

**FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULAN HAVUÇ
PESTİLLERİNİN KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİ İLE BAZI KALİTE
PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİMİN
MODELLENMESİ VE *IN VITRO*
BİYOYARARLILIKLARININ BELİRLENMESİ**

Azime ÖZKAN KARABACAK



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULAN HAVUÇ PESTİLLERİNİN
KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİ İLE BAZI KALİTE
PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLENMESİ VE *IN VITRO*
BİYOYARARLILIKLARININ BELİRLENMESİ**

Azime ÖZKAN KARABACAK
0000-0003-4175-4477

Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2021

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULAN HAVUÇ PESTİLLERİNİN KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİ İLE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİMİN MODELLENMESİ VE *IN VITRO* BİYOYARARLILIKLARININ BELİRLENMESİ

Azime ÖZKAN KARABACAK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR

Bu çalışmada, sıcak hava (60, 70 °C), vakum (60, 70 °C ve 150, 250 mbar) ve mikrodalga (90, 180 W) kurutma yöntemleri kullanılarak üretilen havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin fizikokimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri ile birlikte *in vitro* biyoerişilebilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca farklı kurutma yöntem ve koşullarında üretilen pestil örneklerinin kuruma karakteristiklerinin matematiksel modellenmesi ile birlikte biyoaktif bileşen ve renk değişim kinetiklerini belirlemek için sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri uygulanmıştır. Pestil örneklerinin kuruma karakteristiklerini ortaya koyan en uygun modeller havuç+domates pestilinde Page, Modifiye Page ve Wang&Sing, diğer pestillerde ise Page ve Modifiye Page olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik madde miktarı havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestilleri için kurutma süresi ile artış gösterirken havuç pestilinde kurutma süresi ile azalma göstermiştir. Diğer yandan, toplam antioksidan kapasite değerleri ve karotenoid madde miktarları, tüm pestil örnekleri için kurutma süresi ile azalma göstermiştir. Ayrıca, *in vitro* gastrointestinal sindirim sonrasında pestil örneklerinin kurutulmamış karışımlarına kıyasla daha fazla biyoerişilebilir toplam fenolik maddeye, toplam antioksidan kapasiteye ve karotenoid maddeye sahip olduğu görülmüştür. Tüm pestil örneklerinde L^* , a^* , b^* renk değerleri kurutma ile azalma göstermiş olup, istisnai olarak domates+havuç pestilinde a^* değeri kurutma ile artmıştır. Pestillerin mineral madde içeriği kurutulmamış karışımlarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Pestil örneklerinin tekstürel özellikleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,05$). Tüm pestil örneklerinde HMF miktarı en düşük 60 °C sıcak hava, en yüksek 180 W mikrodalga kurutma sonucunda oluşmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre panelistlerden en yüksek puan alan koşullar, havuç+ domates ve havuç pestili örnekleri için 60 °C sıcak hava ve 90 W mikrodalga olurken; havuç+kırmızıbiber pestilleri için 70 °C sıcak hava olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pestil, kurutma, kinetik, matematiksel modelleme, biyoaktif bileşenler, biyoerişilebilirlik, mineral, tekstür
2021, xiii +169 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

MODELLING OF DRYING CHARACTERISTICS AND SOME QUALITY PARAMETERS OF CARROT LEATHERS DRIED BY DIFFERENT METHODS AND DETERMINATION OF *IN VITRO* BIOAVAILABILITY

Azime ÖZKAN KARABACAK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR

In this study, it was aimed to determine physicochemical, textural, sensorial properties and *in vitro* bioaccessibility of carrot+tomato, carrot+red pepper and carrot pestils produced using hot air (60, 70 °C), vacuum (60, 70 °C and 150, 250 mbar) and microwave (90, 180 W) drying methods. In addition, zero and first order reaction models were applied to determine the bioactive component and color change kinetics, and mathematical modeling of the drying characteristics of the pestil samples produced under different drying methods and conditions. The most suitable models revealing the drying characteristics of the pestil samples were determined as Page, Modified Page and Wang&Sing for carrot+tomato pestils and Page and Modified Page for other pestil samples. While the total phenolic content increased with drying time for carrot+tomato and carrot+red pepper pestils, it decreased with drying time for carrot pestils. However, total antioxidant capacity values and carotenoid content decreased with drying for all pestil samples. In addition, after *in vitro* gastrointestinal digestion, it was observed that the pestil samples had more bioaccessible total phenolic content, total antioxidant capacity and carotenoid content compared to their mixtures. L^* , a^* , b^* color values of all pestil samples decreased with drying, exceptionally, a^* value increased with drying of tomato+carrot pestil. The mineral content of the pestils was higher than their non-dried mixtures. Statistically significant differences were found between the textural properties of the pestil samples ($p < 0,05$). The amount of minimum and maximum HMF were obtained as a result of 60 °C hot air and 180 W microwave drying, respectively in all pestil samples. According to the sensory analysis results, the drying conditions that received the highest scores from the panelists were 60 °C hot air and 90 W microwave for carrot + tomato and carrot pestil samples, while 70 °C hot air for carrot + red pepper pestils.

Key words: Pestil, drying, kinetics, mathematical modeling, bioactive components, bioaccessibility, mineral, texture

2021, xiii +169 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince her konuda desteğini benden esirgemeyerek bilgi birikimi ile ufkumu açan, gerek akademik gerek hayat tecrübelerini paylaşarak müthiş bir özveriyle bana yol gösteren çok kıymetli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR'a,

Eğitimim süresince desteğinden, bilgilerinden ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Canan Ece TAMER' e,

Tezimde yer alan HPLC analizlerinin yapılmasında çok büyük yardımı ve desteği olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Perihan YOLCI ÖMEROĞLU ve Sayın Doç. Dr. Senem KAMILOĞLU BEŞTEPE' ye,

Tez izleme komitemde yer alıp desteklerini esirgemeyen, Sayın Doç. Dr. Cüneyt TUNÇKAL'a,

Değerli bilgi ve destekleri için, Sayın Doç. Dr. Bige İNCEDAYI ve Araş. Gör. Dr. Gülşah ÖZCAN SİNİR' e,

Benden esirgemedikleri kişisel destekleri ve laboratuvar olanakları için tüm bölüm hocalarıma,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan tüm öğrenci arkadaşlarıma,

Tez projeme maddi destek sağlayan Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne (Proje No: DDP-2018/7),

Bugünlere gelmemi sağlayan, hayatta yılmadan mücadele etmeyi bana öğreten, aldığım her kararın arkasında durarak bana güvenen ve beni destekleyen canım babam Mehmet ÖZKAN ve canım annem Belkıs ÖZKAN'a,

Yeryüzünün neresinde olursak olalım varlıkları ile bana her daim güç veren canım ablacığım Hale ARAS ve biricik kardeşim Yasemin ÖZKAN MUHTAR'a,

Bu süreçte her an yanımda olan hayat arkadaşım Serkan KARABACAK' a,

Sonsuza kadar beni ileriye gitmeye motive edecek olan, hayattaki en büyük şansım, canım kızım Beren KARABACAK'a,

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Azime ÖZKAN KARABACAK
18/10/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Havuç.....	4
2.2. Domates.....	4
2.3. Kırmızıbiber.....	5
2.4. Kurutma.....	6
2.5. Kurutma Mekanizması.....	7
2.5.1. Sabit hız periyodunda kurutma.....	8
2.5.2. Azalan hız periyodunda kurutma.....	8
2.6. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler.....	9
2.6.1. Sıcaklık.....	9
2.6.2. Kurutma havasının hızı.....	9
2.6.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı.....	9
2.6.4. Ortamın nem içeriği.....	10
2.7. Kurutma Yöntemleri.....	11
2.7.1. Güneşte kurutma.....	11
2.7.2. Tepsili kurutma.....	11
2.7.3. Vakum kurutma.....	11
2.7.4. Dondurarak kurutma.....	11
2.7.5. Tünel kurutucular ile kurutma.....	12
2.7.6. Döner (Tambur) kurutucular ile kurutma.....	12
2.7.7. Püskürtmeli kurutma.....	12
2.7.8. Mikrodalga kurutma.....	13
2.7.9. Isı pompalı kurutma.....	13
2.8. İnce Tabaka Kurutma Kuramı ve Modelleri.....	14
2.9. Meyve ve Sebzelerin Kurutulmasında Modellemelerin Kullanımı.....	16
2.10. Pestil Üretimi.....	18
2.11. Pestil Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
3.1. Materyal.....	29
3.2. Pestil Üretimi.....	29
3.3. Kurutma İşlemi.....	32
3.4. Denemelerde Kullanılan Kurutma Cihazları.....	32
3.4.1. Sıcak havalı kabin tipi kurutucu.....	32
3.4.2. Vakumlu kurutma kabini.....	33
3.4.3. Mikrodalga kurutucu.....	34
3.5. Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar.....	35
3.5.1. Nem içeriğinin hesaplanması.....	35
3.5.2. Kuruma hızının hesaplanması.....	35
3.5.3. Nem oranının hesaplanması.....	36

3.5.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması	36
3.5.5. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması	38
3.6. Analizler	39
3.6.1. Antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde analizi için kimyasal ekstraksiyon	39
3.6.2. Toplam fenolik madde analizi	39
3.6.3. Toplam antioksidan kapasite analizleri	39
3.6.4. Karotenoidlerin ekstraksiyonu	41
3.6.5. HPLC-DAD metodu ile karotenoidlerin analizi	41
3.6.7. <i>In Vitro</i> biyoyaralılık analizleri	42
3.6.8. Renk analizi	43
3.6.9. Kalite parametrelerindeki değişimlerinin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları	43
3.6.10. Mineral madde analizi	44
3.6.11. Tekstür analizi	44
3.6.12. HPLC-DAD metodu ile HMF tayini	46
3.6.13. Duyusal analizler	46
3.6.14. İstatistiksel analiz	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4.1. Nem İçeriği Değişimi	48
4.2. Kuruma hızı değişimi	53
4.3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması	57
4.4. Efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri	63
4.5. Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Analiz Sonuçları	65
4.5.1. Toplam fenolik madde sonuçları	65
4.5.2. Toplam antioksidan kapasite sonuçları	69
4.6. Pestil örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim	86
4.7. Pestil örneklerinin karotenoid miktarındaki değişimler	93
4.8. Pestil Örneklerinde <i>In Vitro</i> Sindirim Sonrası Karotenoidlerin Biyoerişilebilirliği	104
4.9. Renk değişim kinetiği	108
4.10. Mineral Madde Analiz Sonuçları	124
4.11. Tekstür Analizi Sonuçları	129
4.12. HMF Miktarı	135
4.13. Duyusal Analiz Sonuçları	139
5. SONUÇ	142
KAYNAKLAR	146
ÖZGEÇMİŞ	164

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

a_w	Su aktivitesi
a^*	kırmızılık veya yeşilliği ifade eden renk değeri
b^*	sarılık veya maviliği ifade eden renk değeri
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
C^*_{ab}	Chroma renk değeri
Cu	Bakır
dak	Dakika
Fe	Demir
g	gram
h^o	Hue Açısı
K	Potasyum
K	Kelvin
kg	Kilogram
kj	Kilojoule
L	Litre
L^*	açıklık veya koyuluğu ifade eden renk değeri
m	Metre
mbar	Milibar
mg	miligram
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
Mn	Manganez
N	Newton
Na	Sodyum
P	Fosfor
S	Kükürt
Zn	Çinko
W	Watt
μg	mikrogram
%	yüzde
χ^2	Chi square
$^{\circ}C$	Santigrat derece
$^{\circ}Bx$	Brix

Kısaltmalar

Açıklama

a	kurutma katsayısı
b	kurutma katsayısı
c	kurutma katsayısı
C	t. zamandaki analiz edilen bileşen değeri
C_0	0. zamandaki analiz edilen bileşen değeri
CUPRAC	Cupric Reducing Antioxidant Capacity
DAD	Diode Array Dedektör

D_{eff}	Efektif Nem Difüzyon Katsayısı
DPPH	1,1-difenil-2- pikrilhidrazil
dt	Kuruma zamanı
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
HMF	Hidroksi Metil Furfural
HNO_3	Nitrik asit
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
H_2O_2	Hidrojen peroksit
k	kurutma sabiti
KH	Kuruma hızı (kg su / kg kuru madde. dk)
km	Örneğin içerdiği kuru madde miktarı
k_0	Sıfırıncı dereceden reaksiyon hız sabiti
k_1	Birinci dereceden reaksiyon hız sabiti
L	Levhanın yarı kalınlığı
M	Örneğin ağırlığı
Me	Denge anındaki nem içeriği
Mo	Başlangıçtaki nem içeriğini
MR	Nem oranı
$MR_{est,i}$	i . tahmin edilen nem oranı
$MR_{exp,i}$	i . deneysel nem oranı
Mt	Herhangi bir t anındaki nem içeriği
$Mt+dt$	$t + dt$ anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)
N	gözlemlenen deneysel veri adedi
n	modelde yer alan bağımsız değişken sayısı
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
RH	Nisbi Nem
RMSE	Tahmini Standart Hata
R^2	Korelasyon Katsayısı
t	kurutma süresi
TE	Trolox Eşdeğeri
TPA	Tekstür Profil Analizi
TPTZ	Fe (III) Tripiridiltiazin

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen taşınım olayları.....	7
Şekil 2.2. Gıdaların kuruma eğrisi	8
Şekil 2.3. Gıdalara ait sorpsiyon izoterm eğrisi	10
Şekil 3.2. Havuç+kırmızıbiber pestili üretim akış diyagramı	31
Şekil 3.3. Havuç pestili üretim akış diyagramı	31
Şekil 3.4. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünüşü.....	32
Şekil 3.5. Vakumlu kurutma kabininin genel görünümü	33
Şekil 3.6. Mikrodalga fırının genel görünümü.....	34
Şekil 3.7. Tipik bir TPA grafiği	45
Şekil 4.1. Havuç+domates pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma	50
Şekil 4.2. Havuç+kırmızıbiber pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma.....	51
Şekil 4.3. Havuç pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma	52
Şekil 4.4. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç+domates pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma	54
Şekil 4.5. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma	55
Şekil 4.6. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma ..	56
Şekil 4.7. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç+domates pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim	64
Şekil 4.8. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim.....	64
Şekil 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim	65
Şekil 4.10. Havuç+domates pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	67
Şekil 4.11. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	68
Şekil 4.12. Havuç pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	69
Şekil 4.13. Havuç+domates pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	71
Şekil 4.14. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	72
Şekil 4.15. Havuç pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	73

Şekil 4.16. Havuç+domates pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	74
Şekil 4.17. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	75
Şekil 4.18. Havuç pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	76
Şekil 4.19. Havuç+domates pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	77
Şekil 4.20. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	78
Şekil 4.21. Havuç pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	79
Şekil 4.22. β -karoten standart HPLC kromatogramı.....	94
Şekil 4.23. Likopen standart HPLC kromatogramı.....	94
Şekil 4.24. Havuç+domates pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) Likopen – 21. dak (2) β -karoten – 26. dak.....	95
Şekil 4.25. Havuç+kırmızıbiber pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) β -karoten – 26. dak	95
Şekil 4.26. Havuç pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) β -karoten – 26. dak	95
Şekil 4.27. Havuç+domates pestili örneklerine ait β Karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	98
Şekil 4.28. Havuç+domates pestili örneklerine ait Likopen değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model	99
Şekil 4.29. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait β -karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model.....	100
Şekil 4.30. Havuç pestili örneklerine ait β -karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model...	101
Şekil 4.32. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin L^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)	112
Şekil 4.33. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin L^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b).....	113
Şekil 4.34. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+domates pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)	114
Şekil 4.35. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)	115
Şekil 4.36. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b).....	116
Şekil 4.37. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+domates pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)	117

Şekil 4.38. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)	118
Şekil 4.39. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b).....	119
Şekil 4.40. Havuç+domates pestillerine ait duyusal analiz sonuçları	140
Şekil 4.41. Havuç+kırmızıbiber pestillerine ait duyusal analiz sonuçları.....	141
Şekil 4.42. Havuç pestillerine ait duyusal analiz sonuçları.....	141



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Gıda kurutma sistemlerinde kullanılan matematiksel modeller ve denklemleri.....	16
Çizelge 3.1. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun teknik özellikleri	33
Çizelge 3.2. Vakumlu kurutma kabininin teknik özellikleri.....	34
Çizelge 3.3. Mikrodalga fırının teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.4. Pestil örneklerinin kuruma davranışlarını belirlemek için kullanılan matematiksel modeller	37
Çizelge 3.5. Karotenoid analizi için HPLC şartları.....	41
Çizelge 3.6. Ağız, mide ve bağırsak elektrolit solüsyonları	43
Çizelge 3.7. HMF analizi için HPLC şartları.....	46
Çizelge 4.1. Havuç+domates pestili örneklerine ait model katsayıları.....	59
Çizelge 4.2. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait model katsayıları.....	60
Çizelge 4.3. Havuç pestili örneklerine ait model katsayıları.....	62
Çizelge 4.4. Havuç+domates pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler	81
Çizelge 4.5. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler	83
Çizelge 4.6. Havuç pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler.....	85
Çizelge 4.7. Havuç+domates pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim ¹	89
Çizelge 4.8. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim ¹	90
Çizelge 4.9. Havuç pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim ¹	92
Çizelge 4.10. Havuç+domates pestili örneklerinin β Karoten ve Likopen sonuçlarına ait kinetik veriler	103
Çizelge 4.11. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin β Karoten sonuçlarına ait kinetik veriler	103
Çizelge 4.12. Havuç pestili örneklerinin β Karoten sonuçlarına ait kinetik veriler.....	104
Çizelge 4.13. Havuç+domates pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası β -karoten ve likopen miktarlarındaki değişim ¹	107
Çizelge 4.14. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası β -karoten miktarındaki değişim ¹	108
Çizelge 4.15. Havuç pestili örneklerinde <i>in vitro</i> sindirim sonrası β -karoten miktarındaki değişim ¹	108
Çizelge 4.16. Havuç+domates pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler	121
Çizelge 4.17. Havuç+kırmızıbiber pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler	122
Çizelge 4.18. Havuç pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler	123
Çizelge 4.19. Havuç pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg).....	126
Çizelge 4.20. Havuç+domates pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg)	127
Çizelge 4.21. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg)	128
Çizelge 4.22. Havuç pestili örneklerine ait tekstür değerleri	132

Çizelge 4.23. Havuç+domates pestili örneklerine ait tekstür değerleri	133
Çizelge 4.24. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait tekstür değerleri	134
Çizelge 4.25. Havuç+domates pestili örneklerine ait HMF miktarları	138
Çizelge 4.26. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait HMF miktarları.....	138
Çizelge 4.27. Havuç pestili örneklerine ait HMF miktarları.....	139



1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler, antioksidan aktivite gösteren fenolik maddeler, karotenoidler, mineral ve vitaminler açısından zengin kaynaklardır. Yapılan çalışmalar, meyve ve sebze tüketiminin kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar, astım ve diyabet riskini azalttığını öne sürmüştür. Görülen bu hastalıklara karşı koruyucu etkiler polifenollerin varlığı ile ilişkilendirilmektedir. Meyve ve sebzelerde yer alan polifenollerinin güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğu, kanser hücrelerinin çoğalmasını önlediği, lipid oksidasyonunu azalttığı ve kolesterolü düşürdüğü bilinmektedir (Boyer ve Liu, 2004).

Ayrıca, bugüne kadar yapılan pek çok epidemiyolojik çalışmada belirtildiği üzere karotenoidler, çeşitli kanser türleri ve kardiyovasküler hastalıklar dâhil dejeneratif hastalıkların gelişme riskini azaltmaktadır (Boeing ve diğerleri, 2012; Krinsky ve Johnson, 2005; Thane ve Reddy, 1997).

Meyve ve sebzeler tüketilmeden önce farklı işlemlere tabi tutulurlar. Genellikle taze ve işlenmemiş meyve ve sebzelerin tüketimi önerilmekle birlikte; bu durum bulunabilirlik ve mevsimsellik nedeniyle her zaman gerçekçi veya mümkün olmayabilir. Meyve ve sebzeleri mevsiminde tüketmek, sağlıklı beslenen insanlar tarafından önemlidir. Ayrıca, mevsiminde farklı muhafaza yöntemleri kullanılarak (kurutma, dondurma, konserveye işleme gibi) raf ömrü uzatılmış ürünler, mevsimi olmayan zamanlarda da sağlıklı tüketilebilmektedir. Örneğin, domatesi kışın taze alıp tüketmek yerine kurutulmuş domates, dondurulmuş domates veya salça tüketmenin daha sağlıklı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle meyve ve sebzeleri işlemek gereklidir ve birçok yönden arzu edilir. Bu doğrultuda, tüketicilerin de sağlıklı gıda tüketimi konusunda bilinçlenmesinin bir sonucu olarak katma değerli ürünlere olan talep artmış ve pestil, çeşitli besin maddeleri içeren doğal meyvelerin ekonomik bir kaynağı olarak önem kazanmıştır (Chen ve Martynenko, 2018). Pestil, tadı, dokusu ve besleyici özellikleri nedeniyle çocukların da beğenerek tüketebileceği sağlıklı bir atıştırma olarak kabul edilmektedir. Özellikle çocukların çok severek tüketmediği bazı sebzelerin pestilini üretmek, hem daha çok meyveler kullanılarak üretilen bu ürüne yeni bir değerlendirme şekli kazandırmayı hem de sebze sevmeyen çocuklar için lezzetli ve sağlıklı bir

atıştırıcılık elde etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca, kurutulan üründe artan kuru madde içeriği nedeniyle pestil tatlı bir tada sahiptir ve enerji değeri yüksek olan ve besleyici değeri düşük (şekerlemeler, çikolatalar, cipsler, bisküviler vb.) ürünler için alternatif bir tüketim olanağı sağlamaktadır (Batu, Kaya, Çatak ve Şahin, 2007).

Üründen suyun uzaklaştırılması prensibine dayanan kurutma, en yaygın kullanılan gıda muhafaza yöntemlerinden biridir (Limpaiboon, 2011). Kurutma işlemi ile ortamın su aktivitesi (a_w) azaltılarak, ürün mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal yönden dayanıklı hale getirilmektedir (Kaya, Kamer ve Şahin, 2015). Bu sayede ürünlere uzun süre depolama ve taşıma kolaylığı sağlanmaktadır (Compaore ve diğerleri, 2019). Gıdaların kuruma karakteristiklerinin belirlenebilmesi amacıyla ince tabaka kurutma modellerinden yararlanılmaktadır (K. Gupta ve Alam, 2014; Panchariya, Popovic ve Sharma, 2002). Kurutma kinetiğinin değerlendirilmesi; en uygun kurutma koşulunun belirlenmesine ve kurutma öngörüsünün yapılmasına yardımcı olmaktadır. Gıda maddelerinin kurutulmasında kurutucuların tasarımı için kurutma modelleri göz önünde bulundurulmaktadır. Kurutma işleminin şekillenmesi, tam kapasiteli işletmelerde yapılarak belirlenirse zaman kaybına ve ciddi maddi kayba neden olacağından modelleme ile belirlemek büyük bir avantajdır (Compaore ve diğerleri, 2019; Günhan, Demir, Hancioglu ve Hepbasli, 2005).

Literatürde, daha önce meyve pestili üretimi ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Bu meyvelere örnek olarak üzüm, dut, kayısı, erik (Boz, Karaoğlu ve Kaban, 2016; Cagindi ve Otles, 2005; K. Gupta ve Alam, 2014; Kamiloglu ve Capanoğlu, 2014; Suna ve Özkan Karabacak, 2019), altın kivi (Vatthanakul, Jangchud, Jangchud, Therdthai ve Wilkinson, 2010), jak meyvesi (Chowdhury, Bala, Haque, 2011), bal kabağı ve papaya (S. Gupta, Gupta, Gupta, Jaggi, 2016) ve nar (Tontul ve Topuz, 2017) verilebilir. Ancak, sebze pestili üretimi ve kurutmasının matematiksel olarak modellenmesi ile ilgili şimdiye kadar sadece bu tez kapsamında üretilen havuç+kırmızıbiber pestili ile ilgili çalışma yapılmıştır (Özkan Karabacak ve Çopur, 2021).

Kurutma işlemi sonucu karotenoidlerin biyoerişilebilirliği hakkında çok sınırlı sayıda çalışma mevcut olup, pestil örneklerinde kurutma ile karotenoidlerin biyoerişilebilirliğindeki değişim konusunda ve karotenoid maddelerin kurutma ile değişim kinetiğini belirlemek için şimdiye kadar yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte bilindiği kadarıyla, pestil örneklerinde fenolik madde ve antioksidan kapasitenin de değişiminin hangi reaksiyon modeline uyduğunu tespit etmek amacıyla yapılan bir araştırma, literatürde yer almamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı:

- Sıcak hava, vakum ve mikrodalga yöntemleri kullanılarak havuç pestili ile birlikte domates ve kırmızıbiber ilaveli havuç pestillerinin üretilmesi ve kurutma karakteristiklerini matematiksel olarak modellenmesi,
- Üretilen pestil örneklerinin, toplam fenolik madde, karotenoid madde (β -karoten ve likopen), antioksidan kapasite (DPPH, FRAP, CUPRAC yöntemleri kullanılarak), mineral madde (Ca, Mg, Na, P, K), tekstür (sertlik, dış yapışkanlık, elastikiyet, çiğnenebilirlik ve sakızımsılık parametreleri), HMF, renk (L^* , a^* , b^*) ve duyu özelliklerinin incelenmesi,
- Pestil örneklerinin kuruma süresince toplam fenolik madde, karotenoid madde (β -karoten ve likopen), antioksidan kapasite (DPPH, FRAP, CUPRAC) ve renk (L^* , a^* , b^*) değişim kinetiklerine en uygun reaksiyon modelinin belirlenmesi ve
- Pestil örneklerinde toplam fenolik madde, karotenoid madde ve antioksidan kapasitenin *in vitro* biyoerişilebilirliklerinin standartlaştırılmış *in vitro* gastrointestinal sindirim modeli kullanılarak değerlendirilmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Havuç

Havuç (*Daucus carota* L.) maydanozgiller (*Apiaceae*) familyasında yer alan konik yapıda, iki yıllık bir kök sebzesidir (Juan Yu ve Vasantha Rupasinghe, 2013). Ana vatanı Orta Asya ve Yakın Doğu olan havucun, dünyadaki önemli üretici ülkelerinden birisi de Türkiye’ dir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2020 yılında 588 778 ton havuç üretimi yapılmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020). Karotenoidlerin temel kaynaklarından olan havucun, % 60 – 80’ ini β -karoten , % 10 – 40’ ını α -karoten ve % 1 – 5’ ini lutein oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda, yüksek karotenoid içeriğinden dolayı havucun, antioksidan ve antiinflamatuvar aktivite gösterdiği ve bu sayede, kanser ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere pek çok hastalığa karşı koruyucu etkisi olduğu bildirilmiştir (Nicolle ve diğerleri, 2004; Riboli, Kaaks ve Esteve, 1996; Santos ve diğerleri, 1996). Karotenoidlerin yanında, içeriğinde yer alan kumarik asit, klorojenik asit, kafeik asit gibi fenolik maddeler, C vitamini ve E vitamini de antioksidan özellik göstermektedir (Alasalvar, Al-Farsi, Quantick, Shahidi ve Wiktorowicz, 2005; D. Zhang ve Hamauzu, 2004). United States Department of Agriculture (2021a) verilerine göre taze havucun 100 gramında 8,29 mg β -karoten, 3,48 mg α -karoten, 0,26 mg lutein, 0,66 mg α -tokoferol, 5,9 mg C vitamini, 320 mg potasyum (K), 69 mg sodyum (Na), 35 mg fosfor (P), 33 mg kalsiyum (Ca), 12 mg magnezyum (Mg), 0,3 mg demir (Fe), 0,24 mg çinko (Zn), 0,045 mg bakır (Cu) ve 0,1 μ g selenyum (Se) bulunmaktadır.

2.2. Domates

Domates (*Solanum lycopersicum* L.) patlıcangiller (*Solanaceae*) ailesinden, anavatanı Güney ve Orta Amerika olan ve tüm dünyada yetiştirilen bir kültür bitkisidir. Türkiye’ye domatesin gelişi ilk olarak 19. yüzyılda Fransa’nın ardından Suriye üzerinden olmuştur. Dünya çapında bahçe bitkileri içerisinde en önemli 3 bitkiden biri olması yanında tüketim miktarı açısından da dünyanın en önemli sebzesi konumundadır (Durmus, Yetgin, Abed, Haji ve Akcay, 2018). Dünyada birçok ülkede yetiştirilmekle birlikte, uygun iklim koşulları nedeniyle ülkemiz domates üretimi yapan önemli

lkelerden biridir (Tomas, 2016). 2020 yılı TK verilerine göre Türkiye’ de 13 204 015 ton domates üretilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020).

Domates, insan beslenmesi için büyük öneme sahiptir. Sağlık üzerinde yüksek faydalı etkileri olduğu bilinen likopenin ana kaynağıdır (Rao ve Agarwal, 1999). Likopen, domateste bulunan pigmentlerin yaklaşık % 85’ ini oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda, domatesin içerdiği biyoaktif bileşiklerden olan likopenin özellikle prostat kanseri ve kolon kanseri riskini azalttığı tespit edilmiştir (Giovannucci ve diğerleri, 1995; Narisawa ve diğerleri, 1996). Ayrıca, işlenmiş domates ürünlerindeki likopenin, çiğ domatese göre biyoyararlılığının daha yüksek olduğu ve oksidatif stresi azalttığı gösterilmiştir (Hornero-Mndez ve Mnguez-Mosquera, 2007). Domates, askorbik asit, flavonoidler ve antioksidan aktiviteye sahip diğer bileşikleri de içerir (Diplock ve diğerleri, 1998). United States Department of Agriculture (2021b) verilerine göre taze domatesin 100 gramında 4100 µg likopen, 49 µg cis-beta-karoten, 393 µg trans-beta-karoten, 95 µg lutein, 9 µg zeaxanthin, 260 mg K, 28 mg P, 11,9 mg Mg, 11 mg Ca, 6 mg Na, 0,33 mg Fe, 0,121 mg mangan (Mn), 0,058 mg Cu, 27,2 mg Vitamin C ve 4,2 µg Vitamin K bulunmaktadır.

2.3. Kırmızıbiber

Anavatanı tropik Amerika olan biber Osmanlı İmparatorluğu döneminde 16. yüzyılda İstanbul’ a getirilmiş buradan diğer bölgelerimize yayılmıştır (Duman, Zorlugenç ve Evliya, 2002). *Solanaceae* familyasının *Capsicum* cinsine ait kırmızıbiberlerin acı ve tatlı türleri olup, çoğunlukla baharat endüstrisinde kullanılmaktadır (Arpacı, 2009). 2020 yılı TK verilerine göre Türkiye’ de 1 291 091 ton kırmızıbiber üretilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020). Kırmızıbiberin *Capsicum annuum* L. cinsi, baharat endüstrisi ile birlikte konserve, salça, turşu üretiminde ve sos yapımında dünya çapında yaygın bir kullanıma sahiptir (Yalçın, 2008). Kırmızıbiberin sindirimi kolaylaştırıcı etkisi, safra taşı ve diyabetik nöropati ve inflamatuvar hastalıkları iyileştirici özellikleri bulunmaktadır (Sim ve Sil, 2008). İnsan sağlığı üzerindeki bu önemli etkilerinin ana kaynağı, antioksidan özelliğinden kaynaklanmaktadır. Kırmızıbibere antioksidan özellik kazandıran bileşenler içeriğinde yer alan C ve E vitamini ile birlikte fenolik bileşikler ve

karotenoidlerdir. (Materska ve Perucka, 2005). Ayrıca, β -karoten, kapsantin, kapsorubin ve kriptoksantin gibi karotenoidler kırmızıbiberde hoş bir renk kazandırmaktadır (Erdoğan, 2013). United States Department of Agriculture (2021c) verilerine göre taze kırmızıbiberin 100 gramında 81,62 mg β -karoten, 490 μ g β -kriptoksantin, 51 μ g lutein+zeaksantin, 20 μ g α -karoten, 127,7 mg C vitamini, 1,58 mg α -tokoferol, 211 mg K, 26 mg P, 12 mg Mg, 7 mg Ca, 4 mg Na, 0,43 mg Fe, 0,25 Zn, 0,017 mg Cu ve 0,1 mg Se bulunmaktadır.

2.4. Kurutma

Gıda maddelerinden nemin uzaklaştırılması amacıyla ısı uygulanması işlemi olarak bilinen “kurutma” en eski muhafaza yöntemlerinden biridir (Cemeroğlu, 2013). Gıda muhafaza yöntemi olarak kullanılmasının yanı sıra, ürün hacmini büyük ölçüde azalttığı için depolama taşıma kolaylığını artırır, daha az işçilik ve ekipman gereksinimi sağlar (Singh ve Heldman, 2015).

Ayrıca, kurutulmuş gıdalar diğer muhafaza yöntemleri uygulanmış gıdalara göre daha fazla besin ögesi (özellikle lif) içeriğine sahiptir (Kutlu, İşçi ve Şakıyan Demirkol, 2015).

Kurutma işlemi vasıtasıyla gıdaların su aktivitesi (a_w) azaltılarak, ürün mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal yönden dayanıklı hale getirilmektedir (Kaya ve diğerleri, 2015).

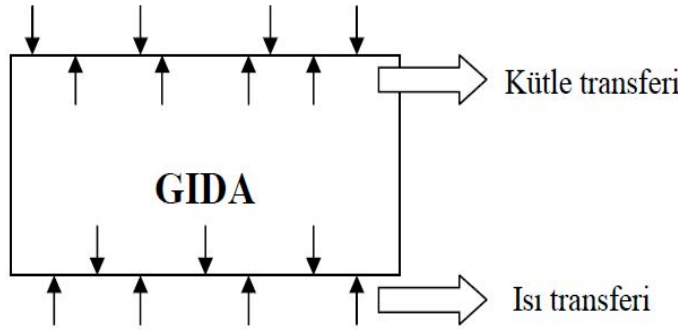
Türkiye’de kurutulmuş meyve ve sebze çeşitliliği çok fazladır. Kurutulmuş meyve ve sebzeler doğrudan tüketilebildiği gibi bazı karışımlara katkı olarak da kullanılabilir. Kurutulmuş meyveler genellikle bisküvi, kek, puding, kahvaltılık gevrek gibi karışımlarda, kurutulmuş sebzeler ise, hazır çorba ve sos karışımlarında kullanılmaktadır (Demiray ve Tülek, 2014).

Dünya kuru meyve ve ürünleri ihracatında ülkemizin payı % 11 civarındadır. Türkiye geneli kurutulmuş meyve ve ürünleri ihracatının; % 33,3’ ünü çekirdeksiz kuru üzüm, % 19’ unu kuru kayısı, % 16,9’ unu kuru incir, % 8,5’ ini antep fıstığı, % 4,7’ sini

badem ve geriye kalan kısmını diğer kuru ve kavrulmuş meyveler oluşturmaktadır (Anonim, 2021a; Anonim, 2021b).

2.5. Kurutma Mekanizması

Bir gıda maddesinden suyun uzaklaştırılması olarak bilinen kurutma, eş zamanlı ısı ve kütle aktarımını içermektedir. Bu eş zamanlı fiziksel olaylar gıdanın kurutulması sırasında, gıda çevresindeki sıcak hava ile temas eder ve ısı transferi yoluyla ısınır, yüzeyindeki nemin uzaklaşmasından sonra iç tabakadaki nem, kütle transferi ile ürün yüzeyine taşınır ve buradan buharlaşması sağlanır (Şekil 2.1) (Dadalı, 2007; Demiray, 2009; Singh ve Heldman, 2015).

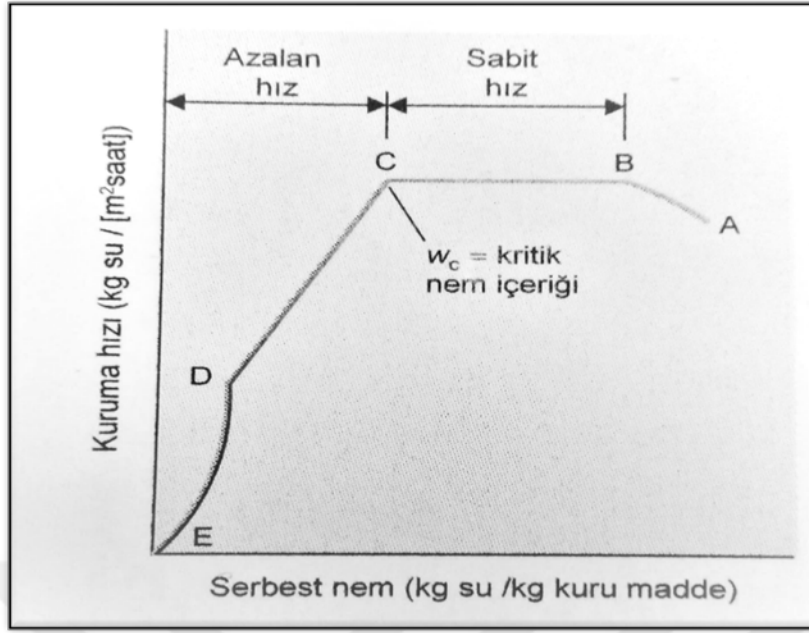


Şekil 2.1. Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen taşınım olayları

Gıda maddelerinin kurutulması sırasında farklı kurutma eğrileri elde edilmekle birlikte, genellikle iki farklı kuruma periyodu gerçekleşir (Şekil 2.2).

İlk olarak nem içeriğinde önemli azalmaların meydana geldiği ve kurutmanın yüksek hızda gerçekleştiği sabit kuruma hızı periyodu gözlemlenir. Sabit kuruma hızı bölgesi (B-C), nem içeriği kritik nem seviyesine düşünceye kadar devam etmektedir. Kritik nem içeriği, nemin uzaklaştırılması esnasında kuruma hızındaki ani değişim olarak bilinmektedir.

Daha sonra ise nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kuruma hızının da yavaşladığı ve daha az suyun buharlaştığı azalan kuruma hızı periyodu gözlemlenmektedir (Singh ve Heldman, 2015; Demiray, 2009).



Şekil 2.2. Gıdaların kuruma eğrisi

2.5.1. Sabit hız periyodunda kurutma

Sabit hız kurutma periyodunda, katının yüzeyi çok ıslaktır ve kurutma yüzeyi üzerinde sürekli bir su film tabakası vardır. Bu su, bağlı olmayan su olmakla birlikte sanki katı yokmuş gibi davranır. Eğer katı gözenekli ise, sabit hız periyodunda buharlaştırılan suyun çoğu, katının iç kısmından sağlanır (Geankoplis, 2011).

Sabit hız kurutma periyodunda, kuruma hızı; sıcaklığa, kurutulan gıdanın dilim kalınlığına, toplam basınca ve kısmi buhar basıncına bağlı olarak değişmektedir (Geankoplis, 2011).

2.5.2. Azalan hız periyodunda kurutma

Gıda maddelerinin kurutulması esnasında sabit hız kurutma periyodundan sonra, kritik nem içeriğine erişildiği noktadan itibaren azalan hız kuruma periyoduna geçilmektedir. Kritik nem içeriği değeri, gıda maddesinin yüzeyinde hiç suyun kalmadığı andaki nem içeriği olarak bilinmektedir. Gıdanın yüzeyinin tamamen kuru olduğu bu noktadan

itibaren, gıdanın iç kısımlarında bulunan su, buharlaşarak yüzeye taşınıp uzaklaştırılır (Abe ve Afzal, 1997; Geankoplis, 2011).

2.6. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Gıdaların kurutulması sırasında, kuruma hızı pek çok faktörden etkilenmektedir. Kuruma hızına doğrudan doğruya etki eden başlıca faktörler; sıcaklık derecesi, havanın nemi, havanın kurutucudaki hızı ve yüzey alanı (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb. gibi fiziksel faktörler) olarak sınıflandırılabilir.

2.6.1. Sıcaklık

Gıdaların kurutulmasında uygulanan sıcaklık derecesi arttıkça, difüzyon hızı ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmekte ve kurutma süresi kısalmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıkta kurutma, özellikle ince tabaka halinde olan gıdalarda besin kayıplarına yol açmaktadır (Dadalı, 2007; Pratt, 1974).

2.6.2. Kurutma havasının hızı

Gıdaların kurutulması sırasında hava hızındaki artış, kurutma hızında da artışa neden olmaktadır. Bu durum yüksek hava hızında, üründen buharlaşan suyun ortamdan daha kolay uzaklaştırılmasıyla açıklanmaktadır (Kutlu, 2013).

2.6.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı

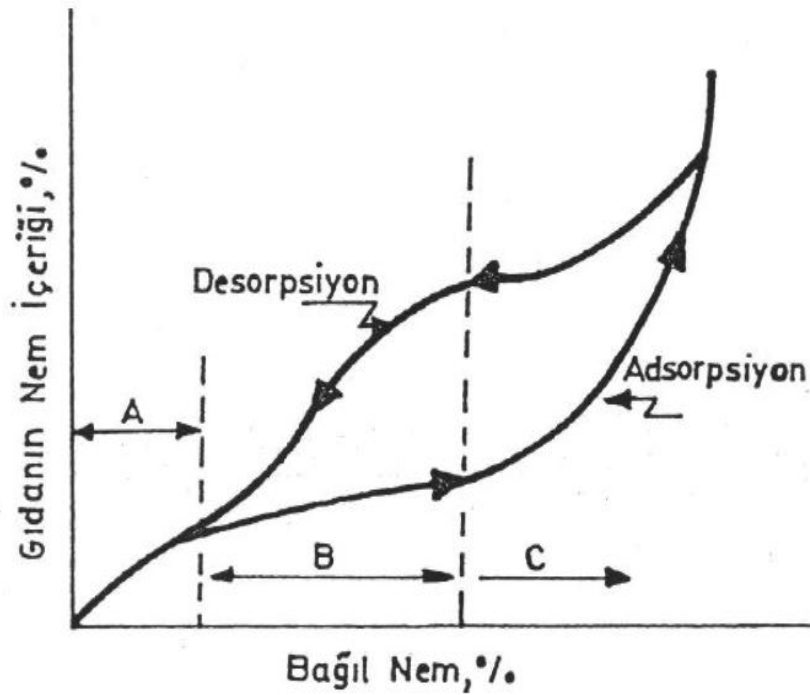
Kurutulacak gıdanın yüzey alanı ısı ve kütle transfer hızını etkileyen diğer bir faktördür. Yüzey alanının artması ile daha geniş bir yüzeyde ısı transferi sağlanacağı için ve gıdadan nemin uzaklaşacağı alan da artacağı için kuruma hızında artış meydana gelir. Bu nedenle gıda maddeleri küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünerek kurutulmalıdır. Özetle, gıdanın kuruma hızı, gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılı olarak, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak değişmektedir (Heldman ve Hartel, 1997).

2.6.4. Ortamın nem içeriği

Kurutulan gıdanın sahip olduğu nem miktarı, ortamdaki su buharı miktarı ile değişmektedir. Sabit sıcaklıkta bir maddenin içinde bulunduğu ortam havasının değiştirilmesi durumunda, maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler, sorpsiyon izotermi olarak adlandırılmaktadır (Dadalı, 2007). Bu izoterm eğrisinden «desorpsiyon» ve «adsorpsiyon» izotermi elde edilebilmektedir (Şekil 2.3).

Kurutulmuş bir gıda maddesinin sabit sıcaklıkta denge oluşana kadar bekletilmesi sırasında, gıdanın içerdiği nem miktarındaki artış adsorpsiyon (maddenin nem alması) olarak adlandırılmaktadır.

Aynı işlem yaşı bir gıdanın sabit sıcaklıkta nemi gittikçe azalan ortamda tutulması şeklinde yürütülürse, gıda maddesinin içerdiği nem miktarındaki değişim desorpsiyon (maddenin nemini kaybetmesi) olarak bilinmektedir (Cemeroğlu, 2013).



Şekil 2.3. Gıdalara ait sorpsiyon izoterm eğrisi

2.7. Kurutma Yöntemleri

2.7.1. Güneşte kurutma

Ülkemizde, birçok meyve ve sebzenin kurutulmasında güneşte doğal yolla kurutma halen uygulanmaktadır. Ancak, açıkta kurutulan ürünlerde hijyen sorunu oluşabilmekte ve bu yöntem her mevsim uygulanamamaktadır. Bu tür dezavantajlar nedeniyle farklı tip kurutucular güneşte kurutmaya alternatif hale gelmiştir (Tuğrul, Doymaz ve Pala, 2001).

2.7.2. Tepsili kurutma

Tepsili kurutucularda, kurutulacak olan gıda maddesi tepsi üzerine düzgün dağılımlı olacak şekilde serilir. Bu tip kurutucular, kabin içine yerleştirilebilen tepsiler içerir. Su buharı ile ısıtılan hava, bir fan yardımıyla tepsilerin yüzeyine paralel olarak verilir. Bu tip kurutucular genellikle laboratuvar ölçekli çalışmalarda tercih edilmektedir (Geankoplis, 2011; Kutlu ve diğerleri, 2015).

2.7.3. Vakum kurutma

Vakum kurutma, hem sıvı hem de katı parçacıklar halindeki ürünlerin kurutulabileceği bir uygulama olmakla, birlikte düşük sıcaklık derecelerinde uygulanmaktadır. Kurutma düşük oksijen seviyesinde gerçekleştiği için ürün kalitesi yüksektir, ancak maliyet de artmaktadır. (Geankoplis, 2011; Kutlu ve diğerleri, 2015; Zielinska, Zapotoczny, Alves-Filho, Eikevik ve Blaszcak, 2013).

2.7.4. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutmada, kurutulacak olan gıda maddesindeki su, katı (donmuş) halde tutulurken, çevresindeki basıncın düşürülmesi (vakum uygulaması) esnasında ısı aktarımı ile buzun süblimasyonu sağlanmaktadır. Bu işlem sırasında üründe bağlı suyun

bir miktarı donmamış halde bulunmaktadır (Fissore, Pisano ve Barresi, 2014; Singh ve Heldman, 2015).

2.7.5. Tünel kurutucular ile kurutma

Tünel kurutucular, fan, ısıtıcı ve kurutulacak ürünlerin taşındığı vagonlardan oluşmaktadır. Isıtılmış kurutma havası tünelin bir ucundan girerek vagona taşınan ürünlerin üzerinden belli bir hızla hareket etmektedir. Kuruma için gerekli olan süre boyunca vagonlar tünelde hareket ettirilmektedir. Meyve ve sebze ürünlerinin kurutulması için uygundur (Singh ve Heldman, 2015; Kutlu ve diğerleri, 2015).

2.7.6. Döner (Tambur) kurutucular ile kurutma

Döner kurutucular, dönen ve genellikle çıkışa doğru hafifçe eğimli boş bir silindirden oluşmaktadır. Hava akımı ve ürün girişi tek yönlüdür. Kurutulan üründe sürtünme sonucu meydana gelen olumsuzluklar nedeniyle çok fazla tercih edilmez. Granül haldeki nemli katı materyallerin kurutulmasında kullanılmaktadır (Geankoplis, 2011; Kutlu ve diğerleri, 2015).

2.7.7. Püskürtmeli kurutma

Püskürtmeli kurutucular, sıvı gıda maddesinden fazla nemin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Sıvıların kurutulması, kurutucudaki sıcak havanın içine sıvının atomize halde püskürtülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Sıcak havayla hareket eden sıvı gıda damlacıklarındaki su, buharlaşıp hava ile uzaklaştırılmaktadır. Kurutulmuş ürün bir siklon separatör kullanılarak havadan ayrılmaktadır.

Püskürtmeli kurutmanın avantajları şöyle sıralanabilir.

- Düzgün küresel şekilli, homojen boyutlu ürün elde edilebilmektedir.
- Hızlı kurutma imkanı sağlanmış olur.

- Buharlaşma ile ürün sıcaklığı artmadığı için katı partiküller korunmuş olur ve bu sayede yüksek kalitede ürünler elde edilmektedir (Geankoplis, 2011).

2.7.8. Mikrodalga kurutma

Mikrodalga sistemleri elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştüren magnetron ve klistron olarak bilinen cihazlar kullanılarak üretilmektedir. Mikrodalga kurutmanın prensibi, yüksek frekans dalgalarını gıdanın doğrudan absorbe etmesi ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmesidir (Sumnu, 2001).

Mikrodalga kurutma sisteminde, ürün içinde bulunan polar özellikteki su moleküllerinin titreşimi ve meydana gelen sürtünme sonucu oluşan ısı yoluyla kurutma sağlanmaktadır (Karaaslan, 2008).

Mikrodalga hacimsel ısıtma sağlayan dielektrik ısıtma tekniklerindendir. Hacimsel ısıtma ile ürünler geleneksel yöntemden daha kısa sürede istenilen sıcaklık düzeylerine getirilebilmektedir (Ramesh, Wolf, Tevini ve Bognar, 2002).

Bu nedenle mikrodalga tekniğinde, geleneksel yöntemlerden daha hızlı ısınma sağlanmakta, enerji gereksinimi düşük; fakat enerji verimi yüksek olmaktadır (Başkaya Sezer ve Demirdöven, 2015).

2.7.9. Isı pompalı kurutma

Diğer sistemlere göre daha yüksek verimde çalışan ısı pompalı kurutucular, daha düşük enerji tüketmekte ve bu kurutucular ile daha kaliteli ürün elde edilmektedir (Tunçkal, 2020). Isı pompalı kurutucular çalışma şekli, ısı pompası kademe sayısı, kurutma aşama sayısı, ürün sıcaklığı, ek ısı girişi ve ısı pompalı kurutucu çalışma tipleri olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Chua, Chou, Ho ve Hawlader, 2002; Gül, Dikmen ve şencan şahin, 2014).

Geleneksel kurutucularda, kurutucudan gelen nemli hava atmosfere bırakılır, bunun sonucu olarak da nemli havanın içerdiği buharlaşma gizli ısı ile duyulur ısıdan yararlanılamaz. Isı pompalı kurutucular kullanıldığında, bu enerji geri kazanılabilir. Kurutucu çıkışındaki nemli hava, duyulur ve gizli ısını geri verebileceği bir buharlaştırıcıdan geçirilir. Bu esnada havanın içindeki nem, buharlaştırıcının soğuk serpantin yüzeylerinde yoğunlaşarak daha düşük değerlere gelmektedir. Buharlaştırıcıda çekilen ısı, kurutucuya girmeden önce havanın ısıtılması için yoğunlaştırıcıya çevrim akışkanı ile taşınır (Gürlek, Akdemir ve Güngör, 2015; Hawlader, Chou, Jahangeer, Rahman ve Eugene, 2003).

2.8. İnce Tabaka Kurutma Kuramı ve Modelleri

Kurutma sistemlerinin performansının artırılması, yeni bir proses dizayn edilmesi veya geliştirilmesi ve gıda maddelerine en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi için ince tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi son derece önemlidir. Modellemelerin en önemli özelliği, kurutma koşullarını en açıklayıcı şekilde belirten matematiksel eşitliklere dayanmasıdır (Babalıs ve Belessiotis, 2004; Alibaş, 2012).

İnce tabaka kurutma genel anlamı ile örnek dilimlerinin sadece bir tanesinin kalınlığına eş değer olacak şekilde serilerek bir tabaka halinde kurutulmasıdır. Bu sayede kurutma havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinin homojen bir şekilde dağıldığı kabul edilir (Erbay ve İçier, 2009). Ayrıca kurutucu ile materyal arasında tamamen bir etkileşim sağlanmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

İnce tabaka kurutma kuramında sabit kuruma periyodu göz önüne alınmamakla birlikte, azalan kuruma evresi gıdaların kurutulmasında en önemli evredir (Yağcıoğlu, 1999).

İnce tabaka eşitlikleri son yıllarda kullanım kolaylığından ve daha az veriyle sonuç verebilmesinden dolayı karmaşık modellerin çözümünde geniş kullanım alanı bulmuştur (Kutlu ve diğerleri, 2015; Özdemir ve Devres, 1999).

İnce tabaka kurutma modeli teorik, yarı teorik ve deneysel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Teorik modelde sadece içsel direnç dikkate alınırken, yarı teorik ve deneysel modellerde nem transferi için ürün ve hava arasındaki dış direnç de dikkate alınmaktadır (Erbay ve İçier, 2009).

Fick'in ikinci difüzyon yasası en çok kullanılan teorik modeldir. Kurutulmuş birçok gıdada Fick'in ikinci yasası ile birlikte Arrhenius eşitliği uygulanmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir ve Devres, 1999).

Yarı teorik modeller, genellikle Fick'in ikinci yasasının çözümlenmesiyle veya bazı modifiye modellerin sadeleştirilmesiyle oluşturulan eşitliklerdir. Bu modellemelerde hesaplamaların yapılabilmesi için ürünün geometrik şekli, iletkenliği ve kütle difüzyon değerleri gibi parametrelerin ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır (McMinn, 2006). Yarı teorik modellere örnek olarak; Page modeli, Modifiye Page modeli, Lewis modeli, Henderson ve Pabis modeli ve Logaritmik modeller verilebilir (Cesur, 2013).

Deneysel modellemelerde, kurutma esnasında elde edilen fiziksel değerler kullanılmamaktadır. Bu modellemelerde kurutulan ürünün nem miktarı ve kurutma süresi arasındaki ilişkiden yararlanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Kurutma işlemi sırasında deney koşullarına ait kurutma eğrisi elde edilmektedir. Deneysel modellere örnek olarak; Thomson modeli ile Wang ve Singh modeli verilebilir (McMinn, 2006; Özdemir ve Devres, 1999).

