

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABİN KURUTUCUDA TARHANA HAMURUNUN
KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU VE
KURUMA KİNETİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

BEDRİYE DAVULCU TÜMER

DENİZLİ, OCAK - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KABİN KURUTUCUDA TARHANA HAMURUNUN
KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU VE
KURUMA KİNETİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

BEDRİYE DAVULCU TÜMER

DENİZLİ, OCAK - 2024

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2018FEBE040 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Bedriye DAVULCU TÜMER

ÖZET

**KABİN KURUTUCUDA TARHANA HAMURUNUN KURUTMA
KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU VE KURUMA KİNETİKLERİNİN
BELİRLENMESİ
DOKTORA TEZİ
BEDRİYE DAVULCU TÜMER
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)

DENİZLİ, OCAK - 2024

Bu tez çalışmasında geleneksel (güneşte) kurutma yöntemine alternatif olarak kabin kurutma yöntemi kullanılarak, tarhananın kalite özelliklerinin korunması açısından en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hem endüstriyel kurutma sistemi ile hem de geleneksel yöntemle tarhana üretimi gerçekleştirilmiştir. Tarhana hamurları 30 °C’de fermentasyona bırakılmıştır. Çember şeklinde ve 1 cm kalınlıkta hazırlanan tarhana hamurları 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda, 0,5, 1 ve 2 m/s hava hızında, sabit bağıl nemde (%10) kurutulmuştur. Kurutulan tarhana örneklerinde; nem ve kurutma kinetiği, renk, β -karoten ve likopen analizleri ile bu bileşenlere ait değişim reaksiyonu kinetik hesaplamaları, aroma profil analizi, mikrobiyolojik analizler ve en uygun üretim koşullarının belirlenmesi amacıyla optimizasyon çalışması yapılmıştır. Kurutma kinetiği analizleri neticesinde Page ve Modifiye Page modellerin tarhana örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri Page ve Modifiye Page modeller için sırasıyla 0.9596-0.9981, 0.000042-0.00061 ve 0.000764-0.003041 aralığında bulunmuştur. Kurutulan tarhana örneklerin 0,5, 1,25 ve 2 m/s hava hızları için tespit edilen difüzyon katsayısı değerleri; 30 °C için $6.99-14.79 \times 10^{-8}$, 40 °C için $15.7-32.11 \times 10^{-8}$ ve 50 °C için $26.64-44.98 \times 10^{-8}$ m²/s aralığında tespit edilmiştir. Her sıcaklık ve hava hızı için tarhana örneklerinin kurutulması sırasındaki β -karoten ve likopen bozunma reaksiyonunun birinci derece kinetik modele uygun olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak, tarhana kurutma proseslerinde tüm farklı hava hızı koşulları için kurutma sıcaklığındaki artışın tarhana örneklerinin β -karoten ve likopen içeriğinde azalmaya neden olduğu da tespit edilmiştir. Tarhana hamurlarının kurutulması sürecindeki β -karoten ve likopen değişim reaksiyonu hız sabitleri sırasıyla 0.0001-0.007 dk⁻¹ ve 0.0003-0.0014 dk⁻¹ aralığında bulunmuştur. Tarhana örneklerinin kurutulması işleminde likopen ve β -karoten değişim oranı ile kuruma süresi için Merkezi Kompozit Tasarım modeli ile hesaplanan optimum koşul değerleri için en yüksek arzu edirlilik değerine sahip olan koşul değerlerden; sıcaklık 40.362 °C ve hava hızı 1.62 m/s olarak belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Tarhana, Kurutma, β -Karoten, Likopen, Kinetik, Modelleme, Optimizasyon

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE DRYING CONDITIONS OF TARHANA DOUGH IN THE CABINET DRYER AND DETERMINATION OF THE DRYING KINETICS

PH. D THESIS

BEDRİYE DAVULCU TÜMER
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR:DR. PROF. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)

DENİZLİ, JANUARY 2024

In this thesis study, it is aimed to determine the most suitable drying conditions in terms of preserving the quality properties of tarhana by using a cabin drying method as an alternative to the traditional (sun) drying method. For this purpose, tarhana production was carried out both with the industrial drying system and the traditional method. Tarhana dough was left to ferment at 30 °C. Tarhana dough, prepared in a circle shape and 1 cm thick, was dried at 30, 40 and 50 °C temperatures, 0.5, 1 and 2 m/s air speed, and constant relative humidity (10%). In dried tarhana samples, Moisture and drying kinetics, color, β -carotene and lycopene analyses, change reaction kinetic calculations of these components, aroma profile analysis, microbiological analyzes and optimization studies were carried out to determine the most suitable production conditions. As a result of drying kinetics analyses, Page and Modified It was determined that Page models were the best models explaining the drying kinetics of tarhana samples. R^2 , χ^2 and RMSE values Page and Modified Page models were found to be in the range of 0.9596-0.9981, 0.000042-0.00061 and 0.000764-0.003041, respectively. Diffusion coefficient values of dried tarhana samples determined for 0.5, 1.25 and 2 m/s air speeds; $6.99-14.79 \times 10^{-8}$ for 30 °C, $15.7-32.11 \times 10^{-8}$ for 40 °C and $26.64-44.98 \times 10^{-8}$ m²/s for 50 °C It was detected in the range. β -carotene and lycopene during drying of tarhana samples for each temperature and air speed. It was determined that the decomposition reaction was suitable for the first order kinetic model. In addition, it was determined that the increase in drying temperature for all different air speed conditions in tarhana drying processes caused a decrease in the β -carotene and lycopene contents of tarhana samples. The β -carotene and lycopene exchange reaction rate constants during the drying process of tarhana dough were found to be in the range of 0.0001-0.007 min⁻¹ and 0.0003-0.0014 min⁻¹, respectively. In the drying process of tarhana samples, the optimum condition values calculated with the Central Composite Design Model for the lycopene and β -carotene change rate and drying time are among the condition values with the highest desirability value; The temperature was determined as 40.362 °C and the air speed was determined as 1.62 m/s.

