

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

**MANDALİNALARIN FARKLI KURUTMA ŞARTLARINDA BİYOAKTİF
BİLEŞENLERİNİN DEGRADASYON KİNETİKLERİ**

SANIYE AKDAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MEHMET BAŞLAR**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANDALİNALARIN FARKLI KURUTMA ŞARTLARINDA BİYOAKTİF BİLEŞENLERİNİN
DEGRADASYON KİNETİKLERİ**

Saniye AKDAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.09.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Muhammet ARICI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, tezimin her aşamasında bana çok yardımcı olan değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR' a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın laboratuvar aşamasında hiçbir zaman yardımını esirgemeyen Yüksek Lisans öğrencileri; Mahmut KILIÇLI, Çağıl ÇAKIRKOÇAK ve Merve DELMİDAN'a desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım her kararda ve attığım her adımda bana hep destek olan canım annem ve babam; Pembe ve Halil AKDAŞ'a sonsuz minnettarım. İstanbul'da kaldığım süre boyunca maddi ve manevi hiçbir emeğini esirgemeyen ablam ve eşi; Zuhale ve Caner KAYA'ya, aynı zamanda bana Amerika tecrübesini tattıran ablam ve eşi; Mehtap ve Burhan AKYOL'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Eylül, 2014

Saniye AKDAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	7
1.3 Hipotez.....	8

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1 Havalı Kurutma Sistemi.....	11
2.2 Vakum Kurutma.....	14
2.3 Ozmotik Kurutma.....	15
2.4 Mikrodalga Kurutma.....	17
2.5 Dondurarak Kurutma.....	19
2.6 Kızılötesi Kurutma.....	20

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1 Materyal.....	22
3.2 Etüv Kurutma.....	23
3.3 Vakum Kurutma.....	24

3.4 Matematiksel Modelleme.....	26
3.5 Ekstraksiyon İşlemi.....	27
3.6 Toplam Fenolik Madde Analizi	28
3.7 Toplam Flavonoid Madde Analizi	28
3.8 Antioksidan Kapasitesi (DPHH İndirgeme) Analizi	29
3.9 C Vitamini Analizi.....	29
3.10 Termal Degradasyon Kinetiği	29
3.11 Renk Ölçümü	30
3.12 Toplam Enerji Tüketimi	30
3.13 İstatistiksel Analizler	30

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Kurutma Kinetiği.....	32
4.2 Modelleme	33
4.3 Kurutma Sistemlerindeki Etkili Nem Difüzyonu ve Aktivasyon Enerjisi	37
4.4 Toplam Fenolik Bileşiklerin Degradasyon Kinetiği	38
4.5 Toplam Flavonoid Bileşiklerin Degradasyon Kinetiği	43
4.6 C Vitamini Degradasyon Kinetiği	45
4.7 Antioksidan Aktivite Değişim Kinetiği	48
4.8 Renk Değişimi	50

BÖLÜM 5

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	52
------------------------	----

KAYNAKLAR.....	54
----------------	----

SİMGE LİSTESİ

a^*	Renk ölçümünde yeşillik-kırmızılık göstergesi
A_k	Kontrol absorbans değeri
A_0	Örnek absorbans değeri
b^*	Renk ölçümünde mavilik-sarılık göstergesi
C_0	Kurutmadan önceki biyoaktif madde miktarı ve antioksidan kapasitesi
C	Kurutma sırasındaki biyoaktif madde miktarı ve antioksidan kapasitesi
D_0	Arrhenius denklemindeki üstel faktör
D_{eff}	Etkili nem difüzyonu
E_a	Aktivasyon enerjisi
ΔE	Toplam renk değişimi
k	Kurutma kinetiği hız sabiti
L^*	Renk ölçümünde beyazlık-siyahlık göstergesi
m_k	Mandalina örneklerinin içerdiği kuru madde (su dışındaki madde) miktarı
m_y	Mandalina örneklerinin içerdiği su miktarı
M	t zamanındaki nem miktarı
MR	Nem oranı
P	İstatistikte anlamlılık seviyesi
R	Gaz sabiti
R^2	Regresyon katsayısı
t	Zaman
T	Sıcaklık
χ^2	Ki-kare

KISALTMA LİSTESİ

ARA	Antiradikal aktivite
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
db	Kuru bazda nem içeriği
GAE	Gallik asit eşdeğeri
MD	Mikrodalga kurutucu
MV	Mikrodalga - vakum kombine kurutucu
RMSE	Ortalama hata karenin karekökü
TE	Troloks eşdeğeri
TFM	Toplam fenolik madde
TFLM	Toplam flavanoid madde
W	Watt
wb	Yaş bazda nem içeriği

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kabin kurutucu	12
Şekil 2.2 Tünel tipi kurutucu modelleri	13
Şekil 2.3 Ozmotik kurutma sırasında oluşan kütle aktarımının şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.4 Dondurarak kurutma cihazı	19
Şekil 3.1 Mandalinaların kurutmada önceki görünüşleri	22
Şekil 3.2 Etüv kurutma cihazı	23
Şekil 3.3 Mandalinaların etüvde kurutulduktan sonraki görünüşleri.....	24
Şekil 3.4 Vakum kurutma cihazı	25
Şekil 3.5 Mandalinaların vakumda kurutulduktan sonraki görünüşleri	25
Şekil 3.6 Mandalinaların ekstraksiyon işlemi sonrası görünüşleri	28
Şekil 4.1 Mandalinaların etüv kurutmada süreye bağlı nem oranlarındaki değişim	33
Şekil 4.2 Mandalinaların vakum kurutmada süreye bağlı nem oranlarındaki değişim..	33
Şekil 4.3 Mandalinaların etüv kurutmada zamana bağlı toplam fenolik madde değişimi.....	41
Şekil 4.4 Mandalinaların vakum kurutmada zamana bağlı toplam fenolik madde değişimi.....	42
Şekil 4.5 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada fenolik degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması.....	42
Şekil 4.6 Mandalinaların etüv kurutmada zamana bağlı toplam flavonoid bileşiklerinin degradasyonu	44
Şekil 4.7 Mandalinaların vakum kurutmada zamana bağlı toplam flavonoid bileşiklerinin degradasyonu	44
Şekil 4.8 Mandalinaların vakum kurutmada flavonoid degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması	45
Şekil 4.9 Mandalinaların etüv kurutmada C vitamini degradasyonu	46
Şekil 4.10 Mandalinaların vakum kurutmada C vitamini degradasyonu	47
Şekil 4.11 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada C vitamini degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması.....	47
Şekil 4.12 Mandalinaların etüv kurutmada DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite değişimi.....	48
Şekil 4.13 Mandalinaların vakum kurutmada DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite değişimi.....	49

Şekil 4.14 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada antioksidan aktivitelerinin Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması.....	49
--	----

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Mandalinaların kurutulması sırasında elde edilen verilerin kurutma modellerine uygulanması.....	27
Çizelge 4.1 Mandalinaların etüv kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatiksel parametreleri	34
Çizelge 4.2 Mandalinaların vakum kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatiksel parametreleri	35
Çizelge 4.3 Mandalinaların etkili nem difüzyon (D_{eff}) değerleri ve aktivasyon enerjileri (E_a).....	37
Çizelge 4.4 Mandalinaların etüv kurutma sırasında biyoaktif maddelerin kinetik degradasyon parametreleri	39
Çizelge 4.5 Mandalinaların vakum kurutma sırasında biyoaktif maddelerin kinetik degradasyon parametreleri	40
Çizelge 4.6 Etüv kurutmada mandalina yüzeyindeki renk değişimi.....	50
Çizelge 4.7 Vakum kurutmada mandalina yüzeyindeki renk değişimi.....	50

**MANDALİNALARIN FARKLI KURUTMA ŞARTLARINDA BİYOAKTİF
BİLEŞENLERİNİN DEGRADASYON KİNETİKLERİ**

Saniye AKDAŞ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR

Turunçgil çeşitleri arasında büyük öneme sahip olan mandalina (*Citrus reticulata*), insan metabolizması için önemli fitokimyasallarca (C vitamini, fenolik asit ve flavonoid madde) zengin bir meyvedir. Bu çalışmada mandalina dilimlerine 55, 65 ve 75°C’de etüv ve vakum kurutma uygulanarak dehidrasyon ve biyoaktif bileşenlerin degradasyon kinetiği belirlenmiştir. Mandalina dilimlerinin dehidrasyon kinetiği yedi farklı ince tabaka kurutma modeliyle tanımlanırken yapılan kurutma işlemi için Page modelinin R^2 : 0,992-0,999 en iyi model olduğu belirlenmiştir. Mandalinadaki toplam fenolik madde, toplam flavonoid ve C vitamini içeriği ile toplam antioksidan kapasitesindeki değişim, birinci derece degradasyon kinetik modeli kullanılarak belirlenmiştir. Vakum kurutucu daha hızlı bir yöntem olmasına rağmen, toplam fenolik ve flavonoid içeriklerinde daha fazla degradasyona neden olmuştur. Ayrıca düşük sıcaklıkta yapılan kurutmalarda antioksidan kapasitesinin daha fazla korunduğu tespit edilmiştir. Etüv kurutucuda ise C vitamini degradasyonunun vakum kurutucudan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Etüv kurutma sırasında daha fazla renk değişimi gözlenirken aynı zamanda etüv kurutmada daha çok enerjiye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mandalina, etüv kurutma, vakum kurutma, C vitamini degradasyonu, biyoaktif madde, kurutma kinetiği

ABSTRACT

DEHYDRATION and DEGRADATION KINETICS of BIOACTIVE COMPOUNDS for MANDARINS UNDER DIFFERENT DRYING CONDITIONS

Saniye AKDAŞ

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Mehmet BAŞLAR

In this study, the dehydration and degradation kinetics of bioactive compounds of mandarin slices were observed under oven and vacuum drying conditions at 55, 65 and 75°C. The dehydration kinetics of the mandarin slices were described by seven thin-layer drying models. The Page model with R^2 of 0,992–0,999 was determined to be the best model. Degradation kinetics of total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity and vitamin C content were described using a first-order kinetics model with R^2 of 0,838–0,979. Despite the faster drying, degradation of the total phenolic and flavonoid content increased under vacuum. However, the vitamin C degradation of mandarin slices in oven drying was two times more than in vacuum drying. The antioxidant capacity was protected at the lower temperature for vacuum drying, the opposite of oven drying. In addition, oven drying generally caused more color changes and required more energy.

Keywords: Mandarin, vacuum drying, oven drying, bioactive properties, degradation.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Gorinstein vd. [1] tarafından "Jaffa Sweeties" isimli taze ve kurutulmuş meyvelerin biyoaktif bileşenleri ve antioksidan kapasiteleri belirlenmiştir. β -karoten ağartma yöntemine göre taze ve kurutulmuş meyvelerde antioksidan aktivitesi sırasıyla %89 ve %87 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde DPPH yöntemi kullanılarak yapılan antioksidan aktivitesinde de benzer şekilde küçük bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taze ve kurutulmuş limonların toplam diyet lifi, fenolik bileşikleri ve C vitamini konsantrasyonu kıyaslandığında kurutma işleminin bu bileşenlerin miktarında önemli bir değişimine neden olmadığı rapor edilmiştir.

Wojdyło vd. [2] tarafından yapılan bir çalışmada çilekler 240, 360 ve 480W seviyesinde vakum-mikrodalga kurutucuda kurutulmuştur. Çalışmada bu kurutma işleminin taze ve kurutulmuş meyvedeki kalite özellikleri üzerine etkisi konvansiyonel, vakum ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kurutma yöntemlerinin tümü çilekteki antosiyanin, flavanoller ve askorbik asidi parçaladığı ve buna bağlı olarak da antioksidan aktivitesini önemli oranda azalttığı rapor edilmiştir. Tüm kurutma işlemleri kıyaslandığında, dondurarak kurutma işleminin antioksidan aktivitesini en iyi koruyan yöntem olduğu belirlenmiştir. En fazla biyoaktif bileşen kayıplarının ise konvansiyonel ve vakum kurutma uygulamasından sonra olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte çileklere vakum-mikrodalga kurutma uygulamasının ısı işlem ve oksijene hassas fenolik bileşenleri ve askorbik asidi daha etkili bir şekilde koruduğu ve diğer yöntemlere göre daha hızlı bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sogi vd. [3] tarafından yapılan bir çalışmada mango çekirdeği ve kabuğu dondurularak (-20°C), konvansiyonel (60°C), vakum (60°C-500 mmHg) ve kızılötesi (40W) yöntemleriyle kurutulmuş ve bu yöntemlerin biyoaktif özellikler üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre dondurarak kurutulan mango atıklarının genellikle daha yüksek fenolik bileşen, karotenoid ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Konvansiyonel, vakum ve infrared kurutmada ise genellikle birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Kabuktaki askorbik asit içeriği kabin kurutucuda daha yüksek seviyede kalırken; çekirdek için bu değer vakum kurutucuda daha yüksek değerde olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca kurutulan meyvenin renk değerlerindeki en az kayıp dondurarak ve kabin kurutmada elde edilmiştir.

Miletic vd. [4] yaptıkları çalışma ile Valjevka ve Mildora adında farklı türlerdeki eriklere 85-90°C'de havalı kurutma yöntemi uygulayarak fenolik bileşikler ve antioksidan kapasitelerindeki değişimi incelemişlerdir. Eriklere uygulanan 90°C sıcaklıktaki kurutma işleminin meyvelerin kimyasal yapılarında önemli değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Kurutulduktan sonra Valjevka türü erikte bulunan klorojenik asitte bir miktar azalma olurken, neoklorojenik asitte daha fazla oranda azalma ve kaffeik asitte ise bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Mildora türünde klorojenik asit ve kaffeik asitte artış olurken neoklorojenik asitte azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her iki erik türünde de bulunan rutin asit ve protokateşik asitte azalma olurken gallik asitte ise bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Bir antosiyanin olan siyanidin ise başlangıçta tespit edilmesine rağmen, yüksek sıcaklığa karşı stabil olmadığı için kurutulmuş örneklerde tespit edilememiştir.

Dobooğlu [5] tarafından yapılan bir çalışmada karadut örnekleri liyofilizasyon, konvansiyonel ve vakumlu kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ve kalite parametreleri olan antosiyanin içeriği, nem içeriği, rehidrasyon kapasitesi ve renk değerleri açısından analiz edilmiştir. Vakumlu kurutma yapılan karadutların şeklini konvansiyonel kurutmaya göre daha iyi korunduğu ve rehidrasyon kapasitesi daha yüksek olduğu belirtilirken su aktivitesi, nem miktarı ve antosiyanin kaybının daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Konvansiyonel kurutma en yüksek nem, su aktivitesi ve yığın yoğunluğuna sahip yöntem olarak rapor edilmiştir. Konvansiyonel ve vakum kurutma yöntemlerinde karadutlar yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarından antosiyanin ve uçucu bileşen içerikleri

ile su kaybına bağılı olarak daha yoğun bir yapı kazanmış ve dolayısıyla taze ve liyofilize olanlara göre daha koyu görünüşte olduğı buna bağılı olarak L^* ve a^* değerlerinin düşük olduğı belirlenmiştir. Liyofilizasyon (dondurarak kurutma) yöntemiyle kurutulan örneklerdeki antosiyanin kayıpları düşük ve rehidrasyon kapasitesi yüksek olduğı belirlenirken yığın yoğunluğu, su aktivitesi ve nem içeriği en düşük olan yöntem olarak belirlenmiştir. Düşük ısıı işlem uygulamasından dolayı L^* ve a^* değerinde düşük oranda azalış olduğı için kurutulmuş ürünün renk kalitesi daha yüksek olarak rapor edilmiştir.

Rodriguez vd. [6] tarafından yapılan bir çalışmada antioksidan içeriği başta olmak üzere biyoaktif bileşen yönünden çok zengin olan murtaberries (*Ugni molinae T.*) meyvesine 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklık değerlerinde konvansiyonel kurutma uygulanarak biyoaktif madde içerikleri ve antioksidan aktiviteleri karşılaştırılmıştır. Meyvede yüksek oranda bulunan β -karoten, 40-80°C aralığında yapılan kurutma işlemleri sırasında azaldığı belirtilmiştir. Meyvede baskın olarak bulunan gallik asit kaybının 40-50°C'de uygulanan kurutmada daha az olduğı saptanmıştır. Toplam fenolik ve flavonoid maddelerdeki kayıpların düşük sıcaklık, uzun kurutma süresinde daha yüksek olduğı rapor edilmiştir. Örneęe uygulanan yüksek sıcaklık (70-80°C) değerlerinde, düşük sıcaklık (40-50°C) değerlerine göre antioksidan aktivitesi daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Jiang vd. [7] yapmış oldukları bir çalışmada muz dilimlerine titreşimli mikrodalga vakum kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalgalı liyofilizasyon yapılarak bazı kuruma özellikleri karşılaştırılmıştır. Mikrodalga ile kurutulan örneklerde, dondurarak kurutmaya göre %50 oranında daha kısa sürede kuruma ve büzüşme oranının (yığın yoğunluğu) daha düşük olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. SEM görüntülerine göre titreşimli mikrodalga vakumda kurutulan örneklerde renk değerlerinin daha iyi korunduğı tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre titreşimli mikrodalga vakum ve dondurarak kurutulan örneklerin askorbik asit değeri 7,96 mg/100 g olarak bulunurken, mikrodalgalı liyofilizasyon işleminde bu değer 4,23 mg/100g'a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Titreşimli mikrodalga vakum kurutucuda kurutulan muzların, mikrodalgadondurucuda kurutulanlara göre hem görünüş yönünden hem askorbik asit içeriği yönünden daha üstün olduğı belirlenmiştir.

Wojdyło vd. [8] tarafından yapılan bir çalışmada vişnelere 50, 60 ve 70°C de konvansiyonel kurutma ve 240, 360 ve 480 W vakum mikrodalga kurutma uygulanarak örneklerin fenolik içerikleri, antioksidan kapasiteleri ve renk değişimleri kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, vakum mikrodalga (480W) kurutma uygulandığında renk değerleri daha iyi seviyede tespit edilirken mikrodalga'nın şiddeti 120W'a düşürüldüğünde ise antosiyanin içeriğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dondurularak kurutulan kontrol örneklerin fenolik madde oranı konvansiyonel kurutmaya göre daha yüksekken, vakum mikrodalga (120W) kurutmadan daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca uygulanan kurutma yöntemlerinin kuersetin ve keampferol türevleri üzerinde olumlu etkisi olduğu belirtilmektedir.

