Çeşitli Kurutma Teknikleri ile Kurutulan Karalahananın Fizikokimyasal Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi ve Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi

Gülden BEYAZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2025

Investigation of the Changes in Physicochemical Properties of Dried Collard Using Various Drying Techniques and Modeling of Drying Kinetics

Gülden BEYAZOĞLU

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Food Engineering

December 2025

Çeşitli Kurutma Teknikleri ile Kurutulan Karalahananın Fizikokimyasal Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi ve Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi

Gülden BEYAZOĞLU

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

Aralık 2025

ONAY

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Gülden BEYAZOĞLU**'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Çeşitli Kurutma Teknikleri ile Kurutulan Karalahananın Fizikokimyasal Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi ve Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

Üye : Doç. Dr. Aysel GÜLBANDILAR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatmagül HAMZAOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Onur KETENOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum "Çeşitli Kurutma Teknikleri ile Kurutulan Karalahananın Fizikokimyasal Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi ve Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/12/2025

Gülden BEYAZOĞLU

İmza

T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIMI BEYAN FORMU

Bu tezi hazırlarken aşağıdaki Üretken Yapay Zekâ (ÜYZ) araçlarından destek aldığımı beyan ederim:

Aşağıdaki ÜYZ araçlarını kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir)

☐ Claude
√ ChatGPT
☐ DeepSeek
☐ Gemini
☐ Copilot
☐ Diğer (Belirtiniz): .....

ÜYZ araçlarını tezimin/projemin aşağıdaki aşamalarında ilgili amaçlar için kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):

☐ Metin oluşturma
√ Literatür tarama
☐ Çeviri
☐ Düzenleme/dil kontrolü
☐ Veri işleme ve analizi
☐ Veri görselleştirme
☐ Görüntü üretme
☐ Kaynakça düzenleme
☐ Diğer (Belirtiniz): .....

Bu çalışmada ÜYZ kullanımı ***Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber***'e ve akademik dürüstlük ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup ÜYZ araçlarından alınan destek etik kurallar ve kaynak gösterme esaslarına uygun biçimde belirtilmiştir.

ÜYZ araçlarının sağladığı bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi, yanlış veya eksik bilgi bulunması halinde tüm sorumluluğun tarafıma ait olduğunu; ayrıca çalışmamla ilgili bu beyana aykırı bir durumun herhangi bir zamanda tespit edilmesi durumunda ortaya çıkabilecek akademik ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi beyan ederim.

Gülden BEYAZOĞLU

16/12/2025
(İmza)

ÖZET

Bu çalışmada, farklı kurutma teknikleri kullanılarak kurutulan karalahananın fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenerek, kurutma parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Farklı sürelerde mikrodalga kurutma (140, 364 ve 511 W), etüvde kurutma (105 °C) ve vakumlu etüvde kurutma (0,4-0,6-0,8 Pa) kullanılmıştır. Kurutulan karalahana yapraklarında su aktivitesi (a_w), uzaklaşan nem içeriği (%), pH, serbest asitlik, toplam fenolik madde içeriği, renk ve FTIR spektrumu analizleri yapılmıştır. Taze karalahana yaprağında başlangıç a_w ve nem değeri sırasıyla 0,966 ve %79,52 y.b. olarak hesaplanmıştır. Minimum su aktivitesi mikrodalga ile 364 W - 4 dk koşulunda 0,445 olarak tespit edilmiş olup, en fazla uzaklaşan nem oranı %89,17 ile mikrodalga 511 W – 3,2 dk koşulunda belirlenmiştir. Taze karalahananın ortalama pH değeri 6,40 olarak bulunurken, kurutulan karalahanalarda pH değeri 5,57-6,80 aralığında değişmiştir. Taze karalahanada toplam fenolik madde içeriği 9,056 mg GAE/g olarak tespit edilmiş ve kurutulmuş örneklerde maksimum 1400,718 mg GAE /g değerine mikrodalga kurutmada 511 W – 3,2 dk koşulunda ulaşılmıştır. Kurutulan karalahanada ortalama *L*, a* ve b** değerleri mikrodalga kurutmada sırasıyla 18,79, -4,28, 9,64; etüvde kurutmada sırasıyla 16,35, -3,02, 7,99 ve vakumlu etüvde sırasıyla 17,12, -3,85, 7,99 olarak belirlenmiştir. Taze karalahananın renk değerleri ile kıyaslandığında ise *ΔE** farkı en düşük olan numune 0,47 değeri ile etüvde 32 dk kurutma sonunda elde edilirken, en yüksek *ΔE** değeri 8,21 ile 140 W – 6 dk mikrodalga kurutma koşulunda elde edilmiştir. Kurutma verileri kinetik modelleme işlemine tabi tutularak, en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, çalışma kapsamında karalahananın kurutulmasında deneysel verilere en uygun modelin Midilli olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizlerle karalahananın en etkin ve kısa sürede kurutma amacıyla mikrodalga kurutmanın tercih edilebilir olduğu, ancak bu yöntemde karşılaşılacak ani ısı değişimlerinin ürünün bağ yapısına zarar verebileceği için kontrollü koşulların uygulanmasının önemi ortaya konmaktadır. Öte yandan vakumlu etüv geleneksel etüve göre süreden tasarruf sağlaması açısından ön plana çıkmakta ve taze ürüne benzer doku ve tekstür elde edilerek daha kısa sürede işlem tamamlanabilmektedir.

Anahtar kelimeler: karalahana, mikrodalga, kurutma, vakum, kurutma kinetiği

SUMMARY

In this study, the effects of different drying techniques on the physical and chemical attributes of dried collard were investigated. Microwave drying (140, 364 and 511 W), oven drying (105 °C) and vacuum-oven drying (0,4-0,6-0,8 Pa) were used at different drying times. Water activity (aw), moisture loss (%), pH, acidity, total phenolic content, color values and FTIR spectrum analyses were conducted on dried collard leaves. The initial aw and moisture content of the fresh sample were 0,966 and 79,52% w.b., respectively. Minimum aw was 0,445 at 364 W – 4 min of microwave drying, while the highest moisture loss was 89,17% at 511 W – 3,2 min of microwave drying. The initial pH value was 6,40 and the pH values of the dried samples ranged between 5,57-6,80. The fresh samples contained a total phenolic content of 9,056 mg GAE/g and the highest phenolics concentration was determined as 1400,718 mg GAE/g at 511 W – 3,2 min of microwave drying. During drying, the L*, a* and b* values averaged at 18,79, -4,28, 9,64 at microwave drying, 16,35, -3,02, 7,99 in oven drying and 17,12, -3,85, 7,99 in vacuum oven drying, respectively. When compared to the initial color values of the fresh collard, the lowest ΔE* color difference value was 0.47 at oven drying for 32 min, while the highest ΔE* was 8.21 at 140 W – 6 min of microwave drying. The drying data was evaluated via kinetic modeling by obtaining the lowest RMSE and the highest R^2 values. The most suitable model for drying of collard in this study was found as Midilli model. The findings of this study emphasizes that the most effective and rapid method of collard drying was microwave drying, while controlled conditions should be applied to prevent the chemical bonds from instant temperature changes. On the other hand, vacuum-oven drying comes into prominence by shortening drying duration compared to oven drying, as well as the vacuum-dried collard is the most close sample to the fresh collard.

Keywords: collard, microwave, drying, vacuum, drying kinetics

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda değerleri katkıları ve destekleri ile yanımda olan, yaşadığım sıkıntılı günlerde hayatın zorlukları karşısında mücadelemde anlayış ve sabrıyla örnek gösterip, süreci birlikte yürüttüğümüz saygıdeğer, hoş görülü hocam Doç. Dr. Onur KETENOĞLU başta olmak üzere,

Gıda Mühendisliği bölümünde yer alan bilgi ve tecrübeleriyle ders aşamasında ve tez aşamasında katkılarını esirgemeyen tüm hocalarımıza,

Yüksek lisans serüvenime başlamam için teşvik eden, her kararımda arkamda duran desteklerini her zaman hissettiren canım anne ve babama,

Tanıştığımız günden beri birlikte mücadele ettiğimiz her koşulda yanımda olan en güzel yol arkadaşım, canım eşime,

Ve tabi yüksek lisans sürecimde hayatıma dahil olan hayatımın en anlamlı en güzel hediyesi, tüm zorluklara rağmen ellerimden tutan canım kızım Gülce'ye,

Bu çalışma sayesinde tanıdığım güzel kalpli arkadaşlarıma,

Ve son olarak moral ve motivasyonumu yüksek tutup asla pes etmediğim için kendime teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vii**

SUMMARY ..... **viii**

TEŞEKKÜR ..... **ix**

İÇİNDEKİLER ..... **x**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xiii**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiv**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xv**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **4**

2.1. Karalahana Hakkında Genel Bilgiler 4

2.2. Karalahana Bileşimi 5

2.3. Karalahana Sağlık Üzerine Etkileri 8

2.4. Kurutma 9

2.4.1. Etüvde kurutma 11

2.4.2. Vakumlu etüvde kurutma 12

2.4.3. Mikrodalga kurutma 13

2.5. Matematiksel Modelleme 17

3. MATERYAL VE YÖNTEM **20**

3.1. Materyal 20

3.1.1. Karalahana 20

3.1.2. Kullanılan kimyasal malzemeler 21

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.2. Yöntem 21
3.2.1. Karalahananın kurutulması için yapılan ön denemeler 21
3.2.2. Örnek hazırlama 21
3.2.3. Mikrodalga kurutma 21
3.2.4. Etüvde kurutma 22
3.2.5. Vakumlu etüvde kurutma 22
3.2.6. Analiz yöntemleri 25
3.2.6.1. Su aktivitesi (a_w) analizi 25
3.2.6.2. Nem kaybı analizi 25
3.2.6.3. FTIR spektrometre analizi 26
3.2.6.4. pH analizi 26
3.2.6.5. Serbest asitlik analizi 27
3.2.6.6. Toplam fenolik madde analizi 28
3.2.6.7. Renk analizi 29
3.2.6.8. Kurutma kinetiğinin modellenmesi 30
3.2.6.9. İstatistiksel analiz 31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 32
4.1. Ön Deneme Bulguları 32
4.2. Tez Çalışmasına Ait Bulgular 33
4.2.1. Su aktivitesi (a_w) bulguları 33
4.2.2. Uzaklaşan nem oranı (%) bulguları 36

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.2.3. pH bulguları 37
4.2.4. Serbest asitlik bulguları 39
4.2.5. Toplam fenolik madde bulguları 40
4.2.6. Renk bulguları 46
4.2.7. FTIR spektrometre bulguları 50
4.2.8. Kurutma kinetiği 53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 57
KAYNAKLAR DİZİNİ 60
EK AÇIKLAMALAR 75
Ek Açıklama-A: Resimler 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. Taze karalahanaların görüntüleri 20
3.2. Mikrodalga fırın 22
3.3. Vakumlu etüv 23
3.4. Su aktivitesi tayin cihazı 25
3.5. FTIR spektrometre ölçüm cihazı 26
3.6. pH metre cihazı 27
3.7. Titrasyon işlemi 28
3.8. Portatif kolorimetre 29
4.1. Gallik asit kalibrasyon kurvesi 40
4.2. Gallik asit çözeltileri 41
4.3. Absorbansları okunan numuneler 41
4.4. Toplam fenolik madde içeriği değişimi (Etüv ve vakumlu etüv) 43
4.5. Toplam fenolik madde içeriği değişimi (Mikrodalga) 44
4.6. Taze karalahanaya ait FTIR spektrumu 50
4.7. Vakumlu etüv ve mikrodalga kurutmadan elde edilen karalahanalara ait FTIR spektrumları 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Karalahananın ortalama kimyasal bileşimi (100g) (Cengiz, 2009)..... 7

3.1. Farklı ekipmanlarla gerçekleştirilen kurutmaların işlem parametreleri 24

3.2. Çalışmada kullanılan kinetik modeller ve matematiksel ifadeleri..... 30

4.1. Analizlerden elde edilen bulgular..... 34

4.2. Renk analizi bulguları..... 47

4.3. Kurutma verilerine ilişkin kinetik model parametreleri* 55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
*L**	Parlaklık
*a**	Kırmızılık - Yeşillik
*b**	Sarılık - Mavilik
mL	Mililitre
L	Litre
V	Hacim
N	Normalite
ppm	Milyonda bir
nm	Nanometre
°C	Santigrat
%	Yüzde
W	Watt
a_w	Su aktivitesi
dk	Dakika
g	Gram
mg	Miligram
kcal	Kilokalori
DPPH	Serbest Radikal – 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
mRNA	Haberci ribonükleik asit
SR-B1	Hücre yüzeyindeki reseptör - Scavenger Receptor Class B Type 1
HUVEC	Human umbilical cord endothelial cell

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
U	Uranyum
Th	Toryum
K	Potasyum
Cs	Sezyum
NaOH	Sodyum Hidroksit
±	Artı - Eksi
<	Küçüktür
/	Bölme

Kısaltmalar	Açıklama
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
GAE	Gallik Asit Eş Değeri
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
FTIR spektrometresi	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Tarım ürünlerinin her zaman taze ve ulaşılabilir bir şekilde tüketime sunulması mümkün olmadığından, ilk çağlardan itibaren çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başında kurutma, tuzlama, tütsüleme ve fermente etme gibi doğal teknikler gelir. Günümüzde ise bu yöntemler, farklı teknik ve ekipmanlar ile çeşitlendirilerek kullanılmaya devam etmektedir.

Ülkemizde ağırlıklı olarak Karadeniz bölgesinde hasadı yapılan karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*), son yıllarda dünya genelinde üretim ve tüketimi hızla artan yapraklı sebzelerden biri haline gelmiştir. Küresel ölçekte en fazla üretim Çin'de gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri'nde de karalahana üretimi yapılmakta olup, üretim ve ekim alanları resmi olarak ölçülmektedir (USDA, 2025). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayımlanan 2022 yılı verilerine göre, dünya genelinde en fazla lahana üretimi Çin tarafından gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık 36 milyon tonluk üretim miktarıyla Çin, küresel toplam üretimin yaklaşık olarak yarısını tek başına karşılamaktadır (FAO, 2022). Avrupa'da, özellikle Almanya, Polonya ve İtalya gibi ülkelerde Brassica türlerinin üretimi oldukça yüksektir. FAO verilerine göre 2022 yılında Polonya'da 687.500 ton, Almanya'da 650.360 ton ve İtalya'da 403.890 ton Brassica türü üretilmiş olup, bu yüksek üretim miktarları söz konusu sebzelere olan talebin güçlü olduğunu göstermektedir (FAO, 2023). Son yıllarda karalahananın sadece taze haliyle değil, aynı zamanda işlenmiş ürünleriyle de tüketiciler arasında artan bir ilgi gördüğü dikkat çekmektedir. Özellikle karalahana tozu gibi fonksiyonel gıdaların küresel pazardaki talebi hızla yükselmektedir. Yapılan piyasa analizlerine göre, karalahana tozu pazarının 2023 yılında yaklaşık 500 milyon dolar seviyesinde olduğu ve 2033 yılına kadar bu rakamın yaklaşık 1,2 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Srivastava ve Prasad, 2024).

Kurutma işlemi, sebze ve meyvelerin yapısında doğal olarak bulunan %80–95 oranındaki suyun, ürün kalitesini koruyacak şekilde %10–20 seviyelerine indirilmesi sürecidir (Çakmak, 2019). Kurutma işlemi sırasında gıdalardaki serbest suyun uzaklaştırılması, ürünlerin raf ömrünü uzatırken mikrobiyolojik bozulmaların önlenmesine yardımcı olur. Kurutma, temelde bir kütle transferi süreci olup, nem transferinin ana itici

gücü, gıdanın mevcut nem içeriği ile denge nemi arasındaki farktır. Bu süreç, sıcaklık, kurutma havasının hızı, ürünün yüzey alanı, çevresel nem oranı ve ortam basıncı gibi pek çok faktörden etkilenmektedir (Tayfun, 2024). Etüv kurutma, belirli bir sıcaklığa ayarlanmış sıcak havanın cihaz içinde dolaşarak, ürünün içindeki nemi buharlaştırıp ortamdan uzaklaştırılması yöntemidir. Genellikle atmosferik basınç altında gerçekleştirilen bu işlemde sıcaklık sabit tutulur, böylece ürünün homojen ve dengeli bir şekilde kuruması hedeflenir (Gök vd., 2022). Etüvde kurutma yöntemi, gıda endüstrisinden biyoteknolojik uygulamalara kadar geniş bir yelpazeye sahip bir tekniktir. Özellikle kalite kontrol süreçlerinde ve analiz öncesi numune hazırlığında sıkça tercih edilmektedir. Bu yöntemin başlıca avantajları arasında, sıcaklık kontrolünün hassas bir biçimde sağlanabilmesi ve farklı ürün gruplarına kolaylıkla uygulanabilmesi yer almaktadır. Bununla birlikte, kurutma sürecinin uzun zaman alması, yüksek enerji tüketimi gerektirmesi ve bazı besin bileşenlerinde kalite kayıplarına yol açabilmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Karakulak, 2009).

Vakumlu etüv sistemleri, düşük basınçta çalışan özel kurutma teknolojileridir ve bu sayede ürünlerin daha düşük sıcaklıklarda kurutulmasına olanak tanır. Ortamdaki havanın emilmesi, suyun buharlaşma noktasının düşmesini sağlar; böylece kurutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Bu yöntem, özellikle ısıya hassas gıda ürünlerinde besin değerlerinin, renk özelliklerinin ve yapısal bütünlüğün korunmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Akdaş, 2014). Vakumlu etüvle gerçekleştirilen kurutma işlemi sırasında ortamdan oksijenin uzaklaştırılması, oksidatif bozulmaları büyük ölçüde engelleyerek ürünün kalite özelliklerinin korunmasına katkı sağlar. Ürünlerin dehidrasyonu esnasında ortamda hava bulunmaması, oksidasyonun azalmasına neden olur ve vakumlu kurutuculardan elde edilen ürünlerin renk, doku ve tat özellikleri daha iyi korunmuş olur (Akdaş, 2014).

Mikrodalga ile kurutma, gıdalardaki su moleküllerini doğrudan hedef alarak hızlı ve derinlemesine ısıtmayı sağlayan modern bir kurutma yöntemidir. Bu teknikle su molekülleri mikrodalga enerjisini emerek buharlaşır ve böylece geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında kurutma süresi önemli ölçüde kısalır. Mikrodalga enerjisinin ürünün içine ulaşması sayesinde kurutma, içten dışa doğru gerçekleşir; bu durum hem enerji tüketimini optimize eder hem de besin değerlerinde oluşabilecek kayıpları en aza indirir (Konak vd., 2009).

Bu çalışmada amaç; yöresel, kolay ulaşılabilen ve ekonomik bir tarım ürünü olan karalahananın etüv, vakumlu etüv ve mikrodalga fırın ile kurutulması sırasında fizikokimyasal özelliklerindeki değişimleri incelemek ve kurutma kinetiğini modellemektir. Elde edilen bulgular doğrultusunda karalahananın, en eski muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma tekniği ile farklı ekipmanlar kullanılarak işlenmesi ve besin değerini koruyarak yüksek kalitede kurutulmuş ürünler elde edilmesi hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Karalahana Hakkında Genel Bilgiler

Karalahana (*Brassica oleracea* L. var *acephala*), uzun yıllardan beri Türkiye'de özellikle Doğu Karadeniz ve Doğu Akdeniz bölgelerinde oldukça yaygın bir sebze olarak tüketilmektedir. Bu bitki, aynı zamanda yaprak lahana olarak da bilinir (Yenice, 2024). Karalahana, Brassicaceae (turpgiller) familyasına ait, özellikle kış aylarında yetişen ve iri, kalın yapraklarıyla dikkat çeken koyu yeşil bir sebzedir. Türkiye'nin özellikle Karadeniz Bölgesi'nde, Artvin'den Zonguldak'a kadar uzanan birçok ilde (Artvin, Bartın, Kastamonu, Zonguldak, Karabük, Samsun, Giresun, Ordu, Rize, Trabzon) halk mutfağında önemli bir besin kaynağı olarak yer almaktadır. Mevsim fark etmeksizin tüketilebilen bu bitkinin adının, Eski Yunanca'da "yenilebilir sebze" anlamına gelen bir kelimeden türediği söylenmektedir (Anonim, 2025).

Karalahana, yüksek besin değeri ile de dikkat çeken bir öneme sahiptir. Bu sebze, A, C, E ve K vitaminlerinin yanı sıra çeşitli B grubu vitaminlerini de yoğun bir şekilde barındırmaktadır. Ayrıca, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve demir gibi vücut için gerekli olan mineraller bakımından zengin bir kaynaktır. Lif açısından oldukça zengin olan karalahananın, içerdiği fenolik bileşenler ve antioksidanlar sayesinde oksidatif stresi azaltmaya yardımcı olduğu ve kronik hastalıklara karşı koruyucu bir rol üstlendiği bilinmektedir (Korus ve Lisiewska, 2011).

Karalahana, sağlık açısından faydalarıyla öne çıkan fonksiyonel bir gıda olarak dikkat çekmektedir. Bilimsel araştırmalar, bu sebzenin antikanserojen, kolesterol dengeleyici ve antiinflamatuar etkileri bulunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, diyabet, anemi ve osteoporoz gibi yaygın hastalıkların önlenmesi ve kontrol altına alınmasında da destekleyici bir rol oynadığı literatürde belirtilmektedir (Aydın vd., 2024). Dondurularak kurutulmuş karalahana tozu içeren barların günlük tüketimi, tip 2 diyabet hastalarında HbA1c, insülin direnci, vücut ağırlığı ve kalori alımında önemli azalmalar sağlamıştır. Ayrıca, açlık kan şekeri ve LDL-kolesterol seviyelerinde olumlu eğilimler gözlemlenmiştir (Jeppesen vd., 2024).

Karalahana, özellikle soğuk iklimlere karşı gösterdiği yüksek direnç sayesinde tarımsal üretim açısından dikkat çekmektedir. Küçük ölçekli tarım alanlarında kolayca yetiştirilmesi, onu kırsal ve yerel ekonomiler için değerli bir bitki haline getirmektedir (Ljubej vd., 2021). Ayrıca, kurutulup saklanabilmesi, farklı kurutma yöntemleri ile besin değerlerinin korunabildiğini göstermektedir (Korus, 2021).