Gıda kurutma sistemlerinde kullanılan matematiksel modeller ve denklemlerine bazı örnekler Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Gıda kurutma sistemlerinde kullanılan matematiksel modeller ve denklemleri

Model adı	Denklem	Kaynak
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Sarsavadiya ve ark., 1999
Handerson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman ve ark., 1973
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Dadalı, 2007
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu, 1999
Modifiye Page	$MR = \exp [(-kt)^n]$	Overhults ve ark., 1973
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh, 1978
İki terimli	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Madamba ve ark., 1996
Difüzyon Yaklaşım	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp (-kbt)$	Yaldız ve Ertekin, 2001
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli, Küçük ve Yapar, 2002

2.9. Meyve ve Sebzelerin Kurutulmasında Modellemelerin Kullanımı

Kurutma sistemlerinin optimize edilmesi ve uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla farklı meyve ve sebze çeşitleri için çeşitli matematiksel modeller uygulanmaktadır.

Demiray ve Tülek (2014) yapmış oldukları çalışmada, 0,2 m/s hava hızına ve % 20 nispi nem değerine ayarlanmış kabin tipi konveksiyonel kurutucu ile 55 - 75 °C arasındaki sıcaklıklarda sarımsak kurutmuştur. Çoğu gıdada olduğu gibi sarımsak ürünlerinin kurutulması azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Araştırmacılar sarımsak örneklerinin kurutma sürecini modellemek amacıyla beş farklı tip model (Page, Henderson ve Pabis, Modifiye Page, Lewis ve Logaritmik) uygulamıştır. Bu modelleme sonuçlarına göre en fazla korelasyon katsayısı (R^2) ile en düşük RMSE (tahmini standart hata) ve χ^2 değerine sahip olan Page ve Modifiye Page Modellerinin en uygun modeller olduğu belirlenmiştir.

Avhad ve Marchetti (2016) nem içeriği % 51,20 olan avokado dilimlerini (4,3 x 3 x 0,27 cm) farklı sıcaklıklarda (313, 323, 333, 343 ve 353 K) konveksiyonel kurutucuda nem içeriği % 4,57 olana dek kurutmuştur. Araştırmacılar üç farklı yarı teorik kurutma

modeli (Lewis, Henderson ve Pabis, Page) ile kendi geliştirdikleri modeli (Avhad ve Marchetti) karşılaştırmıştır. Deneysel olarak elde edilen veriler ile tahmin verileri arasındaki ilişkileri gösteren RMSE, χ^2 , R^2 değerleri hesaplanmıştır. Buna göre çalışmada kullanılan beş farklı sıcaklık seviyesinde elde edilen verilere göre en yakın sonuçları veren model kendi geliştirdikleri Avhad ve Marchetti modeli olmuştur.

Yapılan bir başka çalışmada araştırmacılar laboratuvar tipi kurutucuda kurutulan şeftali dilimlerinin kurutma prosesi üzerine, kurutma sıcaklığı (60-65-70-75-80 °C), hava hızı (0,423-0,598-0,733-0,946-1,120 m/s) ve dilim kalınlığının (0,002-0,003-0,004 m) etkilerini incelemiştir. Nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri, kurutma sıcaklığı, hava hızı ve dilim kalınlığının artması ile artış göstermiştir. Araştırmacıların uygulamış oldukları altı farklı modelden (Newton, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Modifiye Page, Wang ve Singh) Page modeli en uygun model olarak belirlenmiştir.

Kaya, Aydın ve Kolaylı (2010), 7 mm kalınlığında dilimledikleri kivi meyvelerini farklı sıcaklık (35, 45, 55, 65 °C), hava hızı (0,3 – 0,6 – 0,9 m/s) ve nispi nem (% 40, 55, 70, 85) değerlerinde konveksiyonel bir kurutucuda kurutmuştur. Uygulanan üç model (Lewis, Henderson ve Pabis, İki terimli) arasından İki terimli model kivi meyvelerinin kurutma şartlarına en uygun model olarak belirlenmiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığının artması ve nisbi nemin azalması durumunda C vitamini (askorbik asit) yıkımının arttığı da gözlenmiştir.

Diğer bir çalışmada araştırmacılar, soğan dilimlerini (10 mm kalınlık) güneşte, fırın kurutucuda (50 ve 70 °C) ve mikrodalgada (210 ve 700 W) kurutmuştur. En yüksek R^2 değerlerine sahip (0,994 ve 0,999 arasında değişen) Page, Modifiye Page ve Midilli modelleri en uygun model olarak belirlenmiştir (Avhad ve Marchetti, 2016).

Mikrodalga (180, 540 ve 720 W), mikrodalga konvektif kombinasyonu (180W – 100 °C, 360W – 100 °C ve 540 W – 100 °C) ve konvektif (100, 150 ve 200 °C) kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan sultani üzümünün kuruma karakteristiklerinin matematiksel olarak modellendiği bir diğer çalışmada, 540W – 100°C hariç tüm kurutma koşulları için Weibull Distribution modeli en uygun model olarak

belirlenmiştir. 540W-100°C’ de mikrodalga konvektif kombinasyonu uygulanarak kurutulan sultani üzümleri için ise en iyi model Alibas olarak seçilmiştir (Karaaslan, Ekinci ve Akbolat, 2017).

Çelen, Buluş, Moralar, Haksever ve Özsoy (2016) tasarladıkları mikrodalga bantlı kurutucunun gıda ürünlerinde kullanılabilirliğini araştırmak için üç farklı boyutta (1, 2, 3 mm) dilimlenen patates örneklerini 1500 W ve 2100 W güçlerinde ve 0,175, 0,210 ve 0,245 m/dak bant hızındaki mikrodalga da % 80±1 nem değerinden % 12±0,5 değerine gelinceye kadar kurutmuşlardır. Elde edilen nem değerleri göz önüne alınarak 12 adet kurutma modeli (Newton, Page, Henderson ve Pabis, Weibull distribution, Modifiye Page II, Lewis, Midilli ve ark., Wang ve Singh, Difüzyon yaklaşım, Verma ve ark., Modifiye Henderson ve Pabis, İki terimli) uygulanmıştır. Korelasyon katsayısı (R^2), standart sapma (RMSE) ve χ^2 değerleri dikkate alınarak en uygun modelin Modifiye Henderson ve Pabis olduğu belirlenmiştir.

2.10. Pestil Üretimi

Pestil, Türkiye’de tüketilen geleneksel bir kuru meyve ürünüdür. Türk Standardları Enstitüsü tarafından hazırlanan pestil standardlarına göre “pestil, üzüm, erik, kayısı ve duttan elde edilen pulp veya meyve sularının yenilebilir nişasta, beyaz şeker, çeşni ve katkı maddeleri ilavesi ile tekniğine uygun olarak kıvamının artırılmasından sonra usulüne uygun şekilde yayılıp kurutulması ile elde edilen bir üründür” (Anonim, 2000).

Kalsiyum, potasyum, sodyum ve demir başta olmak üzere iyi bir mineral ve enerji kaynağıdır. Ayrıca içerdiği biyoaktif bileşenler, fenolik maddeler, antioksidanlar ve diyet lifi bakımından günlük diyetle tüketilebilecek alternatif bir besleyici gıdadır (Valenzuela ve Aguilera, 2015).

Pestilin çekici görüntüsü, beğenilen lezzeti, oda koşullarında uzun süre muhafaza edilebilmesi, kolay ve pratik olarak tüketilmesi gibi avantajları vardır (Tontul, 2017).

Geleneksel pestil üretiminde çeşitli ön işlemler sonrası elde edilen meyve ekstraktlarına gerekli miktarda un ve/veya nişasta eklenerek ürün konsantre edilmekte ve yayma kıvamına ulaşınca ısıl işlem uygulanmaktadır. Pişirme işleminden sonra karışım 0,5-5 mm kalınlığında olacak şekilde bezler üzerine yayılmakta ve güneşte birkaç gün süre ile kurutulmaktadır. Kurutulan ürün istenilen şeklin verilebileceği elastik bir yapı kazanmaktadır. Kurutulmuş ürün üzerine yapışmayı önlemek için un, nişasta veya pudra şekeri serpilerek katlanmakta ve nem geçirgenliği düşük ambalajlarda muhafaza edilmektedir. Kullanılan hammaddeye göre farklılık göstermekle birlikte 100 kg meyveden yaklaşık 20 – 30 kg pestil üretilmektedir (Ekşi ve Artık, 1984). Bu şekilde geleneksel pestil üretimi Anadolu'da belli bir bölge ile sınırlıdır. Ancak bu besleyici ve faydalı ürünü endüstriyel olarak üretip dünyaya tanıtmak oldukça önemlidir (Cagindi ve Otles, 2005).

2.11. Pestil Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Cagindi ve Otles (2005) geleneksel yöntem kullanarak ürettikleri üzüm, dut, kayısı ve erik pestillerinin fizikokimyasal özelliklerini (nem, kül, yağ, protein ve karbonhidrat), enerji değerini ve mineral madde miktarlarını araştırmıştır. Pestil örneklerinin karbonhidrat değerlerinin % 73,7 – 82,4 arasında, enerji değerlerinin ise 321,5 ve 356,4 Kcal/100g arasında değiştiği tespit edilmiştir. Dut pestilinin üzüm ve kayısı pestiline göre daha iyi bir enerji kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kayısı pestilinin kalsiyum, sodyum ve çinko bakımından, dut pestilinin ise magnezyum bakımından zengin olduğu bildirilmiştir.

Chowdhury ve diğerleri (2011) jackfruit pestilinin kurutma karakteristiklerini modellemek için denedikleri 9 farklı matematiksel model arasından en uygun modelin Modifiye Page modeli olduğunu belirlemişlerdir.

Kayısı pestilinin kuruma kinetiği üzerine farklı hava sıcaklıklarının etkisinin incelendiği bir çalışmada kayısı püreleri 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ve 10 farklı matematiksel model uygulanmıştır. Aghbashlo ve Midilli modelleri kayısı pestilinin kuruma kinetiğini en iyi tanımlayan model olarak seçilmiştir.

Fick' in ikinci difüzyon yasası kullanılarak hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısı $1,0149 \times 10^{-9}$ ile $1,8599 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi 19,41 kJ mol⁻¹. Ayrıca L^* , a^* , b^* , C^* ve h^0 renk değerlerinin kurutma sıcaklığı artışı ile azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Kayran ve Doymaz, 2017).

Durian pestilinin işlenmesi ve depolanması sırasında uçucu bileşenlerindeki değişimi belirlemek için bir çalışma yapılmıştır. Taze durian meyvesinde onbiri 11 ester, 10 alkol, 6 karboksilik asit, 6 kükürtlü ve azotlu bileşik ve 5 hidrokarbon olan 38 uçucu bileşik tanımlanmıştır. Meyvenin pestile işlenmesinden sonra aroma bileşenlerinin çoğunun korunduğu bildirilmiştir. Depolama sırasında ise, ürünlerdeki asitlerin nispi oranı artmış, esterler, alkol ve aldehitler azalmış olup, hidrokarbonlar, fenolik bileşikler ile S ve N bileşikler düzenli bir şekilde artma veya azalma göstermemiştir (Jaswir, Che Man, Selamat, Ahmad ve Sugisawa, 2008).

Depolama sürecinde elma pestilinin kalitesini değerlendirmek için yapılan bir araştırmada nem içeriği 25 kg su/100 kg son ürün olacak şekilde 60 °C' de sıcak havalı kurutucuda kurutulan elma pestilleri 20 °C de 7 ay boyunca depolanmıştır. Ürünlerin organoleptik özellikleri ve besin içeriklerindeki değişim incelenmiştir. Depolama sonucunda esmerleşme indeksinin artış gösterdiği ve antioksidan aktivitenin başlangıç değerine göre % 47 azaldığı bildirilmiştir (Quintero Ruiz, Demarchi, Facundo Massolo, Rodoni ve Giner, 2012).

Kaushal, Dhiman, Gupta ve Vaidya (2017) farklı konsantrasyonlarda (% 1 – 2,5) iştah açıcı karışım (kekik, nane, tuz ve siyah tuz kullanılarak hazırlanmıştır) ve zencefil erik karışımı kullanılarak hazırladıkları pestili 55±2 °C'de % 12-14 nem içeriğine kadar kurutmuşlardır. Duyusal olarak en yüksek puanı alan ürün zencefil erik (50 : 50) ve % 1,5 iştah açıcı karışım kullanılarak üretilen formülasyondan elde edilmiştir. İştah açıcı karışım kullanılmadan üretilen pestillere göre bu karışımla hazırlanan örneklerde daha yüksek miktarda askorbik asit (13,16 mg/100g), toplam fenolik madde (55,89 mg/100g) ve antioksidan aktivite (% 72,94) sonuçları elde edilmiştir. 6 ay boyunca lamine alüminyum paketlerde depolanan pestil örneklerinin, titrasyon asitliği, askorbik asit,

toplam şeker, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde önemli değişiklikler görülmemiştir ($p > 0,05$).

Dut pestilinin kimyasal, dokusal ve duysal özellikleri üzerine un (% 6 – 8 – 10), sakkaroz şurubu (% 0 – 20 – 40), glikoz şurubu (% 0 – 20 – 40) ve pişirme süresinin (10 – 20 dak) etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, un, sakkaroz şurubu ve glikoz şurubu ilavesinin örneklerin pH değerinde ve L^* , a^* , b^* renk değerlerinde artışa sebep olurken, toplam asitliğini ve toplam fenolik madde içeriğini azalttığı bildirilmiştir. Örneklerin toplam şeker ve sakkaroz içeriği, sakkaroz şurubu ilavesi ile artarken, invert şeker içeriğinin azaldığı kaydedilmiştir. Katkı maddeleri ilavesi pestil örneklerinin duysal özelliklerini de önemli düzeyde etkilemiş, şeker şurubu konsantrasyonundaki artış pestil örneklerinin renk, aroma ve tekstür değerlerini düşürmüştür ($p < 0,05$). Pestil üretiminde hidroksimetil furfural ve akrilamid oluşumunda pişirme süresi ve metodunun önemli olduğu bildirilmiştir (Boz, 2012).

Dut pestili ile ilgili yapmış olduğumuz bir çalışmada; mikrodalga (90 ve 180 W), sıcak hava (60 ve 70 °C) ve vakum (60 ve 70 °C – 250 mbar) kurutma yöntemleri ile kurutulan dut pestillerinin kuruma karakteristiği, toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, renk ve tekstürel (sertlik, esneklik, çiğnenebilirlik ve yapışkanlık) özellikleri araştırılmıştır. Kurutma ile pestil örneklerinin L^* , b^* , C^* ve h° renk değerlerinde artma, a^* renk değerinde azalma olmuştur. Pestil örneklerinin tekstürel özelliklerinde kurutma yöntem ve koşulları arasında istatistiksel olarak önemli değişiklikler gözlenmiştir ($p < 0,05$). Uygulanan modeller içinde Page ve Modifiye Page en iyi sonucu verdiği için bu modeller dut pestilinin kuruma karakteristiklerini en iyi tanımlayan modeller olarak seçilmiştir. Örneklerin efektif nem difüzyon katsayıları $4,42 \times 10^{-8} - 8,47 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmiştir. Kurutma ile dut pestillerinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerleri koşullara göre sırasıyla % 1,41 – 57,13 ve % 0,37 – 72,79 arasında artış göstermiş olup, en yüksek değerler 180 W mikrodalga (toplam fenolik madde: 209,14 mg GAE/100 g km ve antioksidan kapasite (DPPH): 181,37 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g km}$) ile kurutulan pestillerde gözlenmiştir (Suna ve Özkan Karabacak, 2019).

Kayısı pestilinin fizikokimyasal ve duysal özelliklerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada güneşte, 55 °C' de vakumda ve 90 W gücünde mikrodalgada kurutma işlemleri uygulanmıştır. Pestil örneklerinin HMF içeriği kurutma yöntemine göre değişiklik göstermiş olup, mikrodalga, vakum ve güneşte kurutulan örneklerde sırasıyla, 13,62, 19,39 ve 45,64 mg/kg olarak saptanmıştır. Örneklerin toplam fenolik madde içeriği 110,03 ile 121,24 mg GAE/100 g arasında değişiklik göstermiştir. Kurutma süresi bakımından yöntemler karşılaştırıldığında, en düşük kurutma süresi mikrodalga ile elde edilmiştir. Mikrodalga ile kurutulan örneklerin a^* , b^* , ΔE^*_{ab} ve C^*_{ab} renk değerleri diğer yöntemlerle kurutulan örneklerle göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Örneklerin kurutma işleminden sonra artan kuru maddesi nedeniyle, mineral madde içeriklerinin taze örneklerle göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Tüm örnekler duysal özellikler açısından panelistler tarafından kabul görmüştür (Suna, Tamer, Incedayi, Ozcan Sinir ve Copur, 2014).

Elma pestilinin higroskopikliği ve gevrekliği üzerine maltodekstrin kullanımının etkileri Valenzuela ve Aguilera (2015) tarafından yapılan bir çalışmada araştırılmıştır. Elma pestillerinin higroskopikliği maltodekstrin ilavesi ile azalırken, düşük nem içeriğinde pestillerin gevrekleştiği bildirilmiştir.

Gujral ve Khanna (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, mango pestili üretiminde yağsız süt tozu, soya proteini konsantresi ve sakkaroz kullanımının, ürünün kuruma davranışı, tekstürü, rengi ve kabul edilebilirliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Soya proteini konsantresi, yağsız süt tozu ve sakkaroz, ürünün besleyici değerini ve tatlılığını iyileştirmek için % 0, % 4,5 ve % 9 seviyelerinde ilave edilmiştir. Mango pestili 60 °C'de 7,60 saat kurutma sonucunda % 10 nem seviyesine ulaşmıştır. Pestil örneklerinin kuruma hızını düşürmek için soya proteini konsantresi en önemli etkiye sahipken, bunu sırasıyla sakkaroz ve yağsız süt tozu takip etmiştir. Sırasıyla, 10,71 mm ve 0,1503' lük uzayabilirlik ve kopma direncine sahip olan mango pestilinde bu değerler artan soya proteini konsantresi, yağsız süt tozu ve sakkaroz seviyeleri ile azalma göstermiştir. L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla, 42,58, 12,58 ve 26,89 olan mango pestilinin b değeri, soya proteini konsantresindeki artışla azalırken sakkarozdaki artışla artmıştır. Mango pestilinin duysal kabul edilebilirliğini soya proteini konsantresi kullanımı azaltırken, sakkaroz ve

yağsız süt tozunun % 4,5 seviyelerinde kullanımı duyuşal kabul edilebilirlik değerlerini artırmıştır.

Maskan, Kaya ve Maskan (2002) güneşte ve sıcak havada kurutarak hazırladıkları üzüm pestilinde hava sıcaklığı (55, 65 ve 75 °C), rnek kalınlığı (0,71, 1,53, 2,20 ve 2,86 mm) ve hava hızının (0,86, 1,27 ve 1,82 m/s) kurutmaya etkisini incelemişlerdir. Kuruma süresi, sıcaklık ve örnek kalınlıklarının pestilin nem içeriği üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi görülürken ($p < 0,05$), hava hızının önemli bir etkisi olmamıştır ($p > 0,05$). rnek kalınlığı ve hava sıcaklığına bağlı olarak, ticari pestil nem içeriğine (0,12 kg su/kg km) erişebilmek için, kuruma süresi 50 ile 140 dakika arasında sürmüştür. Diğer taraftan güneşte kurutma 180 - 1500 dakika arasında tamamlanmıştır. Efektif nem difüzyon katsayısı değerleri sıcak hava kurutma yöntemi için $3,00 - 37,6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, güneşte kurutma için $1,93 - 9,16 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişim göstermiştir. 0,71, 1,53, 2,20 ve 2,86 mm örnek kalınlıkları için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri sırasıyla 21,7, 16,5, 12,0 ve 10,3 kJ/mol olarak hesaplandığı belirtilmiştir.

zm pestili ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada, farklı kalınlıklarda (3-7 mm) hazırlanan rnekler, 55 – 75 °C sıcaklık aralığıda pilot ölçekli konveksiyonel bir kurutucuda kurutulmuştur. Farklı ince tabaka kurutma modellerinin uygulandığı araştırmada, üzüm pestillerinin kuruma kinetiğini tanımlayan en uygun model iki terimli eksponansiyel model olarak belirlendiği bildirilmiştir. Örneklerin efektif nem difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri sırasıyla, $7,18 - 2,56 \text{ m}^2/\text{dak}$ ve $26,07 - 21,59 \text{ kJ/mol}$ olarak hesaplandığı belirtilmiştir. Pestil numunelerine toplam şeker, enzimatik olmayan esmerleşme, protein, titrasyon asitliği, tekstür, renk, su aktivitesi ve genel kabul edilebilirlik analizleri uygulanmıştır. 55 °C de kurutulan pestillerde, her iki örnek kalınlığında da en yüksek kabul edilebilirlik görüldüğü ifade edilmiştir (K. Gupta ve Alam, 2014).

Diğer bir çalışmada, elma, muz, ananas kullanılarak karışık meyve pestili ve keki üretilerek, fizikokimyasal, organoleptik ve duyuşal özelliklerinin değerlendirilmesi yapılarak, örneklerin bileşimi belirlenmiştir. Fizikokimyasal özelliklerini belirlemek için, briks, toplam titrasyon asitliği, uçucu ve uçucu olmayan asitlik, pH ve vitamin C

analizleri yapılmıştır. % 40 muz: % 40 ananas: % 20, % 40 elma (A) içeriğine sahip olan örnek diğerlerinden önemli ölçüde farklılık göstererek ($p < 0,05$), en yüksek biriks (20,07 g) ve toplam titrasyon asitliği (0,42 g/L) değerlerini verdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, % 20 muz: % 40 ananas: % 40 elma (B) bileşimine sahip olan örnek diğerlerinden önemli ölçüde farklılık göstererek ($p < 0,05$), en yüksek uçucu (26,00 g/L) ve uçucu olmayan asitliğe (5,6 g/L) ve C vitaminine (22,33 mg/100g) sahip olmuştur. A örneği kül (% 1,20), protein (% 0,71) ve karbonhidrat (% 84,77) bakımından diğer numunelere göre önemli ölçüde daha yüksek sonuçlar verirken; B örneğinin, nem içeriği (% 4,14) ve yağ içeriği (% 2,32) açısından diğer örneklerle göre daha yüksek değerlere sahip olduğu bildirilmiştir. En yüksek lif içeriği (% 12,47) % 60 muz: % 20 ananas: % 20 elma (C) içeren örnekte gözlenirken, en az A örneğinde saptanmıştır. Duyusal olarak örnekler arasında istatistiksel farklılıklar gözlenmemiştir ($p > 0,05$) (Offia-Olua ve Ekwunife, 2015).

Diğer bir çalışmada farklı oranlarda armut suyu konsantresi, pektin, mısır şurubu ve su kullanılarak hazırlanan armut pestil karışımı 70 °C'de 8 saat kurutulmuştur. Karışımda kullanılan malzemelerin, pestil örneklerinde tekstür, renk, mikrobiyal gelişim, nem içeriği, su aktivitesi, camsı geçiş sıcaklığı ve duyusal özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Camsı geçiş sıcaklığı mikrobiyal özelliklerin tahmini için kullanışlı olmamakla birlikte, enstrümental ve duyusal (sertlik ve çiğnenebilirlik) özellikler arasında güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Enstrümental tekstür analizlerinden elde edilen sonuçlar, sertlik, çiğnenebilirlik ve yapışkanlık değerlerinin aynı parametrelerin duyusal analiz sonuçlarını tahmin etmede kullanılabileceğini göstermektedir. Son olarak, armut pestillerinde tüketici beğenisinin, meyve aromasının, tatlılığının, ekşiliğinin ve parlaklığının yükseltilerek artırılabilceği bildirilmiştir (Huang ve Hsieh, 2005).

Kamiloglu ve Çapanoğlu (2014) tarafından yapılan bir alışmada üzüm, beyaz dut, kayısı ve erik kullanılarak üretilen dört farklı pestil çeşidinin toplam fenolik madde, flavanoid, proantosyanidin, antosyanidin ve antioksidan kapasitenin *in vitro* biyoerişilebilirliği araştırılmıştır. Örneklerden *in vitro* sindirim prosedürü sonucunda elde edilen PG (postgastrik, midedeki sindirim prosedürü sonrası diyaliz tüpünde kalan kısım), IN

(bağırsakta sindirim prosedürü sonrası diyaliz tüpüne geçen) ve OUT (bağırsaktaki sindirim prosedürü sonrası diyaliz tüpüne geçmeyen) kısımlarına analizler uygulanmıştır. Sonuçlar, IN fraksiyonunun toplam fenoliklerin, flavonoidlerin ve proantosiyanidinlerin sırasıyla % 12 – 50' sini, % 3 – 17' sini ve % 3 – 72' sini temsil ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca IN fraksiyonunun toplam antioksidan kapasitesi pestil örnekleri için elde edilen başlangıç değerlerinin % 2 – 57' si kadar olduğu saptanmıştır. Simüle edilmiş *in vitro* gastrointestinal sindiriminin toplam antosiyaninler üzerindeki etkisini belirlemek için sadece ve erik pestili analiz edilmiş olup, elde edilen sonuçlara göre IN fraksiyonunda hiçbir antosiyanin tespit edilmediği bildirilmiştir. Yapılan çalışma, meyve pestillerinin, sindirimden sonra belirli bir dereceye kadar korunan önemli miktarda polifenol alımı sağlayan sağlıklı atıştırmalıklar olduğunu göstermektedir.

Farklı konsantrasyonlarda glikoz şurubu (% 2, % 4 ve % 6) ve pektin (% 0,5, % 1,0 ve % 1,5) kullanılarak üretilen ananas pestillerinin fizikokimyasal özellikleri ve duyuusal optimizasyonu üzerine Phimphean ve diğerleri (2011) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Glikoz şurubu ve pektin konsantrasyonlarındaki değişiklikler, ananas pestilinin toplam suda çözünür kuru madde içeriğini önemli ölçüde etkilemiş olup ($p < 0,05$), pestillerin kalınlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamıştır ($p > 0,05$). Diğer taraftan, artan pektin konsantrasyonları genel olarak kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) renk değerleri ile sertliği arttırırken, ananas pestillerinin nem içeriğini ve su aktivitesini azaltmıştır. En kabul edilebilir iki ananas pestili, % 6 glikoz şurubu ve % 0,5 – 1,0 pektin ile hazırlananlar olmuştur. Pektin konsantrasyonunun % 1,0' den % 1,5' e yükseltilmesi, nem ve su aktivitesinin azalmasına bağlı olarak sertliği olumsuz yönde etkilemiştir. Optimum formülasyon aralığını % 3,5 – 6,0 glukoz şurubu, % 0,5 – 1,0 pektin oranları; görünüş, ekşilik, tatlılık, genel tat, sertlik duyuusal parametreleri için ise, 9 puanlık bir hedonik ölçekte 6,7 – 7,3 kabul edilebilirlik puanları olan ürünler vermiştir.

Tontul ve Topuz (2017) ksantan gamı (% 0 – 4), keçiyoynuzu gamı (% 0 – 10) ve önceden jelatinize edilmiş nişasta (% 0 – 10) gibi farklı hidrokolloid karışımları kullanarak nar pestili üretimini yanıt yüzey yöntemi ile optimize etmiştir. Pestil

üretiminin optimizasyonu için yanıt olarak; su aktivitesi, nem içeriği, renk özellikleri, esmerleşme indeksi, HMF içeriği, toplam monomerik antosiyanin, toplam fenolik madde, toplam flavanoid madde ve toplam proantosiyanın içeriği, antioksidan aktivite, uzama kabiliyeti ve duyu özellikler seçilmiştir. Optimum formül, % 7,5 keçiyoynuzu gamı ve % 2,5 önceden jelatinize edilmiş nişasta kullanımı olarak belirlenmiştir. Optimum formülasyonla üretilen pestilin, geleneksel pestile göre daha iyi özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir.

Nar pestilinde yapılan bir diğer çalışmada, kurutma koşullarının pestil örneklerinin nem transferi ve kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla vakum, kabin tipi ve açık havada kurutma teknikleri uygulanarak kuruma karakteristikleri ile birlikte ürünün besin içeriklerindeki değişim kinetikleri incelenmiştir. Kuruma kinetiklerini en iyi birinci dereceden reaksiyon modeli tanımlarken, efektif nem difüzyon katsayıları $3,1 \times 10^{-9}$ ile $52,6 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişiklik göstermiştir. Kurutma koşulları, ürün kalınlığı ve kurutma sıcaklığı, ürünün kuruma hızı ve ürün kalitesini etkilemiştir. Vakumla kurutma yöntemi, kurutma kinetiği ve nihai ürün kalitesi bakımından daha hızlı kurutma ve içerideki sınırlı oksijenden dolayı fenolik madde, antosiyanin ve askorbik asidin daha iyi bir şekilde korunmasını sağlamıştır. Antosiyanin içeriğinin kurutma yöntemi, kurutma sıcaklığı ve ürün kalınlığından önemli ölçüde etkilendiği de bildirilmiştir (Yılmaz, Yüksekaya, Vardin ve Karaaslan, 2017).

Kuşburnu pestillerinin kalitesine sıcak hava, vakum ve kızılötesi kurutma yöntemlerinin etkisinin araştırıldığı çalışmada tüm metotlar için iki farklı sıcaklık (60 ve 70 °C) kullanılmıştır. Uygulanan her iki sıcaklıkta tüm yöntemlerde esnek ve yarı saydam meyve pestilleri elde edilmekle birlikte, örneklerin renk ve su aktivite değerlerinde önemli değişiklikler gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde değerlerini sırasıyla, % 57,5 ve % 25,1 oranlarında en iyi koruyan yöntem ve koşul 60 °C' de vakum kurutma yöntemi olmuştur. Çevresel taramalı elektron mikroskobu sonuçları, gözeneklerin boyutunun kurutma tekniğinden etkilendiğini, ancak incelenen aralıktaki sıcaklıktan etkilenmediğini göstermiştir (Quintero Ruiz, Demarchi ve Giner, 2014).

Erik pestilinde duyuşal ve tekstürel özelliklerin araştırıldığı bir diğér çalışmada kuru meyvelerden % 3, 5 ve 10 oranlarında presleme ile ahududu (*Rubus idaeus*), böğürtlen (*Rubus fruticosus*) ve bal kombinasyonu ile aronya (*Aronia melocarpa Elliot*) karıştırılarak erik (*Prunus domestica*) pestilleri üretilmiştir. % 5 presleme ilavesiyle (bileşimden bağımsız olarak) meyve pestili, kontrol ile karşılaştırıldığında organoleptik özelliklerde ufak farklılıklar göstermiştir. Enstrümantal tekstür parametreleri tekstür profil analizi (TPA) ile incelenmiştir. Tekstürel ve duyuşal parametreler arasında bazı korelasyonlar kurulmuştur (Momchilova, Zsivanovits, Milkova-Tomova, Buhalova ve Dojkova, 2016).

Çilek ve kivi pestilleri, yeni pazarlar için sağıklı ve koruyucu içermeyen alternatif yeni bir meyve atıştırmalığı geliştirmek amacıyla üretilmiştir. Meyve püresi 60 °C' de 20 saat kurutulmuş ve depolamaya tabi tutulmuştur. Pestil örneklerine, pişmiş ve taze pürelerde suda çözünür kuru madde, titre edilebilir asitlik, pH, su aktivitesi, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite (ORAC) ve renk değışimi (esmerleşme indeksi) ölçülmüştür. Tüketici kabul edilebilirliğini değerdirmek için eğitimsiz panelistler kullanılmıştır. Taze çilek ve kivi pürelerin suda çözünür kuru maddeleri sırasıyla, 11, 24 ve 13,04 °Brix iken pH' ları 3,46 ile 3,39 arasında ölçülmüştür. Pestillerin su aktivitesi, 0,59 ile 0,67 arasında, nem içeriğı ise 21 kg su/100 kg nem olarak saptanmıştır. Hızlandırılmış raf ömrü boyunca her iki pestilde de esmerleşme indeksi azalmıştır. ORAC, meyve püresine göre çilek pestilinde % 57, kivi pestilinde % 65 azalma göstermiştir. Depolama sırasında çilek pestillerinde toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite artış göstermiştir. Araştırmacılar bu artışı Maillard reaksiyon ürünlerinin depolama sürecinde değışime uğraması ile ilişkilendirmiştir. Sonuç olarak, çilek ve kivi pestillerinin, dünya pazarlarında, yeni, doğaı, yüksek antioksidan içerikli ve sağıklı bir atıştırmalık olarak kabul edilebileceğı bildirilmiştir (Concha-Meyer, D'Ignoti, Saez, Diaz ve Torres 2016).

Çilek pestilinde ince tabaka kurutma kinetiğini üzerine örnek kalınlığı (1,8, 2,7 ve 3,6 mm) ve hava sıcaklığının (50, 60, 70 ve 80 °C) etkisi yapılan başka bir çalışmada araştırılmıştır. Kurutma işlemi azalan kuruma hız periyodunda gerçekleşmiştir. Kurutma koşuluna bağılı olarak efektif nem difüzyon katsayılatı $2,40 - 12,1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında

değişiklik göstermiştir. 1,8, 2,7 ve 3,6 mm dilim kalınlıkları için aktivasyon enerjisi değerleri sırasıyla 35,57, 33,14 ve 30,46 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Çilek pestillerinin kuruma karakteristiğini en iyi tanımlayan model de iki terimli eksponansiyel model olarak belirlenmiştir (G. Lee ve Hsieh, 2008).

Farklı bir çalışmada mango pestillerinin kurutulmasında yeni bir kurutma yöntemi olan dökme-bantla kurutmanın (cast-tape drying) örneklerin fiziksel özellikleri ve genel kabul edilebilirlikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Nişasta ilavesinin kuruma süresini etkilemediği belirtilmiştir. % 22,5 nisbi nemde kurutulmuş mango pestilleri çok gevrek olmakla birlikte ve nişasta ilavesine bağlı olmaksızın tüketiciler tarafından tercih edildiği bildirilmiştir. Dökme-bantla kurutma, orta dereceli sıcaklıklarda ve kısa sürelerde uygulandığında meyve pestilleri için uygun ve yenilikçi bir yöntem olarak tavsiye edilmiştir (Simão, Moraes, Souza, Carciofi ve Laurindo, 2019).

Özkan Karabacak (2019) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak hava (60 ve 70 °C), vakum (60 ve 70 °C – 20 ve 30 kPa) ve mikrodalga (90 ve 180 W) kullanılarak kurutulan güvem pestilinin kuruma karakteristiği, efektif nem difüzyon katsayısı, renk ve duyusal özellikleri ile fenolik madde ve antioksidan kapasitenin *in-vitro* biyoerişilebilirliği araştırılmıştır. İstatistiksel analizlere bağlı olarak uygulanan modeller arasında güvem pestilinin kuruma karakteristiğini en iyi tanımlayan modellerin Page, Modifiye Page, Henderson & Pabis ve Logaritmik olduğu belirlenmiştir. Efektif nem difüzyon katsayıları $5,55 \times 10^{-8}$ ile $8,13 \times 10^{-7}$ m²/s arasında hesaplanmıştır. a^* , b^* , C_{ab}^* ve h° renk değerleri kurutma ile artarken, L^* azalma göstermiştir. Sindirilmemiş örnekler ile mide ve bağırsak sindirimine uğratılmış örneklerin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi pestil karışımına göre daha düşük bulunmuştur. Bağırsak sindirimi sonrası örneklerin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesi önemli artış göstermiştir ($p < 0,05$). Duyusal olarak sıcak hava ve vakumda kurutulan örnekler panelistler tarafından daha çok kabul görmüştür.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

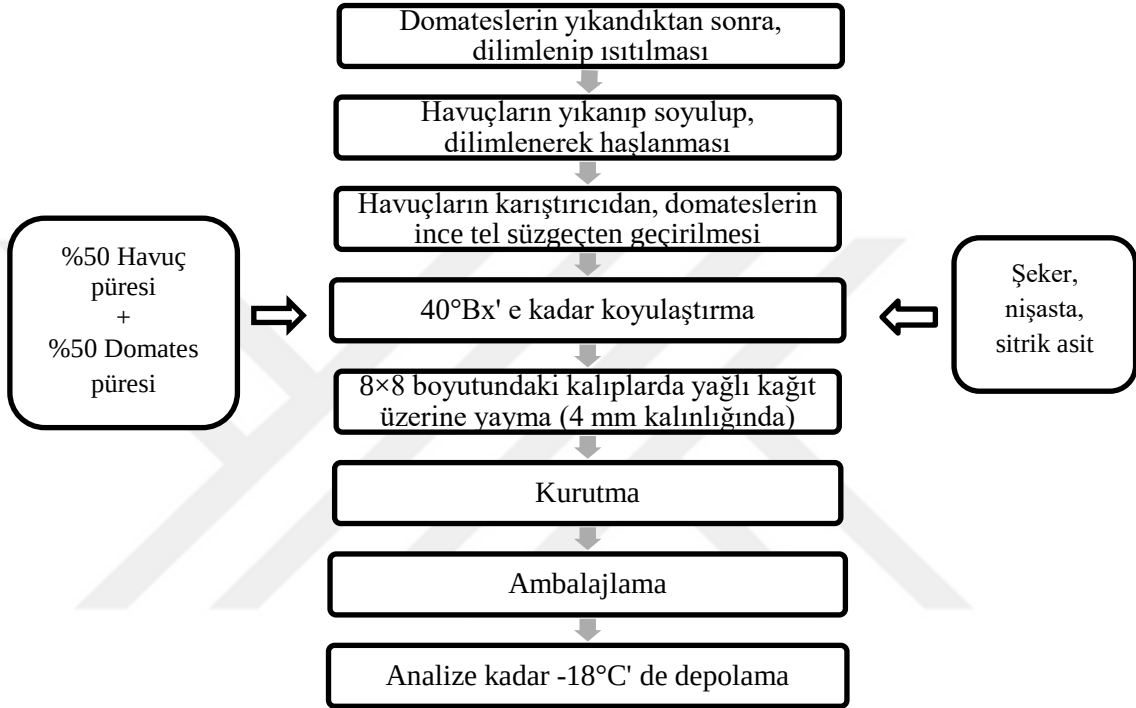
Domates, kırmızıbiber ve havuçlar Bursa’ da yerleşik bir manavdan temin edilmiş ve üretim sürecine dek buzdolabında ($4\pm0,5$ °C) muhafaza edilmiştir. Nişasta (Selva, Türkiye) ve şeker (Torku, Türkiye) Bursa’da yerleşik bir satıcıdan, sitrik asit ise Akbel Kimya’ dan satın alınmıştır.

3.2. Pestil Üretimi

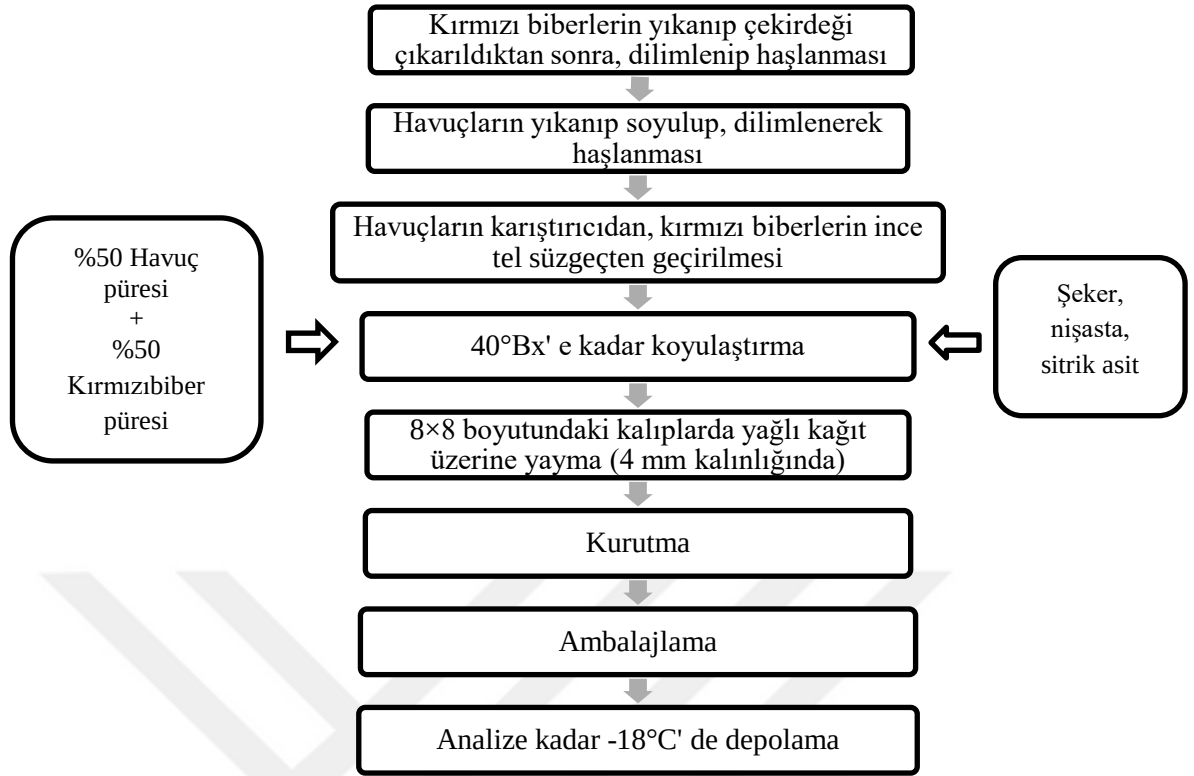
Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin üretimi için kullanılan hammaddeler haşlama ön işlemine tabi tutulmuştur. Kırmızıbiberler etkin şekilde yıkanıp sap ve tohumları çıkarıldıktan sonra, havuçlar ise yıkanıp, el ile soyulduktan sonra, dilimlenmiş ve su (sebze/su 1:2, w/w) ilave edilerek yumuşayana dek 30 dakika haşlanmıştır. Yıkanıp, sapları uzaklaştırılan ve doğranan domatesler ise ilave su kullanılmadan kendi suyunu çekene kadar 1 saat ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Haşlanan havuçlar karıştırıcı (Arzum, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiştir. Haşlanan domates ve kırmızı biberler ise ince tel süzgeç kullanılarak hem kabukları uzaklaştırılmış hem de homojen hale getirilmiştir.

Havuç+domates pestili üretimi için, havuç püresi, domates püresi, şeker, nişasta ve sitrik asit sırasıyla; % 42,74, % 42,74, % 12,80, % 1,28 ve % 0,44 oranlarında kullanılmıştır. Havuç+kırmızıbiber pestili üretimi için ise, havuç püresi, kırmızıbiber püresi, şeker, nişasta ve sitrik asit sırasıyla; % 42,74, % 42,74, % 12,80, % 1,28 ve % 0,44 oranlarında kullanılmıştır. Havuç pestili üretimi için ise, havuç püresi, şeker, nişasta ve sitrik asit sırasıyla; % 85,48, %12,80, % 1,28 ve % 0,44 oranlarında kullanılmıştır. Tüm pestil üretimlerinde sebze pürelerinin % 25’i daha sonra nişasta ile karıştırılmak üzere ayrılmış ve kalan kısmı şeker ve sitrik asitle karıştırılarak kaynamaya bırakılmıştır. 5 dakika sonra nişasta kalan sebze püresinde çözündürülerek karışıma dahil edilmiş ve 40° Brix olana dek koyulaştırılmıştır. Sonrasında, $25\pm0,5$ g pestil karışımı $8\times8\times0,4$ cm (sırasıyla; uzunluk, genişlik, kalınlık) boyutlarında kalıp

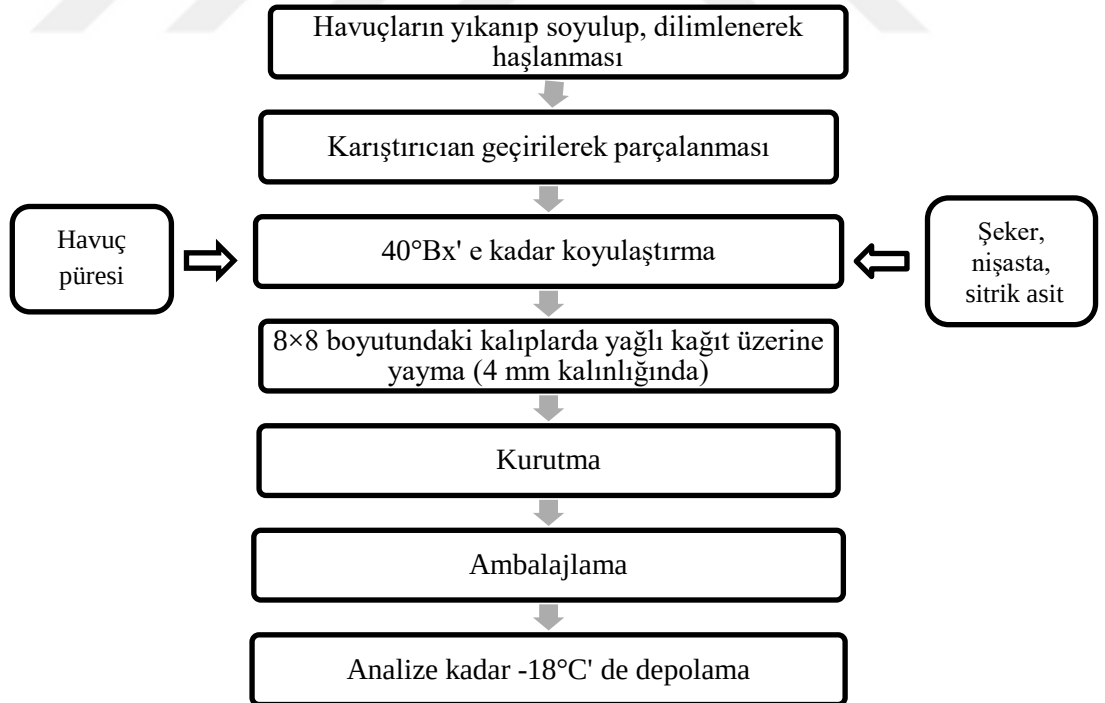
kullanılarak pişirme kağıdı üzerine serilmiş ve üç farklı kurutma (sıcak hava, vakum ve mikrodalga) yöntemi uygulanmıştır. Kurutulan pestiller analiz edilene kadar -18°C' de düşük yoğunluklu polipropilen ambalajlarda muhafaza edilmiştir. Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin üretimine ait akış diyagramları sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Havuç+domates pestili üretim akış diyagramı



Şekil 3.2. Havuç+kırmızıbiber pestili üretim akış diyagramı



Şekil 3.3. Havuç pestili üretim akış diyagramı

3.3. Kurutma İşlemi

Üretim akış diyagramlarında belirtildiği şekilde üretilen havuç, havuç+kırmızıbiber, havuç+domates karışımları 8x8x0,4 cm en, boy ve kalınlığındaki kalıplara eşit miktarlarda yayılarak sıcak hava (60, 70 °C), vakum (60, 70 °C ve 150, 250 mbar) ve mikrodalga (90, 180 W) kurutma yöntemleri uygulanarak kurutulmuştur. Kurutma işlemi sırasında belirli zaman aralıklarında, 0.01 g hassasiyetindeki dijital terazi (Mettler Toledo, MS3002S) kullanılarak tartım alınmış ve nem içeriğindeki değişim kaydedilmiştir.

3.4. Denemelerde Kullanılan Kurutma Cihazları

3.4.1. Sıcak havalı kabin tipi kurutucu

Pestil numuneleri, Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretimi ve bölüm laboratuvarına kurulumu gerçekleştirilen sıcak havalı kabin tipi kurutucuda, 2 m/s hava hızında, % 20 nisbi nemde, 60 °C ve 70 °C’de 3 tekerrürlü olarak kurutulmuştur. Kurutma kabininin genel görünümü ve teknik özellikleri aşağıdaki Şekil 3.4 ve Çizelge 3.1’ de sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 3.4. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünüşü

Çizelge 3.1. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Boyutlar	(Yükseklik × Derinlik × Genişlik) 1250 mm × 715 mm × 740 mm
Enerji	220 V 50-60 Hz – 2000 W
Net ağırlık	120 kg
En yüksek ayarlanabilir sıcaklık	100 °C
En yüksek ayarlanabilir nem	% 90
Sıcaklık hassasiyeti	0-40 °C arasında ±0,5 °C, 40-100 °C arasında ±2 °C
Nem hassasiyeti	% 10 – 90 RH arasında % ±2

3.4.2. Vakumlu kurutma kabini

Üretilen pestil karışımı pişirme kağıdı üzerine serildikten sonra, vakumlu kurutma kabini (Memmert VO400, Schwabach, Germany, 49 L hacim) kullanılarak 60 °C, 70 °C ve 150 mbar ve 250 mbar mutlak basınç altında kurutulmuştur. Vakumlu kurutucunun genel görünümü Şekil 3.5’ de verilmiştir.



Şekil 3.5. Vakumlu kurutma kabininin genel görünümü

Çizelge 3.2. Vakumlu kurutma kabininin teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Sıcaklık hassasiyeti	99,9 °C' ye kadar 0,1; 100 °C' den sonra 0,5
Ayarlanabilir sıcaklık aralığı	(+20) – (+200 °C)
Çalışma sıcaklığı aralığı	Ortamin en az 5 °C üzerinden 200 °C' ye kadar
Vakum aralığı	5 - 1100 mbar
En düşük vakum	0,01 mbar
En yüksek sızıntı oranı	0,01 bar/h

3.4.3. Mikrodalga kurutucu

Pestil örnekleri Bosh marka ev tipi bir mikrodalga fırın (HMT72G420, Munich, Germany) kullanılarak 90 W ve 180 W mikrodalga güçte kurutulmuştur. Pestil karışımı pişirme kağıdı üzerine serilerek belli aralıklarla tartım alınmak suretiyle istenilen nem seviyesine kadar kurutulmuştur. Mikrodalga cihazının genel görünümü ve teknik özellikleri Şekil 3.6' da ve Çizelge 3.2' de sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 3.6. Mikrodalga fırının genel görünümü

Çizelge 3.3. Mikrodalga fırının teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Boyut	(Yükseklik × Genişlik × Derinlik) 290 × 461 × 351 mm
En yüksek güç değeri	800 W
Besleme gerilimi	230V~ 50Hz
Net ağırlık	13 kg
Döner tabağın çapı	245 mm

3.5. Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

3.5.1. Nem içeriğinin hesaplanması

Pestil örneklerinin kurutulması sırasında, nem içeriği değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$Mt = \frac{(m - km)}{km} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1' de;

Mt: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

m: Örneğin ağırlığı (g)

km: Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g)'dır.

3.5.2. Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur.

$$KH = \frac{(Mt + dt) - Mt}{dt} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’de;

KH: Kuruma hızı (kg su / kg kuru madde. dk)

Mt+dt: t + dt anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

Mt: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

dt: Kuruma zamanını (dk) ifade etmektedir.

3.5.3. Nem oranının hesaplanması

Nem oranı Eşitlik 3.3’e göre hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{(Mt - Me)}{(Mo - Me)} \quad (3.3)$$

Burada;

MR: Nem oranı (birimsiz)

Mt: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

Me: Denge anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

Mo: Başlangıçtaki nem içeriğini (kg su / kg kuru madde) tanımlamaktadır.

Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde; *Me* değeri *Mt* ve *Mo* ile kıyaslandığında çok küçük olduğu saptanabilir. Bu nedenle hesaplamalarda *Me* değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir (Maskan, 2001). Bu nedenle *MR* değerleri hesaplanırken, *Me* değeri sıfır alınarak işlemler yapılmıştır.

3.5.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

Pestil örneklerinin kuruma davranışlarını belirlemek amacıyla yedi farklı ince tabaka kurutma modeli uygulanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.4. Pestil örneklerinin kuruma davranışlarını belirlemek için kullanılan matematiksel modeller

No	Model adı	Model	Kaynak
1	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Liu ve diğerleri, 2009)
2	Modifiye Page	$MR = \exp [(-kt)^n]$	(Toğrul, 2006)
3	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Bhattacharya, Srivastav ve Mishra, 2015)
4	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(Doymaz, 2006)
5	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Evin, 2011)
6	İki-terimli Eksponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(Ertekin ve Yıldız, 2014)
7	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Wang ve Singh, 1978)

MR: nem oranı, a, b, c: kurutma katsayıları, k: kurutma sabiti, t: kurutma süresi

Deneyisel verilerin kurutma modelleri ile uyumunu belirlemek amacıyla korelasyon katsayısı (R^2), tahmini standart hata (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmaktadır. En iyi uyum R^2 değeri 1' e yakın olduğunda, RMSE ve χ^2 değerleri 0'a yakın olduğunda elde edilmektedir. Bu parametreler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (3.5)$$

$MR_{exp,i}$: i. deneyisel nem oranı

$MR_{est,i}$: i. tahmin edilen nem oranı

N: gözlemlenen deneyisel veri adedi,

n: modelde yer alan bağımsız değişken sayısıdır.

3.5.5. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması

Pestil örneklerinde efektif nem difüzyonunun belirlenmesinde Fick' in ikinci kanunundan yararlanılmıştır. Plaka şeklindeki malzemeler için azalan kuruma hızı bölgesinde difüzyon eşitliği için bazı varsayımlar göz önüne alınmaktadır. Bunlar; kurutma işlemi sırasında nem transferinin yalnızca difüzyon ile gerçekleştiği, kuruma sırasında üründe büzüşme olmadığı, ortamdaki basınç ve sıcaklık değişimlerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğudur (Süfer ve Palazoğlu, 2019). Sonsuz levha için Fick' in kanunu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Crank, 1975).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.6)$$

burada, D_{eff} nem difüzyon katsayısı (m^2/s), L levhanın yarı kalınlığı (m), ve n pozitif bir tam sayıdır.