Karaman vd. [9] yapmış oldukları bir çalışmada Trabzon hurmasına uyguladıkları dondurarak, konvansiyonel ve vakum kurutmanın meyvedeki toplam fenolik madde, toplam flavonoid içeriği, tanen yoğunluğu, toplam hidrolize tanen miktarı, antiradikal aktivite ve antidiyabetik aktivite gibi bazı biyoaktif madde içerikleriyle birlikte bazı fizikokimyasal özellikleri incelenerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Verilen bulgular doğrultusunda dondurularak kurutulan örneklerde yüksek oranda biyoaktif maddeye rastlanırken aynı zamanda en yüksek antiradikal aktivitenin de bu örneklerde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dondurularak kurutulan örneklerde kondense tanen ve toplam hidroliz tanen oranı taze meyveden ve diğer yöntemlerden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Dondurularak kurutulan örneklerin renk özellikleri diğer metotlardaki ısı işlemin etkisiyle gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşmeden dolayı daha iyi olarak belirlenmiştir. Taze ve dondurulmuş örneklerde HMF bulunmazken uzun süren konvansiyonel kurutma ve vakum kurutmada sırasıyla 19 ve 44 mg/ kg HMF bulunduğu rapor edilmiştir.

İzli vd. [10] yapmış oldukları çalışmada altın çileklere (*Physalis peruviana* L.) konvansiyonel (75 ve 100°C), mikrodalga (160W) ve mikrodalga-konvansiyonel (160W-75°C ve 160W-100°C) kurutma uygulayarak örneklerdeki renk değerleri, toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan kapasiteleri karşılaştırılmıştır. En hızlı kuruma 160W-100°C uygulanan örneklerde gerçekleşmiştir. 160W değerinde mikrodalgada kurutulan çileklerin renk değerleri (L^* , a^* ve b^* değerleri) yüksek ve taze çileklerin renk değerleriyle benzerlik gösterirken konvansiyonel ve konvansiyonel-mikrodalga

kurutulan örneklerin renk değerleri düşük ve daha koyu bir renkte olduğu gözlenmiştir. Kurutulan örneklerin fenolik madde içeriklerinde önemli bir farklılık gözlenmezken 100°C ve 160W-100°C ile 75°C ve 160W-75°C’de kurutulan örnekler karşılaştırıldığında yüksek sıcaklıkta daha kısa sürede kurutma gerçekleştiği belirtilmiştir. 160W değerinde mikrodalgada kurutma yapılan örneklerde antioksidan kapasitesini kuru madde bazında 16,468 µmol TE/g olarak belirlenirken, konvansiyonel (75 ve 100°C) ve mikrodalga-konvansiyonelde (160W-75°C ve 160W-100°C) kurutulan örneklerde antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 11,494, 12,489, 11,765 ve 12,760 TE/g (db.) olarak tespit edilmiştir.

Kim ve Kerr [11] yabanmersiniyle (*Vaccinium ashei*) yaptıkları bir çalışmada, bantlı vakum kurutucuda farklı miktarda maltodekstrin içeren yabanmersinleri kurutmuş ve fiziksel özellikleri ve kalite parametreleri açısından dondurarak kurutulan örneklerle kıyaslamıştır. Renk özellikleri incelendiğinde farklı sıcaklık değerlerinde maltodekstrin oranı yükseldikçe renkte kararma azalmıştır ve dondurarak kurutmadaki renk kalitesiyle benzerlik gösterdiği belirtilmiştir. Toplam monomerik antosiyanin oranı 80°C vakum kurutmada en yüksek miktarda saptanırken artan sıcaklık ve artan maltodekstrinle birlikte antosiyanin miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bantlı vakum kurutmanın fiziksel özellikler ve fitokimyasal madde bakımından dondurarak kurutmaya iyi bir alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Yan ve Kerr [12] yaptıkları çalışmada, bantlı vakum kurutma (80, 95 ve 110°C) ve dondurarak kurutma ile üretilen elma tozundaki toplam fenolik madde içerikleri, antosiyanin miktarları ve diyet liflerindeki değişimini karşılaştırmıştır. Dondurarak kurutma ve 80°C vakum kurutmada nem değerleri ve renk kaliteleri yüksek olarak belirlenmiştir. Vakum kurutucuda sıcaklık arttıkça renk kalitesinin düştüğü gözlenmiştir. Dondurularak kurutulan elma püresinde toplam monomerik antosiyanin miktarı parçalanmadan dolayı dondurularak kurutulan taze elmadan daha yüksek olarak tespit edilirken vakum kurutucuda sıcaklık arttıkça antosiyanin miktarının azaldığı rapor edilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği dondurularak kurutulan taze elmada düşük miktarlarda bulunurken dondurularak kurutulan elma püresinde ve 80°C vakumlu kurutma uygulanan elma püresinde yaklaşık olarak aynı oranlarda belirlenmiştir ve sıcaklık arttıkça fenolik içeriği azalmıştır. Dondurularak kurutulan taze elmanın toplam

diyet lif oranı en düşük miktarda bulunurken 110°C vakum kurutucudaki elma püresinde en yüksek seviyede tespit edilmiş ve sıcaklıkla birlikte azalmıştır.

Karaaslan vd. [13] tarafından yapılan bir çalışmada narların bir kısmı 80°C sıcak suda 2 dakika ön işlem uygulandıktan sonra, diğer bir kısmı ise ön işlem uygulanmadan vakum kurutucuda (55, 65 ve 75°C) kurutulmuştur. Narların kurutma kinetiği oluşturulmuş aynı zamanda fenolik bileşiklerde değişim kinetikleri rapor edilmiştir. Ön işlem uygulandıktan sonra 75°C'de vakumlu kurutucunun daha hızlı kuruttuğu belirtilmiştir. 75°C'de ön işlem uygulanmış narlarda antosiyanin miktarları %44'e düşerken, ön işlem uygulanmamışlarda bu oranın %19'a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Aynı şekilde fenolik bileşiklerde 75°C'de ön işlem gören narların fenolik içeriği %65'e düşerken, işlem görmeyen narlarda bu oran %51'e kadar düşmüştür.

Başlar vd. [14] tarafından yapılan çalışmada narlara uygulanan konvansiyonel (55, 65 ve 75°C) kurutmanın biyoaktif maddeler üzerindeki etkisi ve renk değerlerindeki etkisi incelenmiştir. Yükselen sıcaklık değerleriyle birlikte biyoaktif maddelerde degradasyon artarken işlem süresinin kısılmasından dolayı fenolik maddeler, antosiyanin ve flavonoid miktarında daha düşük oranlarda azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, sıcaklık değerlerindeki farklılıkların, renk parametreleri ($P<0,05$) üzerinde önemli bir değişime neden olmadığı belirtilmiştir. En yüksek antioksidan aktivitenin 75°C'de işlem uygulanan narlarda olduğu rapor edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yüksek sıcaklık, kısa işlem süresinin narda bulunan biyoaktif maddelerin korunması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Coelho vd. [15] domateslerle yapmış oldukları bir çalışmada domatese uygulanan konvansiyonel (60, 70 ve 80°C) kurutmanın yanıt yüzey yöntemiyle likopen üzerindeki etkisi incelenmiştir. Taze domatestede yüksek oranda bulunan likopen içeriğinde ($510,5 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$) kurutma sırasında ısı ve oksijen etkisiyle azalma olduğu vurgulanmıştır. Ancak taze domatesteki renk değeri ($45,3 \pm 0,5^\circ$) ısının etkisiyle arttığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak 60°C'de likopen değeri $301,9 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$ olarak azalırken renk değeri $47,7 \pm 0,2^\circ$ olarak artış gösterdiği rapor edilmiştir. Bu çalışma için bulunan değerlere göre; 60°C de en yüksek likopen içerik en düşük renk değerleri olarak ifade

edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre likopendeki (%30-50) kayıp pahalı bir yöntem olan liyofilizasyon sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği belirtilmiştir.

Ji vd. [16] yapmış oldukları bir çalışmada beyaz mantarları güneşte, konvansiyonel, mikrodalga-vakum kurutma ve liyofilizasyon uygulamalarının toplam fenolik madde miktarında ve antioksidan özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Mikrodalga-vakum (MV) kurutma uygulanan mantarlarda diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek oranda antioksidan aktivitenin gerçekleştiği belirtilirken güneşte kurutma yapılan örneklerde en düşük seviyede antioksidan aktivite gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu antioksidan değerleri MV ve güneşte kurutmada sırasıyla 4,945 mg GAE/g, 1,964 mg GAE/g (dw) olarak rapor edilmiştir. Dondurularak kurutulan örneklerde ise 4,226 mg GAE/g (dw) olduğu belirtilmiştir. Ayrıca mikrodalga-vakum kurutma, günler süren güneşte kurutma işlemi yerine dakikalar içinde kurutma sağladığı için örneklerde daha fazla fenolik bileşiğe ve daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır.

Notin vd. [17] tarafından yapılan bir çalışmada siyah kuş üzümüne (*Ribes nigrum L., cultivar titania*) vakum kurutma uygulayarak fenolik maddeler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örneklerle, %10 nem değerine ulaşana kadar 10 mbar vakum ve 40, 50 ve 60°C sıcaklık değerlerinde kurutma uygulanmış ve 60°C atmosfer sıcaklığında kurutulan örneklerle toplam polifenol, toplam antosiyanin, kateşin ve lökoantosiyenin değerleri kıyaslanmıştır. Kurutma sırasında değişen sıcaklık değerlerinin su kayıpları ve antioksidan içerikleri üzerinde etkili olduğu ve fenolik maddelerin kurutma sırasında azaldığı tespit edilmiştir. Vakum kurutmada 50°C'de yapılan işlem sırasında optimum antioksidan ve fenolik içeriğe rastlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Ülkemiz turunçgil üretiminde önemli bir yere sahip olup, kurutulmuş mandalina dilimlerinin biyoaktif maddedeki değişim üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu çalışmanın amacı; ülkemizde bol miktarda yetiştirilen mandalinaların kurutulması sırasında biyoaktif maddelerdeki değişimin belirlenmesi olup bu amaçla mandalina dilimlerine uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, antioksidan kapasitesi ve C vitaminindeki

değişim kinetikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, dehidrasyon kinetikleri ve kurutma işlemlerinin renk üzerine etkisi belirlenmiştir.

1.3 Hipotez

Kurutma işlemlerinde sıcaklık artışı kurutma hızını arttıran bir faktördür. Bununla birlikte biyoaktif bileşenlerin degradasyon hızının da artması beklenmektedir. Daha yüksek sıcaklıkların kurutma süresini kısaltmasının bir sonucu olarak toplamda daha az bileşenin degradasyonu olasıdır. Bu çalışmada, etüv ve vakum kurutma yöntemleri için biyoaktif bileşenlerin degradasyonunu kurutma hızıyla olan değişimi incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

Turunçgiller *Rutaceae* familyasının *Aurantoideae* alt familyasına dahillerdir. Birçok türleri olmasına rağmen, ülkemizde tarımı yapılan önemli turunçgiller; *Citrus limon* (limon), *C. aurantifolia* (misket), *C. aurantium* (acı portakal), *C. sinensis* (tatlı portakal), *C. reticulata* (mandalina), *C. grandis* yada *C. maxima* (pummelo) ve *C. paradisi* (altıntop) dır. Anavatanının Güney Çin ile Hindistanın bazı kesimleri ve Malezya olduğu düşünülmektedir. Bugün anavatanına ilaveten, bütün Akdeniz bölgesine yayılmış olan turunçgiller, ilk defa 1400'lerde Amerika kıtasına taşınmış ve orada özellikle Orta ve Güney Amerika'da çok yayılmıştır. Küçük, hep yeşil, uzun funda sayılabilecek ağacın meyvesi (bir hesperidum meyvedir) içerde ince bir septa tabakasıyla ayrılmış 10-14 bölmeli ve tohum içeren endokarp, onu dışından çevreleyen beyaz mezokarp ve en dışta ince, renkli ve yağ modülleri içeren ekzokarp kısımlarından oluşmuştur. Meyvenin endokarp kısmı yenmesine rağmen, diğer kısımları da çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilmektedir. Vitamin C ve niasinin çok iyi bir kaynağı olmasının yanında, sağlığa faydalı birçok minör bileşenler de bulunmaktadır [18], [19].

Dünyada toplam turunçgil üretimi yaklaşık olarak 115,5 milyon tondur (Portakal %61,19, mandalina %22,13, limon %11,15 ve greyluft %5,53) ve Türkiye bu üretim sıralamasında 9. sırada yer almaktadır [20].

Turunçgillerin bileşimleri tür, çeşit, ekolojik ortam ve iklim gibi faktörlere göre farklılık göstermektedir.

Ancak, Amerika Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre 100 g mandalınanın yaklaşık bileşimi 85,17 g su, 10,58 g toplam şeker, 1,8 g lif, 0,81 g protein ve 0,31 g toplam yağ olarak tanımlanmıştır [21].

Mandalina, insan metabolizması için yararlı olan fitokimyasallar yönünden (C vitamini, fenolik asit ve flavonoid madde) zengin bir meyvedir. Turunçgil türleri arasında büyük öneme sahip olan mandalina (*Citrus reticulata*), içerdiği biyoaktif maddeler yönünden diğer turunçgil türleri benzerlik gösterse de mandalinada baskın olarak flavonoidlerden; *narirutin* ($C_{27}H_{32}O_{14}$) ve *hesperidin* ($C_{28}H_{34}O_{15}$) ile fenolik asitlerden; *kafeik*, *p-kumarik*, *ferulik*, *sinapik*, *p-hidroksibenzoik* ve *vanilik* asit bulunduğu tespit edilmiştir [22].

Mandalina beslenme açısından başta C vitamini, niasin, folik asit, diyet lif, pektin, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi gıda bileşenleri ile önem taşımaktadır. Ayrıca beslenme açısından önemi yanında, içermiş olduğu limonoidler, C vitamini, fenolik bileşikler, pektin, diyet lif gibi bileşenler sayesinde kanser ve kardiyovasküler gibi hastalıkların riskini azaltıcı etkiye sahiptir [19], [23], [24], [25].

Meyve ve sebzeler başlıca vitamin ve mineral kaynakları olarak insan beslenmesinde önemli bir yer teşkil etmelerine rağmen %70'in üzerinde su içeriğine sahip olmaları sebebiyle kolay bozulabilirler. Bu yüzden hasattan hemen sonra uygun koşullarda saklanmalı, nakliye edilmeli ve işlenene kadar depolanmalıdır. Aksi takdirde önemli ölçüde besinsel içerik kaybına uğrarlar ve bozulurlar. Uygun olmayan depolama ve taşıma koşullarından dolayı gelişmiş ülkelerde dahi hasat edilen meyve ve sebzelerin yaklaşık %30'u kullanılamamaktadır. Bu yüzden meyveler, genellikle taze veya meyve suyu şeklinde tüketilen bir ürünken son zamanlarda kurutulmasına olan talep artmış ve fonksiyonel özelliklerinde minimum kayıp ile kurutulması üzerine yoğunlaşmıştır.

Meyve ve sebzelerin kurutulmasının birçok avantajı olmasına rağmen, işlemin gerçekleşmesini sağlayan ısı ve kütle transferi mekanizmaları iyi kontrol edilemezse üründe fiziksel, kimyasal, mikrobiyal vb. bazı değişimlere sebep olarak son ürünün kalitesi düşebilir. Gözlemlenebilir fiziksel değişimlerin başlıcaları; büzüşme, çökme, şişme, kırılma, çatlama ve kristalizasyon şeklinde gerçekleşmektedir. İstenen ve/veya istenmeyen kimyasal ya da biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda maddenin aroma,

koku, renk ve görünüş gibi özelliklerinde değişiklik görülebilmektedir [26]. Isıl işlem sırasında hücre membranı geçirgenliğini kaybeder, tekstür değişebilir ve hücre duvarlarındaki pektik maddeler parçalanmaya uğrayabilmektedir. Aroma maddeleri kendine özgü niteliklerini yitirebilir ve istenmeyen aroma bileşikleri oluşabilir. Anılan bu değişiklikler ısıl işlemin süre ve derecesine, meyve çeşidi ve olgunluk gibi faktörlerin yanı sıra antosiyaninler, karotenoidler, fenolik bileşikler, şekerler ve su içeriği başta olmak üzere ürünün bileşimiyle yakından ilişkilidir [27]. Bu değişimler sebebiyle en uygun kurutma sisteminin ve kurutma parametrelerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Kurutma işlemi doğal kurutma ve yapay kurutma olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal kurutma, güneş enerjisinden yararlanılarak üründeki su içeriğinin istenen seviyeye kadar azaltılması için uygulanan basit bir yöntem olup beraberinde kontaminasyon başta olmak üzere birçok problem oluşturmaktadır. Bunlardan bazıları;

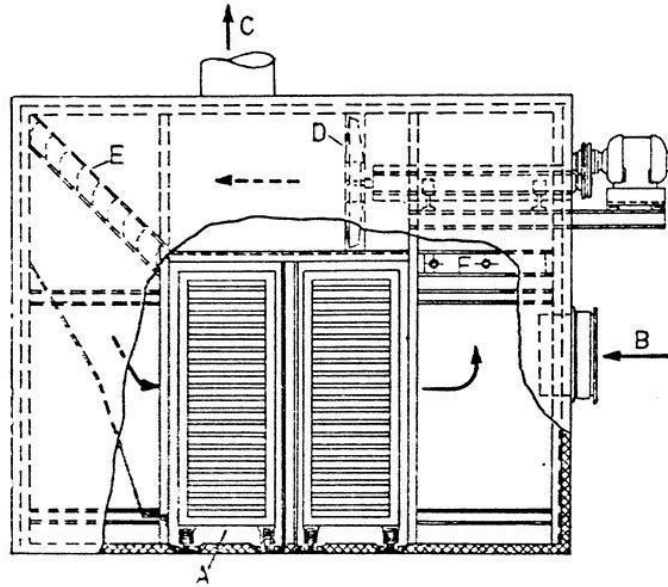
- a) Her yerde ve her zaman güneş enerjisinden faydalanarak kurutmanın mümkün olmaması,
- b) Ürünün, böcek, toz gibi dış etkiye maruz kalması,
- c) Uzun zaman alan bir metot olması,
- d) Kurutmayla birlikte fermentasyon meydana gelme riski,
- e) Üründe esmerleşme gerçekleşmesi gibi olumsuzluklardan dolayı, daha hızlı, hijyenik ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metotları geliştirilmiştir [28].

Yapay kurutma işlemi kapalı alanlarda ve kontrollü koşullar altında yapılan gelişmiş bir yöntemdir. Bu işlem için daha çok dehidrasyon terimi kullanılır. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılan başlıca yapay kurutma yöntemleri sıcak havayla kurutma, vakum kurutma, ozmotik kurutma, mikrodalgayla kurutma, dondurarak kurutma ve kızılötesi kurutmadır.