KEYWORDS: Tarhana, Drying, β -Carotene, Kinetic, Modeling, Optimization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. TARHANA	3
3. KURUTMA	7
3.1 Gıda Kurutma Yöntemleri.....	7
3.2 Gıdaların Güneşte Kurutulması.....	8
3.3 Gıda Endüstrisinde Kullanılan Sıcak Havalı (Konveksiyonel) Kurutucular.....	9
3.3.1 Tünel Kurutucular.....	9
3.3.2 Bantlı Kurutucular	10
3.3.3 Akışkan Yataklı Kurutucular	10
3.3.4 Püskürtmeli Kurutucular.....	10
3.3.5 Valsli Kurutucular.....	11
3.3.6 Kabin Kurutucular	11
3.4 Gıda Kurutmanın Kinetiği.....	11
3.5 Gıdaların Kurutulması Sürecine Ait Kuruma Periyotları.....	12
3.6 Kuruma Hızı ve Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler.....	12
3.6.1 Sıcaklık	13
3.6.2 Kurutma Havaasının Hızı	13
3.6.3 Ortamın Nem İçeriği.....	14
3.6.4 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı.....	15
3.6.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Nitelikler.....	15
3.7 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler.....	16
3.7.1 Fiziksel Değişimler	16
3.7.2 Kimyasal Değişimler	17
3.7.3 Mikrobiyolojik Değişimler	18
3.8 Tarhana Literatür Özeti	18
4. MATERYAL VE METOT	26
4.1 Materyal.....	26
4.2 Denemelerde Kullanılan Sistem ve Ölçüm Aletleri	26
4.2.1 Kurutma Kabini ve Özellikleri	26
4.2.2 Renk Cihazı.....	28
4.2.3 Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC).....	28
4.3 Metot	29
4.3.1 Kabin Kurutucuda Yapılan Kurutma Çalışmaları	29
4.3.2 Analiz Yöntemleri.....	30
4.3.2.1 Renk Değişimlerinin İncelenmesi	30

4.3.2.2	Nem Tayini.....	31
4.3.2.3	β -Karoten ve Likopen İçeriklerinin Belirlenmesi	31
4.3.2.3.1	Kromotografi Koşulları.....	32
4.4	Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar	33
4.4.1	Nem İçeriğinin Hesaplanması.....	33
4.4.2	Kuruma Hızının Hesaplanması.....	33
4.4.3	Nem Oranının Hesaplanması	33
4.5	Kinetik Modelleme Çalışmaları	34
4.5.1	Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	34
4.5.1.1	Page Model	34
4.5.1.2	Henderson ve Pabis Model.....	34
4.5.1.3	Lewis Model	35
4.5.1.4	Logaritmik Model	35
4.5.1.5	Modifiye Page Model.....	35
4.5.2	Regresyon Analizleri	36
4.5.3	Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması.....	36
4.5.4	β -Karoten ve Likopen Değişimlerinin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları.....	37
4.5.4.1	Aktivasyon Enerjisinin (E_a) Hesaplanması	38
4.5.4.2	Q_{10} Değerinin Hesaplanması.....	39
4.5.4.3	Yarı Ömür Süresinin ($t_{1/2}$) Hesaplanması.....	39
4.6	Reolojik Analizler	40
4.6.1	Ortalama Mutlak Sapma (OMS).....	40
4.7	Mikrobiyolojik Analizler.....	41
4.7.1	Toplam Mezofilik Aerobik Bakterileri (TMAB) Sayımı	41
4.7.2	Maya ve Küf Sayımı	41
4.8	Aroma Analizi	41
4.9	Optimizasyon ve İstatistiksel Analizler.....	42
5.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	44
5.1	Tarhana Hamurunun Farklı Sıcaklık ve Hava Hızıyla Kurutulmasıyla İlgili Kinetik Çalışma Sonuçları.....	44
5.1.1	Nem İçeriği Değişimi.....	44
5.1.2	Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	46
5.1.2.1	Kurutma Sıcaklığının ve Hava Hızının Kurumaya Etkisi.....	49
5.1.3	Tarhana Örneklerinde β -Karoten ve Likopen Değişim Kinetiği ..	53
5.1.4	Tarhana Örneklerinin Reolojik Özellikleri	68
5.1.5	Tarhana Örneklerinin Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	80
5.1.6	Tarhana Örneklerinin Aroma Analizi Sonuçları.....	82
5.1.7	Tarhana Örneklerinin Renk Özellikleri	91
5.1.8	Tarhana Örneklerinin Yanıt Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu.....	99
5.1.8.1	β -Karoten Değişim Oranı Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu	100
5.1.8.2	Likopen Değişim Oranı Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu	102
5.1.8.3	Kuruma Süresi Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu	104
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	108
7.	KAYNAKLAR.....	113
8.	ÖZGEÇMİŞ	125

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Gıdaların genel sorpsiyon izotermi.....	14
Şekil 4.1: Kurutma kabininin genel görünümü	27
Şekil 4.2: Renk ölçüm cihazı genel görünümü	28
Şekil 4.3: HPLC cihazı genel görünümü	29
Şekil 4.4: Renklere ait Hue açısı değerleri.....	31
Şekil 4.5: Arrhenius grafiği.....	39
Şekil 5.1: Tarhana örneklerine ait nem içeriği kuruma süresi grafikleri; A) 30 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma, B) 40 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma, C) 50 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma.....	46
Şekil 5.2: 30 °C’de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi	49
Şekil 5.3: 40 °C’de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi	50
Şekil 5.4: 50 °C’de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi	51
Şekil 5.5: Geleneksel yöntemle kurutma işlemine tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi	52
Şekil 5.6: 0.5 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri	53
Şekil 5.7: 1.25 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri	54
Şekil 5.8: 2 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri	54
Şekil 5.9: Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri.....	55
Şekil 5.10: 0.5 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri.....	60
Şekil 5.11: 1.25 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri.....	60
Şekil 5.12: 2 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri.....	61
Şekil 5.13: Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri.....	61
Şekil 5.14: 0.5 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●)artan hız] 30 °C, [(◆) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■)azalan hız] 40 °C, [(x)artan hız] 50 °C, [(*)azalan hız] 50 °C.....	69
Şekil 5.15: 1.25 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●)artan hız] 30	

- °C, [(♦) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■) azalan hız] 40 °C, [(x) artan hız] 50 °C, [(*) azalan hız] 50 °C..... 69
- Şekil 5.16: 2 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●) artan hız] 30 °C, [(♦) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■) azalan hız] 40 °C, [(x) artan hız] 50 °C, [(*) azalan hız] 50 °C..... 70
- Şekil 5.17: 0.5 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30 °C, (Δ) 40 °C, (□) 50 °C, (—) üs yasası modeli..... 71
- Şekil 5.18: 1.25 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30 °C, (Δ) 40 °C, (□) 50 °C, (—) üs yasası modeli..... 71
- Şekil 5.19: 2 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30 °C, (Δ) 40 °C, (□) 50 °C, (—) üs yasası modeli..... 72
- Şekil 5.20: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: ((●) artan hız) 0.5 m/s, ((♦) azalan hız) 0.5 m/s, ((▲) artan hız) 1.25 m/s, ((■) azalan hız) 1.25 m/s, ((x) artan hız) 2 m/s, ((*) azalan hız) 2 m/s. 73
- Şekil 5.21: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: ((●) artan hız) 0.5 m/s, ((♦) azalan hız) 0.5 m/s, ((▲) artan hız) 1.25 m/s, ((■) azalan hız) 1.25 m/s, ((x) artan hız) 2 m/s, ((*) azalan hız) 2 m/s. 73
- Şekil 5.22: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: ((●) artan hız) 0.5 m/s, ((♦) azalan hız) 0.5 m/s, ((▲) artan hız) 1.25 m/s, ((■) azalan hız) 1.25 m/s, ((x) artan hız) 2 m/s, ((*) azalan hız) 2 m/s. 74
- Şekil 5.23: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (□) 2 m/s, (—) üs yasası modeli..... 75
- Şekil 5.24: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (□) 2 m/s, (—) üs yasası modeli..... 75
- Şekil 5.25: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (□) 2 m/s, (—) üs yasası modeli..... 76
- Şekil 5.26: Geleneksel yöntemle kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: ((●) artan hız) , ((♦) azalan hız). 77
- Şekil 5.27: Geleneksel yöntemle kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (●) geleneksel, (—) üs yasası modeli..... 77
- Şekil 5.28: Tarhana hamurlarının kurutulmasında β -karoten değişim oranı yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi. 101
- Şekil 5.29: Tarhana hamurlarının kurutulmasında Likopen değişim oranı yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi. 104
- Şekil 5.30: Tarhana hamurlarının kurutulmasında kuruma süresi yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi. 106