Uzun kurutma süreleri için Eşitlik 3.6 sadeleştirilerek aşağıdaki eşitlik nem difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.7)$$

Örneklerin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) kuruma süresine karşılık çizilen $\ln MR$ grafiğinin eğiminden hesaplanmıştır. Bu denklem de aşağıda ifade edilmektedir:

$$D_{eff} = -\frac{egim 4L^2}{\pi^2} \quad (3.8)$$

3.6. Analizler

3.6.1. Antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde analizi için kimyasal ekstraksiyon

Pestil örnekleri Kamiloglu ve Çapanoğlu (2014) tarafından belirtilen yöntem kullanılarak ekstrakte edilmiştir. 2 g örnek üzerine 5 mL ekstraksiyon çözeltisi (% 75 metanol, % 0,1 formik asit içeren sulu çözelti) eklenerek soğutmalı ultrasonik su banyosunda (Bandelin Sonorex RK 510 H, Almanya) 15 dakika bekletilmiştir. Ardından örnekler 10 dakika 4 °C’ de 2700 rpm’ de santrifüj (Sigma 3K 30, Almanya) edilmiş ve üstteki sıvı faz ekstraksiyon sonunda toplanmıştır. Altta kalan katı kısım üzerine tekrar 5 mL ekstraksiyon çözeltisi ilave edilmiş ve bu işlem 3 defa daha tekrar edilmiştir. Toplamda dört defa toplanan sıvı kısım en son bir tüpte birleştirilmiş ve analiz edilinceye kadar -20 °C’ de depolanmıştır.

3.6.2. Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde analizi spektrofotometrik Folin-Ciocalteu yöntemine göre yapılmıştır. Bu analiz için standart gallik asit çözeltisinin 5 – 50 ppm aralığındaki farklı konsantrasyonlar ile kalibrasyon eğrisi ($R^2=0,9992$) elde edilmiştir. Sonuçlar elde edilen eğrinin regresyon eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmış ve mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g kuru madde olarak ifade edilmiştir. Bu yöntemde 0,5 mL ekstrakt 0,5 mL Folin-Ciocalteu (3 kat su ile seyreltilmiş) reaktifi ile karıştırılır. 5 dakika sonra bu karışıma 1 mL doymuş sodyum karbonat çözeltisi (% 35’ lik) ilave edilerek vortekslenir ve 1 mL saf su ile 3 mL’ ye seyreltilir. Elde edilen karışım 30 dakika karanlıkta bekletildikten sonra oluşan mavi rengin absorbansı spektrofotometrede (UV-1800, Shimadzu) 700 nm’ de okunmuştur (Obanda ve Owuor, 1997).

3.6.3. Toplam antioksidan kapasite analizleri

DPPH metodunun prensibi, metanol içinde hazırlanmış DPPH çözeltisi numune özütü ile karıştırılarak absorbans değeri sabitlenene kadar karışım reaksiyonunun

spektrofotometre ile izlenmesi esasına dayanır. İndirgenme ile çözelti rengi kaybolur. Gerekli seyreltimler yapıldıktan sonra tüplere konulan 100 µL numune ekstraktına 6×10^{-3} M DPPH (1,1-difenil-2- pikrilhidrazil) ilave edilmiştir. Vorteksle karıştırma ve 30 dakika oda sıcaklığında karanlıkta bekletme sonrasında spektrofotometre ile 515 nm'de metanole karşı absorbanslar okunmuştur (Katalinic, Milos, Kulisic ve Jukic, 2006). Farklı derişimlerde hazırlanan trolox (5 – 150 ppm) varlığında DPPH çözeltisinin absorbansındaki azalmanın ölçülmesiyle bir trolox kalibrasyon eğrisi elde edilmiş ($R^2=0,9873$) olup, kalibrasyon eğrisi fonksiyonu kullanılarak ve numune seyreltme faktörü de dikkate alınarak sonuçlar mikromol TE (trolox eş değeri)/g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity) metodunun prensibi, antioksidan bileşiklerin Cu^{+2} -neokuproin kompleksini Cu^{+} 'e indirgemesine ve bu değişimin 450 nm'de ölçülmesi esasına dayanır (Apak Güçlü, Özyürek ve Çelik, 2008). Ekstrakte edilen 100 µL'lik numuneler tüpe konulmuş, daha sonra sırasıyla, 1 mL 10 mM $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ çözeltisi, 1 mL 7,5mM Neocuproine çözeltisi, 1 mL 1 M amonyum asetat (pH=7) çözeltisi ve 900 µL saf su ilave edilmiştir. Vorteksle karıştırıldıktan ve 30 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra spektrofotometre (Shimadzu UV-1700, Tokyo, Japonya) ile 450 nm'de köre karşı ölçülmüştür. Farklı derişimlerde hazırlanan trolox (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit) (5 – 800 ppm) varlığında CUPRAC çözeltisinin absorbansındaki değişimin ölçülmesiyle bir trolox kalibrasyon eğrisi elde edilmiş olup ($R^2=0,9972$), kalibrasyon eğrisi fonksiyonu kullanılarak ve numune seyreltme faktörü de dikkate alınarak sonuçlar mikromol TE (trolox eş değeri)/g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power yönteminde, Fe (III) tripiridiltriazin (TPTZ) kompleksinin antioksidanlar varlığında renkli Fe (II) şelatına indirgenmesinden yararlanmaktadır. Meydana gelen Fe (II)-TPTZ kompleksinin rengi koyu mavi olup 595 nm' de maksimum absorbans vermektedir (Benzie ve Strain, 1996). Ekstrakte edilen 100 µL' lik numuneler 300 µL distile su ve 3 mL FRAP reaktif maddesi (37 °C' de inkübe edilmiştir) ile karıştırılarak, 37 °C' de 30 dakika oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir. Absorbansları inkübasyon süresinin sonunda hemen 595 nm' de

ölçülmüştür. Antioksidan kapasite değeri, kalibrasyon grafiği ($R^2=0,9971$) yardımıyla mikromol TE (trolox eş değeri)/g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

3.6.4. Karotenoidlerin ekstraksiyonu

Karotenoidlerin ekstraksiyon işlemi Barba, Hurtado, Mata, Ruiz ve De Tejada (2006) tarafından ortaya konulan metot modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. $5,00 \pm 0,01$ g numuneye 10 mL hekzan : aseton : etanol (50 : 25 : 25 v/v/v) ilave edilerek 5 dakika vortekslenmiştir. Sonrasında 10000 g, 4°C’ de 10 dakika santrifüjlenmiş ve üst faz temiz bir tüpe alınarak azotla uçurulmuştur. Tüpün dibinde kalan kalıntı HPLC-DAD analizinden önce 1 mL THF : metanol (50 : 50 v/v) ile çözdürülmüştür.

3.6.5. HPLC-DAD metodu ile karotenoidlerin analizi

HPLC-DAD ile karotenoid analizi daha önce Barba ve diğerleri (2006) tarafından önerildiği şekilde uygulanmıştır. Toplanan tüm örnekler, 0,45 µm membran filtrelerden geçirilerek HPLC cihazına enjekte edilmiştir. Analiz Çizelge 3.4’ de belirtilen şartlarda gerçekleştirilmiştir. Karotenoidlerin tanımlanmasında kolonda tutunma süreleri ve karakteristik spektraları dikkate alınmıştır. Karotenoidlerin miktarlarının tespiti içinse, β-karoten (Sigma- Aldrich) ve likopen (Sigma- Aldrich) standartları kullanılarak hesap yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Karotenoid analizi için HPLC şartları

Kolon	250 mm × 4 mm, 5 µm, Nucleosil® 100-5
Kolon sıcaklığı	30 °C
Dedektör	Diode Array
Mobil faz	Metanol : asetonitril (90:10 v/v)
Akış hızı	1 mL/dk
Dalga boyu	475 nm
Analiz süresi	35 dk
Enjeksiyon hacmi	10 µL

3.6.7. *In Vitro* biyoyararlılık analizleri

Biyoyerişilebilirlik analizleri için Minekus ve diğerleri (2014) tarafından ilgili fizyolojik koşullara uygun olarak geliştirilerek standart hale getirilmiş *in vitro* sindirim modeli uygulanmıştır. Bu modelde, ağız, mide ve ince bağırsaktaki sindirimi simüle eden üç basamaklı bir prosedür izlenmiştir. Ağız, mide ve bağırsak sindirimini simüle etmek için kullanılan elektrolit solüsyonlarının hazırlanışı Çizelge 3.5’ de verilmiştir. Birinci basamakta, ağızdaki sindirimi simüle etmek için, homojen hale getirilmiş pestil numuneleri ağız elektrolit solüsyonu, α -amilaz enzimi, kalsiyum klorür ve distile su ile karıştırılarak 37 °C’deki çalkamalı su banyosunda 2 dakika süre ile inkübe edilmiştir. İkinci basamakta, midedeki sindirimin simülasyonu için, ağızdaki sindirim simülasyonundan alınan örnek, mide elektrolit solüsyonu (değişik konsantrasyon ve hacimlerde karıştırılan potasyum klorür, monopotasyum fosfat, sodyum bikarbonat, sodyum klorür, magnezyum klorür heksahidrat, amonyum karbonat ve hidroklorik asitten oluşmaktadır; pH 3), pepsin enzimi ve kalsiyum klorür ile karıştırılarak pH değeri hidroklorik asit ile pH 3,0 değerine ayarlanmış ve 37 °C’deki çalkamalı su banyosunda 2 saat süre ile inkübe edilmiştir. Üçüncü basamakta, bağırsak sindirimini simülasyonu için, mideden gelen örnek, bağırsak elektrolit solüsyonu (değişik konsantrasyon ve hacimlerde karıştırılan potasyum klorür, monopotasyum fosfat, sodyum bikarbonat, sodyum klorür, magnezyum klorür heksahidrat ve hidroklorik asitten oluşmaktadır; pH 7), pankreatin enzimi, safra ve kalsiyum klorür ile karıştırılarak pH değeri sodyum hidroksit ile pH 7,0 değerine ayarlanmış ve 37 °C’deki çalkamalı su banyosunda yine 2 saat süre ile inkübe edilmiştir. Her üç basamaktan sonra, ayrı ayrı, ağız sindirimi sonrası, mide sindirimi sonrası ve bağırsak sindirimi sonrası örnekleri temsil edecek şekilde numuneler alınarak bu numuneler 4 °C sıcaklıkta, 3500 rpm’ de 10 dakika santrifüjlendikten sonra üstte kalan sıvı kısım analiz edilmek üzere toplanmıştır. Elde edilen ekstraktlar analiz edilinceye kadar -20 °C’ de depolanmıştır.

Çizelge 3.6. Ağız, mide ve bağırsak elektrolit solüsyonları

Bileşenler	Stok konsantrasyonu (mol/L)	Stok hacmi (mL)		
		Ağız elektrolit solüsyonu	Mide elektrolit solüsyonu	Bağırsak elektrolit solüsyonu
KCl	0,5	15,1	6,9	6,8
KH ₂ PO ₄	0,5	3,7	0,9	0,8
NaHCO ₃	1	6,8	12,5	42,5
NaCl	2	-	11,8	9,6
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0,15	0,5	0,4	1,1
(NH ₄) ₂ CO ₃	0,5	0,06	0,5	-
HCl	6	0,09	1,3	0,7

Tüm solüsyonlar distile su ile hazırlanmış olup, toplam hacim 400 mL'ye tamamlanmıştır.

3.6.8. Renk analizi

Pestil örneklerinin renk ölçümleri, CR-5 Konika Minolta renk tayin cihazı (Osaka, Japan) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen L^* parametresi açıklık (+) veya koyuluk (-), a^* parametresi kırmızılık (+) veya yeşillik (-) ve b^* parametresi sarılık (+) veya mavilik (-) değerlerini ifade etmektedir. Renk ölçümleri, kurutmadan önce ve kurutma süresince belirli zaman aralıklarında üç tekerrürlü olarak yapılmıştır ve hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.

3.6.9. Kalite parametrelerindeki değişimlerinin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları

Pestil örneklerinde toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, karotenoid madde ve renk değişim kinetiklerini belirlemek amacıyla sıfırıncı dereceden (Eşitlik 3.9) ve birinci dereceden (Eşitlik 3.10) reaksiyon kinetik modelleri uygulanmıştır (Maskan, 2001; Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Swain, Samuel, Bal ve Kar, 2014; Akar ve Mazi, 2019).

$$C = C_0 \pm k_0 t \quad (3.9)$$

$$C = C_0 \exp(\pm k_1 t) \quad (3.10)$$

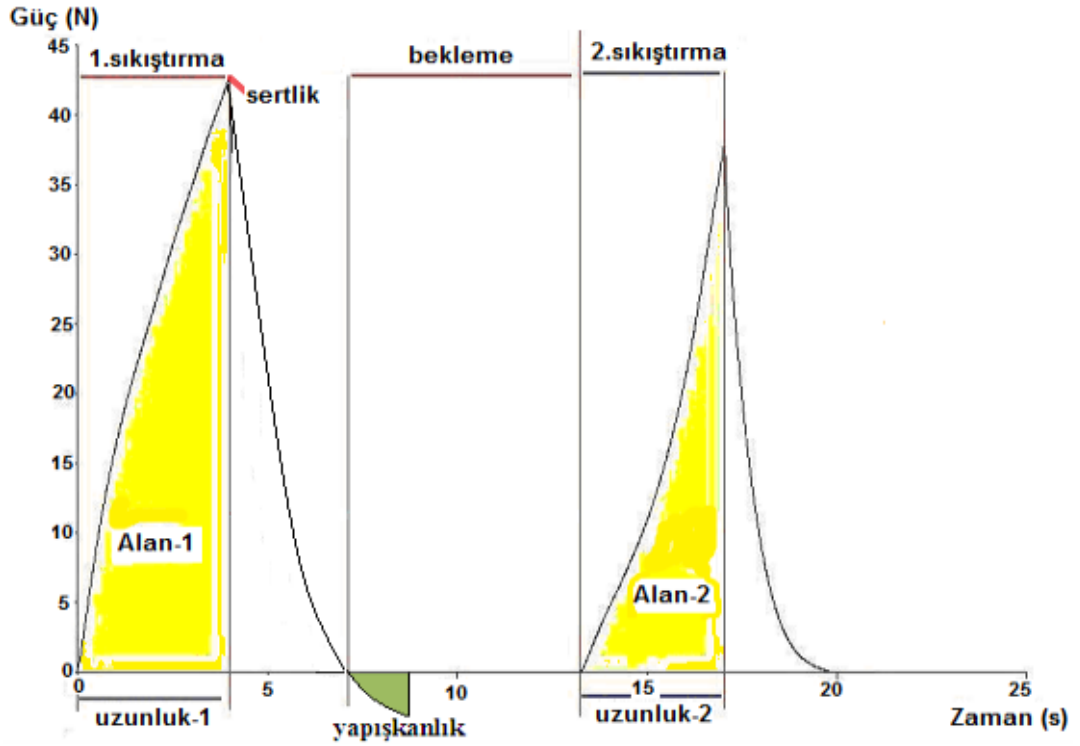
Burada; C ve C_0 , sırasıyla t . ve 0 . zamandaki analiz edilen bileşen değerlerini; t , kurutma süresini; k_0 ve k_1 sırasıyla sıfırcı ve birinci dereceden reaksiyon hız sabitlerini; (+) ve (-) sırasıyla biyoaktif bileşen değerlerindeki artma ve azalmayı ifade etmektedir.

3.6.10. Mineral madde analizi

Mikrodalga fırında (MWS 2 DAP 60 K, Berghof, Germany) 180 °C' de, 3 mL nitrik asit (HNO_3) ve 4 mL hidrojen peroksit (H_2O_2) ilavesi ile yaş yakılan örneklerden (0,5 – 1,0 g) elde edilen çözeltide sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), fosfor (P), manganez (Mn), demir (Fe), çinko (Zn) ve bakır (Cu) mineralleri sırasıyla 589,59, 766,49, 317,93, 285,21, 213,61, 257,61, 238,20, 206,20 ve 327,39 nm dalga boylarında, ICP-OES (Optima 2100 DV, Perkin Elmer, Boston, MA) kullanılarak belirlenmiştir (Kaçar, 2010).

3.6.11. Tekstür analizi

Pestil örneklerinde tekstür analizi Boz (2012) yöntemi modifiye edilerek TA.XT 2 Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) marka tekstür analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 4 cm çapında kesilen pestil örneklerinden dört tanesi üst üste yerleştirildikten sonra 35 mm'lik (P/35) silindirik prob kullanılarak iki sıkıştırılmalı TPA (Tekstür Profil Analizi) uygulanmıştır (Şekil 3.7). Tekstür profil analizinin yürütüldüğü koşullar ön deneme sonuçlarına bağlı olarak şu şekilde belirlenmiştir; ön test hızı: 1,00 mm/s, test hızı: 2 mm/s, test sonrası hızı: 2,00 mm/s, mesafe: 4 mm, bekleme süresi: 2 s, tetikleme gücü: 0,1 N. Ardından, sertlik, dış yapışkanlık, elastikiyet, çiğnenebilirlik ve sakızimsılık parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Tipik bir TPA grafiği

TPA grafiğinden elde edilen parametrelerin tanımı ve hesaplama yöntemleri aşağıda verilmiştir (Boz, 2012).

Sertlik (hardness): Deformasyon için gerekli olan güçtür. İlk sıkıştırma çevrimi esnasında pik gücü (birinci eğrinin yüksekliği).

Dış yapışkanlık (adhesiveness): İlk sıkıştırmadan sonra ürünün proba yapışma derecesinin göstergesidir.

Elastikiyet (springiness): Materyalin ilk sıkıştırmadan sonra eski yüksekliğine kadar çıkabilme yeteneğinin bir göstergesidir. İkinci sıkıştırmadaki mesafenin (2. uzunluk) ilk sıkıştırmadaki mesafeye (1. uzunluk) bölünmesiyle hesaplanır.

Çiğnenebilirlik (chewiness): Katı bir gıdayı çiğneyip yutmaya hazır hale getirmek için gerekli olan enerjiyi kapsar ($\text{Çiğnenebilirlik} = \text{Sertlik} \times \text{kohesivlik} \times \text{elastikiyet}$).

Sakızımsılık (gumminess): Düşük sertlik derecesine ve yüksek kohesivlik (iç yapışkanlık) değerine sahip yarı katı gıdaların bir özelliği olan sakızımsılık ürünün sertliği ve kohesivliği ile hesaplanır (Bourna, 2002; Göksel ve diğerleri, 2013).

3.6.12. HPLC-DAD metodu ile HMF tayini

HMF analizi daha önce Rufian-Henares ve Delgado-Andrade (2009) tarafından uygulanan metot modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. 1,00±0,01 g numuneye 7 mL distile su ilave edilerek vortekslenmiştir. Daha sonra 4500 g 4 °C’ de 10 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant ayrı bir tüpe aktarılmıştır. Kalıntı üzerine 2 mL distile su ilave edilerek santrifüj işlemi 2 defa daha tekrarlanmıştır. Birleştirilen süpernatantların üzerine 0,250 mL Carrez I (potasyum ferrosiyaniür, 15% w/v) ve 0,250 mL Carrez II (çinko asetat 30 % w/v) çözeltileri eklenmiştir. Son bir santrifüjlemeden sonra hacim distile su ile 10 mL' ye kadar tamamlanmıştır. Toplanan tüm örnekler, 0,45 µm membran filtrelerden geçirilerek HPLC cihazına enjekte edilmiş ve Çizelge 3.6’ da belirtilen şartlarda analiz edilmiştir.

Çizelge 3.7. HMF analizi için HPLC şartları

Kolon	250 mm × 4 mm, 5 µm, Nucleosil® 100-5
Kolon sıcaklığı	32 °C
Dedektör	Diode Array
Mobil faz	Asetonitril: Saf su (5 : 95 v/v)
Akış hızı	1 mL/dk
Dalga boyu	280 nm
Analiz süresi	15 dk
Enjeksiyon hacmi	20 µL

3.6.13. Duyusal analizler

Pestil örneklerinin duyusal analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiş, panelistler hem erkek hem kadın olmak üzere bölüm öğretim üyeleri ve yüksek lisans/doktora öğrencilerinde seçilmiştir. Üretilen pestil örnekleri 4 cm × 4 cm boyutlarında kare şeklinde dört parçaya ayrılacak şekilde kesilmiştir. Toplamda 12 panelist olacak şekilde, herbir

paneliste rastgele üç haneli rakamlarla kodlanmış olarak beyaz plastik tabaklarda pda sıcaklığındaki içme suyu eşliğinde sunulmuştur. Duyusal panelden önce pestil numuneleri 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Pestil örneklerinde renk, görünüş, tat, çiğnenebilirlik ve genel kabul edilebilirlik parametreleri test edilmiştir. Bu amaçla dokuz noktalı hedonik test skalası (çok beğendimden “9” hiç beğenmedime “1” kadar) kullanılmıştır. Panelistler, ürüne özgü tada, arzu edilen renk ve görünüş ile birlikte tipik çiğnenebilirliğe sahip ürünleri beğeni durumlarına göre puanlandırmıştır.

3.6.14. İstatistiksel analiz

Tüm analizler 3 tekrarlı olarak kurutulan numunelerin her birinde 3'er ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Veriler SPSS yazılımı kullanılarak tek yönlü ANOVA'ya tabii tutulmuş ve örnekler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan testi kullanılmıştır ($p < 0,05$).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nem İçeriği Değişimi

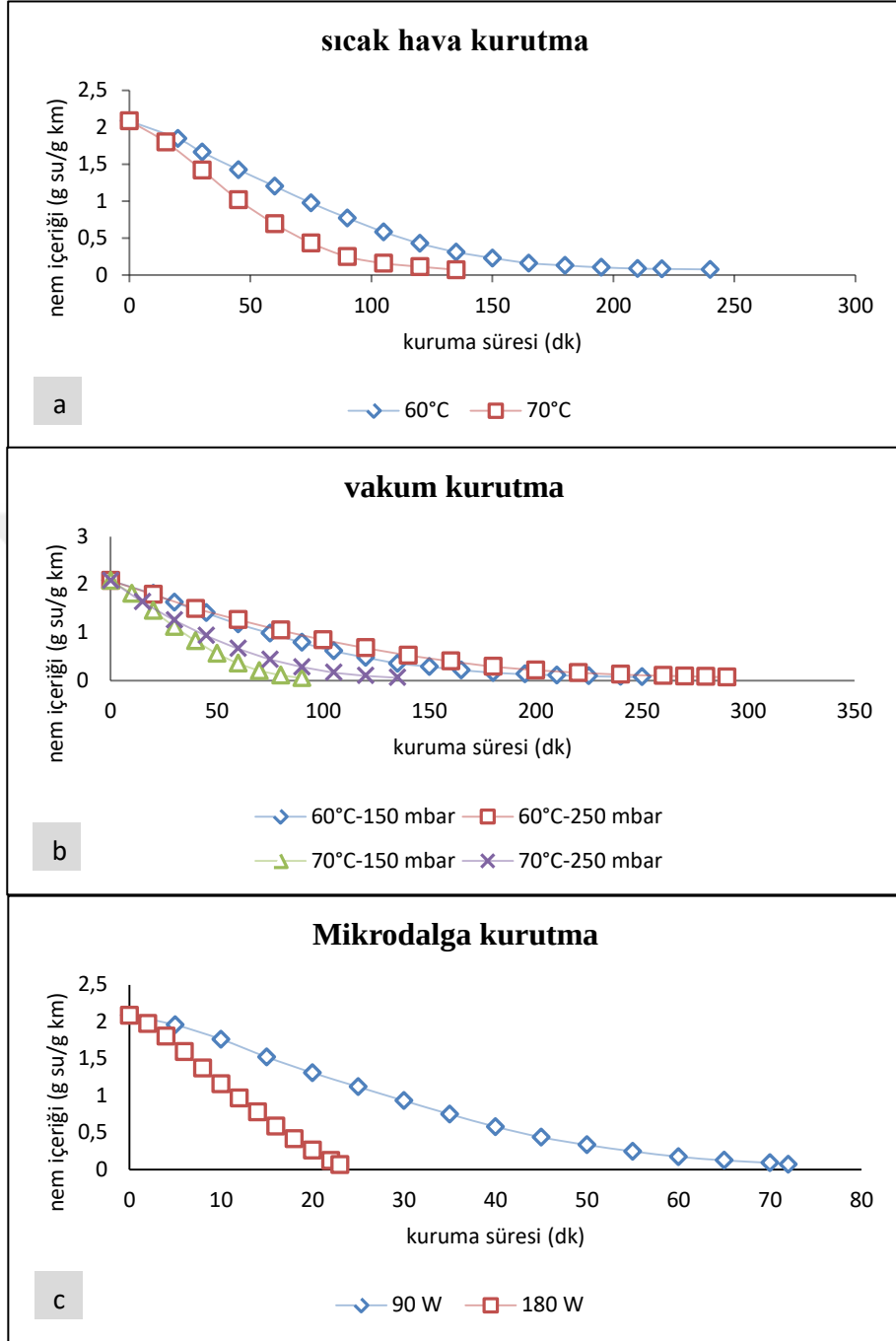
Başlangıç nem içeriği 2,08 g su/g km olan havuç+domates pestili karışımları nem içeriği 0,07 g su/g km olana dek kurutulmuştur. Üç farklı kurutma yöntemi (sıcak hava, vakum, mikrodalga) ile kurutulan havuç+domates pestili örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimleri Şekil 4.1' de grafiksel olarak sunulmuştur. Sıcak havada iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde, kurutma sıcaklığının artması ile kuruma süresinde beklenildiği gibi azalmalar meydana gelmiştir. Vakumlu kurutucu ile pestil örneklerinin kurutulmasında 60 ve 70 °C sıcaklık, 150 ve 250 mbar mutlak basınç değerlerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1' de görüldüğü üzere 150 mbar mutlak basınç değerinde yapılan kurutma işlemleri, 250 mbar mutlak basınç değerinde yapılan uygulamalardan daha kısa sürmüştür. Bu durum düşük atmosfer basıncında suyun kaynama noktasının düşmesi sonucu kurutmanın daha hızlı olması ile açıklanabilir. Nitekim 60 ve 70 °C' de 150 mbar mutlak basınç altında havuç+domates pestili örneklerinin 0,07 kg su/ kg km değerine düşmesi sırasıyla 250 ve 90 dakika sürerken, aynı sıcaklık derecelerinde 250 mbar mutlak basınç değerinde bu işlemler sırasıyla 290 ve 135 dakikada tamamlanmıştır. Mikrodalga ile kurutma yöntemi incelendiğinde 90 W' lık güç uygulanarak kurutulan örneklerde kuruma süresi 72 dakika sürerken, 180 W' lık güç uygulaması sonucunda beklendiği şekilde kuruma süresinde düşüş gözlenmiş olup, kuruma 23 dakikada tamamlanmıştır.

Başlangıç nem içeriği 2,04 g su/g km olan havuç+kırmızıbiber pestili karışımları nem içeriği 0,07 g su/g km olana dek kurutulmuştur ve kuruma süresi boyunca nem içeriğindeki değişim Şekil 4.2' de gösterilmiştir. 60 ve 70 °C' de sıcak havalı kurutucuda kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinde kuruma süresi sıcaklık artışı ile birlikte azalma göstermiş olup, kurutma sırasıyla 175 ve 110 dakikada tamamlanmıştır. Havuç+domates pestili örneklerine benzer olarak vakum kurutmada mutlak basıncın artması ile kuruma süresinde artış, mikrodalga kurutmada ise güç seviyesinin artması ile kuruma süresinde düşüş gözlenmiştir.

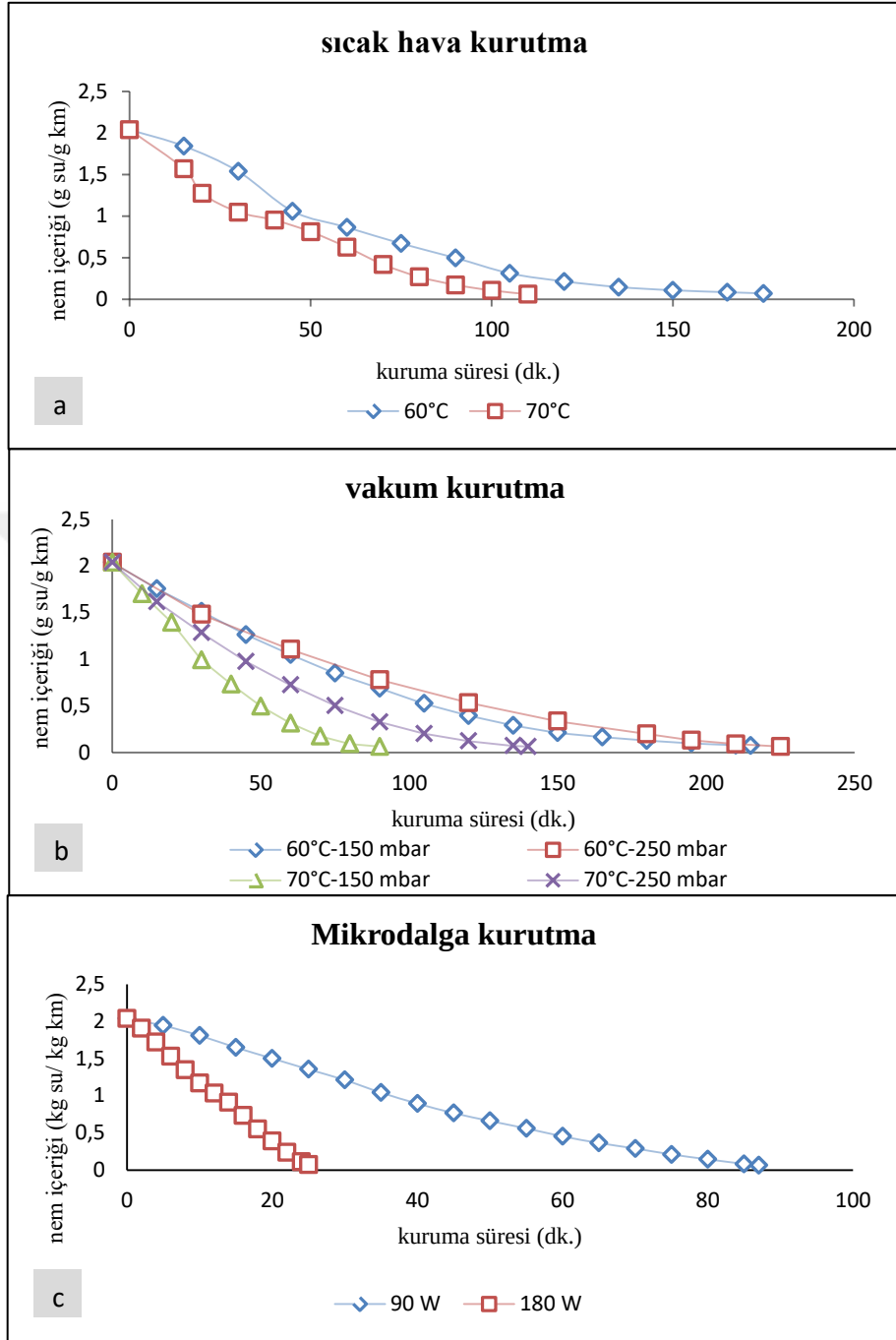
Kurutma öncesi nem seviyeleri birbirine yakın olan havuç+domates ve havuç+kırmızı biber pestili örnekleri için, aynı kurutma koşuluna ait örneklerde, kurumanın benzer sürelerde tamamlanmaması, gıda matriksinin farklı olması ile ilişkilendirilebilir.

Havuç pestili örneklerinde ise 2,22 g su/g km başlangıç nem içeriğinden 0,07 g su/g km nem içeriğine kadar kurutma gerçekleştirilmiştir. Uygulanan farklı kurutma yöntem ve parametrelerine ait kurutma süresi ile değişen nem içeriği sonuçları Şekil 4.3' de sunulmuştur. Şekil 4.3' den görüleceği üzere sıcak hava ile kurutmada sıcaklık derecesinin artması ile kuruma süresinde önemli azalma saptanmıştır. Aynı şekilde vakum kurutma yönteminde sıcaklık derecesinin artması ve mutlak basıncın azalması ile kuruma süresi azalmıştır. Mikrodalga kurutma yönteminde 90 W güç uygulaması ile kuruma 73 dakikada tamamlanırken, 180 W güç uygulandığında kurutma 20 dakika sürmüştür.

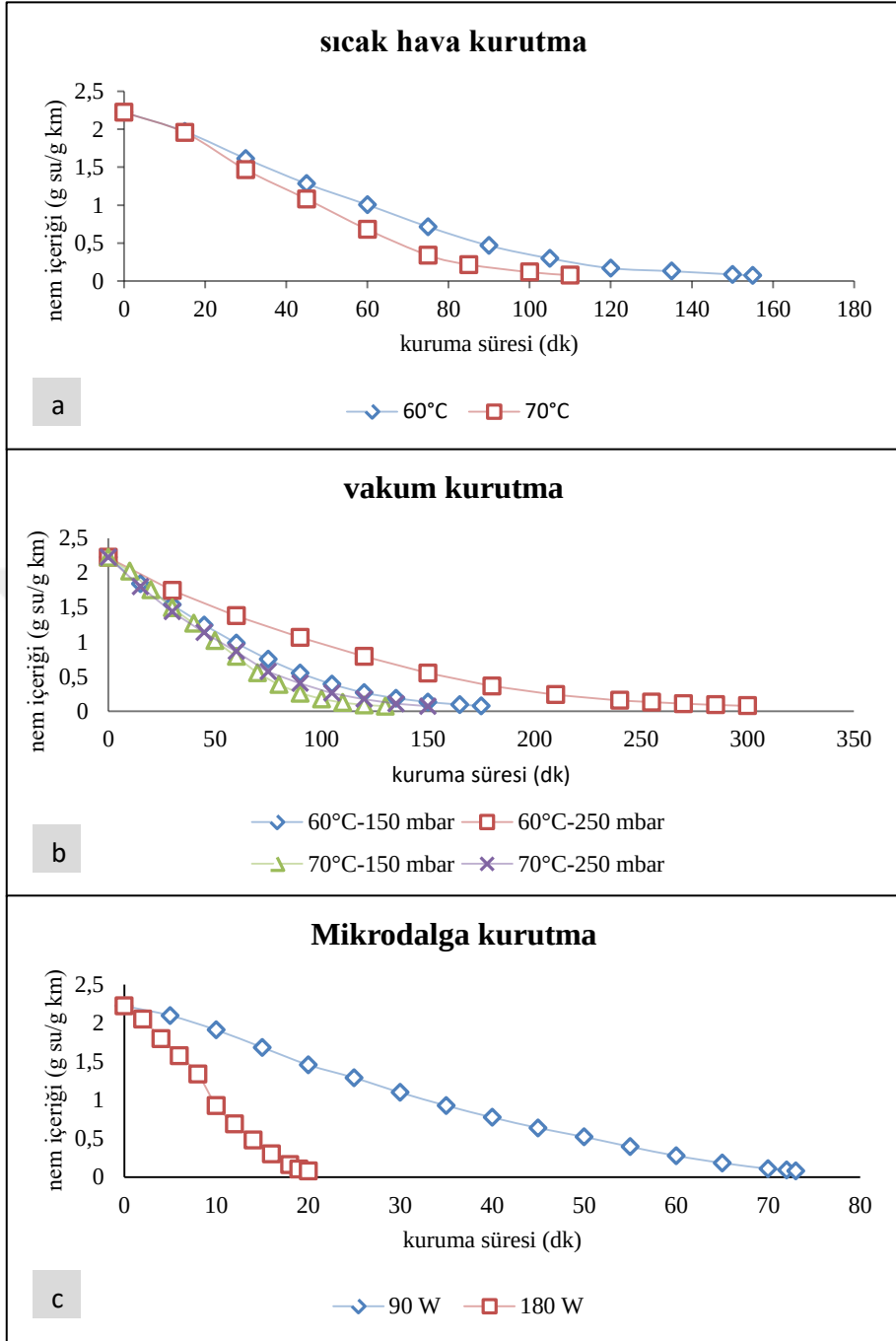
Tüm pestil örnekleri için en kısa kuruma süresi 180 W mikrodalga kurutma uygulanan pestilde iken, en uzun kuruma süresi 60°C 250 mbar vakum kurutma uygulanan pestil örneklerinde saptanmıştır.



Şekil 4.1. Havuç+domates pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma



Şekil 4.2. Havuç+kırmızıbiber pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma



Şekil 4.3. Havuç pestillerine ait nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma

4.2. Kuruma hızı değişimi

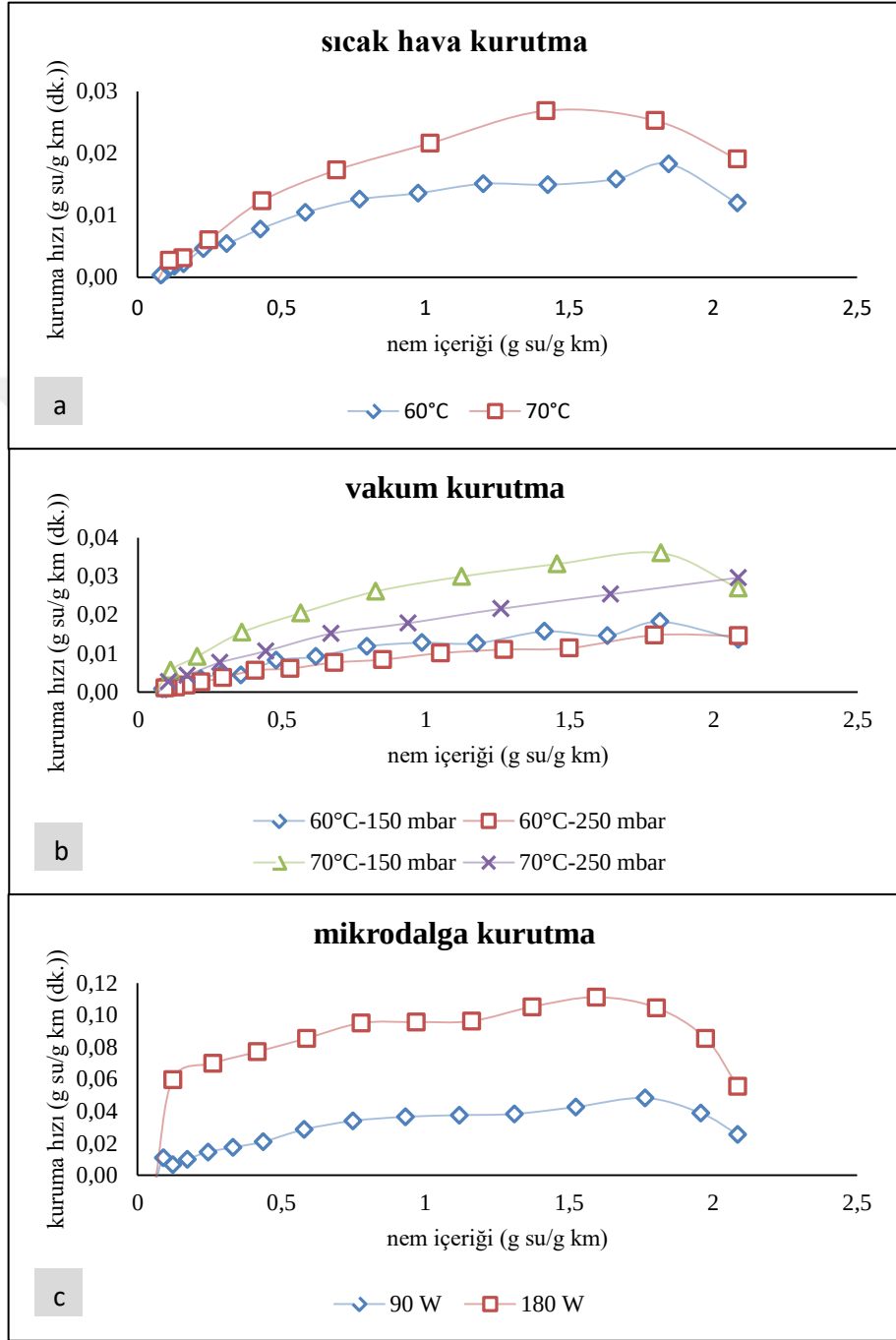
Sıcak hava, vakum ve mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinin kuruma hızları, bu ortamlar için zamana bağlı olarak belirlenmiş olan nem oranlarının kullanımı ile Eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır. Pestil örneklerinin nem içeriğine karşı çizilen kuruma hızı grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' da sunulmuştur.

Şekil 4.4 incelendiğinde domates+havuç pestillerinin kurutma yöntemlerinde genellikle azalan hız kuruma periyodu gözlemlenmiş olup bazı uygulamalarda yer yer sabit hız kuruma periyoduna da rastlanıldığı görülmektedir. Ayrıca, sıcaklık ve güç değerlerinin artması kuruma hızını artırmış mutlak basıncın artması daha geç ise kurumaya yol açmıştır.

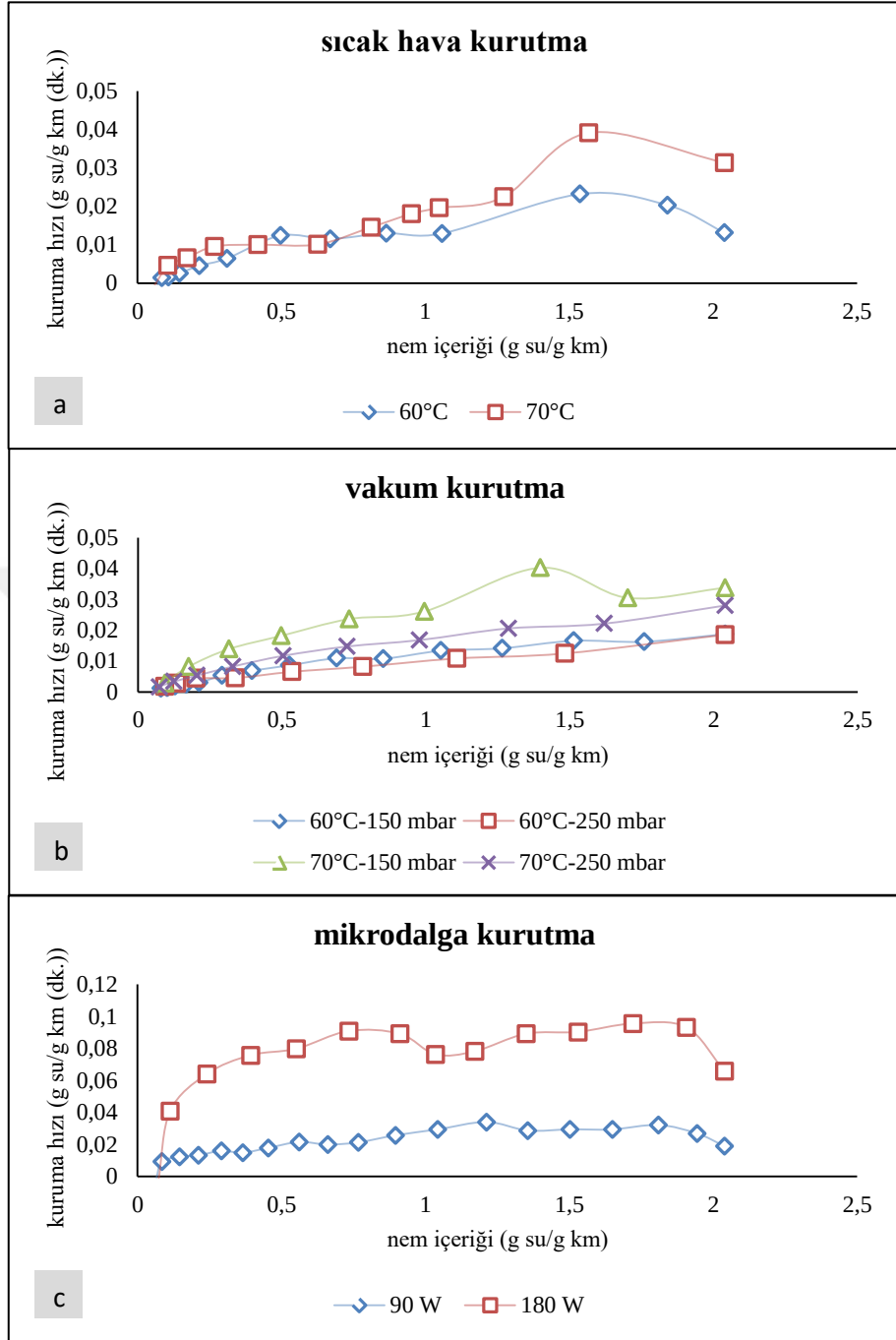
Havuç+kırmızıbiber örneklerinin kurutulması sırasında tüm kurutma yöntemlerinde yer yer sabit hızda kuruma periyodu ve genellikle azalan hızda kuruma periyodu görülmektedir (Şekil 4.5). Kurutma işleminde ortam sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyesi arttıkça ve ortam mutlak basıncı düştükçe kuruma hızının daha yüksek gerçekleştiği yine şekillerin incelenmesinden görülmektedir.

Havuç pestili örneklerinin kurutulması sırasında sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinde çoğunlukla azalan hızda kuruma periyodu gözlenmiştir (Şekil 4.6). Diğer taraftan, mikrodalga kurutma yöntemi incelendiğinde yer yer sabit hızda kuruma periyodu görülmüştür. Sıcak hava ile kurutma yönteminde sıcaklık arttıkça, vakum kurutma yönteminde sıcaklık artıp mutlak basınç azaldıkça ve mikrodalga kurutma yönteminde ise uygulanan güç seviyesi arttıkça kuruma hızında artış olduğu görülmektedir. Kurutmanın genel prensiplerine göre yüksek sıcaklık altında yapılan hızlı kurutmanın, ürünün yüzeyinde sert ve kuru bir tabaka oluşturup iç kısımlardaki suyun uzaklaşmasını engellediği bilinirken, bu çalışmada sıcaklık artışı ile birlikte kuruma hızında azalma görülmemiştir. Pestil örneklerinin geniş yüzey alanına sahip olacak şekilde, ince bir film halinde serilip kurutulmasından dolayı, yüzeyde sert, kuru tabaka oluşumunun engellendiği düşünülmüştür. Ayrıca pestil hamurunun daha kalın

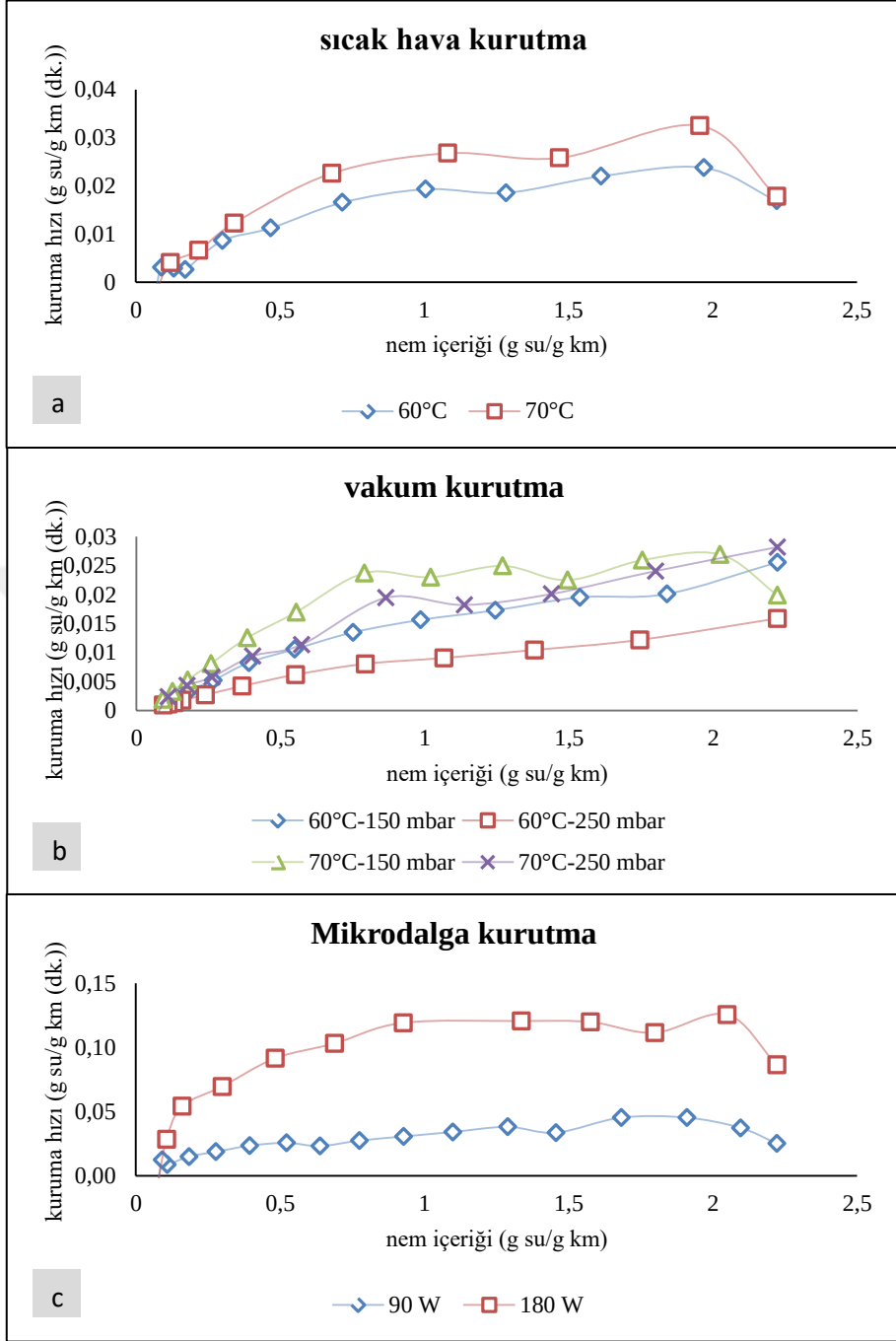
olarak serilip kurutulması durumunda yüzeyde sert, kuru tabaka oluşumuna ve dolayısıyla daha geç kurumaya yol açabileceği göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 4.4. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç+domates pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma



Şekil 4.5. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma



Şekil 4.6. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç pestillerinin nem içeriği ile kuruma hızının değişimi (a) sıcak hava kurutma (b) vakum kurutma (c) mikrodalga kurutma

4.3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

Pestil örneklerinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kurutma süresi ile değişimi yedi adet kurutma modeli ile incelenmiştir. Kurutma eğrilerine uygulanan matematiksel modellere ait kurutma katsayıları, R^2 , χ^2 ve RMSE istatistiksel parametreleri havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç, pestilleri için sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’ de gösterilmiştir.

Havuç+domates pestilinin kuruma davranışlarını en iyi açıklayan modeller 70 °C 250 mbar vakum kurutma uygulaması için en yüksek R^2 (0,9986) değerini ve en düşük χ^2 (0,000195) ve RMSE (0,002817) değerlerini veren Wang ve Singh, diğer tüm uygulamalar için ise en yüksek R^2 (0,9865 – 0,9981) değerini ve en düşük χ^2 (0,000127 – 0,001108) ve RMSE (0,002226 – 0,008493) değerlerini veren Page ve Modifiye Page modelleri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde, Page ve Modifiye Page modelleri, havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin kuruma davranışlarını en iyi ortaya koyan modeller olarak belirlenmiştir. Bu modellere ait hesaplanan en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9769 – 0,9971, 0,000177 – 0,002053 ve 0,003109 – 0,011212 arasında bulunmuştur.

Havuç+kırmızı biber pestilinin kuruma davranışı sonuçları ile uyumlu olarak, havuç pestillerinin farklı şartlarda kurutulmasında elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini ortaya koyan modeller arasında en yüksek R^2 (0,9879 – 0,9984) değerini ve en düşük χ^2 (0,000184 – 0,001017) ve RMSE (0,003572 – 0,008405) değerlerini veren model en uygun model olarak belirlenmiştir. Buna göre, havuç pestillerinin deneysel kuruma davranışlarını en iyi temsil eden modellerin Page ve Modifiye Page olduğu görülmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Yoğurtçu (2014) farklı mikrodalga güçlerinde (90, 180, 360, 600 W) kuruttukları limonun kuruma karakteristiklerini

belirlemek için üç farklı model uygulamış ve Page modelin limonun kuruma davranışlarını temsil eden en iyi model olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Dadalı, Kılıç Apar ve Özbek (2007), Doymaz (2005) ve Sobukola (2009) bamyanın, Demiray ve Tülek (2014) ve Kumar, Hebbar ve Ramesh (2006) soğanın, kurutulmasında elde ettikleri deney sonuçlarını en iyi açıklayan modelin Page ve Modifiye Page model olduğunu bildirmiştir.