2.1 Havalı Kurutma Sistemi

Havalı kurutma sisteminde çok çeşitli kabin kurutucu tipleri varsa da hepsinin ilkesi aynıdır. Kurutulacak ürün, alt tarafı ızgara şeklinde bir tür tepsi olan kerevetlere

yerleştirilir. Kerevetler üst üste istif edilerek kurutma kabinine alınır. Tüm kurutma boyunca kerevetler olduğu gibi hareketsiz kalır. Sıcak hava, kabinin ayarlanabilen panjurlar şeklinde olan yan duvarlarından girerek kerevetler arasından geçer ve yine aynı şekilde yan duvardan kabin dışına çıkarak ısıtıcıya ulaşır (Şekil 1.1).

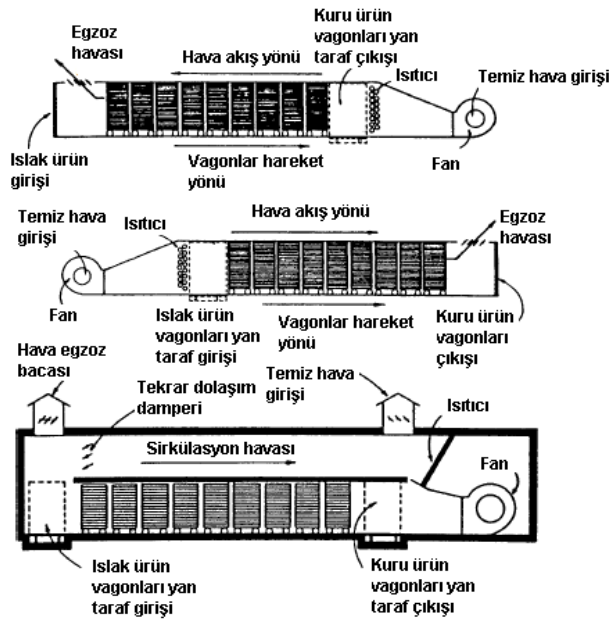


Şekil 2.1 Kabin kurutucu (Tepsili kompartıman kurutucu: A, tepsileri taşıyan vagon; B, taze (temiz) hava girişi; C, hava çıkışı; D, vantilatör; E, yön verme kanatları; F, kanatlı borulardan meydana getirilmiş ısıtıcı) [29]

Kabin kurutucularda en önemli sorun kerevetler üzerindeki ürünün her yerinde aynı kuruma hızının sağlanamamasıdır. Bunun başlıca nedenleri, kerevetin her tarafında hava hızı, sıcaklığı ve nemin aynı düzeyde tutulamayışı ve sıcak havanın kurutma hücrelerine ilk girdiği taraftaki ürünün daha hızlı kurumasına rağmen diğer kısımların daha yavaş kurumasıdır. Bunu önlemek için hava sirkülasyon fanı zaman zaman pozisyon değiştirilerek çalıştırılır veya bu amaca uygun pozisyona sabit olarak çift fan yerleştirilebilir. Kabin kurutucular çoğunlukla az miktarda birkaç ton meyve veya sebze kurutacak kapasitede yapılırlar. Sabit yatırımı nispeten az, çalıştırılmaları ise kolaydır. Isıtıcı kapasitesi m^2 kerevet alanına 50.000-60.000 kJ/h ısı verebilecek şekilde seçilmelidir. Kabin kurutucularda hava hızı genellikle 2,5-5 m/s dolayındadır. Kuruma süresi şüphesiz ürüne ve istenen son nem düzeyine bağlı olarak 10-20 saat arasında değişmektedir.

Tünel kurutucular, kabin kurutucuların daha gelişmiş bir şekli olarak düşünülebilir. Bunların kabin kurutucudan en önemli farkı, kerevet istiflerinden oluşan arabaların, bir tünel boyunca raf üzerinde hareket etmesidir. Bu hareket, kurutulacak taze ürün taşıyan bir arabanın tünele sokulurken, diğer uçtan kurumuş olan başka bir arabanın alınması şeklinde gerçekleşir ve böylece her araba tünelde zaman zaman hareket ederek tünel boyunca ilerleyip kurumuş halde tünelin sonuna ulaşır.

Çeşitli tipteki tünel kurutucularda hava ve ürünün birbirlerine göre hareket yönleri farklıdır. Eğer, arabalarla sıcak hava aynı yönde hareket ederse bu tip tünellere “paralel akış tüneli” denir. Başka bir tanımla, paralel akış tünelinde sıcak hava ile kurutulacak ürün, aynı uçtan girer. Bu tip tünel kurutucularda sıcak hava, önce taze ürünle karşılaşır, gittikçe soğuyup nemi artarken sonunda kurumuş olan ürünle temas eder. Basit bir paralel akış tüneli Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Tünel tipi kurutucu modelleri [30]

Sıcak hava ile arabaların hareketi birbirine zıt yönde ise, bu tip tünellere “zıt akış tüneli” denir. Bu tip tünellerde sıcak ve kuru hava, ilk önce en fazla kurumuş olan ürünle temas eder. Daha sonra, gittikçe soğuyarak nemi artarken, son defa en ıslak ürünle temas eder.

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında en yaygın olan sistemler paralel veya zıt akış tünelleridir. Zıt akış tüneli ile paralel akış tünelinin kurutma karakteristikleri farklıdır. Paralel akış tünellerinde başlangıçta kuruma hızı çok yüksektir. Materyalin yüzeyi çok hızlı kuruduğu için üründe çok az buruşma olur ancak parçacıkların içinde boşluklar ve çatlaklar oluşur. Kurutma tünelinin sonunda kurutucu hava, başlangıca göre daha soğuk ve fazla nemli olduğu için kurutmanın son aşaması çok yavaş gerçekleşir. Kurumanın bu son döneminde gıdanın uzun süre yüksek sıcaklık etkisinde bırakılması, renk, besin değeri ve aroma gibi kalite kriterlerinde belirli oranlarda azalmaya neden olmaktadır.

Zıt akış tünellerinde ise madde, kurudukça daha uygun kurutma koşulları ile karşılaşır. Kurumanın ilk aşaması daha soğuk ve daha nemli hava ile gerçekleştiğinden ve kurutulan materyal içinde nem dağılımındaki farklılık fazla olmadığından, tam ve engelsiz bir buruşma olur. Zıt akış tüneli, özellikle erik gibi yumuşak meyvelere çok uygundur. Aksi halde kurumanın ilk aşamasında bunlarda hücre öz suyu dışarı akar [31].

İzli vd. [10] altın çilekle (*Physalis peruviana L.*) yapmış oldukları çalışmada 75°C ve 100°C'de konvansiyonel kuruttukları numunelerin antioksidan kapasite değerlerini sırasıyla 11,494 ve 12,489 TE/g (db) olarak rapor etmişlerdir. Ayrıca konvansiyonel kurutulan örneklerin renk değerlerinin düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Başlar vd. [14] tarafından narlarla yapılan çalışmada uygulanan konvansiyonel (55, 65 ve 75°C) kurutmanın sonuçlarına göre, yükselen sıcaklık değerleriyle birlikte biyoaktif maddelerin degradasyonunun arttığını ancak işlem süresi kısaldığı için fenolik maddeler, antosiyanin ve flavonoid miktarındaki düşüşün az olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, sıcaklık değerlerindeki farklılıkların, renk parametreleri ($P<0,05$) üzerinde önemli bir değişime neden olmadığı belirtilmiştir.

2.2 Vakum Kurutma

Vakum kurutma, atmosfer basıncı altında suyun buharlaşacağı sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta buharlaşarak kurutmanın kısa sürede gerçekleşmesi işlemidir. Genellikle kesiti dikdörtgen şeklinde olan ve dökme demirden yapılmış bulunan bir odacık olup, bu odacık içerisinde raflar bulunmaktadır. Rafların içi boş olup, çalışma esnasında bu

boşluklar sıcak su veya buharla doldurulmaktadır. Kurutulması istenilen madde raflardaki tepsilerin üzerine serilir. Kurutucunun kapısı kapatıldıktan sonra, bir vakum pompası yardımı ile kurutucu içindeki vakum temin edilir. Raflara verilen su buharı, tepsilerdeki maddeyi yavaş yavaş ısıtır ve kurutucu içerisindeki basınç altında suyun buharlaşabileceği bir sıcaklığa yükselir. Buharlaşan su, kurutucu ile vakum pompası arasında yer alacak bir kondansatörde yoğunlaştırılır. Kullanış alanı geniş olan bu kurutucular atmosferik tipe oranla çok daha pahalı olduğu ifade edilmektedir [32].

Kurutma esnasında besin içeriğinde meydana gelen kayıpları azaltmak ve kurutulmuş gıdanın kalitesini korumak için, vakumlu kurutma işlemi geleneksel yöntemlerin yerine başarılı şekilde uygulanmaktadır. Vakum kurutucular ısıtma işlemi duyarlı ürünlerin, daha düşük sıcaklıklarda hızla kurumasını sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Atmosferik koşullarda kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, vakumlu kurutma yöntemi; daha düşük kurutma sıcaklığı ve oksijensiz ortamda kuruma gibi bazı karakteristik özelliklere sahip olup, daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Ürün dehidrasyonu sırasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonları azaltmakta ve vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk, tekstür ve aroma özellikleri daha iyi korunabilmektedir [33].

Yongsawatdigul ve Gunasekaran [34] yaptıkları çalışmada sıcak havayla ve mikrodalgalı vakumla kurutmanın kırmızı yaban mersinlerinin, renk ve tekstür üzerine etkilerini araştırmışlar ve mikrodalgalı vakumla kurutulmuş olanların renginin daha kırmızı ve daha yumuşak bir yapıya sahip olduğunu belirlemişlerdir.

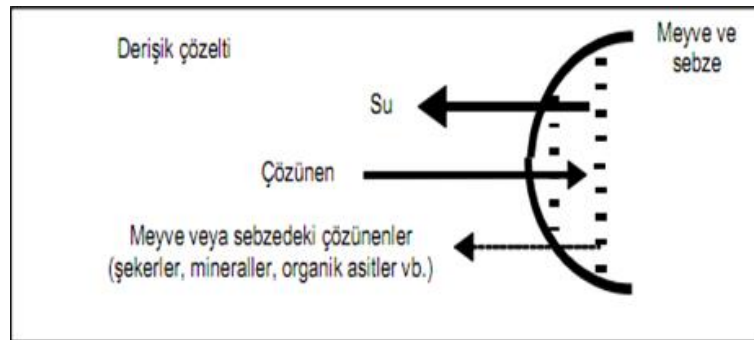
2.3 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma işlemi, gıdalardan suyun uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla gıdanın hipertonic ozmotik çözeltiye daldırılması veya ozmotik ajanın (şeker veya tuz) gıdaya doğrudan ilavesi şeklinde bir uygulamadır. Ozmotik kurutma ile genellikle orta nem düzeyinde ürünler elde edilir. Dehidrasyon oranına bağlı olarak stabil bir işlenmiş ürün elde edilebileceği gibi diğer işlem basamakları için bir ön işlem olarak da uygulanabilir [35].

Hammaddenin fiziksel yapısı, dokusal özellikleri, kimyasal bileşimi, özgül yüzey alanı, olgunluğu ve cinsi ozmotik dehidrasyonu etkilemektedir. Çeşitli meyvelerin su kaybı ve

kuru madde kazanım oranları arasında gözlenen büyük farklılıklara, meyvelerin dokusal özellikleri, başlangıçtaki çözünür ve çözünmeyen kuru madde içeriği, hücrelerarası boşluklar, farklı pektik fraksiyonlar arasındaki oran, pektinin jelleşme derecesi ve meyvenin enzimatik aktivitesindeki değişimler neden olmaktadır [36].

Ozmotik kurutmada aynı anda oluşan üç farklı kütle aktarımı Şekil 1.3’de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki, üründen çözeltiye doğru olan su akışıdır. Ozmotik kurutma yoluyla gıda maddeleri 30 ile 50°C arasındaki sıcaklıklarda ilk üç saat içinde su içeriklerinin %70 kadarını kaybederler. Çözeltilerden ürüne çözünür aktarımı ikinci kütle aktarımıdır. Böylece koruyucu ajanın, herhangi bir besin öğesinin veya duyusal kalite geliştiricinin istenilen miktarlarda ürüne katılımı mümkün olmaktadır. Üçüncü kütle aktarımı, ürüne ait çözünürlerin (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler, vb.) çözeltiye özütlenmesidir. Bu kayıp, su kaybı ve çözünür aktarımının yanında nicelik bakımından ihmal edilebilirse de son ürünün bileşimi açısından önemlidir [37].



Şekil 2.3 Ozmotik kurutma sırasında oluşan kütle aktarımının şematik gösterimi [38]

Ozmotik dehidrasyonun diğer kurutma işlemlerine göre en önemli avantajları; işlemin düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi nedeni ile lezzet ve aroma maddelerinin kaybının en düşük düzeyde olması, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesi ve renkte ortaya çıkan kayıpların azalmasıdır. Klasik kurutma yöntemlerine göre daha düşük enerji ihtiyacı gösteren ozmotik dehidrasyon uygulamaları, ortam sıcaklığında gerçekleştirilebilir bir işlem olması nedeni ile ısıya duyarlı meyve ve sebzelerle de kolaylıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca, ozmotik çözeltinin konsantre edilerek ya da

ozmotik katıların ilavesi ile aynı çözeltinin tekrar tekrar kullanılabilmesi, işlemin daha ekonomik yürütülmesini sağlamaktadır [39].

Ozmotik kurutma taze ürün kalitesinde minimum kayıpla suyun uzaklaştırılmasını sağlayan etkili metotlardan biridir. Ürün kalitesi üzerindeki bu olumlu etkinin sebebi olarak işlem sıcaklığının 30-50°C gibi düşük sıcaklıkta olması gösterilmektedir. Çünkü düşük sıcaklık, ozmos yoluyla yarı geçirgen hücrelerden ürüne katı madde geçişini, aynı şekilde üründen çözeltiye su çıkışını sağlayan hücre zarını olumsuz yönde etkilememektedir. Ayrıca işlem süresince ürün ozmotik çözelti içinde bekletildiği için oksijene maruz kalmadığı için antioksidan kullanımına gerek kalmamaktadır. Sıcak havada kurutma işlemi öncesi ozmotik kurutmanın bir ön işlem olarak uygulanması son ürün kalitesini geliştirmektedir. Çünkü ozmotik kurutma işlemiyle ürün oksidatif bozulmadan korunmakta, uçucu bileşen kaybı azaltılmaktadır.

Kurutma, gıda sanayinde enerjinin çok yoğun bir şekilde kullanıldığı işlemlerden biridir. Sıcak hava ile kurutmada üründen nemin uzaklaştırılması işlemi, bir faz değişikliği (suyun buharlaştırılması) yoluyla gerçekleştiği için yüksek miktarda enerji tüketimi gerekmektedir. Buna karşılık ozmotik kurutmada herhangi bir faz değişikliği söz konusu değildir. Dolayısıyla tüketilen enerji sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha düşük düzeydedir.

Ozmotik kurutmanın en önemli dezavantajları ise üründeki bazı suda çözünür bileşenlerin ozmotik çözeltiye geçmesi ve ürün nem içeriğinin yeterli mikrobiyal güvenliğin sağlanamadığı belirli bir değere kadar düşürülebilmesidir. Bu sebeple ozmotik kurutma çoğunlukla dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön işlem olarak kullanılmaktadır [40].

2.4 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ısıtma esasına dayanmakta olup elektromanyetik dalgalarla gıda arasında interaksiyon sonucu oluşan doğal bir fiziksel olaya dayanmaktadır. “Dipol rotasyon” ve “İyonik kondüktans” mikrodalga ısıtma sırasında doğal olarak gerçekleşen olaylardır. Su gibi polar moleküller eğer bir mikrodalga alanına girerlerse, dipol rotasyondan dolayı elektrik alanın yönüne uymak zorunda kalırlar ve moleküller arası sürtünme sonucu ısı

ortaya çıkar. Ayrıca, mikrodalga alanına giren iyonların iyonik kondüktansdan dolayı mobilitesinin artması sonucunda da ısı ortaya çıkmaktadır.

Gıdaların sıcak hava akımında kurutulmasının en önemli olumsuzluğu, enerjiden yararlanma oranının düşüklüğü ve “azalan kuruma hızı” aşamasında kuruma süresinin çok uzamasıdır. Bu sürenin uzaması, yüzey neminin hızla düşürülmesinin ve buna bağlı olarak da büzüşme (shrinkage) olayının bir sonucudur. Sonuçta, nem transferinde ve bazen de ısı transferinde yavaşlama ortaya çıkmaktadır. Kurumanın bu son döneminde gıdanın uzun süre yüksek sıcaklık etkisinde bırakılması, renk, besin değeri ve aroma gibi kalite kriterlerinde belirli oranlarda azalmaya neden olmaktadır. Mikrodalga kurutma sıcak hava kurutma yönteminde karşılaşılan bazı olumsuzlukları azaltmaktadır. Mikrodalga (MD) ile kurutmanın en önemli problemi homojen bir ısınmanın sağlanamayışıdır. Bu olumsuzluğu azaltabilmek için mikrodalga ile sıcak hava kurutma tekniğinin birleştirilmesi uygun bulunmuştur. Bu kombine uygulama sayesinde gıdanın iç katmanlarındaki su MD sayesinde yüzeye doğru geçişi hızlanmakta ve yüzeye ulaşan su sıcak hava akımı ile ortamdan kolayca uzaklaştırılmaktadır. Sıcak hava kurutma yönteminin MD kurutma ile kombine edilmesi sadece sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre avantajları fazladır. MD ile kurutmada hızlı bir volumetrik ısınma sağlandığından hem harcanan enerji azalmakta hem kuruma süresi kısalmaktadır. Ayrıca kalite yönünden de daha iyi ürünler elde edilmektedir. Ancak bu kombine uygulama bile kurumanın homojen olmama sorununu ortadan kaldıramamaktadır. Bu yüzden şekerce zengin ürünlerde yanma görülebilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırabilmek için uygulanan yöntemlerden biri, kurutulmakta olan ürünün MD hücresinde sabit bir hızla hareket ettirilerek ürünün farklı kısımlarının ortalama bir manyetik alana maruz kalmasını sağlamaktır. Evlerde kullanılan mikrodalgadaki dönen tablanın da amacı aynıdır. Bu şekilde mekanik yolla hareket sağlandığı gibi, pnömatik yolla; kurutma yatağında kurutulan parçacıklara akışkanlık kazandırılarak da hareket sağlanabilmektedir. Akışkanlık kazanan üründe ısı ve kütle transferi hızlanmış olmaktadır.