2.2. Karalahana Bileşimi

Besin değerleri açısından oldukça faydalı olan karalahana; özellikle C vitamini başta olmak üzere A, B ve E vitaminleri içermekte, bunun yanı sıra magnezyum, kalsiyum, potasyum, kükürt, demir ve bakır gibi mineraller açısından da zengin bir kaynak oluşturmaktadır (Lukaszyk vd., 2025; Yılmaz, 2022). 100 gram taze karalahana; yaklaşık 8,8 gram karbonhidrat, 4,3 gram protein ve 0,9 gram yağ barındırmaktadır. Vitamin açısından incelendiğinde, 100 gram karalahanada yaklaşık olarak 0,02 mg B1 vitamini (tiamin), 0,20 mg B2 vitamini (riboflavin) ve 120 mg C vitamini bulunmaktadır. Ayrıca 1,47 mg demir, 150 mg kalsiyum ve 5,3 mg karoten içeriği ile öne çıkar. Bu değerler, karalahananın özellikle C vitamini ve kalsiyum açısından zengin bir sebze olduğunu göstermektedir (Anonim, 2025).

Karalahana, koyu yeşil yapraklı sebzeler arasında yer almakta olup, yüksek kalsiyum, folat, riboflavin ve K vitamini miktarları ile besin değeri bakımından dikkat çekmektedir. Bu sebze, günlük A vitamini ihtiyacının tamamını karşılayabilmekle kalmaz, C vitamini ihtiyacının da yaklaşık yüzde kırkını karşılayabilmektedir. Karalahananın besin yapısı; yetiştiği ortam ve hasat zamanı gibi etkenlere göre farklılık gösterebilir. Özellikle kış mevsiminde toplanan karalahanaların mineral düzeyinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nın verilerine göre, 100 g karahalanada 49 kcal enerji, 8,75 g karbonhidrat, 4,28 g protein ve 3,6 g diyet lifi bulunmaktadır. Ayrıca, 491 mg potasyum, 150 mg kalsiyum ve 120 mg C vitamini içeriğiyle besleyici bir sebze olarak kabul edilmektedir (Aydın, 2023).

Besin elementi profili açısından değerlendirildiğinde, karalahananın oldukça iyi bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar, karalahana içerisindeki kalsiyum (Ca)

miktarının, bazı durumlarda sütle kıyaslandığında daha yüksek düzeyde olabildiğini göstermektedir (Şafak, 2012).

Kocaeli ili Başiskele ilçesinde yürütülen bir araştırmada, bölgede yetiştirilen karalahanaların beslenme durumunu değerlendirmek amacıyla 20 farklı bahçeden yaprak örnekleri toplanmış ve bu örneklerde makro ve mikro besin elementlerine ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, örneklerin %40'ında azot (N) ve magnezyum (Mg), %60'ında potasyum (K), %75'inde kalsiyum (Ca), %15'inde demir (Fe) ve %25'inde çinko (Zn) ile mangan (Mn) eksikliği saptanmıştır. Buna karşılık, fosfor (P) ve bakır (Cu) açısından herhangi bir eksiklik gözlemlenmemiştir. Ayrıca, yaprak örneklerinin %5'inde azot, potasyum ve kalsiyum; %10'unda ise demir seviyelerinin normalden yüksek olduğu belirlenmiştir (Yıldız, 2015).

Çizelge 2.1'de de görüldüğü gibi, 100 g taze karalahana örneği temel alınarak yapılan analizlerde karalahana düşük enerji içeriğine (36 kalori) sahip olmasına rağmen oldukça zengin bir besin profiline sahip olduğu rapor edilmiştir (Cengiz, 2009). Mineral bileşimi açısından incelendiğinde, karalahana öncelikle potasyum (490 mg), kalsiyum (212 mg) ve magnezyum (31 mg) gibi pek çok önemli mineral içermektedir. Bunun yanı sıra, demir (1,90 mg), çinko (330 µg), iyot, selenyum, mangan ve bor gibi iz elementler bakımından da oldukça zengindir. (Cengiz, 2009)

Aminoasit içeriği incelendiğinde, karalahana özellikle arginin (300 mg), lizin (240 mg), lösin (250 mg) ve valin (230 mg) gibi temel aminoasitler açısından değerli bir kaynak olarak dikkat çeker. Bu aminoasitler, vücudun protein yapımı, doku onarımı ve bağışıklık sistemi gibi temel görevlerinde önemli bir rol üstlenmektedir. (Cengiz, 2009)

Karalahananın yeşil yapraklarında, karbonhidrat bileşenleri arasında en fazla miktarda fruktoz bulunmuş, bunun yanı sıra sitrik ve malik asit gibi önemli organik asitlerin de varlığı saptanmıştır. İnsan vücudu tarafından üretilemeyen linoleik ve linolenik asit gibi temel yağ asitlerinin karalahanada doğal olarak yer alması, bu sebzeyi temel yağ asitleri açısından kıymetli bir gıda kaynağı yapmaktadır (Cengiz, 2009).

Çizelge 2.1. Karalahananın ortalama kimyasal bileşimi (100g) (Cengiz, 2009)

Bileşim	Miktarı	Bileşim	Miktarı	Bileşim	Miktarı	Bileşim	Miktarı
Enerji	36 kalori	Fosfor (mg)	87,0	β-karoten (µg)	5170,0	Glutamik Asit*	33,2
Su	% 86,30	Potasyum (mg)	490,0	Vitamin K (µg)	817,0	Aspartik Asit*	27,6
Protein (g)	4,30	Kalsiyum (mg)	212,0	Vitamin B1 (µg)	100	Arginin (mg)	300,0
Karbohidrat (g)	2,54	Magnezyum (mg)	31,0	Vitamin B2 (µg)	250	Histidin (mg)	69,0
Lipitler (g)	0,90	Sodyum (mg)	42,0	Nikotinamid (mg)	2,10	Lizin (mg)	240.0
Fiber (g)	4,20	Demir (mg)	1,90	Pantotenat (mg)	-	İzolösin (mg)	140,0
		Selenyum (µg)	1,37	Folik Asit (µg)	187,0	Lösin (mg)	250,0
		İyot (µg)	12,0	Vitamin B6 (µg)	250.0	Metiyonin (mg)	52,0
		Bakır (µg)	55,6	Biyotin (µg)	0,50	Fenilalanin (mg)	140,0
		Mangan (µg)	550,0	Vitamin C (µg)	105,0	Treonin (mg)	130,0
		Bor (µg)	240,0			Triptofan (mg)	64,0
		Çinko (µg)	330,0			Valin (mg)	230,0
						Tirozin (mg)	180,0
						Sistein (mg)	69,0

* % kuru ağırlık

2.3. Karalahana Sağlık Üzerine Etkileri

Karalahana içerdiği yüksek düzeyde antioksidanlar ve çeşitli biyoaktif bileşenler sayesinde insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösteren önemli bir sebzedir. *Brassica* grubuna ait sebzeler genel olarak, antikarsinojenik ve antioksidan etkilere sahip oldukları bilimsel çalışmalarla ortaya konmuş pek çok biyoaktif maddeyi bünyelerinde barındırmaktadır (Coşkun, 2022). Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde yaygın biçimde tüketilen karalahana, kardiyovasküler hastalıklarla ilişkili biyolojik süreçler üzerinde olumlu etkiler gösterebilecek potansiyele sahiptir (Šamec vd., 2019).

Bir başka çalışmada, karalahana yapraklarından elde edilen etanol ve su bazlı ekstraktların antioksidan özellikleri incelenmiş; etanol bazlı ekstraktların daha yüksek fenolik madde, flavonoid ve FRAP değerlerine sahip olduğu, su bazlı ekstraktların ise DPPH kapasitesinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. İnsan damar endotel hücre hattı (HUVEC) üzerinde yapılan testlerde, SR-B1 reseptörü protein düzeyinde anlamlı bir değişiklik gözlenmezken, mRNA düzeyinde artış tespit edilmiştir. Bu durum, karalahana ekstraktlarının lipoprotein metabolizmasını gen düzeyinde etkileyebileceğini göstermektedir. Bu etki; kuersetin, kaemferol, C ve E vitamini gibi güçlü antioksidan içeriklerden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca karalahana; lutein, zeaksantin ve β-karoten gibi önemli karotenoid bileşenleri de içermekte olup, bu bileşiklerin antioksidan özellikleri sayesinde kanser başta olmak üzere birçok kronik hastalık riskini azaltmaya katkı sağlayabileceği ifade edilmektedir (Cengiz, 2009).

Karalahana; çiğ, pişirilmiş ya da fermente edilmiş (turşu) olarak tüketilebilmesinin yanı sıra, tohumları da ham yağ elde etmek için ekonomik bir kaynak sunmaktadır. Bunun yanı sıra, geleneksel hekimlikte mide sorunları, diyabet, romatizma, osteoporoz ve obezite gibi farklı sağlık meselelerinin önlenmesine veya hafifletilmesine yardımcı olan bir bitki olarak yer almaktadır (Aydın, 2023). Ayrıca, baş ağrısı, diyare, gut ve peptik ülser gibi farklı sağlık sorunlarında da tıbbi değeri nedeniyle tercih edilen bir sebzedir (Singh vd., 2006).

Brassica ailesinde yer alan sebzeler arasında karalahana, sahip olduğu yüksek miktardaki antioksidan vitaminler ve karotenoidlerce en zengin kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir (Podsędek, 2007).

Karalahana suyunun düzenli olarak içilmesinin, metabolizma aktivitelerini teşvik ederek yağ yakımını hızlandırdığı ve bu özelliğiyle kilo kontrolüne olumlu etkilerde bulunduğu belirtilmektedir (Vale vd., 2015). Ayrıca, karalahananın yüksek lif içeriği sayesinde sindirim sisteminin sağlıklı çalışmasına katkı sağladığı, bağırsak sağlığını iyileştirdiği ve uzun süre tokluk hissi yaratarak enerji tüketimini dengede tuttuğu rapor edilmiştir (Lukaszyk vd., 2025; Yılmaz, 2022).

Karalahana bitkisine ait özlerin antibakteriyel özellikler barındırdığı, özellikle gram pozitif bakterilere karşı etkili olduğu ve bu nedenle sindirim sistemi enfeksiyonlarına karşı koruyucu bir potansiyele sahip olabileceği bilimsel çalışmalarla gösterilmiştir (Sousa vd. , 2008).

Bununla birlikte, Samsun ve çevresinde gerçekleştirilen bir çevresel radyoaktivite incelemesinde; radyoaktivite düzeyleri araştırılmış ve kişilerin yıllık radyasyon maruziyetleri gözden geçirilmiştir. Çalışmada, gıda maddeleri (karalahana, süt, baklagiller vb.), çevresel örnekler (toprak, su, mantar vb.) ve yapı malzemelerindeki doğal radyoaktif izotoplar (238U, 232Th, 40K ve 137Cs) incelenmiştir. Çalışma bulgularına göre, karalahana örneklerinde tespit edilen radyoaktivite seviyeleri düşük çıkmış olup, yıllık etkin doz hesaplamalarına katılmıştır. Araştırmanın bulguları, bölgedeki çevresel radyoaktivitenin insan sağlığı ve doğal çevre üzerinde olumsuz bir etkisinin bulunmadığını göstermiştir (Altıkulaç, 2014).

2.4. Kurutma

Kurutma, gıda muhafazasında uzun yıllardır kullanılan etkili bir yöntem olup, ürün içerisindeki serbest suyu uzaklaştırarak mikrobiyal gelişimi engellemekte ve kimyasal bozunmaları yavaşlatmaktadır. Bu sayede yalnızca raf ömrü uzatılmakla kalmaz, aynı zamanda ürünün taşınabilirliği ve depolanabilirliği de artar. Kurutma işlemi sırasında uygulanan yöntem ve koşullara bağlı olarak, ürünün fiziksel (renk, kıvam, şekil, sertlik) ve kimyasal (aroma, tat, besin bileşenleri) özelliklerinde çeşitli değişimler gözlenebilir. Tüm bu yönleriyle kurutma, hem ürün güvenliğini sağlamak hem de kaliteyi korumak açısından

kritik bir rol üstlenmektedir (Kucuk vd., 2014; Cemeroğlu, 2013; Karaaslan, 2008; Midilli vd., 1999).

Kurutma sürecinde karşılaşılan en yaygın kalite problemlerinden biri renk değişimidir; bu durum genellikle ürün yüzeyinde kahverengileşme olarak kendini göstermektedir. Renk değişiklikleri, ürünün kurutma öncesi hazırlık aşamasında, kurutma esnasında veya sonrasında saklama sürecinde oluşabilir. Bu değişimlerin çoğunlukla enzimatik olmayan kimyasal tepkimelerden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklara maruz kalan gıdalarda, şeker bileşenlerinin karamelize olması veya bazı maddelerin ısıl olarak bozulması dolayısıyla istenmeyen kahverengi tonlar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, yeşil sebzelerde bulunan klorofilin yüksek ısı etkisiyle bozulması, ürünün renginin sararmasına neden olmaktadır (Cemeroğlu, 2004).

Sebze grubu içerisinde yer alan karalahanada, klorofil pigmentinin bozulması sonucu sararma oldukça yaygın bir sorundur. Bu renk değişimini önlemek amacıyla farklı kurutma teknikleri uygulanmış ve taze ürünün doğal rengini koruyabilen ya da ona en yakın görünüm sağlayan yöntemler araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen bir araştırmaya dayanarak, mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutma yöntemlerinin, geleneksel yöntemlere göre kurutma süresini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemle üretilen ürünlerin renk özelliklerinin taze ürünlerle oldukça benzerlik taşıdığı, sadece parlaklıkta hafif bir düşüş yaşandığı ifade edilmiştir (Teymur, 1999).

Bu çalışmada tercih edilen kurutma yöntemleri; ekonomik uygulanabilirlik, kolay erişim ve yatırım maliyetleri göz önünde bulundurularak etüv kurutma, vakumlu etüv kurutma ve mikrodalga kurutma teknikleri olarak belirlenmiştir. Karalahananın kurutulmasındaki temel amaç, bu besin değeri yüksek sebzenin raf ömrünü uzatarak mevsimsel üretim kısıtlarının ötesinde yıl boyunca tüketilebilirliğini sağlamaktır. Aynı zamanda kurutma, ürünün taşınmasını ve depolanmasını kolaylaştırırken, uygun koşullarda uygulandığında vitamin, mineral ve antioksidan bileşiklerin büyük ölçüde korunmasına da olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, kurutulmuş karalahana, işlenmiş gıdalara ilave edilerek bu ürünlere fonksiyonel özellik kazandırabilir ayrıca besinsel değerleri artırabilir

böylece sanayide katma değerli bir bileşen olarak değerlendirilebilirken kolayca nihai tüketiciye ulaşabilir.

2.4.1. Etüvde kurutma

Etüv kurutma, sabit ve kontrollü sıcaklıkta çalışan, geniş ürün yelpazesiyle uyumlu, basit ve güvenilir bir kurutma yöntemidir. Düşük ekipman maliyeti nedeniyle yaygın olarak tercih edilse de bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Kurutma süresi mikrodalga gibi modern yöntemlere kıyasla daha uzundur ve enerji tüketimi yüksektir. Ayrıca, işlem sırasında renk, aroma ve bazı besin bileşenlerinde kayıplar meydana gelebilir. Nem uzaklaştırma hızının düşük olması ise genel kurutma verimliliğini azaltabilir.

Yapılan bir çalışmada, japon eriğinden üretilen pestil örnekleri üzerinde mikrodalga ve sıcak havalı kurutma yöntemlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Uygulanan kurutma teknikleri, pestilin fiziksel, kimyasal ve duyusal kalite parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Mikrodalga yöntemi kuruma süresini kısaltırken, her iki yöntemin de duyusal açıdan olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca pestilin potasyum açısından zengin bir ürün olduğu ortaya konmuştur (Atıcı, 2013).

Karnabaharın farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmasının kuruma kinetiği ve renk özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, etüv, vakumlu etüv, konvektif kurutma ve gölgede kurutma yöntemleri 40–70 °C arasında uygulanmıştır. En kısa kuruma süresi konvektif kurutmayla 70 °C'de, en uzun süre ise gölgede kurutma ile elde edilmiştir. Kuruma verileri matematiksel modellerle analiz edilmiş ve en yüksek uyum Page ve Wang-Singh modellerinde gözlemlenmiştir. Renk analizleri sonucunda taze ürüne en yakın değerlerin gölgede kurutma yöntemiyle sağlandığı belirlenmiştir. Bu bulgular, yüksek nem içeriğine sahip sebzelerde uygun kurutma yöntemi seçiminin hem kalite hem de verimlilik açısından kritik olduğunu göstermektedir (Aksüt ve Polatcı, 2022).

Eşme ayvası üzerinde yapılan bir çalışmada araştırıcılar, 'Eşme' ayvasının etüv, doğal ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulmasının ürünün renk, pH, C vitamini, toplam fenolik ve antioksidan aktivitesi gibi özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Etüv

yöntemi, özellikle suda çözünebilir kuru madde oranını artırırken C vitamini içeriğinde düşüşe neden olmuştur (Karakaya ve Balta, 2021).

Buğday rüşeymi üzerinde yapılan çalışmaya göre, buğday ruşeyminin farklı kurutma yöntemleri ile işlenmesinin (etüv, vakumlu etüv, mikrodalga) antioksidan aktivite, toplam fenolik içerik ve yağ miktarı gibi parametreler üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Etüv yöntemi, bazı bileşenlerin stabilitesini koruma açısından olumlu sonuçlar vermiştir (Çulluk, 2023).

Başka bir çalışmada, söğüt yapraklarının etüv ve vakumlu etüvde kurutulması sonucu kuruma kinetikleri karşılaştırılmış; etüv kurutmada daha kısa sürede kuruma elde edilirken, vakumlu etüvde daha uzun sürede işlem tamamlanmıştır (Taşova, 2020).

İki ayrı Etiyopya patatesi çeşidi (Chanqua ve Loffo) kullanılarak elde edilen unların fiziksel, işlevsel ve ısıya dayanıklılık özellikleri ile çeşitli kurutma tekniklerinin etkilerinin incelendiği bir araştırma yapılmıştır. Fırınla kurutmanın fizikokimyasal kalite anlamında güneşle kurutmaya göre daha iyi sonuç verdiği ve özellikle Loffo çeşidinin daha üstün işlevsel özellikler taşıdığı belirtilmiştir (Milkias vd., 2024).

Ceviz üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, fırında kurutma (OD) ve doğal hava ile kurutma (NAD) yöntemlerinin dört farklı çeşit üzerindeki etkileri karşılaştırılmış, OD'nin hem fenotipik görünüm hem de fosfolipid profili açısından NAD'ye kıyasla daha üstün olduğu ve özellikle fosfatidilkolin düzeylerinin OD'de anlamlı şekilde daha yüksek korunduğu tespit edilmiştir (Wu vd., 2024).

2.4.2. Vakumlu etüvde kurutma

Vakumlu etüv kurutma, ürünlerin düşük basınç altında ve oksidatif bozulmalardan korunarak kurutulmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu sistemde vakum sayesinde su ve uçucu bileşenler daha düşük sıcaklıklarda buharlaşır, böylece özellikle ısıya duyarlı bileşenler daha az zarar görür. Vakumlu kurutuculardа kurutulmuş olan ürünlerde tekstür, renk ve aroma özellikleri korunur (Yokuş, 2014). Kurutma işlemi sırasında hem iç hem dış nem kontrollü şekilde uzaklaştırılarak ürünün homojen kuruması sağlanır. Bu yöntem, besin değeri ve renk

gibi kalite parametrelerinin korunmasına katkı sunar. Ekipman maliyetinin yeni ortaya çıkan kurutma teknolojilerine kıyasla yüksek olmaması da küçük ve orta ölçekli üretimler için tercih edilebilirliğini artırır. (Ramos-Escudero vd., 2023)

Yapılan bir çalışmada, havuç, elma ve maydanoz gibi farklı tarımsal ürünler, değişen vakum basınçları ve sıcaklık seviyelerinde kurutulmuş, vakumlu kurutmanın enerji verimliliği sağladığı ve ürün kalitesini koruduğu belirlenmiştir (Ayhan, 2005).

Kırmızıbiber üzerinde yapılan bir çalışmada ise, vakumlu kurutma işlemine ultrason desteği eklemiş ve bu yöntemin kurutma süresini kısaltırken ürün kalitesini de artırdığını tespit etmiştir (Tekin, 2015).

Avokado üzerine yürütülen çalışmada, avokado meyvesi vakumlu kurutucu ve akışkan yatak kurutucuda kurutularak elde edilen ürünlerin kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, vakumlu kurutma yöntemi, renk, aroma ve besin değeri gibi kalite parametrelerini daha iyi korumuş ve duyusal açıdan daha olumlu sonuçlar vermiştir (Bölek, 2020).

Illawarra eriğinin çeşitli kurutma yöntemlerine verdiği tepkileri inceleyen bir çalışmada; fenolik bileşenler, flavonoidler, antosiyaninler ve antioksidan kapasite gibi işlevsel özelliklerin en iyi şekilde dondurarak kurutma yöntemiyle muhafaza edilmiştir. Ancak daha ekonomik ve enerji tasarrufu sağlayan bir seçenek olarak 90°C'de vakumla kurutma yönteminin de yüksek işlevsellik sunduğu belirlenmiştir (McCullum vd., 2024).

2.4.3. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutma, gıdalardaki suyun mikrodalga enerjisiyle doğrudan ısıtılarak içten dışa doğru buharlaştırılması esasına dayanan modern bir kurutma yöntemidir. Geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede işlem sağlar, enerji verimliliği artar, besin değeri ve ürün kalitesi daha iyi korunur.

Ancak kontrolsüz uygulamalarda ürün çatlaması ya da ısıya duyarlı bileşiklerde bozulma gibi olumsuzluklar görülebilir. Ayrıca mikrodalga ile kurutmanın en büyük

sıkıntısı, eşit bir ısıtma sağlanamamasıdır. Bu sorunu hafifletmek için, mikrodalga ile sıcak hava kurutma yönteminin bir arada kullanılması önerilmiştir. Bu birleşik yöntemle, gıdanın iç kısımlarındaki su, mikrodalga aracılığıyla yüzeye daha hızlı çıkmakta ve yüzeye ulaşan su, sıcak hava akışı sayesinde ortamdan rahatlıkla uzaklaştırılmaktadır (Akdaş, 2014).

Mikrodalga kurutmada ısı, doğrudan gıdanın iç yapısında oluştuğundan nem, içten dışa doğru hızla buharlaşır. Bu mekanizma, geleneksel kurutma yöntemlerinde karşılaşılan dıştan içe ısı iletimine bağlı verimsizlikleri büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Soysal vd., 2009). Mikrodalga enerjisi, gıdadaki su molekülleri tarafından emilerek ısıya dönüştürülür. (Datta ve Davidson, 2000). Bu nedenle su içeriği yüksek olan gıdalar, mikrodalga enerjisini daha etkili bir şekilde absorbe eder ve buna bağlı olarak daha fazla ısı üretir (Schiffmann, 1986).