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Çeşitli ülkelerde üretilen bazı fermente tahıl ürünleri	1
Tablo 4.1. Kurutma kabininin genel görünümü.....	27
Tablo 5.1. Kurutulmuş tarhana örnekleri için kullanılan modellerin istatistiksel parametreleri ve model katsayıları.....	47
Tablo 5.2: Farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	48
Tablo 5.3: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	56
Tablo 5.4: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	57
Tablo 5.5: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar.....	58
Tablo 5.6: Geleneksel yöntemle kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar	58
Tablo 5.7: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar.....	62
Tablo 5.8: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar.....	63
Tablo 5.9: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar.....	64
Tablo 5.10: Geleneksel yöntem ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar	64
Tablo 5.11: Kurutulan tarhana örneklerinin β -karoten değişim kinetiği verileri	65
Tablo 5.12: Kurutulan tarhana örneklerinin likopen değişim kinetiği verileri .	66
Tablo 5.13: Sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin üs yasası modeli sabitleri	79
Tablo 5.14: Sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin üs yasası modeli sabitleri.....	80
Tablo 5.15: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait mikrobiyolojik analiz sonuçları	81
Tablo 5.16: Tarhana örneklerinin başlıca aroma bileşen grupları listesi	83
Tablo 5.17: Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları (Göreceli pik alanı yüzdesi (%)).....	85
Tablo 5.18: Tarhana hamurlarına ait L değerleri	91
Tablo 5.19: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait L değerleri.....	92
Tablo 5.20: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası L değerlerindeki değişim	92
Tablo 5.21: Tarhana hamurlarına ait a değerleri.....	93
Tablo 5.22: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait a değerleri	93
Tablo 5.23: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası a değerlerindeki değişim	94
Tablo 5.24: Tarhana hamurlarına ait b değerleri.....	94
Tablo 5.25: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait b değerleri	95

Tablo 5.26: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası b değerlerindeki değişim	95
Tablo 5.27: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait ΔE değerleri	96
Tablo 5.28: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait Kroma değerleri	97
Tablo 5.29: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait Hue Açısı değerleri	97
Tablo 5.30: Tarhananın kurutulması işleminin Merkezi Kompozit Tasarım modeline göre bağımsız değişkenler ve yanıtların deneysel ve tahmini değerleri.....	99
Tablo 5.31: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren Anova tablosu	100
Tablo 5.32: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin likopen kurutma sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren anova tablosu.....	102
Tablo 5.33: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kuruma süresi arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren Anova tablosu	105
Tablo 5.34: Tarhana kurutma işlemi optimizasyonu optimizasyon kısıtları...	106
Tablo 5.35: Tarhana örneklerinin kurutulması işleminde likopen ve β -karoten değişim oranı ile kuruma süresi için Merkezi Kompozit tasarım modeli ile hesaplanan optimum koşul değerleri için çözümler....	107

SEMBOL LİSTESİ

Deff	:	Etkin difüzyon katsayısı
E_a	:	Aktivasyon enerjisi
HPLC	:	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
k	:	Reaksiyon hız sabiti
KM	:	Örneğin kuru madde miktarı
m	:	Örnek ağırlığı
M₀	:	Başlangıçtaki nem içeriği
M_e	:	Denge anındaki nem içeriği
M_t	:	Herhangi bir t anındaki nem içeriği
MR	:	Nem oranı
OMS	:	Ortalama mutlak sapma (% Olarak hata miktarı)
Q₁₀	:	Sıcaklığın 10°C artmasıyla reaksiyon hızının artış katsayısı
RMSE	:	Karekök ortalamasının hatası
t	:	Kuruma zamanı
t_{1/2}	:	Yarı ömür süresi
ΔE	:	Toplam renk değişimi
χ²	:	Ki-kare

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince çalışmalarına ve tezime katkıda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a, değerli tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ömer ŞİMŞEK ve Doç. Dr. Haluk ERGEZER'e, destekleri için bu gün aramızda olmayan değerli hocamız Doç. Dr. İlyas ÇELİK'e, bölümümüz öğretim üyeleri Prof. Dr. Yahya TÜLEK'e, laboratuvar çalışmalarında desteklerini esirgemeyen bölümümüz araştırma görevlileri Özlem ZAMBAK, Aysun YURDUNUSEVEN YILDIZ ve Ufuk Gökçe AYRANCI'ya ve tüm bölüm üyelerine, hem dostluğu hem de çalışmalarına olan katkılarıyla değerli arkadaşım Öğr. Gör. Senem TÜFEKÇİ'ye, sevgili meslektaşım ve arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Burcu ÖZEL'e, hastalıkta, sağlıkta destekleri için aile hekimimiz Dr. Cengiz Taş'a, kıymetli dostum Ali GÖNCÜ'ye, hayatımın her anında, her koşulda yanımda olan, beni destekleyen canım ailem; annem Fethiye DAVULCU, babam İbrahim DAVULCU ve kardeşim Nihan DAVULCU ÖZTÜRK'e, doktora eğitimimin her sürecinde yanımda olan sevgili eşim, hayat arkadaşım Emre TÜMER'e ve son olarak; en değerli varlığım, bana en güzel duyguları yaşatan, hayatıma anlam katan evlatlarım Başar ve Asil TÜMER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan beri insanlar her zaman yaşadıkları yöreye göre kendi geleneksel ürünlerini yapmışlardır. Köklü bir tarihe ve aynı zamanda çeşitliliklerle dolu zengin bir kültüre sahip olan ülkemizde de birçok geleneksel ürün bulunmaktadır. Tarhana, ülkemize özgü yaygın olarak tüketilen, iyi bir mineral, protein, vitamin ve probiyotik kaynağı olan önemli bir gıda maddesidir (Yönel ve diğ. 2018). Ülkemize özgü geleneksel bir ürün olan tarhana, Balkanlar, Orta Asya, Avrupa ve Orta doğuda dahi görülmektedir (Göncü 2020).