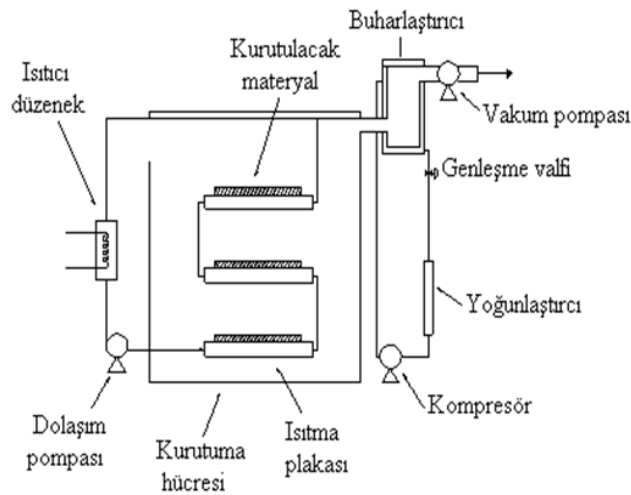
Mikrodalga ile kurutmanın en başarılı uygulamalarından biri de, kurutmanın vakum altında yapıldığı çalışmalardır. MD-vakum kurutma yöntemi ile kurutulan meyve ve sebzelerin fonksiyonel özelliklerini daha iyi korunabilmektedir [31], [41]. Bu kombinle,

gıdadaki suyun kaynama noktası düştüğünden kurutma, atmosferik basınçta yapılan kurutmaya göre daha düşük sıcaklıkta ve kısa sürede gerçekleşmektedir. MD-vakum kurutulan son ürünün kalitesi o kadar yüksektir ki liyofilizasyon yöntemiyle kurutulan ürünlerle yakın kalitede ürün oluşurken liyofilizasyondan (dondurarak kurutma) kısa sürede kurutma yapmaktadır [31], [42].

Wojdyło vd. [2] tarafından çileklerle yapılan bir çalışmada örnekler üzerine uygulanan mikrodalga-vakum, dondurarak, vakum kurutma neticesinde mikrodalga-vakum uygulanan örneklerde yüksek sıcaklık ve oksijene karşı hassas fenolik bileşenlerin ve askorbik asidin daha etkili bir şekilde korunduğu ve diğer yöntemlere göre daha kısa sürede kurutma sağladığı belirtilmiştir.

2.5 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma; liyofilizasyon olarak da adlandırılan bu yöntemde, ürün öncelikle dondurulmakta ve böylece gıdadaki suyun bulunduğu yerde buz halinde bağlanması sağlandıktan sonra bu buzun uygun koşullar altında süblime edilmesi prensibine dayanmaktadır. Kurutma sistemi Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Dondurarak kurutma cihazı [43]

Dondurarak kurutma diğer yöntemlere göre yüksek yatırım gerektirmekte ve işletme masrafları daha yüksek bulunmaktadır. Dondurarak kurutmada buharlaştırılan birim

miktardaki su için yapılan harcamalar geleneksel yöntemlerde yapılan masrafın 2-5 katıdır. Diğer taraftan kurutulan gıdanın kalitesini koruyacak şekilde kuruyabilmesi için küçük parçalar halinde ince bir tarzda kıyılıp doğranmış olması gerekmektedir. Isının dıştaki kuru tabaka üzerinden içteki buz fazına ulaştırılmasındaki güçlük, iri parçaların bu yöntemle kurutulmasını engellemektedir. Diğer taraftan kurumuş ürün gözenekli bir yapıya sahip olduğu için hızla nem ve oksijen bağlama özelliğindedir. Bu yüzden ürünler oksidasyona elverişle hale gelirler. Bu nedenle kurutma sonunda vakum hücresine azot gazı verilerek bu gözeneklere oksijenin değil azotun bağlanması sağlanır.

Dondurarak kurutmanın verilen dezavantajlarına göre birçok avantajı vardır. Değerli ve ısıl işleme duyarlı birçok ürünün kurutulmasında ticari boyutlarda uygulanmaktadır. Örneğin, dondurularak kurutulan çileklerdeki renk, aroma ve şekil açısından elde edilen kalite diğer hiçbir yöntemde elde edilememektedir. Ayrıca üründeki fonksiyonel özellikler daha fazla korunmaktadır. Kurutma sırasında üründeki su bulunduğu noktada buz olarak bağlandığı için dokuda herhangi bir sıvı hareketi olmaz bu durumda ürünün gerçek irilik ve şeklini korumasını sağlamaktadır [31], [44].

2.6 Kızılötesi Kurutma

Kızılötesi radyasyon (dalga boyu: 0,76-100 mm), ısıl enerjiyi, radyo frekansı ve mikrodalga ile ısıtmada olduğu gibi elektromanyetik dalga olarak transfer etmektedir. Kızılötesi radyasyon, yakın (0,76-2 mm), orta (2-4 mm) ve uzak (4-100 mm) olarak sınıflandırılmıştır [45].

Gıda maddeleri, kızılötesi radyasyona maruz bırakıldıklarında, ortaya çıkan enerjiyi değişen oranlarda soğurma kabiliyetine sahiptirler. Son zamanlarda kızılötesi radyasyon, gıda endüstrisinde yaygın olarak kurutma, pişirme, çözdürme, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısıl işlemlerde kullanılmaktadır. Kızılötesi kurutma diğer yöntemlerle (konvektif kurutma, dondurarak kurutma gibi) karşılaştırıldığında düşük maliyetle yüksek kalitede ürün elde etme olanağı sağladığı bildirilmektedir. Diğer avantajları ise kurutma süresinin kısalması, alternatif enerji kaynağı olması, yüksek enerji verimliliğine sahip olması, kurutma sırasında ürün sıcaklığının düzgün dağılması, işlem parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması ve yer tasarrufu sağlaması şeklinde sıralanabilir [46].

Uzak-kızılötesi kurutma son yıllarda başarılı bir şekilde meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Bu ürünler arasında patates, tatlı patates, soğan, elma yer almaktadır. Kızılötesi ısıtma, gelecek vaat eden yeni bir teknoloji olmasına karşın her kurutma işleminde kullanılamamaktadır. Gıdanın çeşidi, kalınlığı, kızılötesi ısıtma kaynağının nüfuz derinliği bu yöntemle gıda kurutmanın başarısını etkileyen faktörler arasında sıralanmaktadır [47]. Gıda örnekleri uzun süre kızılötesi radyasyona maruz kaldıklarında yapısal özelliklerinde bozulmalar meydana geldiği belirtilmektedir. Örneğin kızılötesi ısıtma uygulanan arpa tanelerinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değiştiği bildirilmiştir [46].

Sumnu vd. [48] tarafından yapılan çalışmada, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisini kullanarak havuç kurutmuşlardır. Konvektif ısıtmayla karşılaştırıldığında kurutma süresinde %98 oranında azalma olduğunu ve hazır çorbalarda kullanılabilecek yüksek kaliteli kurutulmuş ürün elde edildiğini belirtmişlerdir. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın kullanıldığı bir diğer çalışmada, ekmek içi örneklerinin kurutma süresinin yaklaşık %97-99 oranlarında azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca kızılötesi-mikrodalga ısıtmayla kurutulan ekmek içi örneklerinin renk değerlerinin konvansiyonel fırında kurutulan örneklerin renk değerleriyle benzer olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın ürün kalitesinden ödün vermeden zaman tasarrufu sağlaması avantajı, kurutma uygulamalarında açıkça görülmektedir.

Araştırmacılar, farklı kurutma şartları altında kurutulan narlarda, ön işlem uygulanan narlarda fenolik madde oranındaki azalışın ön işlem uygulanmayanlara oranla daha az gerçekleştiğini ve yüksek sıcaklık, kısa işlem süresinin narlarda bulunan biyoaktif maddelerin korunması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [16], [13].

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

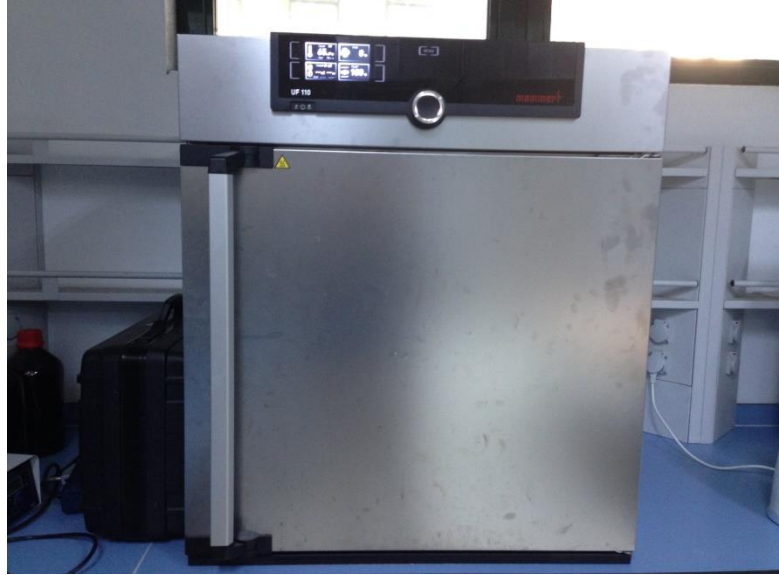
İstanbul halinden özel olarak temin edilen Satsuma çeşidi mandalinalar (*Citrus reticulate*) kurutulana kadar buzdolabında +4°C’de depolanmıştır. Mandalinanın kabuğu ve beyaz lifli kısmı (mezokarp) ayıklanarak ve tabaklara yerleştirilmiştir (Şekil 3.1). Kimyasal madde olarak; (metanol, okzalik asit, folin-ciocelteau fenol, indikatör boya (2,6-dikloroindofenol), Na_2CO_3 , AlCl_3 , NaOH ve NaNO_2) Merck ürünleri kullanılmıştır. Numunelerin başlangıç nem oranları yaş ağırlık üzerinden % $89,89 \pm 0,15$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Mandalinaların kurutmadan önceki görünümüleri

3.2 Etüv Kurutma

Partinin farklı yerlerinden alınan mandalinalar soyulup dilimlere ayrıldıktan sonra dilimlerine ayrılmıştır. Her dilimdeki beyaz görünümlü mezokarp tabaka dikkatlice soyuldu. Homojenliği artırmak mandalinadaki dilimleri her tabağa birer gelecek şekilde 8 farklı tabağa yerleştirilmiştir. Bu şekilde, her tabakta 5 adet meyveye ait dilim bulunması sağlanmıştır. Tartılarak ağırlıkları alındıktan sonra her paralelin ilk tabağı, kontrol deneme için kurutulmadan poşetlenerek -20°C'deki dondurucuya konulmuştur. Kalan tabaklar 55, 65 ve 75°C'ye ayarlı Şekil 3.2'de gösterilen etüv kurutucuda (Memmert UF110, Almanya) 1,3 m/s hava hızında kurutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 3.2 Etüv kurutma cihazı

Çalışma örnekleri 3 tekrarlı, işlem analizleri ise en az 4 paralelli olacak şekilde yapılmıştır. Örneklerin yaş ağırlık nem oranları %25'e düşene kadar kurutuldular. 75°C'de kurutulan örneklerden yarım saat arayla, 55 ve 65°C'de kurutulan örneklerde ise birer saat arayla ağırlık ölçümleri alınarak kurutma kinetiği ham verileri elde edildi. Aynı zamanda belirli aralıklarla mandalina tabaklarından rastgele numune alınarak son ağırlıkları tartılmış ve poşetlendikten sonra dondurucuya konulmuştur. Numunelerin etüvde kurutulduktan sonraki durumları Şekil 3.3' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Mandalinaların etüvde kurutulduktan sonraki görünüşleri

3.3 Vakum Kurutma

Mandalinalar soyulup, dilimlere ayrıldıktan sonra, bir tabağa her biri farklı meyveden alınan 5 dilim numune yerleştirilmiştir. İlk tabaklar kontrol deneme için kurutulmadan ağırlık ve renk ölçümleri alındıktan sonra -20°C 'deki dondurucuya konulmuştur. Kalan tabaklar ise 55, 65 ve 75°C ayarlanmış vakum kurutucuda kurutulmuş ve belirli aralıklarla ağırlık ve renk ölçümleri alındıktan sonra dondurucuya konulmuştur. Vakum kurutma sistemi; 1 adet vakum etüvü (Daihan WOV-30, Güney Kore) ve buna adapte edilen 1 adet yağlı vakum pompası (EVP 2XZ-2C, Çin) kullanılarak dizayn edilmiştir (Şekil 3.4) ve 60 mbar basınçta ve 2 L/s pompa hızında çalıştırılarak kurutma sağlanmıştır.



Şekil 3.4 Vakum kurutma cihazı

Kurutulan numunelerin her paralelinden bir tabak olmak üzere 2 tabağın, nem oranı %25'a düşene kadar, 75°C'de 20 dakika bir ağırlık ölçümleri ile renk ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda belirli aralıklarla her paralelden birer numune alınarak tartılıp, poşetlendikten sonra dondurucuya konulmuştur. Kurutulan numunelerin yüzeyinde büzüşme olmazken puf bir yapı tespit edilmiştir. Numunelerin vakum kurutucudan çıkarıldıktan sonraki görünümü Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Mandalinaların vakumda kurutulduktan sonraki görünümleri

3.4 Matematiksel Modelleme

Mandalinaların nem içeriği kuru madde üzerinden 3.1'e göre hesaplanmıştır. Daha sonra nem oranı 3.2'deki formüle göre belirlenmiştir. Elde edilen nem oranları meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan Çizelge 3.1'de gösterilen yedi farklı ince tabaka kurutma modeline uygulanmıştır.

$$M = \frac{m_y}{m_k} \quad (3.1)$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

M : t zamanındaki nem miktarı (db)

m_y : Mandalina örneklerinin içerdiği su miktarı

m_k : Mandalina örneklerinin içerdiği kuru madde (su dışındaki madde) miktarı

MR : Nem oranı

M_0 : Başlangıç nem miktarı

M_e : Denge nem miktarı

M_e miktarı, M ve M_0 miktarları yanında çok küçük olduğu için $M_e = 0$ kabul edilmiştir [49].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.3)$$

D_{eff} : Etkili nem difüzyonu (m^2/dak)

t : Kuruma zamanı (dak.)

L : Mandalina yarı-kalınlık (m)

Sıcaklığa bağlı difüzyon parametreleri Arrhenius eşitliği (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.4)$$

D_0 : Arrhenius denklemindeki üstel faktör (m^2/s)

E_a : Aktivasyon enerjisi (J/mol)

R : Gaz sabiti (8,3145 J/mol.K)

T : Kuruma sıcaklığı (Kelvin- K)

Çizelge 3.1 Mandalinaların kurutulması sırasında elde edilen verilerin kurutma modellerine uygulanması

Model Adı	Denklem	Referans
Newton (Lewis)	$MR = \exp(-k.t)$	Lewis (1921), Bruce (1985)
Page	$MR = \exp(-k.t^n)$	Page (1949), Madamba vd.(1996)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-k.t)$	Henderson and Pabis (1961)
Logarithmic	$MR = a \exp(-k.t) + c$	Togrul and Pehlivan (2003)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0.t) + b \exp(-k_1.t)$	Henderson (1974)
Wang and Singh	$MR = 1 + a.t + b.t^2$	Wang and Singh (1978)
Thompson	$t = a \ln MR + b (\ln MR)^2$	Thompson et al. (1968)

* MR : Nem oranı; a , b , c ve n kuruma katsayıları ve k , k_0 ve k_1 kuruma sabitleridir.

Etkili nem difüzyonu, Fick'in 2. kanununa dayanarak 3.3'e göre hesaplanmıştır:

3.5 Ekstraksiyon İşlemi

Dondurucudan çıkarılan taze ve kurutulmuş mandalina dilimleri cam kavanozlara konularak, kurutulan numunelerin üzerlerine kurutma sırasında kaybettikleri kadar su ilave edilerek gece boyunca rehidrasyona bırakılmıştır. Taze ve rehidre olan mandalina dilimleri 80:20 oranında metanol-su karışımıyla karıştırılıp ve karışım, analog homojenizator (Daihan HG15A, Güney Kore) ile 10,000 rpm şiddetinde 1 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra 2 saat boyunca oda sıcaklığında çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. Karışım 4,000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiş

(Hettich 320R, Almanya) ve süpernatant filtre edilerek ekstraksiyon işlemi tamamlanan numuneler Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Mandalinaların ekstraksiyon işlemi sonrası görünüşleri

3.6 Toplam Fenolik Madde Analizi

Singleton ve Rossi [50]’e göre toplam fenolik madde içeriği (TFM), 0,5 mL ekstrakt üzerine 2,5 mL distile su eklenmiş ve ardından 30 sn aralıkla her tüpe 2,5 mL Folin-Ciocalteu Fenol çözeltisi (0,2N) ilave edilerek 30 sn boyunca vortekste karıştırılmıştır. Ardından 2 mL Na_2CO_3 (%7,5) ilave edildikten sonra oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 30. dakikasında 760 nm değerinde UV/VIS spektrofotometre cihazı (Shimadzu UV-1800, Japonya) kullanılarak absorbans değerleri ölçülmüş ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE), gallik asit eşdeğeri/g olarak verilmiştir [51].

3.7 Toplam Flavonoid Madde Analizi

Zhisten vd. [52]’e göre toplam flavonoid madde miktarı (TFLM), 5 mL ekstrakt ile 0,3 mL NaNO_2 (%5), 0,3 mL AlCl_3 (%10) ve 2 mL NaOH (1M) karıştırılmış ve son olarak toplam karışım saf su ile hacme tamamlanmıştır. Karışımın absorbans değeri 510 nm’de ölçülmüştür. TFLM içeriği kateşin eşdeğeri/g birim olarak alınmıştır.

3.8 Antioksidan Kapasitesi (DPPH İndirgeme) Analizi

Antioksidan kapasitesi örneklerin DPPH radikalini indirgeme esasına göre yapılmıştır. Elde edilen ekstraktan 0,1 mL alınarak 4,9 mL 0,1 M DPPH metanol içindeki solüsyona eklenmiştir ve 30 dakika oda sıcaklığında ve karanlıkta bekletildikten sonra 517 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır. Kontrol olarak ise örnek yerine metanol konularak aynı işlemler yapılmıştır. Antiradikal aktivite (%ARA) 3.5'e göre hesaplanmıştır [53] :

$$\%ARA = [(A_k - A_0) / A_k] \times 100 \quad (3.5)$$

A_k : Kontrol örnek absorbans değeri (metanol)

A_0 : Örnek absorbans değeri

3.9 C Vitamini Analizi

Ekstraksiyon işlemi öncesinde, taze ve kurutulmuş mandalinaların içinden 5 g alınıp 4,5 mL % 0,4'luk okzalik asit ile homojenize edilmiş ve karışım 4,000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüjlendikten sonra filtreden geçirilen örneğin içinden 1 mL ekstrakt alınarak üzerine 9 mL indikatör boya (2,6-dikloroindofenol) ilave edilerek karıştırılmış ve bu karışım 518 nm dalga boyunda absorbans değeri ölçülmüştür [54].