Şimşek'e ait yüksek lisans tezinde, kayısı, kivi ve nane örneklerinde mikrodalga kurutma davranışı incelenmiş ve matematiksel modellemeler gerçekleştirilmiştir. Farklı mikrodalga güç seviyelerinde yürütülen deneylerde kuruma süresi, nem oranı, kütle kaybı ve renk değişimi analiz edilmiştir. 23 farklı model kullanılarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda, her ürün için en uygun kurutma gücü ve matematiksel model belirlenmiştir. Mikrodalga kurutmanın, geleneksel yöntemlere göre kurutma süresini önemli ölçüde kısalttığı sonucuna varılmıştır (Şimşek, 2018).

Yapılan bir diğer çalışmada, kefir tanelerinin fırın ve mikrodalga kurutma yöntemleri karşılaştırılarak kurutma, rehidrasyon, fermentasyon kinetikleri ve mikrobiyal canlılık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrodalga kurutmanın, geleneksel yönteme göre kurutma süresini %90 oranında kısalttığı ve daha yüksek rehidrasyon kapasitesi sağladığı belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü arttıkça etkin difüzyon katsayısı da yükselmiştir. Her iki yöntemde de maya ve laktik asit bakterilerinin yaklaşık %90 oranında canlı kaldığı görülmüş, fermentasyon yeteneği üzerinde anlamlı bir olumsuz etki gözlemlenmemiştir. Ayrıca, kurutma süreci Lewis modeliyle, rehidrasyon ve fermentasyon ise yalancı birinci mertebe kinetik modeliyle başarıyla açıklanmıştır (Karabekiroğlu vd., 2025).

Ispanak yapraklarının mikrodalga ile kurutma davranışlarının incelendiği bir çalışmada, başlangıçta 50 g ağırlığa ve kuru bazda %9,01 nem içeriğine sahip ıspanak yaprakları (Spinacia oleracea L. cv. “Meridian”) sekiz farklı mikrodalga güç seviyesinde (90–1000 W) kurutulmuş ve nem oranı kuru bazda 0,1’e düşene kadar işlem sürdürülmüştür. Uygulanan güç seviyesine bağlı olarak kurutma süresi 290 ile 4005 saniye arasında değişmiştir. Enerji tüketimi 350–1000 W aralığında sabit kalırken, 160 W ve 90 W gibi düşük güçlerde tüketimde belirgin artışlar görülmüştür. Elde edilen kuruma verileri, Page ince tabaka kurutma modelinden hesaplanan tahminlerle uyum göstermiştir. Renk ve askorbik asit sonuçlarına göre en iyi kalite 750 W’ta elde edilmiş; ayrıca bu güçte gerçekleştirilen 350 saniyelik kurutma döngüsü en düşük enerji kullanımını sağlamış ve toplam tüketim 0,12 kWh olarak hesaplanmıştır (Özkan vd., 2007).

Kivi örneklerinin kurutulmasını ele alan bir başka çalışmada kivi örnekleri farklı kurutma yöntemleri ile işlenmiş ve mikrodalga kurutma yöntemi kalite paremetreleri açısından incelenmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan kivinin su aktivitesi yaklaşık olarak 0,67'ye düşmüş; bu durum taze ürün ile karşılaştırıldığında belirgin bir azalmayı ifade etmekte ve mikrobiyal istikrarın artışını göstermektedir. Renk analizinde, mikrodalga yöntemi L^* (parlaklık) değeri açısından diğer tekniklere göre daha iyi sonuçlar vermiş; a^* ve b^* değerlerinde ise artış gözlemlenmiştir. Mikrobiyolojik testlerde, mikrodalgada kurutulan örneklerde maya gelişimi görülmemiştir. Fakat duyusal değerlendirmelerde mikrodalga yöntemi, kivi için en çok tercih edilen yöntem olmamıştır. Genel olarak mikrodalga kurutma, renk ve mikrobiyal kalite bakımından faydalı bulunurken, duyusal özellikler açısından kısıtlıdır (Akbulut, 2021).

Yapılan bir diğer çalışmada, brokolinin mikrodalga ile kurutma özellikleri üç farklı güç seviyesi kullanılarak incelenmiştir. Mikrodalga kurutma, özellikle 270 W gücünde en kısa kuruma süresini sağlamış ve fenolik madde içeriği bakımından en yüksek değeri vermiştir. Rehidrasyon kapasitesi üzerinde anlamlı bir fark oluşmazken, doğrudan mikrodalgada kurutma işleminin brokoliyi pişirdiği gözlemlenmiş, bu nedenle ön kurutma önerilmiştir. Sonuçlar, mikrodalga kurutmanın brokoli için kısa sürede etkili ve kaliteli kurutma imkânı sunduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2015).

Özgür Göksu (2019) şeker pancarı posasından diyet lifi üretiminde ultrason ön uygulaması ve mikrodalga kurutma yöntemlerinin etkinliğini incelemiştir. Çalışmada klasik yöntemle karşılaştırmalı olarak farklı kurutma tekniklerinin teknolojik verimliliği değerlendirilmiş ve her yöntem için optimum koşullar belirlenmiştir. Ultrason ve mikrodalga yöntemlerinin birlikte kullanımı, su ve yağ bağlama kapasitesi ile renk açısından en iyi sonuçları vermiştir. Diyet liflerinin kek ve köfte gibi model gıdalarda kullanımı değerlendirilmiş; kekte sertlik artarken beğeni azalmış, köftede ise kalite ve duyusal kabul artmıştır. Sonuç olarak, kombine yöntem teknolojik açıdan en uygun yaklaşım olarak önerilmiştir (Özgür Göksu, 2019).

Yapılan bir başka çalışmada, Albion çeşidi çileğin altı farklı kurutma yöntemiyle kurutulmasının kuruma süresi ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. 70 °C'de laboratuvar tipi konvektif kurutma en hızlı sonucu verirken, en uzun süre güneşte kurutma tekniğinde gözlenmiştir. Renk analizinde taze ürüne en yakın kırmızılık değeri konvektif kurutucuda ve sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. pH açısından en uygun sonuç ise etüvde 60 °C'de kurutmayla sağlanmıştır. Genel değerlendirmede, hem renk hem kuruma süresi bakımından en uygun yöntem laboratuvar tipi konvektif kurutucu olarak belirlenmiştir (Çakmak, 2019).

Moringa yapraklarının mikrodalga ile kurutulması üzerine gerçekleştirilen deneysel bir araştırmada, 136 W ve 264 W güç seviyeleri kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinde en uygun matematiksel modelin Midilli-Küçük modeli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrodalga yöntemiyle kurutmanın geleneksel fırın kurutma yöntemine göre enerji kullanımı, spesifik enerji tüketimi ve CO_2 emisyonları açısından daha çevre dostu ve etkili olduğu bildirilmiştir (Kusuma vd., 2024).

Yapışkan pirinç (Glutinous rice) üzerinde yapılan kapsamlı bir kurutma yöntemi karşılaştırmasında, mikrodalga kurutmanın (MWD) en kısa işlem süresi, en düşük çevresel etki ve en yüksek ekonomik performansı sunduğu; buna karşın daha düşük baş pirinç verimi ve besin maddesi korunumuna sahip olduğu tespit edilmiştir (Jimoh vd., 2025).

2.5. Matematiksel Modelleme

Kinetik modelleme; kimyasal, biyolojik veya fiziksel bir sistemin zaman içerisindeki davranışını ön görebilmek için sistemdeki süreçleri matematiksel denklemlerle temsil eden bir yöntemdir. Gıda endüstrisinde enerji verimliliğini artırma, ürün kalitesini iyileştirme vb. amaçlarla matematiksel modelleme yöntemi kullanılır. Kurutma kinetiğinin modellenmesi için kurutulan gıdanın başlangıç nemi ve zamanla değişimi dikkate alınır. Süreçte kullanılan en yaygın modellere örnek olarak Newton Modeli, Page Modeli, Henderson ve Pabis Modeli, Logaritmik Model gösterilebilir. En uygun modeli belirleme işleme için hata analizleri yapılır bu analizler neticesinde optimum model belirlenir.

Soğan tozunun mikrodalgayla hızla yüksek güçteki kurutma işlemi simülasyonu üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada, ürün sıcaklığı ve nem dağılımının enerji denklemlerine dayalı bir matematiksel modelle başarılı bir şekilde öngörüldüğü ve bu model aracılığıyla kurutma süresinin kısaldığı, ayrıca Bacillus cereus sporlarının öldürülmesinde 117 °C derecede belirgin bir etki sağladığı tespit edilmiştir (Nayak vd., 2025).

Yapılan bir çalışmada, domates salçasından yüksek kaliteli toz üretimi amacıyla kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma (KDKPK) ve ultrases destekli kırınım pencereli kurutma (UDKPK) teknolojileri geliştirilmiş ve optimize edilmiştir. Domates salçası KDKPK, kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde köpük kurutma (KK-KDKPK), UDKPK, kırınım pencereli kurutma (KPK) ve sıcak hava kurutma (SHK) yöntemleriyle kurutulmuş; KDKPK'da su sıcaklığı, serme kalınlığı ve yüzey sıcaklığı Yanıt Yüzey Metodolojisi ile optimize edilmiştir. Ayrıca köpük kurutma yaklaşımı ve askorbik asit ile β-siklodekstrin ilavelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, KDKPK, KK-KDKPK ve UDKPK yöntemlerinin SHK'ya göre kurutma süresini önemli ölçüde kısalttığını ve likopen, renk ile antioksidan özellikler bakımından üstün kalite sağladığını göstermiştir. Kurutma kinetiği analizinde deneysel verileri en iyi temsil eden modelin Newton modeli olduğu belirlenmiştir (Atbakan Kalkan, 2025).

Yapılan bir diğer çalışmaya göre, çilek meyvelerine farklı sürelerde ultrases (US) ön işlemi uygulanarak 70 °C'de sıcak hava ile ve mikrodalga (MW) yöntemiyle kurutulan çilek dilimlerinin kuruma davranışı ve kalite özellikleri incelenmiştir. US ön işlemi sıcak hava ile

kurutulan çileklerde kuruma süresini sırasıyla %14,3, %28,6 ve %42,8 oranında kısaltmış; MW kurutmada ise 30 dk US uygulaması kuruma süresini %12,5 azaltmıştır. 30 dk US + 70 °C sıcak hava ile kurutulan örneklerin panelistlerce en çok beğenilen ürün olduğu belirlenmiştir. Kurutma kinetiği, MATLAB ortamında ince tabaka modeliyle değerlendirilmesi sonucu en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğu ancak çileğin nem oranının süreye göre değişimini tanımlayan en iyi modelin Newton modeli olduğu sonucuna varılmıştır (Sarıkaya Özcan, 2025).

Üzüm posasının kabuk ve çekirdeklerinin kuruma kinetiği üzerine yapılan bir çalışmada, Emir ve Bogazkere üzüm çeşitlerinin kabuk ve çekirdekleri farklı sıcaklıklarda (40–60 °C) tepsili kurutucuda kurutularak kuruma kinetiklerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Kurutma deneyleri, artan sıcaklığın kuruma hızını yükselttiğini göstermiştir. Elde edilen verilere göre; Boğazkere çekirdekleri için Modifiye İki Terim modeli, Boğazkere ve Emir kabukları için Modifiye Page modeli, Emir çekirdekleri için ise Logaritmik model en uygun modeller olarak belirlenmiştir (Gezer, 2011).

Yapılan bir çalışmaya göre, 12 soğan çeşidine dört farklı ön işlem (su, tuzlu su, maltodekstrin ve patates nişastası çözeltilerine daldırma) uygulanarak kabin, vakum, güneş enerjili ve açık hava kurutma yöntemlerinde kurutma kinetiği ile kalite özellikleri değerlendirilmiştir. Kurutma süresi ve ağırlık değişimi sonuçlarına göre en hızlı ve en kaliteli kurutma koşullarının vakum kurutucu ile sağlandığı; açık havada kurutmanın ise uzun sürdüğü ve kalite kayıplarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Vakum kurutmada toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve L-askorbik asidin diğer yöntemlere kıyasla daha iyi korunduğu; tüm yöntemlerde L* ve h* değerlerinin azaldığı, C* değerinin ise arttığı saptanmıştır. Kurutma verileri altı farklı ince tabaka kurutma modeline uygulanmış, açık havada kurutma için R^2 değerleri 0,9331–1; güneş enerjili kurutucu için 0,9699–0,9972; kabin kurutucu için 0,9351–1 ve vakum kurutucu için 0,9537–1 aralıklarında bulunmuştur. İstatistiksel uygunluk kriterlerine göre soğanların nem oranı değişimini en iyi tanımlayan modellerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu belirlenmiştir (Çetin, 2014).

Brokolinin mikrodalga ile kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada; 90 W, 180 W ve 270 W mikrodalga güçleri ve tepsili kurutucu kullanılarak en uygun matematiksel modeller, 90 W için Henderson ve Pabis modeli, 180 W için Midilli ve ark. modeli, 270 W

ve kontrol grubu için ise Logoratmik model olarak belirlenmiştir. Kalite açısından değerlendirilme yapıldığında 270 W da kurutulan örneklerin kurutma sonrası ürün kalitesini artırdığı, mikrodalga kurutmanın kurutma süresini kısaltarak gıda endüstrisinde kullanıma katkı sağladığı söylenebilir (Yılmaz, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Karalahana

Bu çalışmada kullanılan karalahanalar yöresel olarak Giresun ili Piraziz ilçesi Kaleyanı mahallesindeki tarladan toplanmış ve taze bir şekilde ESOGÜ gıda mühendisliği bölümü laboratuvarına ulaştırılmıştır. Analizler süresince kullanılacak olan karalahanalar -18°C'de muhafaza edilmiştir. Şekil 3.1'de tarladan toplanan taze karalahalar görülmektedir.



Şekil 3.1. Taze karalahanaların görüntüleri

3.1.2. Kullanılan kimyasal malzemeler

Analizlerde kullanılan methanol (Supelco, Almanya), fenolftalein çözeltisi (%0,1'lik) (Norateks, Türkiye), 0,1 N sodyum hidroksit çözeltisi (Beyanlab, Türkiye), Folin-Ciocalteu reaktifi (Supelco, Almanya), sodyum bikarbonat (Merck, Darmstadt, Almanya), gallik asit (Merck, Darmstadt, Almanya) analitik saflıktadır. Çözelti hazırlamada kullanılan su yüksek saflıkta kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Karalahananın kurutulması için yapılan ön denemeler

Öncelikle kurutma işlemleri için deneme deseni oluşturulmuştur ve farklı parametrelerin yer aldığı bu deneme deseninde 72 farklı numune ile çalışılmaya karar verilmiştir. Ardından farklı kurutma yöntemleri kullanarak her bir yöntemde 5 farklı sürede çalışmak ve sürelerin anlamlı bir şekilde belirlenmesi işlemi için ön denemeler yapılmıştır. Bu aşamada yapılan süre denemeleri neticesinde esas denemelere 2 paralel şeklinde devam edilmiştir.

3.2.2. Örnek hazırlama

Karalahanalar damarlı ve saplı bir yapıya sahip olduğu için öncelikle sap ve damarlı kısımlar yapraktan uzaklaştırılmıştır. Ardından ısıya dayanıklı cam bir kapta yüzey alanı tamamen kaplanacak şekilde analitik terazide (WSA-224X, Weightlab Instruments, Türkiye) 3 g numune tartılmıştır ve kurutma işlemine kadar nem almayacak kilitli poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir.

3.2.3. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga kurutma işleminde, nominal mikrodalga güç çıkışı 700 W olan bir mikrodalga fırında (HM-01, Kumtel, Türkiye)(Şekil 3.2) 140, 364 ve 511 W olmak üzere 3 farklı kademede ve değişken sürelerde kurutma işlemi yapılmıştır (Çizelge 3.1). Süreleri belirleme işlemi için öncelikle en düşük süre ile kurutmaya başlanarak süre sonunda

desikatöre alınıp 10 dk soğuması beklenen numunenin tartımı kaydedilmiştir ve ikinci kez aynı ürün ile kurutma işlemine devam edilmiştir bu işlem tartımlar arası farkın %4'e düşmesine ya da sabitlenmesine kadar devam etmiştir. İşlem sonunda toplam kurutma süresi belirlenerek tekrar süre denemesi yapılmış anlamlı sonuçlar elde edildikten sonra 2 paralel olacak şekilde analize devam edilmiştir.



Şekil 3.2. Mikrodalga fırın

3.2.4. Etüvde kurutma

Etüv ile kurutma işleminde 105°C'de 5 farklı sürede kurutma yapılmıştır (Çizelge 3.1). Süre belirleme işlemi mikrodalga kurutma ile aynı şekilde gerçekleşmiştir. Süre belirlendikten sonra numuneler cam kaplara yerleştirilerek etüvde (WF-HTV25, Weightlab Instruments, Türkiye) (Şekil 3.3) kurutma yapılmıştır.

3.2.5. Vakumlu etüvde kurutma

Vakumlu etüvde kurutma işlemi 105°C'de 5 farklı sürede ve 3 farklı basınçta çalıştırılan bir vakumlu etüv (WF-HTV25, Weightlab Instruments, Türkiye) yardımıyla

farklı sürelerde gerçekleşmiştir (Çizelge 3.1). Etüv içindeki hava, bir vakum pompası yardımıyla çekilerek dışarı atılmakta ve böylece kuruma süresinde normal etüve göre aynı sıcaklıkta önemli miktarda azalma sağlanabilmektedir.



Şekil 3.3. Vakumlu etüv

Çizelge 3.1. Farklı ekipmanlarla gerçekleştirilen kurutmaların işlem parametreleri

Kurutma yöntemi	**İşlem koşulu**	
	Sıcaklık (°C)	***Süre (dk)***
Etüv	105	8
		16
		24
		32
		40
	Basınç (Pa)	***Süre (dk)***
Vakumlu etüv	0,4	3,4
		6,8
		10,2
		13,6
		17
	0,6	4
		8
		12
		16
		20
	0,8	3,4
		6,8
		10,2
		13,6
		17
	Güç (W)	***Süre (dk)***
Mikrodalga	140	1,2
		2,4
		3,6
		4,8
		6
	364	0,8
		1,6
		2,4
		3,2
		4
	511	0,8
		1,6
		2
		2,4
		3,2

3.2.6. Analiz yöntemleri

3.2.6.1. Su aktivitesi (a_w) analizi

Örneklerin su aktivitesi değerleri WaterLab (Steroglass S.r.l., Perugia, İtalya) marka su aktivitesi ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm sıcaklığı 25°C±1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler, numune kabının tabanını kaplayacak şekilde yerleştirilerek cihazda okuma yapılmıştır. Su aktivitesi cihazı Şekil 3.4'te yer almaktadır.



Şekil 3.4. Su aktivitesi tayin cihazı

3.2.6.2. Nem kaybı analizi

Kurutulmuş karalahana numunelerinden her bir kurutma yöntemiyle uzaklaşan nem oranı, başlangıç örneğindeki ağırlığı ile kuruma sonrasındaki ağırlığı arasındaki farkın başlangıç ağırlığına oranlanması ile elde edilmiştir. Hesaplamada kullanılan formül, Eşitlik 3.1'de gösterilmektedir.

$$\%\ Uzaklaşan\ nem = \frac{m_1 - m_2}{m_1} x100 \qquad (3.1)$$

Burada 'm_1' örneğin başlangıçtaki ağırlığı; 'm_2' kurutma sonrası örnek miktarı g cinsinden ağırlığıdır.

3.2.6.3. FTIR spektrometre analizi

Karalahana kurutma işlem koşullarının belirli fonksiyonel gruplar üzerindeki etkisini belirlemek üzere Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, zayıflatılmış toplam yansıma (ATR)-FTIR spektrometresi (Alpha II, Bruker, A.B.D.) kullanılmıştır. Cihazda önce background ayarı yapılmış, ardından her numuneden yeterli miktarda örnek alınarak 4000-400 cm^{-1} dalga sayısı aralığında spektrumlar elde edilmiştir. FTIR spektrometre cihazı Şekil 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. FTIR spektrometre ölçüm cihazı

3.2.6.4. pH analizi

pH analizi masaüstü tip bir pH ölçer (MI151, Milwaukee Instruments, A.B.D.) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Okuma için öncelikle cihaz sırasıyla 4 ve 7 pH değerine sahip tampon çözelti kullanılarak kalibre edilmiştir. Ardından kurutulmuş numunelerden sırasıyla 0,5 g örnek alınarak saf su ile 1:10 oranında seyreltilmiştir. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra sulu çözeltiye pH metre probu daldırılarak sabit sıcaklıkta (25°C) okuma yapılmıştır. pH metre cihazı Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.6. pH metre cihazı

3.2.6.5. Serbest asitlik analizi

Kurutulmuş karalahana numunelerinde serbest asitlik titrimetrik yöntemle belirlenmiştir. Yaklaşık 0,5 g kurutulmuş örnek tartılarak miktar kayıt edilmiştir. Üzerine 20 mL metanol eklenmiştir ve karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karışım üzerine 0,25 mL fenolftalein indikatör çözeltisi (%0,1 ağırlık/hacim) ilave edilmiştir. Diğer taraftan büret 0,1 N NaOH çözeltisi ile titrasyona hazır hale getirilmiştir. Titrasyona başlamadan önce büretteki hacim (V_1) okunarak kayıt altına alınmış ve ardından titrasyona başlanmıştır. Renk dönüşümü gerçekleştiğinde tamamlanan titrasyon sonrası kalan alkali hacmi (V_2) okunarak kayıt altına alınmıştır. Karalahana numunelerinde baskın asit sitrik asit olduğundan, serbest asitlik değerleri % sitrik asit cinsinden Eşitlik 3.2'de belirtildiği şekilde ifade edilmiştir.

$$\%\ \boldsymbol{serbest\ asitlik} = \frac{\boldsymbol{V \times 0,1 \times 19,2}}{\boldsymbol{Tartım\ Miktarı}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

(V: Harcanan NaOH miktarı (mL), 0,1; sodyum hidroksitin normalitesi (N))



Şekil 3.7. Titrasyon işlemi

3.2.6.6. Toplam fenolik madde analizi

Numunelerdeki toplam fenolik madde analizi spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, analiz öncesi standart gallik asit kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş ve sonrasında köre karşı numuneler ile okuma yapılmıştır. Kurve oluşturmak için 0, 50, 100, 150, 200, 250 ve 500 ppm lik gallik asit stok çözeltileri metanolle hazırlanmıştır. Hazırlanan bu stok çözeltiler spektrofotometre cihazında (V-730, Jasco Inc., Easton, MD) 760 nm dalga boyunda okunarak standart gallik asit kalibrasyon eğrisi için absorbans değerleri elde edilmiştir.

