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 94-102, 2012.
- [43] M. Zarein, S.H. Samadi, B. Ghobadian, "Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices", *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47, 2015.
- [44] D. Evin, "Microwave drying and moisture diffusivity of white mulberry: experimental and mathematical modeling", *Journal of mechanical science and technology*, 25(10), 2711-2718, 2011.
- [45] S.P. Shingare, B.N. Thorat, "International Journal of Biotechnology", *Chemical & Environmental Engineering (IJBCEE)*, Vol.1, (3), December 2012
- [46] AOAC., "Official methods of analysis", 15<sup>th</sup> Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC., 1990.
- [47] O. Ismail, O.G. Kocabay, "Infrared and microwave drying of rainbow trout: Drying kinetics and modelling", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18, 259-266, 2018.
- [48] A. Motevali, S. Minaei, M.H. Khoshtagaza, "Evaluation of energy consumption in different drying methods", *Energy Conversion and Management*, 52 (2): 1192-1199, 2011.
- [49] W. Jindarat, P. Rattanadecho, S. Vongpradubcha, "Analysis of energy consumption in microwave and convective drying process of multi-layered porous material inside

- a rectangular wave guide”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35 (4): 728-737, 2011.
- [50] A.S. Kıpçak, O. İsmail, “Microwave drying of fish, chicken and beef samples. *Journal of Food Science and Technology*”, 58, 281– 291, 2021.
- [51] A.S. Kipcak, “Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates*”, 43(3), 1429-1445, 2017.
- [52] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, S. Khani, M. Ghasemi, “Mathematical modeling of thin-layer drying of carrot”, *International Agrophysics*, 23(4), 313-317, 2009.
- [53] S. Jena, H. Das, “Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of food Engineering*”, 79(1), 92-99, 2007.
- [54] I. Doymaz, A.S. Kipcak, S. Piskin, “Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean”, *Czech Journal of Food Sciences*, 33(1), 83-90, 2015.
- [55] O. Ismail, O.G. Kocabay, “Vacuum oven drying of mussels: mathematical modeling, drying characteristics and kinetics study”, *British Food Journal*, 2021.
- [56] I. Hammouda, D. Mihoubi, “Comparative numerical study of kaolin clay with three drying methods: Convective, convective–microwave and convective infrared modes”, *Energy Conversion and Management*, 87, 832–839, 2014.
- [57] N. Izli, G. Yıldız, H. Unal, E. Işık, V. Uylaşer. “Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.)”, *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 9–17, 2014.
- [58] A. Stegou Sagia, D.V. Fragkou, “Influence of drying conditions and mathematical models on the drying curves and the moisture diffusivity of mushrooms”, *Journal of Thermal Engineering*, 1(4), 236-244, 2015.
- [59] H. Darvishi, “Quality, performance analysis, mass transfer parameters and modeling of drying kinetics of soybean”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 34 (1), 143-48, 2017.
- [60] J. Aprajeeta, R. Gopirajah, C. Anandharamakrishnan, “Shrinkage and porosity effects on heat and mass transfer during potato drying”, *Journal of Food Engineering*, 144, 119-128, 2015.
- [61] I. Doymaz, A.S. Kipcak, S. Piskin, “Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean”, *Czech Journal of Food Sciences*, 33(1), 83-90, 2015.
- [62] A.S. Kipcak, B. Saygı Yalçın, “The Investigation of the Drying Kinetics of *Vitis Labrusca* L. Type Grape by Using Microwave Method”, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(4): 631-638, 2019
- [63] H. Darvishi, “Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices”, *Agricultural Engineering International: CIGR* 14(1): 94-102, 2012.
- [64] R. Khiari, H. Zemni, D. Mihoub Raisin, "Processing: Physicochemical, Nutritional and Microbiological Quality Characteristics as Affected by Drying Process. *Food Reviews International*, 35:246-298, 2019.

- [65] S. Kuş, “Mikrodalga enerjisiyle ayva ve armut meyvesinin kuruma davranışı ve modellenmesi,” Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016
- [66] M. Aktaş, M. İlbaş, A. Yalçın, M. Şahin, “Kızıl ötesi ışınlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi”, 28(4): 767-775, 2013.
- [67] I. Alibaş, “Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices”, LWT, 40:1445-1451, 2007.
- [68] A.R. Celma, F.L. Rodriguez, F.C. Blazquez, “Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by- products, Food and Bioprocess Processing”, 8:247-253, 2009.



## TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

---

### SCI Makale

1. Gül GENİŞ and Osman İSMAİL, Drying of Sour Cherry with Microwave and Infrared Drying Methods; Investigation of Drying Kinetics and Parameters, 19-03-2022 tarihinde SCI expanded kapsamındaki bir dergiye gönderilmiş olup inceleme aşamasındadır.

### Konferans Bildirisi

1. Gül GENİŞ and Osman İSMAİL (2022), Investigation of Drying Kinetics and Quality of Infrared and Microwave Dried Sour Cherries, 7. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi, ss. 554-562.