3.10 Termal Degradasyon Kinetiği

Biyoaktif madde ve antioksidan kapasite degradasyon kinetiği birinci derece kinetik modelleme yöntemiyle 3.6'ya göre tanımlanmıştır:

$$C = C_0 \exp (-k t) \quad (3.6)$$

C: Kurutma sırasındaki biyoaktif madde miktarı ve antioksidan kapasitesi

C_0 : Kurutmadan önceki biyoaktif madde miktarı ve antioksidan kapasitesi

k : Kurutma kinetiği hız sabiti

Yarılanma ömrü $t_{1/2}$ ise 3.7'ye göre hesaplanmıştır:

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \quad (3.7)$$

Mandalinalardaki biyoaktif maddeler ve antioksidan kapasitesinin değişiminin kurutma sıcaklığına bağlılığı Arrhenius eşitliği (3.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k = A_0 \exp(E_a / RT) \quad (3.8)$$

E_a = Aktivasyon enerjisi (J/ mol)

R = İdeal gaz sabiti (8.3145 J/ mol K)

T : Sıcaklık (K)

3.11 Renk Ölçümü

Örneklerin renk ölçümü, (Konica Minolta CR-400, Japonya) cihazı ile kurutulmadan önce ve kurutulduktan sonra iki farklı noktadan okunan renk değerlerinin ortalaması alınarak yapılmıştır. Ölçümler yapılmadan önce cihaz beyaz seramik kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiş ve ölçümleri alınmıştır. Renk değerleri L^* , a^* ve b^* şeklinde tanımlanmıştır. L^* değeri beyazlık-siyahlık göstergesi olup 0 (siyah) ile 100 (beyaz) değerleri arasında, a^* değeri yeşillik-kırmızılık olup -60 (yeşil) ile +60 (kırmızı) değerleri arasında ve b^* değeri mavilik-sarılık göstergesi olup -60 (mavi) ile +60 (sarı) değerleri arasında değişimi göstermektedir. Toplam renk değişimi (ΔE) 3.9'a göre hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.9)$$

3.12 Toplam Enerji Tüketimi

Toplam enerji tüketimi Başlar ve Ertugay [55]' in kullanmış oldukları yöntemle göre yapılmıştır. Enerji sarfiyatı ölçülecek sisteme ait tüm kablolar grup prize bağlanmış ve grup priz enerjimetreye (PeakTech 9035, Almanya) bağlanarak doğrudan okuma yapılarak enerji sarfiyatları belirlenmiştir.

3.13 İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analizler SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılarak hesaplanmıştır. İşlem parametreleri arasındaki farklılıkları belirlemek için $P < 0.05$ seviyesinde varyans analizi (ANOVA) uygulandı. İstatistik programından elde edilen determinasyon katsayısının (R^2) yanı sıra 3.10'dan elde edilen RMSE (ortalama hata karenin karekökü) ve 3.11'den elde edilen ki-kare (χ^2) parametreleri kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sırasında R^2 değerinin 1'e yakın olması; RMSE ve χ^2 değerlerinin sıfıra yakın olması uyum iyiliğinin daha iyi olduğu yönünde değerlendirme yapılmıştır [56].

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3.11)$$

$MR_{exp,i}$: Örnek nem oranı

$MR_{pre,i}$: Tahmini nem oranı

i : Gözlem numarası

N : Gözlem sayısı

z : Modelde bulunan sabit değer sayısı

ARAŞTIRMA BULGULARI

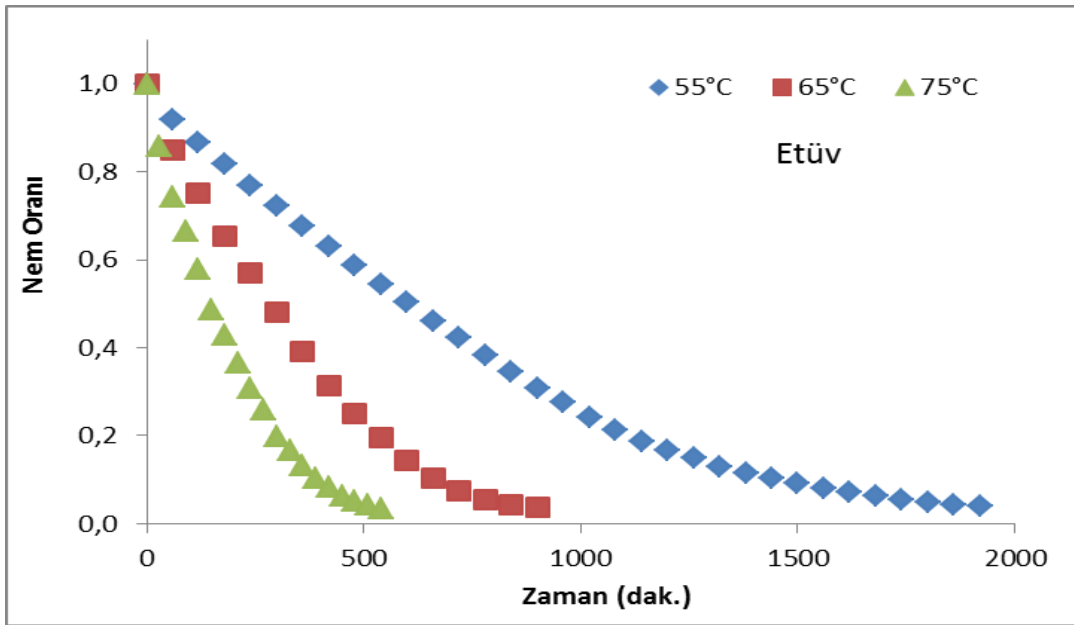
4.1 Kurutma Kinetiği

Mandalinaların başlangıç nem oranları yaş ağırlık cinsinden (wb) $89,89 \pm 0,15$ olarak belirlenmiş ve %25 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Havalı kurutucuda 55, 65 ve 75°C değerindeki kuruma süreleri sırasıyla 1920, 900 ve 540 dakika olurken, vakum kurutucuda ise bu süreler 720, 540 ve 330 dakika olarak belirlenmiştir. Vakum kurutmada, etüv kurutmaya kıyasla 55°C'de %62,5; 65°C'de %40; 75°C'de %39 oranında daha kısa süreyle kurutma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uygulanan sıcaklık değerleri kuruma sürelerinin azalmasında önemli bir role sahip olduğu tespit edilmiştir ve yüksek sıcaklıkta kuruma sürelerinde azalma olmuş ve bu olay sıcaklıkla ısı ve kütle transferi arasındaki pozitif ilişkiyle açıklanmıştır. Diğer bir deyişle, düşük sıcaklıkta su kaybının yavaş olmasının nedeni ısı ve kütle transferin nispeten yavaş olmasıdır. Ayrıca, örneklerle uygulanan yüksek sıcaklık buhar basıncında da yükselişe neden olmuştur. Tüm bu etkenlere bağlı olarak, yüksek sıcaklıkta nemin merkezden dışarıya doğru olan geçişi hızlandığı ifade edilmektedir [49]. Kurutma sistemindeki enerji tüketimi uygulanan metoda ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir.

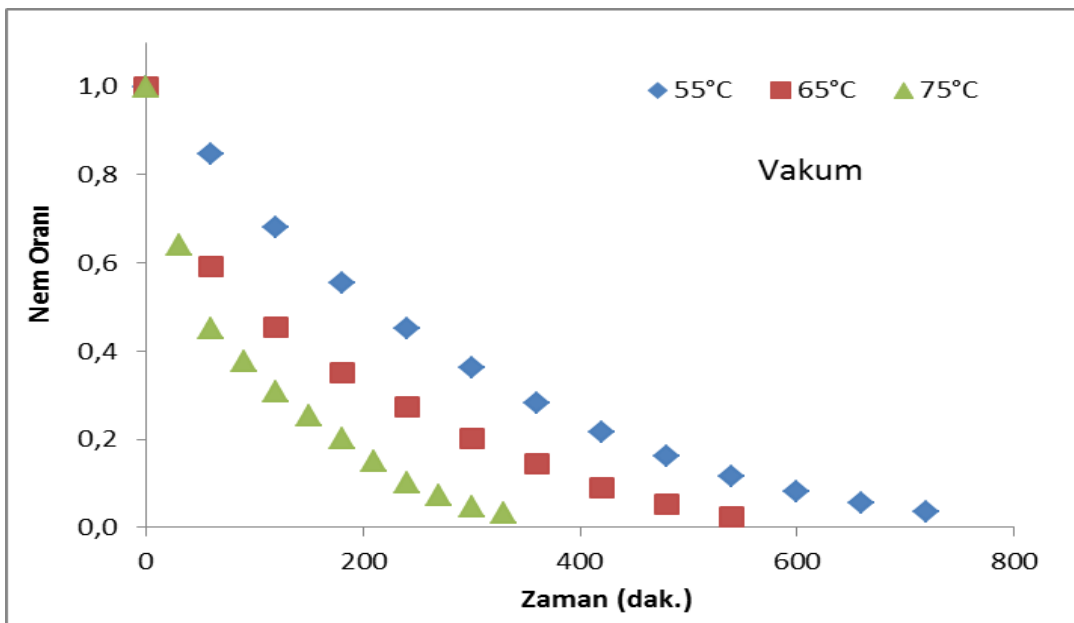
Toplam enerji tüketimi ise 55, 65 ve 75°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla etüvde 5,2, 3,1 ve 2,4 kWh; vakumda 3,6, 3,0 ve 2,0 kWh olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılabileceği üzere, vakum kurutma etüvde kurutmaya göre daha ucuz bir yöntemdir. Ayrıca, sıcaklık artışı her iki sistemde de enerji sarfiyatının azalmasına sebep olmaktadır.

4.2 Modelleme

Alınan veriler doğrultusunda Şekil 4.1 ve 4.2’de farklı proses ve sıcaklık şartları altında süreye bağlı nem oranlarındaki (MR) değişim belirlenmiştir. Hesaplanan model parametreleri ve istatistiksel parametreler Çizelge 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Mandalinaların etüv kurutmada süreye bağlı nem oranlarındaki değişim



Şekil 4.2 Mandalinaların vakum kurutmada süreye bağlı nem oranlarındaki değişim

Çizelge 4.1 Mandalinaların etüv kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatistiksel parametreler

Model	Parametreler	Sıcaklık Değerleri		
		55 °C	65 °C	75 °C
Lewis	$k \times 10^{-3}$	1,328	2,838	5,129
	R ²	0,982	0,981	0,992
	RMSE	0,03949	0,04156	0,02605
	χ^2	0,00161	0,00184	0,00072
Page	$k \times 10^{-3}$	0,249	0,620	2,444
	N	1,248	1,253	1,136
	R ²	0,997	0,996	0,997
	RMSE	0,01643	0,02030	0,01598
	χ^2	0,00029	0,00047	0,00029
Henderson and Pabis	$k \times 10^{-3}$	1,403	2,966	5,261
	A	1,056	1,046	1,026
	R ²	0,986	0,984	0,993
	RMSE	0,03489	0,03827	0,02456
	χ^2	0,00130	0,00167	0,00067
Logarithmic	$k \times 10^{-3}$	0,996	2,036	4,173
	A	1,178	1,193	1,097
	C	-0,166	-0,187	-0,100
	R ²	0,997	0,997	0,999
	RMSE	0,01723	0,01687	0,01039
	χ^2	0,00033	0,00035	0,00013
Two-term	$k_1 \times 10^{-3}$	0,639	5,020	8,097
	$k_2 \times 10^{-3}$	0,629	5,050	8,153
	A	69,258	123,5	80,08
	B	-68,248	-122,6	-79,10
	R ²	0,997	0,996	0,998
	RMSE	0,01582	0,01828	0,01299
	χ^2	0,00028	0,00045	0,00021

Çizelge 4.1 Mandalinaların etüv kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatiksel parametreler (devam)

Model	Parametreler	Sıcaklık Değerleri		
		55 °C	65 °C	75 °C
Wang & Singh	$a \times 10^{-3}$	-1,004	-2,120	-3,848
	$b \times 10^{-3}$	0,264	1,163	3,893
	R^2	0,999	0,999	0,997
	RMSE	0,00807	0,00973	0,01750
	χ^2	0,00007	0,00011	0,00034
Thompson	A	-848,8	-403,7	-218,6
	B	-85,499	-44,16	-18,76
	R^2	0,995	0,994	0,998
	RMSE	38,33	21,60	7,60
	χ^2	1564	533	65

Çizelge 4.2 Mandalinaların vakum kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatiksel parametreleri

Model	Parametreler	Sıcaklık Değerleri		
		55 °C	65 °C	75 °C
Lewis	$k \times 10^{-3}$	3,571	6,053	10,492
	R^2	0,991	0,980	0,975
	RMSE	0,02813	0,04045	0,04325
	χ^2	0,00086	0,00182	0,00204
Page	$k \times 10^{-3}$	1,313	16,900	30,545
	N	1,173	0,808	0,777
	R^2	0,999	0,992	0,994
	RMSE	0,01065	0,02548	0,02148
	χ^2	0,00013	0,00081	0,00055

Çizelge 4.2 Mandalinaların vakum kurutma metoduna göre hesaplanan model ve istatistiksel parametreler (devam)

Model	Parametreler	Sıcaklık Değerleri		
		55 °C	65 °C	75 °C
Henderson and Pabis	$k \times 10^{-3}$	3,705	5,736	9,777
	A	1,037	0,950	0,936
	R^2	0,993	0,984	0,981
	RMSE	0,02463	0,03622	0,03761
	χ^2	0,00072	0,00164	0,00170
Logarithmic	$k \times 10^{-3}$	2,880	6,153	11,252
	A	1,127	0,935	0,914
	C	-0,116	-0,022	0,041
	R^2	1,000	0,984	0,984
	RMSE	0,00655	0,03555	0,03493
	χ^2	0,00006	0,00181	0,00163
Two-term	$k_1 \times 10^{-3}$	5,799	5,736	9,777
	$k_2 \times 10^{-3}$	5,843	5,736	9,777
	a	75,90	15,56	21,00
	b	-74,90	-14,61	-20,06
	R^2	0,999	0,984	0,981
	RMSE	0,00991	0,03622	0,03761
	χ^2	0,00014	0,00219	0,00212
Wang & Singh	$a \times 10^{-3}$	-2,701	-4,297	-7,241
	$b \times 10^{-3}$	1,926	4,836	11,606
	R^2	0,998	0,934	0,911
	RMSE	0,01235	0,07222	0,08113
	χ^2	0,00018	0,00652	0,00790
Thompson	a	-324,1	-202,5	-109,3
	b	-33,13	-14,41	-3,262
	R^2	1,000	0,986	0,987
	RMSE	3,85	20,67	12,01
	χ^2	18	534	173

Yüksek R^2 değeri ile düşük RMSE (ortalama hata karenin karekökü) ve χ^2 değerlerine göre ince tabaka kurutma kinetiği için en iyi model, etüv ve vakum kurutma için Page modeli seçilmiştir. Page modeline göre; etüv kurutmada için R^2 değerleri 0,996-0,997 bulunurken, vakum kurutmada bu değerler 0,992-0,999 arasında bulunmuştur. Karaaslan vd. [35] tarafından yapılan çalışmaya göre de narlarda Page modelinin en uygun model olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, veriler diğer modellere uygulandığında R^2 etüvde 0,979-0,999 değerinde bulunurken vakumda 0,911-1,000 olarak belirlenmiştir. Page modeli için 55, 65 ve 75°C sıcaklıkta k değerleri sırasıyla etüv kurutma için $0,249 \times 10^{-3}$, $0,620 \times 10^{-3}$ ve $2,444 \times 10^{-3}$ olurken, vakumda bu değerler $1,313 \times 10^{-3}$, $16,900 \times 10^{-3}$ ve $30,545 \times 10^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında vakumlama işleminin düşük sıcaklıkta buhar basıncının yükselmesi sonucunda örnekteki suyun merkezden dışarıya doğru geçişini hızlandırdığı sonucu elde edilmiştir.