Daha sonra her bir kurutulmuş karalahana numunesinden 0,25 g örnek santrifüj tüpüne tartılmıştır. 1:1 (hacim:hacim) oranında metanol saf su karışımından 25 mL ilave edilerek soğutmalı santrifüj cihazında (Z 326 K, Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya) 7000 rpm dönüş hızı ve 5 dk süreyle santrifüj edilmiştir. Üst kısımda ayrılan sıvı fazdan deney tüplerine 1 mL aktarılarak üzerine 8,25 mL saf su ve 0,50 mL Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. Ardından daha önce hazırlanmış olan %20'lik sodyum karbonat çözeltisinden 0,25 mL eklenmiş ve 30 dk karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda absorbanslar köre karşı (metanol) okunmuş ve okunan bu absorbans değerleri mg gallik asit

eş değeri/g olarak oluşan kalibrasyon eğrisi denkleminde yerine koyularak konsantrasyon değerlerine ulaşılmıştır.

3.2.6.7. Renk analizi

Kurutulmuş numunelerde renk analizi, portatif bir kolorimetre (NR100, 3nh Technology Co. Ltd., Çin) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümün karanlık bir ortamda ve koyu renkli bir yüzeyde yapılmasına dikkat edilmiştir. Renk analizinde L^* değeri rengin parlaklığını vermektedir. Bu değer renk siyah ise 0'ı beyaz ise 100'ü göstermektedir. Cihazda okunan a^* değeri ise rengin kırmızılık ya da yeşillik değerini vermektedir. Renk kırmızılığa kaydığında cihazda pozitif değerler, yeşilliğe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır. Cihazda okunan b^* değeri ise rengin sarılık ya da mavilik oranını vermektedir. Renk sarılığa kaydığında cihazda pozitif değerler, maviliğe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır (Alibas, 2006). Şekil 3.8' de renk cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Portatif kolorimetre

Numuneler arasındaki renk farkını belirlemek adına hesaplanan ΔE^* değeri yani Eşitlik 3.3'te ifade edilen formülle hesaplanmaktadır.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.3)$$

Formülde;

$\Delta L^* = L^*$ (yaş numune) - L^* (kurutulmuş numune)
$\Delta a^* = a^*$ (yaş numune) - a^* (kurutulmuş numune)
$\Delta b^* = b^*$ (yaş numune) - b^* (kurutulmuş numune) olarak tanımlanmaktadır.

3.2.6.8. Kurutma kinetiğinin modellenmesi

Farklı kurutma teknikleri kullanılarak kurutulan karalahanaların kurutma kinetik modelleri, farklı sürelerde ölçülen nem içeriği ve uzaklaşan nem miktarları göz önünde tutularak gıda sistemlerinde en yaygın kullanılan modeller içerisinden beş tanesi seçilerek oluşturulmuştur. Bu modeller; Henderson-Pabis, Lewis, Logaritmik, Midilli ve Page modelleridir. Modellerin uygunluğunda ve en uygun modelin seçiminde, RMSE (tahmini standart hata) ve R^2 (determinasyon katsayısı) değerleri baz alınmıştır. Bu amaçla deneysel veri ile tahmin edilen veri arasındaki hatayı belirleyen RMSE değerinin minimum olması ve R^2 değerinin 1'e en yakın olması gözetilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kinetik modellerin matematiksel ifadeleri Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan kinetik modeller ve matematiksel ifadeleri

Sıra	Model	Matematiksel İfade	Kaynak
1	Henderson-Pabis	$\boldsymbol{MR = a \times e^{(-kt)}}$	(Henderson ve Pabis, 1961)
2	Lewis	$\boldsymbol{MR = e^{(-kt)}}$	(Bruce, 1985)
3	Logaritmik	$\boldsymbol{MR = a \times e^{(-kt)} + c}$	(Toğrul ve Pehlivan, 2002)
4	Midilli	$\boldsymbol{MR = a \times e^{(-kt^n)} + bt}$	(Midilli vd., 2002)
5	Page	$\boldsymbol{MR = a \times e^{(-kt^n)}}$	(Page, 1949)

Bu modellerde yer alan MR nem oranı olarak ifade edilmekte olup, MR ve modellerin deneysel verilerle uyumunu denetleyen RMSE ve R^2 değerleri sırasıyla Eşitlik 3.4, Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'da gösterilmektedir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \qquad \begin{pmatrix} M_t\text{: t zamandaki nem miktarı} \\ M_0\text{: başlangıç nem miktarı} \\ M_e\text{: denge nem miktarı} \end{pmatrix} \qquad (3.4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{tah.,i} - MR_{den.,i})^2} \qquad \begin{matrix} N\text{: gözlem sayısı} \\ MR_{tah.,i}\text{: tahmin edilen nem miktarı} \\ MR_{den.,i}\text{: deneysel nem miktarı} \end{matrix} \qquad (3.5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(MR_{den.} - MR_{tah.})^2}{\sum(MR_{den.} - MR_{ort.})^2} \qquad \begin{matrix} MR_{tah.}\text{: tahmin edilen nem miktarı} \\ MR_{den.}\text{: deneysel nem miktarı} \\ MR_{ort.}\text{: ortalama nem miktarı} \end{matrix} \qquad (3.6)$$

3.2.6.9. İstatistiksel analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi için Minitab 16 (Minitab Inc. A.B.D.) paket programı kullanılarak varyans analizi gerçekleştirilmiştir. %95 güven aralığında gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda, ortalamalar arasındaki farkların belirlenmesi için Tukey A çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ve önemlilik p<0,05 düzeyine göre belirtilmiştir. Her bir deney koşulu için 2 tekerrür çalışılmış ve ortalama ile standart sapmaları alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ön Deneme Bulguları

Gerçekleştirilecek kurutma işlemlerinde süreyi belirleyebilmek adına ilk önce taze karalahana örneğinin başlangıç nemi analiz edilmiş ve başlangıçta numunenin ortalama %79,52 nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Ardından deneme planı kapsamında farklı kurutma teknikleri ile süre belirleme işlemi için denemeler yapılmıştır.

Mikrodalga kurutma için ilk olarak 140 W güçte çalışılmış ve bu amaçla taze karalahana örneği ısıya dayanıklı cam kap yüzeyini kaplayacak şekilde mikrodalga fırın içine yerleştirilmiştir. 2 dk boyunca mikrodalga kurutmaya tabi tutulan numune soğuması için desikatöre alınmıştır ve soğuma sonunda hassas terazide ağırlığı tartılarak kayıt edilmiştir. Aynı numune ikinci kez mikrodalgaya yerleştirilmiş ve 2 dk daha kurutma gerçekleştirilmiştir. Süreler ikişer dakikalık aritmetik bir şekilde artırılarak denemelere devam edilmiştir. 6. dk'dan itibaren kurutulmuş örneğin ağırlığı değişmediği için bu güç seviyesinde en uzun işlem süresi 6 dk olarak belirlenmiştir. Benzer yaklaşım, 364 W mikrodalga güç için de uygulanmış ve bu mikrodalga güç seviyesinde kurutma süresi 0,8-4 dk aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemede uygulanan en yüksek güç seviyesi olan 511 W güçte çok daha kısa sürede kuruma gerçekleşmiş ve 3 dk'dan sonra kurutulmuş ürün ağırlığı değişmemiş; ancak, 5 dk'dan sonra kurutulmuş ürün aşırı enerji yoğunluğundan ötürü yanmıştır.

Etüvde 105°C sıcaklıkta yapılan ön denemelere göre toplam süre 40 dk olarak belirlenmiştir. Sadece sıcaklık etkisi ile kurutma olduğu için başlangıç süresi de uzun tutularak 20 dk seçilmiştir. Her 10 dk'da kayıt altına alınan kuru ürün ağırlığı neticesinde 40 dk'da sabit tartıma ulaşmıştır.

Vakumlu etüvde ise uygulanan düşük basınç sayesinde normal etüve kıyasla daha düşük işlem süreleri elde edilebilmiştir. Diğer iki kurutma tekniğinde uygulandığı şekilde; tartım miktarının daha fazla değişmediği maksimum kurutma süreleri 0,4 Pa, 0,6 Pa ve 0,8 Pa için sırasıyla 3,4-17 dk, 4-20 dk ve 3,4-17 dk olarak belirlenmiştir.

4.2. Tez Çalışmasına Ait Bulgular

Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan karalahana örneklerinde gerçekleştirilen analiz bulguları Çizelge 4.1'de sunulmuş olup, tüm analiz sonuçları iki tekerrürden elde edilen verilerin ortalama±standart sapması şeklinde gösterilmiştir.

4.2.1. Su aktivitesi (a_w) bulguları

Taze karalahana örneğinde ortalama su aktivitesi değeri 0,966±0,006 olarak tespit edilirken, kurutulmuş karalahanalarda a_w değerleri etüvde kurutmada 0,500-0,910 aralığında değişmiştir. Vakumlu etüv kurutma verileri incelendiğinde su aktivite değerleri değişim aralığı 0,4 Pa basınçta 0,650-0,925; 0,6 Pa basınçta 0,695-0,950; ve 0,8 Pa basınçta 0,790-0,963 şeklinde bir seyir izlemiştir. Mikrodalga kurutma için ise 140 W, 364 W ve 511 W güç değerlerindeki aw değişim aralıkları sırasıyla 0,700-0,890; 0,445-0,775; ve 0,580-0,925 şeklinde tespit edilmiştir. Kurutma verilerine detaylı incelendiğinde her yöntemde kuruma süresi arttıkça a_w düşüş eğilimi göstermiştir. Vakumlu etüvde kurutma işleminde basınç arttıkça a_w de artış eğilimi göstermiştir. Su aktivitesi değerleri detaylı olarak Çizelge 4.1' de gösterilmiştir. Mikrodalga kurutmada ise en düşük su aktivite değeri 364 W koşulunda elde edilmiş, daha yüksek güç değeri olan 511 W'ta ise 364 W'a göre su aktivitesi değerleri bir miktar yüksek tespit edilmiştir. Bu durumun, en yüksek güç değerinde ürün yüzeyinde hızlı kabuk oluşumuna bağlı olarak suyun yüzeyden uzaklaşamamasına bağlı olduğu söylenebilir.

Bas-Bellver vd. (2022)'ye ait çalışmada, taze lahananın yüksek su içeriğine sahip olduğu ve su aktivitesinin de bu doğrultuda yüksek olduğu ölçümler sonucunda 0,990 olarak tespit edilmiştir. Buna karşın, kurutulmuş lahana örneklerinin su aktivitesi 0,23–0,30 aralığında düşük değerler göstermektedir.

Çizelge 4.1. Analizlerden elde edilen bulgular

Kurutma yöntemi	İşlem koşulu		Serbest Asitlik (%)	pH	Uzaklaşan Nem (%)	Su aktivitesi	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)
	Sıcaklık (°C)	*Süre (dk)*					
Etüv	105	8	$0,730\pm0,026^{B}$	$6,15\pm0,16^{BCDEFGH}$	$22,50\pm1,18^{N}$	$0,909\pm0,014^{AB}$	$8,422\pm0,077^{F}$
		16	$0,727\pm0,025^{B}$	$6,09\pm0,13^{BCDEFGHI}$	$53,67\pm3,30^{K}$	$0,910\pm0,013^{AB}$	$26,772\pm0,082^{F}$
		24	$0,723\pm0,032^{B}$	$6,03\pm0,11^{CDEFGHI}$	$70,67\pm1,41^{GHI}$	$0,725\pm0,064^{FGHI}$	$43,03\pm0,156^{F}$
		32	$0,748\pm0,001^{B}$	$5,77\pm0,03^{FGHI}$	$81,00\pm0,47^{BCDE}$	$0,590\pm0,042^{JKLMN}$	$153,94\pm0,818^{EF}$
		40	$0,743\pm0,020^{B}$	$5,57\pm0,2^{I}$	$82,67\pm0,94^{ABCDE}$	$0,500\pm0,014^{MNO}$	$233,597\pm1,768^{EF}$
	Basınç (Pa)	***Süre (dk)***					
Vakumlu etüv	0,4	3,4	$0,939\pm0,001^{A}$	$5,86\pm0,20^{EFGHI}$	$27,17\pm0,24^{N}$	$0,925\pm0,007^{AB}$	$29,208\pm0,384^{F}$
		6,8	$0,944\pm0,000^{A}$	$6,10\pm0,04^{BCDEFGHI}$	$43,83\pm1,18^{LM}$	$0,902\pm0,011^{ABC}$	$18,773\pm0,026^{F}$
		10,2	$0,937\pm0,012^{A}$	$5,97\pm0,12^{DEFGHI}$	$47,83\pm0,71^{KL}$	$0,910\pm0,000^{AB}$	$8,462\pm0,049^{F}$
		13,6	$0,758\pm0,005^{B}$	$5,87\pm0,05^{EFGHI}$	$72,17\pm4,01^{FGH}$	$0,769\pm0,078^{EFGH}$	$59,068\pm0,016^{F}$
		17	$0,755\pm0,015^{B}$	$5,74\pm0,08^{GHI}$	$78,83\pm0,24^{DE}$	$0,650\pm0,000^{IJKL}$	$207,194\pm3,12^{EF}$
	0,6	4	$0,565\pm0,011^{C}$	$6,30\pm0,08^{ABCDEF}$	$40,17\pm2,12^{M}$	$0,900\pm0,001^{ABC}$	$25,184\pm0,375^{F}$
		8	$0,562\pm0,016^{C}$	$6,52\pm0,17^{ABC}$	$49,17\pm3,06^{KL}$	$0,950\pm0,000^{A}$	$50,311\pm0,156^{F}$
		12	$0,740\pm0,007^{B}$	$6,50\pm0,15^{ABCD}$	$61,50\pm0,24^{J}$	$0,922\pm0,010^{AB}$	$71,154\pm1,034^{F}$
		16	$0,730\pm0,018^{B}$	$6,37\pm0,16^{ABCDE}$	$80,33\pm2,83^{CDE}$	$0,770\pm0,042^{EFGH}$	$237,803\pm4,815^{EF}$
		20	$0,738\pm0,018^{B}$	$6,49\pm0,08^{ABCD}$	$87,00\pm1,89^{AB}$	$0,695\pm0,021^{GHIJK}$	$123,317\pm0,475^{EF}$
	0,8	3,4	$0,944\pm0,016^{A}$	$6,72\pm0,09^{A}$	$25,17\pm0,71^{N}$	$0,955\pm0,007^{A}$	$47,423\pm0,471^{F}$
		6,8	$0,751\pm0,021^{B}$	$6,80\pm0,06^{A}$	$39,33\pm2,83^{M}$	$0,963\pm0,006^{A}$	$79,018\pm0,087^{F}$
		10,2	$0,730\pm0,017^{B}$	$6,61\pm0,01^{AB}$	$62,67\pm1,41^{J}$	$0,959\pm0,001^{A}$	$119,249\pm1,281^{EF}$
		13,6	$0,723\pm0,021^{B}$	$6,63\pm0,04^{AB}$	$69,67\pm1,41^{HI}$	$0,950\pm0,000^{A}$	$97,458\pm0,374^{F}$
		17	$0,739\pm0,001^{B}$	$6,57\pm0,04^{ABC}$	$86,67\pm0,94^{ABC}$	$0,790\pm0,071^{CDEFG}$	$163,42\pm0,275^{EF}$

	Güç (W)	*Süre (dk)*					
		1,2	0,907±0,002^{A}	6,08±0,01^{BCDEFGHI}	22,50±1,18^{N}	0,890±0,000^{ABC}	110,565±9,618^{EF}
		2,4	0,944±0,018^{A}	6,25±0,03^{ABCDEFG}	44,67±1,41^{LM}	0,885±0,007^{ABCD}	203,424±3,273^{EF}
	140	3,6	0,900±0,012^{A}	6,38±0,04^{ABCDE}	61,17±1,65^{J}	0,880±0,000^{ABCDE}	287,733±16,447^{EF}
		4,8	0,724±0,007^{B}	6,51±0,01^{ABCD}	76,67±0,94^{EFG}	0,825±0,007^{BCDEF}	301,062±0,413^{EF}
		6	0,740±0,002^{B}	6,09±0,05^{BCDEFGHI}	82,17±0,71^{BCDE}	0,700±0,014^{GHIJ}	353,651±6,577^{EF}
		0,8	0,906±0,015^{A}	6,26±0,30^{ABCDEFG}	78,17±1,65^{DEF}	0,775±0,007^{DEFG}	69,495±0,191^{F}
		1,6	0,915±0,007^{A}	5,63±0,30^{HI}	81,67±0,00^{BCDE}	0,585±0,035^{KLMN}	336,734±54,914^{EF}
Mikrodalga	364	2,4	0,936±0,002^{A}	5,71±0,04^{GHI}	82,50±0,71^{BCDE}	0,525±0,021^{MNO}	843,753±245,437^{CD}
		3,2	0,922±0,022^{A}	5,90±0,13^{EFGHI}	83,83±0,71^{ABCD}	0,480±0,000^{NO}	1224,912±143,063^{AB}
		4	0,954±0,002^{A}	5,57±0,13^{I}	84,33±0,47^{ABCD}	0,445±0,007^{O}	1397,172±345,613^{A}
		0,8	0,929±0,005^{A}	6,38±0,31^{ABCDE}	65,33±0,00^{IJ}	0,925±0,021^{AB}	341,309±78,059^{EF}
		1,6	0,928±0,001^{A}	6,52±0,04^{ABC}	83,67±0,00^{ABCD}	0,815±0,007^{BCDEF}	471,81±26,28^{DE}
	511	2	0,957±0,000^{A}	6,40±0,01^{ABCDE}	86,33±0,94^{ABC}	0,660±0,057^{HIJKL}	981,75±19,51^{BC}
		2,4	0,951±0,005^{A}	6,56±0,18^{ABC}	86,83±0,71^{ABC}	0,605±0,021^{JKLM}	1181,729±62,409^{ABC}
		3,2	0,931±0,012^{A}	6,48±0,02^{ABCD}	89,17±0,71^{A}	0,580±0,014^{LMN}	1400,718±228,592^{A}
Taze karalahana	-	-	0,924±0,011^{A}	6,40±0,14^{ABCDE}	79,52±3,70*	0,966±0,006^{A}	9,056±0,012^{F}

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı sütunda aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemsizdir (p>0,05).

** Taze karalahananın nem içeriği olarak ifade edilmiştir.*

Akışkan yatak kurutucuda kurutulan karalahananın besinsel özelliklerindeki değişimlerin incelendiği bir araştırmada, kurutma öncesindeki taze karalahananın kuru madde oranı %17,51 olarak belirlenmiştir. Vakum impregnasyonu (VI) soğan suyu kullanılarak uygulandığında kuru madde içeriğinde kayda değer bir değişim gözlenmezken, tuz çözeltisine emdirme işlemi bu değeri %13,42'ye düşürmüştür. Bu durum, tuzlu çözeltide çözünen maddelerin üründen daha fazla uzaklaştığını göstermektedir. Araştırmada su aktivitesi, incelenen temel kalite parametrelerinden biri olmuştur. VI işlemi örneklerin su aktivitesinde belirgin bir değişikliğe yol açmamış; ancak kurutma sonrasında elde edilen karalahana örneklerinde su aktivitesi değerleri 0,1837 ile 0,4011 arasında ölçülmüştür. Kurutma sıcaklığının artması, su aktivitesinin düşmesiyle ilişkilendirilmiştir. Bunun yanı sıra, sodyum klorür çözeltisine emdirilmiş örnekler, soğan suyuyla işlem görmüş örneklere kıyasla anlamlı derecede daha düşük su aktivitesi değerleri göstermiştir. Bu sonuç, tuzlu çözeltinin ürünün su tutma davranışını azaltarak daha düşük su aktivitesine sahip bir kurutulmuş yapı oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Pasławska vd., 2018).

Başka bir araştırmada ise, İtalya'da yetiştirilen *Couve-Manteiga* karalahana çeşidinin yenilebilir kısmının besinsel bileşimini 100 g taze ağırlık (FW) temelinde incelemiştir ve yaprakların yüksek su içeriğine (88,94±0,55 g/100 g FW) sahip olduğu, buna bağlı olarak da yüksek su aktivitesi (0,9813±0,0046) gösterdiği tespit edilmiştir (Canazza vd., 2024).

4.2.2. Uzaklaşan nem oranı (%) bulguları

Kurutma işlemi öncesinde taze karalahananın nem miktarı infrared ısıtıcılı hızlı nem tayin cihazıyla ölçülmüş olup, ortalama %79,52±3,70 şeklinde tespit edilmiştir. Bu değer baz alınarak, yapılan kurutma çalışmalarında farklı sürelerde uzaklaşan nem oranları başlangıç ve son ağırlık farkına dayanarak hesaplanmıştır. Genel olarak her kurutma tekniğinde artan süreye bağlı olarak uzaklaşan nem oranları da artış göstermiştir. Buna göre, etüvde kurutmada en yüksek ve en düşük uzaklaşan nem oranları %82,67 ile 40 dk ve %22,50 ile 8 dk süreyle kurutmada tespit edilmiştir ve bu iki sınırın istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu (p<0,05) sonucuna varılmıştır. Vakumlu etüvde kurutma incelendiğinde; uzaklaşan nem oranlarında süreye bağlı olarak artışın etüvde kurutmaya benzer şekilde gerçekleştiği ve tüm basınç değerlerinde gözlendiği söylenebilir. 0,4 Pa

basınçta en düşük ve en yüksek değerler %27,17-%78,83, %40,17-%87 ve %25,17-%86,67 olarak tespit edilmiştir. Düşük basınçta (0,4 Pa) elde edilen uzaklaşan nem oranı değerlerinin 0,8 Pa basınçta ve benzer sürelerde elde edilen bazı değerlere göre daha düşük çıkmasının nedeninin, ortamda hakim olan mutlak basınç azaldıkça kurutulan üründeki su dışında diğer bileşenlerin de uçucu hale geçmeye başlaması ve böylece suyun evaporasyonunun baskılanması olduğu düşünülmektedir. Mikrodalga kurutma verileri incelendiğinde ise; en düşük ve en yüksek değerler 140, 364 ve 511 W güçte sırasıyla %22,50-%82,17, %78,17-%84,33 ve %65,33-%89,17 aralığında bulunmuştur. Çizelge 4.1'de bariz olarak görüldüğü üzere, 364 W güçte ve en kısa süreli kurutmada (0,8 dk) elde edilen en düşük uzaklaşan nem oranı (%78,17) bile diğer tekniklerle kıyaslandığında oldukça yüksek bir orandır; ve bu sonuç, mikrodalga kurutma tekniğinin gıdaların kurutulmasında çok kısa sürelerde bile çok etkili olduğunu göstermektedir. 511 W güçte 3,2 dk süreli kurutmadan elde edilen %89,17 değerindeki uzaklaşan nem oranı, bu çalışmada tüm denemelerden elde edilen en yüksek orandır ve mikrodalga kurutma yönteminin diğer yöntemlere olan üstünlüğünü kanıtlar niteliktedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda *Brassica* örneklerinin nem miktarları bir çalışmada %88,60 (Alibas ve Okursoy, 2012) olarak, bir diğer çalışmada ise %81,38 olarak ölçülmüştür (Emebu ve Anyika, 2011). Literatürde yer alan bir çalışmada, brokoli ve beyaz lahana yan ürünlerinden toz ürünler elde edilmiştir. Üretim süreci, parçalama (doğrama/öğütme), kurutma (50–70 °C sıcak hava veya dondurarak kurutma) ve son öğütmeden oluşmaktadır. Elde edilen tozların fizikokimyasal, teknolojik ve antioksidan özellikleri incelenmiştir. Kurutulmuş numunelerin nem içeriği %2,49–4,3 arasında değişirken, dondurarak kurutulmuş (FD) örnek yaklaşık %3,4 nem içermektedir; ham taze lahana ise %91,4 nem oranına sahiptir (Bas-Bellver vd., 2022).