Çizelge 4.1. Havuç+domates pestili örneklerine ait model katsayıları

No			60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
1	Model katsayı arı R ² RMSE χ^2	n k	1,3866 0,0020	1,4584 0,0028	1,2822 0,0031	1,1869 0,0040	1,4772 0,0043	1,2330 0,0078	1,4925 0,0054	1,6463 0,0147
			0,9960	0,9985	0,9977	0,9981	0,9969	0,9963	0,9987	0,9865
			0,0028	0,0025	0,0022	0,0022	0,0043	0,0042		
			65	67	70	26	08	30	0,002640	0,008493
			0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002		
			58	82	04	27	32	24	0,000133	0,001108
2	Model katsayı arı R ² RMSE χ^2	n k	1,3866 0,0112	1,4584 0,0178	1,2822 0,0112	1,1869 0,0096	1,4772 0,0250	1,2330 0,0196	1,4925 0,0302	1,6463 0,0771
			0,9960	0,9985	0,9977	0,9981	0,9969	0,9963	0,9987	0,9865
			0,0028	0,0025	0,0025	0,0026	0,0043	0,0042		
			65	67	13	26	08	30	0,002640	0,008493
			0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002		
			58	82	28	33	32	24	0,000127	0,001108
3	Model katsayı arı R ² RMSE χ^2	k a c	0,0253 2,1200 0,0356	0,0328 1,5189 0,0336	0,0216 1,7939 0,0364	0,0177 1,7148 0,0347	0,0426 1,4717 0,0273	0,0313 1,3914 0,0313	0,0590 1,7274 0,0327	0,1356 1,5470 0,0299
			0,9332	0,9538	0,9485	0,9394	0,9264	0,9471	0,9104	0,8486
			0,0749	0,0585	0,0516	0,0512	0,0540	0,0456		
			08	39	91	37	58	08	0,055810	0,053257
			0,1158	0,0489	0,0577	0,0541	0,0417	0,0297		
			33	55	14	91	47	16	0,061337	0,047934
4	Model katsayısı R ² RMSE χ^2	k	0,0144	0,0234	0,0133	0,0112	0,0335	0,0235	0,0400	0,1051
			0,9708	0,9651	0,9840	0,9859	0,9224	0,9710	0,9301	0,8095
			0,0204	0,0295	0,0149	0,0121	0,0340	0,0194		
			46	86	69	57	35	31	0,026663	0,040694
			0,0075	0,0097	0,0042	0,0026	0,0128	0,0041		
			51	26	71	69	71	95	0,012133	0,023322
5	Model katsayı arı R ² RMSE χ^2	k a	0,0160 1,3068	0,0266 1,3447	0,0145 1,2263	0,0121 1,2182	0,0397 1,4780	0,0261 1,2710	0,0477 1,4848	0,1351 1,6374
			0,9848	0,9842	0,9930	0,9938	0,9549	0,9840	0,9648	0,8684
			0,0201	0,0369	0,0141	0,0149	0,0517	0,0294		
			69	94	48	85	18	83	0,035630	0,058865
			0,0078	0,0171	0,0040	0,0043	0,0334	0,0108		
			38	07	53	27	35	66	0,023213	0,053237
6	Model katsayı arı R ² RMSE χ^2	k a	0,0102 0,5665	0,0169 0,5735	0,0093 0,5508	0,0078 0,5492	0,0249 0,5965	0,0167 0,5597	0,0299 0,5976	0,0834 0,6208
			0,9848	0,9842	0,9930	0,9938	0,9549	0,9840	0,9648	0,8684
			0,0327	0,0391	0,0354	0,0368	0,0311	0,0420		
			25	71	27	28	63	42	0,026043	0,027401
			0,0206	0,0191	0,0254	0,0261	0,0121	0,0220		
			33	79	16	31	39	94	0,012402	0,011535

Çizelge 4.1. Havuç+domates pestili pestili örneklerine ait model katsayıları (devam)

No			60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
7	Model	b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00009	0,0002
	katsayı	2		4	2	1	3	6		
	arı	a	-0,0076	-0,0117	-0,0077	-0,0070	-0,0107	-0,0140	-0,0195	-0,0453
	R ²		0,8986	0,8581	0,9075	0,9933	0,9018	0,9986	0,8668	0,8167
	RMSE		0,0417	0,0326	0,0370	0,0291	0,0693	0,0028		
		53		55	48	12	26	17	0,014267	0,009518
	χ^2		0,0335	0,0133	0,0277	0,0163	0,0600	0,0001		
		89		30	94	28	77	95	0,003722	0,001392

Çizelge 4.2. Havuç+kırmızıbiber pestili pestili örneklerine ait model katsayıları

No			60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
1	Model	n	1,4244	1,2170	1,2104	1,1894	1,3795	1,2391	1,4700	1,4799
	katsayı	k	0,0024	0,0097	0,0050	0,0050	0,0067	0,0071	0,0039	0,0203
	arı									
	R ²		0,9941	0,9613	0,9971	0,9891	0,9949	0,9934	0,9931	0,9769
	RMSE		0,0056	0,0132	0,0031	0,0062	0,0047	0,0053		
		91		02	09	47	44	12	0,004660	0,011212
	χ^2		0,0004	0,0025	0,0001	0,0004	0,0002	0,0003		
		98		10	77	88	81	79	0,000461	0,002053
2	Model	n	1,4244	1,2170	1,2104	1,1894	1,3795	1,2391	1,4700	1,4799
	katsayı	k	0,0144	0,0221	0,0125	0,0115	0,0266	0,0185	0,0229	0,0719
	arı									
	R ²		0,9941	0,9613	0,9971	0,9891	0,9949	0,9934	0,9931	0,9769
	RMSE		0,0056	0,0132	0,0031	0,0062	0,0047	0,0053		
		91		02	09	47	44	12	0,004660	0,011212
	χ^2		0,0004	0,0025	0,0001	0,0004	0,0002	0,0003		
		98		10	77	88	81	79	0,000461	0,002053
3	Model	k	0,0287	0,0344	0,0240	0,0187	0,0488	0,0353	0,0431	0,1282
	katsayı	a	1,7109	1,4121	1,7891	1,4396	1,5781	1,7746	1,6824	1,5574
	arı	c	0,0342	0,0291	0,0358	0,0319	0,0321	0,0319	0,0322	0,0354
	R ²		0,9407	0,9099	0,9105	0,9227	0,9039	0,8758	0,8448	0,8071
	RMSE		0,0614	0,0426	0,0598	0,0506	0,0655	0,0793		
		80		95	57	14	63	64	0,048265	0,052896
	χ^2		0,0638	0,0291	0,0705	0,0365	0,0614	0,0952		
		78		66	54	97	08	68	0,052560	0,049856

Çizelge 4.2. Havuç+kırmızıbiber pestili pestili örneklerine ait model katsayıları (devam)

No			60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
4	Model katsayı arı	k	0,0186	0,0268	0,0148	0,0137	0,0345	0,0226	0,0249	0,0941
	R ²		0,9753	0,9224	0,9816	0,9624	0,9470	0,9644	0,9335	0,8146
	RMSE		0,0218	0,0234	0,0143	0,0172	0,0290	0,0204		
		99		34	03	40	42	24	0,018087	0,035009
	χ^2		0,0067	0,0071	0,0034	0,0033	0,0093	0,0050		
		54		89	92	02	71	47	0,006561	0,018479
5	Model katsayı arı	a	0,0207	0,0310	0,0163	0,0151	0,0397	0,0253	0,0367	0,1192
	R ²		1,2978	1,3769	1,2432	1,2740	1,3915	1,3181	1,5282	1,5635
	RMSE		0,9894	0,9462	0,9920	0,9741	0,9706	0,9798	0,9246	0,8675
		00		17	55	39	40	13	0,035899	0,050790
	χ^2		0,0092	0,0201	0,0058	0,0112	0,0225	0,0137		
		22		60	29	79	14	78	0,027367	0,042134
6	Model katsayı arı	k	0,0132	0,0196	0,0105	0,0097	0,0251	0,0161	0,0229	0,0740
	R ²	a	0,5648	0,5793	0,5542	0,5603	0,5819	0,5686	0,6045	0,6099
	RMSE		0,9894	0,9462	0,9920	0,9741	0,9706	0,9798	0,9246	0,8675
		48		98	60	20	85	76	0,021920	0,024726
	χ^2		0,0216	0,0154	0,0236	0,0231	0,0153	0,0186		
		60		90	45	34	00	81	0,010203	0,009986
7	Model katsayı arı	b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00002	0,00020
	R ²	a	-0,0103	-0,0143	-0,0091	-0,0084	-0,0175	-0,0132	-0,0091	0,0408
	RMSE		0,9868	0,8349	0,9966	0,9482	0,8734	0,9858	0,8520	0,9181
		39		85	73	92	79	24	0,054715	0,012758
	χ^2		0,0540	0,0236	0,0013	0,0027	0,0016	0,0040		
		96		02	13	35	76	35	0,063573	0,002658

Çizelge 4.3. Havuç pestili pestili örneklerine ait model katsayıları

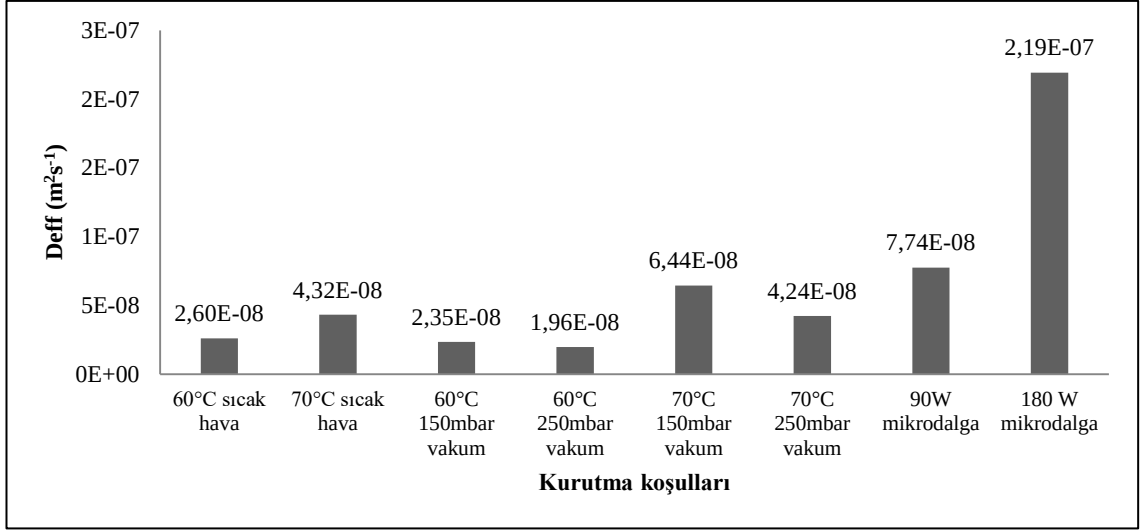
No			60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
1	Model katsayı arı	n	1,4507	1,6503	1,2114	1,1836	1,4469	1,2357	1,4847	1,6389
		k	0,0023	0,0015	0,0062	0,0039	0,0030	0,0067	0,0049	0,0213
	R ²		0,9981	0,9984	0,9949	0,9959	0,9959	0,9948	0,9937	0,9879
	RMSE		0,0035	0,0042	0,0043	0,0040	0,0050	0,0050	0,005277	0,008405
			72	20	98	14	02	96		
	χ^2		0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,000537	0,001017
			84	06	97	48	09	49		
2	Model katsayı arı	n	1,4507	1,6503	1,2114	1,1836	1,4469	1,2357	1,4847	1,6389
		k	0,0151	0,0191	0,0151	0,0092	0,0181	0,0173	0,0277	0,0956
	R ²		0,9981	0,9984	0,9949	0,9959	0,9959	0,9948	0,9937	0,9879
	RMSE		0,0035	0,0042	0,0043	0,0040	0,0050	0,0050	0,005277	0,008405
			72	20	98	14	02	96		
	χ^2		0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,000537	0,001017
			84	06	97	48	09	49		
3	Model katsayı arı	k	0,0310	0,0382	0,0236	0,0153	0,0367	0,0285	0,0589	0,02012
		a	1,8141	1,6431	1,3535	1,4630	1,8000	1,4361	1,9435	1,8276
		c	0,0329	0,0353	0,0351	0,0353	0,0321	0,0331	0,0355	0,0350
	R ²		0,9176	0,9083	0,9557	0,9558	0,9135	0,9421	0,8243	0,8521
	RMSE		0,0766	0,0796	0,0339	0,0420	0,0678	0,0469	0,069889	0,314734
			35	99	78	19	10	34		
	χ^2		0,0939	0,0857	0,0195	0,0298	0,0819	0,0333	0,100830	1,584915
			68	52	11	38	32	18		
4	Model katsayısı	k	0,0228	0,0321	0,0203	0,0119	0,0272	0,0243	0,0402	0,1536
	R ²		0,9840	0,9783	0,9919	0,9919	0,9705	0,9886	0,9294	0,9323
	RMSE		0,0368	0,0544	0,0247	0,0198	0,0360	0,0304	0,032586	0,051055
			59	49	46	85	70	93		
	χ^2		0,0177	0,0300	0,0086	0,0055	0,0196	0,0112	0,01917	0,034123
			85	18	24	69	16	51		
5	Model katsayı arı	k	0,0232	0,0318	0,0199	0,0117	0,0283	0,0232	0,0449	0,1678
		a	1,4216	1,4918	1,2635	1,2247	1,4618	1,2794	1,5464	1,6351
	R ²		0,9773	0,9610	0,9880	0,9919	0,9726	0,9841	0,9328	0,9249
	RMSE		0,0385	0,0583	0,0232	0,0194	0,0381	0,0283	0,039429	0,060874
			72	53	99	69	45	76		
	χ^2		0,0214	0,0394	0,0083	0,0058	0,0237	0,0108	0,029952	0,053362
			24	02	40	23	66	25		
6	Model katsayı arı	k	0,0146	0,0199	0,0128	0,0075	0,0178	0,0149	0,0279	0,1035
		a	0,5871	0,5987	0,5582	0,5505	0,5938	0,5613	0,6073	0,6205
	R ²		0,9773	0,9610	0,9880	0,9919	0,9726	0,9841	0,9328	0,9249
	RMSE		0,0321	0,0362	0,0381	0,0410	0,0284	0,0400	0,022835	0,030195
			70	26	01	65	83	12		
	χ^2		0,0149	0,0151	0,0223	0,0259	0,0132	0,0215	0,010047	0,013129
			02	86	03	08	51	24		

Çizelge 4.3. Havuç pestili pestili örneklerine ait model katsayıları (devam)

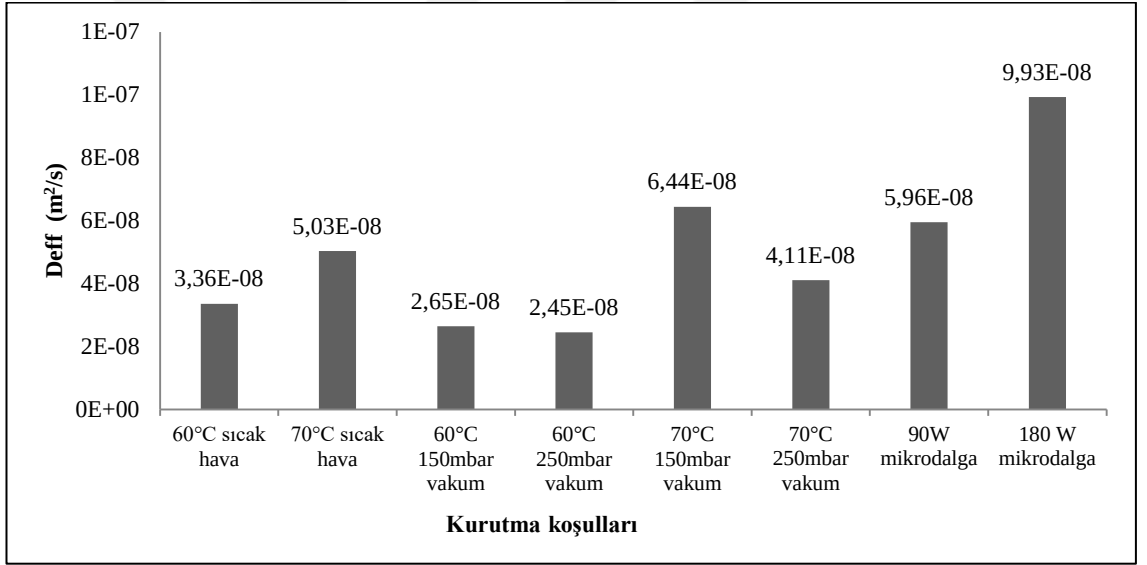
No		60 °C sıcak hava	70 °C sıcak hava	60 °C 150 mbar vakum	60 °C 250 mbar vakum	70 °C 150 mbar vakum	70 °C 250 mbar vakum	90W mikrodal ga	180 W mikrodal ga
7	Model	b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00006	0,00009
	katsayı	3	4	3	1	4	4		
	arı	a	-0,0106	-0,0133	-0,0110	-0,0067	-0,0114	-0,0174	-0,0625
	R ²		0,9010	0,8007	0,9891	0,9775	0,8976	0,9003	0,9876
	RMSE		0,0149	0,0144	0,0057	0,0231	0,0334	0,0053	0,034739
			51	00	23	80	76	34	
	χ ²		0,0032	0,0023	0,0005	0,0082	0,0183	0,0003	0,017377
			19	99	03	55	04	83	

4.4. Efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri

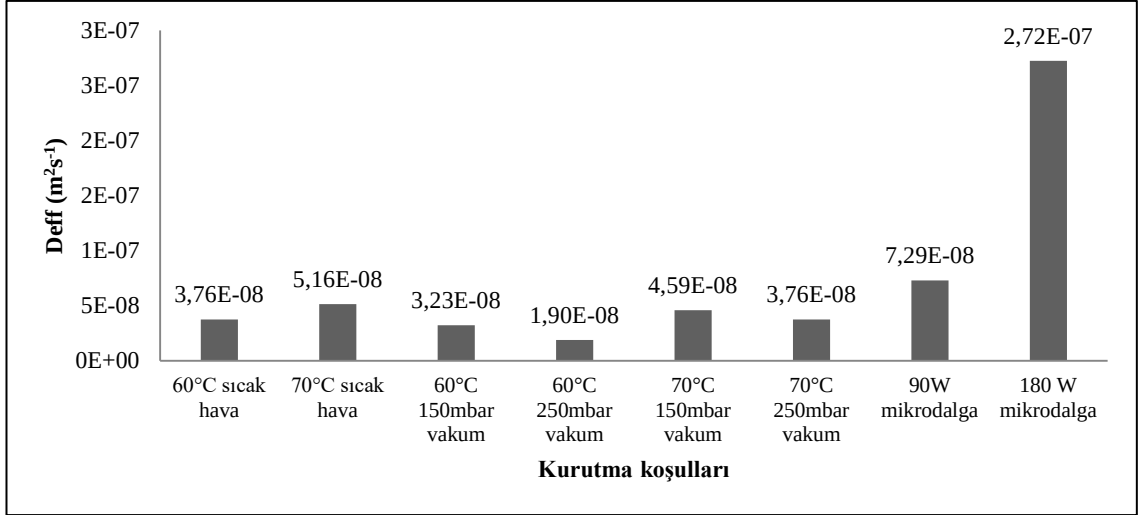
Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin farklı kurutma parametrelerine ait efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerlerinin sırasıyla, $1,96 \times 10^{-8}$ – $2,19 \times 10^{-7}$, $2,45 \times 10^{-8}$ – $9,93 \times 10^{-8}$ ve $1,90 \times 10^{-8}$ – $2,72 \times 10^{-8}$ m²/s arasında değiştiği hesaplanmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9). Bu aralık, gıda materyallerinin kurutulmasında nem difüzyon katsayısının genellikle değiştiği aralık olan 10^{-11} - 10^{-6} m²/s arasındadır (Surendhar, Sivasubramanian, Vidhyeswari ve Deepanraj, 2018). Tüm pestil örneklerinde en düşük D_{eff} değerleri 60 °C 250 mbar vakum kurutma ile elde edilirken; en yüksek sonucu 180 W mikrodalga uygulaması vermiştir. D_{eff} değerleri, sıcaklığın (sıcak hava ve vakum kurutmada) ve mikrodalga gücünün (mikrodalga kurumada) artması ile artış gösterirken; vakum kurutmada aynı sıcaklık uygulanan kurutmalar arasında mutlak basıncı düşük olanlar daha yüksek D_{eff} sonucu vermiştir. Bu durum yüksek sıcaklıkta ürünün nemin buharlaşmasının daha kolay olması ile ve kuruma hızındaki artış ile açıklanabilir (J.H. Lee ve Zuo, 2013). Literatür incelendiğinde, Oberoi ve Sogi (2015) kavun püresinin ($0,35 \times 10^{-8}$ – $0,87 \times 10^{-8}$ m²/s) ve Darvishi, Khoshtaghaza, Minaei (2014) limon dilimlerinin ($1,87 \times 10^{-8}$ – $3,59 \times 10^{-8}$ m²/s) kurutulmasında benzer sonuçları bildirmişlerdir.



Şekil 4.7. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç+domates pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim



Şekil 4.8. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim



Şekil 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan havuç pestillerine ait D_{eff} değerlerindeki değişim

4.5. Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite Analiz Sonuçları

4.5.1. Toplam fenolik madde sonuçları

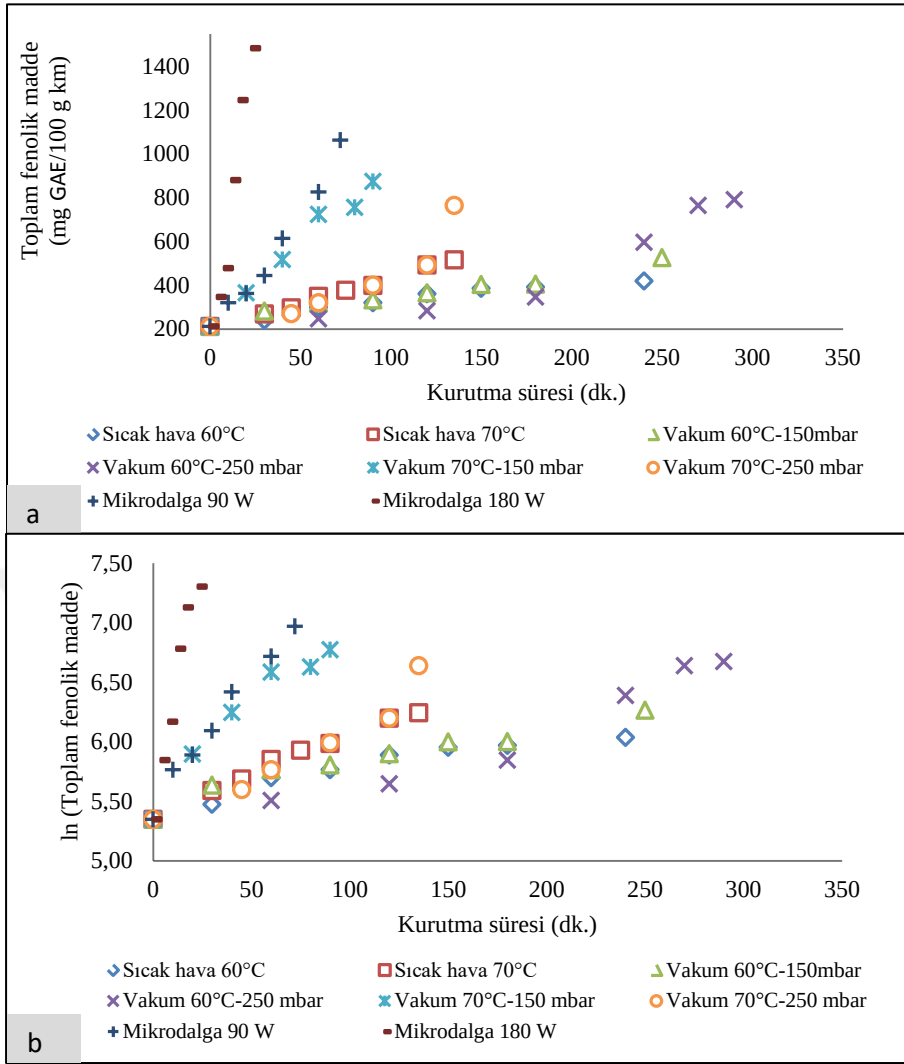
Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin kurutma öncesi toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 209,96, 149,15 ve 229,82 mg GAE /100 g olarak belirlenmiştir.

Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişim kinetikleri sıfırıncı dereceden kinetik model için sırasıyla Şekil 4.10a, Şekil 4.11a ve Şekil 4.12a' da ve birinci dereceden kinetik model için sırasıyla Şekil 4.10b, Şekil 4.11b ve Şekil 4.12b' de gösterilmektedir. Toplam fenolik madde içeriği havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestilleri için kurutma süresi ile artış gösterirken havuç pestilinde kurutma süresi ile azalma göstermiştir.

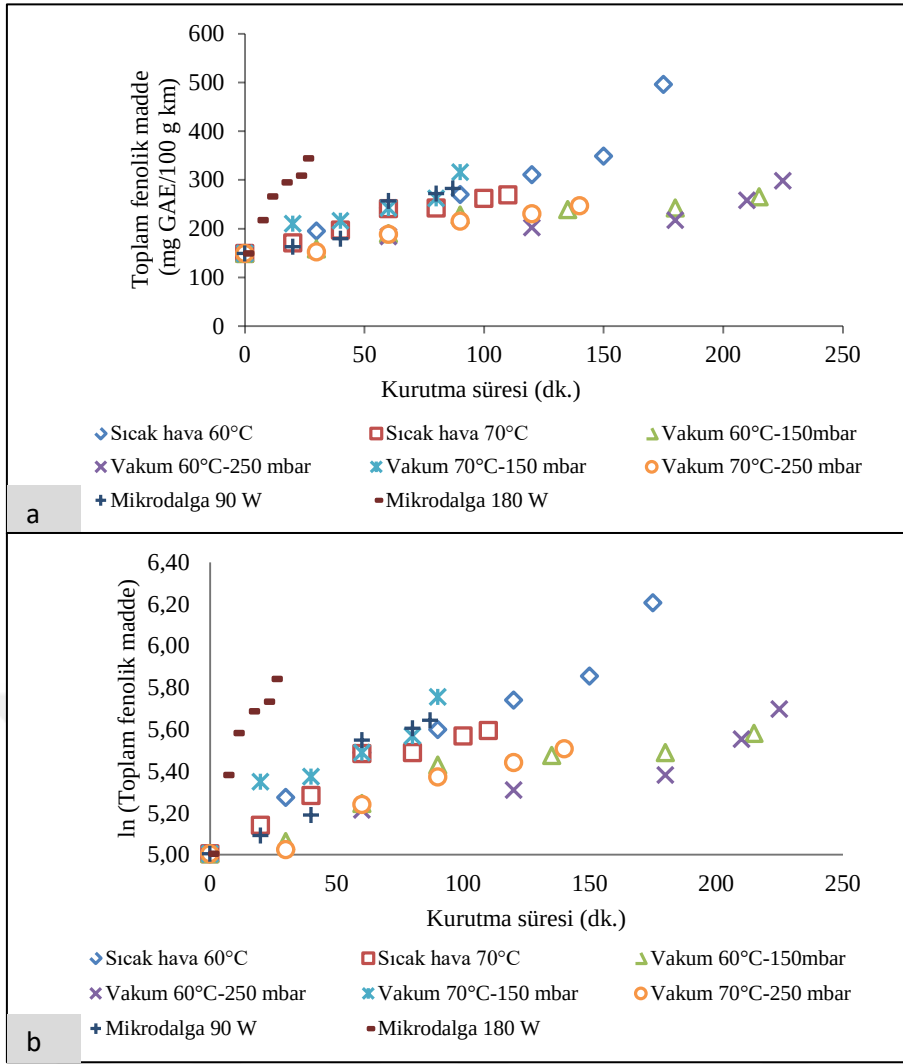
Kurutma sırasında havuç+domates, havuç+kırmızıbiber pestillerinin toplam fenolik madde içeriğinde artış göstermesi ısıl işlemin bir sonucu olarak matrsten artan fenolik salınımla ilişkilendirilebilir (Kamiloglu ve diğerleri, 2014; Özkan Karabacak, 2019).

Buna rağmen havuç pestili örneklerinde toplam fenolik madde içeriğinin kurutma süresi ile azalması, polifenollerin ısıya dayanıksız olması ve uzun süreli ısıl işlemin fenolik bileşiklerde geri dönüşü olmayan kimyasal değişikliklere neden olabilmesi ile açıklanmaktadır ve bu yöndeki daha önce yapılmış olan çalışmalarla uyum göstermektedir (Mrad, Boudhrioua, Kechaou, Courtois ve Bonazzi, 2012; Zhou ve diğerleri, 2016). Ayrıca bu azalma polifenollerin diğer bileşikler (proteinler) ile bağlanmasına veya mevcut yöntemlerle ekstrakte edilemeyen veya belirlenemeyen polifenollerin kimyasal yapısına dayandırılabilir (Mrad ve diğerleri, 2012). Ek olarak, polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi oksidatif enzimlerin aktivasyonu, toplam fenolik madde içeriğindeki kayıpla ilgili diğer önemli faktördür (Gumusay, Borazan, Ercal, ve Demirkol, 2015; Kamiloglu ve diğerleri, 2016).

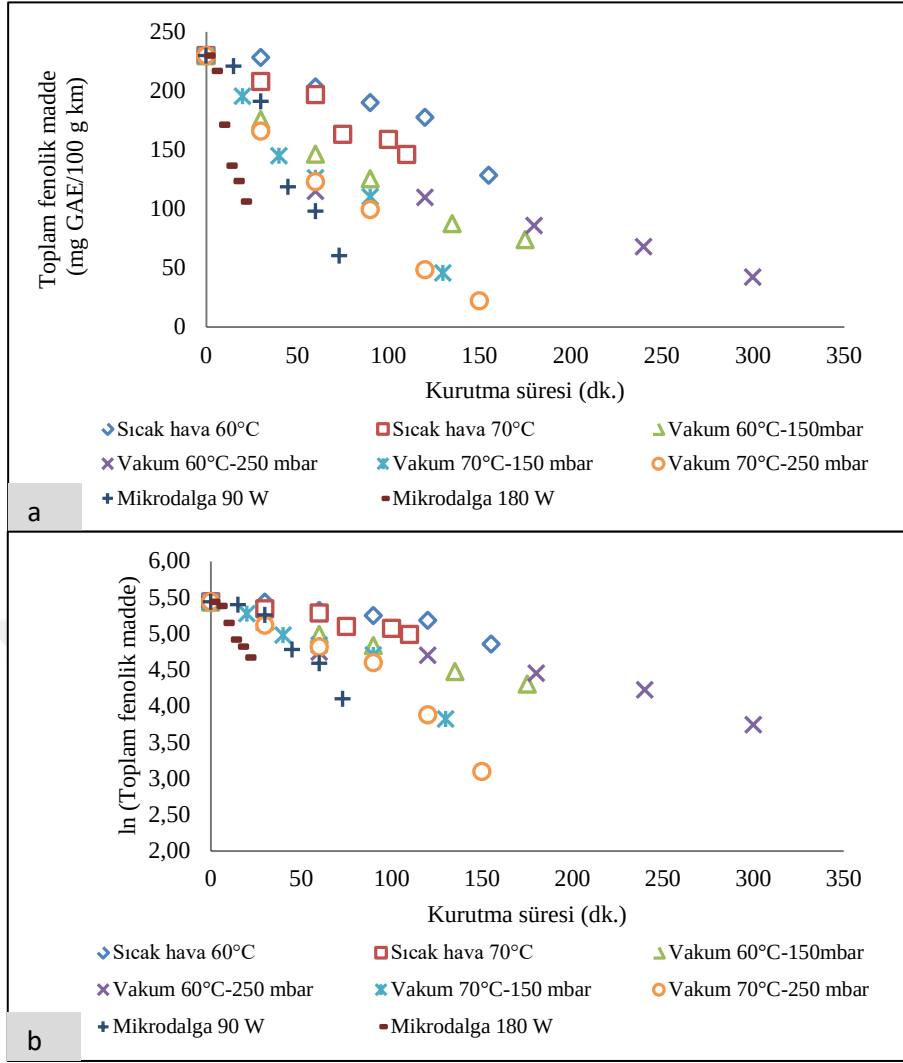
Pestillerinin kurutma öncesi değerlerine bakıldığında havuç pestil karışımlarına domates ve kırmızıbiber ilave etmek toplam fenolik madde içeriğinde azalmaya sebep oluyor gibi görünse de kurutma sonrası bu durum ters yönde etki göstermiştir. Kurutma koşullarından elde edilen en yüksek değerler dikkate alındığında havuç pestiline domates ve kırmızıbiber ilave etmek ürünün toplam fenolik madde içeriğini artırmıştır. Bunun sebebi olarak; domates ve kırmızıbiberden ürüne dahil edilen fenolik maddelerin ısıl stabilitelerinin daha iyi olduğu düşünülebilir.



Şekil 4.10. Havuç+domates pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.11. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.12. Havuç pestili örneklerine ait toplam fenolik madde değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

4.5.2. Toplam antioksidan kapasite sonuçları

Pestil örneklerinin toplam antioksidan kapasiteleri üç farklı yöntemle (DPPH, FRAP, CUPRAC) analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’ de gösterilmiştir.

Apak, Ozyurek, Guclu ve Capanoglu (2016), gıdaların toplam antioksidan kapasite tayini için tek bir yöntem kullanımı ile tatmin edici sonuçların elde edilemeyeceğini, bu nedenle farklı mekanizmalara sahip birden fazla metodun kullanılmasını önermiştir. Nitekim daha önce yapılan literatür çalışmaları da bu görüşü destekler niteliktedir

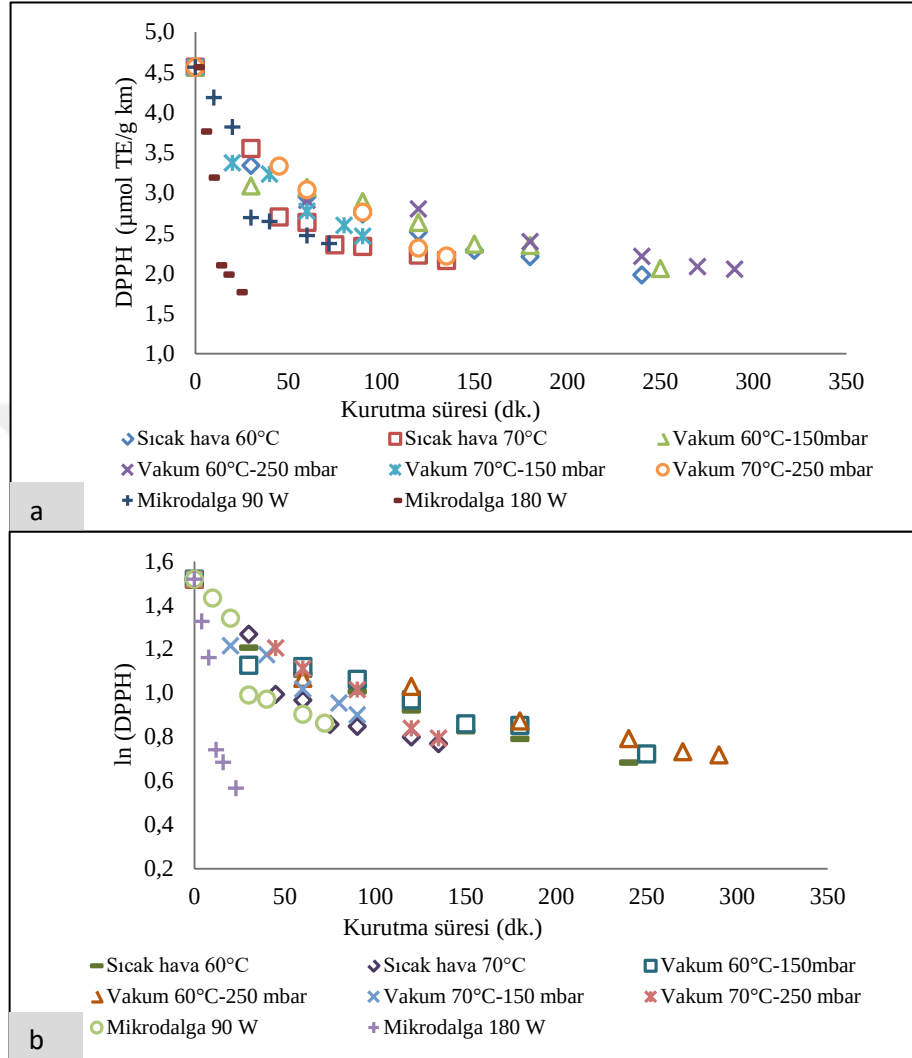
(Tomas ve diğerkleri, 2017; Kamiloglu, 2019a; Özkan Karabacak ve diğerkleri, 2020; Tomas ve diğerkleri, 2020).

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestil karışımlarının kuruma öncesi DPPH değerkleri sırasıyla 4,56, 4,26 ve 3,48 $\mu\text{mol TE/g km}$ olarak belirlenmiştir. Örneklerin kuruma öncesi FRAP değerkleri havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili için sırasıyla 27,19, 27,63 ve 19,95 $\mu\text{mol TE/g km}$ olarak belirlenmiştir. Diğerk bir antioksidan kapasite yöntemi olarak uygulanan CUPRAC metodu sonucunda örneklerde kurutma öncesi ölçülen değerkler 10,76 (havuç+domates) 7,90 (havuç+kırmızıbiber) ve 5,15 (havuç) $\mu\text{mol TE/g km}$ olarak belirlenmiştir.

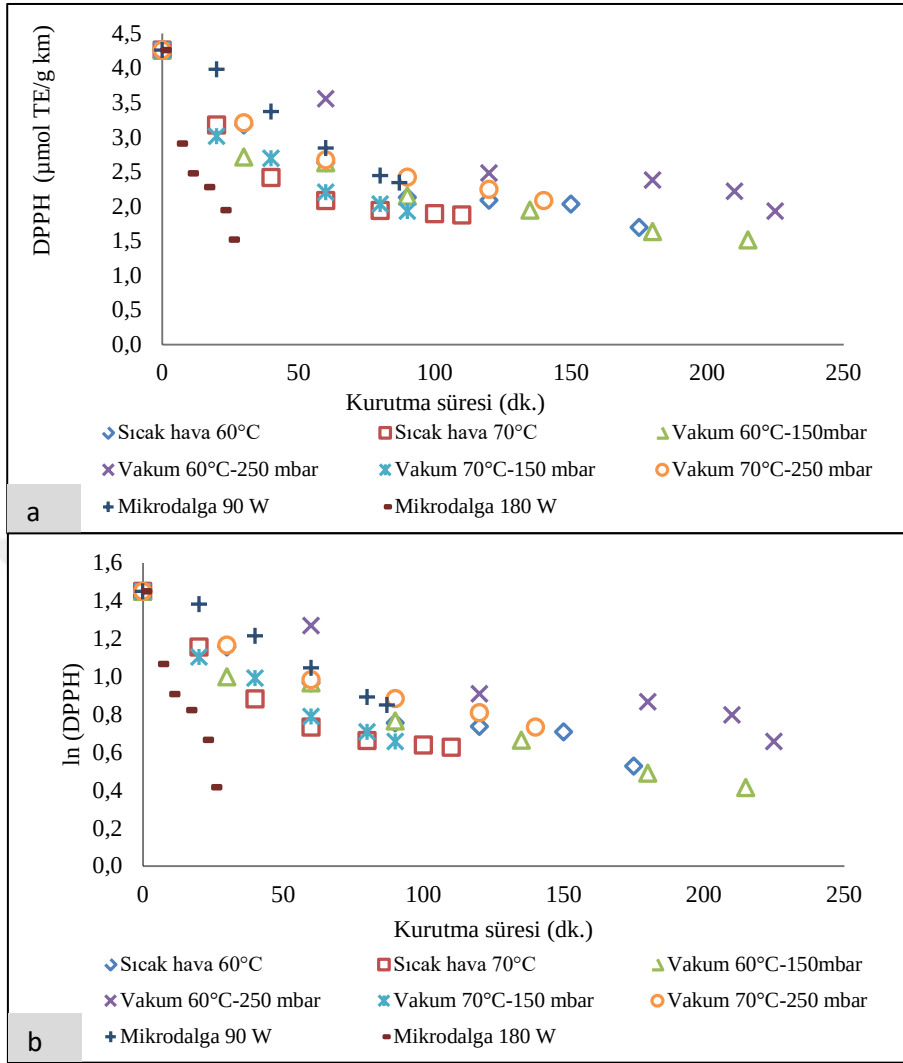
En yüksek toplam antioksidan kapasite FRAP yöntemi ile elde edilmiş olup, daha sonra bu metodu sırasıyla CUPRAC ve DPPH yöntemleri takip etmiştir. Bu veriler, daha önce kurutulmuş portakal dilimlerinde farklı metotlar kullanarak toplam antioksidan kapasitesin ölçüldüğü bir çalışmada elde edilen sonuçlar (FRAP > CUPRAC > DPPH) ile uyumludur (Özkan Karabacak, Acoglu, Yolci Ömeroglu ve Çopur, 2020). Yine endüstriyel işleme ile ev yapımı domates sosunda toplam antioksidan kapasitenin karşılaştırıldığı bir diğerk çalışmada da benzer sonuçlar (FRAP > CUPRAC > DPPH) elde edilmiştir (Tomas ve diğerkleri, 2017).

DPPH, FRAP ve CUPRAC yöntemlerinden elde edilen toplan antioksidan kapasite değerkleri, tüm pestil örnekleri için kurutma süresi artışı ile azalma göstermiştir. Bu durum, yüksek sıcaklığın biyoaktif bileşenlerin bozunma hızını artırması ve numunenin antioksidan kapasitesini azaltması ile açıklanabilir (Zhou ve diğerkleri, 2016). Literatür incelendiğinde Garau, Simal, Rosello ve Femenia (2007) portakal kabuğu ve posasındaki antioksidan kapasitenin sıcak hava ile kurutma sonucunda azaldığını bulmuşlardır. Ancak, Vega-Galvez ve diğerkleri (2009), kırmızıbiberin sıcak havada kurutulduktan sonra radikal temizleme aktivitesinin taze numuneye göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki bu farklılığın sebebi, çalışmalarda kullanılan diğerk kurutma yöntemleri, ekstraksiyonda kullanılan çözgen farklılığı, analiz yöntemlerindeki farklılıklar gibi çeşitli faktörlere dayandırılabilir (Vega-Galvez ve diğerkleri, 2009).

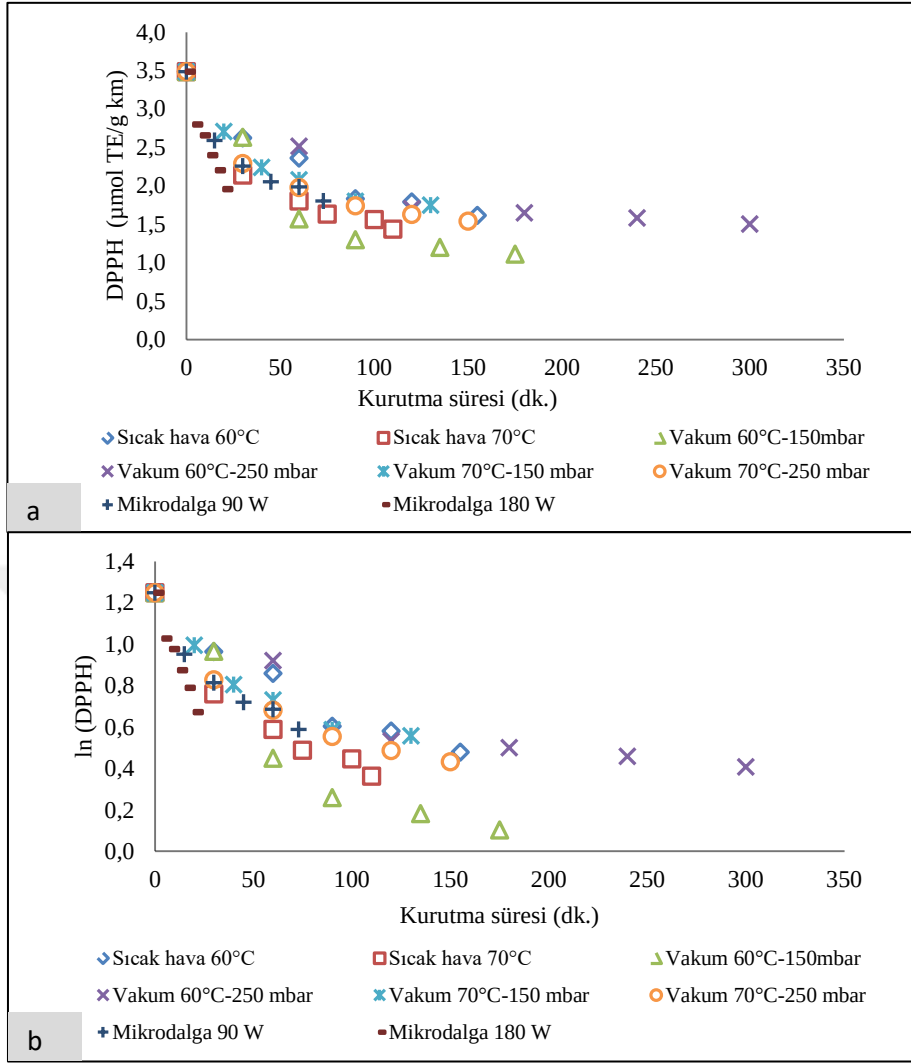
Kurutma koşullarından elde edilen en yüksek değerler dikkate alındığında havuç pestilin, domates ve kırmızıbiber ilave etmek ürünün toplam fenolik madde içeriğinde olduğu gibi antioksidan kapasitesini de artırmıştır.