4.3 Kurutma Sistemlerindeki Etkili Nem Difüzyonu ve Aktivasyon Enerjisi

Etkili nem difüzyonu (D_{eff}), Fick'in ikinci kanunu ve gıdaların kurutulması sırasında ortalama nemdeki periyodik düşüş oranı olarak tanımlanmıştır. D_{eff} değerleri 3.3'e göre hesaplanmış ve Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Mandalinaların etkili nem difüzyon (D_{eff}) değerleri ve aktivasyon enerjileri (E_a)

Kurutma Metodu	Sıcaklık (°C)	D_{eff} (m ² /s)	R^2	E_a (kJ/mol)
Etüv Kurutma	55	$0,353 \times 10^{-7}$	0,905	56,447 ($R^2=0,992$)
	65	$0,758 \times 10^{-7}$	0,905	
	75	$1,370 \times 10^{-7}$	0,928	
Vakum Kurutma	55	$0,952 \times 10^{-7}$	0,916	49,713 ($R^2=0,999$)
	65	$1,605 \times 10^{-7}$	0,952	
	75	$2,764 \times 10^{-7}$	0,956	

Yükselen sıcaklık değerleri mandalina dilimleri içindeki su moleküllerinin yüzeye taşınmasını hızlandırdığı görülmektedir. Sonuçlar kurutma süreleri ile kurutma sabitleri (k) arasında düzenli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Etüvde kurutulan örneklerdeki D_{eff} değeri $3,53 \times 10^{-8} - 1,37 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişirken vakum kurutucuda $9,52 \times 10^{-8} - 2,764 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişim gözlenmektedir. Çalışma sonuçları Karaaslan vd. [35] ve Doymaz [57] tarafından yapılan çalışmalarla oldukça benzerlik göstermektedir. Etüv ve vakum kurutma için aktivasyon enerjileri sırasıyla 56,447 kJ/mol ve 49,713 kJ/mol olarak belirtilmiş ve bu değerler yüksek R^2 değerleri ile 0,992 ve 0,999 tanımlanmıştır. Toplam enerji tüketimi ile kurutmanın aktivasyon enerjisi arasında benzer bir değişim gözlenmektedir. Aktivasyon enerjisi (E_a) ne kadar düşük ise difüzyonun başlayabilmesi için gerekli enerji de o kadar azdır. Vakum kurutmada E_a değeri daha düşük olduğu için etüv kurutmaya göre daha az enerji sarfiyatı olmuştur. Bu yüzden, vakum kurutmanın etüv kurutmaya göre daha ekonomik bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

4.4 Toplam Fenolik Bileşiklerin Degradasyon Kinetiği

Taze mandalina dilimlerinde, başlangıçta toplam fenolik madde (TFM) miktarı $639,41 \pm 18,44 \text{ mg/kg}$ gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak belirlenmiştir. Kurutma sırasındaki mandalinaların toplam fenolik madde degradasyon kinetik parametreleri Çizelge 4.4 ve 4.5’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Mandalinaların etüv kurutma sırasında biyoaktif maddelerin kinetik degradasyon parametreleri

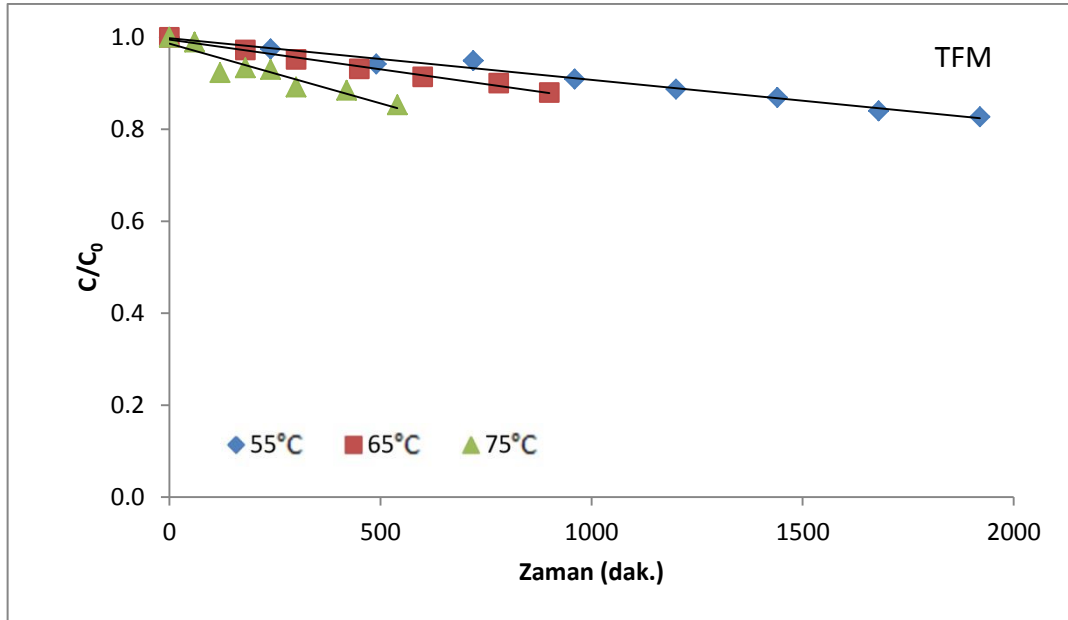
Biyoaktif Özellikler	Sıcaklık (°C)	R^2	$k (\times 10^{-3})$	$t_{1/2}$ (dak.)	E_a (kJ/mol)
Toplam Fenolik Madde (mg/kg)	55	0,983	0,099±0,003	7001	55,037 ($R^2=0,957$)
	65	0,988	0,144±0,004	4814	
	75	0,872	0,321±0,025	2159	
Toplam Flavonoid Madde (mg/kg)	55	-	-	-	-
	65	-	-	-	
	75	-	-	-	
DPPH (%ARA)	55	0,957	0,240±0,013	2888	39,988 ($R^2=0,971$)
	65	0,966	0,291±0,014	2382	
	75	0,940	0,506±0,027	1370	
C Vitamini (mg/kg)	55	0,948	0,497±0,032	1394	46,248 ($R^2=0,966$)
	65	0,932	0,661±0,054	1049	
	75	0,932	1,217±0,077	569	

*Tem: Kurutma sıcaklığı; E_a : Aktivasyon enerjisi

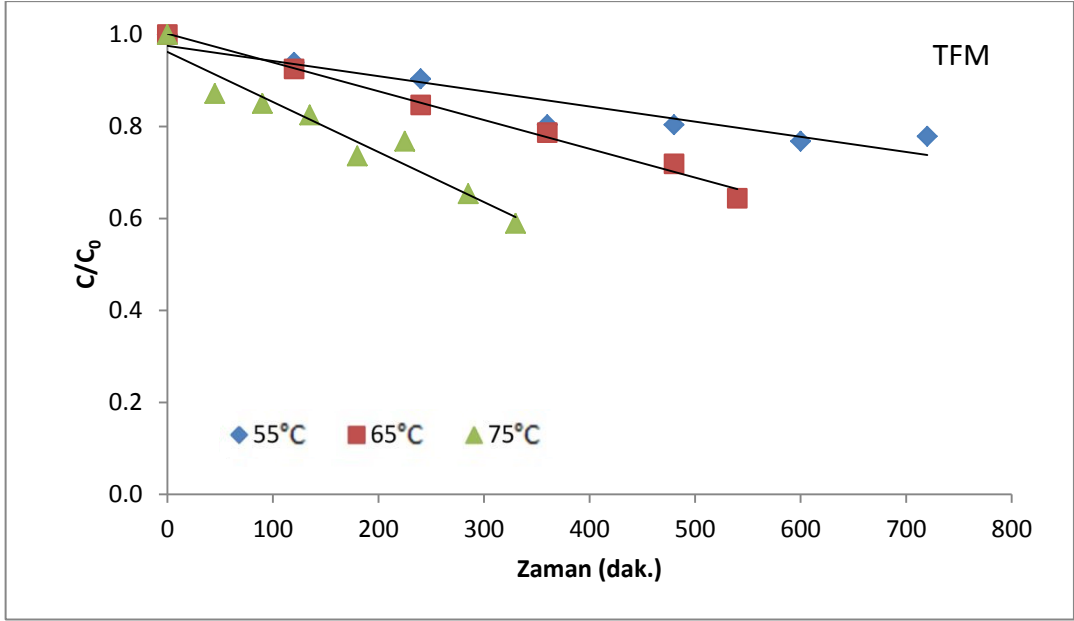
Çizelge 4.5 Mandalinaların vakum kurutma sırasında biyoaktif maddelerin kinetik degradasyon parametreleri

Biyoaktif Özellikler	Sıcaklık (°C)	R^2	$k (\times 10^{-3})$	$t_{1/2}$ (dak.)	E_a (kJ/mol)
Toplam Fenolik Madde (mg/kg)	55	0,897	0,430±0,032	1612	55,124
	65	0,982	0,727±0,029	953	($R^2=0,976$)
	75	0,926	1,519±0,095	456	
Toplam Flavonoid Madde (mg/kg)	55	0,909	0,329±0,023	2107	48,230
	65	0,883	0,422±0,047	1643	($R^2=0,952$)
	75	0,943	0,828±0,042	837	
DPPH (%ARA)	55	0,911	0,233±0,020	2975	41,850
	65	0,912	0,621±0,059	1116	($R^2=0,838$)
	75	0,907	0,737±0,058	940	
C vitamini (mg/kg)	55	0,971	0,292±0,013	2374	51,275
	65	0,925	0,444±0,038	1561	($R^2=0,979$)
	75	0,888	0,869±0,075	798	

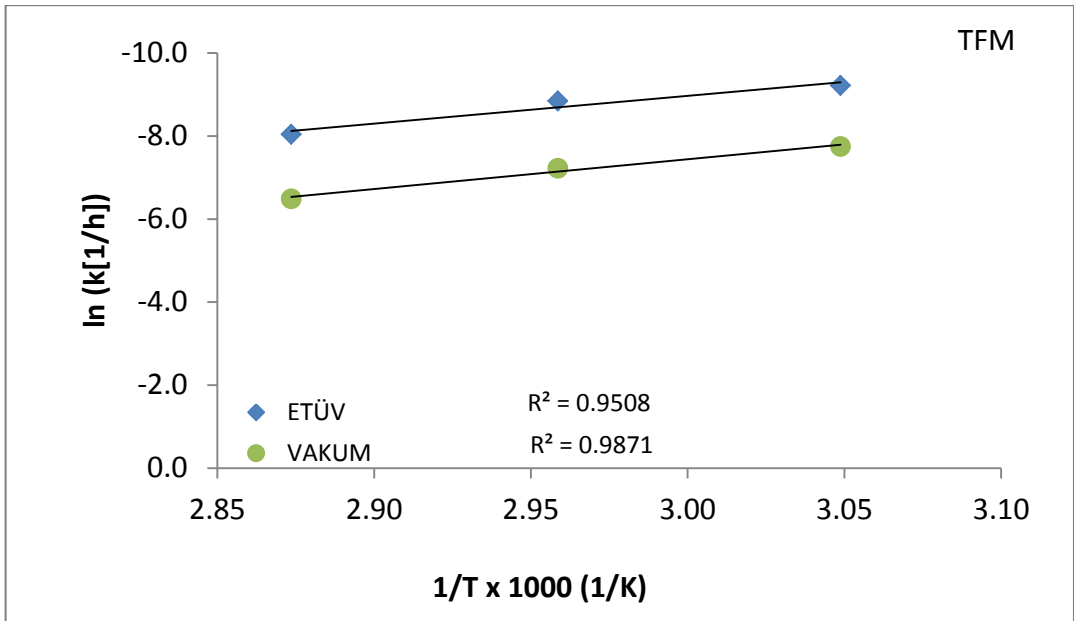
Bu çizelgelerden de anlaşılacağı üzere; etüv ve vakum kurutmada artan sıcaklık değerleriyle birlikte k değerleri de artmaktadır. TFM degradasyonunda k değerleri etüvde $0,099\pm0,003\times10^{-3}$ – $0,321\pm0,025\times10^{-3}$ aralığında değişirken vakumda $0,430\pm0,032\times10^{-3}$ – $1,519\pm0,095\times10^{-3}$ aralığında değişim göstermektedir. Ayrıca vakum kurutmada aktivasyon enerjisi etüve göre daha düşük olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik maddedeki değişim etüv için %12,0- %17,5 (Şekil 4.3) aralığında belirlenirken vakum için %22,2- %41,1 (Şekil 4.4) aralığında belirlenmiştir. Vakum kurutmada etüv kurutmaya göre daha fazla degradasyon gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu degradasyon etüvde artan sıcaklıkla birlikte artış gösterirken vakum kurutmada tam tersi şekilde artan sıcaklıkla azalış göstermiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.3 Mandalinaların etüv kurutmada zamana bağlı toplam fenolik madde değişimi



Şekil 4.4 Mandalinaların vakum kurutmada zamana bağlı toplam fenolik madde değişimi



Şekil 4.5 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada fenolik degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması

Stéger-Maté vd. [58], tarafından yapılan bir çalışmada siyah kuş üzümü, vakum kurutmada fenolik madde degradasyonu etüv kurutmaya göre daha yüksek olarak belirlenmiştir. Nótin vd. [48] tarafından siyah kuş üzümüyle ilgili yapılan çalışmada ise

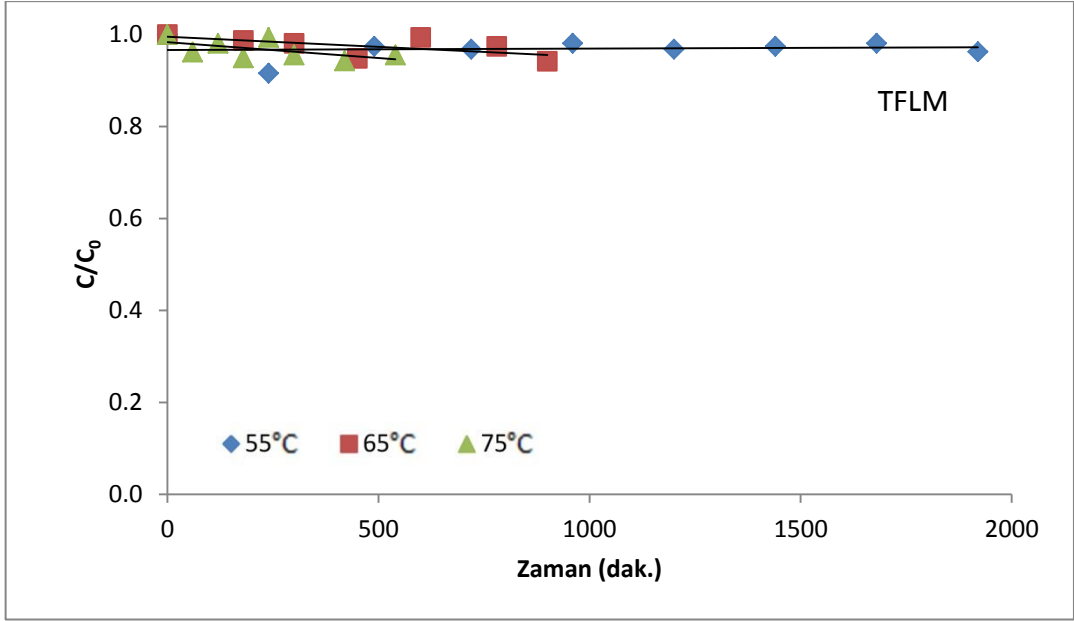
havalı kurutma uygulanan örneklerde en yüksek sıcaklık değeri olan 60°C'de yapılan kurutmadaki örneklerin fenolik içeriği vakum kurutma uygulananlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, havalı kurutmada azalan sıcaklık değeriyle birlikte fenolik içerikteki degradasyonun artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak Karaman vd. [43] ve Ruiz vd. [59] yapmış oldukları çalışmalarda, vakum kurutmada havalı kurutmaya göre fenolik madde degradasyonunun düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre mandalina dilimlerindeki fenolik madde degradasyonu vakum kurutmada etüv kurutmaya göre daha yüksek olarak bulunmuştur. Stéger-Maté vd. [58] ve Nótin vd. [48] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Kurutma sırasında gerçekleşen termal degradasyondan dolayı fenolik madde içeriklerinde düşüş olmuştur. Buna ek olarak uçucu ve yarı-uçucu fenolik maddeler vakum kurutucuda örneklerdeki su ile birlikte buharlaşmaktadır. Farklı ürünlerdeki fenolik madde degradasyon düzeyi toplam fenolik madde kalitesi ve profili, proses sıcaklığı gibi kurutma şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

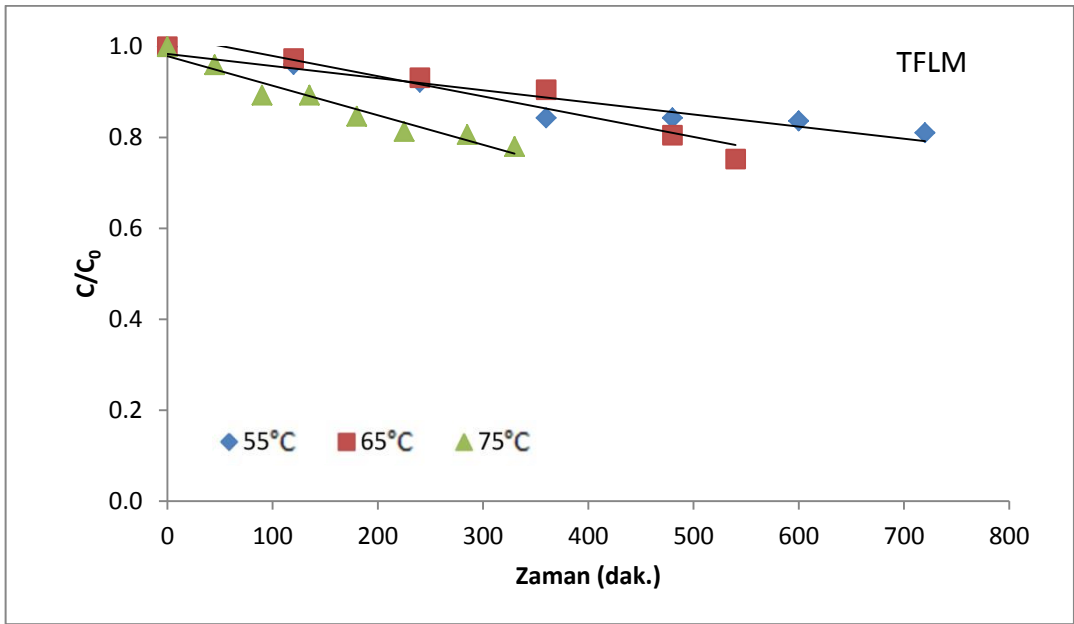
4.5 Toplam Flavonoid Bileşiklerin Degradasyon Kinetiği

Taze mandalina dilimlerinde, başlangıçta toplam flavonoid madde (TFLM) miktarı $20,29 \pm 0,23$ mg/kg kateşin eşdeğeri olarak belirlenmiştir. Kurutma sırasında mandalinalarda bulunan flavonoid bileşiklerin degradasyon kinetik parametreleri Çizelge 4.4 ve 4.5'de gösterilmiştir. Çizelge 4.5'de belirtildiği gibi artan sıcaklık değerleriyle birlikte k değerinde de artış olduğu belirlenmiştir ve k değeri $0,329 \pm 0,023 \times 10^{-3} - 0,828 \pm 0,042 \times 10^{-3}$ aralığında bulunurken etüv kurutma TFLM birinci derece degradasyon modeline uygulanamamıştır.