Dünya ülkelerinde tahıl içeren çok fazla fermente gıda bulunmaktadır (Blandino ve diğ. 2003). Tahıllardan üretilen örnek fermente tahıl ürünleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1: Çeşitli ülkelerde üretilen bazı fermente tahıl ürünleri (Blandino ve diğ. 2003)

Ürünün Adı	Kullanılan Tahıl	Üretilen Ülke
A dai	Buğday/arpa	Hindistan
Anarshe	Pirinç	Hindistan
Ang-kak	Pirinç	Çin, Güney, Asya, Suriye
Atole	Mısır	Güney Meksika
Banku	Mısır, casava	Gana
Bhattejaanr	Pirinç	Hindistan
Brem	Pirinç	Endonezya
Chee-fan	Soya fasulyesi	Çin
Dakali	Darı	Nijerya
Dhokla	Pirinç	Kuzey Hindistan
Dosa	Pirinç	Hindistan
Hamanatto	Soya fasulyesi	Japonya
Jamin-bang	Mısır	Brezilya
Kishk	Buğday	Mısır, Suriye
Tarhana	Buğday	Türkiye
Uji	Mısır, sorgun, darı	Kenya, Uganda

Tarhana; yoğurt, un, domates, soğan, biber, dereotu, nane gibi baharatlar, yöreye göre farklı sebzeler kullanılarak elde edilen hamurun fermente edilmesi ve sonrasında farklı yöntemlerle kurutulması yöntemiyle üretilen bir üründür. Genel olarak çorba şeklinde tüketilen geleneksel bir üründür. Genellikle kurutulmasına rağmen tarhana hamuru kurutulmadan yaş tarhana olarak da kullanılabilir (Erbaş 2004). Geleneksel yöntemle tarhana üretiminde tarhana hamuru güneş altında kurutulur. Bu yöntemde; fermantasyonu tamamlanan tarhana hamuru küçük parçalara bölünerek temizlenmiş bir bez üzerine yerleştirilir ve güneş altında kurumaya bırakılır. Güneş altında yapılan bu doğal kurutma yönteminin bazı dezavantajları vardır. Bu durumda tarhanada renk solar ve ürünün kalitesi düşer. Tarhananın kontrollü sıcaklık ve nem gibi uygun ortam koşullarında üretilmesi mikrobiyal olarak güvenilir olmasını sağlar (Tamer ve diğ. 2007). Günümüzde endüstriyel modern teknoloji kullanılarak yapılan kurutma işleminde; mikrodalga kurutma, tünel kurutma, dondurarak kurutma gibi değişik yöntemler uygulanabilmektedir.

Tarhana üretiminde en önemli kritik aşama kurutma prosesidir. Kurutma koşullarındaki değişim tarhananın fiziksel ve kimyasal özelliklerini, besleyici değerini, duyu özelliklerini ve mikroorganizma yükünü etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında geleneksel (güneşte) kurutma yöntemine alternatif olarak endüstriyel anlamda kullanılacak farklı bir kurutma yöntemi ve farklı kurutma koşulları kullanılarak, tarhananın kalite özelliklerinin korunması açısından uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla bir kabin kurutma sistemi modifiye edilmiş olup hem modifiye edilen endüstriyel kurutma sistemi ile hem de geleneksel yöntemle tarhana üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı koşullarda üretilen tarhanaların bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik niteliklerinden yola çıkılarak farklı tarhana üretim yöntem ve koşullarının karşılıklı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. TARHANA

TS 2282' de Tarhana; ‘‘Buğday unu, buğday kırmısı, irmik veya bunların karışımı ile yoğurt, biber (kırmızı etli biber ve/veya yeşil sivri biber), tuz, kuru soğan, domates, tat ve koku verici sağığa zararsız bitkisel maddelerin (dere otu, nane, tarhana otu vb.) karıştırılıp yoğurulduktan ve fermente edildikten sonra kurutulması, öğütülmesi ve elenmesiyle elde edilen besinsel değeri yüksek olan bir gıda maddesidir’’ ifadesi ile tanımlanır (Anonim 2004).

Türkiye'de genel olarak çorba şeklinde tüketilen tarhana, yoğurdun oluşmasını sağlayan bakteriler *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, ekmek mayası olarak bilinen *Saccharomyces cerevisia* ile tahıl ve yoğurt karışımından üretilen geleneksel bir fermente gıdadır. Tarhana hamuru temel olarak; buğday unu, yoğurt, ekmek mayası, kırmızı biber, domates, tuz, soğan ve nanenin karıştırılması ve yoğurulması sonucu elde edilir. Bu hamur 3 ile 7 günlük bir süre laktik asit fermantasyonuna ve ekmek mayası ile alkol fermantasyonuna (25-30°C) uğratılır. Fermantasyon sırasında ortam pH'sında meydana gelen değışim sayesinde patojen mikroorganizmalar üzerinde bakteriyostatik etki oluşturulur. Fermentasyondaki hamura yaş tarhana denir (Erbaş 2004; Erbaş 2005). Sonrasında elde edilen tarhana hamuru güneşte veya kurutucuda topak, külçe veya ince tabaka şeklinde kurutulur. Kurutulan hamur 1 mm'den daha küçük olacak şekilde toz haline getirilmek için öğütülür ve sonrasında elenerek kullanıma hazır hale getirilir (Yarış 2022). Ayrıca tarhana ince tabaka veya külçe halinde kurutulduktan sonra atıştırmalık olarak da tüketilebilmektedir. Hamuru oluşturan geri kalan bileşenler yöresel olarak farklı olabilmektedir. Standart bir üretim yöntemi olmadığından, evlerde ve farklı gıda işletmelerinde üretildiğinden, tarhananın besinsel özelliğı üretildiğı yere göre içeriğindeki bileşenlere ve kullanım oranlarına bağılı olarak değışmektedir. Fermantasyon sırasında tarhananın besin değeri ve sindirilebilirliğı de artar (Erbaş 2005; Kabak ve Dabson 2011, Georgala 2018; Köten ve diğ. 2019; Bal Yıldırım ve diğ. 2021).

Tarhana yaparken genellikle buğday unu, kırık buğday veya irmik tek olarak veya bunların karışımı kullanılır. Bazı tariflerde mısır, yulaf veya pirinç unu, soya

fasulyesi, nohut veya arpa unu kullanıldığı da belirtilmektedir (Erkan ve diğ. 2006; Bilgiçli ve diğ. 2006; Tarakçı ve diğ. 2004).

Klasik tarhananın, tam buğday unlu ve nohut unlu tarhanalar ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, besinsel değeri bakımından tam buğday unlu ve nohut unlu tarhanaların iyi birer alternatif olabilecekleri bildirilmiştir (Kumral 2015).