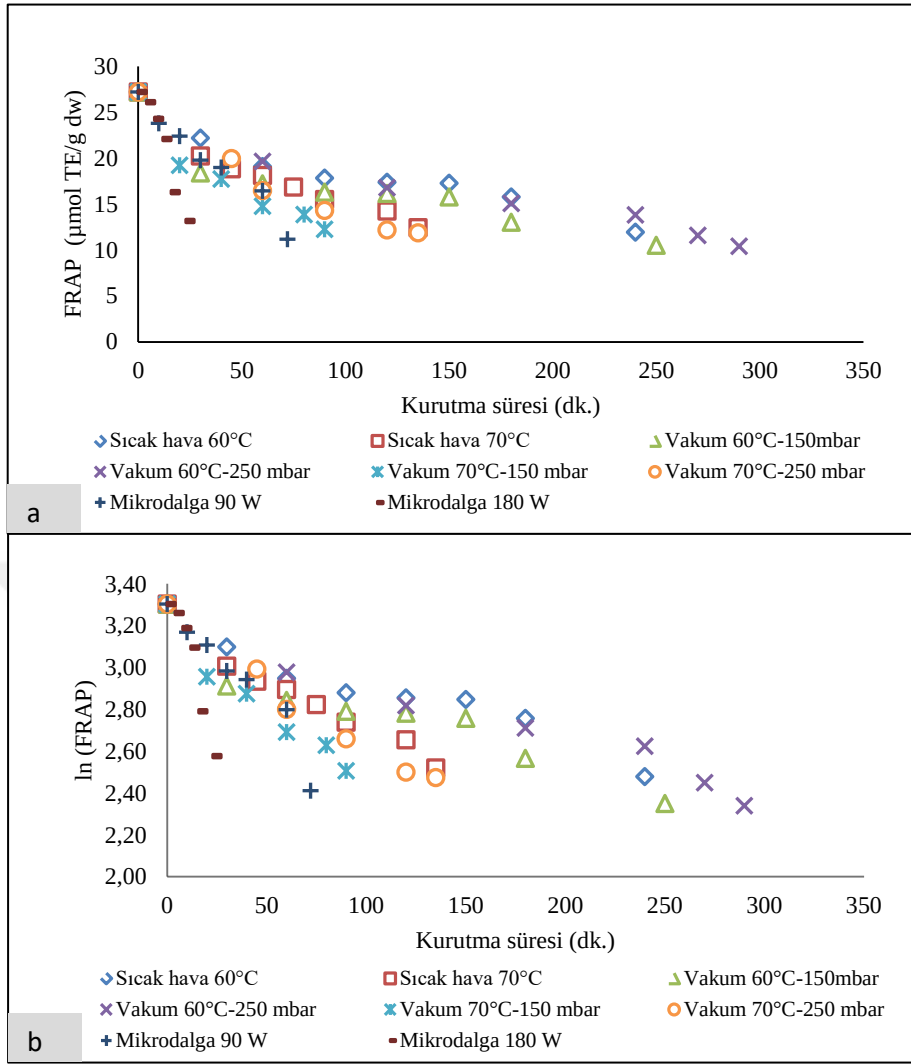
Şekil 4.13. Havuç+domates pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



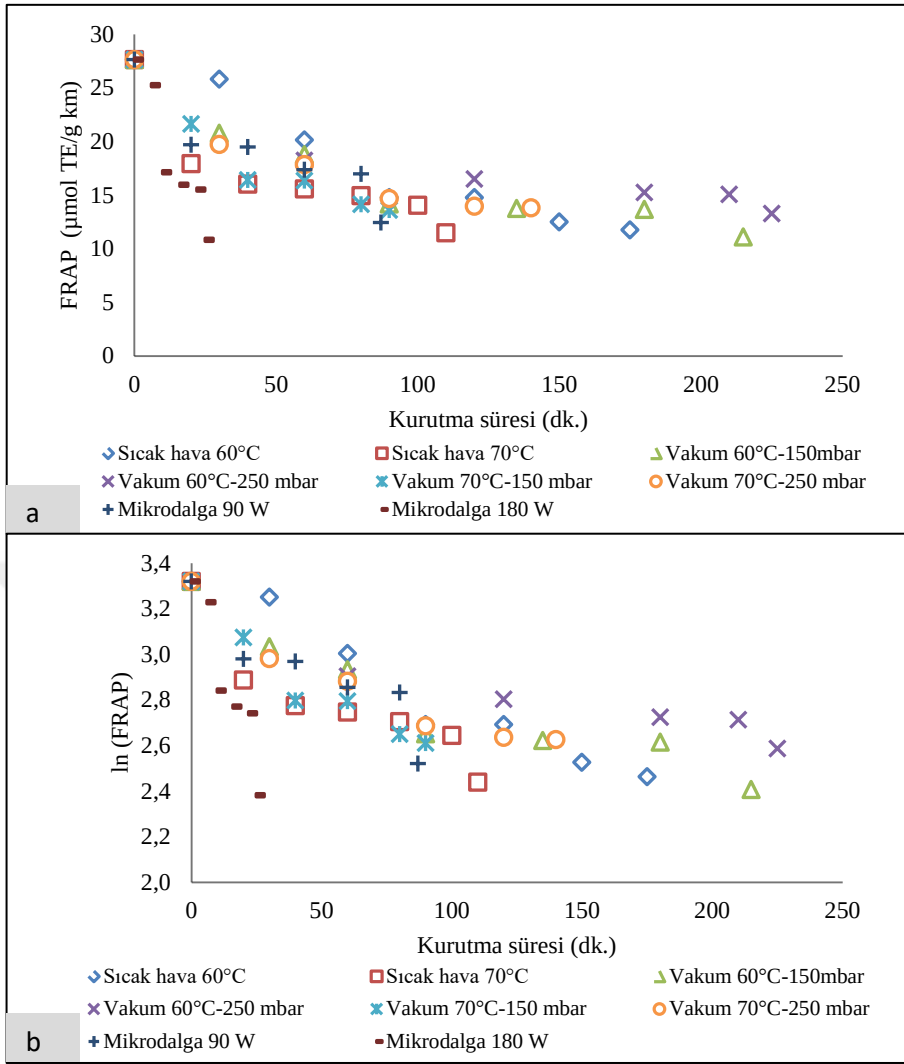
Şekil 4.14. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



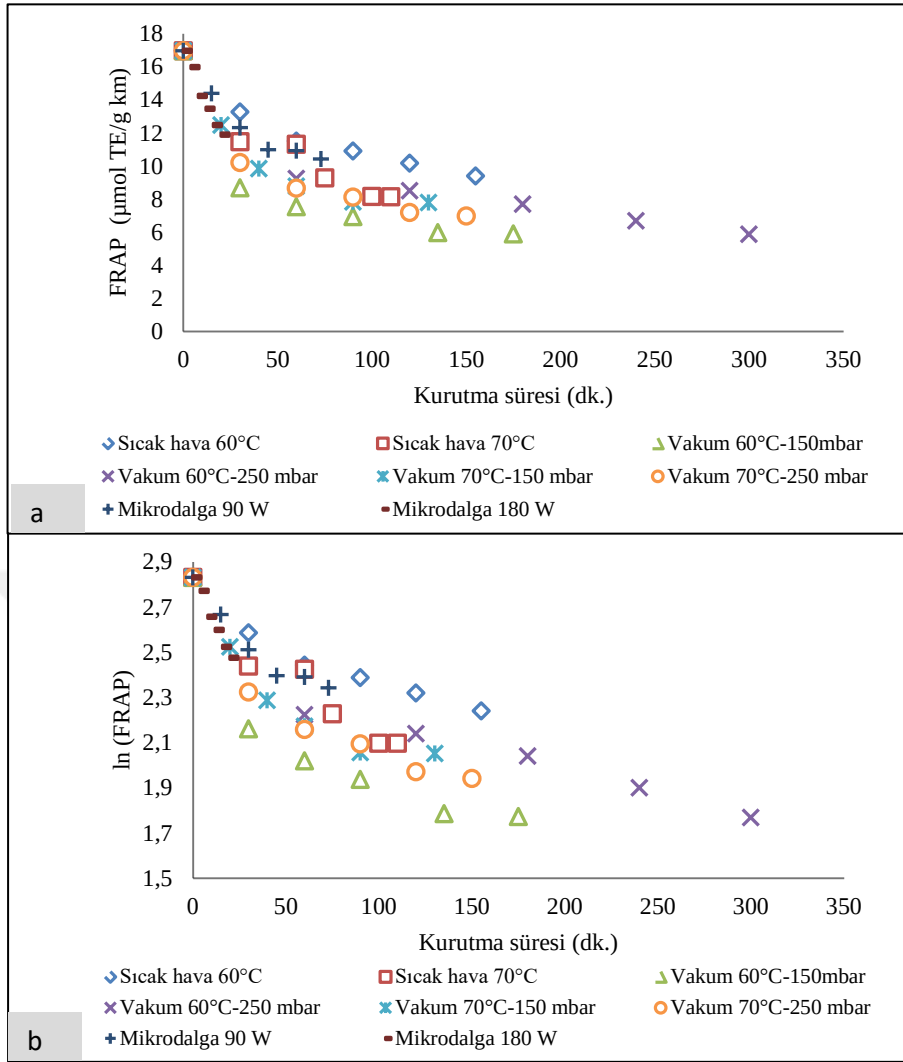
Şekil 4.15. Havuç pestili örneklerine ait DPPH değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



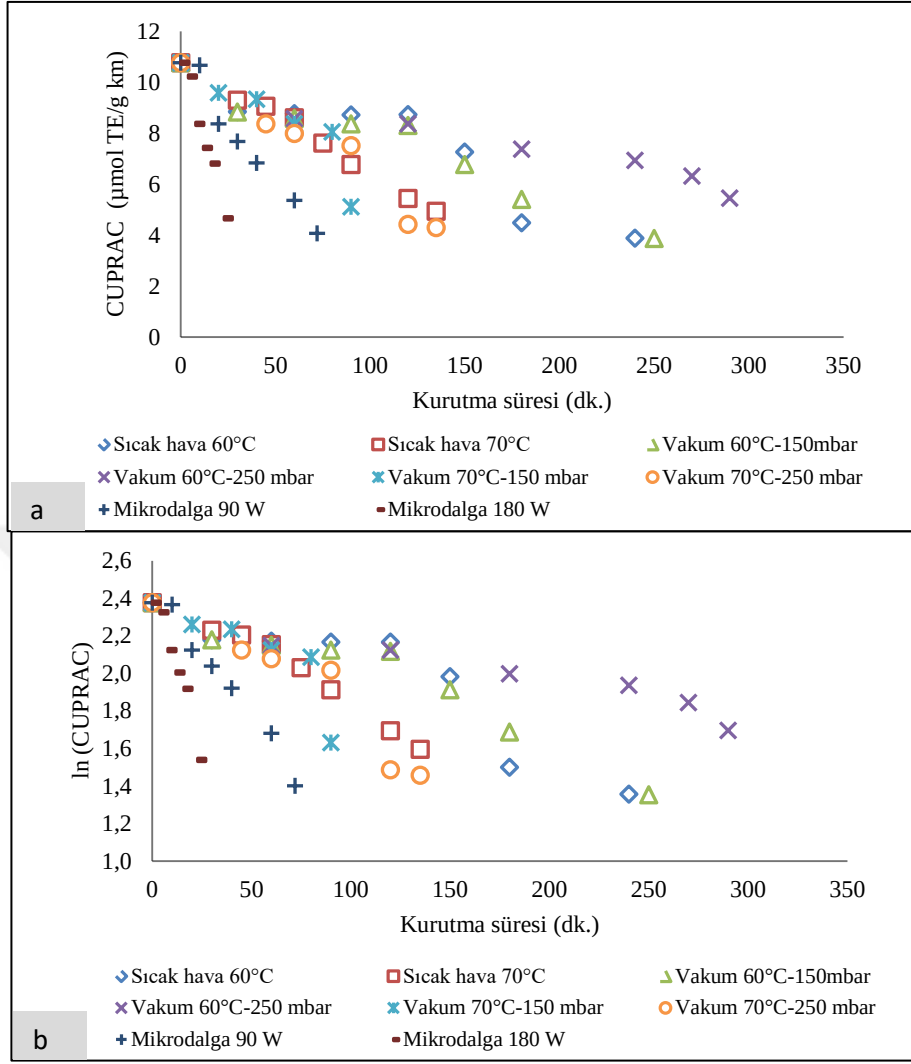
Şekil 4.16. Havuç+domates pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



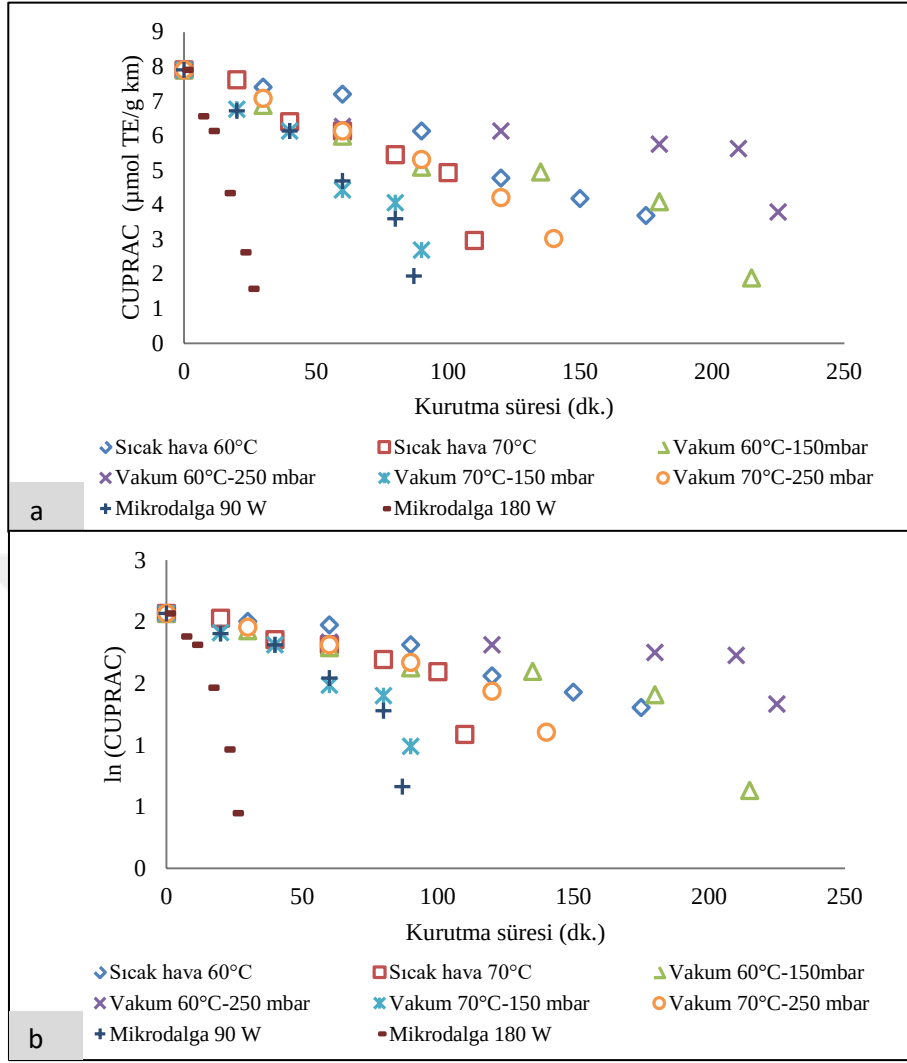
Şekil 4.17. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



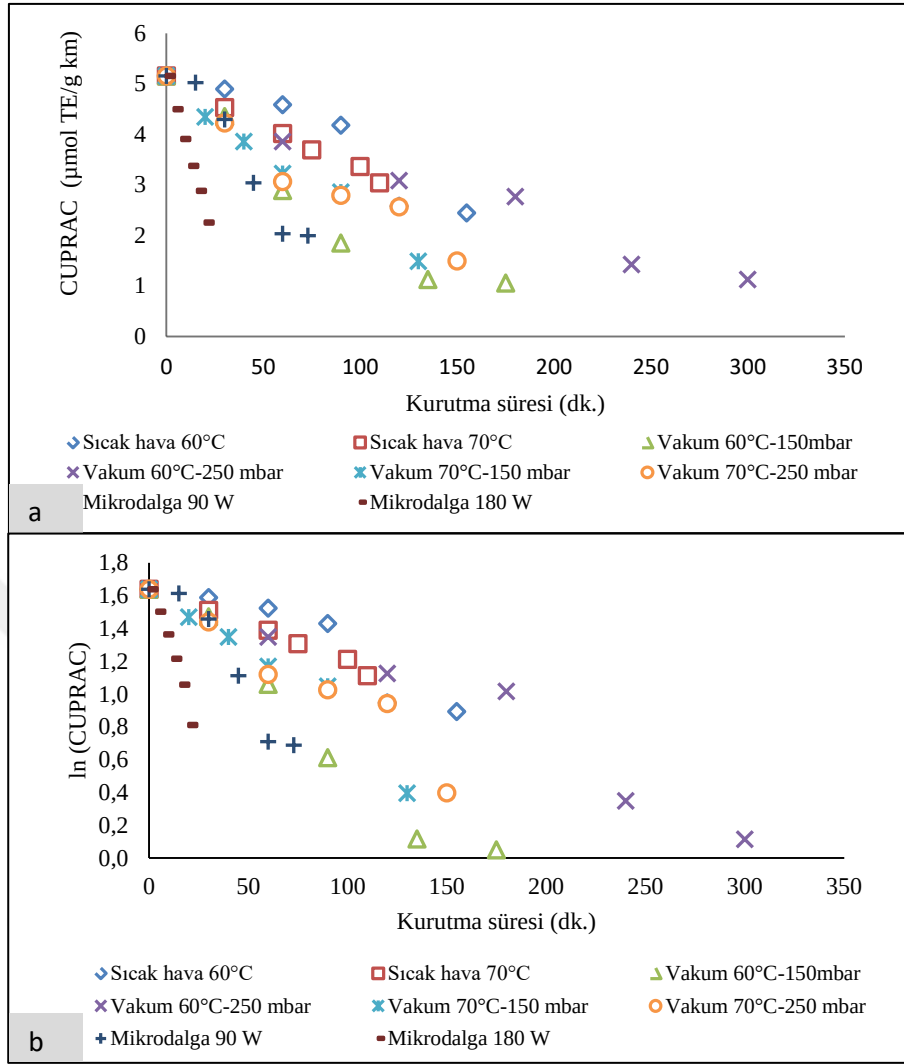
Şekil 4.18. Havuç pestili örneklerine ait FRAP değerlerinin kurutma süresi ile değişimi
 (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.19. Havuç+domates pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.20. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.21. Havuç pestili örneklerine ait CUPRAC değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

Pestil örneklerinin biyoaktif bileşen değişim kinetiklerini belirlemek için sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri uygulanmıştır ve bu modellere ait kinetik parametreler Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6' da gösterilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde, havuç+domates pestillerinin toplam fenolik madde sonuçları sıcak hava 60 °C, sıcak hava 70 °C, vakum 60 °C 150 mbar, vakum 70 °C 150 mbar ve mikrodalga 180 W uygulamaları için sıfırıncı dereceden kinetik modele ($R^2=0,9321 - 0,9932$) uyum göstermiştir. Vakum 60 °C 250 mbar, vakum 70 °C 250 mbar ve mikrodalga 90 W şartlarında kurutulan havuç+domates örnekleri için ise toplam fenolik madde sonuçlarını en iyi açıklayan model birinci dereceden reaksiyon modeli ($R^2=0,9376 - 0,9829$) olarak belirlenmiştir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da elmaların

kurutulmasında toplam fenolik madde değişimini en iyi açıklayan reaksiyon modelinin birinci dereceden reaksiyon modeli olduğu bildirilmiştir (Henríquez, Córdova ve Almonacid, Saavedra, 2014; Ertekin Filiz ve Seydim, 2018).

Havuç+domates pestili örneklerinin FRAP değişim kinetiğini en iyi açıklayan model mikrodalga yöntemi için sıfırncı dereceden ($R^2=0,9506 - 0,9616$), sıcak hava ve vakum yöntemleri için birinci dereceden reaksiyon modeli ($R^2=0,8693 - 0,9722$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4). CUPRAC ve DPPH yöntemi için tüm koşullarda sırasıyla sıfırncı ($R^2=0,8132 - 0,9900$) ve birinci dereceden ($R^2=0,8242 - 0,9820$) kinetik modeller en uygun bulunmuştur. Ertekin Filiz ve Seydim (2018) yaptıkları çalışmada elma cipslerinde toplam antioksidan kapasite değişiminin sıfırncı dereceden reaksiyon modeli ile en iyi şekilde tanımlandığını belirtmiştir.

Çizelge 4.4. Havuç+domates pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
Toplam fenolik madde	Sıcak hava 60 °C	0,9035	229,09	0,9321	0,0029	5,4484	0,8893
	Sıcak hava 70 °C	2,3229	201,25	0,9932	0,0067	5,3917	0,9857
	Vakum 60 °C 150 mbar	1,1229	230,92	0,9652	0,0032	5,4860	0,9305
	Vakum 60 °C 250 mbar	2,1061	112,98	0,8672	0,0049	5,2012	0,9378
	Vakum 70 °C 150 mbar	7,2321	223,98	0,9792	0,0150	5,5199	0,9342
	Vakum 70 °C 250 mbar	3,5994	138,93	0,8147	0,0089	5,2575	0,9376
	Mikrodalga 90 W	11,5240	165,46	0,9729	0,0215	5,4580	0,9829
	Mikrodalga 180 W	60,6240	136,84	0,9629	0,0895	5,4886	0,9420
FRAP	Sıcak hava 60 °C	0,0528	24,3120	0,8743	0,0029	3,2098	0,9189
	Sıcak hava 70 °C	0,0947	24,4750	0,9009	0,0052	3,2168	0,9582
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0520	22,5210	0,7723	0,0031	3,1284	0,8693
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0496	24,5610	0,9178	0,0029	3,2267	0,9592
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,1456	24,5320	0,8865	0,0079	3,2104	0,9441
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,1119	25,3770	0,9292	0,0062	3,2565	0,9722
	Mikrodalga 90 W	0,1962	26,4500	0,9616	0,0107	3,3154	0,9245
	Mikrodalga 180 W	0,6579	28,4160	0,9506	0,0335	3,3880	0,9303
CUPRAC	Sıcak hava 60 °C	0,0274	10,6570	0,8651	0,0041	2,4359	0,8319
	Sıcak hava 70 °C	0,0440	10,8580	0,9900	0,0059	2,4350	0,9717
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0255	10,4050	0,9364	0,0038	2,4032	0,9145
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0153	10,2150	0,9464	0,0020	2,3414	0,9375
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0500	10,9450	0,8132	0,0064	2,4255	0,7281
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0483	10,8420	0,9508	0,0070	2,4495	0,9069
	Mikrodalga 90 W	0,0949	10,8150	0,9804	0,0135	2,4322	0,9775
	Mikrodalga 180 W	0,2693	10,8600	0,9834	0,0362	2,4271	0,9731
DPPH	Sıcak hava 60 °C	0,0092	3,8236	0,7996	0,0031	1,3456	0,8925
	Sıcak hava 70 °C	0,0161	3,9281	0,8242	0,0052	1,3649	0,8242
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0081	3,7651	0,7480	0,0027	1,3269	0,8477
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0072	3,8984	0,8011	0,0024	1,3579	0,8831
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0207	4,1625	0,8758	0,0062	1,4307	0,9265
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0166	4,2804	0,9429	0,0052	1,4724	0,9820
	Mikrodalga 90 W	0,0318	4,2988	0,8310	0,0097	1,4660	0,8542
	Mikrodalga 180 W	0,1273	4,2274	0,8850	0,0446	1,4667	0,9164

Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin toplam fenolik madde değişim kinetikleri incelendiğinde sıcak hava 60 °C, vakum 60 °C 250 mbar ve mikrodalga 90 W uygulamaları için en uygun kinetik model birinci dereceden reaksiyon modeli olarak

belirlenmiştir ($R^2=0,9265 - 0,9667$). Diğer uygulamalar (Sıcak hava 70 °C, vakum 60 °C 150 mbar, vakum 70 °C 150 mbar, vakum 70 °C 250 mbar, mikrodalga 180 W) için ise sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli en iyi sonuç vermiştir ($R^2=0,9115 - 0,9709$). Havuç+kırmızıbiber pestillerinin toplam antioksidan kapasite değişim kinetiklerini FRAP ($R^2=0,8170 - 0,9495$) ve DPPH ($R^2=0,8665 - 0,9984$) yöntemleri uygulandığında en iyi birinci dereceden reaksiyon modeli verirken, CUPRAC ($R^2=0,7707 - 0,9850$) yöntemi uygulandığında en iyi sonuç sıfırıncı dereceden reaksiyon modelinden elde edilmiştir.



Çizelge 4.5. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
Toplam fenolik madde	Sıcak hava 60 °C	1,7041	135,2300	0,9084	0,0061	5,0538	0,9667
	Sıcak hava 70 °C	1,1127	153,4400	0,9599	0,0054	5,0508	0,9430
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,5414	155,1100	0,9115	0,0027	5,0546	0,8853
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,5601	143,8800	0,8793	0,0027	5,0086	0,9265
	Vakum 70 °C 150 mbar	1,5313	158,5000	0,9131	0,0069	5,0901	0,9078
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,7485	142,1100	0,9709	0,0039	4,9786	0,9624
	Mikrodalga 90 W	1,6876	136,2300	0,9334	0,0081	4,9615	0,9432
	Mikrodalga 180 W	7,1026	169,8000	0,9391	0,0298	5,1459	0,8843
FRAP	Sıcak hava 60 °C	0,0970	26,8440	0,9199	0,0053	3,3188	0,9495
	Sıcak hava 70 °C	0,1084	23,1470	0,7398	0,0060	3,1381	0,8170
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0649	23,6920	0,8095	0,0037	3,1711	0,8745
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0520	24,5440	0,8100	0,0027	3,1956	0,8661
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,1446	25,2720	0,8772	0,0075	3,2357	0,9214
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0909	24,5870	0,8401	0,0048	3,2032	0,8980
	Mikrodalga 90 W	0,1331	25,2860	0,8275	0,0069	3,2429	0,8304
	Mikrodalga 180 W	0,6266	26,9500	0,8832	0,0339	3,3250	0,8957
CUPRAC	Sıcak hava 60 °C	0,0261	8,2223	0,9656	0,0047	2,1510	0,9516
	Sıcak hava 70 °C	0,0390	8,1918	0,9003	0,0072	2,1581	0,7990
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0240	7,6806	0,9349	0,0054	2,1305	0,8348
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0130	7,6324	0,7707	0,0022	2,0513	0,6996
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0546	7,9655	0,9702	0,0109	2,1374	0,9182
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0336	8,0689	0,9844	0,0064	2,1452	0,9312
	Mikrodalga 90 W	0,0623	8,1405	0,9497	0,0137	2,2014	0,8325
	Mikrodalga 180 W	0,2525	8,1758	0,9850	0,0617	2,2525	0,9070
DPPH	Sıcak hava 60 °C	0,0128	3,7118	0,8467	0,0047	1,3205	0,9120
	Sıcak hava 70 °C	0,0196	3,6629	0,8047	0,0071	1,2945	0,8665
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0105	3,4699	0,7893	0,0043	1,2517	0,9035
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0098	4,0977	0,9373	0,0033	1,4286	0,9508
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0236	3,8240	0,8846	0,0083	1,3505	0,9452
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0142	3,8493	0,8775	0,0048	1,3534	0,9346
	Mikrodalga 90 W	0,0233	4,3173	0,9898	0,0073	1,4866	0,9984
	Mikrodalga 180 W	0,0936	3,7929	0,8866	0,0357	1,3572	0,9432

Havuç pestillerinin toplam fenolik madde değişimi de uygulamalara göre farklılık göstermiştir. Vakum 60  C 150 mbar, vakum 60  C 250 mbar ve mikrodalga 180 W uygulamaları için en uygun model birinci dereceden reaksiyon modeli ($R^2=0,9357 - 0,9916$) iken diğer uygulamalar için sıfırcı dereceden reaksiyon modeli ($R^2=0,9212 - 0,9808$) olarak belirlenmiştir. Havuç pestillerinin toplam antioksidan kapasite değişim kinetiklerini FRAP ($R^2=0,7243 - 0,9863$) ve DPPH ($R^2=0,8091 - 0,9658$) yöntemleri uygulandığında en iyi birinci dereceden reaksiyon modeli verirken, CUPRAC ($R^2=0,8988 - 0,9982$) yöntemi uygulandığında en iyi sonuç sıfırcı dereceden reaksiyon modelinden elde edilmiştir.



Çizelge 4.6. Havuç pestili örneklerinin toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
Toplam fenolik madde	Sıcak hava 60 °C	0,6303	240,5200	0,9212	0,0035	5,5093	0,8737
	Sıcak hava 70 °C	0,7617	231,2100	0,9500	0,0041	5,4566	0,9398
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,8594	209,8300	0,9454	0,0065	5,3950	0,9916
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,5255	187,1600	0,8152	0,0049	5,2845	0,9357
	Vakum 70 °C 150 mbar	1,3383	217,7800	0,9607	0,0116	5,4988	0,9388
	Vakum 70 °C 250 mbar	1,3477	215,7300	0,9808	0,0149	5,6045	0,9379
	Mikrodalga 90 W	2,5010	246,0000	0,9575	0,0186	5,6147	0,9248
	Mikrodalga 180 W	6,6625	230,5400	0,9628	0,0413	5,4716	0,9786
FRAP	Sıcak hava 60 °C	0,0441	15,3770	0,8517	0,0035	2,7350	0,9068
	Sıcak hava 70 °C	0,0742	15,5170	0,8804	0,0064	2,7517	0,9256
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0499	12,7370	0,6076	0,0051	2,5021	0,7243
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0304	13,7240	0,7269	0,0030	2,6064	0,8446
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0637	14,2150	0,7239	0,0057	2,6441	0,7939
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0567	13,9370	0,7212	0,0053	2,6176	0,8160
	Mikrodalga 90 W	0,0868	15,8860	0,8792	0,0066	2,7679	0,9084
	Mikrodalga 180 W	0,2618	16,7820	0,9766	0,0184	2,8266	0,9863
CUPRAC	Sıcak hava 60 °C	0,0194	5,4420	0,8988	0,0054	1,7419	0,8652
	Sıcak hava 70 °C	0,0185	5,1191	0,9954	0,0046	1,6488	0,9899
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0249	4,7692	0,9071	0,0101	1,6503	0,9610
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0132	4,8793	0,9675	0,0051	1,6984	0,9529
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0265	4,9855	0,9824	0,0090	1,6850	0,9489
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0224	4,8941	0,9474	0,0074	1,6506	0,9334
	Mikrodalga 90 W	0,0506	5,4682	0,9468	0,0152	1,7673	0,9295
	Mikrodalga 180 W	0,1420	5,0928	0,9982	0,0402	1,6658	0,9874
DPPH	Sıcak hava 60 °C	0,0115	3,1524	0,8798	0,0049	1,1584	0,9300
	Sıcak hava 70 °C	0,0165	3,0377	0,8183	0,0073	1,1054	0,8934
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0129	2,9328	0,7678	0,0065	1,0687	0,8408
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0061	2,9836	0,7573	0,0027	1,0799	0,8091
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0123	3,0370	0,7858	0,0051	1,1096	0,8516
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0114	2,9633	0,7740	0,0050	1,0791	0,8584
	Mikrodalga 90 W	0,0203	3,1180	0,8367	0,0082	1,1379	0,8975
	Mikrodalga 180 W	0,0692	3,2738	0,9326	0,0265	1,1960	0,9658

4.6. Pestil örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim

Pestil örneklerinde biyoerişilebilirlik çalışması için sindirim sistemi taklit edildikten sonra mide ve bağırsakta açığa çıkan toplam fenolik madde miktarlarında ve antioksidan kapasite (DPPH, FRAP ve CUPRAC yöntemleri ile) değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestil karışımı örneklerinde sindirilmemiş numunelerle karşılaştırıldığında mide ve bağırsak sindirimi sonrası toplam fenolik madde miktarlarında artış gözlemlenmiştir (Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9). Buna rağmen sıcak hava, vakum ve mikrodalga yöntemleri ile kurutulmuş örneklerde mide ve bağırsak sindirimi sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerlerinde istikrarlı bir artma veya azalma gözlenmemiştir (Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9).

Havuç+domates pestili örneklerinde mide sindirimi simülasyonu sonrasında 60 °C sıcak hava uygulaması hariç diğer tüm koşullarda toplam fenolik madde miktarı sindirilmemiş örneklerden % 11,43 – 69,05 daha düşük miktarda tespit edilmiştir. Literatürde bazı polifenollerin, özellikle çok sayıda hidroksil grubu olanların, albümin gibi proteinlere güçlü bir şekilde bağlandıkları ve bunun sonucunda polifenol emilimini azaltan kompleksler ortaya çıkardıkları bildirilmiştir (Bohn, 2014). Buna rağmen, bağırsak sindirimi simülasyonu sonrasında toplam fenolik madde miktarı tüm koşullarda mide sindirimi simüle edilen örneklerden istatistiksel olarak % 11,54 – 72,44 yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$).

Havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinin toplam fenolik madde miktarında havuç+domates pestilinin tersine mide sindirimi simülasyonu sonrasında sindirilmemiş örneklerden sırasıyla % 6,05 – 235,95 ve % 6,76 - 1670 kadar daha yüksek miktarda toplam fenolik madde miktarı tespit edilmiştir. Bu durum, sindirim sırasında değişen pH değerleri, sindirim sıvıları ve enzimlerin etkisiyle gıda matrisinden fenollerin açığa çıkmasına bağlı olarak toplam fenolik madde miktarının arttığı düşünülmüştür. Benzer olguya Kızmaz (2019) da çalışmasında değinmiştir.

Bağırsak sindirimi simülasyonundan sonra ise, havuç+kırmızıbiber pestilleri için genel olarak sindirilmemiş örneklerle kıyasla daha düşük toplam fenolik madde değerleri tespit edilmiş olup, % 24,86 – 73,48 arasında istatistiksel olarak önemli azalma görülmüştür ($p < 0,05$). Buna rağmen havuç örneklerinde bağırsak sindirimi simülasyonu sonucunda sindirilmemiş örneklerle kıyasla 2,01 – 10,09 kat aralığında artış meydana gelmiştir. Sindirim sonrası toplam fenolik madde miktarının düşük veya yüksek çıkmasının meyveye bağlı olarak değişebildiği öne sürülmüştür (Kızmaz, 2019). Literatürde daha önce yapılan bir çalışmada da bağırsak sindirimi sonrasında benzer artışlar görülmüş ve durum gıda maddesinin bağırsak sıvıları ile olan ilave temas süresi ve/veya bağırsaktaki sindirim süresinin yeterli olması sonucunda, biyoaktif bileşenlerin ortamda bulunan sıvılar ve enzimler ile parçalanarak açığa çıkması ile açıklanabilir (Bouayed, Hoffmann ve Bohn, 2011; Koç ve Yolci Ömeroğlu, 2019). Ayrıca, fenolik madde biyoerişilebilirliğindeki artış, kurutma işlemi sırasında ısıl işleme bağlı fenolik salınımının artmasıyla açıklanabilir. Isıl işlem, gıda matrisinin bozulmasına ve fenolik salınımının artmasına neden olabilir (Dewanto, Wu ve Liu, 2002; Kayacan, Karasu, Akman, Goktas ve Doymaz, 2020).

Pestil örnekleri için *in vitro* gastrointestinal sindirimin antioksidan kapasite üzerine etkileri de Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da verilmiştir. Sindirilmemiş örnekler için kurutulmuş pestil örneklerinin, pestil karışımlarına kıyasla istatistiksel olarak daha düşük miktarda antioksidan kapasite (DPPH, CUPRAC ve FRAP yöntemleri için) değerleri gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Bu durum kurutma işlemi sırasında olası enzimatik esmerleşme ve oksidasyon reaksiyonlarının antioksidan kapasite değerlerini düşürmesi ile açıklanabilir.

DPPH, CUPRAC ve FRAP metotları için *in vitro* mide sindirimi sonrasında tüm numunelerde sindirilmemiş örneklerle kıyasla genel anlamda daha yüksek miktarda antioksidan kapasite değerleri elde edilmiştir. Buna rağmen bazı kurutma yöntem ve koşulları için özellikle DPPH yönteminden elde edilen antioksidan kapasite sonuçlarında yer yer azalmalar görülmüş olup, istatistiksel olarak önemli olmayan sonuçlar da gözlemlenmiştir ($p > 0,05$).

Pestil örneklerinde *in vitro* bağırsak sindirimi sonrası sindirilmemiş örneklerle kıyaslandığında, havuç+domates örneklerinin FRAP yönteminden, havuç+kırmızıbiber örneklerinin CUPRAC yönteminden ve havuç pestillerinin DPPH, CUPRAC ve FRAP yöntemlerinden elde edilen antioksidan kapasite sonuçlarında bazı istisnalar olmakla birlikte genel anlamda artış gözlenmiştir. Diğer taraftan, CUPRAC yöntemine göre havuç+domates pestili örneklerinin, DPPH ve FRAP yöntemlerine göre havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin toplam antioksidan kapasite değerlerinde, *in vitro* bağırsak sindirimi sonrası sindirilmemiş örneklerden genel anlamda daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Havuç+domates pestili örneklerinin bağırsak simülasyonu sonrasında, DPPH metodundaki sonuçları sindirilmemiş örneklere göre genellikle istatistiksel olarak anlamlı değişiklik göstermemiştir ($p > 0,05$).

Bu çalışmada uygulanan toplam antioksidan kapasite tayin metotlarının çalışma pH'ları göz önüne alındığında, FRAP metodunun (pH= 3,6), midedeki antioksidan aktiviteyi değerlendirmek için daha uygun bir metot olabileceği, CUPRAC ve DPPH metotlarının (pH= 7,0 – 8,0) ise bağırsaktaki toplam antioksidan kapasitenin tayini için daha uygun olabileceği varsayılabilir (Kamiloglu, 2019a).

Çizelge 4.7. Havuç+domates pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100g km)			
Pestil karışımı	209,95±19,64 gC	474,32±44,77 bcB	566,62±22,91 dA
60 °C sıcak hava	418,25±45,17 fC	600,38±39,20 aB	683,76±34,36 abA
70 °C sıcak hava	514,77±9,59 eB	411,55±29,99 dC	709,67±15,16 aA
60 °C 150 mbar vakum	525,23±26,92 eB	465,15±40,98 bcdC	734,56±14,09 aA
60 °C 250 mbar vakum	789,88±20,87 dA	476,36±22,96 bcC	628,57±24,90 bcdB
70 °C 150 mbar vakum	874,03±71,57 cA	522,09±17,77 bB	582,35±55,71 cdB
70 °C 250 mbar vakum	764,31±64,01 dA	466,48±26,65 bcdC	592,50±40,22 cdB
90W mikrodalga	1062,78±38,56 bA	430,12±11,12 cdC	730,26±69,29 aB
180 W mikrodalga	1483,41±23,05 aA	459,82±24,97 cdC	656,59±57,10 abcB
Antioksidan kapasite (µmol TE/g km)			
DPPH			
Pestil karışımı	4,56±0,09 aA	2,30±0,25 bcB	2,13±0,04 abB
60 °C sıcak hava	1,98±0,04 dB	2,43±0,19 abA	1,93±0,28 bB
70 °C sıcak hava	2,15±0,10 cdB	2,65±0,10 aA	2,12±0,11 abB
60 °C 150 mbar vakum	2,05±0,08 cdB	2,54±0,19 abA	1,96±0,19 bB
60 °C 250 mbar vakum	2,05±0,15 cdB	2,40±0,22 abcA	2,34±0,09 aAB
70 °C 150 mbar vakum	2,46±0,11 bA	2,08±0,27 cB	1,92±0,06 bB
70 °C 250 mbar vakum	2,21±0,10 cA	2,20±0,13 bcA	1,85±0,30 bA
90W mikrodalga	2,37±0,10 bA	2,52±0,09 abA	2,21±0,30 abA
180 W mikrodalga	1,76±0,04 eC	2,67±0,08 aA	2,34±0,15 aB
CUPRAC			
Pestil karışımı	10,76±0,41 aA	4,77±0,14 dB	2,86±0,27 dC
60 °C sıcak hava	3,88±0,60 dB	7,23±0,81 bA	0,30±0,15 hC
70 °C sıcak hava	4,93±0,23 bcA	4,90±0,07 dA	0,63±0,15 ghB
60 °C 150 mbar vakum	3,87±0,30 dB	5,09±0,12 dA	2,46±0,05 eC
60 °C 250 mbar vakum	5,45±0,01 bA	5,17±0,24 cdA	2,02±0,09 fB
70 °C 150 mbar vakum	5,11±0,70 bcA	5,73±0,15 cA	5,18±0,06 bA
70 °C 250 mbar vakum	4,29±0,55 cdA	4,78±0,39 dA	0,96±0,18 gB
90W mikrodalga	4,06±0,32 dB	7,00±0,05 bA	6,94±0,38 gA
180 W mikrodalga	4,66±0,53 bcdB	9,28±0,15 aA	4,72±0,29 cB

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.7. Havuç+domates pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹ (devam)

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
FRAP			
Pestil karışımı	27,19±0,51 aA	16,92±0,30 cB	9,38±0,09 C
60 °C sıcak hava	11,92±0,76 cdB	18,33±0,38 bA	19,47±0,51 aA
70 °C sıcak hava	12,43±0,88 bcB	18,58±0,59 bA	18,96±0,44 aA
60 °C 150 mbar vakum	10,49±0,75 eB	18,70±0,50 bA	9,53±0,22 dB
60 °C 250 mbar vakum	10,38±0,70 eB	18,30±0,47 bA	9,49±0,31 dB
70 °C 150 mbar vakum	12,25±0,79 bcdC	17,23±0,69 cB	19,06±0,60 aA
70 °C 250 mbar vakum	11,87±0,10 cdC	17,34±0,73 cB	18,22±0,18 bA
90W mikrodalga	11,14±0,22 deC	18,62±0,38 bA	12,35±0,33 cB
180 W mikrodalga	13,15±0,51 bB	21,25±0,15 aA	8,68±0,36 eC

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.8. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100g km)			
Pestil karışımı	149,15±6,09 cC	461,21±6,33 bA	347,05±77,43 aB
60 °C sıcak hava	495,78±144,35 aA	336,57±23,34 deA	131,46±16,92dB
70 °C sıcak hava	268,85±15,61 bB	408,12±11,28 cA	82,49±5,34 eC
60 °C 150 mbar vakum	265,03±56,36 bA	331,98±18,78 deA	165,53±12,43 cdB
60 °C 250 mbar vakum	298,13±30,25 bB	345,15±5,44 dA	122,29±15,57 deC
70 °C 150 mbar vakum	315,77±20,55 bA	321,82±5,65 deA	160,45±8,53 dB
70 °C 250 mbar vakum	246,46±20,42 bAB	305,23±5,69 eA	173,11±69,13 cdB
90W mikrodalga	282,39±6,02 bB	484,64±17,09 bA	212,20±10,27 bcC
180 W mikrodalga	344,26±33,62 bB	580,21±44,31 aA	232,98±5,94 bC
Antioksidan kapasite (µmol TE/g km)			
DPPH			
Pestil karışımı	4,26±0,03 aA	2,06±0,07 abB	1,52±0,22 aC
60 °C sıcak hava	1,69±0,05 eA	1,40±0,18 dB	1,03±0,09 cdC
70 °C sıcak hava	1,87±0,02 dB	2,26±0,22 aA	1,18±0,03 bcC
60 °C 150 mbar vakum	1,51±0,04 fB	1,84±0,25 bcA	1,08±0,03 bcdC
60 °C 250 mbar vakum	1,93±0,07 dA	1,50±0,13 cdB	1,20±0,01 bC
70 °C 150 mbar vakum	1,93±0,07 dA	1,84±0,25 bcA	1,03±0,09 cdB
70 °C 250 mbar vakum	2,08±0,10 cA	1,57±0,28 cdB	0,98±0,08 dC
90W mikrodalga	2,34±0,07 bA	1,59±0,32 cdB	1,12±0,05 bcdC
180 W mikrodalga	1,51±0,06 fB	2,28±0,23 aA	1,21±0,04 bC

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.8. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde in vitro sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹ (devam)

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
CUPRAC			
Pestil karışımı	7,89±0,23 aA	7,07±0,18 cB	2,05±0,09 fC
60 °C sıcak hava	3,68±0,69 bcC	6,25±0,10 dB	8,11±0,10 cA
70 °C sıcak hava	2,96±0,39 dB	8,88±0,23 bA	1,68±0,09 fC
60 °C 150 mbar vakum	1,89±0,20 eC	6,24±0,12 dA	3,04±0,07 eB
60 °C 250 mbar vakum	3,79±0,50 bB	6,51±0,16 dA	2,07±0,04 fC
70 °C 150 mbar vakum	2,69±0,58 dB	7,34±0,34 cA	7,08±0,44 dA
70 °C 250 mbar vakum	3,02±0,22cdC	6,40±0,09 dB	8,94±0,48 bcA
90W mikrodalga	1,94±0,23 eC	7,23±0,09 cB	9,33±1,32 bA
180 W mikrodalga	1,57±0,05 eB	11,80±0,11 aA	11,61±0,39 aA
FRAP			
Pestil karışımı	27,63±0,48 aA	24,75±1,51 aB	6,75±0,35 dC
60 °C sıcak hava	11,74±0,15 deC	19,87±0,86 efA	14,06±0,39 bB
70 °C sıcak hava	11,46±0,29 deB	23,82±0,39 abA	6,20±0,29 dC
60 °C 150 mbar vakum	11,08±0,18 eB	19,98±1,21 efA	6,69±0,16 dC
60 °C 250 mbar vakum	13,27±0,71 bcB	18,54±0,71 fA	6,23±0,45 dC
70 °C 150 mbar vakum	13,60±0,29 bB	21,84±0,43 cdA	11,31±2,00 cB
70 °C 250 mbar vakum	13,79±0,64 bB	20,78±1,19 deA	19,88±1,34 aA
90W mikrodalga	12,43±0,25 cdC	20,05±0,63 efA	17,68±1,92 aB
180 W mikrodalga	10,81±1,36 eC	22,87±0,48 bcA	19,71±2,17 aB

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.9. Havuç pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100g km)			
Pestil karışımı	229,82±72,29 aB	304,37±8,89 dB	1137,78±54,89 aA
60 °C sıcak hava	128,24±21,62 bC	377,60±40,35 cdA	267,46±7,56 cdB
70 °C sıcak hava	145,82±27,93 bC	517,75±44,13 bA	292,63±13,79 cB
60 °C 150 mbar vakum	73,67±22,21 cdC	493,69±51,36 bA	290,33±9,17 cdB
60 °C 250 mbar vakum	42,05±5,54 dC	469,93±25,56 bA	424,10±25,59 bB
70 °C 150 mbar vakum	45,47±9,85 dC	301,06±27,94 dB	405,09±16,21 bA
70 °C 250 mbar vakum	22,05±14,19 dC	391,85±26,21 cA	246,70±15,03 dB
90W mikrodalga	60,17±5,56 cdC	529,53±19,34 bA	402,95±9,60 bB
180 W mikrodalga	106,08±5,20 bcC	823,89±86,99 aA	418,94±26,69 bB
Antioksidan kapasite (µmol TE/g km)			
DPPH			
Pestil karışımı	3,49±0,21 aA	1,59±0,03 bcC	1,96±0,06 bB
60 °C sıcak hava	1,61±0,09 deA	1,68±0,07 bcA	1,69±0,02 dA
70 °C sıcak hava	1,44±0,11 eB	1,69±0,16 bcA	1,74±0,02 dA
60 °C 150 mbar vakum	1,11±0,08 fC	1,64±0,05 bcB	1,91±0,03 bcA
60 °C 250 mbar vakum	1,50±0,04 eC	1,66±0,04 bcB	1,87±0,08 cA
70 °C 150 mbar vakum	1,75±0,05 cdA	1,76±0,26 bA	1,98±0,01 bA
70 °C 250 mbar vakum	1,54±0,05 eA	1,47±0,24 cA	1,71±0,04 dA
90W mikrodalga	1,80±0,11 bcB	1,70±0,09 bcB	2,48±0,04 aA
180 W mikrodalga	1,96±0,01 bC	2,16±0,08 aB	2,47±0,03aA
CUPRAC			
Pestil karışımı	5,15±1,61 aA	5,04±0,14 dA	3,02±0,28 dC
60 °C sıcak hava	2,44±0,85 bcB	7,46±0,84 bA	0,31±0,15 hC
70 °C sıcak hava	3,04±0,20 bB	5,13±0,08 dA	0,66±0,15 ghC
60 °C 150 mbar vakum	1,00±0,25 eC	5,32±0,13 dA	2,57±0,05 eB
60 °C 250 mbar vakum	1,12±0,12 deC	5,47±0,25 cdA	2,14±0,10 fB
70 °C 150 mbar vakum	1,48±0,48 cdeB	5,99±0,16 cA	5,42±0,07 bA
70 °C 250 mbar vakum	1,49±0,08 cdeB	5,03±0,41 dA	1,01±0,18 g B
90W mikrodalga	1,99±0,21 bcdeB	7,31±0,05 bA	7,25±0,40 aA
180 W mikrodalga	2,25±0,10 bcdC	9,72±0,16 aA	4,95±0,31 cB

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

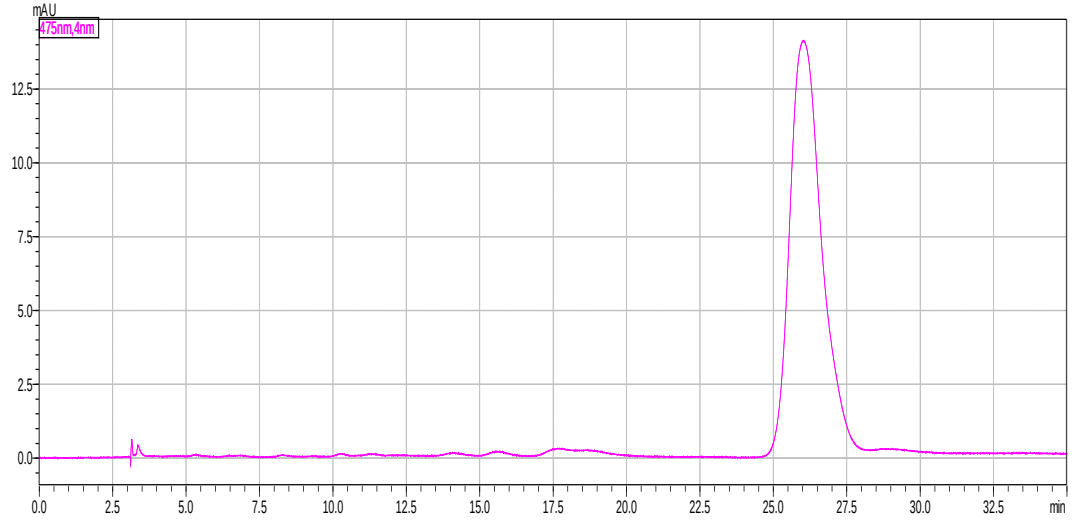
Çizelge 4.9. Havuç pestili örneklerinde in vitro sindirim sonrası toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite miktarlarındaki değişim¹ (devam)

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
FRAP			
Pestil karışımı	16,95±0,56 aA	13,80±2,35 cB	9,66±0,87 bcC
60 °C sıcak hava	9,39±0,20 dB	11,58±1,15 cA	5,56±0,26 eC
70 °C sıcak hava	8,14±0,06 eB	12,89±1,83 cA	5,66±0,07 eC
60 °C 150 mbar vakum	5,89±0,22 gC	13,76±0,39 cA	8,32±0,34 cdB
60 °C 250 mbar vakum	5,86±0,35 gB	13,79±1,54 cA	7,27±0,69 deB
70 °C 150 mbar vakum	7,78±0,11 eB	14,05±0,87 cA	11,60±2,77 abA
70 °C 250 mbar vakum	6,97±0,35 fB	13,66±1,06 cA	5,66±0,25 eB
90W mikrodalga	10,41±0,44 cB	17,43±2,38 bA	12,98±1,05 aB
180 W mikrodalga	11,89±0,32 bB	23,70±0,99 aA	10,16±0,45 bcC

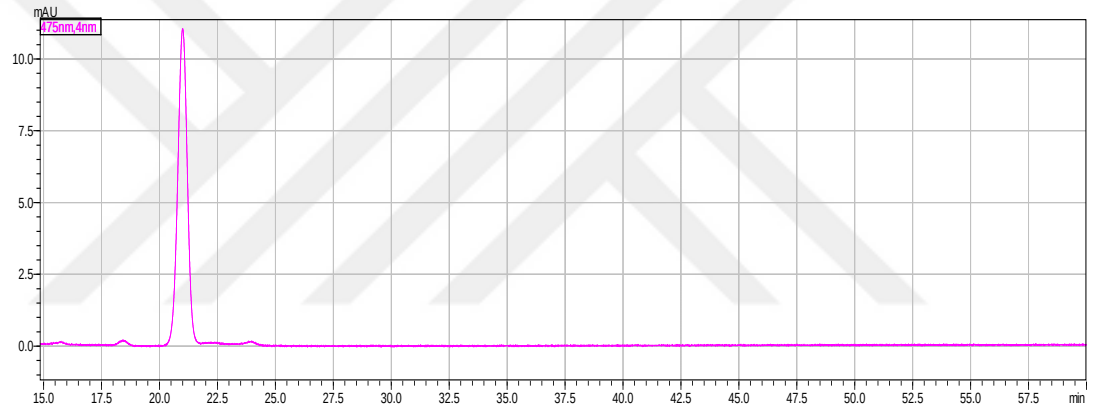
¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

4.7. Pestil örneklerinin karotenoid miktarındaki değişimler

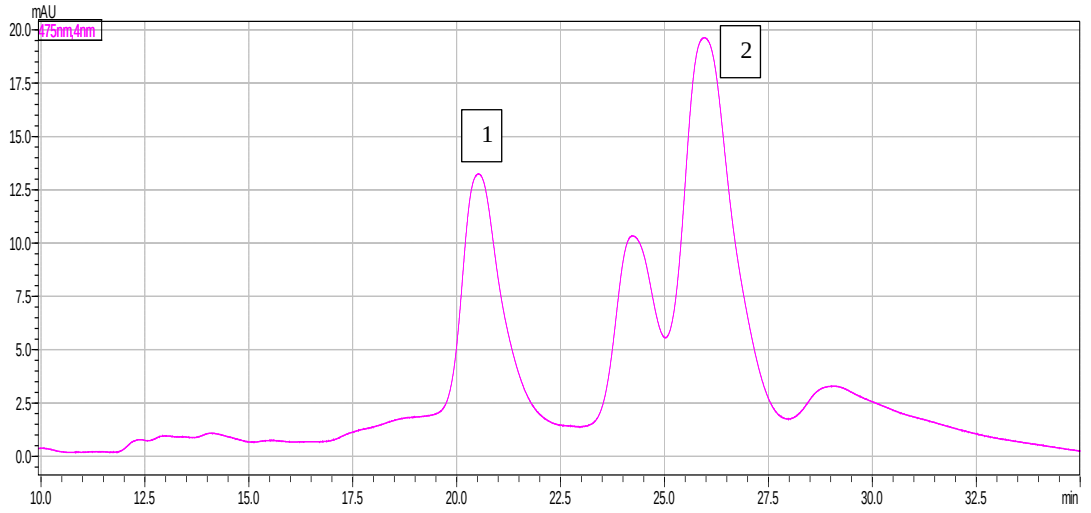
Örneklerin karotenoid miktarındaki değişimleri belirlemek amacıyla kullanılan hammaddelerde yaygın olarak bulunan β -karoten (havuç, kırmızıbiber ve domateste) ve likopen (domateste) standartları ile hesaplama yapılmıştır. Bu amaçla önce β -karoten ve likopen standart eğrileri çizilmiş ve bunlara ait kromatogramlar Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de verilmiştir. Ayrıca havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin karotenoid analizine ve alıkonma sürelerine ait kromatogramlar sırasıyla Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' da sunulmuştur.



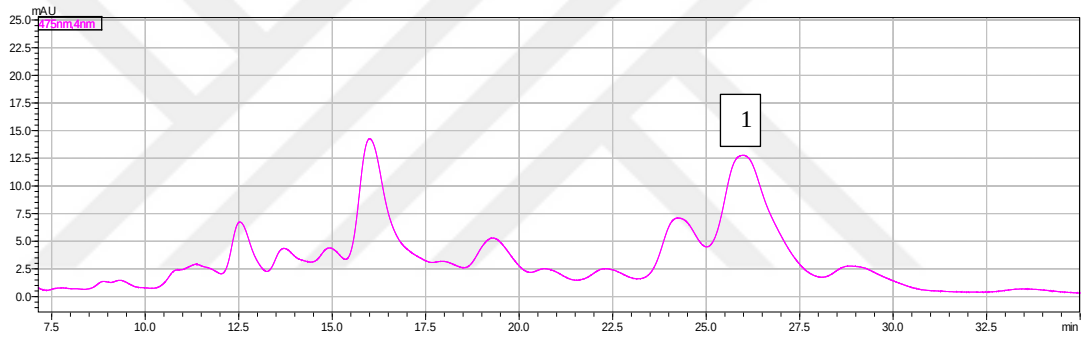
Şekil 4.22. β -karoten standart HPLC kromatogramı



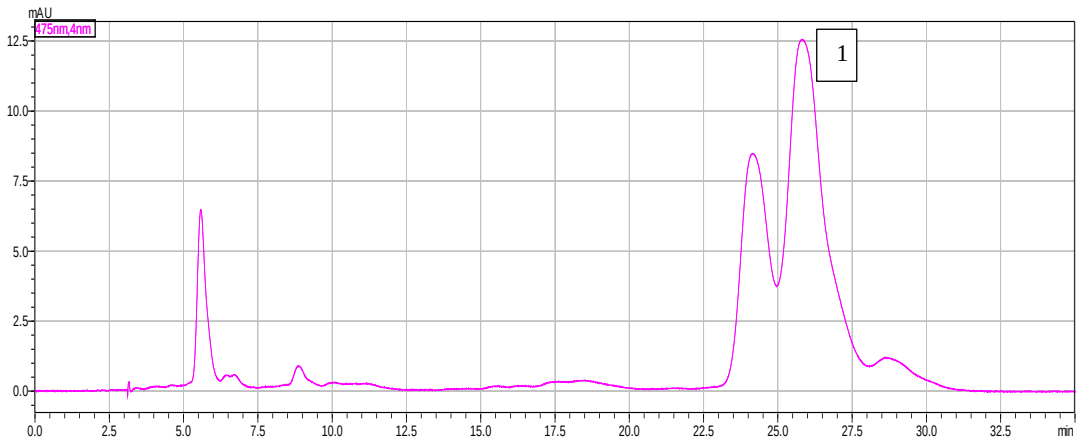
Şekil 4.23. Likopen standart HPLC kromatogramı



Şekil 4.24. Havuç+domates pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) Likopen – 21. dak (2) β -karoten – 26. dak



Şekil 4.25. Havuç+kırmızıbiber pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) β -karoten – 26. dak



Şekil 4.26. Havuç pestilinin karotenoid analizine ve alıkonma süresine ait kromatogram. (1) β -karoten – 26. dak

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestil karışımlarının kurutma öncesi β -karoten miktarları sırasıyla 310,29, 163,57 ve 485.31 mg/100g km olarak belirlenmiştir. Likopen miktarı havuç+domates pestil karışımlarında kurutma öncesi 104,68 mg/100g km olarak belirlenmiş olmakla birlikte havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinde likopen tespit edilememiştir.

Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinde β -karoten miktarlarının kurutma süresi ile değişim kinetikleri sıfırıncı dereceden kinetik model için sırasıyla Şekil 4.27a, Şekil 4.29a ve Şekil 4.30a' da ve birinci dereceden kinetik model için sırasıyla Şekil 4.27b, Şekil 4.29b ve Şekil 4.30b' de gösterilmiştir. Ayrıca havuç+domates pestili örneklerinde likopen miktarının kurutma süresi ile değişim kinetiği birinci dereceden reaksiyon modeli için Şekil 4.28a, ikinci dereceden reaksiyon modeli için Şekil 4.28b' de gösterilmiştir. β -karoten ve likopen miktarları tüm pestil örneklerinde kurutma süresi ile azalma göstermiştir.

Karotenoid madde miktarlarının kurutma ile birlikte azalma göstermesi karotenoidlerin ısı, ışık ve oksijene karşı hassas olması ile ilişkilidir. Özellikle aşırı ısıl işlemin ve oksidasyonun sonucunda karotenoidlerin izomerizasyona eğilimi de artış göstermektedir (Fratianni ve diğerleri, 2013; Albanese, Cinquanta, Cuccurullo ve Di Matteo, 2013).

Ayrıca pestil örneklerinde β -karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimini gösteren aşağıdaki şekiller incelendiğinde kurutma sıcaklığındaki ve mikrodalga gücündeki artış ile birlikte β -karoten kaybı artış göstermiştir.