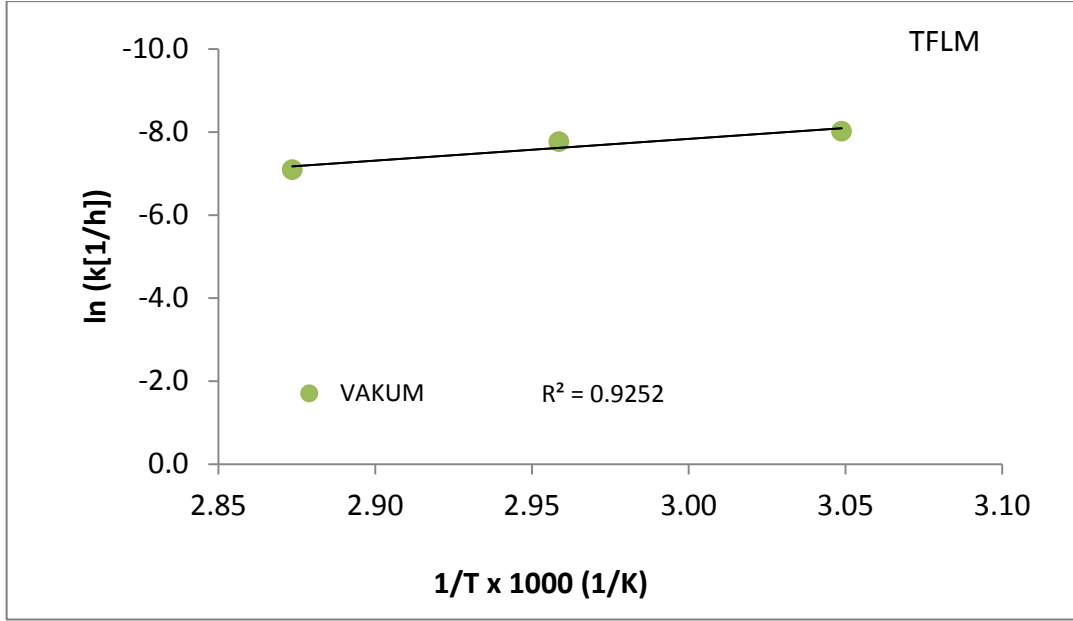
Örneklerdeki TFLM miktarı, etüv kurutmada %3,75-%5,82 arasında (Şekil 4.6), vakum kurutmada %19-%22 arasında (Şekil 4.7) azalış göstermiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere TFLM degradasyonu, vakum kurutmada etüv kurutmaya kıyasla 4-5 kat fazla gerçekleşmiştir. Ayrıca degradasyon, etüv kurutucuda değişen sıcaklık eğrileriyle birlikte önemli bir değişim görülmezken vakum kurutucuda artan sıcaklık değerleriyle birlikte degradasyon artmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.6 Mandalinaların etüv kurutmada zamana bağlı toplam flavonoid bileşiklerinin degradasyonu



Şekil 4.7 Mandalinaların vakum kurutmada zamana bağlı toplam flavonoid bileşiklerinin degradasyonu



Şekil 4.8 Mandalinaların vakum kurutmada flavonoid degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması

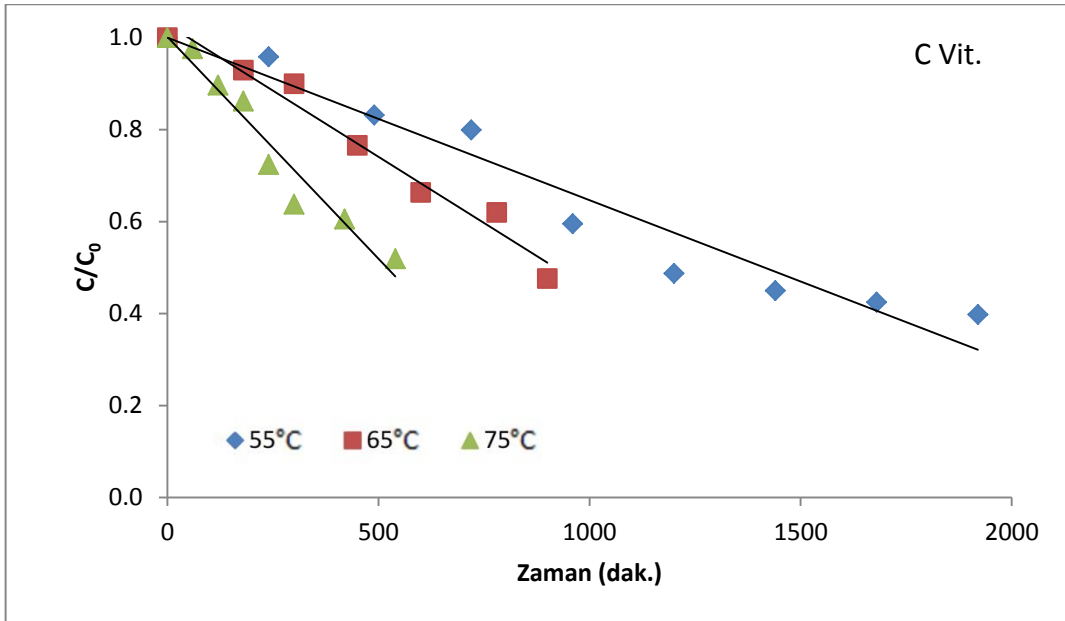
4.6 C Vitamini Degradasyon Kinetiği

Askorbik asit, oksijen varlığı, sıcaklık ve ışık gibi faktörlerden çok çabuk etkilenecek şekilde parçalanabilir. Bu degradasyon mekanizması gıdanın özelliklerine göre de değişebilir. Etüvde yapılan kurutma sırasında yüksek sıcaklık ve oksijen varlığından dolayı degradasyon gerçekleşir. Ayrıca, vakum kurutma oksijensiz koşullar altında gerçekleştiği için etüv kurutmanın degradasyon potansiyeli daha yüksektir. Askorbik asidin degradasyonu, oksijensiz ortamda, daha yavaş gerçekleşir ve vakum kurutmada kurutma sıcaklığı degradasyonu etkileyen temel parametrelerdendir [60].

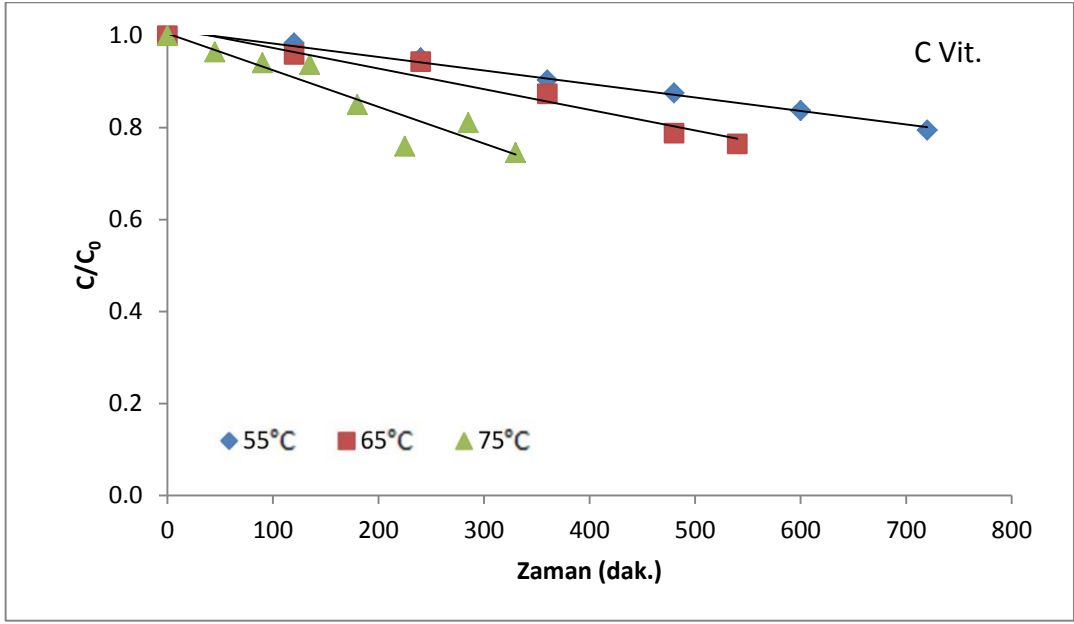
Kurutmadan önce, taze durumdaki mandalinaların başlangıç C vitamin değeri $148,42 \pm 4,65$ mg/kg'dır. Çizelge 4.5'de C vitamini degradasyonundaki k değerleri etüvde $0,497 \pm 0,032 \times 10^{-3} - 1,217 \pm 0,077 \times 10^{-3}$; vakumda $0,292 \pm 0,013 \times 10^{-3} - 0,869 \pm 0,075 \times 10^{-3}$ aralığında değişim göstermektedir. Etüvde, en yüksek sıcaklık (75°C) ve en kısa (540 dak.) uygulanan kurutmada, C vitamini değerlerinde %48,10-%57,57 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9). Ancak, vakum kurutmada en düşük sıcaklık (55°C) ve en uzun (720 dak.) uygulanan işlemlerde C vitamini değerlerinde %20,5-%25,5 oranında düşüş olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10).

Sonuç olarak, etüv kurutmada C vitamini degradasyonu vakum kurutmada gerçekleşenin iki katı oranında olmuştur. Etüv kurutmada artan sıcaklık değerleriyle birlikte C vitamini degradasyonunda azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.11)

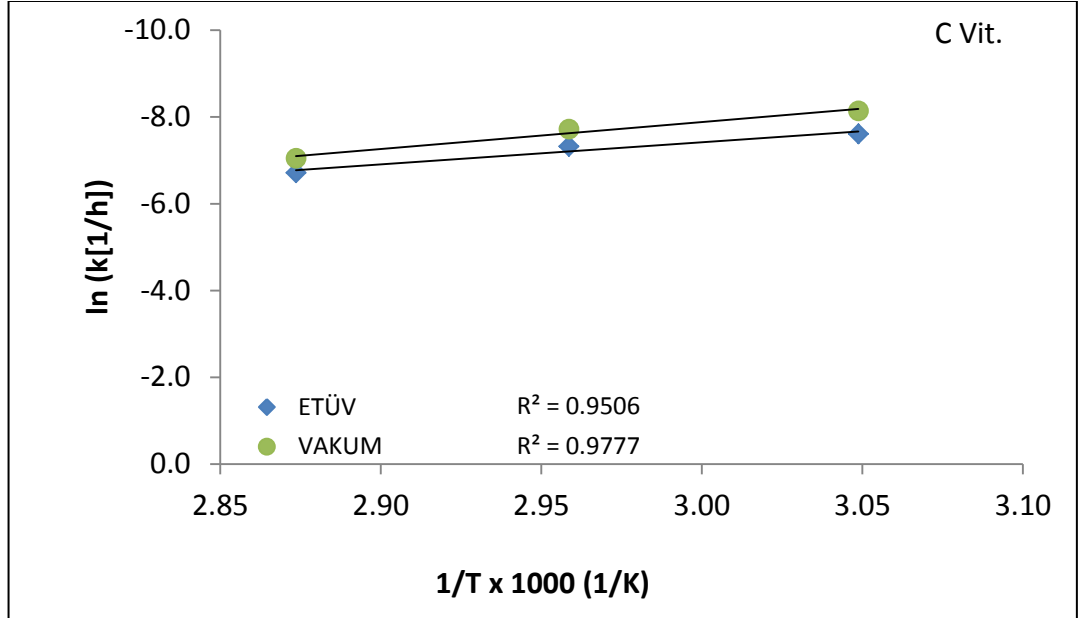
Vieira vd. [61] yapmış oldukları çalışmada oksijensiz şartların, askorbik asit degradasyonunu yarı yarıya ya da 1/3 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Stéger-Maté vd. [58] tarafından yapılan benzer bir çalışmada, en düşük sıcaklık değerinde (40°C) ve vakum altında kurutulan siyah kuş üzümünün en yüksek C vitamini değerine sahip olduğu rapor etmişlerdir. Orikasa vd. [62] kiviyle yaptıkları çalışmada askorbik asit degradasyonunun etüv ve vakum kurutmada sırasıyla %12-25 ve %1-10 oranlarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Yine benzer şekilde vakumda düşük sıcaklık ve etüvde yüksek sıcaklık uygulanan kurutmalarda askorbik asit oranının korunduğu fakat mandalinalardaki C vitamini degradasyonunun, vakum kurutmada etüv kurutmadan daha düşük düzeyde gerçekleştiği belirtilmiştir.



Şekil 4.9 Mandalinaların etüv kurutmadaki C vitamini degradasyonu



Şekil 4.10 Mandalinaların vakum kurutmadaki C vitamini degradasyonu

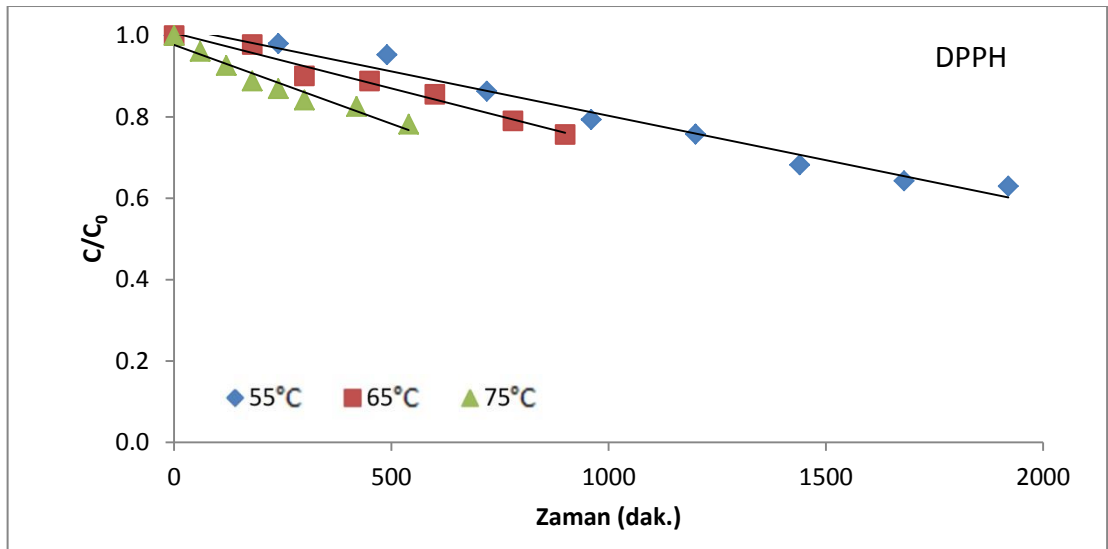


Şekil 4.11 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada C vitamini degradasyonunun Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması

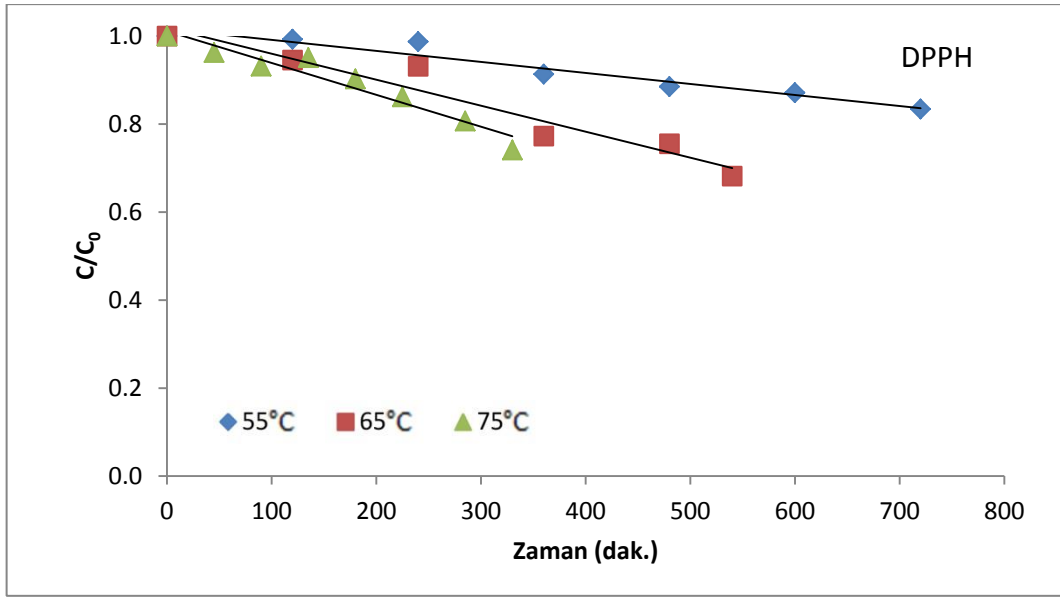
4.7 Antioksidan Aktivite Değişim Kinetiği

Kurutulmadan önce taze haldeki mandalinaların DPPH serbest radikal yakalayıcı kapasitesine göre başlangıç antiradikal aktivitesi (ARA) $12,35 \pm 0,59$ olarak belirlendi. Antioksidan aktivite için k değerleri etüvde $0,240 \pm 0,013 \times 10^{-3}$ – $1,237 \pm 0,077 \times 10^{-3}$ ile vakumda $0,292 \pm 0,013 \times 10^{-3}$ – $0,737 \pm 0,058 \times 10^{-3}$ arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Etüv kurutmada 75°C sıcaklıkta optimum antioksidan aktivite gerçekleşmekte (Şekil 4.12) ve azalan sıcaklık değerleriyle birlikte degradasyon artmaktadır (Şekil 4.14). Ancak, vakum kurutmada düşük sıcaklık değerinde (55°C) optimum antioksidan aktivite gerçekleşmekte (Şekil 4.13) ve sıcaklık farklılığında düzenli bir değişim olmamaktadır (Şekil 4.14).

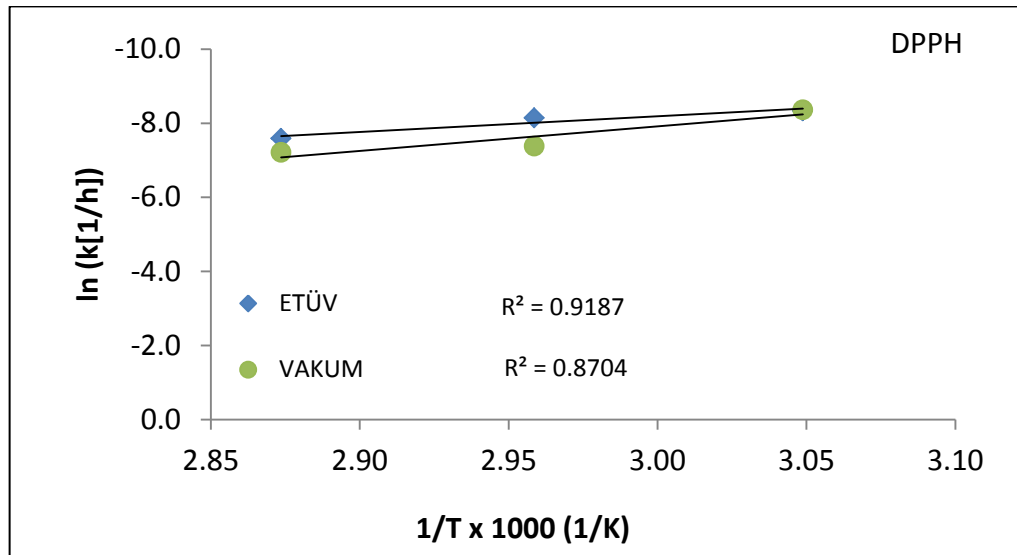
Orikasa vd. [62] yapmış oldukları bir çalışmada etüv ve vakum ile kurutulan kivi örneklerindeki antioksidan aktivitelerin başlangıçtaki örneklere göre yaklaşık olarak beş kat daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Karaman vd. [43], vakumla kurutulan örneklerde antioksidan kapasitelerinin etüvde kurutmaya göre daha fazla korunduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.12 Mandalinaların etüv kurutmada DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite değişimi



Şekil 4.13 Mandalinaların vakum kurutmada DPPH yöntemiyle antioksidan aktivite değişimi



Şekil 4.14 Mandalinaların etüv ve vakum kurutmada antioksidan aktivitelerinin Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması

4.8 Renk Değişimi

Mandalina dilimlerinin kurutulmadan önce taze örneklerin yüzeylerindeki başlangıç L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla $29,71 \pm 1,12$, $3,40 \pm 0,60$ ve $8,52 \pm 0,43$ olarak renk değerleri belirlenmiştir. Kurutma sonrası renk değişimi değerleri Çizelge 4.6'da ve Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 Etüv kurutmada mandalina yüzeyindeki renk değişimi

Renk Değeri	Taze mandalina	Sıcaklık (°C)		
		55	65	75
L^*	$29,71^a \pm 1,12$	$35,71^{ab} \pm 3,85$	$35,37^{ab} \pm 3,68$	$30,39^a \pm 1,25$
a^*	$3,40^a \pm 0,60$	$8,30^c \pm 1,59$	$8,68^c \pm 0,76$	$6,77^b \pm 1,13$
b^*	$8,52^a \pm 0,43$	$13,26^c \pm 0,81$	$12,87^{bc} \pm 1,27$	$9,95^{abc} \pm 2,45$
ΔE	-	9,08	8,88	3,73

* Aynı satırda aynı harfle (a, b ve c) gösterilen değerler Duncan testine göre istatistiksel olarak ($P < 0,05$) aynıdır.