Tarhana hamuruna yulaf unu eklenen bir araştırmada; yulaf unu ile yapılan tarhanaların toplam fenolik madde içeriklerinin arttığı ve fırında kurutulan tarhanaların geleneksel yöntemle kurutulan tarhanalara göre daha yüksek toplam fenolik madde içerdiği bildirilmiştir (Değirmencioğlu ve diğ. 2016).

Demir (2018)'in 5 farklı oranda (%25, 50, 75 ve 100) tam buğday unu ikamesi ile ürettiği çalışmasında tarhana örneklerinde; tam buğday unu miktarı artıkça kül, ham yağ, ham protein, toplam fenolik madde ve fitik asit miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir.

Başka bir araştırmada, glutensiz tarhana üretimi amacıyla temel materyal olarak pirinç unu kullanılmış ve pirinç unu %20 ve %40 oranlarında mercimek, bezelye veya nohut unları ile zenginleştirilmiştir. Yapılan duyuşal testlerde; %40 mercimek unlu tarhana çorbasının en beğenilen çorba olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular neticesinde oluşturulan bu yeni formülasyonların çölyak hastaları için alternatif bir ürün olabileceği bildirilmiştir (Özmen 2011).

Tarhananın besinsel özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan bir araştırmada tarhanaya farklı oranlarda havuç lifi ve şeker pancarı lifi ilavesi yapılmıştır. Yapılan duyuşal testler sonucunda %8 havuç lifi ve %12 şeker pancarı lifi ilavesi ile elde edilen tarhananın en kabul edilebilir duyuşal puanlar aldığı tespit edilmiştir (Ünlü 2017).

Evde tarhana üretiminde yaş veya kuru mayadan yararlanılır. Fermantasyon bunlarla birlikte karışıma konan yoğurdun bakterilerince sağlanır. Ticari üretimde ise ekşi hamur ve farklı oranlarda sitrik asit kullanılır (Çopur ve diğ. 2001).

Fermantasyon ile ürünün besin değeri (B vitamini, fenolik ve antioksidan bileşenlerde artış vs.) artan ve sindirimi kolaylaşan bir gıda haline gelen tarhana üretiminde yine fermantasyonda oluşan aroma maddeleri de tarhananın duyuşal

olarak tercih edilebilir bir ürün olmasına katkı sağlamaktadır. Ancak kullanılan kurutma yöntemine göre kurutma işlemi ile tarhananın tüketicilerce tercih edilmesinde önemli rol oynayan bazı özelliklerindeki kayıplar meydana geldiği bildirilmektedir (Aytuna ve Aran 2002; Erbaş ve diğ. 2005).

Fermente bir gıda olan tarhana, içeriğindeki laktik asit bakterileri bağırsakta bulunabilecek kanserojen maddeleri etkisiz hale getirir. Bu özelliği ile tarhananın kanser hastalığını önleme açısından faydalı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte fermente gıdaların kolesterol düşürücü etkisi de bilinmektedir. Bu sebeplerle tarhananın, içeriğinde bulunan diyet lif sayesinde kolesterolü düşürmeye yardımcı olduğu ve kolon kanseri riskini azalttığı bildirilmiştir (Erbaş 2003).

Tarhananın femente bir ürün olması nedeniyle duyuşal özellikleri ve besinsel değeri açısından daha da zenginleştiği, içeriğindeki bileşen grupları sayesinde demir, çinko ve kalsiyum gibi minerallerce de zengin olduğu, bununla birlikte probiyotik ve prebiyotik özelliğe de sahip olması nedenleriyle aranan bir gıda olduğu bazı çalışmalarda önemle vurgulanmıştır (Köten ve diğ. 2019; Bal Yıldırım ve diğ. 2021; Gök 2021).

Bileşimi formülasyonunda kullanılan malzemelere göre değışkenlik gösteren tarhanada genel olarak kullanılan materyaller düşünöldüğünde; özellikle B grubu vitaminler, kalsiyum, magnezyum, potasyum askorbik asit, pantetonik asit ve folik asit yönünden zengin bir gıda olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Ekinci 2005; Akbaş ve Coşkun 2006; Yıldırım ve Güzeler 2016).

Tahıllar ve tarhana gibi tahıl bazlı ürünlerin, fenolik maddeler, lifler, vitaminler, mineraller, lignanlar, fitosteroller gibi önemli besin bileşenleri açısından iyi birer kaynak olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Doğan ve Tekiner 2020).

Farklı nem ve sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanan domates pulplarında likopen miktarının azaldığı, püskürtmeli kurutma sisteminde domates tozuna işlenen ürünlerde ise likopen kaybının arttığı bildirilmiştir (Goula ve diğ. 2006).

Henüz tam olarak açıklanamayan karotenoid degradasyon mekanizması çok kompleksdir. Ancak en önemli degradasyon nedeninin oksidasyon olduğu

bildirilmiştir. Buna ilave olarak pH, peroksidaz, lipoksigenaz ve katalaz enzim aktiviteleri, metal iyonları, su aktivitesi de karotenoidlerin bozulma reaksiyonlarında etkilidir. Gıdalara değişik amaçlarla uygulanan pişirme, kurutma ve haşlama gibi ısı işlemler ile dondurma, ışınlama, soğukta veya donmuş halde depolama gibi işlemler sırasında karotenoid kayıpları meydana gelmektedir (Tümer ve Tülek 2022).

3. KURUTMA

Kurutma işlemi, gıdaları uzun süre muhafaza etmek için uygulanan temel yöntemlerden birisidir. Yöntemin esası; gıdadan suyun belli bir amaç doğrultusunda önce buharlaştırılması ve sonrasında yüzeyde oluşan buhar filminin belirli yöntemlerle uzaklaştırılması esasına dayanır. Kurutma işleminin amacı; gıdanın içerdiği nemin uzaklaştırılması ile su aktivitesini mikroorganizmaların üreyebileceği değerin altına düşürerek, mikroorganizmaların neden olabileceği bozulmaları önleyerek gıdanın raf ömrünü uzatmaktır. Kurutma işlemi sonucunda, ürün hacmi ve ağırlığında azalma olduğundan, taşıma ve depolamada maliyetler azaltılmaktadır. İlk uygulamaları geleneksel güneşte kurutma şeklinde yapılsa da gelişen teknoloji ile farklı endüstriyel kurutma yöntemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yöntemlere örnek olarak; konveyör kurutucular, kabin kurutucular, püskürtmeli kurutucular, valsli kurutucular, tünel kurutucular ilk örnekler olarak verilebilir. Bunlara ilave olarak köpük kurutma, patlatarak puf yapı kazandırma, dondurarak kurutma gibi yöntemler de sayılabilir (Alçay ve diğ. 2015; Demiray 2015).