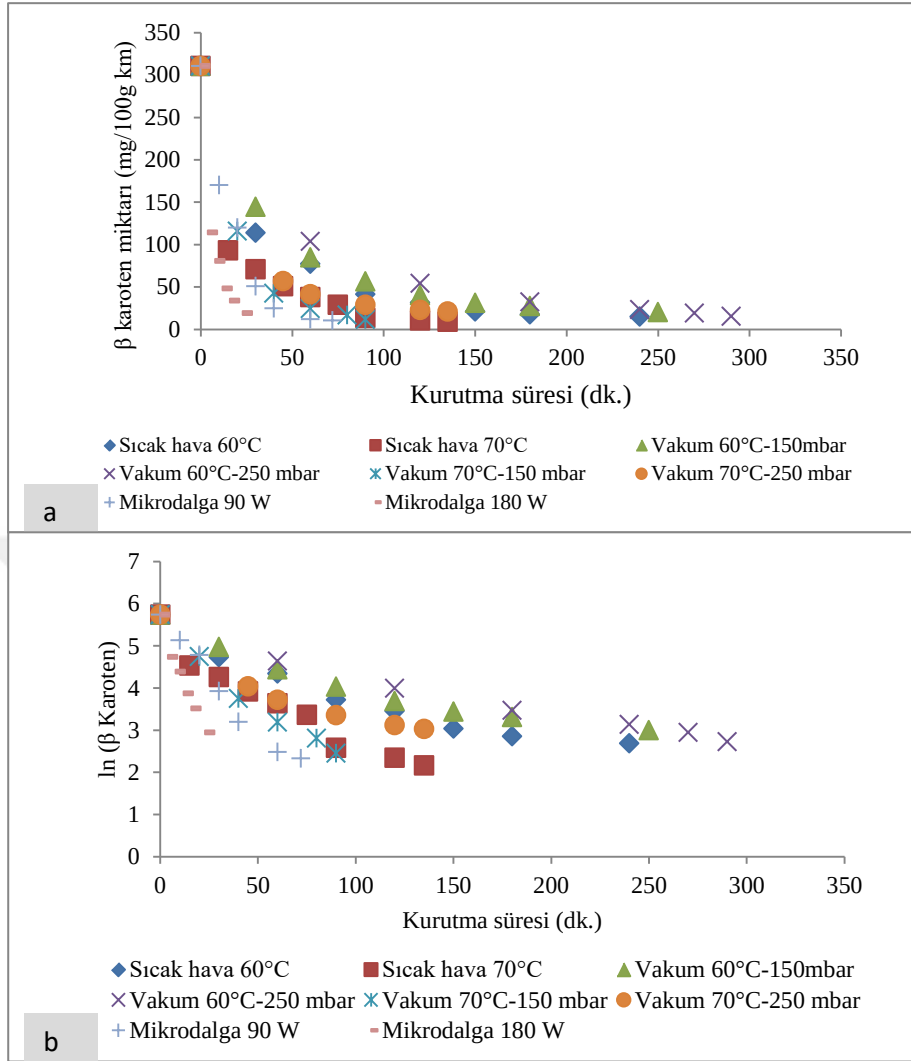
Kurutma sonrası havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestillerinin β -karoten miktarları azalmış olup, kurutma yöntemleri ve koşulları arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir ($p > 0,05$). Yine kurutma ile β -karoten miktarı azalan havuç pestillerinde, kurutma sonrası yöntemler ve koşullar arasında istatistiksel olarak fark tespit edilmiş olup ($p < 0,05$), en fazla β -karoten kaybı 70 °C sıcak hava ve 180 W mikrodalga ile kurutma sonucu elde edilmiştir. Havuç+domates pestili örneklerinin likopen miktarları da kurutmadan sonra kayba uğramış (% 9,07 ile 25,76 arasında) ve kurutma yöntemleri ile koşulları arasında istatistiksel olarak farklılıklar tespit edilmiştir.

($p < 0,05$). Likopen kaybından en fazla etkilenen koşullar 70 °C sıcak hava, 70 °C 150 mbar vakum ve 90 W mikrodalga kurutma yöntemleri olmuştur.

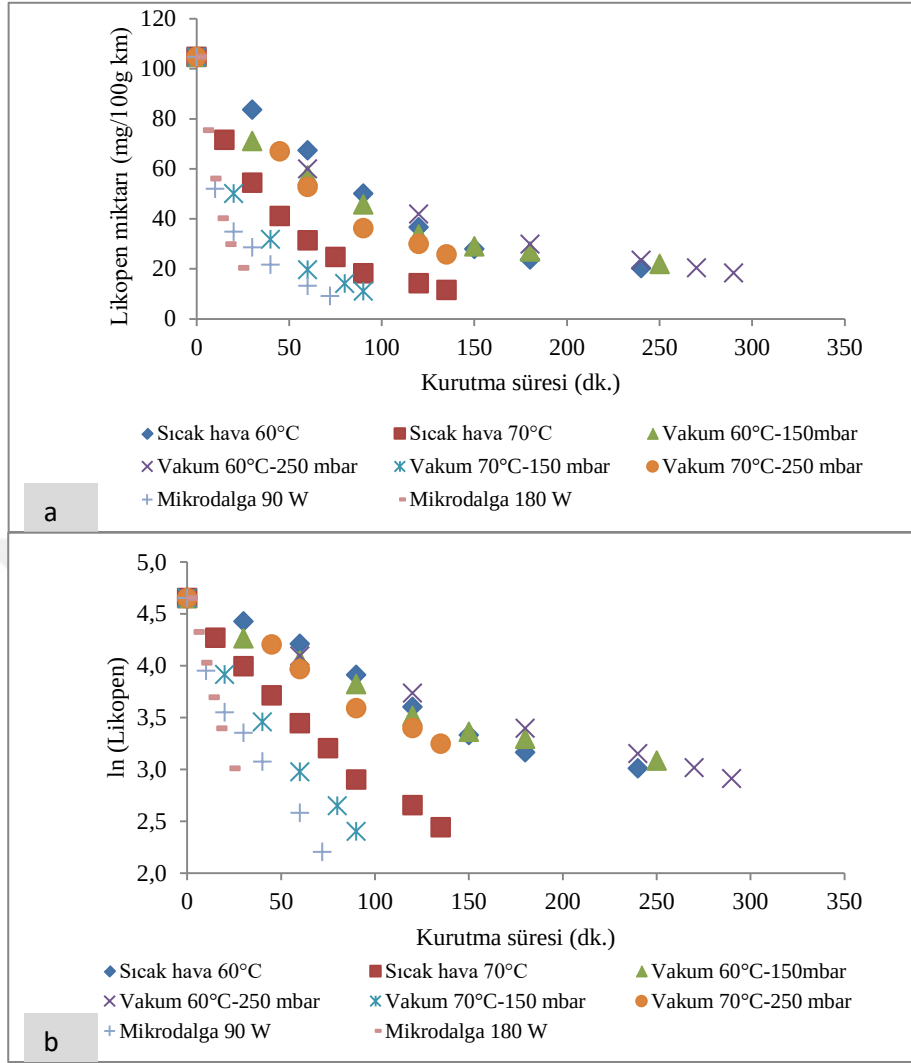
Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde kurutma işleminden sonra Divya, Puthusseri ve Neelwarne (2012) kişniş tohumlarının, Z. Zhang ve diğerleri (2018) havuç, tatlı patates, sarı dolmalık biber ve brokolinin karotenoid madde miktarında önemli azalma görüldüğünü bildirmiştir.

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinde kurutma sonrası en yüksek β -karoten 70 °C 250 mbar vakum kurutma yönteminden elde edilmiştir. Ayrıca, havuç+domates pestilinde 70 °C 250 mbar vakum kurutma sonrası en yüksek likopen tespit edilmiştir. Karotenoidlerin vakum kurutma yönteminde daha az kayba uğraması ortamdan uzaklaşan oksijene ve dolayısıyla ürünün daha az oksidasyona uğramasına dayandırılmaktadır.

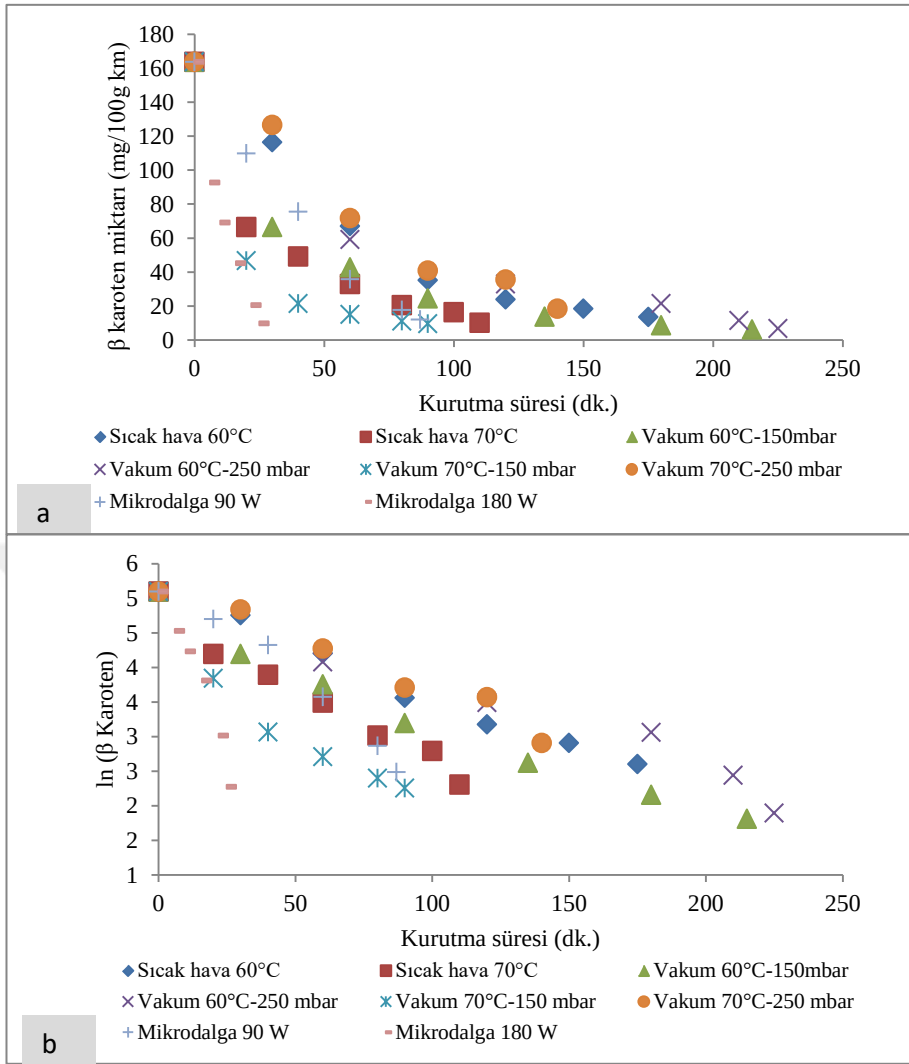
Kurutma koşullarından elde edilen en yüksek değerler dikakte alındığında havuç pestiline domates ve kırmızıbiber ilave etmek ürünün β -karoten miktarını azaltmıştır. Ancak, domates eklenerek likopen yönünden kırmızıbiber eklenerek kapsantin ve kriptoksantin gibi karotenoidler bakımından zenginleştirildiği düşünülmektedir.



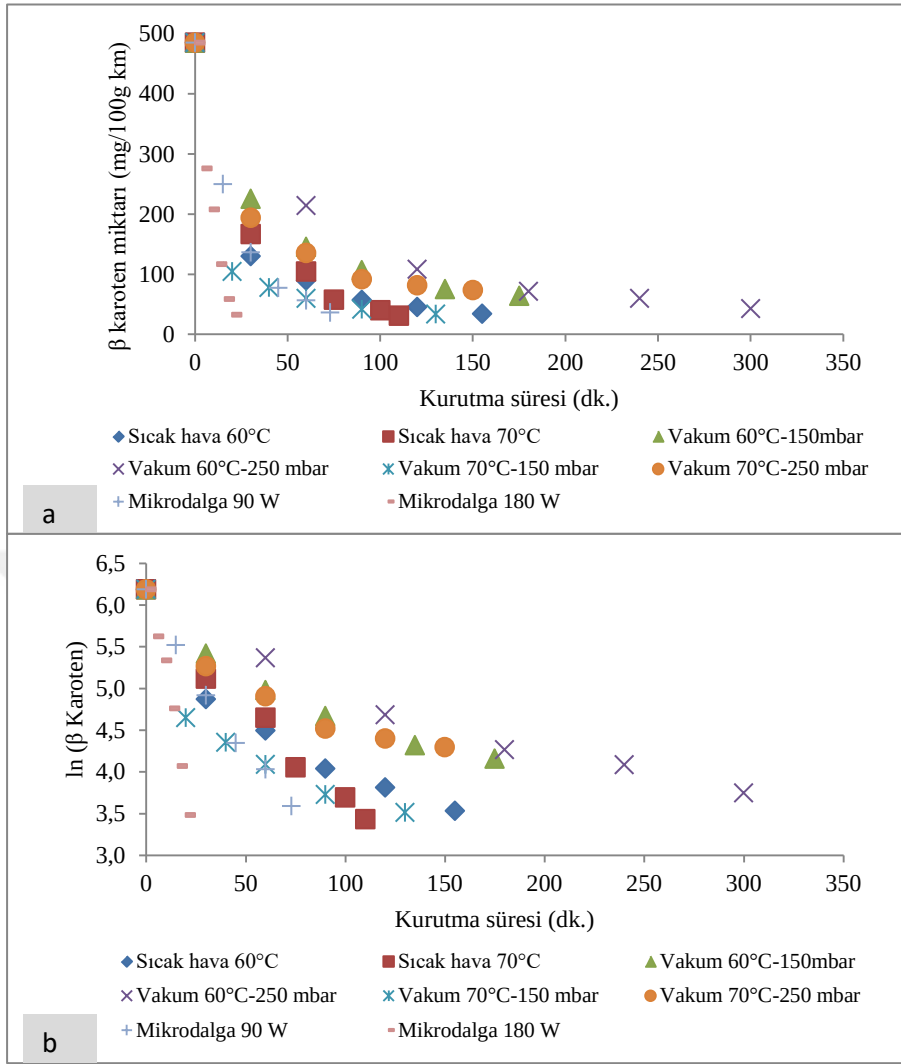
Şekil 4.27. Havuç+domates pestili örneklerine ait β Karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.28. Havuç+domates pestili örneklerine ait Likopen değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.29. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait β-karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfırıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model



Şekil 4.30. Havuç pestili örneklerine ait β -karoten değerlerinin kurutma süresi ile değişimi (a) Sıfıncı dereceden kinetik model (b) Birinci dereceden kinetik model

Pestil örneklerinin karotenoid madde değişim kinetiklerini belirlemek için sıfıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri uygulanmıştır ve bu modellere ait kinetik parametreler Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’ de gösterilmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde, havuç+domates pestillerinin β -karoten ($R^2=0,8634 - 0,9687$) ve likopen ($R^2=0,9306 - 0,9938$) değişim kinetikleri birinci dereceden kinetik modele uyum sağlamıştır. Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12 incelendiğinde sırasıyla havuç+kırmızıbiber ($R^2=0,9109 - 0,9849$) ve havuç ($R^2=0,7542 - 0,9881$) pestili örneklerinin β -karoten değişim kinetiklerini en iyi tanımlayan model yine birinci dereceden kinetik model olmuştur. Literatür çalışmaları incelendiğinde bu çalışma ile paralel olarak Fratianni ve diğerleri (2013) kayısıların kurutulması sırasında tüm trans β -karotenlerin değişim

kinetiği en iyi birinci dereceden kinetik model tarafından tanımlandığını bildirmiştir ($R^2=0,88 - 0,98$). Karotenoidlerin depolama sırasındaki değişiminin incelendiği bir diğer çalışmada ise kurutulmuş bal kabağı örnekleri farklı sıcaklıklarda (4, 25 ve 40 °C) 210 gün depolanmıştır. β -karoten , α -karoten ve luteinin depolama boyunca değişim kinetiklerinin en iyi birinci dereceden reaksiyon modeli ile açıklandığını bildirmişlerdir (Song ve diğerleri, 2018). Yine diğer bir çalışmada farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) sıcak havada kurutulan jackfruit meyvesinin toplam karotenoid madde miktarındaki değişim kinetiği incelenmiş ve birinci dereceden reaksiyon modeline ($R^2=0,988 - 0,992$) uyum sağladığı görülmüştür (Saxena, Maity, Raju ve Bawa, 2012). Sıcak hava yöntemi ile farklı sıcaklıklarda kurutulan havuçtaki β -karoten (Koca, Burdurlu ve Karadeniz, 2007) ve domatesteki (Demiray, Tulek ve Yilmaz, 2013) β -karoten ve likopen değişim kinetiğini birinci dereceden reaksiyon modelinin en iyi tanımladığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Çizelge 4.10. Havuç+domates pestili örneklerinin β Karoten ve Likopen sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
β -karoten	Sıcak hava 60 °C	-0,9543	182,1400	0,5867	-0,0124	5,1720	0,8936
	Sıcak hava 70 °C	-1,5087	164,8600	0,5383	-0,0242	5,1519	0,9342
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,9378	192,4800	0,6216	-0,0124	5,1720	0,8945
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,8082	213,6000	0,7020	-0,0096	5,3911	0,9590
	Vakum 70 °C 150 mbar	-2,8492	224,5000	0,7345	-0,0353	5,4873	0,9687
	Vakum 70 °C 250 mbar	-1,8169	216,4200	0,6453	-0,0186	5,2311	0,8634
	Mikrodalga 90 W	-3,6781	221,5400	0,7544	-0,0501	5,6020	0,9653
	Mikrodalga 180 W	-10,6670	212,9600	0,6764	-0,1152	5,4095	0,9539
Likopen	Sıcak hava 60 °C	-0,3626	91,1990	0,8893	-0,0075	4,5987	0,9649
	Sıcak hava 70 °C	-0,6089	79,8446	0,8262	-0,0161	4,4945	0,9810
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,3056	82,3650	0,8034	-0,0063	4,4474	0,9306
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,2613	85,9300	0,8620	-0,0057	4,5099	0,9807
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,9215	83,0830	0,8247	-0,0240	4,4996	0,9840
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,5726	95,6740	0,9349	-0,0105	4,6331	0,9896
	Mikrodalga 90 W	-1,0657	73,0280	0,7201	-0,0309	4,3633	0,9630
	Mikrodalga 180 W	-3,6016	92,2490	0,9124	-0,0724	4,6104	0,9938

Çizelge 4.11. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin β Karoten sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
β -karoten	Sıcak hava 60 °C	-0,8403	137,59	0,8705	-0,0148	5,0815	0,9849
	Sıcak hava 70 °C	-1,1285	117,36	0,7529	-0,0227	4,8714	0,9725
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,5755	104,89	0,6618	-0,0146	4,7403	0,9671
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,5994	128,58	0,8190	-0,0127	5,0258	0,9663
	Vakum 70 °C 150 mbar	-1,3950	111,97	0,6604	-0,0295	4,6532	0,9109
	Vakum 70 °C 250 mbar	-1,0373	152,14	0,9388	-0,0152	5,1825	0,9711
	Mikrodalga 90 W	-1,7118	150,92	0,9703	-0,0300	5,2777	0,9746
	Mikrodalga 180 W	-5,6696	141,41	0,9308	-0,1055	5,2158	0,9610

Çizelge 4.12. Havuç pestili örneklerinin β Karoten sonuçlarına ait kinetik veriler

	Kurutma koşulları	Sıfıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
β -karoten	Sıcak hava 60 °C	-2,3413	317,76	0,6079	-0,0156	5,6737	0,8775
	Sıcak hava 70 °C	-3,6767	377,28	0,7944	-0,0241	6,0304	0,9805
	Vakum 60 °C 150 mbar	-2,0328	349,58	0,7014	-0,0110	5,8523	0,9091
	Vakum 60 °C 250 mbar	-1,2927	357,30	0,7353	-0,0078	5,8966	0,9380
	Vakum 70 °C 150 mbar	-2,5217	276,57	0,4752	-0,0175	5,4085	0,7542
	Vakum 70 °C 250 mbar	-2,3241	351,01	0,6845	-0,0118	5,8165	0,8691
	Mikrodalga 90 W	-5,6344	382,91	0,8229	-0,0350	6,0658	0,9880
	Mikrodalga 180 W	-21,4860	410,99	0,9090	-0,1339	6,2479	0,9881

4.8. Pestil Örneklerinde *In Vitro* Sindirim Sonrası Karotenoidlerin Biyoerişilebilirliği

Karotenoidler, içerdikleri gıdanın yapısında oluşan proses kaynaklı değişiklikler (örneğin, matris parçalanması) nedeniyle biyoerişilebilirlikleri önemli ölçüde etkilenen besin öğelerinin bir örneğini temsil etmektedir (Buggenhouta ve diğerleri, 2010).

Karotenoidler hücrede kromoplastlarda bulunur. Hücre duvarları ve kromoplastlar, sindirim sırasında gıda matrisinden karotenoid emilimine karşı iki büyük fiziksel engel teşkil etmektedir. Jeffery, Turner ve King (2012) havuç hücrelerinin küçük ve küp şeklinde düzensiz kenarlara sahip olduğunu ve hücre duvarlarının çok lifli, kompakt ve katmanlardan oluştuğunu bildirmiştir. Sindirim enzimlerinin sindirim sırasında gıdadaki hücrelere girmesi kolay olmadığı için karotenoidlerin emilimi zordur. Ancak, karotenoidlerin sindirim sırasında bir yağ fazında çözülerek emilimi mümkündür (Mutsokoti, Panozzo, Musabe, Van Loey ve Hendrickx, 2015; Nemli, Ozakdogan, Tomas, McClements ve Capanoglu, 2021). Biyoerişilebilir karotenoidler, sindirim sırasında gıda matrisinden salınan ve böylece bağırsak emilimi için uygun hale gelen karotenoidlerin miktarı olarak tanımlanır (Parada ve Aguilera, 2007). Vücutta kullanım ve depolama için emilen ve mevcut olan biyoerişilebilir karotenoidlerin fraksiyonu, karotenoidlerin biyoyararlılığı olarak adlandırılır. Karotenoid biyoerişilebilirliğinin karotenoid türleri, karotenoid miktarı, matris, besin durumu, genetik ve konakla ilgili

faktörlerin yanı sıra bu değişkenler arasındaki etkileşimler gibi bir dizi faktörden etkilendiği bilinmektedir. Bu faktörler arasında, gıda matrisinin bileşimi ve içsel fizikokimyasal özelliği büyük öneme sahiptir. Örneğin, karotenoidlerin çözülebildiği bir hidrofobik faz olan yağ fazının varlığı, karotenoidlerin misellere dahil edilmesi ve daha sonra insanlar tarafından alınması için esastır (Van het Hof, West, Weststrate ve Hautvast, 2000; Yi ve diğerleri, 2021).

Pestil örneklerinde biyoerişilebilirlik çalışması için sindirim sistemi taklit edildikten sonra mide ve bağırsakta açığa çıkan β -karoten ve likopen miktarlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir (Çizelge 4.13, 4.14 ve Çizelge 4.15). Havuç+domates pestil karışımı örneklerinde sindirilmemiş numunelerle karşılaştırıldığında mide ve bağırsak sindirimi sonrası β -karoten ve likopen miktarlarında azalma gözlemlenmiştir (Çizelge 4.13). Buna rağmen, sıcak hava, vakum ve mikrodalga yöntemleri ile kurutulmuş örneklerde *in vitro* sindirim sonrası β -karoten ve madde miktarlarında genel olarak artış gözlenmiştir. Havuç+domates pestili örneklerinde karışım örneklerine kıyasla kurutulmuş örneklerin β -karoten ve madde miktarlarının daha biyoerişilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Sindirilmemiş havuç+domates pestili numuneleri kendi aralarında karşılaştırıldığında pestil karışımı örneklerinde β -karoten miktarı kurutmadan sonra 14,92 (70 °C 250 mbar vakum) ile 35,6 (70 °C sıcak hava) kat aralığında düşüş göstermiştir. Diğer taraftan, mide sindirimi sonrasında tüm pestillerde elde edilen β -karoten miktarları sindirilmemiş numunelere kıyasla istatistiksel olarak önemli artışlar göstermiştir ($p < 0,05$). Mide sindirimi simülasyonundan sonra β -karoten içeriğinde görülen bu artış enzimatik hidroliz sonucunda gıda matriksine bağlı karotenoidlerin serbest kalmasından kaynaklanıyor olabilir (Bouayed ve diğerleri, 2011). Kurutulmuş havuç+domates pestillerinde bağırsak sindirimi simülasyonu sonrası β -karoten miktarı sindirilmemiş örneklere göre 5,48 (180 W mikrodalga) ile 34,18 (60 °C 150 mbar vakum) kat aralığında artmıştır. Havuç+domates pestili örneklerinde likopen miktarı da bağırsak sindirim sonrası genel olarak artış göstermiştir.

Kurutmadan sonra β -karoten miktarında azalma gözlenen havuç+kırmızıbiber pestillerinin, bağırsak sindirimine uğratılması sonucunda β -karoten miktarında 9,58 (90 W mikrodalga) – 33,04 (60 °C sıcak hava) aralığında artışa ulaştığı gözlenmiştir. Bu

durum kurutma işleminin havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde β -karoten miktarını azaltmasına rağmen, örneklerin β -karoten biyoerişilebilirliğinde artış sağladığı sonucunu ortaya koymaktadır.

Havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestil karışımı sonuçlarında olduğunda gibi, havuç pestil karışımlarında da mide ve bağırsak sindirimi sonrasında sindirilmemiş örneklere kıyasla daha düşük miktarlarda β -karoten içeriği tespit edilmiştir. Yine havuç pestili örneklerinde sindirilmemiş numunelerle karşılaştırıldığında mide ve bağırsak sindirimi sonrası β -karoten miktarında sırasıyla 8,02 (60 °C sıcak hava) ve 15,32 (70 °C sıcak hava) kata varan bir artış gözlemlenmiştir (Çizelge 4.15). *In vitro* bağırsak sindirimi karotenoid madde içeriğinde sindirilmemiş örneklere kıyasla daha fazla artışa neden olmuş olup, bu durumun ilave ekstraksiyon süresi (artı 2 saat) ve/veya enzimlerin etkisi ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Bouayed ve diğerleri, 2011). Elde edilen bu sonuçlar, gıda işleminin sindirim sırasında karotenoidlerin matriksten salınımı etkilediğini göstermiş olup, sindirilmemiş örnekler için tespit edilen değerlerin biyoerişilebilirlik değerlerinden farklı olabileceğine işaret etmiştir (Kamiloglu, 2019b).

Bu çalışma ile benzer sonuçlar anlık basınç düşüslü kurutma ile sıcak hava ve dondurarak kurutma yöntemlerinin kombinasyonu kullanılarak kurutulan havuç cipslerinde karotenoid biyoyararlılığının incelendiği güncel bir literatür çalışmasında ortaya konmuştur (Yi ve diğerleri, 2021). Söz konusu çalışma sonucunda, taze havuçların kurutulmuş olanlara kıyasla daha yüksek karotenoid madde içermesine rağmen, kurutulmuş havuç cipslerinde karotenoidler taze örneklere göre daha biyoerişilebilir bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Havuç+domates pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası β -karoten ve likopen miktarlarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
B-karoten (mg/100g km)			
Pestil karışımı	310,29±22,74 aA	102,23±15,46 bcC	261,87±7,39 dB
60 °C sıcak hava	14,74±1,14 bC	76,63±4,74 dB	306,35±14,08 cA
70 °C sıcak hava	8,71±0,29 bC	111,96±6,37 bB	261,99±9,51 dA
60 °C 150 mbar vakum	20,12±1,49 bC	145,22±22,97 aB	687,71±46,91 aA
60 °C 250 mbar vakum	15,28±0,58 bC	85,22±3,02 cdB	462,85±37,71 bA
70 °C 150 mbar vakum	11,64±2,04 bC	100,74±3,41 bcB	202,22±5,30 eA
70 °C 250 mbar vakum	20,80±0,09 bC	73,73±9,93 dB	232,03±6,70 deA
90W mikrodalga	10,30±1,95 bB	37,38±5,36 eB	328,41±27,47 cA
180 W mikrodalga	19,03±4,86 bB	97,54±2,58 bcA	104,27±7,06 fA
Likopen (mg/100g km)			
Pestil karışımı	104,68±9,64 aA	5,90±1,02 aC	57,26±0,70 cB
60 °C sıcak hava	20,27±0,50 bcA	3,43±1,09 dB	19,38±0,07 efA
70 °C sıcak hava	11,48±0,11 dB	4,81±0,40 bcB	22,50±8,57 eA
60 °C 150 mbar vakum	21,84±0,55 bcB	6,13±0,80 aC	81,35±2,55 aA
60 °C 250 mbar vakum	18,37±0,29 cB	3,99±0,17 cdC	69,39±3,10 bA
70 °C 150 mbar vakum	11,06±0,11 dB	4,74±0,10 bcC	30,22±0,21 dA
70 °C 250 mbar vakum	25,76±1,74 bA	3,86±0,09 cdC	14,82±2,87 fB
90W mikrodalga	9,07±2,64 dB	2,40±0,14 eC	16,01±0,36 fA
180 W mikrodalga	20,30±0,98 bcA	5,22±0,35 abB	5,22±0,35 gB

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.14. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası β -karoten miktarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
B-karoten (mg/100g km)			
Pestil karışımı	163,57±54,92 aA	26,24±0,23 eB	221,45±1,14 bA
60 °C sıcak hava	13,49±2,70 bC	42,85±6,85 dB	445,78±24,15 aA
70 °C sıcak hava	10,04±3,16 bC	57,46±4,56 cB	192,13±3,51 cA
60 °C 150 mbar vakum	6,10±0,12 bC	42,54±0,76 dB	197,44±2,20 cA
60 °C 250 mbar vakum	6,66±0,83 bC	87,90±8,95 bB	193,10±12,04 cA
70 °C 150 mbar vakum	9,53±0,39 bC	96,16±2,07 aB	151,92±4,03 dA
70 °C 250 mbar vakum	18,31±2,57 bB	36,09±1,00 dB	209,84±15,94 bcA
90W mikrodalga	12,00±0,13 bC	42,38±3,52 dB	114,93±1,63 eA
180 W mikrodalga	9,74±1,86 bC	35,58±3,56 dB	123,46±15,27 eA

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

Çizelge 4.15. Havuç pestili örneklerinde *in vitro* sindirim sonrası β -karoten miktarındaki değişim¹

	Sindirilmemiş	Mide sindirimi sonrası	Bağırsak sindirimi sonrası
B-karoten (mg/100g km)			
Pestil karışımı	485,31±9,86 aA	284,48±3,34 aB	230,76±27,07 dC
60 °C sıcak hava	34,21±1,94 deC	274,43±23,34 aB	514,18±18,48 aA
70 °C sıcak hava	30,98±2,27 eC	220,25±1,73 bcB	475,47±14,79 bA
60 °C 150 mbar vakum	63,82±3,05 cC	235,44±3,02 bB	357,84±27,22 cA
60 °C 250 mbar vakum	42,40±3,30 dC	221,26±46,43 bcA	142,33±9,54 eB
70 °C 150 mbar vakum	33,56±0,79 deB	223,79±31,99 bcA	203,15±24,84 dA
70 °C 250 mbar vakum	73,23±3,58 bC	190,83±23,78 cA	154,74±10,89 eB
90W mikrodalga	36,25±7,40 deC	128,58±5,94 dB	372,17±11,57 cA
180 W mikrodalga	32,47±7,03 eC	96,86±5,40 dB	160,42±2,07 eA

¹Küçük ve büyük harfler sırasıyla sütun ve satırlar arasındaki önemli farklılıkları ifade etmektedir (p < 0,05).

4.9. Renk değişim kinetiği

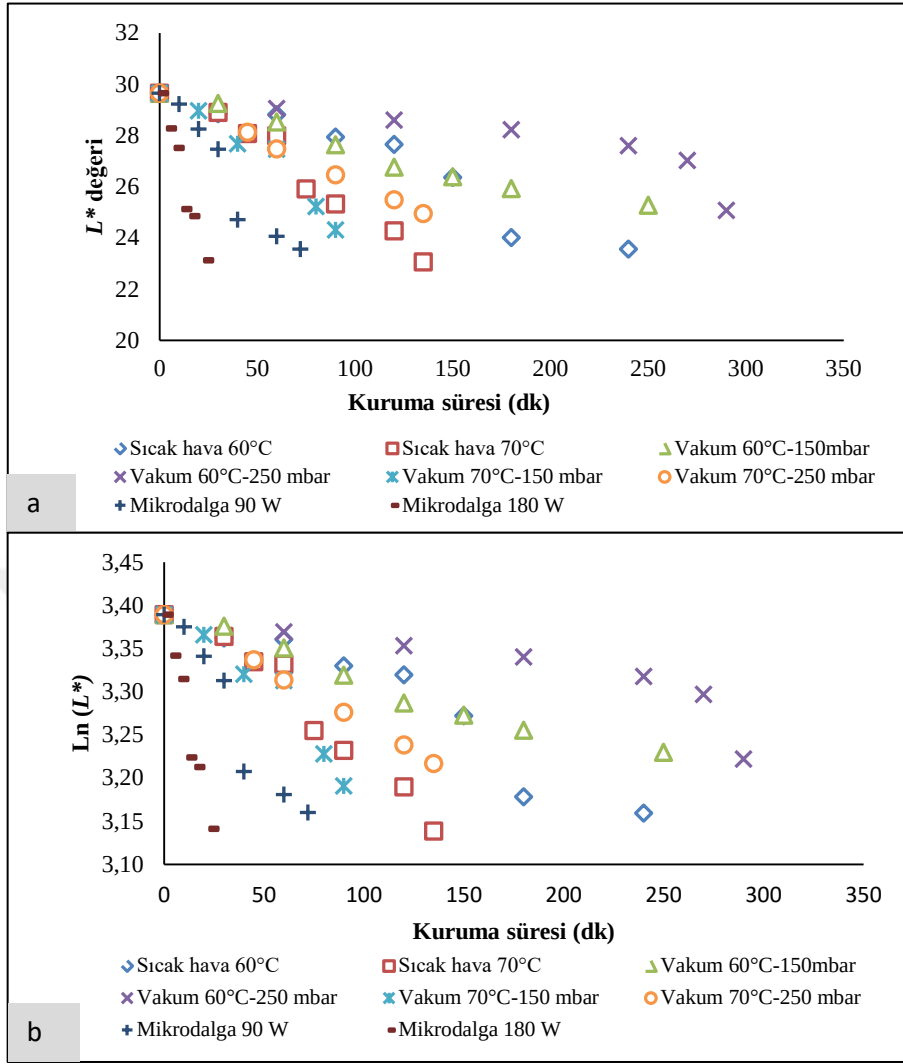
Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş pestil örneklerinin renk değişim kinetikleri Şekil 4.31 – Şekil 4.39 aralığında gösterilmektedir. Şekil 4.31 (a, b), Şekil 4.32 (a, b) ve Şekil 4.33 (a, b)’ de, L^* değerinin kuruma süresi artışına bağlı olarak düştüğü görülmektedir.

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestil karışımlarına ait L^* değerleri sırasıyla 29,64, 29,87 ve 40,12 olarak bulunmuştur. Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinde L^* değerleri sırasıyla 23,12 – 25,27, 21,82 – 25,27 ve 34,50 – 38,37 aralıklarında azalma göstermiştir.

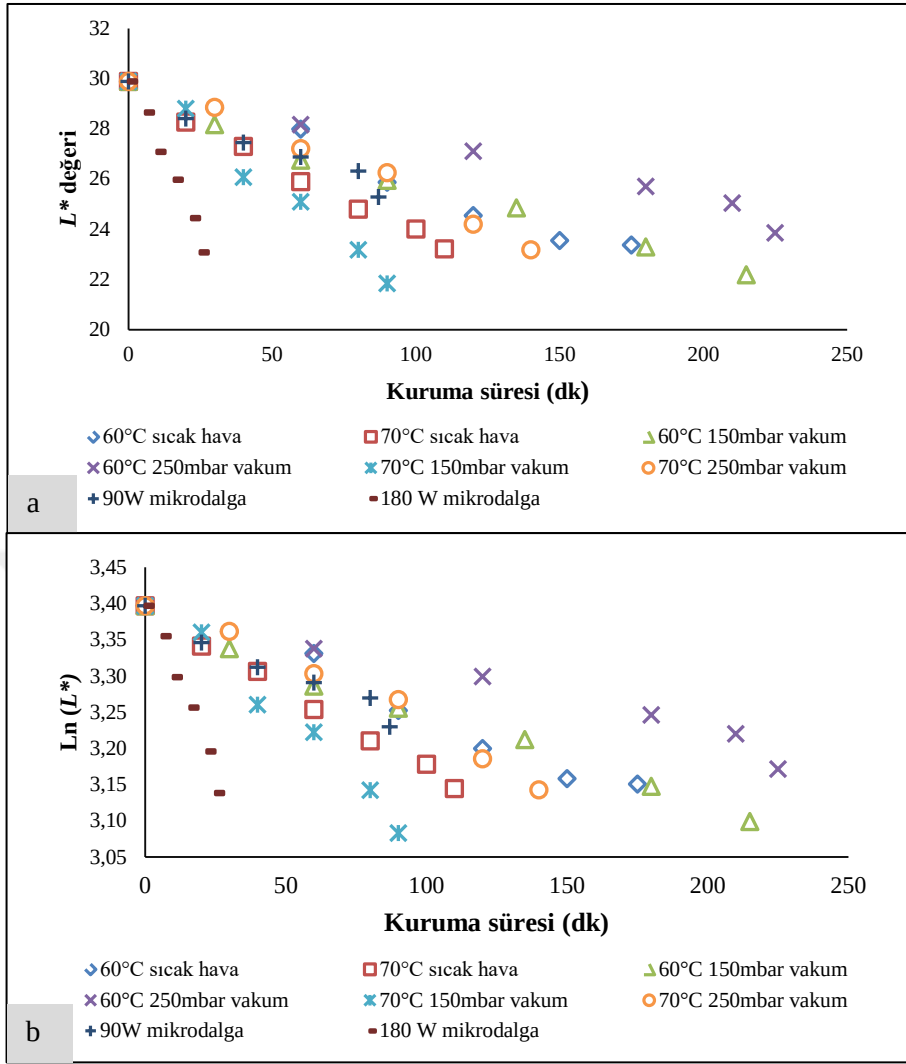
L^* renk değerinin azalması, pestil örneklerinin kurutma ile daha koyu bir renk aldığını ifade etmektedir. Pestil örneklerinin parlaklığındaki bu düşüş kurutma ile birlikte esmerleşmeden sorumlu Maillard reaksiyonu görülmesi ile açıklanabilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; benzer şekilde Maskan (2001), Dadalı, Demirhan ve Özbek (2007), Swain ve diğerleri (2014), Lixia, Bo ve Shaojin (2015) ve Song ve diğerleri (2017) kurutmadan sonra L^* renk değerlerinde düşüş gözlemlemiştir.

a^* renk değeri ile ilgili sonuçlar Şekil 4.34 (a, b), Şekil 4.35 (a, b) ve Şekil 4.36 (a, b)'da sunulmuştur. Kurutma öncesi sırasıyla 33,94 ve 45,70 a^* renk değerine sahip olan havuç+kırmızıbiber ve havuç pestil karışımı örneklerinde kurutma sonunda bu değerler azalma göstermiş olup, kurutma yöntem ve koşullarına bağlı olarak yine sırasıyla 14,21 – 21,22 ve 23,74 – 26,15 aralıklarında değişiklik göstermiştir. Dolayısıyla, a^* renk değerinin havuç+kırmızıbiber pestilinde en fazla 60 °C sıcak havada kurutmadan etkilendirken, en az 180 W mikrodalga ile kurutmadan etkilendiği, havuç pestilinde ise sıcak hava 70 °C' den en fazla, vakum 60 °C 250 mbar'dan en az etkilendiği görülmüştür. Benzer şekilde, mango püresine farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulayan Ahmed, Shivhare ve Kaur (2002), sıcaklığın artması ile birlikte örneklerin L^* ve a^* renk değerlerinde bir azalma olduğunu ve ürünlerin renginin kahverengiye döndüğünü gözlemlemiştir. Buna karşın, havuç+domates pestili karışımlarında başlangıç a^* değeri 12,01, iken kurutmadan sonra 18,63 (vakum 70 °C 250 mbar) – 24,66 (mikrodalga 180 W) aralığında bir artış gözlemlenmiştir. L^* ve a^* renk değerleri yüksek olan domateslerin renk özellikleri bakımından arzu edildiği literatürde bildirilmiştir (Sacilik, Keskin ve Elicin, 2006). Bu bakımdan havuç+domates pestili örneklerinin başlangıç pestil karışımına göre daha yüksek a^* renk değerlerine sahip olması kurutma ile pestilerin kırmızılıklarının önemli bir şekilde yükseldiğini göstermektedir.

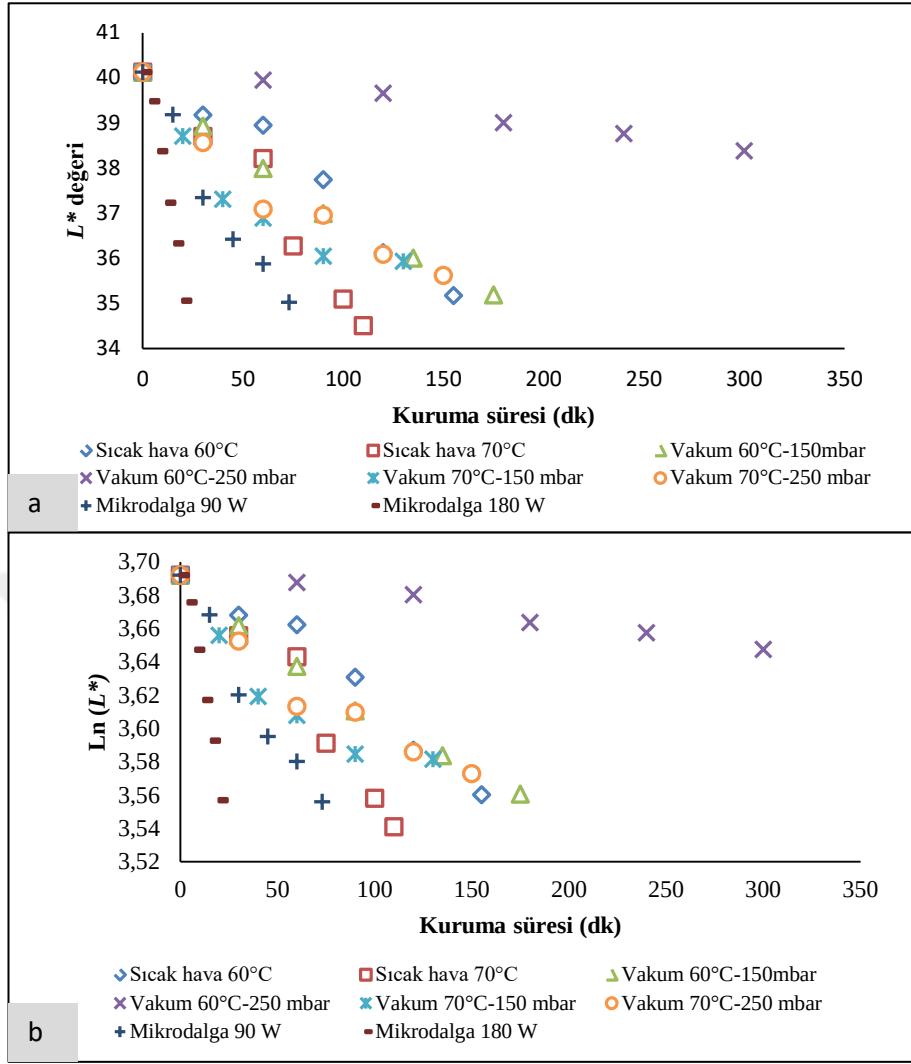
Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin başlangıç karışımlarına ait b^* değerleri sırasıyla 28,25, 35,90 ve 45,70 olarak bulunmuştur. Farklı koşullarda kurutulan tüm pestillerin b^* değerleri kurutma süresi ile azalmıştır (Şekil 4.37 (a, b), Şekil 4.38 (a, b), Şekil 4.39 (a, b)). Havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde b^* değerindeki değişimi en az etkileyen uygulama 180 W mikrodalga kurutma olmuştur. Öte yandan, kurutma süresinin uzun sürdüğü uygulamalarda daha düşük b^* renk değerleri elde edilmiştir. Bu durum karotenoid pigmentlerin yüksek sıcaklıkta uzun süre kurutma sonucunda yıkıma uğraması ve ürünün sarı rengini kaybetmesi ile açıklanabilir (Singleton, Gortner ve Young, 1961; Chen, Peng ve Chen, 1995). Yapılan bir çalışmada Encore çeşidi domateslerin sıcak hava ile kurutulması sonucu b^* değerleri tazeye göre daha düşük bulunmuştur (Kerkhofs, Lister ve Savage, 2005).



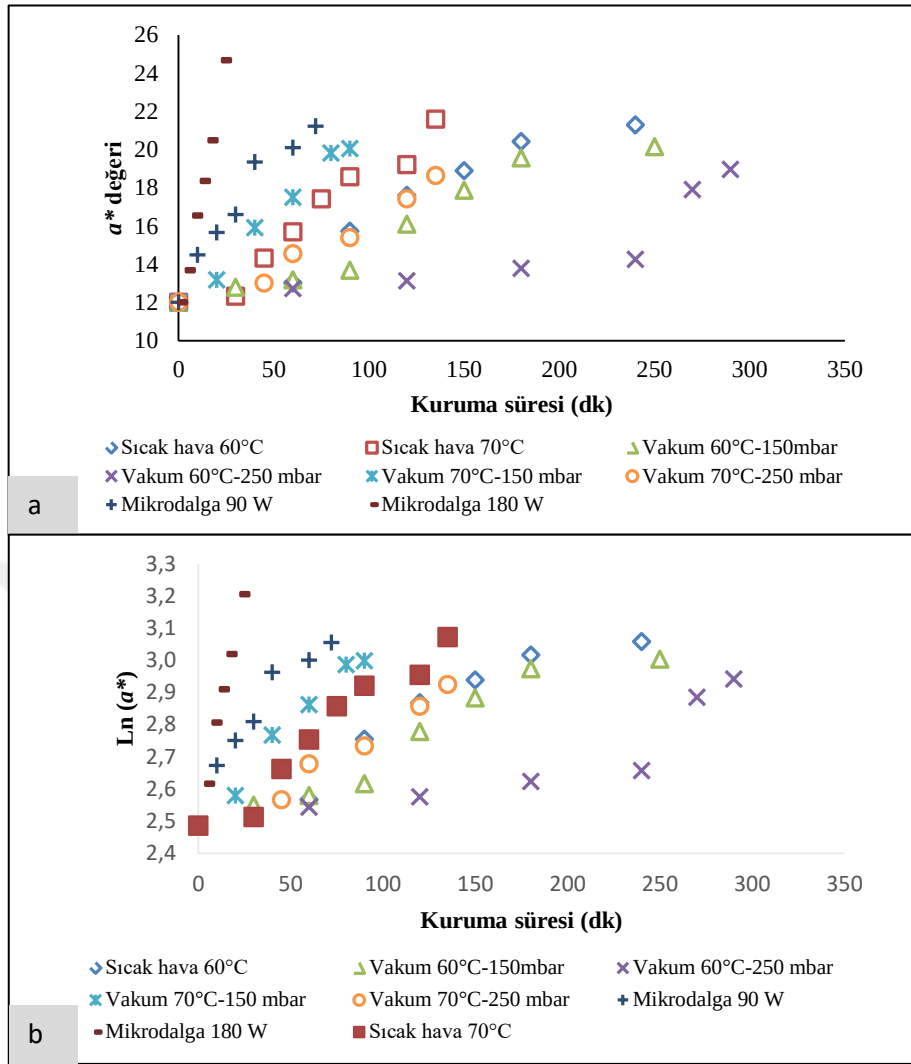
Şekil 4.31. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+domates pestillerinin L^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



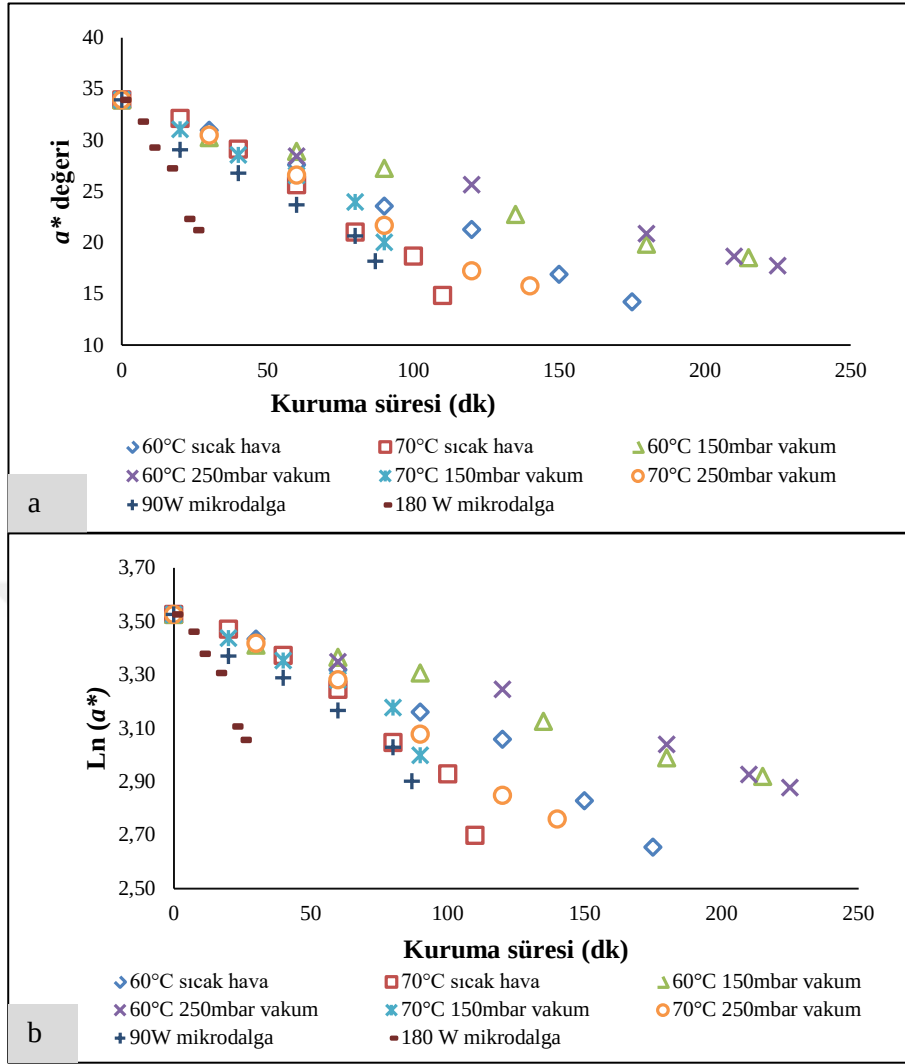
Şekil 4.32. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin L^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



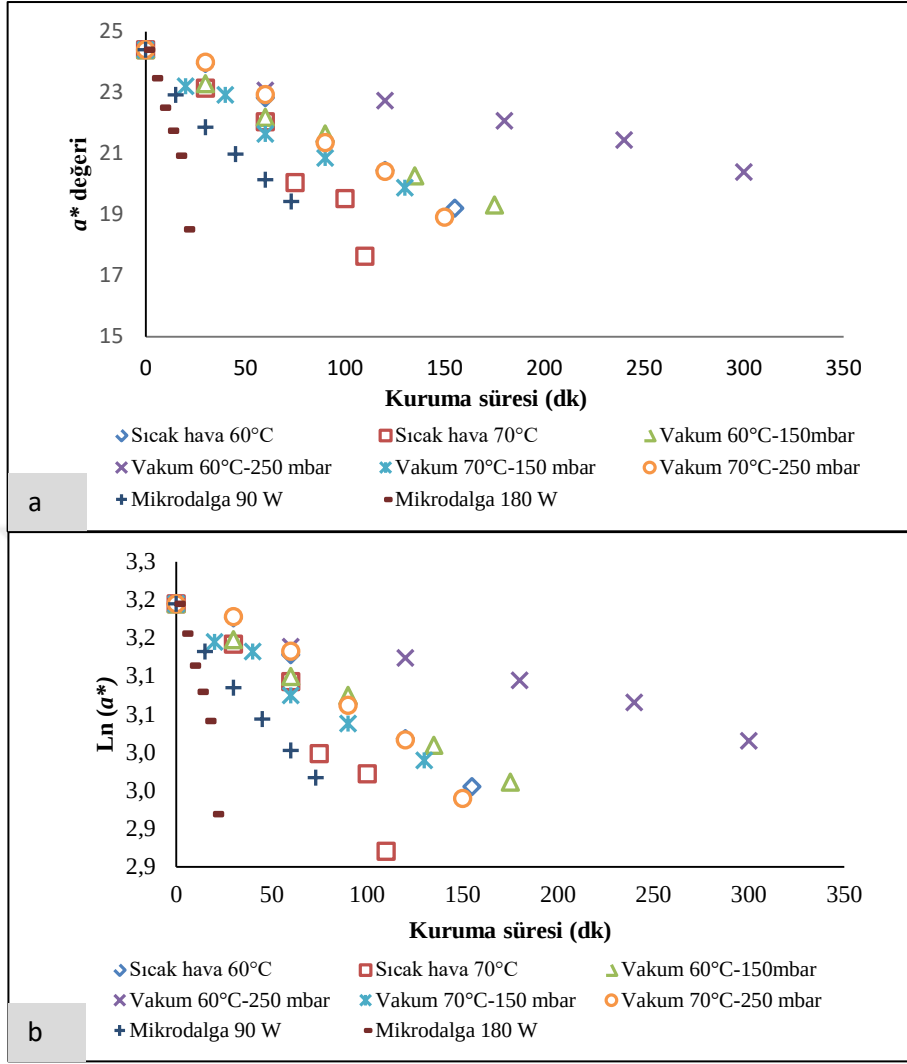
Şekil 4.33. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin L^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