4.2.3. pH bulguları

Çalışmada, taze karalahanaya ait başlangıç pH değeri 6,40±0,14 olarak bulunmuştur. Farklı tekniklerle kurutulan karalahana numunelerinde ise pH değeri 5,57-6,80 aralığında değişmiştir. Kurutulmuş numunelerin en yüksek pH değeri vakumlu etüvde 0,8 Pa basınçta 6,8 dk kurutma sonunda elde edilirken, en düşük pH değeri olan 5,57'nin elde edildiği iki deneme mevcuttur, bunlar: etüvde 40 dk süreyle kurutma ve 364 W güçte 4 dk süreyle

mikrodalga kurutmadır. En düşük pH değerinin elde edildiği her iki koşul da, kurumanın en yoğun gerçekleştiği iki durum olup, bu noktalarda pH değerlerinin diğer kurutmalardan düşük çıkmasının sebebi olarak; yoğun kurutma sonunda neticesinde çeşitli organik asitlerin bağıl konsantrasyonunun artması gösterilebilir.

Kent merkezindeki bahçelerde yetiştirilen karalahana ve rokanın ağır metal birikimi, polifenolik profili ve bazı kalite özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, taze karalahana örneklerinin pH değerlerinin 6,06 ile 6,21 arasında değiştiği bildirilmiş ve araç yolundan uzaklaştıkça pH değerlerinin artış gösterdiği ve karayoluna mesafeye bağlı pH farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirtilmiştir (p < ,05)(Coşkun, 2022). Karalahanadaki pH düşüşünün egzoz kaynaklı karbondioksitin bitki metabolizması üzerindeki etkileriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir ve CO_2'nin dokularda asidik bileşik oluşumunu artırarak pH'ı düşürdüğü ifade edilmektedir (Daniels vd., 1985). Literatürde yer alan bu çalışmada kullanılan karalahanalar İstanbul'un Mevlanakapı ve Yedikule semtlerinde şehir merkezinden elde edilmiştir (Coşkun, 2022). Literatürde yer alan bir diğer çalışmada haşlama ve kurutmanın bazı sebzelerin bileşimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Erzurum piyasasından elde edilen karalahanaların pH değerleri incelenmiş ve taze karalahanada 6,02, haşlanmış karalahanada 6,01 ve kurutulmuş karalahanada ise 5,68 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek pH değerleri haşlanmış sebzelerde, en düşük pH değerleri ise kurutulmuş sebzelerde bulunmuştur (p<0,01) (Şat ve Öz, 2015). 50 ℃'de 2 gün bekletilerek gerçekleştirilen kurutma sonucunda kurutulmuş karalahananın pH değeri 5,68 olarak hesaplanmıştır (Şat ve Öz, 2015). Fermente edilen karalahananın, temel fonksiyonel gıda özelliklerini geliştirmeye yönelik yapılan bir çalışmada ise farklı fermantasyon yöntemlerinin kimyasal özellikler ve seçilmiş biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Fermente edilmemiş örneklerin başlangıç pH değeri 5,72 ± 0,04 olarak belirlenmiş ve uygulanan tüm fermantasyon süreçleri sonrasında pH'ta düşüş, titrasyon asitliğinde ise artış gözlenmiştir (Subedi vd., 2024). Taze karalahana suyunda pH analizi yapılmış ve 5,89±0,04 olarak bulunmuştur (Szutowska vd., 2021). Farklı fermantasyon yöntemleri ile lahana turşularının hazırlandığı bazı fonksiyonel ve kalite özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, taze lahana örneklerinin pH değeri 6,37 olarak belirlenmiştir. Turşusu konulmuş lahanalarda ise fermantasyon süreci ilerledikçe pH değerlerinde düzenli bir düşüş gözlenmiştir (Erdoğan, 2021).

Bu tez çalışmasından elde edilen gerek taze gerek kurutulmuş karalahanaya ait pH değerleri bu açıdan literatürle uyum sağlamaktadır.

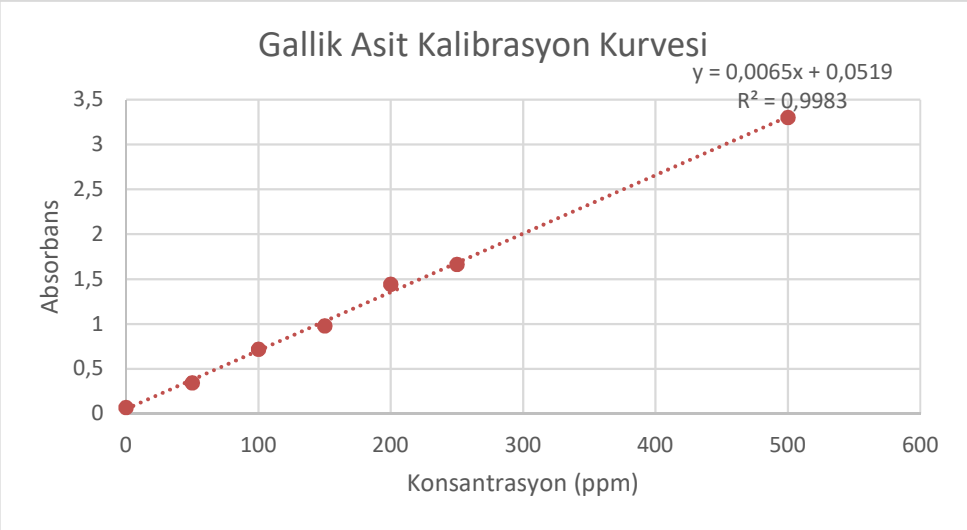
4.2.4. Serbest asitlik bulguları

Karalahana örnekleri üzerinde gerçekleştirilen bir incelemeye göre, yeşil yapraklarda serbest asit olarak sitrik asidin öne çıktığı tespit edilmiştir (Cengiz, 2009). Bu nedenle bu çalışmada karalahananın % asitlik hesabı sitrik asit üzerinden yapılmıştır. Buna göre taze karalahanada ortalama asitlik %0,924±0,011 (% sitrik asit) olarak hesaplanmıştır. Etüvde kurutulmuş örneklerde serbest asitlikteki değişim %0,723-0,748 olarak gözlenmiş olup, bu farklılıklar istatistik olarak önemli bulunmamıştır (p>0,05). 0,4 Pa basınçta vakumlu etüv kurutmada en düşük serbest asitlik %0,755 olarak bulunmuş olup, özellikle 10,2 dk'dan sonra asitlikte belirgin bir düşüş gözlenmiştir. 0,6 ve 0,8 Pa basınçta yapılan kurutma işlemlerinde ise serbest asitlikler sırasıyla %0,562-0,740 ve %0,723-0,944 aralığında bulunmuştur. Mikrodalga kurutma verileri incelendiğinde ise, en düşük serbest asitlik %0,724±0,007 ile 140 W ve 4,8 dk süreyle kurutmada elde edilmiştir. Uygulanan mikrodalga gücü artırıldığında ise, serbest asitlik değerinde önemli bir değişim izlenmemiştir. Literatürde yer alan bir çalışmaya göre sitrik asit cinsinden serbest asitlik analizi yapılmış ve taze karalahana örneklerinde 0,53 iken kurutulmuş karalahana örneklerinde 0,96 olarak tespit edilmiştir (Şat ve Öz, 2015). Farklı fermantasyon yöntemleriyle hazırlanan lahana turşularında bazı fonksiyonel ve kalite özellikleri incelendiğinde, taze lahanada 0,2–0,3 g laktik asit eşdeğeri (LAE) / 100 g düzeyinde ölçülen toplam asitlik miktarı, fermantasyonun 15. gününde artış göstermiştir. Bu aşamada salamura yöntemiyle fermente edilen örneklerde toplam asitlik 0,8–1,0 g LAE / 100 g aralığına, sauerkraut örneklerinde ise 1,1–1,3 g LAE / 100 g aralığına ulaşmıştır (Erdoğan, 2021). Literatürde yer alan bir çalışmada farklı pişirme yöntemlerinin lahananın biyoaktif bileşenleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; özellikle organik asitler ve antioksidan bileşiklerdeki değişim incelenmiştir. Taze lahana örneklerinde oksalik asit içeriği 314,54 ± 41,44 mg/100 g**,** sitrik asit 202,97 ± 71,45 mg/100 g ve askorbik asit 89,44 ± 9,75 mg/100 **g** olarak belirlenmiştir. Pişirme sonrası, oksalik asit hariç organik asit miktarları taze örneklere kıyasla belirgin şekilde azalmıştır. Biyoaktif bileşiklerin korunmasında buharda pişirme en etkili yöntem olurken, vakumlu pişirme en yüksek kayıplara yol açmıştır. Kaynatma ve mikrodalga uygulamaları ise orta düzeyde azalma göstermiştir. Bulgular, lahananın besinsel

değerini korumada pişirme yönteminin kritik olduğunu ve özellikle buharda pişirmenin organik asitler ile antioksidan bileşikleri en iyi şekilde muhafaza ettiğini ortaya koymaktadır (Armesto vd., 2019). Literatürde yer alan başka bir çalışmada ise, kriyojenik hızlı dondurma yöntemlerinin lahana dilimlerinde organik asitlerin göstergesi olan titrasyon asitliği (TA) üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle kuru buzla dondurma uygulamasının depolama süresi boyunca TA değerini en iyi koruyan yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Depolama sonunda TA değeri yalnızca sınırlı bir değişim göstererek %0,2623 düzeyinde kalmıştır. Bu sonuç, kuru buz temelli dondurma işleminin lahana dilimlerinde organik asitlerin stabilitesini sürdürmede diğer dondurma yaklaşımlarına göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Wang vd., 2019)

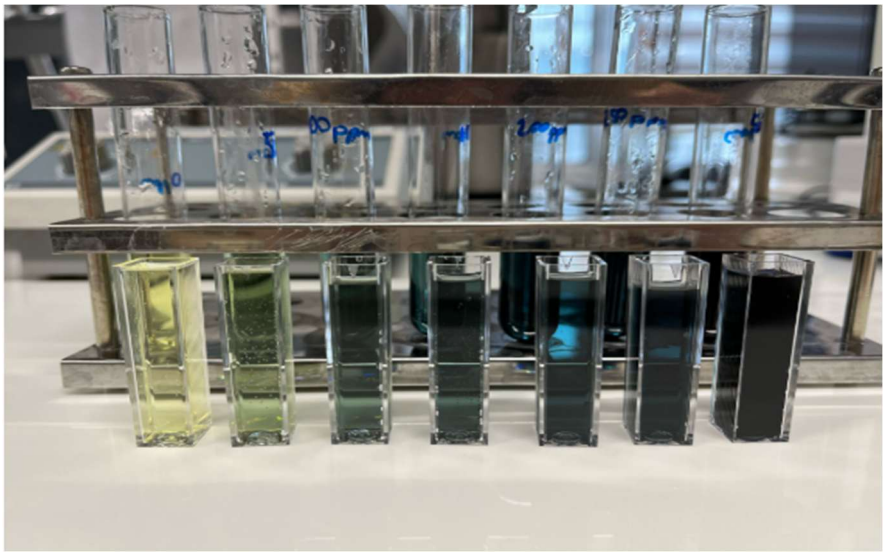
4.2.5. Toplam fenolik madde bulguları

Çalışmada standart kurve oluşturma amacıyla 0-500 ppm aralığındaki farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri hazırlanmış ve 760 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür. Oluşan gallik asit kalibrasyon eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Gallik asit kalibrasyon kurvesi

Şekil 4.2'de ise toplam fenolik madde analizinde absorbansı okunacak gallik asit çözeltileri 0-500 ppm sırasıyla görülmektedir.



Şekil 4.2. Gallik asit çözeltileri

Şekil 4.3'te ise toplam fenolik madde analizi için absorbansı okunacak kurutulmuş karalahana numunelerine ait toplam fenolik madde analizi için hazırlanmış çözeltiler görülmektedir.



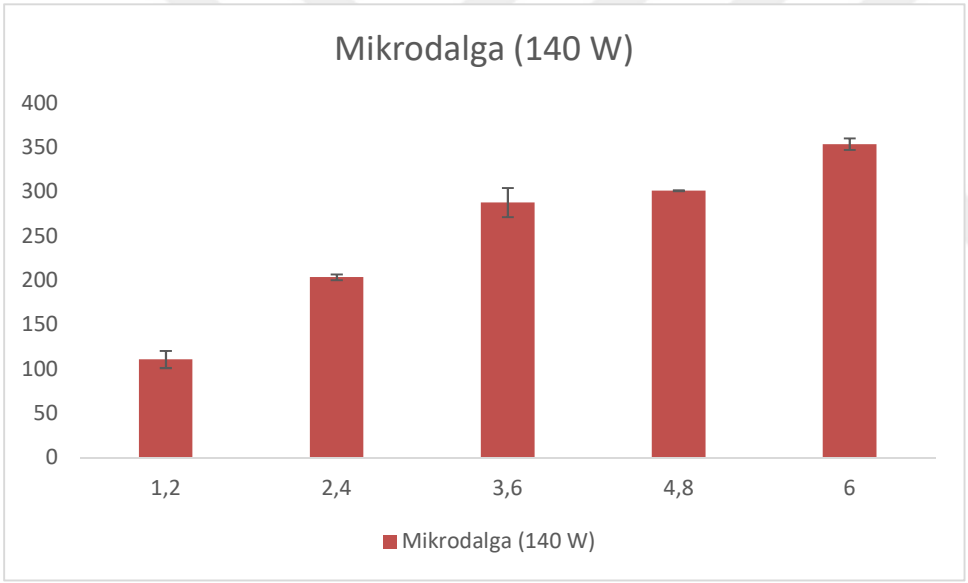
Şekil 4.3. Absorbansları okunan numuneler

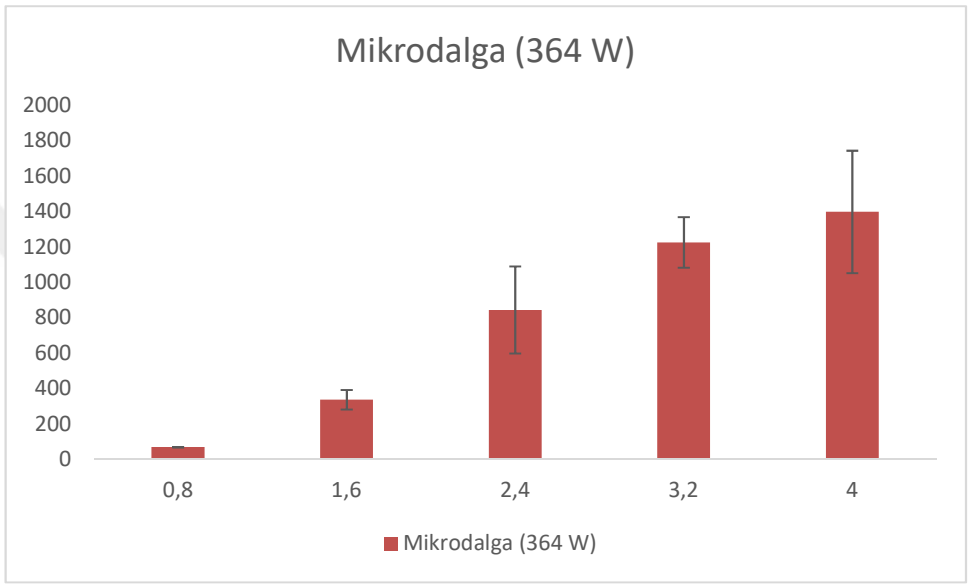
Kurutulmuş karalahanaların toplam fenolik madde miktarı gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir. Gallik asit kalibrasyon eğrisinde elde edilen denklem üzerinden mg GAE (gallik asit eşdeğer) /g kuru madde olarak toplam fenolik madde içeriği hesaplanmıştır.

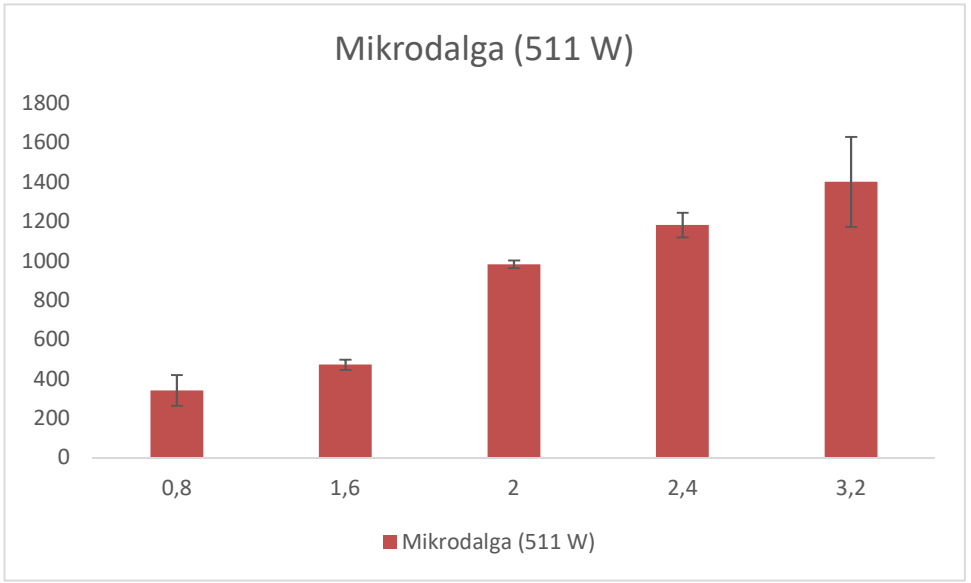
Karalahanaların başlangıç fenolik madde içeriği 9,056 mg GAE/g olarak bulunurken, kurutma yöntemleri göz önünde bulundurulduğunda tüm yöntemlerde kurutma süresi arttıkça ürün içeriğinde bulunan toplam fenolik bileşen miktarı artış göstermiştir. Tüm kurutulmuş numuneler arasında en yüksek toplam fenolik madde içeriği 511 W güçte ve 3,2 dk süreyle mikrodalga kurutmada gözlenmiştir. Etüvde kurutma kullanıldığında toplam fenolik madde içeriği 8,422-233,597 mg GAE/g aralığında değişirken; bu değişim 0,4, 0,6 ve 0,8 Pa basınçta gerçekleştirilen vakumda kurutmada sırasıyla 8,462-207,194 mg GAE/g; 25,184-237,803 mg GAE/g; ve 47,423-163,42 mg GAE/g aralığında gözlenmiştir. Bu veriler ışığında 0,6 Pa basınçta gerçekleştirilen vakumda kurutma işleminin vakum uygulamaları arasında diğer basınçlara göre fenolik madde içeriğinde daha iyi korunum sağladığı söylenebilir. Mikrodalga kurutma verileri incelendiğinde ise, genel olarak diğer tüm tekniklere göre daha yüksek toplam fenolik madde içerikleri tespit edilmiş olup, uygulanan mikrodalga gücü arttıkça fenolik madde içeriğinin de arttığı gözlenmiştir. Fenolik bileşenlerin bazı durumlarda stabil olmadığı ve farklı bileşenlere dönüşebildikleri, buna bağlı olarak da miktarlarında artış veya azalma gözlenebileceği bilinen bir gerçek olduğundan; uygulanan yoğun mikrodalga gücün etkisiyle farklı bileşenler ile fenolik maddeler arasında bir etkileşim olabileceği ve bu durumun da yüksek mikrodalga gücünde toplam fenolik madde miktarının artışında etkili olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sonuçların Folin Ciocalteu metodu ile verilmesi toplam indirgenme kapasitesini ölçtüğünden fenolik bileşen miktarında görülen artışın yalnızca fenolik değil, fenolik olmayan bileşenlerden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Özellikle karalahananın yapısında miktarca fazla bulunan C vitamini (Askorbik asit) güçlü bir indergen olarak sonuçları etkilemiş olabilir. Bunun dışında indirgen şekerler, organik asitler, bazı protein ve aminoasitlerin de artışı etkilendiği düşünülebilir. 140 W, 364 W ve 511 W mikrodalga gücünde gerçekleştirilen kurutmalarda tespit edilen toplam fenolik madde miktarlarının değişimleri sırasıyla 110,565-353,651; 69,495-1397,172 ve 471,81-1400,718 mg GAE/g aralığında analiz edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarlarındaki değişim görsel olarak Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Toplam fenolik madde içeriği değişimi (Etüv ve vakumlu etüv)







Şekil 4.5. Toplam fenolik madde içeriği değişimi (Mikrodalga)

Literatürde yer alan bir çalışmaya göre fenol madde miktarı taze karalahanada 0,47 mg GAE/g iken kurutulmuş karalahanada 0,76 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir (Şat ve Öz, 2015). Literatürde yer alan bir diğer çalışmaya göre toplam fenol bileşiklerinin miktarı taze karalahana örneklerinde toplam 0,448-3,880 mg GAE/g'dır. Yetiştiği bölgeye bağlı olarak örneklerin toplam fenol bileşikleri miktarı arasındaki farklar önemli bulunmuştur (p<0,05). Ayrıca bu çalışmaya göre fenol bileşikler içerisinde baskın olan bileşik karalahana örneklerinde t-kafeik asit olarak belirlenmiştir (Coşkun, 2022). Literatürde yer alan bir diğer çalışmaya göre, brokoli ve karalahana artık yapraklarında fenolik bileşen miktarları belirlenmiştir. Brokoli yapraklarında toplam fenolik bileşen içeriğinin 8,2±0,4 mg GAE/g kuru madde olduğu, karalahana yapraklarında ise bu değerin 7,7±0,2 mg GAE/g kuru madde olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Prade vd., 2021)