Sanayi tipi kurutma uygulamalarından önce ilk kurutma uygulamaları; Fenikeli balıkçılar, göçebe yaşayan Türkler gibi gruplarca güneş altında kurutma şeklinde yapılmaktaydı. 18. yüzyılda, taşınması ve muhafazası kolay olan kurutulmuş patates, havuç, lahana, çorba gibi gıdalar savaşlarda askerler için sanayi tipi kurutma yöntemleri ile kurutulmuşlardır. 18. Yüzyılın sonu ile 19. Yüzyılın başlarında meyveler de kurutulmaya başlanmış ve kurutma yöntemleri giderek gelişmiştir. Daha sonra süt ve süt ürünleri, yumurta gibi gıdaların kurutulması amacıyla sprey kurutma yöntemi ve ikinci dünya savaşından sonra da mikrodalga kurutma yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Kanat 2001; Vega-Mercado ve diğ. 2001; Alçay ve diğ. 2015).

3.1 Gıda Kurutma Yöntemleri

Gıdaların kurutulmasında güneşte kurutma yanında kurutma kabinleri, kurutma odaları veya daha gelişmiş kurutma tesislerinde kurutma ortam ve ekipmanları kullanılmaktadır. Buna göre; mikrodalga kurutma, kabin kurutma, bantlı

kurutma, akışkan yatak kurutma, valsli kurutma, tünel tipi kurutma, püskürtmeli kurutma, vakum kurutma, dondurarak kurutma gibi birçok farklı yöntem ve ekipmanın kurutma işleminde kullanıldığı görülmektedir (Cemeroğlu 2013^b; Demiray 2015).

Kurutulmuş gıdalarda gıdaların muhafaza süreleri uzamaktadır. Ancak bunun yanında gıdaların bazı önemli bileşenlerinde kayıplar olmaktadır. Meydana gelen bu kayıpları azaltmak amacıyla hammadde veya arzu edilen son ürüne göre en uygun kurutma metodunun seçilmesi önemlidir (Kovacı ve diğ. 2018). Kurutma prosesinde gıdanın ve kurutma ortamının koşulları sürekli değişken bir seyir izlediğinden, uygulanacak kurutma yöntemi için en uygun kurutma parametrelerinin belirlenmesi zor bir süreçtir (Saavedra ve diğ. 2017).

Kurutma prosesinde son ürün kalitesi, kuruma zamanı ve kurutma sırasında ihtiyaç duyulan enerji miktarı en önemli etkenlerdir. Güneşte kurutma; kolay, enerji maliyeti düşük olması ile avantajlı görünebilir ancak uzun kuruma süresi, kontrol edilemeyen doğal hava koşulları ve açık ortamdaki mikroorganizma kontaminasyonu nedeniyle son ürün kalitesinde önemli kayıplar oluşmaktadır. Buna karşın gıda endüstrisinde kullanılan daha gelişmiş kurutma yöntemleri sayesinde hem ürün kalitesinde hem de kurutma zamanı ve gereksinim duyulan enerji anlamında önemli avantajlar sağlanmaktadır (Pu ve diğ. 2016; Silva ve diğ. 2016). Günümüz kurutma endüstrisinde geleneksel güneşte kurutma metodunun yanında; akışkan yatak kurutma, püskürtmeli kurutma, mikrodalga kurutma, dondurarak kurutma ve radyo frekans destekli kurutma sistemleri ve bu kurutma yöntemlerinin farklı kombinasyonlarının kullanıldığı yeni yöntemler de kullanılmaktadır (Kutlu ve İşçi 2016).

3.2 Gıdaların Güneşte Kurutulması

Gıdaların güneşte kurutulması, güneşin yaydığı ısı enerjisi, rüzgar ve gıdaya göre kuru olan ortam havası sayesinde gıdada bulunan suyun gıdadan uzaklaştırılması yöntemi doğal kurutma, güneşte kurutma, geleneksel kurutma gibi isimlerle anılmaktadır. Yenilenebilir güneş enerjisinin kullanımı enerji ekonomisi açısından olumlu bir özellik gibi görünse de kurutma ortamı doğal açık bir alan olduğundan bulaşabilecek mikroorganizmalar, kontrolsüz koşullarda gelişimi hızlanabilecek mikroorganizmalar ile gıdada meydana gelen olumsuz biyokimyasal reaksiyonlar

(renk değişimleri, toksik bileşenler, besin değeri kayıpları vs.) ile dış çevreden kaynaklanabilecek fiziksel ve kimyasal bulaşmalar bakımından güvenilir gıda üretimini riskli hale getirebilecek bir yöntem olarak görölmektedir. Bununla birlikte, kurutma için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, kuruma süresinin uzun olması da önemli dezavantajlardır (Doymaz ve Pala 2002; Soysal 2004).

3.3 Gıda Endüstrisinde Kullanılan Sıcak Havalı (Konveksiyonel) Kurutucular

Bu kurutucularda sıcak kurutucu akışkan doğrudan kurutulacak olan materyal ile temas halinde olmaktadır. Doğrudan temas kurutmanın hızını olumlu yönde etkilemektedir (Saldamlı ve Saldamlı 1990).

Katı gıdaların kurutulmasında en yaygın olarak kullanılan kurutucular tünel tipi kurutucular, tepsili kurutucular ve akışkan yatak kurutuculardır. Bunlar birinci nesil kurutucular olarak bilinir. Daha sıvı halde olan, püre veya bulamaç kıvamında olan gıdalar için tambur tipi ya da püskürtmeli kurutucular adı verilen kurutucular kullanılabilir. Bunlar ise ikinci nesil kurutucu olarak bilinmektedir (Vega-Mercado ve diğ. 2001).

Gıdaların kurutulmasında geleneksel olarak doğal konveksiyon yöntemi ile güneşte kurutma yöntemi kullanılırken, zamanla bu temel yöntem yerini daha gelişmiş, daha hijyenik, daha hızlı ve son ürün kalitesi daha yüksek ve homojen olan sıcak havada kurutma uygulamasına bırakmıştır. Kurulum ve üretim maliyeti düşük olan güneşte kurutmada işçiliğin yoğun ve ürün kalitesinin nispeten daha zayıf olması; kurulum maliyeti yüksek olsa da ürünün dış etkenlerden daha korunaklı olması, ürün kalitesinin yüksek olması nedeniyle endüstriyel sıcak havalı kurutma sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır (Tunde ve diğ. 2005; Voda ve diğ. 2012).

3.3.1 Tünel Kurutucular

Gıda maddeleri tünel içinde bir raf veya bant üzerinde kurutulur. Tünel içerisindeki hava akımı bir fan yardımıyla sağlanır. Hava akımı, gıda ile paralel ve zıt

akışlı veya her iki akış yönünün birlikte kullanıldığı şekilde kurutma sisteminden geçirilir. Bu kurutucularda yüksek miktardaki gıda maddesi kısa sürede kurutulabilmektedir. Kurutucu hava sistem içerisinde ısıtılarak tekrar kullanılabilir. Ürünler tünelden çıkana kadar sıcak hava ile temas etmektedir. Tünel kurutma sistemlerinde iş gücü maliyeti düşük, ürün kalitesi yüksek, enerji verimliliği yüksektir (Özbalta ve Güngör 1997; Apaydın 2007).