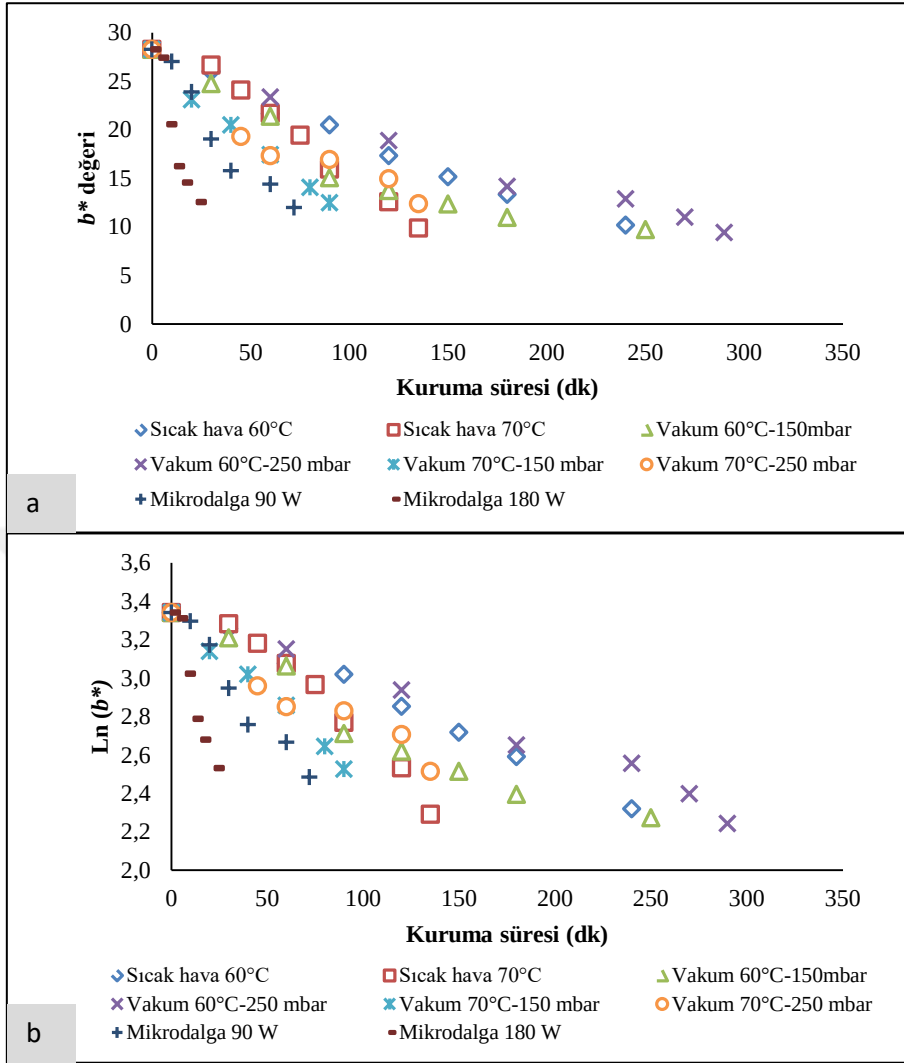
Şekil 4.34. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+domates pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



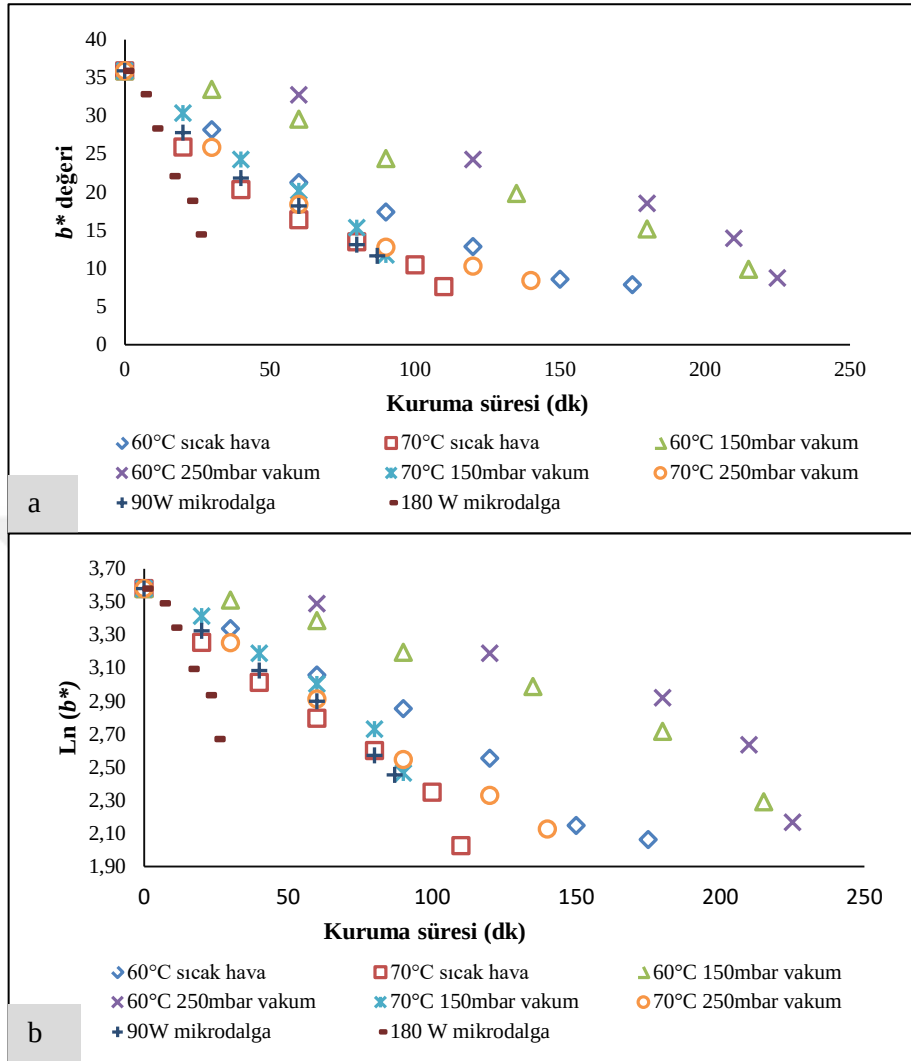
Şekil 4.35. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



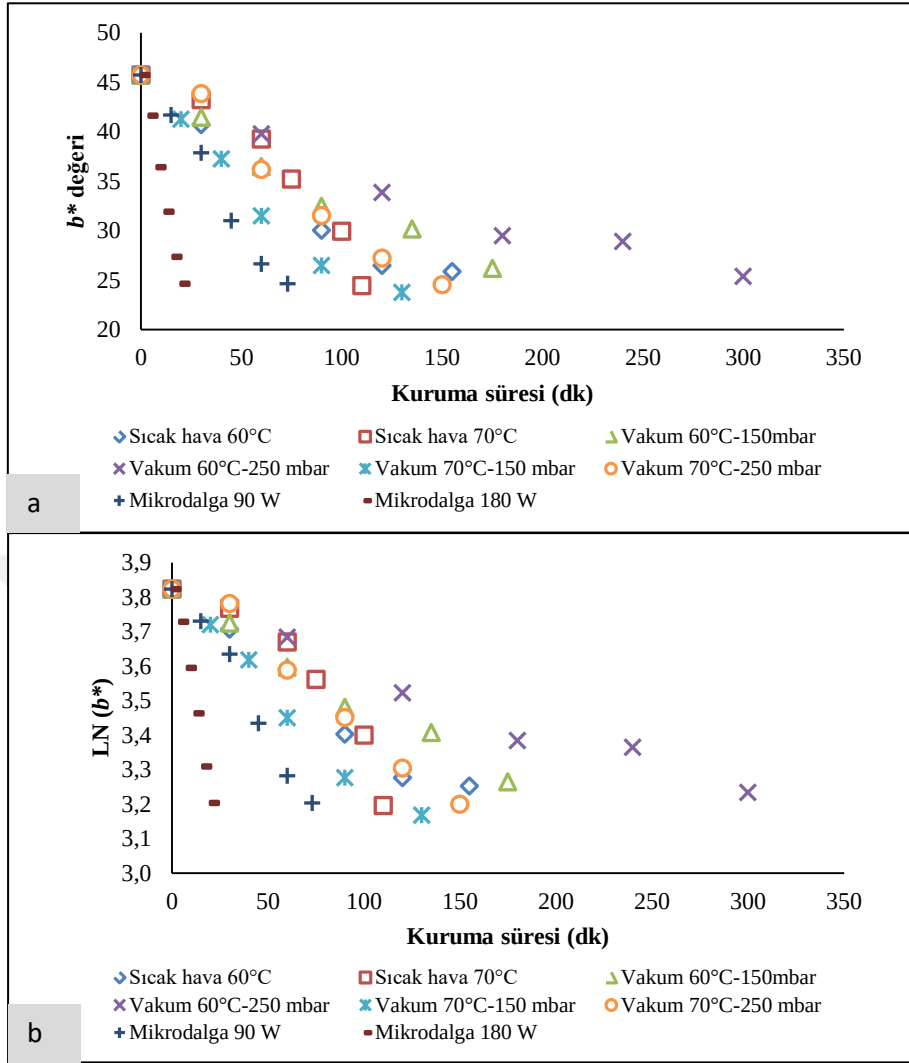
Şekil 4.36. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin a^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



Şekil 4.37. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+domates pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



Şekil 4.38. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç+kırmızıbiber pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)



Şekil 4.39. Farklı kurutma koşullarında kurutulan havuç pestillerinin b^* değeri değişim kinetikleri: sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli (a) ve birinci dereceden reaksiyon modeli (b)

Pestil örneklerinde renk değişim kinetiklerini belirlemek için sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri uygulanmıştır ve bu modellere ait kinetik parametreler Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18’ de gösterilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde L^* renk değerlerinin tüm pestil örneklerinde hem sıfırıncı hem de birinci dereceden reaksiyon modeline uyum sağladığı görülmektedir. L^* renk değeri için, her iki modelin de R^2 değerleri birbirinden önemli ölçüde farklı olmadığından dolayı birinin diğerinden daha iyi sonuç verdiğini söyleyebilmek olanaksızdır.

Havuç+domates (bazı istisnalar olmakla birlikte) ve havuç+kırmızıbiber pestili örnekleri için a^* değerinin renk değişim kinetiğini en iyi sıfırıncı dereceden reaksiyon modelinin ortaya koyduğu görülmektedir (Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17). Havuç pestilleri de a^* değeri bakımından genel anlamda hem sıfırıncı dereceden hem birinci dereceden reaksiyon modeline uyum sağlamaktadır (Çizelge 4.18).

Havuç+domates ve havuç pestili örneklerinin b^* değeri değişimini 70°C sıcak hava kurutma yöntemi hariç tüm uygulamalar için en iyi birinci dereceden reaksiyon kinetiği tanımlamıştır. Havuç+kırmızıbiber pestilleri için b^* değerini en iyi tanımlayan reaksiyon modelleri, uygulanan kurutma koşullarına göre değişiklik göstermiş olup, sıcak hava kurutma yöntemi ve 70 °C 250 mbar vakum uygulaması için en iyi reaksiyon modeli sıfırıncı derecen ve diğer vakum kurutma koşulları (70 °C 250 mbar vakum uygulaması dışındaki) ile mikrodalga kurutma yöntemi için birinci dereceden reaksiyon modeli en iyi sonuçları vermiştir. Farklı tarımsal ürünlerin kurutulması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Maskan (2001) ve Akar ve Mazı (2019) kivi meyvesinin L^* değerini, sıfırıncı ve birinci dereceden, Jaiswal ve Abu-Ghannam (2013) kabağın a^* ve b^* değerlerini sıfırıncı dereceden, Swain ve diğerleri (2014) sarı tatlı biberin a^* değerini sıfırıncı dereceden, L^* ve b^* değerlerini birinci dereceden reaksiyon modellerinin en iyi tanımladığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.16. Havuç+domates pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler

Renk parametreleri	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
L^*	Sıcak hava 60 °C	-0,0272	30,0570	0,9226	-0,0010	3,4080	0,9127
	Sıcak hava 70 °C	-0,0508	30,1640	0,9613	-0,0019	3,4127	0,9570
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,0190	29,5030	0,9579	-0,0007	3,3858	0,9641
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,0124	29,9350	0,8115	-0,0004	3,4010	0,7906
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,0578	29,9980	0,9417	-0,0021	3,4044	0,9313
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,0348	29,6280	0,9993	-0,0013	3,3908	0,9992
	Mikrodalga 90 W	-0,0940	29,8110	0,9345	-0,0036	3,3984	0,9358
	Mikrodalga 180 W	-0,2887	29,4440	0,9663	-0,0110	3,3859	0,9710
a^*	Sıcak hava 60 °C	0,0447	11,5700	0,9532	0,0028	2,4768	0,9390
	Sıcak hava 70 °C	0,0733	11,2990	0,9542	0,0046	2,4612	0,9474
	Vakum 60 °C 150 mbar	0,0375	11,5350	0,9332	0,0024	2,4722	0,9335
	Vakum 60 °C 250 mbar	0,0212	11,1650	0,7606	0,0014	2,4388	0,8008
	Vakum 70 °C 150 mbar	0,0954	11,7980	0,9879	0,0060	2,4887	0,9829
	Vakum 70 °C 250 mbar	0,0494	11,4580	0,9596	0,0033	2,4603	0,9730
	Mikrodalga 90 W	0,1235	12,9610	0,9456	0,0074	2,5734	0,9151
	Mikrodalga 180 W	0,5526	11,8170	0,9971	0,0314	2,5103	0,9877
b^*	Sıcak hava 60 °C	-0,0769	27,4130	0,9793	-0,0043	3,3648	0,9952
	Sıcak hava 70 °C	-0,1444	29,8230	0,9811	-0,0080	3,4853	0,9486
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,0777	25,5640	0,8672	-0,0046	3,2712	0,9296
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,0623	27,1790	0,9792	-0,0036	3,3562	0,9871
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,1678	27,4130	0,9900	-0,0088	3,3448	0,9914
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,1022	25,8510	0,8830	-0,0053	3,2661	0,9272
	Mikrodalga 90 W	-0,2380	27,9310	0,9404	-0,0124	3,3643	0,9645
	Mikrodalga 180 W	-0,7616	27,9250	0,9071	-0,0392	3,3565	0,9451

Çizelge 4.17. Havuç+kırmızıbiber pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler

Renk parametreleri	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2
L^*	60 °C sıcak hava	-0,0408	29,9200	0,9744	-0,0016	3,4028	0,9762
	70 °C sıcak hava	-0,0586	29,6150	0,9935	-0,0022	3,3919	0,9962
	60 °C 150 mbar vakum	-0,0337	29,2760	0,9821	-0,0013	3,3810	0,9896
	60 °C 250 mbar vakum	-0,0244	29,8500	0,9795	-0,0009	3,3991	0,9728
	70 °C 150 mbar vakum	-0,0890	30,0990	0,9855	-0,0035	3,4110	0,9814
	70 °C 250 mbar vakum	-0,0483	30,1250	0,9894	-0,0018	3,4102	0,9827
	90W mikrodalga	-0,0465	29,5800	0,9616	-0,0017	3,3883	0,9625
	180 W mikrodalga	-0,2649	29,9900	0,9893	-0,0100	3,4054	0,9846
a^*	60 °C sıcak hava	-0,1134	34,1870	0,9971	-0,0049	3,5795	0,9775
	70 °C sıcak hava	-0,1726	35,1610	0,9819	-0,0072	3,6061	0,9464
	60 °C 150 mbar vakum	-0,0717	33,1960	0,9856	-0,0029	3,5233	0,9796
	60 °C 250 mbar vakum	-0,0704	33,5430	0,9937	-0,0028	3,5364	0,9886
	70 °C 150 mbar vakum	-0,1406	34,1400	0,9676	-0,0052	3,5475	0,9372
	70 °C 250 mbar vakum	-0,1358	34,2410	0,9949	-0,0057	3,5714	0,9851
	90W mikrodalga	-0,1673	33,3820	0,9867	-0,0066	3,5285	0,9775
	180 W mikrodalga	-0,5255	34,5560	0,9823	-0,0194	3,5602	0,9670
b^*	60 °C sıcak hava	-0,1603	33,1550	0,9635	-0,0090	3,6050	0,9913
	70 °C sıcak hava	-0,2324	32,1810	0,9482	-0,0129	3,5575	0,9833
	60 °C 150 mbar vakum	-0,1217	36,3550	0,9954	-0,0058	3,6823	0,9625
	60 °C 250 mbar vakum	-0,1173	37,8820	0,9667	-0,0056	3,7422	0,8718
	70 °C 150 mbar vakum	-0,2611	35,5660	0,9966	-0,0119	3,6368	0,9742
	70 °C 250 mbar vakum	-0,1918	32,6500	0,9408	-0,0104	3,5560	0,9952
	90W mikrodalga	-0,2679	34,2080	0,9934	-0,0127	3,5905	0,9827
	180 W mikrodalga	-0,8639	36,7710	0,9861	-0,0358	3,6565	0,9619

Çizelge 4.18. Havuç pestilinin renk değerlerindeki değişime ait kinetik veriler

Renk parametreleri	Kurutma koşulları	Sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli			Birinci dereceden reaksiyon modeli		
		$k_0(\text{dk}^{-1})$	C_0	R^2	$k_1(\text{min}^{-1})$	C_0	R^2
L^*	Sıcak hava 60 °C	-0,0327	40,3570	0,9661	-0,0009	3,6992	0,9625
	Sıcak hava 70 °C	-0,0515	40,3650	0,9569	-0,0014	3,6998	0,9526
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,0279	39,8130	0,9831	-0,0007	3,6850	0,9876
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,0062	40,2340	0,9752	-0,0002	3,6949	0,9748
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,0313	39,2720	0,8456	-0,0008	3,6705	0,8445
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,0286	39,5520	0,9359	-0,0008	3,6780	0,9334
	Mikrodalga 90 W	-0,0706	39,9520	0,9714	-0,0019	3,6886	0,9756
	Mikrodalga 180 W	-0,2564	40,3260	0,9940	-0,0068	3,6984	0,9916
a^*	Sıcak hava 60 °C	-0,0353	24,7090	0,9876	-0,0016	3,2116	0,9848
	Sıcak hava 70 °C	-0,0582	24,7660	0,9457	-0,0028	3,2171	0,9278
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,0286	24,1760	0,9914	-0,0013	3,1883	0,9954
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,0122	24,1740	0,9732	-0,0005	3,1869	0,9738
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,0345	24,0970	0,9702	-0,0016	3,1841	0,9773
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,0379	24,8350	0,9790	-0,0017	3,2175	0,9719
	Mikrodalga 90 W	-0,0663	24,0770	0,9901	-0,0030	3,1837	0,9926
	Mikrodalga 180 W	-0,2700	24,6190	0,9504	-0,0126	3,2091	0,9309
b^*	Sıcak hava 60 °C	-0,1372	44,5640	0,9533	-0,0040	3,8123	0,9643
	Sıcak hava 70 °C	-0,1862	47,9170	0,9302	-0,0053	3,9009	0,8816
	Vakum 60 °C 150 mbar	-0,1093	44,3200	0,9655	-0,0031	3,8046	0,9841
	Vakum 60 °C 250 mbar	-0,0660	43,7340	0,9433	-0,0019	3,7895	0,9675
	Vakum 70 °C 150 mbar	-0,1760	44,2760	0,9545	-0,0053	3,8099	0,9757
	Vakum 70 °C 250 mbar	-0,1528	46,2730	0,9702	-0,0045	3,8582	0,9885
	Mikrodalga 90 W	-0,3064	45,9540	0,9871	-0,0090	3,8523	0,9844
	Mikrodalga 180 W	-1,0912	45,4920	0,9941	-0,0321	3,8401	0,9961

4.10. Mineral Madde Analiz Sonuçları

Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ve bunların kurutma öncesi karışımlarına ait mineral madde değerleri sırasıyla Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’ de sunulmuştur. Çizelgelerden görüldüğü gibi pestil örnekleri iyi bir mineral kaynağı olarak düşünülmüştür. Tüm pestil örneklerinin mineral madde değerleri kurutma öncesi pestil karışımlarının mineral madde değerlerinden yüksek bulunmuştur. Bu durum kurutma sonucunda örneklerin kuru maddesindeki artış ile birlikte element konsantrasyonlarındaki artışa dayandırılmıştır. Bu sonuçlara benzer olarak Suna ve diğerleri (2014) güneşte, vakumda ve mikrodalgada kuruttukları kayısı örneklerinin K, Ca, Mg ve Zn mineral madde değerlerini, kurutulmamış taze örneklerle göre daha yüksek bulmuştur. Havuç pestili örneklerinin Na değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Diğer taraftan, havuç+domates pestili örneklerinde en yüksek Na değeri ($1309,55 \pm 39,21$) 60 °C 250 mbar vakum kurutma ile elde edilirken; en düşük ($1224,95 \pm 7,44$) 90 W mikrodalga kurutma yönteminden elde edilmiştir. Havuç+kırmızıbiber örneklerinde Na değerleri incelendiğinde en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 70 °C 150 mbar vakum ($1111,75 \pm 57,17$) ve 90 W mikrodalga ($1000,78 \pm 40,69$) kurutma yöntemlerinden elde edilmiştir. Tüm pestil örneklerinin Na değerleri organik mango, şeftali, enginar püresi içeren ev yapımı meyve pestili (180 mg/kg) örneğinden (United States Department of Agriculture, 2019a) yüksek, ticari meyve pestilinden (3170 mg/kg) ise düşük bulunmuştur (United States Department of Agriculture, 2019b).

Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin K değerleri sırasıyla $5024,48 \pm 277,71$ – $6179,12 \pm 212,31$, $7196,50 \pm 585,70$ – $8710,35 \pm 79,76$ ve $3427,95 \pm 222,17$ – $4959,38 \pm 140,53$ arasında bulunmuştur. Havuç pestili örneklerinde K, Ca, Mg, P ve Mn elementlerinin değerleri, en yüksek 70 °C 150 mbar vakum uygulaması ile elde edilirken bu değerler en düşük 70 °C 250 mbar vakum uygulaması sonucunda kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler United States Department of Agriculture (2019c) raporuna göre meyve pestilinden (K:1640, Ca:180, Mg:140, P:240 ve Mn 1.84 mg/kg) daha yüksek bulunmuştur.

Havuç+domates pestili örneklerinde 60 °C 250 mbar vakum uygulaması sonucunda en yüksek K, Ca, Mg ve Fe element değerleri elde edilmiş olup, en yüksek P ve Zn element değerleri ise 60 °C 150 mbar vakum uygulanan örneklerde belirlenmiştir.

Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin K, P, Mn, Fe, Zn ve Cu mineral madde değerleri en yüksek 180 W mikrodalga uygulaması sonucunda elde edilmiştir. Bu örneklerin Ca ve Mg değerlerinde en düşük ve en yüksek kayıplar sırasıyla 70 °C 150 mbar vakum ve 60 °C 150 mbar vakum kurutma yöntemleri sonucunda ortaya konmuştur. Ayrıca havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde Na değerleri Cagindi ve Otles (2005)' in kayısı pestili örnekleri ile uyum içerisinde olup üzüm ve dut pestili örneklerinden yüksek bulunmuştur.

100 g havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestilleri (her bir mineral maddenin tüm kurutma parametrelerindeki ortalama değerleri alındığında) tavsiye edilen diyet alımı (DRIs) için sırasıyla Na' un % 87,96, 81,96 ve 6,33' ünü; K' un % 125,49, 69,02 ve 91,09' unu; Ca' un % 89,36, 68,46 ve 113,28' ini; Mg' un % 94,91, 90,35 ve 76,07' sini; P' un % 106,37, 121,64 ve 82,92' sini; Mn' in % 111,74, 134,78 ve 98,69' unu; Fe' in % 123,88, 200,63 ve 99,00' unu; Zn' nun % 32,82, 42,18 ve 43,45' ini; Cu' in % 143,33, 171,11 ve 223,33' ünü karşılamaktadır (National Institutes of Health, 2019).

Havuca kırmızıbiber ve domates ekleyerek pestil üretilmesi, ürünün kurutma koşullarından elde edilen en yüksek değerleri düşünüldüğünde, Na ve Mg dışında araştırılan tüm mineral maddelerinde artışa sebep olmuştur. Özellikle Ca içeriği bakımından yüksek olan kırmızıbiber, pestile işlendiğinde beklenildiği gibi diğer örneklere kıyasla en yüksek Ca miktarına sahip olmuştur.

Çizelge 4.19. Havuç pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg)

Kurutma parametreleri	Na	K	Ca	Mg	P	Mn	Fe	Zn	Cu
Karışım	419,78±46,23 b	1384,60±119,73 d	305,60±34,48 f	104,91±4,94 d	208,80±4,10 f	0,79±0,11 e	1,33±0,12 f	1,15±0,32 e	0,43±0,21 b
60 °C sıcak hava	1312,15±11,35 a	6073,32±52,17 ab	894,56±12,27 cd	375,91±19,54b	708,46±3,83 cde	2,60±0,14 abc	10,82±0,67 b	3,07±0,09 cd	1,14±0,17 a
70 °C sıcak hava	1252,71±25,82 a	5775,36±406,53 b	870,60±21,76 d	369,44±1,48 b	733,12±19,99 bcd	2,67±0,24 abc	14,45±1,13 a	3,06±0,23 cd	1,08±0,06 a
60 °C 150 mbar vakum	1338,65±9,27 a	6022,74±18,35 ab	923,51±12,79 abc	384,09±33,40 b	764,81±11,07 abc	2,55±0,27 bcd	8,99±0,60 c	4,36±0,55 ab	1,53±0,75 a
60 °C 250 mbar vakum	1266,82±83,12 a	6179,12±212,31 a	896,79±16,98 bcd	366,16±9,72 bc	696,41±21,51 de	2,39±0,11 cd	7,04±0,22 de	2,88±0,08 d	1,20±0,26 a
70 °C 150 mbar vakum	1370,05±33,27 a	6171,55±171,28 a	939,34±21,99 a	422,53±11,14 a	805,09±60,69 a	2,88±0,17 a	8,53±0,23 cd	3,45±0,04 cd	1,29±0,34 a
70 °C 250 mbar vakum	1320,15±349,99 a	5024,48±277,71 c	777,86±21,83 e	329,57±7,26 c	663,99±28,67 e	2,29±0,10 d	11,78±1,01 b	4,80±1,04 a	1,44±0,55 a
90W mikrodalga	1301,00±22,68 a	5853,27±172,23 ab	932,07±26,66 ab	398,11±36,36 ab	817,97±52,10 a	2,75±0,12 ab	11,76±2,52 b	3,78±0,46 bc	1,46±0,13 a
180 W mikrodalga	1297,96±16,11 a	6084,00±135,04 ab	913,79±11,83 abc	391,14±33,68 ab	766,83±38,61 ab	2,46±0,19 bcd	5,92±0,66 e	3,48±0,46 cd	1,21±0,07 a
DRI*	1500	4700	1000	400	700	2,3	8	11	0,9

^{a-f} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

* Dietary reference intakes-DRI, 19-30 yaş aralığındaki erkek grubu referans alınmıştır.

Çizelge 4.20. Havuç+domates pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg)

Kurutma parametreleri	Na	K	Ca	Mg	P	Mn	Fe	Zn	Cu
Karışım	423,15±8,14 d	2605,49±83,59 d	234,63±2,08 d	117,95±5,30 e	316,31±13,9 5 f	0,97±0,0 3 e	7,58±0,04 c	1,47±0,2 6 d	0,48±0,1 0 d
60 °C sıcak hava	1261,17±25,15 ab	7196,50±585,7 0 c	701,03±14,1 3 a	382,81±11,2 5 a	885,58±1,98 b	3,77±0,4 4 a	13,37±2,65 b	4,45±0,0 4 bc	1,44±0,2 0 bc
70 °C sıcak hava	1235,27±76,92 b	8191,18±57,98 b	711,80±9,01 a	358,00±17,6 9 bcd	826,75±14,5 9 cd	3,11±0,1 9 bc	16,59±4,35 b	4,47±0,1 0 bc	1,90±0,3 5 a
60 °C 150 mbar vakum	1230,28±56,86 b	7780,90±359,4 6 b	662,46±42,2 0 bc	372,65±27,9 4 abc	987,44±37,4 0 a	2,96±0,3 1 cd	12,27±0,23 bc	5,73±0,9 6 a	1,50±0,0 8 bc
60 °C 250 mbar vakum	1309,55±39,21 a	8710,35±79,76 a	728,59±26,3 7 a	395,46±19,7 1 a	896,14±3,85 b	3,39±0,3 8 ab	24,99±2,92 a	5,29±0,3 1 ab	1,70±0,1 3 ab
70 °C 150 mbar vakum	1129,11±70,54 c	6746,92±98,21 c	628,21±27,5 1 d	340,36±11,2 5 d	683,62±53,6 6 e	2,68±0,1 4 d	12,53±3,04 b	3,91±0,8 5 c	1,41±0,2 3 bc
70 °C 250 mbar vakum	1200,48±13,58 bc	7836,09±211,4 4 b	653,03±14,7 6 c	336,42±22,1 0 d	781,82±23,4 5 d	2,97±0,0 7 bcd	16,31±4,52 b	4,22±0,3 0 c	1,37±0,1 4 c
90W mikrodalga	1224,95±7,44 b	7774,77±346,8 8 b	695,35±20,0 3 ab	357,57±5,66 bcd	830,45±4,21 c	3,15±0,1 8 bc	16,66±1,77 b	4,30±0,0 9 c	1,42±0,0 9 bc
180 W mikrodalga	1244,29±16,28 ab	8013,60±89,04 b	696,13±4,65 ab	347,82±9,12 cd	919,78±30,2 6 b	2,78±0,1 7 cd	15,64±0,51 b	4,74±0,6 2 bc	1,56±0,1 8 bc
DRIs	1500	4700	1000	400	700	2,3	8	11	0,9

^{a-f} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

* Dietary reference intakes-DRIs, 19-30 yaş aralığındaki erkek grubu referans alınmıştır.

Çizelge 4.21. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin mineral madde içeriği (mg/kg)

Kurutma parametreleri	Na	K	Ca	Mg	P	Mn	Fe	Zn	Cu
Karışım	318,41±27,04 c	1080,60±128,87 g	214,41±9,24 g	89,07±1,76 e	167,43±6,62 g	0,91±0,0 4 c	2,78±0,13 1	1,80±0,0 6 g	0,59±0,0 6 c
60 °C sıcak hava	1048,16±95,52 ab	3427,95±222,17 f	645,19±51,63 d	277,14±6,57 cd	511,15±8,51 f	2,60±0,1 5 a	3,68±0,17 h	3,53±0,3 8 f	2,06±0,2 7 b
70 °C sıcak hava	1017,05±36,10 b	4198,58±127,94 c	596,16±6,78 ef	274,10±11,04 cd	553,62±34,2 5 d	2,08±0,1 3 b	8,16±0,08 d	4,06±0,2 3 e	1,82±0,1 3 b
60 °C 150 mbar vakum	987,84±70,33 b	3910,82±31,86 d	569,52±8,35 f	270,20±10,61 d	519,50±11,7 1 ef	2,14±0,1 0 b	4,85±0,10 g	3,61±0,1 2 ef	2,02±0,2 6 b
60 °C 250 mbar vakum	1011,06±12,04 b	4713,42±147,13 b	620,85±11,71 de	315,68±3,60 b	647,55±6,22 b	2,23±0,1 1 b	9,38±0,07 c	4,65±0,3 3 d	1,94±0,0 6 b
70 °C 150 mbar vakum	1111,75±57,17 a	4756,10±114,01 ab	4302,94±13,92 a	353,80±3,99 a	605,02±5,28 c	2,18±0,1 7 b	7,16±0,40 f	5,38±0,4 6 bc	1,94±0,1 4 b
70 °C 250 mbar vakum	1021,50±26,23 b	4601,23±71,67 b	959,60±19,80 b	303,59±7,00 b	574,26±33,0 2 cd	2,16±0,1 5 b	10,13±0,1 9 b	5,81±0,1 8 ab	1,89±0,0 7 b
90W mikrodalga	1000,78±40,69 b	3682,77±88,88 e	644,67±5,89 d	286,78±9,48 c	551,28±12,6 8 de	2,10±0,0 7 b	7,61±0,05 e	5,10±0,4 7 cd	1,80±0,1 0 b
180 W mikrodalga	1121,65±17,02 a	4959,38±140,53 a	723,47±28,71 c	352,84±13,89 a	681,17±21,0 5 a	2,65±0,0 8 a	12,37±0,2 5 a	6,13±0,2 6 a	2,60±0,1 3 a
DRI's	1500	4700	1000	400	700	2,3	8	11	0,9

^{a-1} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

*Dietary reference intakes-DRI's 19-30 yaş aralığındaki erkek grubu referans alınmıştır.

4.11. Tekstür Analizi Sonuçları

Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin tekstürel özellikleri üzerine kurutma parametrelerinin etkileri sırasıyla Çizelge 4.22, Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24' de gösterilmiştir. Bu tablolar incelendiğinde sertlik, dış yapışkanlık, elastikiyet, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik bakımından pestil örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,05$).

Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinin sertlik değerleri sırasıyla 9512,95 – 30546,85, 5441,65 – 33201,43 ve 18066,31 – 38724,43 g arasında bulunmuştur. En yüksek sertlik değerleri havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili için sırasıyla 70 °C 150 mbar vakum, 70 °C sıcak hava ve 180 W mikrodalga kurutmadan elde edilirken; en düşük değerler yine sırasıyla, 90 W mikrodalga, 90 W mikrodalga ve 60 °C 250 mbar vakum kurutma koşullarında bulunmuştur. Tüm pestil örnekleri için; sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinde yüksek kurutma sıcaklığı, vakum kurutma yönteminde düşük mutlak basınç ve mikrodalga kurutma yönteminde yüksek mikrodalga gücü örneklerin sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu sonuçlara paralel olarak Göksel ve diğerleri (2013) üzüm pekmezinden hazırladıkları köfter örneklerinde yüksek sıcaklıkta kurutmanın daha sert ürün eldesine sebebiyet verdiğini bildirmiştir. Ayrıca, Suna ve Özkan Karabacak (2019) yaptıkları çalışmada; dut pestili örneklerinde yüksek sıcaklıkta sıcak hava ve vakumda kurutmanın ve yüksek mikrodalga gücünde kurutmanın ürünün sertliğinde artışa sebep olduğunu belirtmiştir.

Negatif bir kuvvet olan dış yapışkanlık yemek sırasında dişlere tutunan gıdanın ayrılması için gerekli olan gücü göstermektedir. Göksel ve diğerleri (2013) pestillerin dış yapışkanlık değerinin, iç ve dış yapışkanlık gücünden, viskozite ve viskoelastisite özelliklerinden etkilendiğini bildirmiştir. Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örnekleri için en yüksek dış yapışkanlık değerleri sırasıyla, 70 °C 250 mbar vakum (-202,73 g.s), 60 °C sıcak hava (-333,96 g.s) ve 90 W mikrodalga (-409,30 g.s) kurutma koşullarından elde edilmiştir. Sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinde yüksek kurutma sıcaklığı, vakum kurutma yönteminde düşük mutlak basınç ve

mikrodalga kurutma yönteminde yüksek mikrodalga gücü tüm pestil örneklerinin dış yapışkanlık değerlerinde azalma ile sonuçlanmıştır.

Elastikiyet değeri, gıda materyalinin ilk sıkıştırma sırasında deforme olduktan sonra orijinal durumuna geri dönme hızını ve derecesini temsil etmektedir (Huang, Kennedy, Li, Xu ve Xie, 2007; Szczesniak, 2002).

Sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinde kurutma sıcaklığının artması, vakum kurutma yönteminde mutlak basıncın düşmesi ve mikrodalga kurutma yönteminde mikrodalga gücünün artması havuç ve havuç+domates pestili örneklerinin daha elastik bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Ancak havuç+kırmızıbiber pestillerinin sıcak hava ile kurutulmasında kurutma sıcaklığının artması ürünün elastikiyetini istatistiksel olarak değiştirmemiştir ($p > 0,05$). Göksel ve diğerleri (2013) nişasta konsantrasyonu ve kurutma sıcaklığındaki artışın köfter örneklerinin elastikiyetini artırdığını bildirmiştir. Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestillerinde elastikiyet değerleri sırasıyla 0,41-0,73, 0,52-0,61 ve 0,45-0,59 aralığında bulunmuştur. Bu sonuçlar Boz (2012)' un dut pestili ve Tontul ve Topuz (2017)' un nar pestili için bildirdikleri elastikiyet sonuçları ile uyum göstermektedir.

Çiğnenebilirlik yarı katı bir gıdayı çiğneyip yutmaya hazır hale getirmek için gerekli olan enerjiyi kapsamaktadır. Ayrıca çiğnenebilirlik sertlik, kohesivlik ve elastikiyetin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Bu nedenle sertliği etkileyen parametreler bu özelliğin belirlenmesinde önemlidir. Bu durumu destekleyecek şekilde çiğnenebilirlik ve sakızimsılık kurutma yöntem ve koşulları bakımından sertlik sonuçları ile uyum göstermektedir (Çizelge 4.22, Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24). Elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında Tontul ve Topuz (2017) sıcak havada kurutulan nar pestillerinin sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin kurutma sıcaklığı ile artış gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, Suna ve Özkan Karabacak (2019) sıcak hava ve vakumda kurutma yöntemlerinde artan kurutma sıcaklığının ve mikrodalga kurutmada artan mikrodalga gücünün dut pestillerinin sertlik, çiğnenebilirlik ve sakızimsılık değerlerini artırdığı sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak Teng, Chin ve Yusof (2011) yaptıkları çalışmada, kurutma sırasında nişasta konsantrasyonundaki ve kurutma

sıcaklığındaki artışın nişasta-şeker katkılı jel numunelerini daha sakızımsı hale getirdiğini bildirmiştir.



Çizelge 4.22. Havuç pestili örneklerine ait tekstür değerleri

Kurutma parametreleri	Sertlik (g)	Dış yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet (mm)	Sakızımsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g mm)
60 °C sıcak hava	14212,45±325,27c	-115,49±5,21 bc	0,51±0,03 ef	10481,80±686,80 c	7542,61±121,36 d
70 °C sıcak hava	18703,040±508,05b	-80,62±1,30 cd	0,71±0,05 ab	14861,20±630,22 b	8588,73±296,39 b
60 °C 150 mbar vakum	18898,61±2597,69 b	-115,27±5,74 bc	0,63±0,04 cd	13926,30±331,25 b	8039,95±94,81 bcd
60 °C 250 mbar vakum	14579,06±3074,87 c	-139,33±34,70 b	0,56±0,02 de	11617,46±1159,48 c	8437,13±880,28 bc
70 °C 150 mbar vakum	30546,85±1727,31 a	-56,63±9,56 d	0,73±0,08 a	24512,45±811,78 a	15268,84±330,65 a
70 °C 250 mbar vakum	17960,43±2600,41 b	-202,73±59,34 a	0,65±0,05 bc	15160,46±2987,87 b	7779,47±597,67 cd
90W mikrodalga	9512,95±166,60 d	-111,80±7,64 bc	0,41±0,02 g	6443,81±61,44 d	3325,57±311,83 f
180 W mikrodalga	9865,98±95,31 d	-90,18±1,81 cd	0,49±0,03 f	7741,42±351,84 d	4215,36±290,66 e

^{a-g} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

Çizelge 4.23. Havuç+domates pestili örneklerine ait tekstür değerleri

Kurutma parametreleri	Sertlik (g)	Dış yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet (mm)	Sakızımsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g mm)
60 °C sıcak hava	30120,74±323,84 b	-333,96±11,73 a	0,52±0,01 d	25261,54±612,12 b	13656,83±613,10 b
70 °C sıcak hava	33201,43±995,23 a	-288,09±10,56 b	0,55±0,01 c	28961,02±634,88 a	15377,22±431,17 a
60 °C 150 mbar vakum	26332,68±927,86 d	-189,21±6,49 e	0,54±0,01 c	21169,54±253,29 c	11063,01±253,15 d
60 °C 250 mbar vakum	14038,15±632,82 f	-325,90±8,22 a	0,51±0,00 d	12000,97±449,82 e	5893,08±61,49 f
70 °C 150 mbar vakum	28385,73±1101,10 c	-234,99±4,37 d	0,58±0,01 b	25225,47±612,12 b	12009,14±166,57 c
70 °C 250 mbar vakum	16360,93±1073,29 e	-262,41±19,53 c	0,52±0,01 d	17437,45±424,59 d	8941,27±63,37 e
90W mikrodalga	5441,65±70,18 h	-218,27±10,21 d	0,57±0,01 b	3850,15±104,03 g	2379,95±99,07 h
180 W mikrodalga	11745,90±670,88 g	-179,35±7,30 e	0,61±0,01 a	6466,84±118,66 f	3817,81±120,98 g

^{a-h} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

Çizelge 4.24. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait tekstür değerleri

Kurutma parametreleri	Sertlik (g)	Dış yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet (mm)	Sakızimsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g mm)
60 °C sıcak hava	18099,18±25,67 e	-161,23±9,76 e	0,45±0,01 b	15791,15±707,78 d	6914,83±106,27 d
70 °C sıcak hava	25883,18±702,13 c	-142,98±7,62 f	0,49±0,01 b	21848,26±782,92 c	11070,47±892,15 c
60 °C 150 mbar vakum	20503,35±928,62 d	-264,98±11,81 c	0,52±0,01 ab	15998,50±585,46 d	7463,61±122,91 d
60 °C 250 mbar vakum	18066,31±63,21 e	-288,70±8,08 b	0,48±0,01 b	13706,72±444,86 e	6984,03±70,82 d
70 °C 150 mbar vakum	37607,84±509,07 a	-178,55±8,82 d	0,59±0,01 a	31681,03±905,49 a	18826,49±684,11 a
70 °C 250 mbar vakum	26489,01±1354,32 c	-193,04±3,20 d	0,46±0,14 b	22661,22±1055,07 c	12052,53±372,69 c
90W mikrodalga	34476,60±1169,98 b	-409,30±15,22 a	0,49±0,01 b	28109,84±704,81 b	14537,53±1357,51 b
180 W mikrodalga	38724,43±1085,42 a	-275,89±6,14 bc	0,58±0,01 a	30475,22±591,78 a	18826,49±684,11 a

^{a-f} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

4.12. HMF Miktarı

HMF (Hidroksimetilfurfural) miktarı, ısıtıl işlem uygulanarak üretilen ürünlerde enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının bir indikatörü olarak kabul edilmektedir (Tontul, 2017). HMF, taze ve işlenmemiş gıdalarda bulunmaması sebebiyle, oluşumu gıdaya uygulanan ısı yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir (Rufian-Henares ve Delgado-Andrade, 2009). Gıdaların üretimi ve depolanması sırasında indirgen şekerler ve aminoasitler arasında ısı etkisiyle Maillard reaksiyonları gerçekleşebilmektedir. Maillard reaksiyonlarının önemli bir ara ürünü olan HMF, gıdaların besin değerlerinde azalmaya, istenmeyen tat ve renk değişimlerine, kalitenin bozulmasına neden olmakla birlikte olası kanserojen etkisinden dolayı birçok üründe miktarı sınırlanan bir bileşiktir (Aslanova, Bakkalbasi ve Artık, 2010; Koç ve Yolcu Ömeroğlu, 2019). Ortam pH değeri, sıcaklık, metal iyonları, şeker ve aminoasit cinsi gibi pek çok faktör indirgen şekerler ve aminoasitler arasında gerçekleşen Maillard reaksiyonunu etkilemektedir (Tontul, 2017). Bu durum literatürde daha önce yapılan çalışmalarla tutarlı olup, toplam şeker ve invert şeker miktarı arttıkça, HMF miktarının arttığı tespit edilmiştir (Yıldız, 2013). Türk standartlarına (Üzüm pestili, TS12680) göre pestillerin en fazla 50 mg/kg HMF içermesi gerekmektedir (Anonim, 2000).

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinde HMF miktarı sırasıyla 111,65 – 289,24, 71,63 – 620,84 ve 99,28 – 297,91 mg/kg km aralıklarında tespit edilmiştir (Çizelge 4.25, Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27). HMF miktarının standartlara göre yüksek çıkması; pestilin içerdiği şeker miktarı, uygulanan ön pişirme süresi, kurutma sıcaklığı ve süresi gibi faktörlerden etkilenmiştir. Bu sonuçlar ile benzer olarak, daha önce nar pestilinin farklı formülasyonlar (hidrokolloidli ve geleneksel) ve yöntemler (sıcak hava akımında kurutma, mikrodalga destekli sıcak hava akımında kurutma, kırım pencere kurutma) kullanılarak kurutulduğu bir çalışmada HMF içeriği 142,80 – 626,11 mg/kg km olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılar, farklı kurutma şartlarında kurutulan pestillerin HMF içeriğinin formülasyona bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmiştir. Nitekim, hidrokolloidlerle üretilen pestillerin HMF içeriği 180 W güçte mikrodalga destekli sıcak hava akımında kurutmada diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek olarak belirlenirken, geleneksel formülasyonda en

yüksek HMF içeriği sıcak hava akımında kurutma yönteminde belirlenmiştir (Tontul ve Topuz, 2017).

Pestil örnekleri arasında kurutma koşullarına bağlı olarak istatistiksel olarak en büyük değişiklik havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde olmuştur. Tüm pestil örneklerinde HMF miktarı en az 60 °C sıcak hava, en çok 180 W mikrodalga kurutma sonucunda elde edilmiştir. Sıcak hava kurutma yönteminde sıcaklık artışı ile birlikte pestili örneklerinde HMF miktarı istatistiksel olarak artış göstermiştir ($p < 0,05$). Diğer taraftan vakum kurutma yöntemi kendi içinde karşılaştırıldığında, yalnızca havuç pestili örneklerine 150 mbar vakum uygulaması sonucunda HMF miktarı istatistiksel olarak sıcaklık yükselmesinden ve mutlak basınç artışından etkilenip artış göstermiştir ($p < 0,05$). Aynı sıcaklıkta yüksek mutlak basınç altında kurutulan havuç pestili örneklerinde HMF miktarının artış göstermesi, daha uzun süren kurutma işlemine dayandırılabilir. Ancak, havuç+kırmızıbiber örneklerinde, vakum kurutma yönteminde, HMF miktarı uygulanan mutlak basınç seviyesi ve sıcaklık artışı ile istatistiksel olarak önemli değişim göstermemiştir ($p > 0,05$). Tüm pestil örneklerinde mikrodalga kurutma yöntemi en yüksek HMF sonucu vermiş olmakla birlikte mikrodalga gücünün 90 W yerine 180 W olarak yükseltilmesi de HMF miktarını artırmıştır. Sıcak hava yöntemi ile vakum kurutma yönteminin 60 °C sıcaklık seviyeleri karşılaştırıldığında, vakum kurutma yönteminde daha yüksek HMF sonuçları elde edilmiştir. Vakum kurutma yönteminde, sıcak havadan farklı olarak ısının kondüksiyonel olarak aktarılması, kurutma işleminin daha uzun sürmesine yol açmıştır. Dolayısıyla, uzun kurutma süresi nedeniyle HMF miktarında azalma görülmemiştir.

Literatürde Kanar ve Mazı (2019) dondurarak, sıcak hava, vakum, mikrodalga ve mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemleri ile kurutulan polen örneklerinde HMF değişimini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, dondurarak kurutulmuş polen örneklerinde taze polen örneklerine yakın HMF miktarı tespit edilmiştir. Sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinin polenin HMF içeriğinde önemli bir artışa neden olmadığını bildirmişlerdir. Öte yandan, araştırmacılar, bu tez çalışması ile benzer olarak, mikrodalga kurutma sırasında HMF miktarının uygulanan mikrodalga gücüne bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini bildirmişlerdir. En yüksek HMF miktarının da 450 ve

600 W güç seviyelerinde mikrodalga ve mikrodalga destekli vakum kurutma ile kurutulan numunelerden elde edildiğini bildirmişlerdir.

Boz ve diğerleri (2016) tarafından yapılan bir çalışmada dut pestillerinin HMF içeriği 67,92 – 140,42 mg/kg aralığında bulunmuş olup HMF miktarlarının, pişme süresi, sakkaroz ve glikoz şurubu kullanımından önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, dut pestillerinin HMF içeriğini glikoz ve sakkaroz şurubu ilavesi ile önemli ölçüde azalırken, pişirme süresiyle birlikte artış gösterdiğini bildirmiştir.

Kayısı pestilinin HMF içeriği üzerine farklı kurutma yöntemlerinin (güneşte kurutma, mikrodalga kurutma ve vakumlu etüvde kurutma) etkisinin araştırıldığı bir çalışmada en düşük HMF içeriği mikrodalga kurutma (13,62 mg/kg) ile sağlanmış ve bunu sırasıyla vakumlu etüvde kurutma (18,39 mg/kg) ve güneşte kurutma (45,64 mg/kg) izlemiştir (Suna ve diğerleri, 2014). Yıldız (2013) sade ve kuruyemiş ilavesi (ceviz veya fındık) ile üretilmiş dut pestillerinin HMF içeriğini 18,15 – 27,94 mg/kg olarak belirlemiştir.

Çalışmalar arasındaki bu farklılığın temel olarak üretimde kullanılan hammadde, formülasyon ve kurutma şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca pestil örneklerinde sonuçlarının ifade edildiği birim kuru madde bazında verildiğinde HMF miktarlarının daha yüksek çıktığı görülmektedir.

HMF miktarını azaltmak için, ön pişirme vakum altında düşük sıcaklıklarda uygulanabilir, ürün formülasyonlarına katılan şeker miktarı optimize edilebilir ve daha düşük sıcaklıklarda ürünün besin değerini koruyarak hızlı kurumasını sağlayan yeni kurutma yöntemleri uygulanabilir.

Çizelge 4.25. Havuç+domates pestili örneklerine ait HMF miktarları

Kurutma parametreleri	HMF miktarı (mg/kg km)
60 °C sıcak hava	111,65±5,12 e
70 °C sıcak hava	143,15±6,45 c
60 °C 150 mbar vakum	137,78±6,28 cd
60 °C 250 mbar vakum	143,29±4,55 c
70 °C 150 mbar vakum	125,17±6,06 d
70 °C 250 mbar vakum	131,23±6,94 cd
90W mikrodalga	216,22±8,40 b
180 W mikrodalga	289,24±12,04 a

^{a-e} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

Çizelge 4.26. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerine ait HMF miktarları

Kurutma parametreleri	HMF miktarı (mg/kg km)
60 °C sıcak hava	71,63±4,38 d
70 °C sıcak hava	105,63±6,80 c
60 °C 150 mbar vakum	104,61±10,35 c
60 °C 250 mbar vakum	115,69±8,80 bc
70 °C 150 mbar vakum	115,01±10,06 bc
70 °C 250 mbar vakum	117,91±4,16 bc
90W mikrodalga	136,26±12,24 b
180 W mikrodalga	620,84±28,10 a

^{a-d} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

Çizelge 4.27. Havuç pestili örneklerine ait HMF miktarları

Kurutma parametreleri	HMF miktarı (mg/kg km)
60 °C sıcak hava	99,28±4,62 d
70 °C sıcak hava	132,76±5,20 c
60 °C 150 mbar vakum	104,00±4,95 d
60 °C 250 mbar vakum	121,02±6,06 c
70 °C 150 mbar vakum	130,69±5,41 c
70 °C 250 mbar vakum	128,97±5,18 c
90W mikrodalga	218,30±10,01 b
180 W mikrodalga	297,91±13,62 a

^{a-d} Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir (p < 0,05)

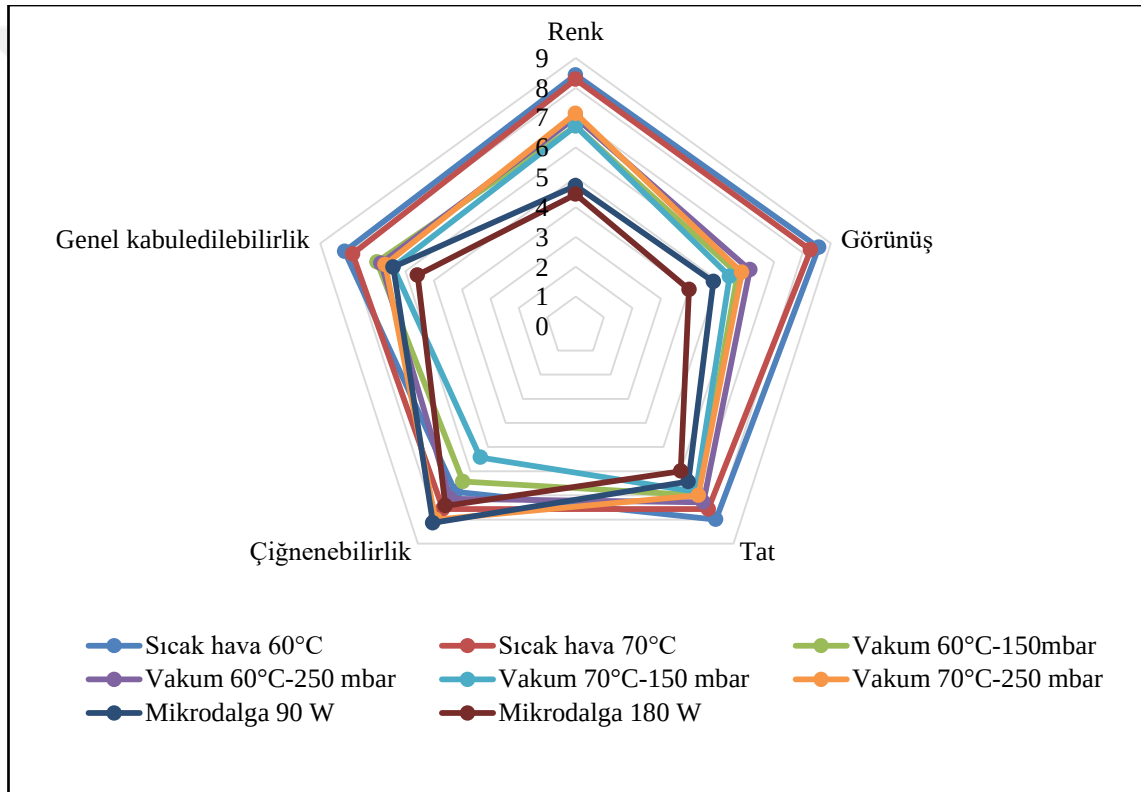
4.13. Duyusal Analiz Sonuçları

Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerine ait duyusal analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’ de sunulmuştur. Pestil örnekleri renk, görünüş, tat, çiğnenebilirlik ve genel kabuledilebilirlik gibi özellikler için dokuz noktalı hedonik teste tabi tutularak, organoleptik olarak değerlendirilmiştir.