Karalahana (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) örneklerinin dondurarak kurutma sürecinin incelendiği bir araştırmada, en yüksek toplam fenolik madde miktarı (TPC) ve antioksidan aktivite (AA) değerleri taze lahana yapraklarında ölçülmüştür. Buna karşılık dondurarak kurutma işlemi her iki parametrede de hafif bir azalmaya neden olmuştur (sırasıyla 66,3 mg GAE/g KM ve 86,7 mg KM/mL, EC_{50} değerleri açısından değerlendirildiğinde). Kurutma sıcaklığının artırılması TPC ve AA üzerinde yalnızca sınırlı bir etki oluşturmuş; daha yüksek sıcaklıklarda TPC'de hafif düşüş ve AA için EC_{50} değerlerinde küçük bir artış gözlenmiştir (Dziki vd., 2018). Fermente edilen karalahananın, temel fonksiyonel gıda özelliklerini geliştirmeye yönelik yapılan bir çalışmada farklı fermentasyon yöntemlerinin kimyasal özellikler ve seçilmiş biyoaktif bileşenler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Toplam polifenol içeriğinin 8,5–10,7 mg GAE/g aralığında değiştiği saptanmış; en düşük değer fermente edilmemiş örneklerde, en yüksek değer ise *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactococcus lactis* karışımıyla fermente edilen grupta ölçülmüştür (Subedi vd., 2024). Literatürde yer alan bir diğer çalışmada ise taze karalahanada toplam fenolik bileşen miktarı 384,9±0,7 mg GAE/g olarak hesaplanmıştır (Korus ve Lisiewska, 2011). 450 nm dalga boyuna sahip lazer ışığının lahana tohumlarına uygulanmasının filizlerin kimyasal bileşimi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, uygulanan 180 saniyelik lazer işleminden sonra lahana filizlerinde toplam fenolik madde miktarı belirgin şekilde artmış ve 27,8 mg GAE/g düzeyine ulaşmıştır (Yildiz vd., 2025). Taze karalahana suyunda yapılan toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi işleminde TPC 117.70±2,23 mg GAE/100ml olarak belirlenmiştir (Szutowska vd., 2021). Lahananın

farklı kurutma koşullarında geçirdiği kimyasal ve yapısal değişimlerin incelendiği bir çalışmada, toplam fenolik madde (TPC) analizi ile değerlendirilmiştir. Sıcak hava kurutmada sıcaklığın artması TPC'de belirgin azalmaya yol açarken, mikrodalga gücünün yükseltilmesi fenoliklerin hücre matrisinden daha kolay serbest kalması nedeniyle TPC değerlerini artırmıştır. Bu bulgular, sıcak hava ve mikrodalga kurutmanın lahanada fenolik bileşikler üzerinde farklı yönlerde etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Luka vd., 2024). Folin–Ciocalteu yöntemiyle yapılan analizler, lahana çeşitleri arasındaki toplam fenolik madde miktarlarının belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Karalahananın toplam fenol düzeyi 0.152 ± 0.0138 mmol g^{-1} gallik asit eşdeğeri olarak ölçülmüş ve bu değer kuru madde üzerinden hesaplandığında 25.86 ± 2.55 mg GAE/g düzeyine karşılık gelmiştir. Karalahana sapı ise daha düşük fenolik içeriğe sahip olup 0.076 ± 0.0011 mmol g^{-1} gallik asit eşdeğeri değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, yaprak kısmının sap kısmına kıyasla fenolik bileşikler bakımından daha zengin olduğunu göstermektedir (Encu, 2010). Hatay-Yayladağ bölgesinde beyaz baş lahana (Brassica oleracea var. capitata L.) yetiştiriciliğinde organomineral gübrelerin verim ve kalite açısından etkilerinin incelendiği bir çalışmada, organomineral gübre uygulamalarının lahana bitkisinde büyüme, verim ve kalite özelliklerini geliştirdiği ayrıca mineral gübre oranı arttıkça yapraklardaki toplam fenol içeriğinin yükseldiği ve en yüksek fenol düzeyinin yalnızca mineral gübre kullanılan uygulamada olmuştur. Ulaşılan maksimum değerin 1026 mg GAE/100 g taze lahanadan elde edildiği bildirilmiştir (Zengin, 2021).

4.2.6. Renk bulguları

Taze ve kurutulmuş karalahana örneklerinde renk ölçümü amacıyla, dış ortam şartlarından etkilenmeyen ve herhangi bir ışık sızmasına izin vermeyecek şekilde yalıtılmış bir kapalı sistem kullanılmış ve renk değerleri her numune için en az 3 ölçümün ortalaması olacak şekilde elde edilmiştir. Numunelerin ölçülen L^*, a^* ve b^* değerleri ile bu değerlerden hesaplanan ΔE^* parametresi Çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. Renk analizi bulguları

Kurutma yöntemi	**İşlem koşulu**		***L****	***a****	***b****	***ΔE****
	Sıcaklık (°C)	***Süre (dk)***				
Etüv	105	8	17,17±0,35^{A}	-3,56±0,32^{ABC}	8,44±0,10^{ABCD}	2,35
		16	16,54±0,72^{A}	-3,00±0,25^{AB}	8,91±0,14^{ABCD}	2,17
		24	15,50±1,19^{A}	-2,90±0,42^{A}	7,41±0,91^{BCD}	0,47
		32	16,91±1,07^{A}	-2,92±0,53^{A}	8,03±0,25^{ABCD}	1,91
		40	15,64±0,25^{A}	-2,74±0,04^{A}	7,15±0,42^{BCD}	0,63
	Basınç (Pa)	***Süre (dk)***				
Vakumlu etüv	0,4	3,4	15,96±0,91^{A}	-4,00±0,30^{ABC}	8,54±0,08^{ABCD}	1,73
		6,8	17,26±1,48^{A}	-4,63±0,58^{ABC}	9,54±0,96^{ABCD}	3,42
		10,2	18,23±0,02^{A}	-4,62±0,22^{ABC}	8,56±1,29^{ABCD}	3,60
		13,6	19,44±2,52^{A}	-4,48±1,08^{ABC}	8,42±0,04^{ABCD}	4,59
		17	20,08±0,29^{A}	-4,43±0,02^{ABC}	7,81±0,16^{BCD}	5,06
	0,6	4	15,89±0,06^{A}	-3,89±0,03^{ABC}	7,35±0,09^{BCD}	0,97
		8	15,46±0,01^{A}	-3,62±0,02^{ABC}	8,00±0,22^{ABCD}	0,94
		12	15,44±0,40^{A}	-3,77±0,08^{ABC}	8,50±0,97^{ABCD}	1,44
		16	17,19±1,69^{A}	-3,34±0,34^{ABC}	7,08±0,68^{BCD}	1,99
		20	17,79±1,25^{A}	-3,43±0,29^{ABC}	6,47±0,85^{D}	2,69
	0,8	3,4	15,92±0,63^{A}	-3,89±0,47^{ABC}	8,28±1,30^{ABCD}	1,46
		6,8	16,40±0,80^{A}	-3,38±0,03^{ABC}	8,03±0,74^{ABCD}	1,46
		10,2	16,52±0,59^{A}	-3,33±0,19^{ABC}	7,35±0,79^{BCD}	1,33
		13,6	16,86±1,76^{A}	-3,42±0,17^{ABC}	9,09±0,75^{ABCD}	2,51
		17	18,42±1,09^{A}	-3,61±0,25^{ABC}	6,81±0,11^{CD}	3,25
	Güç (W)	***Süre (dk)***				
Mikrodalga	140	1,2	17,29±1,76^{A}	-5,00±0,88^{BC}	9,52±1,45^{ABCD}	3,60
		2,4	17,16±1,77^{A}	-4,22±0,77^{ABC}	9,52±1,35^{ABCD}	3,19
		3,6	18,22±1,35^{A}	-3,64±0,72^{ABC}	8,77±1,32^{ABCD}	3,43
		4,8	18,11±2,94^{A}	-3,93±0,47^{ABC}	8,91±2,35^{ABCD}	3,44
		6	21,79±2,61^{A}	-5,20±0,90^{C}	11,68±1,49^{A}	8,21
	364	0,8	19,57±0,14^{A}	-4,66±0,14^{ABC}	8,77±0,93^{ABCD}	4,86
		1,6	19,22±5,18^{A}	-3,77±0,32^{ABC}	8,26±1,36^{ABCD}	4,19
		2,4	18,04±1,54^{A}	-4,09±0,68^{ABC}	9,41±0,72^{ABCD}	3,70
		3,2	18,50±0,17^{A}	-4,43±0,08^{ABC}	9,76±0,95^{ABCD}	4,34
		4	18,18±0,46^{A}	-3,75±0,39^{ABC}	9,83±0,15^{ABCD}	4,00
		0,8	18,36±1,73^{A}	-4,27±0,84^{ABC}	9,91±0,28^{ABCD}	4,29
		1,6	20,13±1,29^{A}	-4,37±0,10^{ABC}	10,35±0,74^{ABC}	5,96
	511	2	20,36±0,96^{A}	-4,24±0,72^{ABC}	10,69±1,18^{AB}	6,31
		2,4	18,79±2,53^{A}	-4,25±0,16^{ABC}	8,80±0,06^{ABCD}	4,06
		3,2	18,16±1,25^{A}	-4,43±0,15^{ABC}	10,41±0,29^{ABC}	4,52
Taze karalahana	-	-	15,21±0,84^{A}	-3,20±0,40^{ABC}	7,20±0,60^{BCD}	-

Sonuçlar ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı sütunda aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemsizdir (p>0,05).

Parlaklığı temsil eden *L** değeri taze karalahanada 15,21±0,84 olarak ölçülmüştür. Kurutulmuş karalahana örneklerinde ise 105°C'de geleneksel etüvde *L** değerinin değişim

aralığı 15,50-17,17 olarak tespit edilmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan numunelerde en düşük ve en yüksek *L** değeri 15,44 (0,6 Pa-12 dk) ve 20,08 (0,4 Pa-17 dk) olarak ölçülmüştür. Mikrodalga kurutmaya ilişkin en düşük ve en yüksek *L** değerleri ise sırasıyla 17,16 (140 W-2,4 dk) ve 21,79 (140 W-6 dk) olarak ölçülmüş olup, taze ve kurutulmuş tüm numunelerin *L** değerleri arasında gözlenen farklılıklar istatistik olarak önemsiz (p>0,05) bulunmuştur.

Kırmızılık-yeşillik ölçüsü olan *a** değerleri incelendiğinde, tüm örneklerin *a** değerlerinin yeşil rengi işaret eden negatif *a** değerler aldığı görülmektedir. Taze karalahananın ortalama *a** değeri -3,20±0,40 olarak ölçülmüş olup, etüvde kurutmada *a** değerleri değişimi -2,74-(-3,56) aralığında gözlenmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin *a** değerleri ise -3,33 (0,8 Pa-10,2 dk) ile -4,63 (0,4 Pa-6,8 dk) aralığında değişim göstermiştir. Mikrodalga kurutmada ise -3,64 (140 W-3,6 dk) ve -5,20 (140 W-6 dk) aralığında değişen *a** değerleri gözlenmiş olup, -5,20 değeri istatistiksel olarak etüvde 16-40 dk aralığında kurutulan numunelerin *a** değerinden farklı bulunmuştur.

Sarı ve mavi rengin ifadesi olan *b** değerleri incelendiğinde, taze karalahanaya ait *b** değeri 7,20±0,60 olarak ölçülmüştür. Etüvde kurutulan karalahana örneklerinin *b** değerleri 7,15-8,91 aralığında değişirken, vakumlu etüvde kurutmada en düşük ve en yüksek *b** değerleri sırasıyla 6,47 (0,6 Pa-20 dk) ve 9,09 (0,8 Pa-13,6 dk) olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.2 incelendiğinde, vakumlu etüvde kurutulan örneklerin *b** değerleri arasında gözlenen farklılıklar çoklu karşılaştırma testine göre istatistik açıdan önemsiz bulunmuştur. Mikrodalga kurutma verileri incelendiğinde ise, en düşük ve en yüksek *b** değerleri sırasıyla 8,26 (364 W-1,6 dk) ve 11,68 (140 W-6 dk) olarak belirlenmiştir. 11,68 olarak ölçülen bu en yüksek *b** değeri ile diğer mikrodalga ile kurutulan örneklerin *b** değerleri arasındaki farklar istatistik olarak önemsiz bulunurken, taze karalahananın *b** değeri ile arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

Taze karalahana ile kurutulan numuneler arasındaki renk farkını açıklayan *ΔE** değerleri incelendiğinde, taze karalahanaya en yakın renge sahip olan örneğin en düşük *ΔE** değeri ile (0,47) etüvde 24 dk'lık kurutma sonucunda elde edildiği görülmektedir. Çizelge 4.2'de yer alan *ΔE** değerlerinin artışıyla renk farkının da belirgin hale geldiği ve en yüksek *ΔE** değeri olan 8,21'in elde edildiği 140 W güçte 6 dk süreyle mikrodalga kurutmadan elde

edilen kurutulmuş karalahananın renginin kontrol örneği olan taze karalahanaya kıyasla en farklı örnek olduğu söylenebilir.

Literatürde yer alan bir çalışmaya göre İstanbul'da yetiştirilmiş taze karalahanada *L**, *a** ve *b** değerleri incelenmiş ve yetiştirilme alanlarının karayoluna olan uzaklıklarına göre değerlendirme yapılmıştır. Buna göre parlaklık göstergesi olan *L** 34,87±1,732 ile 41,25±1,757 arasında, *a** -4,10±1,183 ile -7,01 ±0,340 arasında ve *b** değeri 9,13±0,111 ile 11,2±1,364 arasında bulunmuştur (Coşkun, 2022). Bu çalışmayla literatürdeki çalışma mukayese edildiğinde Doğu Karadeniz bölgesindeki karalahanaların daha koyu renkte olduğu açıkça ifade edilebilir. Yine literatürde yer alan bir diğer çalışmaya göre karalahanaya yaprak özellikleri açısından benzer olan pazı ve ıspanak yapraklarının teknik özellikleri incelenmiştir. Karalahanada L* değeri 54,52±0,038, *a** değeri -9,44±0,027, *b** değeri ise 8,65±0,043 olarak tespit edilmiştir (Alibas ve Okursoy, 2012).

Doğal ürünlere olan ilginin artmasıyla birlikte, besin değeri yüksek olan sebze ve meyve sıvılarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu bağlamda, karalahana ve maydanoz sularında klorofil stabilizasyonunun kinetik modellemesi üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada, klorofilin bozulmasını engellemek ve rengin kararlılığını sağlamak amacıyla çeşitli stabilizatörler (L-askorbik asit, Tween 20, $ZnCl_2$, Ksantan gam) kullanılmaktadır. Elde edilen bulgular, bu stabilizatörlerin klorofilin bozulma sürecini yavaşlatarak içeceklerin daha uzun süre yeşil rengini korumasına yardımcı olduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2022). Taze karalahana suyunda renk parametreleri incelenmiş ve sırasıyla L*, a* ve b* değerleri 94,71±0,26, -4,35±0,02 ve 20,19±0,22 olarak tespit edilmiştir (Szutowska vd., 2021).

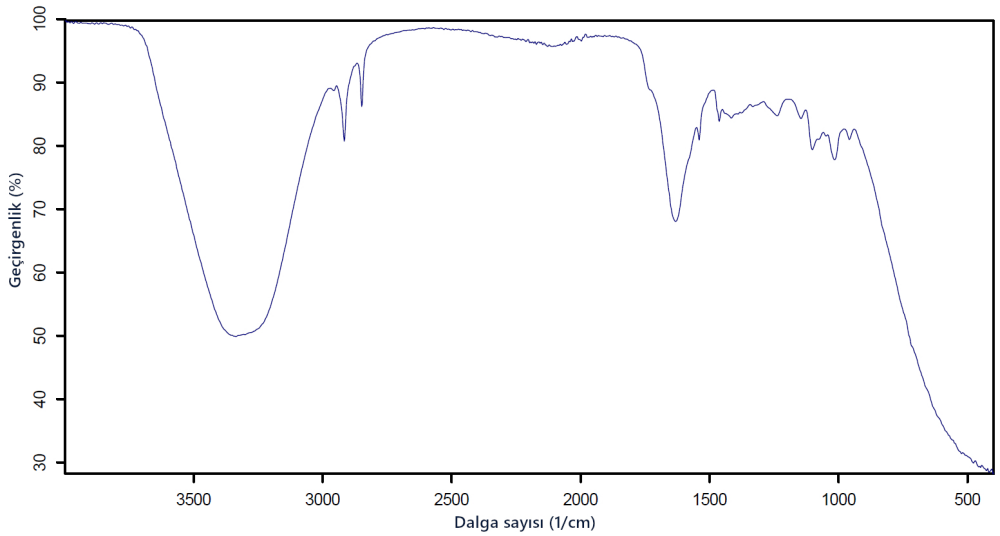
Karalahananın haşlanarak kuru tuzlaması üzerine yapılan bir çalışmadan haşlanmış ve kuru tuzlanmış lahanaların depolama süresince *L** ve *b** değerleri azalmış, genel görünüm olarak koyulaşmış ve parlaklık azalmıştır. *a** değeri ise yeşilden kırmızıya doğru yönelmiş ve yeşil renk zayıflamıştır. Renk değişimi ile oluşan kalite kayıpları, tüketici açısından tazelik algısını etkileyebilmektedir. Değerlendirmeler sonucunda tuzlama işleminin renk stabilitesi açısından yetersiz olduğu gözlenmiştir (Tosun vd, 2002).

Lahana yaprağı kurutma kinetiği üzerinde ultrason ve mikrodalgaların birleşik etkilerinin incelendiği bir çalışmada mikrodalgaların ultrasona göre daha baskın olduğu

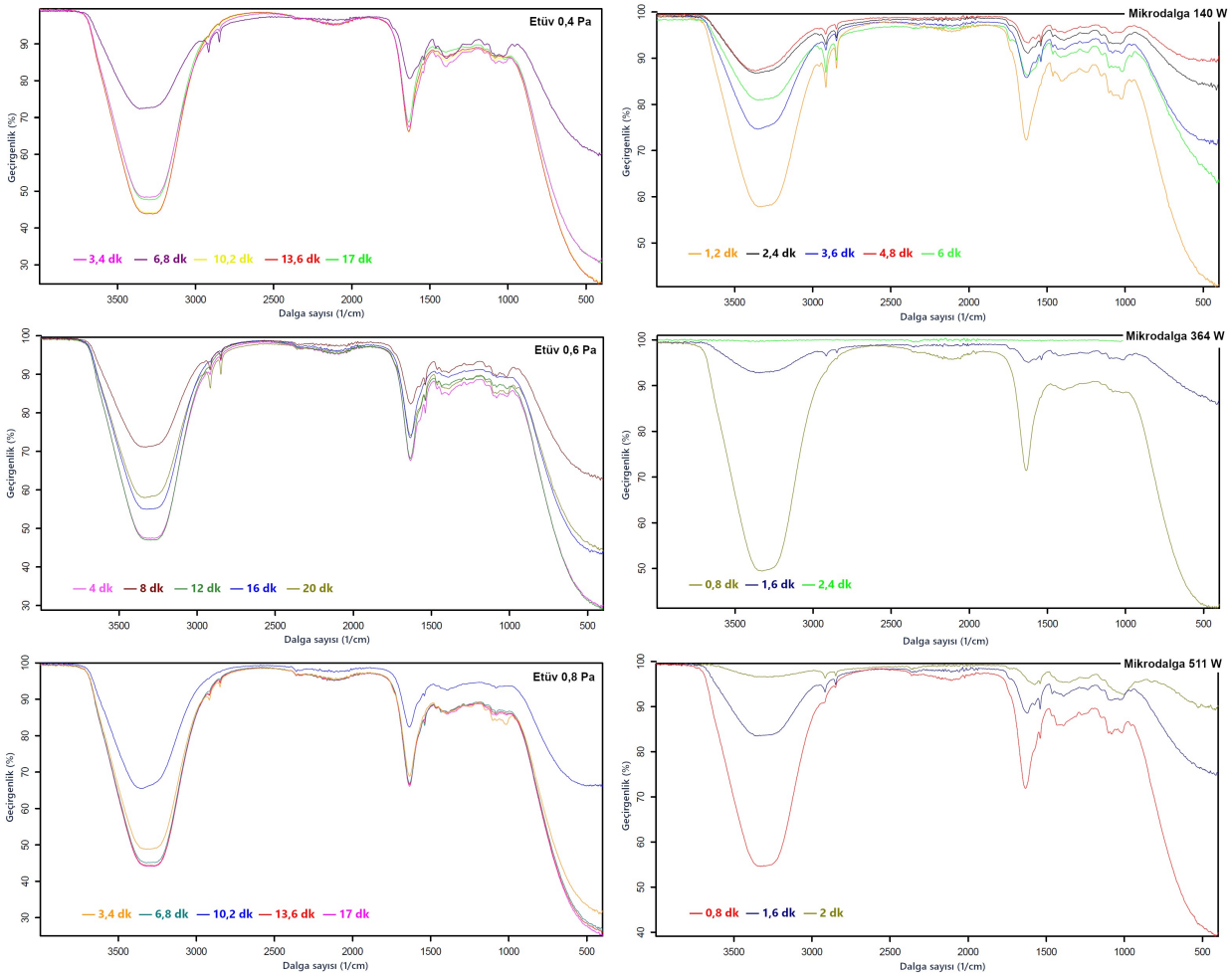
ortaya konmuştur. Mikrodalga ile konvektif kurutma (CM) ve mikrodalga ve ultrason ile konvektif kurutma (CMU) gibi hibrit işlemler, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek kurutma hızları ve daha fazla enerji verimliliği göstermiştir. Kurutulmuş karalahana yapraklarındaki renk değişimlerinin analizi, mikrodalga destekli konvektif kurutmanın renk korunumunu önemli ölçüde etkilediğini, daha düşük sıcaklıkların ve daha yüksek mikrodalga gücünün renk korumasını artırdığını göstermiştir (Mierzwa ve Szadzińska, 2023).

4.2.7. FTIR spektrometre bulguları

Kurutma işleminin materyaldeki çeşitli bağ yapılarını ve fonksiyonel grupları nasıl etkilediğini irdelemek amacıyla gerçekleştirilen bu analizden elde edilen spektrumlar; taze karalahana için Şekil 4.6, vakumlu etüvde kurutma ve mikrodalga kurutma için Şekil 4.7'de sunulmaktadır.