3.3.2 Bantlı Kurutucular

Bu sistemlerde gıdalar bir veya birden fazla bantlı sistemde hareket ederek üzerlerinden geçen sıcak kuru hava ile temas eder ve kuruma bu şekilde sağlanır. Uzun kuruma sürelerine ihtiyaç duyulan proseslerde üst üste tasarlanmış bantlı sistemler kullanılabilir. Sistem içerisindeki hava bantlara paralel ya da dik olarak verilebilir. Bu sistemlerde granül ya da parça şeklinde çok sayıda madde kurutulabilir (Apaydın 2007).

3.3.3 Akışkan Yataklı Kurutucular

Bu kurutma sisteminde sadece uygun hava hızlarında akışkan olabilecek küçük boyutlu ya da küçük parça halindeki gıdalar kurutulabilir. Aynı tasarım soğuk hava ile gıdaların dondurulmasında da kullanılmaktadır. Bu kurutma sisteminin en önemli avantajı sıcak havanın askıda kalan gıdanın her yerine eşit şekilde temas etmesi nedeniyle daha etkin bir kuruma sağlanmasıdır. Sistemde kurutulacak ürün alttan yüksek hızda verilen hava sayesinde askıda kalarak akışkan bir yatak halinde bulunur. Bu kurutucularda özellikle tahıllar, baklagiller ve parça halindeki sebzeler kurutulur (Cemeroğlu ve Acar 1986; Apaydın 2007).

3.3.4 Püskürtmeli Kurutucular

Genellikle süt tozu, kahve gibi ürünlerin üretiminde kullanılan bu kurutma yönteminde; kurutulacak ürün sıvı formdaki gıda bir püskürtücü / atomizer yardımıyla sıcak kuru havaya doğru püskürtülür. Ürünler çok kısa sürede kurur. Bu nedenle ısıya

karşı hassas sıvı ürünlerin kurutulmasında tercih edilebilir. Tünel kurutucularda olduğu gibi paralel ya da zıt akışlı sistemler kullanmak mümkündür. Kurutulan toz haldeki ürün siklon seperatörler veya torba filtrelerde tutularak toplanır (Özbalta ve Güngör 1997; Apaydın 2007).

3.3.5 Valsli Kurutucular

Bu kurutma sistemlerinde metal malzeme esaslı silindirlerin üzerine sıvı ya da püre halindeki gıda yayılır ve ısı transferi silindirin içerisinde bulunan buhar, sıcak akışkan ile sağlanır. Silindir şeklindeki sistem kendi etrafında belirli bir hızda dönerken gıdanın kurtulması sağlanır. Kuruyan gıda bir kazıyıcı yardımıyla silindirik kurutma sisteminden kazınarak toplanır. Bu kurutucular çoğunlukla; patates, havuç gibi sebze püreleri ile domates püresi veya salçası gibi ürünlerin kurutulmasına uygundur. Sistemde tek ya da çift vals kullanılabilir. Çift vals kullanılan sistemlerde valslerin dönüş yönüne göre besleme alttan veya üstten yapılabilir (Cemeroğlu ve Acar 1986; Apaydın 2007).

3.3.6 Kabin Kurutucular

Kabin tipi kurutucularda temel olarak; ısı yalıtımlı bir kabin, fan ve bir hava ısıtıcı bulunmaktadır. Kabin kurutuculara “tepsili kurutucular” da denilmektedir. Bu kurutucularda bütün ya da parça/dilim halindeki gıdalar delikli veya elek şeklindeki tepsilere yerleştirilir. Kurutulmak istenen materyal ısı yalıtımı yapılmış bir kabin içinde sıcak hava akımı yardımıyla kurutulur. Sıcak havanın ve ortam neminin kabin içinde homojen dağılımı, havanın tepsiler arasından ve ürün katmanı içinden akışı için özel kanal ve yönlendirici paneller kullanılabilir (Demir ve diğ. 2004; Brennan 2006; Demiray 2015; Cemeroğlu 2013^a).

3.4 Gıda Kurutmanın Kinetiği

Gıdaların kurutulmasında, kurutma ortamı havası ile gıda arasındaki nem hareketi ve kurutma zamanı dikkate alınarak kurutmanın kinetiği incelenir. Kinetik

çalışmalarda; gıdanın neminin zamana göre değişimi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile kurutma süresi, kuruma süresi ile gıdanın sıcaklığı ve gıdanın nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Gıdaların kurutulması sürecinde genel olarak üç ana aşama dikkat çekmektedir. Bunlar; kurutma sürecinde gıdanın ısınması ile başlar ve gıdanın yüzeyi kurutma havasının ıslak termometre sıcaklığına yükselene kadar bir dengelenme periyodu ile devam eder. Sonrasında sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu şeklinde kurutma süreci devam eder (Demiray 2015).

3.5 Gıdaların Kurutulması Sürecine Ait Kuruma Periyotları

Gıdaların kurutulması süreci genellikle üç ana periyot dahilinde incelenir. Bu üç periyot sırasıyla ısınma, sabit hızda kuruma ve azalan hızda kuruma periyotlarıdır. Kurutmanın başlangıcında sıcak havanın etkisiyle gıda ısınmaya başlar. Kurutma süresince ısı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşir. Kurutulan gıda ile gıdayı saran kurutma havası arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle sıcak kurutma havasından gıdaya bir duyulur ısı akışı gerçekleşir. Bu ısı, buharlaşma gizli ısısına dönüşerek gıda yüzeyinde buharlaşmaya neden olur. Kurumanın başlangıç aşamalarında; gıdanın içerdiği nem, gıda yüzeyinden buharlaşmak yerine gıdanın iç kısmından difüzyon yoluyla ya da kapiller kuvvetlerin etkisiyle yüzeye gelerek, yüzeyin sürekli olarak doygun şekilde kalmasını sağlar. Bu durumda sabit hızda kuruma olur ve bu periyot sabit hızda kuruma periyodu olarak bilinir. Kurutma sürecinin ilerleyen aşamalarında, gıdanın i kısımlarından gıda yüzeyine nem transferi, yüzeyde meydana gelen buharlaşma ile aynı hızda gerçekleşmez ve gıda yüzeyindeki doygun tabaka başlangıçtaki gibi muhafaza edilemez. Bu aşamada kuruma hızı gittikçe düşer ve bu periyoda da azalan hız periyodu denilmektedir (Aktacir ve Yeşilata 2009).

3.6 Kuruma Hızı ve Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Isı ve kütle transferine etki eden faktörler kuruma hızını da kontrol etmektedir. (Tüfekçi 2014). Kurutma hızına etki eden bu faktörler; sıcaklık, hava hızı, ortamın bağlıl nemi, kurutulan gıdanın nitelikleri (şekli, yüzey alanı vs.) olarak sayılabilir (Aksoy 2019).