Çizelge 4.7 Vakum kurutmada mandalina yüzeyindeki renk değişimi

Renk Değeri	Taze mandalina	Sıcaklık (°C)		
		55	65	75
L^*	$29,71^a \pm 1,12$	$32,67^a \pm 3,39$	$35,63^{ab} \pm 6,87$	$31,58^{ab} \pm 4,57$
a^*	$3,40^a \pm 0,60$	$5,84^b \pm 0,63$	$4,29^a \pm 0,38$	$3,91^a \pm 0,38$
b^*	$8,52^a \pm 0,43$	$12,35^{bc} \pm 2,79$	$9,69^{ab} \pm 1,60$	$8,56^a \pm 0,99$
ΔE	-	6,99	6,10	4,14

* Aynı satırda aynı harfle (a, b ve c) gösterilen değerler Duncan testine göre istatistiksel olarak ($P < 0,05$) aynıdır.

Çizelge 4.6 ve 4.7'den de anlaşıldığı üzere kurutmadan sonra L^* değerinde çok az bir artış olmasına rağmen genelde çok önemli bir değişim olmamıştır. a^* ve b^* değerleri, etüv kurutmada (Çizelge 4.6) 55 ve 65°C'de yakın değere sahipken vakumda (Çizelge 4.7) 65 ve 75°C'de yakın değere sahip olduğu belirlenmiştir. Etüv kurutma sonrası renk değişimi vakum kurutmaya kıyasla yüksek bulunmuştur. Vakum kurutmada mandalina yüzeyindeki toplam renk değişimi (ΔE), etüv kurutmaya göre daha az olarak belirlenmiştir. Orikasa vd. [62] yaptıkları çalışmada etüv ve vakumda kurutulan örneklerin tüm sıcaklık değerlerinde toplam renk değişimi (ΔE) 12 birimden daha büyük olarak belirlenmiştir. Örneklerin yüzeyinde ölçülen Δa^* değeri vakum kurutmada etüv kurutmaya kıyasla daha düşük olduğu rapor edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan birçok çalışmada kurutma optimizasyonu için kurutma sonrası ürünlerdeki fiziksel değişimler ve kurutmanın maliyeti üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak, son yıllarda kurutulmuş meyve ve sebzede biyoaktif maddelerin degradasyonu üzerine araştırmalar artmıştır.

Mandalina dilimlerindeki biyoaktif madde degradasyon kinetiği ve mandalina dilimlerinin etüv ve vakum kurutma şartları altında dehidrasyonu hakkında yapılan çalışmanın sonuçları şunlardır:

1. Etüv ve vakum kurutma yöntemleri için ince tabaka kurutma kinetikleri arasında en iyi model olarak Page modeli seçilmiştir.
2. Vakum kurutmada nem difüzyonu ve kuruma hızı etüve göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Aynı zamanda E_a (aktivasyon enerjisi), vakum kurutmada etüv kurutmaya göre daha düşük değerlerde bulunduğu için kurutma işlemi sürecinde vakum kurutmada daha az enerji sarfiyatı olmuştur.
3. Vakum kurutmanın, etüv kurutmaya kıyasla daha hızlı ve kısa sürede kurutma yaptığı tespit edilmiştir.
4. Vakum kurutma, etüvde kurutmaya göre daha kısa sürede kurutma yapmasına rağmen toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde degradasyonu yüksek bulunmuştur.
5. Etüvdeki C vitamini degradasyonu, yüksek oksijen varlığından dolayı vakum kurutmaya kıyasla iki kat yüksektir. Vakum kurutma sırasındaki degradasyonun temel nedeninin termal degradasyon olabileceği sonucuna varılmıştır.

6. Antioksidan kapasitesi vakum kurutmada düşük sıcaklıkta, etüvde ise yüksek sıcaklıkta korunduğu sonucuna varılmıştır.
7. Etüv kurutmada, a^* ve b^* değerlerindeki değışime bağı olarak toplam renk değışimi vakum kurutmaya kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde biyoaktif bileşenler ve antioksidan içerikleri açısından vakum kurutma yöntemi tercih edilecekse düşük sıcaklık, etüv kurutma yöntemi tercih edilecekse yüksek sıcaklıkta uygulanması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gorinstein, S., Haruenkit, R., Park, Y., Jung, S., Zachwieja, Z., Jastrzebski, Z., Katrich, E., Trakhtenberg, S., ve Belloso, O., M., (2004). "Bioactive Compounds and Antioxidant Potential in Fresh and Dried Jaffa Sweeties, a New Kind of Citrus Fruit", J. Sci Food Agric 84: 1459-1463.
- [2] Wojdylo, A., Figiel, A., ve Oszmianski J., (2009). "Effect of Drying Methods with the Application of Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color and Antioxidant Activity of Strawberry Fruits", Journal Agricultural Food Chemistry, 57, 1337-1343.
- [3] Sogi, D.S., Siddiq, M., Greiby. İ., ve Dolan, K.D., (2013). "Total Phenolics, Antioxidant Activity and Functional Properties of Tommy Atkins Mango Peel and Kernel as Affected by Drying Methods", Food Chemistry, 141: 2649-2655.
- [4] Miletic, N., Mitrovic, O., Popovic, B., Nedovic, V., Zlatkovic, B., ve Kandic, M., (2013). "Polyphenolic Content and Antioxidant Capacity in Fruits of Plum (*Prunus Domestica* L.) Cultivars "Valjevka" and "Mildora" as Influenced by Air Drying", Journal of Food Quality, ISSN 1745-4557.
- [5] Dobooglu, H., (2012). Liyofilizasyonun karadut (*Morus nigra*) kurutmadaki potansiyelinin konveksiyonel ve vakumlu kurutma teknikleriyle kıyaslanarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş.
- [6] Rodriguez, K., Ah-Hen, K., Vega-Galvez, A., Lopez, J., Issis, Quispe-Fuentes, I., Lemus-Mondaca, R., ve Galvez-Ranilla, L., (2014). "Changes in Bioactive Compounds and Antioxidant Activity During Convective Drying of Murta (*Ugni molinae* T.) Berries", International Journal of Food Science and Technology, 49: 990-1000.
- [7] Jiang, H., Zhang, M., Mujumdar, A., S., ve Lim, R., X., (2014). "Comparison of Drying Characteristic and Uniformity of Banana Cubes Dried by Pulse- Spouted Microwave Vacuum Drying, Freeze Drying and Microwave Freeze Drying", Journal of the Science of Food and Agriculture, DOI 10. 1002/jsfa.6501.
- [8] Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., ve Oszmianski, J., (2014). "Effect of Convective and Vacuum–Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color and Antioxidant Capacity of Sour Cherries", Food Bioprocess Technology, 7:829–841 DOI: 10.1007/s11947-013-1130-8.

- [9] Karaman, S., Toker, Ö., S., Çam, M., Hayta, M., Doğan, M., ve Kayacier, A., (2014). "Bioactive and Physicochemical Properties of Persimmon as Affected by Drying Methods", *Drying Technology: An International Journal*, 32:3, 258-267, DOI: 10.1080/07373937.
- [10] İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E., ve Uylaşer, V., (2014). "Effect of Different Drying Methods on Drying Characteristics, Colour, Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.)", *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 9- 17.
- [11] Kim, M., ve Kerr, W., L., (2013). "Vacuum-Belt Drying of Rabbiteye Blueberry (*Vaccinium ashei*) Slurries: Influence of Drying Conditions on Physical and Quality Properties of Blueberry Powder", *Food Bioprocess Technology*, 6:3227–3237 DOI: 10.1007/s11947-012-1006-3.
- [12] Yan, H., ve Kerr, W.,L., (2012). "Total Phenolics Content, Anthocyanins and Dietary Fiber Content of Apple Pomace Powders Produced by Vacuum-Belt Drying", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, DOI: 10.1002/jsfa.5925.
- [13] Karaaslan, M., Yılmaz, F.M., Cesur, O., Vardın, H., İkinci, A., ve Dalgıç, A.C., (2014). "Drying Kinetics and Thermal Degradation of Phenolic Compounds and Anthocyanins in Pomegranate Arils Dried Under Vacuum Conditions", *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 595-605.
- [14] Başlar, M., Karasu, S., Kılıçlı, M., Us, A.,A., ve Sağdıç, O., "Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Pomegranate Arils During the Drying Process", *International Journal of Food Engineering* (Baskıda).
- [15] Coelho, K., Costa, B., R., ve Pinto, L., A., (2013). "Evaluation of Lycopene Loss and Colour Values in Convective Drying of Tomato by Surface Response Methodology", *International Journal of Food Engineering*; 9(2): 233–238.
- [16] Ji, H., Du, A., Zhang, L., Yang, M., ve Li, B., (2012). "Effects of Drying Methods on Antioxidant Properties and Phenolic Content in White Button Mushroom", *International Journal of Food Engineering*: Vol. 8: Iss. 3, Article 2.
- [17] Notin, B., Steger-Mate, M., Juhasz, R., Jakab, D., Monspart-Senyi, J., ve Barta, J., (2011). Changes of Phenolic Compounds in Black Currant During Vacuum Drying Process, *Acta Alimentaria*, Vol. 40 (Suppl.), pp. 120–129.
- [18] Rieger, M.W., (2001). Citrus fruits. www.uga.edu/hortcrop/rieger, 22 Temmuz 2014.
- [19] Yılmaz, E., (2002). "Turunçgil Meyvelerinin İnsan Sağlığına Etkileri", *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 13: 47-52.
- [20] FAO, (2012). Citrus fruit - Fresh and Processed Annual Statistics, CCP:CI/ST/2012, USA.
- [21] USDA, (2014). U.S. Department of Agriculture (USDA) Nutrient database for standard reference release, Basic Report 09218, Tangerines, (mandarin oranges), 10 Temmuz 2014.
- [22] Fengmei, Z., Liangbin, H., Guihua, X., ve Quanxian C., (2011). "Changes of Some Chemical Substances and Antioxidant Capacity of Mandarin Orange Segments During Can Processing", *Procedia Environmental Sciences*, 11, 1260 – 1266.

- [23] Baker, R.A., (1994). "Potential Dietary Benefits of Citrus Pectin and Fiber", Food Technology, 48: 133-137.
- [24] Rouseff, R.L., ve Nagy, S., (1994). "Health and Nutritional Benefits of Citrus Fruit Components", Food Technology, 48: 125-132.
- [25] Farnworth, E.R., Lagace, M., Couture, R., Yaylayan V., ve Stewart, B., (2001). Thermal Processing, Storage Conditions, and The Composition and Physical Properties of Orange Juice, Food Research International, 34: 25-30.
- [26] Mujumdar, A.S., (2000). Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments, Devahastin, S.(Ed), Thananuch Business Ltd. Publication, Thailand, 37, 200.
- [27] Holdsworth, S.D., (1971). "Dehydration of Food Products", Journal of Food Technology, 6(4), 331-370.
- [28] Doymaz, İ., (1998). Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora tezi, YTÜ Kimya Müh. Bölümü, İstanbul.
- [29] Heldman, D. R., (1975). Food Process Engineering. AVI Publishing Co., Westport, CT.
- [30] Van Arsdel, W.B., (1951). Tunnel-and-Truck Dehydrators as Used in Vegetable Dehydration, AIC-308, U.S.A. Dept. Agr. Bur. Agr. Ind Chem.
- [31] Cemeroğlu , B., (2009). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi , Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 39 Ankara, s. 550-555.
- [32] Banchero, J.T., ve Badger, W.L., (1973). Kimya Mühendisliğine Giriş: Ünit Operasyonlar; Çeviren: Çataltaş, İ., (1997) İnkılap Kitapevi, İstanbul.
- [33] Erbay, B., ve Küçüköner, E., (2008). "Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri", Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [34] Krokida, M.K., ve Maroulis, Z.B., (1997). "Effect of Drying Method on Shrinkage and Porosity", Drying Technology, 15:2441-2458.
- [35] Çınar, İ., (2009). "Ozmotik Dehidrasyon, Mekanizması Ve Uygulamaları", 34 (5): 325-329.
- [36] Zorlugenç, F.K., (2010). Ozmotik Dehidrasyon Uygulamasının Trabzon Hurması Meyvelerinin Kuruma Davranışı Ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana.
- [37] Onsekizoğlu, P., (2010). Elma Suyu Üretiminde Ozmotik Destilasyon ve Membran Destilasyon Uygulamalarının Ürün Kalitesine Etkileri, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi , Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [38] Raoult-Wack, A., L., (1994). Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods, Trends in Food Science & Technology, Volume 5, Issue 8, 255-260.
- [39] Topdaş, E.F., ve Ertugay, M.F., (2013). "Kayısların Ultrases Yardımlı Ozmotik Kurutulması", 38 (5): 299-306, DOI: 10.5505

- [40] Eroğlu, E. ve Yıldız, H., (2011). "Ozmotik Kurutulmasında Uygulanan Yeni Tekniklerin Enerji Verimliliği Bakımından Değerlendirilmesi", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, C; 6, No; 2, Sf. 41-48.
- [41] Kudra, T., ve Mujumdar A., S., (2002). Advanced Drying Technologies, Second Edition, CRC Press, Florida, 335-345.
- [42] Poonnoy, P., Tansakul, A., ve Chinnua, M., (2007). Journal Food Science 72(1):E42.
- [43] Toledo, R.T., (1994). Fundamental of Food Processing Engineering, Second Edition, AVI Publishing Co., Westport, CT.
- [44] Khalloufi, S., ve Ratti, C., (2003). "Quality Deterioration of Freeze-dried Foods as Explained by Their Glass Transition Temperature and Internal Structure", Journal Food Science 68 (3) : 892.
- [45] Sepulveda, D., Barbosa-Canovas, G., Chanes, J., ve Velez-Ruiz, J., (2003). Heat Transfer in Food Products, Food Preservation Technology Series, CRC Press, Florida, USA,42.
- [46] Krishnamurthy, K., Khurana, S., Irudayaraj, J., ve Demirci, A., (2008). Infrared Heating in Food Processing, Compr Rev Food Sci, 7: 2-13.
- [47] Sandu, C., (1986). Infrared Radiative Drying in Food Engineering, a Process Analysis, Biotechnology Programme, 2: 109-119.
- [48] Sumnu, G., Turabi, E., ve Oztop, M., (2005). "Drying of Carrots in Microwave and Halogen Lamp–Microwave Combination Oven", Food Sci Technol, 38: 549-553.
- [49] Kingsly, A.R.P., ve Singhy, D.B., (2007). "Drying Kinetics of Pomegranate Arils", Journal of Food Engineering, 79, 741–744.
- [50] Singleton, V.L., ve Rossi, J.A., (1965). "Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-phosphotungstic Acid Reagents", American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144-158.
- [51] Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J. ve Cheng, S., (2006). Evaluation of Antioxidant Properties of Pomegranate Peel Extract in Comparison with Pomegranate Pulp Extract, Food Chemistry, 96: 254-260.
- [52] Zhishen, J., Mengcheng, T. ve Jianming, W., (1999). "The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and Their Scavenging Effects on Superoxide Radicals", Food Chemistry, 64, 555–559.
- [53] Singh, R.P., Murthy, K.N.C., ve Jayaprakasha, G.K., (2002). "Studies on The Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum*) Peel and Seed Extracts Using in Vitro Models", Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50, 81-86.
- [54] Hışıl, Y., 2007. Enstrümental Gıda Analizleri Laboratuvar Deneyleri, Ege Üniversitesi, Publication No: 45, İzmir.
- [55] Başlar, M., ve Ertugay, M.F., (2013). "The Effect of Ultrasound and Photosonation Treatment on Polyphenoloxidase (PPO) Activity, Total Phenolic Component and Colour of Apple Juice", International Journal of Food Science and Technology, 48, 886–892.
- [56] Toğrul, H., ve Arslan, N., (2004). "Mathematical Model for Prediction of Apparent Viscosity of Molasses", Journal of Food Engineering, 62, 281–289.

- [57] Doymaz, İ., (2012). "Prediction of drying characteristics of pomegranate arils", *Food Analytical Methods*, 5(4), 841-848.
- [58] Steger-mate, M., Notin, B., Juhasz, R., Veraszto, B., Jakab, D., Monspart Senyi, J., ve Barta, J. (2011). "Effect of Vacuum Drying on Blackcurrant's Antioxidant Components", *International Congress on Engineering and Food*, May 22-26, Athens, Greece.
- [59] Ruiz, N.A.Q., Demarchi, S.M., ve Giner, S.A., (2014). "Effect of Hot Air, Vacuum and Infrared Drying Methods on Quality of Rose Hip (*Rosa rubiginosa*) Leathers", *International Journal of Food Science and Technology*, DOI:10.1111/ijfs.12486.
- [60] Gregory, J.F., (1996). *Vitamins* (Chapter 8). In *Food Chemistry* (3rd) (Ed. O. Fennema), Marcel Dekker, USA.
- [61] Vieira, M.C., Teixeira, A.A. ve Silva C.L.M, (2000). "Mathematical Modelling of The Thermal Degradation Kinetics of Vitamin C in Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) Nectar", *Journal of Food Engineering*, 43(1), 1–7.
- [62] Orikasa, T., Koide, S., Okamoto S., Imaizumi T., Muramatsu, Y., Takeda, J., Shiina, T., ve Tagawa, A., (2014). "Impacts of Hot Air and Vacuum Drying on The Quality Attributes of Kiwifruit Slices", *Journal of Food Engineering*, 125, 51-58.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Saniye AKDAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1988
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : saniyeakdas@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gıda Müh.	Uludağ Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	TED Kayseri Koleji	2006

YAYINLARI

Makale

1. Akdas S, Başlar M, Dehydration and degradation kinetics of bioactive compounds for mandarin slices under vacuum and oven drying conditions. Journal of Food Processing and Preservation. DOI: 10.1111/jfpp.12324