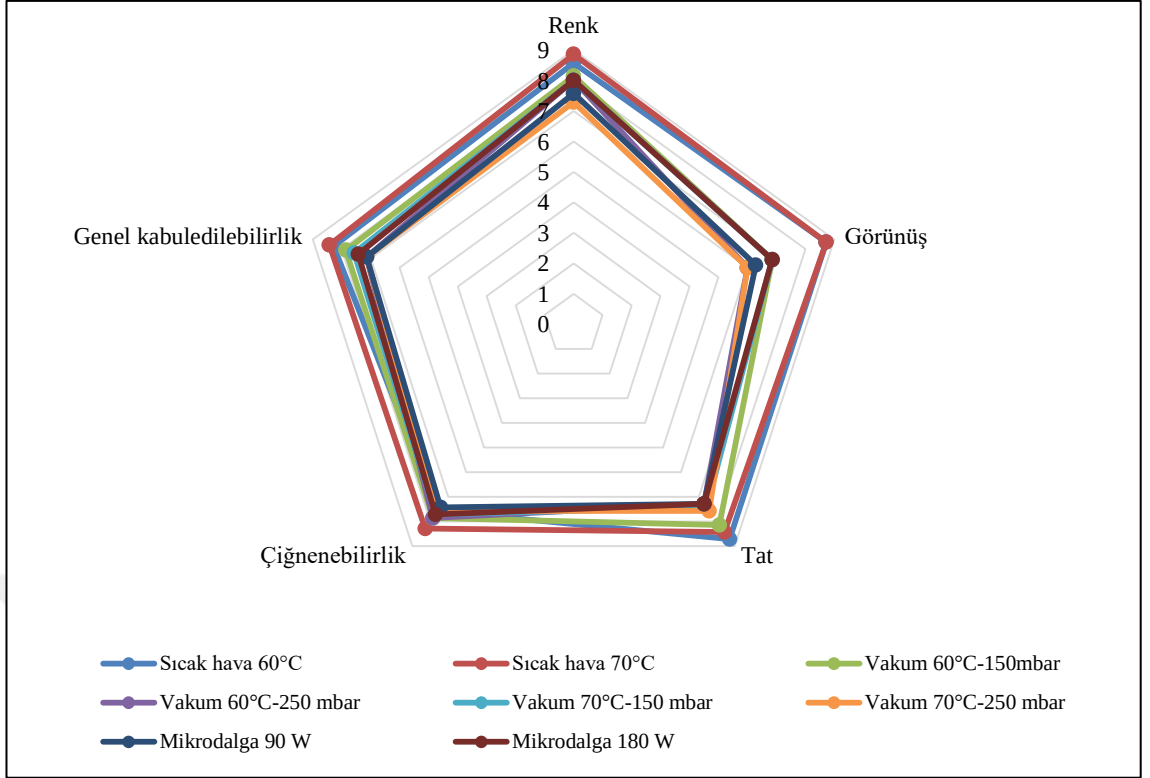
Havuç+ domates ve havuç pestili örneklerinde renk görünüş tat ve genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından en iyi sonucu 60 °C sıcak hava uygulaması vermiş olmasına rağmen, 90 W mikrodalga ile kurutulan pestiller çiğnenebilirlik parametresi bakımından panelistlerin beğenisini daha çok kazanmıştır. Çiğnenebilirlik özelliği için havuç+domates ve havuç pestilinde en düşük puanları sırasıyla, 70 °C 150 mbar ve 70 °C 250 mbar vakum kurutma uygulamaları almıştır. Bu durum, vakumlu kurutucuda kurutulan örneklerin daha sert bir tekstür kazanması ve bu nedenle çiğnenebilirlik özelliklerinin pestilde istenen yumuşaklığı yakalayamamasından kaynaklanıyor olabilir. Nitekim, bu sonuçlar, havuç+domates pestili örneklerinde yapılan tekstür analizinden elde edilen sertlik değerlerinin, en düşük 90 W mikrodalga uygulamasında çıkmasını doğrular niteliktedir. Ayrıca panelistlerin değerlendirmesine göre mikrodalga kurutma yönteminde (özellikle 180 W) ürünlerin yüzeylerinde yer yer yanıklar oluşmuş olup, bu

durum örneklerin renk, görünüş, tat ve genel kabul edilebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyerek daha düşük puan almasına neden olmuştur.

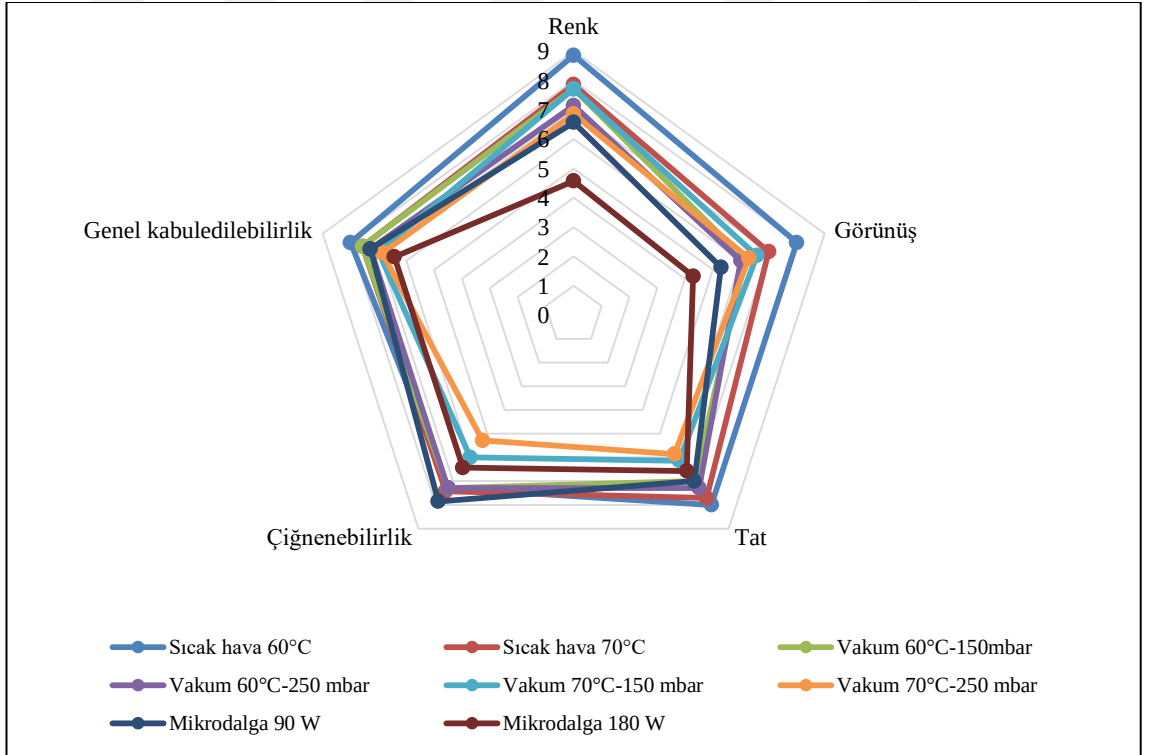
Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde tüm duyuşal özellikler bakımından, panelistler tarafından en beğenilen örnek 70 °C sıcak hava ile kurutulan pestiller olmuştur. Diğer uygulamalar arasında 60 °C 150 mbar kurutma koşulu tat ve genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından öne çıksa da renk, tat ve çiğnenebilirlik parametreleri bakımından istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$).



Şekil 4.40. Havuç+domates pestillerine ait duyuşal analiz sonuçları



Şekil 4.41. Havuç+kırmızıbiber pestillerine ait duyu analizi sonuçları



Şekil 4.42. Havuç pestillerine ait duyu analizi sonuçları

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, sıcak hava (60, 70 °C), vakum (60, 70 °C ve 150, 250 mbar) ve mikrodalga (90, 180 W) kurutma yöntemleri kullanılarak üretilen havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, karotenoid madde, mineral madde, tekstürel ve duyuşal özellikleri ile birlikte *in vitro* biyoerişilebilirliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca farklı kurutma yöntem ve koşullarında üretilen pestil örneklerinin kuruma karakteristiklerinin matematiksel olarak modellenmesi ile birlikte biyoaktif bileşen ve renk değişim kinetiklerini belirlemek için sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinde kuruma süreleri sırasıyla; 23 – 290, 25 – 225 ve 20 – 300 dakika arasında değişiklik göstermiş olup, pestil örneklerinin tamamında en hızlı kurutma 180 W mikrodalgada, en yavaş kurutma ise 60 °C 250 mbar vakum kurutma ile elde edilmiştir.
- Pestil örneklerinin kurutulması sırasında tüm kurutma yöntemlerinde yer yer sabit hızda kuruma periyodu ile birlikte genellikle azalan hızda kuruma periyodu görülmüştür. Ayrıca, kurutma yöntemlerindeki sıcaklık ve güç değerlerinin artması kuruma hızını artırmış, mutlak basıncın artması daha geç kurumaya yol açmıştır.
- Pestil örneklerinin kuruma karakteristiklerini ortaya koyan en uygun modeller havuç+domates pestilinde Page, Modifiye Page ve Wang&Sing, diğer pestillerde Page ve Modifiye Page olarak belirlenmiştir.
- Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestillerinin farklı kurutma parametrelerine ait efektif nem difüzyon katsayı (D_{eff}) değerlerinin sırasıyla, $1,96 \times 10^{-8}$ – $2,19 \times 10^{-7}$, $2,45 \times 10^{-8}$ – $9,93 \times 10^{-8}$ ve $1,90 \times 10^{-8}$ – $2,72 \times 10^{-8}$ m²/s arasında değiştiği hesaplanmıştır. Tüm pestillerde en düşük D_{eff} değerleri 60 °C 250 mbar vakum kurutma ile elde edilirken en yüksek sonucu 180 W mikrodalga uygulaması ile elde edilmiştir.

- Toplam fenolik madde içeriği havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestilleri için kurutma süresi ile artış gösterirken havuç pestilinde kurutma süresi ile azalma göstermiştir. Toplam antioksidan kapasite değerleri, tüm örnekler için kurutma süresi artışı ile azalma göstermiştir.
- *In vitro* gastrointestinal sindirim sonrasında pestil örneklerinin karışımlarına kıyasla daha fazla biyoerişilebilir toplam fenolik maddeye ve toplam antioksidan kapasiteye sahip olduğu görülmüştür.
- Araştırma sonuçları, pestil örneklerinde karotenoid madde içeriğinin kurutma ile azalma göstermesine rağmen, *in vitro* gastrointestinal sindirim pestil örneklerinin karışımlarına kıyasla daha fazla biyoerişilebilir karotenoid maddeye sahip olduğunu göstermiştir.
- Bu bulgular dikkate alındığında, kurutma işleminin, fenolik madde, antioksidan kapasite ve karotenoidlerin biyoerişilebilirliğini arttırmak için alternatif bir strateji olabileceği söylenebilir.
- Kurutma koşullarından elde edilen en yüksek değerler dikakte alındığında havuç pestiline domates ve kırmızıbiber ilave etmek ürünün toplam fenolik madde içeriğini ve antioksidan kapasitesini artırırken; β -karoten miktarını azaltmıştır. Ancak, domates ve kırmızıbiber ilavesi havuç pestillerinin karotenoid profilinin çeşitlenmesine sebep olmuştur.
- Pestil örneklerinin toplam fenolik madde değişimini en iyi açıklayan reaksiyon modeli koşula göre değişmekle birlikte sıfıncı ve birinci dereceden reaksiyon modelleri olmuştur. Toplam antioksidan kapasite değişimini açıklayan model kullanılan analiz yöntemlerinde farklılık göstermiş olup DPPH ve FRAP yöntemleri için birinci, CUPRAC yöntemi için sıfıncı dereceden reaksiyon modeli olmuştur.
- Pestil örneklerinin likopen ve β -karoten değişimi en iyi birinci dereceden reaksiyon modeli ile açıklanmıştır.
- L^* , a^* , b^* renk değerleri kurutma ile azalma göstermiş olup, istisnai olarak domates+havuç pestilinde a^* değeri kurutma ile artmıştır.
- Tüm pestil örneklerinin L^* değeri, havuç+kırmızıbiber pestillerinin b^* değeri ve havuç pestillerinin a^* değeri her iki kinetik modele de uyum sağlamıştır. Bununla birlikte, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestillerinin a^*

değerini sıfırıncı dereceden reaksiyon modeli, havuç+domates ve havuç pestillerinin b^* değerini birinci dereceden reaksiyon modeli en iyi açıklamıştır.

- Pestillerin mineral madde (Na, K, Ca, Mg, P, Mn, Fe, Zn, Cu) içeriği kurutulmamış karışımlarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur.
- Pestil örneklerinin tekstürel özellikleri (sertlik, dış yapışkanlık, elastikiyet, sakızimsılık, çiğnenebilirlik) arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. En yüksek sertlik değerleri havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili için sırasıyla 70 °C 150 mbar vakum, 70 °C sıcak hava ve 180 W mikrodalga kurutmada elde edilirken en düşük değerler yine sırasıyla, 90 W mikrodalga, 90 W mikrodalga ve 60 °C 250 mbar vakum kurutma koşullarında bulunmuştur. Havuç, havuç+domates ve havuç+kırmızıbiber pestili örnekleri için en yüksek dış yapışkanlık değerleri sırasıyla, 70 °C 250 mbar vakum (-202,73 g.s), 60 °C sıcak hava (-333,96 g.s) ve 90 W mikrodalga (-409,30 g.s) kurutma koşullarından elde edilmiştir. Sıcak hava ve vakum kurutma yöntemlerinde kurutma sıcaklığının artması, vakum kurutma yönteminde mutlak basıncın düşmesi ve mikrodalga kurutma yönteminde mikrodalga gücünün artması havuç ve havuç+domates pestili örneklerinin daha elastik bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Ancak havuç+kırmızıbiber pestillerinin sıcak hava ile kurutulmasında kurutma sıcaklığının artması ürünün elastikiyetini istatistiksel olarak değiştirmemiştir ($p > 0,05$). Çiğnenebilirlik ve sakızimsılık kurutma yöntem ve koşulları bakımından sertlik sonuçları ile uyum sağlamıştır.
- Havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinde HMF miktarı sırasıyla 111,65 – 289,24, 71,63 – 620,84 ve 99,28 – 297,91 mg/kg km aralıklarında tespit edilmiş olup, tüm pestil örneklerinde HMF miktarı en az 60 °C sıcak hava, en çok 180 W mikrodalga kurutma sonucunda elde edilmiştir.
- Havuç+ domates ve havuç pestili örneklerinde renk görünüş tat ve genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından en iyi sonucu 60 °C sıcak hava uygulaması vermiş olmasına rağmen, 90 W mikrodalga ile kurutulan pestiller çiğnenebilirlik parametresi bakımından panelistlerin beğenisini daha çok kazanmıştır. Havuç+kırmızıbiber pestili örneklerinde tüm duyuşal özellikler bakımından,

panelistler tarafından en beğenilen örnek 70 °C sıcak hava ile kurutulan pestiller olmuştur.

- Daha çok turşu, salça ve konserveye işlenen sebzeler (özellikle kırmızıbiber) için yeni bir değerlendirme olanağı kazandırılmış olup; besleyici değeri yüksek, fitokimyasallar bakımından zengin ürünler elde edilmiştir. Sağlıklı beslenmeye özen gösteren insanların, çocukların, askerlerin, hamilelerin; şekerleme, çikolata, cips ve bisküvi gibi besleyici değeri düşük olan ürünler yerine tüketebilecekleri alternatif bir ürün elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Abe, T. ve Afzal, T. M. (1997). Thin-layer infrared radiation drying of rough rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67, 289–297. doi:10.1006/jaer.1997.0170
- Ahmed, J., Shivhare, U. S. ve Kaur, M. (2002). Thermal colour degradation kinetics of mango puree. *International Journal of Food Properties*, 5 (2), 359-366, doi:10.1081/JFP-120005791
- Akar, G. ve Mazı, I. B. (2019). Color change, ascorbic acid degradation kinetics, and rehydration behavior of kiwifruit as affected by different drying methods, *Journal of Food Process Engineering*, 42 (3), e13011. doi:10.1111/jfpe.13011
- Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P. C., Shahidi, F. ve Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry*, 89 (1), 69-76. doi:10.1016/j.foodchem.2004.02.013
- Albanese, D., Cinquanta, L., Cuccurullo, G. ve Di Matteo, M. (2013). Effects of microwave and hot-air drying methods on colour, β -carotene and radical scavenging activity of apricots. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 1327-1333. doi:10.1111/ijfs.12095
- Alibaş, İ. (2012). Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 43-53. doi:10.1501/Tarimbil_0000001191
- Anonim. (2000). Üzüm pestili, TS12680, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Anonim. (2021a). Kuru meyve ve mamülleri sektörü <http://www.iib.org.tr/files/downloads/PageFiles/%7BE15005A6-4B2B-4C43-B29A-D4FD273CCD8C%7D/Files/Kurumeyve%202023%20Proje%20Raporu.pdf>
- Anonim. (2021b). Türkiye Geneli ve İİB Mal Grupları ve Ülkeler Bazında Kuru Meyve Ve Mamulleri İhracatı http://www.iib.org.tr/files/downloads/PageFiles/%7Bddc5367f-7a2b-43b5-9751-60e68712e243%7D/Files/IIB_ULKELER_VE_URUNLER_BAZINDA_KURU_MEY_VE_VE_MAM_IHRACAT_RAPORU_2020.pdf
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. ve Çelik, S. E. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 160, 413-419. doi: 10.1007/s00604-007-0777-0
- Apak, R., Ozyurek, M., Guclu, K. ve Capanoglu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles,

mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64 (5), 997-1027. doi:10.1021/acs.jafc.5b04739

Arpacı, B. B. (2009). *Phytophthora Capsici'ye dayanıklı biber hatlarının ve melezlerinin Kahramanmaraş koşullarındaki arazi dayanıklılıkları ile verim ve kaliteleri* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Aslanova, D., Bakkalbasi, E. ve Artık, N. (2010). Effect of storage on 5-Hydroxymethyl furfural (HMF) formation and color change in jams. *International Journal of Food Properties*, 13 (4), 904-912. doi:10.1080/10942910902908896

Avhad, M. R. ve Marchetti, J. M. (2016). Mathematical modelling of drying kinetics of Hass avocado seeds. *Industrial Crops and Products*, 91, 76-87. doi:10.1016/j.indcrop.2016.06.035

Babalıs, S. J. ve Belessiotis, V. G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65, 449-458. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005

Barba, A. O., Hurtado, M. C., Mata, M. S., Ruiz, V. F. ve De Tejada, M. L. S. (2006). Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95(2), 328-336. doi:10.1016/j.foodchem.2005.02.028

Başkaya Sezer, D. ve Demirdöven, A. (2015). Meyve sebze işlemede mikrodalga haşlama uygulamaları. *Gıda*, 40 (3), 171-177. doi: 10.15237/gida.GD14048

Batu, A., Kaya, C., Çatak, J. ve Şahin, C. (2007). Pestil üretim tekniği. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 71-81.

Benzie, I. F. F. ve Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. doi:10.1007/s00604-007-0777-0

Bhattacharya M., Srivastav, P. P. ve Mishra, H. N. (2015). Thin-layer modeling of convective and microwave-convective drying of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2013-2022. doi:10.1007/s13197-013-1209-2

Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A. ... Schulze, M. (2012). Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, 51(6), 637-663. doi:10.1007/s00394-012-0380-y

Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, 72 (7), 429-452. doi:10.1111/nure.12114

Bouayed, J., Hoffmann, L. ve Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion

and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128 (1), 14-21. doi:10.1016/j.foodchem.2011.02.052

Bourna, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement* (2nd ed.). San Diego: Elsevier.

Boyer, J., Liu R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3 (1), 1-15. doi:10.1186/1475-2891-3-5

Boz, H. (2012). *Dut pestilinin kimyasal, dokusal ve duyuşsal özelliklerine buğday unu, sakkaroz şurubu, glikoz şurubu ve pişirme süresinin etkileri* (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=ScAyIcH18cxS8DNuFBP-RA&no=1i_BW6Pnz3sy5Jj8FYEEuQ

Boz, H., Karaoğlu, M. M. ve Kaban, G. (2016). The effects of cooking time and sugar on total phenols, hydroxymethylfurfural and acrylamide content of mulberry leather (pestil). *Quality Assurance of Safety of Crops & Foods*, 8 (4), 493-500. doi:10.3920/QAS2014.0558

Buggenhouta, S. V., Almingerb, M., Lemmensa, L., Collea, I., Knockaerta, G., Moelantsa, K. ... Hendrickxa, M. (2010). In vitro approaches to estimate the effect of food processing on carotenoid bioavailability need thorough understanding of process induced microstructural changes. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 607-618. doi:10.1016/j.tifs.2010.09.010

Cagindi, O. ve Otles, S. (2005). Comparison of some properties on the different types of pestil: a traditional product in Turkey. *International Journal of Food Science & Technology*, 40, 897-901. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.00962.x

Cemeroğlu, B. S. (2013). *Gıda mühendisliğinde temel işlemler*. Ankara: Bizim Grup Basımevi.

Cesur, Ö. (2013). *Kurutma metodları ve şartlarının nar tanesinin kurutma kinetiği ve kalitesi üzerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=HWaLRjofDwWqJnW1djnt9w&no=wRT9cVdLwyj_6Tx8SQPI_A

Chen, Y. ve Martynenko, A. (2018). Combination of hydrothermodynamic (HTD) processing and different drying methods for natural blueberry leather. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 470-477. doi:10.1016/j.lwt.2017.09.030

Chen, H. E., Peng, H. Y. ve Chen, B. H. (1995). Changes of carotenoids, color and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43 (7), 1912-1918. doi:10.1021/jf00055a029

Chowdhury, M. M. I., Bala, B. K. ve Haque, M. A. (2011). Energy and exergy analysis of the solar drying of jackfruit leather. *Biosystems Engineering*, 110 (2), 222-229, doi:10.1016/j.biosystemseng. 2011.08.011

Chua, K.J., Chou, S.K., Ho, J.C. ve Hawlader, M.N.A. (2002). Heat pump drying: Recent developments and future trends. *Drying Technology*, 20 (8), 1599-1602. doi:10.1081/DRT-120014053

Compaore, A., Putranto, A., Dissa, A. O., Ouoba, S., Remond, R., Rogaume, Y. ... Koulidiati, J. (2019). Convective drying of onion: modelling of drying kinetics parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (7), 3347-3354. doi:10.1007/s13197-019-03817-3

Concha-Meyer, A. A., D'Ignoti, V., Saez, B., Diaz, R. I. ve Torres, C. A. (2016). Effect of storage on the physico-chemical and antioxidant properties of strawberry and kiwi leathers. *Journal of Food Science Institute of Food Technologists*, 81 (3), 569-577.

Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. 2nd Edition. London: U.K.Oxford University Press.

Çelen, S., Buluş, H. N., Moralar, A., Haksever, A. ve Özsoy, E. (2016). Mikrodalga bantlı kurutucunun gıda kurutmada kullanılabilirliği ve modellenmesi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 13 (4), 71-83. doi:10.17339/ejovoc.63399

Dadalı, G. (2007). *Bamya ve ispanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi:

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=5P6wzfHpuFcqVx07vYRomw&no=yJoiFq6ubKJ05xi9UaN0vg>

Dadalı, G., Demirhan, E. ve Özbek, B. (2007). Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25, 1713-1723. doi: 10.1080/07373930701590988

Dadalı, G., Kılıç Apar, D. ve Özbek, B. (2007). Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology*, 5, 917-924. doi:10.1080/07373930701372254

Darvishi, H., Khoshtaghaza, M. H. ve Minaei, S. (2014). Drying kinetics and color change of lemon slices. *International Agrophysics*, 28, 1-6. doi:10.2478/intag-2013-0021

Demiray, E. (2009). *Kurutma işleminde domatesin likopen, β -karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <http://acikerisim.pau.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11499/1415/Engin%20Demiray.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Demiray, E. ve Tulek, Y. (2014). Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer. *Heat and Mass Transfer*, 50, 779–786. doi:10.1007/s00231-013-1286-9

Demiray, E., Tulek, Y. ve Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT- Food Science and Technology*, 50, 172-176. doi:10.1016/j.lwt.2012.06.001

Dewanto, V., Wu, X. ve Liu, R. H. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (17), 4959–4964. doi:10.1021/jf0255937

Diplock, A. T., Charleux, J. L., Crozier-Willi, G., Kok, F. J., Rice-Evans, C., Roberfroid, M. ... Vina-Ribes, J. (1998). Functional food science and defence against reactive oxidativespecies. *British Journal of Nutrition*, 80, 77–112. doi:10.1079/BJN19980106

Divya, P., Puthusseri, B. ve Neelwarne, B. (2012). Carotenoid content, its stability during drying and the antioxidant activity of commercial coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties. *Food Research International*, 45, 342-350. doi:10.1016/j.foodres.2011.09.021

Doymaz, I. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69, 275–279. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.08.019

Doymaz, I. (2006). Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 76, 212-217. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.05.009

Duman, A., Zorlugenç, B. ve Evliya, B. (2002). Kahramanmaraş'ta Kırmızı Biberin Önemi ve Sorunları. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 111-117. Erişim adresi: <http://jes.ksu.edu.tr/tr/>

Durmus, M., Yetgin, O., Abed, M. M., Haji, E. K. ve Akcay K. (2018). Domates Bitkisi, Besin İçeriği ve Sağlık Açısından Değerlendirmesi. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 1 (2), 59-74. doi:10.38001/ijlsb.482443

Ekşi, A. ve Artık, N. (1984). Pestil işleme tekniği ve kimyasal bileşimi. *Gıda*, 9 (5), 263-266. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gida>

Erbay, Z. ve İçer, F. (2009). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 441-464. doi:10.1080/10408390802437063

Erdoğan, B. (2013). *Kırmızıbiber salçası üretimi süresince antioksidan özelliklerdeki değişim* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=C7Hw8SdKd5MzMp0ZcUT0_A&no=G8ai6vRYQpuUS4LGSh7t1w

Ertekin, C. ve Yaldiz, O. (2014). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007

Ertekin Filiz, B. ve Seydim, A.C. (2018). Kinetic changes of antioxidant parameters, ascorbic acid loss, and hydroxymethyl furfural formation during apple chips production. *Journal of Food Biochemistry*, 42, e12676. doi:10.1111/jfbc.12676

Evin, D. (2011). Microwave drying and moisture diffusivity of white mulberry: experimental and mathematical modelling. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25, 2711-2718. doi:10.1007/s12206-011-0744-x

Fissore, D., Pisano, R. ve Barresi, A. A. (2014). Applying quality-by-design to develop a coffee freeze-drying process. *Journal of Food Engineering*, 123, 179-187. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.09.018

Fратиanni, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G. ve Di Matteo, M. (2013). Degradation of carotenoids in apicot (*Prunus armeniaca* L.) during drying process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 241-246. doi:10.1007/s11130-013-0369-6

Garau, M. C., Simal, S., Rosello, C. ve Femenia, A. (2007). Effect of air drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024. doi:10.1016/j.foodchem.2007.01.009

Geankoplis, C. J. (2011). *Taşıma süreçleri ve ayırma süreci ilkeleri*. İzmir: Güven Kitabevi.

Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E. B., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Willett ve W. C. (1995). Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 87, 1767-1776. doi: 10.1093/jnci/87.23.1767

Göksel, M., Dogan, M., Toker, O. S., Ozgen, S., Sarioglu, K. ve Oral, R. A. (2013). The effect of starch concentration and temperature on grape molasses: Rheological and textural properties. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 259-271. doi:10.1007/s11947-011-0705-5

Gujral, H. S. ve Khanna, G. (2002). Effect of skim milk powder, soy protein concentrate and sucrose on the dehydration behaviour, texture, color and acceptability of mango leather. *Journal of Food Engineering*, 55, 343-348. doi:10.1016/S0260-8774(02)00112-7

Gumusay, O. A., Borazan, A. A., Ercal, N. ve Demirkol, O. (2015) Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food Chemistry*, 173, 156-162. doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.162

- Gupta, S., Gupta, S. N., Gupta, N. ve Jaggi, S. (2016). Economic analysis of pumpkin and papaya as fruit leathers and their utilization as protective cover against cancer in the medical science. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 4 (1), 35-50. doi:10.21088/ijfnd.2322.0775.4116.5
- Gupta, K. ve Alam, M. S. (2014). Modeling of thin layer drying kinetics of grape juice concentrate and quality assessment of developed grape leather. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16 (2), 196-207.
- Gül, D., Dikmen, E. ve Şencan Şahin, A. (2014). Isı pompası destekli vakumlu kurutucu tasarımı. *Süleyman Demirel University International Technologic Science*, 6(1), 13-21. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd>
- Günhan, T., Demir, V., Hancioglu, E. ve Hepbasli, A. (2005). Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46 (11–12), 1667-1679. doi:10.1016/j.enconman.2004.10.001
- Gürlek, G., Akdemir, Ö. ve Güngör, A. (2015). Gıda kurutulmasında ısı pompalı kurutucuların kullanımı ve elma kurutmada uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(9), 398-403. doi: 10.5505/pajes.2015.35761
- Hawladar, M. N. A., Chou, S. K., Jahangeer, K. A., Rahman, S. M. A. ve Eugene Lau, K.W. (2003). Solar-assisted heat-pump dryer and water heater. *Applied Energy*, 74, 185-193. doi:10.1016/S0306-2619(02)00145-9
- Heldman, D. R. ve Hartel, R. W. (1997). *Principles of food processing*. New York: 3 Chapman & Hall Publication.
- Henríquez, C., Córdova, A., Almonacid, S. ve Saavedra, J. (2014). Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. *Journal of Food Engineering*, 143, 146–153. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.06.037
- Hornero-Méndez, D. ve Mínguez-Mosquera, M. I. (2007). Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8 (3), 407–412. doi:10.1016/j.ifset.2007.03.014
- Huang, M., Kennedy, J. F., Li, B., Xu, X. ve Xie, B. J. (2007). Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers*, 69, 411–418. doi:10.1016/j.carbpol.2006.12.025
- Huang, X. ve Hsieh, F. (2005). Physical properties, sensory attributes, and consumer preference of pear fruit leather. *Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties*, 70 (3), 177-186. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb07133.x
- Jaiswal, A. K. ve Abu-Ghannam, N. (2013). Degradation kinetic modelling of color, texture, polyphenols and antioxidant capacity of York cabbage after microwave processing. *Food Research International*, 53, 125-133. doi:10.1016/j.foodres.2013.04.007

Jaswir, I. Che Man, Y., Selamat, J., Ahmad, F. ve Sugisawa, H. (2008). Retention of volatile components of durian fruit leather during processing and storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 740–750. doi:10.1111/j.1745-4549.2008.00211.x

Jeffery, J. L., Turner, N. D. ve King, S. R. (2012). Carotenoid bioaccessibility from nine raw carotenoid-storing fruits and vegetables using an in vitro model. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 2603-2610. doi:10.1002/jsfa.5768

Juan Yu, L. ve Vasantha Rupasinghe, H. P. (2013). Improvement of cloud stability, yield and -carotene content of carrot juice by process modification. *Food Science and Technology Internationali*, 19 (5), 399–406. doi:10.1177/1082013212455342

Kaçar, B. (2010). *Bitki analizleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Kamiloglu, S. (2019a). Endüstriyel dondurma işlemi ve *in vitro* gastrointestinal sindirim sırasında taze fasulyenin fenoliklerinde, flavonoidlerinde ve antioksidan kapasitesinde meydana gelen değişimler. *Akademik Gıda*, 17 (2), 176-184. doi: 10.24323/akademik-gida.613559

Kamiloglu, S. (2019b). Bireysel hızlı dondurma işlemi basamaklarının granny smith elmaların polifenol içeriği ve antioksidan kapasitesine etkileri. *Akademik Gıda*, 17 (1), 38-46.

Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D. ve Capanoglu, E. (2014). Home processing of tomatoes (*Solanum lycopersicum*): effects on in vitro bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2225–2233. doi:10.1002/jsfa.6546

Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. D. ve Capanoglu, E. (2016). A review on the effect of drying on antioxidant potential of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 110–129. doi:10.1080/10408398.2015.1045969

Kamiloglu, S. ve Capanoglu, E. (2014). In vitro gastrointestinal digestion of polyphenols from different molasses (pekmez) and leather (pestil) varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 1027–1039. doi:10.1111/ijfs.12396

Kanar, Y. ve Mazi, G. (2019). HMF formation, diastase activity and proline content changes in bee pollen dried by different drying methods. *LWT-Food Science and Technology*, 113, 108273. doi:10.1016/j.lwt.2019.108273

Karaaslan, S. (2008). *Sebze ve endüstri bitkilerinin mikrodalgayla kurutulması üzerine çalışmalar* (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=IZCPVVuXao_Skbxa7tv4og&no=oXUTQISLfsvmEW1clBjR3Q

- Karaaslan, S., Ekinci, K. ve Akbolat, D. (2017). Drying characteristics of sultana grape fruit in microwave dryer. *Polish Academy of Sciences*, 4(1), 1317–1327. doi:10.14597/INFRAECO.2017.4.1.101
- Katalinic, V., Milos, M., Kulisic, T.ve Jukic, M. (2006). Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food Chemistry*, 94(4), 550-557. doi:10.1016/j.foodchem.2004.12.004
- Kaushal, M., Dhiman, A., Gupta, A. ve Vaidya, D. (2017). Formulation, acceptability and storage stability of appetized ginger plum leather. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2 (1), 389-396. doi:10.22161/ijeab/2.1.49
- Kaya, A., Aydın, O. ve Kolaylı, S. (2010). Effect of different drying conditions on the vitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa* Planch). *Food and Bioproducts Processing*, 88, 165-173. doi:10.1016/j.fbp.2008.12.001
- Kaya, A., Kamer, M. S. ve Şahin, H. E. (2015). Trabzon Hurmasının (Diospyros Kaki L.) Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi. *Gıda*, 40 (1), 15-21. doi: 10.15237/gida.GD14056
- Kayacan, S., Karasu, S., Akman, P. K., Goktas, H. ve Doymaz, I. (2020). Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. *LWT-Food Science and Technology*, 118, 108830. doi:10.1016/j.lwt.2019.108830
- Kayran, S. ve Doymaz, İ. (2017). Determination of drying kinetics and physicochemical characterization of apricot pomace in hot-air dryer. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130, 1163–1170. doi:10.1007/s10973-017-6504-0
- Kerkhofs, N. S., Lister, C. E. ve Savage, G. P. (2005). Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced air drying. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60, 117-121. doi:10.1007/s11130-005-6839-8
- Kızmaz, A. (2019). *Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan kivi dilimlerinin adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=9aZeXy7UUJaytb3xp5NefQ&no=cK6Ymv1AHKV_fPUmM_bo9g
- Koca, N., Burdurlu, H. S. ve Karadeniz, F. (2007). Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78, 449-455. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.014
- Koç, E. ve Yolcu Ömeroğlu, P. (2019). Geleneksel anjelika (melek otu) reçelinin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri. *Akademik Gıda*, 17 (4), 485-496. doi:10.24323/akademik-gida.667262

Krinsky, N. I. ve Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 459-516. doi:10.1016/j.mam.2005.10.001

Kumar, D. G. P., Hebbar, H. U. ve Ramesh, M. N. (2006). Suitability of thin layer models for infrared-hot air-drying of onion slices. *LWT - Food Science and Technology*, 39, 700-705. doi:10.1016/j.lwt.2005.03.021

Kutlu, N. (2013). *Domates, kabak ve patlıcanın kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=ZWdWAEPO6W8WNE75wIXdSA&no=9nVYYQr-u4rY5QS0Gzs2oA>

Kutlu, N., İşçi, A. ve Şakıyan Demirkol, Ö. (2015). Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda*, 40 (1), 39-46. doi: 10.15237/gida.GD14031

Lee, G ve Hsieh, F. (2008). Thin-layer drying kinetics of strawberry fruit leather. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 51 (5), 1699-1705. doi: 10.13031/2013.25292

Lee, J. H. ve Zuo, L. (2013). Mathematical modeling on vacuum drying of Zizyphus jujube Miller slices. *Journal of Food Science and Technology*, 50(1): 115-121, doi:10.1007/s13197-011-0312-5

Limpaiboon, K., Technology, A. ve Thammarat, N. S. (2011) Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Pumpkin Slices. *Walailak Journal of Science and Technology*, 8, 159–166. doi:10.2004/wjst.v8i2.23

Liu, X., Qiu, Z., Wang, L., Cheng, Y., Qu, H. ve Chen, Y. (2009). Mathematical modelling for thin layer vacuum belt drying of Panax notoginseng extract. *Energy Conversion and Management*, 50, 928-932. doi:10.1016/j.enconman.2008.12.032

Lixia, H., Bo, L. ve Shaojin, W. (2015). Kinetics of color degradation of chestnut kernel during thermal treatment and storage. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8 (4), 106–115. doi:10.3965/j.ijabe.20150804.1477

Madamba, P. S., Driscoll, R. H. ve Buckle, K. A. (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75-97. doi:10.1016/0260-8774(95)00062-3

Maskan, A., Kaya, S. ve Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54, 81–88. doi:10.1016/S0260-8774(01)00188-1

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying, *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 169-175. doi:10.1016/S0260-8774(00)00154-0

- Materska, M. ve Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (5), 1750-1756. doi:10.1021/jf035331k
- McMinn, W. A. M. (2006). Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72, 113-123. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.11.025
- Midilli, A., Küçük, H. ve Yapar, Z. (2002). A new model for singlelayer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. doi:10.1081/DRT-120005864
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Balance, S., Bohn, T., Bourlieu, C. ... Brodtkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. *Food & Function*, 5, 1113-1124. doi:10.1039/C3FO60702J
- Momchilova, M., Zsivanovits, G., Milkova-Tomova, Il., Buhalova, D. ve Dojkova, P. (2016). Sensory and texture characterisation of plum (*Prunus Domestica*) fruit leather. *Bulgarian Chemical Communications*, 48, 428-434.
- Mrad, N. D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F. ve Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts processing*, 90, 433–441. doi:10.1016/j.fbp.2011.11.009
- Mutsokoti, L., Panozzo, A., Musabe, E. T., Van Loey, A. ve Hendrickx, M. (2015). Carotenoid transfer to oil upon high pressure homogenisation of tomato and carrot based matrices. *Journal of Functional Foods*, 19, 775-785. doi:10.1016/j.jff.2015.10.017
- Narisawa, T., Fukaura, Y., Hasebe, M., Ito, M., Aizawa, R., Murakoshi, M. ... Nishino H. (1996). Inhibitory effects of natural carotenoids, α -carotene, β -carotene, lycopene and lutein on colonic aberrant crypt foci formation in rats. *Cancer Letters*, 107, 137–142. doi:10.1016/0304-3835(96)04354-6
- National Institutes of Health. (2020). Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK56068/table/summarytables.t3/?report=objectonly>
- Nemli, E., Ozakdogan, S., Tomas, M., McClements, D. J. ve Capanoglu, E. (2021). Increasing the bioaccessibility of antioxidants in tomato pomace using excipient emulsions. *Food Biophysics*, 16, 355–364. doi:10.1007/s11483-021-09674-y
- Nicolle, C., Gueux, E., Lab, C., Jaffrelo, L., Rock, E., Mazur, A. ... Rémésy, C. (2004). Lyophilized carrot ingestion lowers lipemia and beneficially affects cholesterol metabolism in cholesterol-fed C57BL/6J mice. *European Journal of Nutrition*, 43 (4), 237-245. doi:10.1007/s00394-004-0465-3

- Obanda, M. ve Owuor, P. O. (1997). Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 209–215. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(199706)74:2%3C209::AID-JSFA789%3E3.0.CO;2-4
- Obero, D. P. S. ve Sogi, D. S. (2015). Drying kinetics, moisture diffusivity and lycopene retention of watermelon pomace in different dryers. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11): 7377–7384. doi:10.1007/s13197-015-1863-7
- Offia-Olua, B. I. ve Ekwunife, O. A. (2015). Production and evaluation of the physico-chemical and sensory qualities of mixed fruit leather and cakes produced from apple (Musa Pumila), banana (Musa Sapientum), pineapple (Ananas Comosus). *Nigerian Food Journal*, 33, 22–28. doi:10.1016/j.nifoj.2015.04.004
- Overhults, D. D., White, G. M., Hamilton, M. E. ve Ross, I. J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, 16, 195–200. doi:10.13031/2013.37459
- Özdemir, M. ve Devres, Y. O. (1999). The thin layer characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225–233. doi:10.1016/S0260-8774(99)00126-0
- Özkan Karabacak, A. (2019). Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in-vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer*, 55, 2739–2750. doi:10.1007/s00231-019-02611-3
- Özkan Karabacak, A., Acoglu, B., Yolci Ömeroglu, P. ve Çopur, Ö. U. (2020). Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43, e13511. doi:10.1111/jfpe.1351
- Özkan Karabacak, A. ve Çopur, Ö. U. (2021). Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen karışık sebze pestilinin kuruma karakteristikleri, renk değişim kinetiği, mineral madde içeriği ve tekstürel özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 46 (1), 1–20. doi: 10.15237/gida.GD20090
- Panchariya, P. C., Popovic, D. ve Sharma, A. L. (2002). Thin layer modeling of black tea drying process, *Journal of Food Engineering*, 52 (4), 349–357. doi: 10.1016/S0260-8774(01)00126-1
- Parada, J. ve Aguilera, J. M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72, 21–32. doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x
- Pratt, G. H. (1974). *Timber Drying Manual*. Londra: Building Research Establishment Report.

Ramesh, M. N., Wolf, W., Tevini, D. ve Bognar, A. (2002). Microwave blanching of vegetables. *Journal of Food Science*, 67 (1), 390-398. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb11416.x

Rao, A. V. ve Agarwal, S. (1999). Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review. *Nutrition Research*, 19 (2), 305-323. doi:10.1016/S0271-5317(98)00193-6

Phimpharian C., Jangchud, A., Jangchud, K., Therdthai, N., Prinyawiwatkul, W. ve No, H. K. (2011). Physicochemical characteristics and sensory optimisation of pineapple leather snack as affected by glucose syrup and pectin concentrations. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 972-981. doi:10.1111/j.1365-2621.2011.02579.x

Riboli, E., Kaaks, R. ve Esteve, J. (1996). Nutrition and laryngeal cancer. *Cancer Cause Control*, 7, 147-156. doi:10.1007/BF00115645

Rufian-Henares, J. A. ve Delgado-Andrade, C. (2009). Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals. *Food Research International*, 42, 394-400. doi:10.1016/j.foodres.2009.01.011

Sacilik, K., Keskin, R. ve Elicin, A. K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231-238. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.01.025

Santos, M. S., Meydani, S. N., Leka, L., Wu, D. Y., Fotouhi, N.N., Meydani, M. ... Gaziano, J. M. (1996). Natural killer cell activity in elderly men is enhanced by beta-carotene supplementation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 772-777. doi:10.1093/ajcn/64.5.772

Sarsavadiva, P., Sawhney, R., Pangavhane, D. R. ve Sing, I. (1999). Drying behaviour of brined onion slices. *Journal of Food Engineering*, 40, 219-226. doi:10.1016/S0260-8774(99)00058-8

Saxena, A., Maity, T., Raju, P. S. ve Bawa, A. S. (2012). Degradation kinetics of colour and total carotenoids in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulb slices during hot air drying. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 672-679. doi:10.1007/s11947-010-0409-2

Singleton, V. L., Gortner, W. A. ve Young, H. Y. (1961). Carotenoid pigments of pineapple fruit. I. Acidcatalyzed isomerization of the pigments. *Journal of Food Science*, 26 (1): 49-52. doi:10.1111/j.1365-2621.1961.tb00039.x

Sim, K. H., Sil, H. Y. (2008). Antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annuum*) pericarp and seed extracts. *International Journal of Food Science*, 43 (10), 1813-1823. doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01715.x

Simão, R.S., Moraes, J. O., Souza, P. G., Carciofi, B. A. M. ve Laurindo, J. B. (2019). Production of mango leathers by cast-tape drying: Product characteristics and sensory

evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 99, 445–452. doi:10.1016/j.lwt.2018.10.013

Singh, R. P. ve Heldman, D. R. (2015). *Gıda mühendisliğine giriş*. Ankara: Nobel Yayınevi.

Sobukola, O. (2009). Effect of pre-treatment on the drying characteristics and kinetics of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) slices. *International Journal of Food Engineering*, 5, 234–247. doi:10.2202/1556-3758.1191

Song, J., Wei, Q., Wang, X., Li, D., Liu, C., Zhang, M. ve Meng, L. (2018). Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions. *Food Research International*, 107, 130-136. doi:10.1016/j.foodres.2018.02.024

Sumnu, G. (2001). A review on microwave baking of foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 36, 117-127. doi:10.1046/j.1365-2621.2001.00479.x

Suna, S. ve Özkan Karabacak, A. (2019). Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8), e14051. doi:10.1111/jfpp.14051

Suna, S., Tamer, C. E., Incedayi, B., Ozcan Sinir, G. ve Copur, Ö. U. (2014). Impact of drying methods on physicochemical and sensory properties of apricot pestil. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 13, 47–55. doi:nopr.niscair.res.in/handle/123456789/26016

Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D. ve Deepanraj, B. (2018). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(1): 185-197, doi:10.1007/s10973-018-7791-9

Süfer, Ö. ve Palazoğlu, T. P. (2019). A study on hot-air drying of pomegranate, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137(6), 1981-1990. doi:10.1007/s10973-019-08102-1

Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. doi:10.1016/S0950-3293(01)00039-8

Swain, S., Samuel, D. V. K., Bal, L. M. ve Kar, A. (2014). Thermal kinetics of colour degradation of yellow sweet pepper (*Capsicum annum* L.) undergoing microwave assisted drying. *International Journal of Food Properties*, 17(9), 1946-1964. doi:10.1080/10942912.2013.775150

Teng, L. Y., Chin, N. L. ve Yusof, Y. A. (2011). Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch–sugar gels. I. Optimisation using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1530-1537. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.02.005

- Thane, C. ve Reddy, S. (1997). Processing of fruit and vegetables: effect on carotenoids. *Nutrition & Food Science*, 2, 58-65. doi:10.1108/00346659710161858
- Toğrul, İ. T. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77, 610-619. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.07.020
- Tomas, M. (2016). *Domatesin farklı yöntemlerle sosa işlenmesi ve son ürüne çeşitli fonksiyonel bileşen ilavesinin domates sosunun biyoaktivitesi ve biyoyararlılığı üzerine etkisi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=p2VNwEM1yHGnk75tzhhMEw&no=i7vyi154P3Q870_4g7KCBg
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Sagdic, O., Boyacioglu, D. ve Capanoglu, E. (2017). Industrial processing versus home processing of tomato sauce: Effects on phenolics, flavonoids and in vitro bioaccessibility of antioxidants. *Food Chemistry*, 220, 51-58. doi:10.1016/j.foodchem.2016.09.201
- Tomas, M., Rocchetti, G., Ghisoni, S., Giuberti, G., Capanoglu, E. ve Lucinib, L. (2020). Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to in vitro gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. *Food Research International*, 130, 108954. doi:10.1016/j.foodres.2019.108954
- Tontul, İ. (2017). *Kırınım pencere (refractance window) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma teknikleri ile fonksiyonel bileşenlerce zengin nar pestili üretimi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <http://acikerisim.akdeniz.edu.tr/xmlui/handle/123456789/3129>
- Tontul, İ. ve Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT-Food Science and Technology*, 80, 294-303. doi:10.1016/j.lwt.2017.02.035
- Tuğrul, N., Doymaz, İ. ve Pala M. (2001). Dereotunun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *Gıda*, 26 (6), 403-407. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gida>
- Tunçkal, C. (2020). Investigation of performance and drying kinetics of the closed, partially open, and open heat pump drying systems. *Journal of Food Process Engineering*, 43 (12), e13566. doi:10.1111/jfpe.13566
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737>
- United States Department of Agriculture. (2019a). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/401314/nutrients>
- United States Department of Agriculture. (2019b). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167541/nutrients>

United States Department of Agriculture. (2019c). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167540/nutrients>

United States Department of Agriculture. (2021a). Nutrient Data Laboratory, ARS, National Food and Nutrient Analysis Program Wave 5n, Beltsville MD. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/787522/nutrients>

United States Department of Agriculture. (2021b). Nutrient Data Laboratory, ARS, National Food and Nutrient Analysis Program Wave 5n, Beltsville MD. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/321360/nutrients>

United States Department of Agriculture. (2021c). Nutrient Data Laboratory, ARS, National Food and Nutrient Analysis Program Wave 5n, Beltsville MD. Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/787812/nutrients>

Valenzuela, C. ve Aguilera, J. M. (2015). Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 144, 1–9. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.07.010

Van het Hof, K.H., West, C.E., Weststrate, J.A. ve Hautvast, J.G. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *The Journal of Nutrition*, 130, 503-506. doi:10.1093/jn/130.3.503

Vatthanakul, S., Jangchud, A., Jangchud, K., Therdthai, N. ve Wilkinson, B. (2010). Gold kiwifruit leather product development using quality function deployment approach, *Food Quality and Preference*, 21, 339-345. doi:10.1016/j.foodqual.2009.06.002

Vega-Galvez, A., Scala, K. D., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J. ve Perez-Won, M. (2009). Effect of air drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647–653. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.066

Yalçın, D. (2008). Kırmızı pul biber üretiminde kritik kontrol noktaları ve tehlike analizleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (2), 129-137. Erişim adresi: <http://jes.ksu.edu.tr/tr/>

Yaldız, O. ve Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying some different vegetables. *Drying Technology*, 19 (3), 583–597. doi:10.1081/DRT-100103936

Yağcıoğlu, A. (1999). *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniğı*. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Yıldız, O. (2013). Physicochemical and sensory properties of mulberry products: Gümüşhane pestil and köme. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37 (6), 762-771. doi:10.3906/tar-1301-41

Yılmaz, F. M., Yüksekaya, S., Vardin, H. ve Karaaslan, M. (2017). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 33–40. doi:10.1016/j.jssas.2015.01.003

Yi, J. Y., Zhao, Y. Y., Bi, J. F., Hou, C. H., Peng, J. ve Guo, Y. X. (2021). Evaluation of processing methods and oral mastication on the carotenoid bioaccessibility of restructured carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100 (13), 4858-4869. doi:10.1002/jsfa.10546

Yoğurtçu, H. (2014). Mikrodalga fırında limon kurutma: kinetiği ve modellenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 27-33. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd>

Zhang, D. ve Hamauzu, Y. (2004). Phenolics compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2 (1), 95-100. doi:10.1234/4.2004.102

Zhang, Z., Wei, Q., Nie, M., Jiang, N., Liu, C., Liu, C. ... Xu, L. (2018). Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by hot air drying: Study on carrot, sweet potato, yellow bell pepper and broccoli. *LWT- Food Science and Technology*, 96, 357-363. doi:10.1016/j.lwt.2018.05.061

Zhou, L., Cao, Z., Bi, J., Yi, J., Chen, Q., Wu, X. ve Zhou, M. (2016). Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 842-853. doi:10.1111/ijfs.13050

Zielinska, M., Zapotoczny, P., Alves-Filho, O., Eikevik, T. M. ve Blaszcak, W. (2013). Al multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas. *Journal of Food Engineering*, 115 (3), 347-356. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.10.047

Wang, C. Y. ve Singh, R. P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 11, 668-672. Erişim adresi: https://elibrary.asabe.org/toc_landing.asp?conf=t1

Westerman, P. W., White, G. M. ve Ross, I. J. (1973). Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE*, 16, 1136-1139. doi: 10.13031/2013.37715

Quintero Ruiz, N. A., Demarchi, S. M., Facundo Massolo, J., Rodoni, L. M. ve Giner, S. A. (2012). Evaluation of quality during storage of apple leather. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 485-492. doi:10.1016/j.lwt.2012.02.012

Quintero Ruiz, N. A., 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*, 49, 1799–1804. doi:10.1111/ijfs.12486