Şekil 4.6. Taze karalahanaya ait FTIR spektrumu



Şekil 4.7. Vakumlu etüv ve mikrodalga kurutmadan elde edilen karalahanalara ait FTIR spektrumları

Spektrumlardan da görüleceği üzere, 3500 cm-1 dalga sayısı civarında görülen pikler –OH grubu bileşenlere ait olup, genellikle su molekülleri bu bantta temsil edilmektedir. Kurutma teknikleri kendi içlerinde incelendiğinde; artan süreye bağlı olarak daha fazla uzaklaşan su miktarı neticesinde FTIR spektrumlarında genellikle bu bantta daha çok kuruyan örneklerde daha az geçirgenlik görülmektedir. 1600-1800 cm-1 dalga sayıları arasındaki bölgeye denk gelen bantta ise C=C, C=O ve C=N etkileşimlerinin meydana geldiği bilinmekte olup; kurutulan karalahanalarda kurutma süresine bağlı olarak (ör: mikrodalga 140 W, 1,2 dk—6dk) bu banttaki piklerin şiddetinde genellikle bir azalma gözlenmiştir. Uygulanan mikrodalga şiddetinin artışıyla, ince bir ürün olan karalahana yapraklarından çok hızlı bir şekilde transfer olan ısı ürün yapısının hızlı bir şekilde bozulmasına neden olmuş ve 364 W ile 511 W mikrodalga güçlerinde yalnızca kısa sürelerde spektrumlar elde edilebilmiş olup, daha uzun sürelerde düzgün pikler elde edilememiştir.

Literatürde yer alan bir çalışmaya göre, biyokömür ve farklı azot seviyeleri ile zenginleştirilmiş topraklarda yetiştirilen Brassica oleracea L. var. botrytis dokuları ATR-FTIR yöntemiyle incelenmiştir. Analizler sonucunda tüm bitki dokularında OH gerilmelerine (3290 cm^{-1}), CH gerilmelerine (2930–2860 cm^{-1}), karboksilik asitlere özgü C=O bantlarına (1742 cm^{-1}), protein yapılarına işaret eden Amid I–II bölgelerine (1649–1540 cm^{-1}), glukosinolat türevlerindeki S=O titreşimlerine (1400 ve 1051 cm^{-1}) ve ester bağlarına karşılık gelen bantlara (1235 cm^{-1}) ait karakteristik pikler belirlenmiştir. Biyokömür ve azot uygulamalarının, özellikle 3200–2860 cm^{-1} aralığında lipit, polisakkarit ve karbonhidratlarla ilişkili bant yoğunluklarında değişimlere yol açtığı, ayrıca 1900–800 cm^{-1} arasındaki parmak izi bölgesinde stres yanıtı ve azot mevcudiyetiyle ilişkili bileşiklerin varlığını gösteren belirgin spektral farklılıklar oluşturduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, biyokömür ve azot düzeylerinin bitkinin kimyasal bileşimini anlamlı biçimde etkilediğini ve protein, lipit, karbonhidrat ile glukosinolat yapılarında gözlenen IR absorbans değişimlerinin bitkinin metabolik ve çevresel yanıtlardaki farklılaşmayı yansıttığını göstermektedir (Losacco vd., 2022). Yapılan başka bir çalışmada, karalahana saplarından elde edilen selüloz ve nanoselülozun fonksiyonel grup özellikleri FTIR analiziyle değerlendirilmiş ve ticari selüloz örneğiyle karşılaştırılmıştır. FTIR spektrumlarında yaklaşık 3340 cm^{-1} civarında gözlenen geniş bant, tüm örneklerde su ve karbonhidrat yapılarındaki O–H gerilmelerini işaret etmiş; elde edilen selülozun spektral görünümü ile ticari selüloz arasında belirgin bir farklılık bulunmamıştır. Bu bulgu, karalahana saplarından izole edilen selülozun bağ yapısı bakımından ticari selüloza yakın özellikler taşıdığını göstermektedir. Genel olarak FTIR sonuçları, bu atık kaynağından üretilen selüloz ve nanoselülozun ticari muadilleriyle benzer fonksiyonel gruplara sahip olduğunu ve karalahana saplarının selüloz ile CNC üretimi için sürdürülebilir bir hammadde olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur (Yenice, 2024). *Brassica oleracea* var. *capitata* (lahana) bitki ekstraktının mikroenkapsülasyonu Yanıt Yüzey Metodolojisi kullanılarak incelendiği bir araştırmada, S-metilmetiyonin (Vitamin U) içeren ekstrakt, jelatin–Arap zamkı (GE–GA) ve jelatin–sodyum aljinat (GE–SA) tabanlı kompleks koaservasyon sistemiyle kapsüllenmiştir. Sürecin yapısal doğrulanması için gerçekleştirilen FTIR analizi, hem çekirdek bileşenine hem de kapsül duvarını oluşturan polimerlere özgü karakteristik bantların korunduğunu göstermiştir. Elde edilen spektral bulgular, S-metilmetiyoninin kapsül yapısı içinde stabil kaldığını ve polimer matrisiyle etkileşime geçtiğini ortaya

koymuştur. Ayrıca FTIR spektrumlarında gözlenen bağlanma bölgeleri, kapsül oluşumunun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini desteklemiştir (Köksal ve Göde, 2024). Literatürde yer alan bir çalışmada soğuk plazma uygulamasının bebek lahana yapraklarının yüzey kimyasına etkisi FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. Analiz sonuçları, plazma işleminden sonra yapraklarda alkoller, esterler, aldehitler ve ketonlar gibi temel fonksiyonel gruplara ait bantların yapısal bütünlüğünü koruduğunu göstermiştir. Spektrumlarda belirgin bir bant kaybı, yeni bant oluşumu ya da kayma gözlenmemesi, plazma uygulamasının yaprak yüzeyindeki bağ yapılarında önemli bir değişikliğe yol açmadığını ortaya koymuştur. FTIR bulguları genel olarak, soğuk plazmanın uygulanma süresi artsa dahi yaprağın kimyasal özelliklerinin stabil kaldığını ve yüzey moleküler yapısının korunarak işlemden olumsuz etkilenmediğini doğrulamaktadır (Shah vd., 2019). Farklı kurutma koşullarında gerçekleşen kimyasal ve yapısal değişimlerin incelendiği bir çalışmada, ATR-FTIR spektroskopisi ile FTIR sonuçları, kurutma işlemlerinin yeni bir fonksiyonel grup oluşturmadığını; ancak mevcut yapıda yoğunluk değişimleri ve sınırlı deformasyon meydana getirdiğini göstermiştir. Spektrumlarda temel olarak alifatik sülfitler, primer amidler, alkinler, alifatik hidrokarbonlar ve alifatik alkoller görülmüş; 2923–2921 cm^{-1} bölgesindeki metil titreşimlerinin 70 °C'de kaybolması flavonoid yapısındaki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca bazı örneklerde gözlenen benzen bantlarının askorbik asit ve geçiş metalleri etkileşiminden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir (Luka vd., 2024). Lahana çeşitlerinin antioksidan kapasiteleri ve bileşenleri açısından değerlendirildiği bir çalışmaya bakıldığında, karalahana yapraklarına ait spektral analiz sonuçları bu türün çeşitli biyoaktif bileşenler açısından zengin olduğunu göstermektedir. Yaklaşık 330 nm bölgesinde belirgin şekilde ortaya çıkan sinyal, karalahanada hidroksisinnamik asit türevleri ile flavon yapısındaki fenoliklerin yoğun olarak bulunduğuna işaret etmektedir. Bunun yanı sıra, 440–470 nm aralığındaki omuzlar bitkide karotenoid pigmentlerin bulunduğunu; 670 nm civarındaki geniş pik ise klorofil miktarının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, karalahananın fenolik bileşikler ve pigmentler açısından güçlü bir bileşim profili sunduğunu ortaya koymaktadır (Encu, 2010).

4.2.8. Kurutma kinetiği

Farklı tekniklerden elde edilen kurutma verileri, kurutma kinetiğinin incelenmesi ve uygun modellere uyarlama yapılabilmesi amacıyla beş farklı ince tabaka kurutma modeli

baz alınarak regresyon analizine tabi tutulmuştur. Uzaklaşan nem oranlarının incelendiği bu kurutma modellerine ilişkin katsayılar, RMSE ve R^2 değerleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, tüm kurutma teknikleri için en uygun modelin Midilli modeli olduğu ve bu modelin R^2 değerinin 0,959 ile 0,9993 arasında değiştiği gözlenmiştir. Kurutma teknikleri temelinde diğer modeller incelendiğinde, etüvde kurutma için Midilli modeline en yakın uyumlu model 0,9983 R^2 değeriyle Logaritmik model olmuştur. Benzer durum vakumlu etüvde kurutma verileri için de geçerli olmuştur. Mikrodalga kurutma tekniği için ise, tüm modeller yalnızca 140 W güçte elde edilen verilere uyarlanabilmiş olup, diğer güç değerlerinde elde edilen verilere uyarlanan Midilli dışındaki modellerin R^2 değerleri 0,9'dan düşük çıktığı için Çizelge 4.3'e dahil edilmemiştir. 140 W mikrodalga kurutmada, Midilli modeline en yakın uyumlu model 0,9973 R^2 değeriyle Page modeli olmuştur. Bu veriler ışığında, Midilli modelinin karalahana kurutma işlemindeki nem verileriyle en uyumlu model olduğu söylenebilir.

Karalahana (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) örneklerinin dondurarak kurutma sürecinin incelendiği bir araştırmada, yaprak parçaları ve püre hâline getirilmiş materyal 20, 40 ve 60°C sıcaklıklarında dondurarak kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutma davranışının modellenmesinde, yaprak ve püre örneklerinde Page modelinin en uygun açıklamayı sağladığı belirlenmiştir (Dziki vd., 2018). Yeşil elma kabukları hem güneş altında hem de mikrodalga kullanılarak iki farklı yöntemle kurutulmuş ve bu süreçlerin kurutma kinetikleri modellenmiştir. Mikrodalga kurutmada 1000, 800, 600 ve 400 W güç seviyelerinde sırasıyla 17, 21, 27 ve 33 dakikada kuruma sağlanırken, geleneksel güneşte kurutma yönteminde bu sürenin 66 saate kadar uzadığı belirlenmiştir. Kurutma davranışını açıklamak için 21 ayrı model değerlendirilmiş; 600 W ve 800 W güçlerde Henderson–Pabis Modeli en uygun sonuçları verirken, 400 W için Jena & Das modeli, 1000 W için ise Alibaş eşitliği daha doğru bir uyum göstermiştir. Renk özellikleri, klorofil miktarı ve besin bileşenleri açısından en iyi ürün kalitesinin 400 W mikrodalga kurutma koşullarında elde edildiği tespit edilmiştir. (Alibas vd., 2020). Konvektif hava kurutucusunda farklı sıcaklıklar (30–60 °C) ve katman kalınlıklarında (10–50 mm) yürütülen çalışmada, sıcaklığın artmasıyla kurutma hızının yükseldiği, katman kalınlığının artmasıyla ise azaldığı belirlenmiştir. İnce katmanlar (10 mm) için hesaplanan etkin difüzyon katsayısının 14,9–55,9 × 10^{-10} m^2/s aralığında olduğu ve sıcaklıkla birlikte arttığı görülmüştür. Ayrıca difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi, yüksek uyum katsayısı (R^2 = 0,9989) ile Arrhenius modeline uygunluk göstermiş;

aktivasyon enerjisi ise 36,115 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Kurutma verilerinin matematiksel olarak modellenmesinde ise Modifiye Page modelinin, tüm sıcaklık koşullarında en iyi uyumu sağlayan model olduğu tespit edilmiştir (Mwithiga ve Olwal, 2005).

Çizelge 4.3. Kurutma verilerine ilişkin kinetik model parametreleri*

Model	**Parametreler**	**Kurutma Koşulları**						
		Etüv	**Vakumlu Etüv**			**Mikrodalga**		
			0,4 Pa	**0,6 Pa**	**0,8 Pa**	**140 W**	**364 W**	**511 W**
Henderson-Pabis	*Model*	$= a.\exp(-kt)$						
	k	0,0564	0,0819	0,0817	0,1026	0,3090	-	-
	a	1,1947	0,9879	0,8811	1,1030	1,1348	-	-
	RMSE	0,0329	0,0641	0,0587	0,0543	0,0187	-	-
	R^2	0,9870	0,9317	0,9349	0,9631	0,9956	-	-
Lewis (Newton)	*Model*	$= \exp(-kt)$						
	k	0,0466	0,0832	0,0944	0,0916	0,2673	-	-
	RMSE	0,0506	0,0557	0,0593	0,0543	0,0376	-	-
	R^2	0,9589	0,9315	0,9115	0,9508	0,9763	-	-
Logaritmik	*Model*	$= a.\exp(-kt) + c$						
	k	0,0821	0,0028	0,0016	0,0293	0,2615	-	-
	a	1,2784	14,4191	20,3938	2,0655	1,1708	-	-
	c	0,1141	-13,5595	-19,6528	-1,1146	-0,0773	-	-
	RMSE	0,0148	0,0611	0,0395	0,0438	0,0199	-	-
	R^2	0,9983	0,9587	0,9803	0,9840	0,9967	-	-
Midilli	*Model*	$= a.\exp(-kt^n) + bt$						
	k	0,0273	0,0112	0,0004	0,0234	0,1375	2,7794	7,9738
	a	1,1226	0,8240	0,5879	0,8841	0,9092	3,2602	728,5987
	b	0,0032	-0,0157	0,0046	-0,0069	0,0137	0,0045	0,0193
	n	1,2958	1,3894	2,9560	1,3944	1,5708	0,0914	0,1580
	RMSE	0,0132	0,0861	0,0261	0,0614	0,0210	0,0049	0,0099
	R^2	**0,9993**	**0,9590**	**0,9957**	**0,9843**	**0,9982**	**0,9900**	**0,9974**
Page	*Model*	$= \exp(-kt^n)$						
	k	0,0259	0,0772	0,1231	0,0540	0,2043	-	-
	n	1,1924	1,0318	0,8902	1,2276	1,2146	-	-
	RMSE	0,0445	0,0640	0,0646	0,0464	0,0147	-	-
	R^2	0,9762	0,9321	0,9213	0,9731	0,9973	-	-

** R^2 değerinin en az 0,9 olduğu ($R^2 \geq 0,9$) modeller çizelgede gösterilmiş olup, R^2 değeri 0,9'dan düşük modellere yer verilmemiştir.*

Çınar yapraklarının farklı mikrodalga güçlerinde kurutularak kurutma kinetiği hesaplanmıştır. Süreç boyunca renk değişimleri, kuruma davranışı ve yeniden su kazanma özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca aktivasyon enerjisi ile efektif difüzivite katsayıları hesaplanmıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte kuruma süresinin

kısaldığı ve difüzivite değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modelin Logaritmik Model, renk değişimini en doğru tanımlayanın ise Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model olduğu görülmüştür. Tablo sonuçlarına göre efektif difüzivite, güç artışıyla genel bir yükseliş göstermiş; 180 W'ta 1.25×10^{-10} m²/s olan değer, 540 W'ta 3.82×10^{-10} m²/s'ye, 720 W'ta ise maksimum olan 9.93×10^{-10} m²/s'ye ulaşmıştır. 900 W seviyesinde ise difüzivite 5.99×10^{-10} m²/s olarak ölçülmüştür. R^2 değerlerinin 0.8939 ile 0.9656 aralığında seyretmesi kullanılan modellerin yüksek doğrulukla çalıştığını, δ değerlerinin 0.37–0.54 bandında olması ise hata düzeyinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını ortaya koymaktadır (Karabağ, 2024). Literatürde yer alan bir diğer çalışmada, kekik yapraklarının farklı sıcaklıklarda hava ile (60, 70, 80°C) ve çeşitli güç seviyelerinde mikrodalga ile (%30–390 W, %50–650 W, %70–910 W) kurutulması sırasında ortaya çıkan kuruma davranışları ve kurutma kinetiği incelenmiştir. Kurutma işlemleri öncesinde ürünlere iki ayrı ön işlem uygulanmış; bunlar 1, 2 ve 3 dakikalık haşlama, ile 5, 10 ve 15 dakikalık ultrasonikasyon uygulamalarıdır. Bu ön uygulamaların kuruma sürecine ve nem transfer hızına katkıları değerlendirilmiştir. Kurutma kinetiğini belirlemek amacıyla nem oranındaki değişim verileri; Lewis, Page, Henderson–Pabis, Midilli ve Logaritmik modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca her bir işlem koşulu için etkin difüzyon katsayısı (Deff) ve aktivasyon enerjisi hesaplanarak kurutma mekanizması daha detaylı olarak değerlendirilmiştir. Hava ile kurutmada sıcaklığın yükselmesiyle Deff değerlerinin arttığı görülmüş; 50°C'de 2.59×10^{-9} m²/s olan difüzivitenin 60°C'de 5.18×10^{-9} m²/s, 70°C'de 7.69×10^{-9} m²/s ve 80°C'de 1.28×10^{-8} m²/s seviyesine yükseldiği belirlenmiştir. Yapılan analizler her iki kurutma yönteminde de ön işlemlerin kuruma hızını artırdığını ortaya koymuştur. Hava kurutmada 60°C ve 70°C için en verimli uygulama 2 dakikalık haşlama, ultrasonikasyonda ise 70°C'de 15 dakikalık uygulama olarak bulunmuştur. 80°C'de haşlama süresi kuruma hızında önemli bir farklılık yaratmadığından, en kısa süreli işlemlerin tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Mikrodalga kurutmada ön işlemler etkisini daha belirgin göstermiştir. %30 güç seviyesinde haşlama sonrası kuruma süresi 7 dakika, ultrasonikasyon sonrası ise 5 dakika olarak ölçülmüştür. Daha yüksek güçlerde (%50 ve %70) 15 dakikalık ultrasonikasyon, en yüksek kuruma hızının elde edildiği uygulama olmuştur. Bu bulgular, hem hava hem mikrodalga kurutma işlemlerinde ön işlemlerin difüzyon hızını artırarak kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığını, dolayısıyla enerji tasarrufuna katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Turan, 2025).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında karalahananın mikrodalga, etüv ve vakumlu etüv olmak üzere üç farklı yöntemle kurutulması sonucunda elde edilen örneklerin temel kalite parametreleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada; su aktivitesi, toplam fenolik madde içeriği, nem oranı, pH ve serbest asitlik düzeyleri analitik olarak belirlenmiş ve kurutma yöntemlerinin bu parametreler üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde incelenmiştir.

Mikrodalga kurutmanın, çalışma kapsamında değerlendirilen diğer iki yönteme kıyasla daha kısa sürede kuruma sağladığı; buna bağlı olarak ürünün kimyasal bileşenlerinde daha sınırlı bozulma gerçekleştiği anlaşılmıştır. Özellikle toplam fenolik madde miktarının mikrodalga ile kurutulan örneklerde daha yüksek düzeyde korunması, bu yöntemin biyolojik açıdan değerli bileşiklere karşı daha koruyucu bir özellik sergilediğine işaret etmektedir. Benzer şekilde, mikrodalga kurutma ile elde edilen ürünlerin su aktivitesinin güvenli depolamaya daha elverişli bir aralıkta gerçekleştiği belirlenmiştir.

Etüvde kurutma yöntemi, kimyasal ve fiziksel parametreler bakımından taze ürüne en yakın sonuçları vermesine rağmen, oldukça uzun bir proses süresi nedeniyle zaman ve enerji tüketimi açısından dezavantajlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmada uygulanan bir diğer yöntem olan vakumlu etüv kurutma, düşük oksijen koşullarının etkisiyle belirli kalite özelliklerini koruma potansiyeli göstersede, kuruma etkinliği ve toplam fenolik madde düzeyleri açısından elde edilen veriler, bu yöntemin uygulanabilirliği konusunda daha kapsamlı ve detaylı araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, vakumlu kurutmanın endüstriyel ölçekte kullanımına ilişkin kesin yargılara varılabilmesi için ilave çalışmaların yapılmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgular ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde;

- Bu çalışmada elde edilen su aktivitesi sonuçları incelendiğinde, farklı kurutma yöntemleri ve ekipmanlarının karalahanadaki serbest suyu uzaklaştırma

kapasitesinin belirgin biçimde değiştiği görülmüştür. Mikrodalga kurutmada, 364W – 4 dakika koşulunda su aktivitesi 0,445 aw, 511 W – 3,2 dakika uygulamasında ise 0,58 aw olarak ölçülmüştür. Etüvde 105°C'de gerçekleştirilen kurutmada ise su aktivitesi 0,50 aw düzeyine düşerek serbest suyun çoğunlukla uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle mikrodalga kurutmanın kısa sürede düşük aw değerlerine ulaşma bakımından etkili olduğunu göstermektedir. Nem kaybı açısından bakıldığında, en çok nem kaybı mikrodalga 364W da %84, mikrodalga 511W da %89 olarak tespit edilmiştir.

- Kurutma işlemi sonrasında analiz edilen tüm karalahana örneklerinde toplam fenolik madde içeriğinde artış gözlenmiştir. İncelenen yöntemler arasında, en yüksek toplam fenolik bileşik düzeyi mikrodalga kurutmanın 364W ve 511W güç seviyelerinde gerçekleştirilmesiyle elde edilmiş, bu koşullardaki değerler sırası ile 1397,172 ve 1400,718 mg GAE/g kuru madde olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, mikrodalga kurutmanın fenolik bileşiklerin miktarı açısından diğer yöntemlere kıyasla daha avantajlı bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

- Kurutulmuş karalahana örneklerinde yürütülen analizler, toplam ısıl işlem süresinin pH üzerinde belirgin bir etki oluşturduğunu göstermiştir. En düşük pH değeri, 105°C'de gerçekleştirilen etüv kurutmasında 40 dakikada ve mikrodalga kurutmanın 364W güç seviyesinde 4 dakikada elde edilmiştir. Taze karalahanada başlangıç pH değeri 6,40±0,14 olarak ölçülmüş olup, kurutma işlemleri sonrasında pH'ın düşüş eğilimi sergilediği ve buna bağlı olarak örneklerin asitlik düzeyinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Bu bulgu, uygulanan kurutma yöntemlerinin karalahananın kimyasal özellikleri üzerinde anlamlı değişikliklere yol açtığını göstermektedir.

- Taze karalahanada ortalama asitlik değeri %0,924±0,011(%sitrik asit) olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemi sonrasında, taze örneğe en yakın ve en yüksek asitlik değerleri mikrodalga yönteminin 364W ve 511W uygulamalarında elde edilmiştir.

- Renk açısından taze karalahanaya en yakın sonuçlar 105℃ etüvde gerçekleşmiştir. Genel olarak baktığımızda tüm yöntemlerde parlaklığı ifade eden L^* değeri ve sarı-mavi rengi ifade eden b^* değerinde artış, kırmızı-yeşil rengi ifade eden a^* değeri ise

azalma göstermiştir. Böylece kuruma ile taze karalahanada görülen koyu yeşil renk, giderek açılmıştır. Parlaklık ve sarılık artmıştır. En çok renk değişimi mikrodalga kuruma ile gerçekleşmiştir.

- Kurutma kinetiği değerlendirmelerinde, Midilli modelinin en iyi uyumu sağladığı belirlenmiş ve kurutma sürecinin davranışını güvenilir biçimde açıklayabileceği saptanmıştır.

Sonuç olarak,

Analizler, mikrodalga ile kurutma yönteminin karalahananın kısa sürede ve yüksek verimle kurutulmasında en etkin yöntem olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, mikrodalga uygulamalarında ani ısı değişimlerinin ürünün hücresel yapısına zarar verebileceği göz önünde bulundurularak, kontrollü kurutma koşullarının uygulanmasının önemi vurgulanmaktadır. Vakumlu etüv yöntemi ise, geleneksel etüv uygulamalarına kıyasla işlem süresinden tasarruf sağlamakta ve taze ürüne benzer doku ve tekstür elde edilmesine olanak tanımaktadır. Ancak toplam kurutma süresi ve enerji verimliliği açısından mikrodalga yöntemi üstünlük göstermektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, en kısa sürede fizikokimyasal özelliklerin korunarak raf ömrünün artırılabileceği yöntem, mikrodalga 364W güç seviyesinde, 4 dakika kurutma olarak tespit edilmiştir ancak FTIR spektrumu verilerine göre 0,8 dk'dan sonra kuruma etkisiyle bağ yapısının bozulmaya başladığı görülmüştür. Uygun sıcaklık kontrolü ve deneysel tasarım sağlandığında, mikrodalga kurutma, geleneksel güneşte ve gölgede kurutma yöntemleri ile etüv ve vakumlu etüv uygulamalarına güvenilir bir alternatif olarak kullanılabilir.

Bu bulgular, karalahana başta olmak üzere sebzelerin fonksiyonel bileşiklerinin korunarak hızlı ve verimli kurutulmasında mikrodalga kurutmanın potansiyelini ortaya koymakta ve endüstriyel uygulamalar için yol gösterici nitelik taşımaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akdaş, S. (2014). *Mandalinaların farklı kurutma şartlarında biyoaktif bileşenlerinin degradasyon kinetikleri*. (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Aksüt, B., & Polatcı, H. (2022). Karnabaharın (Brassica oleracea L.) model ve kantitatif renk kalite özelliklerine kurutma işlemlerinin etkisi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(1), 170–180. https://doi.org/10.46592/turkager.1097272

Alibas, I. (2006). Characteristics of chard leaves during microwave, convective, and combined microwave-convective drying. *Drying Technology, 24*(1), 1425-1435. https://doi.org/10.1080/07373930600952776

Alibas, İ., & Okursoy, R. (2012). Karalahana (Brassica oleracea L. var. acephala), pazı (Beta vulgaris L. var. cicla) ve ıspanak (Spinacia oleracea L.) yapraklarının bazı teknik özellikleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26*(1), 39–48.

Alibas, İ., Zia, M. P., Yilmaz, A., & Asik, B. B. (2020). Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (Mallus communis L. var. “Granny Smith”) used in herbal tea production. *Journal of Food Processing and Preservation, 44*, e14332. https://doi.org/10.1111/jfpp.14332

Altıkulaç, A. (2014). *Samsun ve ilçelerine ait çevresel örneklerdeki (yüzey toprağı, su, mantar ve karalahana) doğal radyoaktivitenin ölçülmesi ve bu radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin dozun belirlenmesi.* (Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Anonim. (2025). *Karalahana*. Vikipedi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Karalahana Erişim tarihi: 21 Şubat 2025.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Armesto, J., Gómez-Limia, L., Carballo, J., & Martínez, S. (2019). Effects of different cooking methods on the antioxidant capacity and flavonoid, organic acid and mineral contents of Galega Kale (Brassica oleracea var. acephala cv. Galega). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *70*(2), 136-149. https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1482530

Atbakan Kalkan, T. (2025). *Yenilikçi kurutma yöntemleriyle domates tozu eldesi, toz ürünün kalite özelliklerinin belirlenmesi ve depolama stabilitesinin araştırılması* (Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Atıcı, G. (2013). *Erik Pestilinin Kalite Parametreleri ve Kuruma Davranışı Üzerine 'Sıcak Havalı Kurutma ve Mikrodalga Kurutma' Yöntemlerinin Etkisinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma* (Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Aydın, H. E., Aydın, M., Aydın, Ö., & Dülger, A. C. (2024). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde sık tüketilen Brassica oleracea *var.* acephala (Karalahana) bitkisi ve kırmızı et tüketiminin mide ve kan parametreleri üzerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi,* 50(2), 305–311. https://doi.org/10.32708/uutfd.1443391

Aydın, H. E. (2023). *Doğu Karadeniz Bölgesinde sık tüketilen Brassica oleracea var. acephala (karalahana) bitkisinin gastrointestinal sistem histopatolojisi üzerine etkileri* (Yüksek lisans tezi, Giresun Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Ayhan, A. (2005). *Çeşitli tarımsal ürünlerin vakumla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Bas-Bellver, C., Barrera, C., Betoret, N., & Seguí, L. (2022). Impact of disruption and drying conditions on physicochemical, functional and antioxidant properties of powdered ingredients obtained from Brassica vegetable by-products. *Foods*, 11(22), 3663. https://doi.org/10.3390/foods11223663

Bölek, S. (2020). Vakum kurutucu ve akışkan yatak kurutucu kullanılarak kurutulmuş avokadoların kalite karakteristiklerinin kıyaslanması. *Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences,*7(4), 814–822. https://doi.org/10.30910/turkjans.686733

Bruce, D. M. (1985). Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348. https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90098-8

Canazza, E., Tessari, P., Mayr Marangon, C., & Lante, A. (2024). Nutritional Profile and Chlorophyll Intake of Collard Green as a Convenience Food. *Nutrients, 16*(23), 4015. https://doi.org/10.3390/nu16234015

Cemeroğlu, B. (2004). *Meyve sebze işleme teknolojisi* (2. cilt). Ankara. ISBN: 9789759857820

Cemeroğlu, B. S. (2013). *Meyve ve sebze işleme teknolojisi* (1.cilt, 5.baskı, ss.75-282). Ankara. Bizim Grup Basımevi. ISBN: 978-605-63419-0-8

Cengiz, S. (2009). *Karalahananın insan HDL reseptörüne (SR-B1) etkisi* (Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Coşkun, B. (2022). *Şehir Merkezi Bahçelerinde Yetiştirilen Karalahana ve Rokanın Ağır Metal Kirlilikleri, Polifenolik Profilleri ve Bazı Diğer Kalite Parametrelerinin Değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi, Biruni Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Çakmak, N. (2019). *Çilek meyvesinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin kuruma performansı ve kalite üzerine etkileri* (Yüksek lisans tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Çetin, C. (2014). *Farklı Kurutma Ön İşlemleri ve Metodlarının Doğranmış Kuru Soğanların Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi* (Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Çulluk, B. (2023). *Farklı kurutma tekniklerinin buğday ruşeyminin bazı kalite özellikleri üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Daniels, J. A., Krishnamurthi, R., & Rizvi, S. S. H. (1985). A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. *Journal of Food Protection*, *48*(6), 532–537.

Datta, A.K., & Davidson, P.M. (2000). Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, *65*(s8), 32–41. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2000.tb00616.x

Dziki, D., Polak, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., ... & Combrzyński, M. (2018). Simulation of the process kinetics and analysis of physicochemical properties in the freeze drying of kale. *International Agrophysics*, *32*(1), 49–56. https://doi.org/10.1515/intag-2016-0086

Emebu, P. K., & Anyika, J. U. (2011). Proximate and mineral composition of kale (Brassica oleracea) grown in Delta State. *Pakistan Journal of Nutrition*, *10*(2), 190–194. https://doi.org/10.3923/pjn.2011.190.194

KAYNAKLAR DİZİNİ

Encu, S. (2010). *Lahana çeşitlerinin antioksidan kapasiteleri ve bileşenleri açısından değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Erdoğan, A. K. (2021). *Farklı fermantasyon yöntemleri ile üretilen lahana turşularının bazı fonksiyonel ve kalite özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

FAO. (2022). Crops and livestock products. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2025

FAO. (2023). Crops and livestock products. Production statistics. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL . Erişim tarihi: 1 Aralık 2025

Gezer, P. G. (2011). *Modeling drying kinetics of grape seeds and skins from Turkish cultivars* (Yüksek lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Gök, H., Olgaç, M., & Polatcı, H. (2022). Patlıcan (Solanum melongena L.) kuruma kinetiği ve renk değişimi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research* (*TURKAGER*), 3(2), 370-379. https://doi.org/10.46592/turkager.1200654

Henderson, S.M., & Pabis, S. (1961) Grain Drying Theory: Temperature Effect on Drying Coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Jeppesen, P. B., Dorner, A., Yue, Y., Poulsen, N., Andersen, S. K., Aalykke, F. B., & Lambert, M. N. T. (2024). Beneficial effects of a freeze-dried kale bar on type 2 diabetes patients: A randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial. *Nutrients*, 16(21), 3641. https://doi.org/10.3390/nu16213641

Jimoh, K. A., Hashim, N., Shamsudin, R., Che Man, H., & Jahari, M. (2025). Assessment of performance and quality indices of glutinous rice under different drying methods. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 73, 104161. https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104161

Karaaslan, S. (2008). *Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar*. (Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Karabağ, G. (2024). *Mikrodalga tekniği ile kurutulan çınar yapraklarının kurutma kinetiği ve kalite parametreleri açısından incelenmesi* (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Karabekiroğlu, S. N., & Kılıç, D. (2025). Conventional and microwave drying of kefir grains: Effect on drying, rehydration and fermentation kinetics and viability of kefir grains. *International Journal of Food Engineering, 21*(3), 183-193. https://doi.org/10.1515/ijfe-2024-0059

Karakaya, O., & Balta, M. F. (2021). 'Eşme' Ayva Çeşidinin Biyokimyasal Özelliklerine Farklı Kurutma Yöntemlerinin Etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(2), 159–168. https://doi.org/10.54370/ordubtd.895560

KAYNAKLAR DİZİNİ

Konak, Ü. İ., Certel, M., & Helhel, S. (2009). Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *4*(3), 20–31.

Korus, A. (2021). Effect of pre-treatment and drying methods on the content of minerals, B-group vitamins and tocopherols in kale (Brassica oleracea L. var. acephala) leaves. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 279–287. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05012-9

Korus, A., & Lisiewska, Z. (2011). Effect of preliminary processing and method of preservation on the content of selected antioxidative compounds in kale (Brassica oleracea L. var. acephala) leaves. *Food Chemistry, 129*(1), 149–154. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.048

Köksal, E., & Göde, F. (2024). Yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak *Brassica oleracea* var. *capitata* L. (Lahana) bitki ekstresinin mikroenkapsülasyon ve karakterizasyon çalışmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24*(1), 14–22. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1253544

Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A., & Dincer, İ. (2014). A review on thin-layer drying-curve equations. *Drying Technology: An International Journal*, 32(7), 757–773. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.873047

Kusuma, H. S., Al Lantip, G. I., Mutiara, X., Lestari, F. W., Jaya, D. E. C., Illiyanasafa, N., ... & Sulaiman, M. A. (2024). Experimental investigation in the drying process of moringa leaves using microwave drying: Drying kinetics, energy consumption, and CO_2 emission. *Applied Food Research*, *4*(1), 100401. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100401

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ljubej, V., Karalija, E., Salopek-Sondi, B., & Šamec, D. (2021). Effects of short-term exposure to low temperatures on proline, pigments, and phytochemicals level in kale (Brassica oleracea var. acephala). *Horticulturae,* 7(10), 341. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100341

Losacco, D., Campanale, C., Tumolo, M., Ancona, V., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2022). Evaluating the influence of nitrogen fertilizers and biochar on *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* by the use of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Sustainability*, *14*(19), 11985. https://doi.org/10.3390/su141911985

Luka, B. S., Mactony, M. J., Vihikwagh, Q. M., Oluwasegun, T. H., Zakka, R., Joshua, B., & Muhammed, I. B. (2024). Microwave-based and convective drying of cabbage (Brassica oleracea L. var. capitata L.): Computational intelligence modeling, thermophysical properties, quality and mid-infrared spectrometry. *Measurement: Food*, *15*, 100187. https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100187

Lukaszyk, A., Kwiecień, I., Kanik, A., Blicharska, E., Tatarczak-Michalewska, M., Bialowąs, W., Czarnek, K., & Szopa, A. (2025). Nutritional, therapeutic, and functional food perspectives of kale (Brassica oleracea var. acephala): An integrative review. *Molecules*, 30(21), 4214. https://doi.org/10.3390/molecules30214214

McCullum, R., Saifullah, M., Bowyer, M., & Vuong, Q. V. (2024). The impact of drying method and temperature on the colour and functional quality of Illawarra plum (Podocarpus elatus). *Applied Food Research*, *4*(1), 100407. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100407

Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. https://doi.org/10.1081/DRT-120005864

KAYNAKLAR DİZİNİ

Midilli, A., Olgun, H., & Ayhan, T. (1999). Experimental studies on mushroom and pollen drying. *International Journal of Energy Research, 23*, 1143–1152. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(19991025)23:13<1143::AID-ER544>3.0.CO;2-3

Mierzwa, D., & Szadzińska, J. (2023). An investigation of the use of microwaves and airborne ultrasound in the convective drying of kale: Process efficiency and product characteristics. *Sustainability, 15*(23), 16200**.** https://doi.org/10.3390/su152316200

Milkias, M., Admassu, S., & Abebe, W. (2024). Impact of variety and drying methods on the physicochemical, functional, and thermal properties of Ethiopian potato (Plectranthus edulis) tuber flour. *Heliyon, 10*(18), e37628. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37628

Mwithiga, G., & Olwal, J. O. (2005). Drying kinetics of kale (Brassica oleracea) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, *71*(4), 373–378. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.041

Nayak, A., Sakthivel, D., Durgawati, Shirkole, S. S., Zhang, Q., Xiao, H., & Sutar, P. P. (2025). Simulation of high-power short time finish microwave drying of onion powder and lethal effects of microwave drying on Bacillus cereus. *Journal of Future Foods, 5*(3), 295–303. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.07.009

Özgür Göksu, A. (2019). *Ultrason ön uygulamalı ve mikrodalga kurutma yöntemi ile şeker pancarı posasından diyet gıda lifi eldesi* (Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Özkan, İ. A., Akbudak, B., & Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering, 78*(2), 577–583. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.026

KAYNAKLAR DİZİNİ

Page, G. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. (Yüksek lisans tezi, Purdue Üniversitesi, A.B.D).

Pasławska, M., Nawirska-Olszańska, A., Stępień, B., & Klim, A. (2018). The influence of vacuum impregnation on nutritional properties of fluidized bed dried kale (Brassica oleracea L. var. acephala) leaves. *Molecules, 23*(11), 2764. https://doi.org/10.3390/molecules23112764

Podsędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of *Brassica* vegetables: A review. *LWT - Food Science and Technology, 40*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023

Prade, T., Muneer, F., Berndtsson, E., Nynäs, A.-L., Svensson, S.-E., Newson, W. R., & Johansson, E. (2021). Protein fractionation of broccoli (Brassica oleracea, var. Italica) and kale (Brassica oleracea, var. Sabellica) residual leaves — A pre-feasibility assessment and evaluation of fraction phenol and fibre content. *Food and Bioproducts Processing*, 130, 229–243. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.10.004

Ramos-Escudero, F., Casimiro-Gonzales, S., Cádiz-Gurrea, M. D. L. L., Cancino Chávez, K., Basilio-Atencio, J., Ordoñez, E. S., Muñoz, A. M., & Segura-Carretero, A. (2023). Optimizing vacuum drying process of polyphenols, flavanols and DPPH radical scavenging assay in pod husk and bean shell cocoa. *Scientific Reports*, 13, 13900. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40815-0

Sarıkaya Özcan, E**.** (2025). *Çileğin farklı kurutma teknikleri ile kurutulması ve ultrases ön işleminin bazı kalite kriterleri üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Schiffmann, R.F. (1986). Food Product Development for Microwave Processing. *Food Technology*, *40*(6). 94-98.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Shah, U., Ranieri, P., Zhou, Y., Schauer, C. L., Miller, V., Fridman, G., & Sekhon, J. K. (2019). Effects of cold plasma treatments on spot-inoculated Escherichia coli O157:H7 and quality of baby kale (Brassica oleracea) leaves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102104. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.010

Singh, J., Upadhyay, A. K., Bahadur, A., Singh, B., Singh, K. P., & Rai, M. (2006). Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae, 108*(3), 233–237. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.017

Sousa, C., Taveira, M., Valentão, P., Fernandes, F., Pereira, J. A., Estevinho, L., Bento, A., Ferreres, F., Seabra, R. M., & Andrade, P. B. (2008). Inflorescences of *Brassicaceae* species as source of bioactive compounds: A comparative study. *Food Chemistry, 110*(4), 953–961. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.087

Soysal, Y., Ayhan, Z., & Eştürk, O. (2009). *Mikrodalga ile meyve ve sebze kurutmada enerji kullanım verimliliği ve ürün kalitesinin artırılmasında ileri kurutma tekniklerinin uygulanması üzerine araştırmalar* (TÜBİTAK Proje No: 105 O 547, s. 136). TÜBİTAK.

Srivastava, S., & Prasad, E. (2024). *Kale powder market: Global opportunity analysis and industry forecast, 2023–2033*. Allied Market Research. https://www.alliedmarketresearch.com/kale-powder-market-A237651 Erişim Tarihi: 30 Nisan 2025

Šamec, D., Urlić, B., & Salopek-Sondi, B. (2019). Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 59*(15), 2411–2422. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400

KAYNAKLAR DİZİNİ

Subedi, U., Raychaudhuri, S., Fan, S., Ogedengbe, O., & Obanda, D. N. (2024). Fermenting kale (Brassica oleracea L.) enhances its functional food properties by increasing accessibility of key phytochemicals and reducing antinutritional factors. *Food Science & Nutrition, 12*(8), 5480-5496. https://doi.org/10.1002/fsn3.4195

Szutowska, J., Gwiazdowska, D., Rybicka, I., Pawlak-Lemańska, K., Biegańska-Marecik, R., & Gliszczyńska-Świgło, A. (2021). Controlled fermentation of curly kale juice with the use of autochthonous starter cultures. *Food Research International*, *149*, 110674. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110674

Şafak, N. (2012). *Kara lahana (Brassica oleracea var. acephala) ve pazı (Beta vulgaris var. cicla)'da kurşun ve çinko stresinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Şat, İ. G., & Öz, Ö. (2015). Haşlama ve kurutmanın bazı sebzelerin bileşimi üzerine etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *2*(3), 54–62.

Şimşek, M. (2018). *Bazı sebze ve meyvelerin mikrodalga kurutma davranışının deneysel araştırılması ve matematiksel modellenmesi (*Yüksek lisans tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Tayfun, E. (2024). *Mikrodalga yöntemi ile kurutulan alabalık filetolarının kurutma kinetiğinin ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi). Selçuk Üniversitesi Kurumsal Akademik Arşivi.

Taşova, M. (2020). Normal Etüv ve Vakumlu Etüvde Kurutulan Söğüt Yapraklarının Kuruma Kinetiği Değerlerine Yöntemin ve Sıcaklık Değerlerinin Etkisi. *Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology (JoCREST)*, 6(2), 33-38. https://doi.org/10.26579/jocrest.56

KAYNAKLAR DİZİNİ

Tekin, Z. H. (2015). *Biberlerin kurutulmasında kalite özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ultrason destekli vakum kurutma yönteminin uygulanması* (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Teymur, N. (1999). *Maydanoz ve Dereotunun Kurutulması ve Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209-216. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00065-1

Tosun, İ., Tekgüler, B., & Evren, M. (2002). Karalahana (Brassica oleracea var. acephala)'nın kuru tuzlamayla muhafazası. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, *1*, 32–35.

Turan, O. Y. (2025). *Evaluation of the effects of blanching and ultrasound pre-treatments on the thin layer drying kinetics of thyme* (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

USDA. (2025). United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. *Vegetables 2024 summary*. U.S. Department of Agriculture. https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/vegean25.pdf. Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2025

Vale, A. P., Santos, J., Brito, N. V., Peixoto, V., Carvalho, R., Rosa, E., & Oliveira, M. B. P. P. (2015). Light influence in the nutritional composition of *Brassica oleracea* sprouts. *Food Chemistry, 178*, 292–300. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.064

KAYNAKLAR DİZİNİ

Wang, R., Xing, Y., Li, X., Guo, X., Xu, Q., Li, W., Chen, C., Yang, H., Bi, X., & Che, Z. (2019). Microstructure and quality of cabbage slices (Brassica oleracea L. var. capitata L.) as affected by cryogenic quick-freezing treatment. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 1815–1833. https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1681449

Wu, M., Wang, P., Zhu, F., Zhu, Z., Qu, X., Wei, Y., Cheng, Y., & Zhong, L. (2024). Postharvest drying of walnuts: Effect of drying methods on walnut quality. *LWT - Food Science and Technology*, 191, 115565. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115565

Yenice, S. D. (2024). *Karalahana saplarından nanoselüloz eldesi ve gıda ambalajlarında kullanımı* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Yıldız, Y. (2015). *Kocaeli ili Başiskele ilçesinde yetiştirilen karalahana (Brassica oleracea var. acephala) bitki beslenme durumunun bitki analizleriyle belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Yıldız Akbulut, E. (2021). *Farklı koşullarda kurutulan Trabzon hurması (Diospyros kaki) ve kivi (Actinidia deliciosa)'nin bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalite parametrelerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Yılmaz, M. S. (2015). *Brokolinin mikrodalga kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve modellenmesi* (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Yılmaz, H. (2022). *Karalahana ve maydanoz sularında farklı ajanlarla klorofil stabilizasyonunun kinetik modellenmesi* (Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Yildiz, G., Li, Y., Dong, M., Sun, J., Zhou, B., & Feng, H. (2025). Laser-driven sustainable modulation of growth, metabolomics, bioactive compounds, and physical attributes in broccoli, radish, and kale sprouts. *Food Chemistry, 497*, 147082. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147082

Yokuş, B. (2014). *Farklı ön işlemlerin ve uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin elmada toplam fenol miktarı ve antioksidan aktivite üzerine etkileri* (Yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Zengin, V. (2021). *Hatay-Yayladağ bölgesinde beyaz baş lahana (Brassica oleracea var. capitata L.) yetiştiriciliğinde organomineral gübrelerin verim ve kaliteye etkileri* (Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı). YÖK Ulusal Tez Merkezi.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Resimler



Şekil A.1. Karalahanaya Ait Toplanma Görüntüleri