3.6.1 Sıcaklık

Sıcaklık, kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Aslında buradaki önemli husus kurutmada kullanılan kuru havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Bu farkın artması kurutma hızının artmasına yol açar. Yani kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Yaş ve kuru termometre arasındaki sıcaklık farkı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kuruma sürecinin başlangıcında bu etki çok belirgin olsa da kuruma süreci ilerledikçe yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark ile aynı oranda bir kuruma hızı artışı olmaz (Demiray 2015; Tüfekçi 2014).

Bazı durumlarda yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark sabit olabilir. Bu durumda ise kuru termometre sıcaklığı arttıkça difüzyon hızı ve dolayısıyla kuruma hızı artar. Kuruma hızının artması ile de kuruma süresi kısalmaktadır (Tüfekçi 2014; Zambak 2015).

Kurutma işlemi esnasında, daha yüksek hava sıcaklıklarında havanın nem tutma oranı artar. Bu sayede elde edilen yüksek buhar basıncı ile gıdanın kurumması daha kolay bir şekilde gerçekleşir. Ayrıca daha az ısı kaybı gerçekleşir ve gıdanın ulaşılması istenen denge nem içeriği de artar. Ancak özellikle ince tabakalı gıdalarda yüksek sıcaklıklardaki kurutma işlemi esnasında, yanma, aroma kaybı, kötü aroma oluşumu ve önemli besin öğelerinde kayıplar meydana gelebilir (Altun 2017; Zambak 2015).

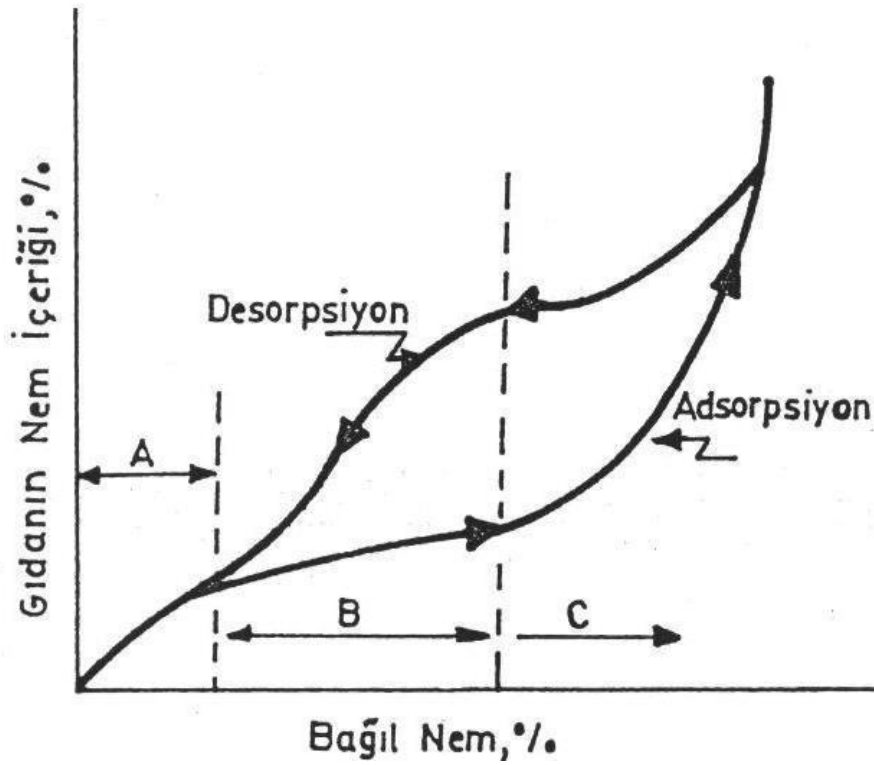
3.6.2 Kurutma Havaasının Hızı

Kurutma havaasının hızı kuruma hızını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Kurutma esnasında, kurutulan ürün yüzeyinde daima durgun şekilde bir buhar filmi oluşur. Oluşan bu film sürekli olarak kuru hava ile uzaklaştırılırsa gıdadaki suyun evaporasyonu hızlanır. Kurutucudaki hava hızının artması buhar filmini durgun havaya göre daha hızlı uzaklaştırarak kuruma hızını artırır. Ancak hava hızının bu etkisi belli bir değere kadardır. Yapılan çalışmalarda kurutma hızı 5 m/s'yi geçtiğinde kuruma hızına etki etmediği görülmüştür. Kurutmanın başlangıç aşamalarında hava hızı kuruma hızında çok daha etkili olmakla birlikte, kurutmanın ilerleyen

aşamalarında kuruma hızında alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınması sınırlayıcı etki yaptığından hava hızının olumlu etkisinin azaldığı bildirilmiştir (Tüfekçi 2014; Demiray 2015; Zambak 2015; Aksoy 2019).

3.6.3 Ortamın Nem İçeriği

Kurutma ortamındaki su buharı miktarına bağlı olarak kurutulan gıdanın nem miktarı farklılık göstermektedir. Gıdanın içinde bulunduğu ortam havasının nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile gıdanın içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğrilere sorpsiyon izotermi denir (Altun 2017). Şekil 3.1’de gıdaların genel sorpsiyon izotermi görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1: Gıdaların genel sorpsiyon izotermi (Zambak 2015)

Sabit sıcaklıkta ortam nem içeriğinin artırılmasıyla meydana gelen, gıdanın nem içeriğindeki değişime adsorpsiyon, sabit sıcaklıkta ortamın nem içeriğinin azaltılması ile gıdanın nem içeriğinde meydana gelen değişime ise desorpsiyon adı verilmektedir (Zambak 2015). Desorpsiyon izotermi, kurutma prosesinin

izlenmesinde, adsorbsiyon izotermi ise kurutulmuş gıdaların higroskopik özellikleri ile depolama koşullarının belirlenmesinde kullanılır (Kocayiğit 2010; Tüfekçi 2014).

Desorbsiyon ve adsorbsiyon izoterminin aynı yolu izlemeyerek bombe yapmasına histeresis denir (Altun 2017). Şekil 3.1’de gösterilen A bölgesindeki suyun gıda yüzeyinde tek katlı su moleküllerinden oluşan bir tabaka şeklinde sardığı kabul edilir ve bu bölgedeki su ‘monomoleküler su’ filmi olarak adlandırılır. Bu su moleküllerinin miktarının gıdada kuru madde bazında yaklaşık %5-10 civarında olduğu kabul edilmektedir (Cemeroğlu 2013^b).

C bölgesindeki su, ‘serbest su’ olarak adlandırılır. Serbest su; suda çözünen bileşenler için çözücü olma niteliğindedir. Serbest su, kurutulan gıdadan kolay bir şekilde buharlaşma neticesinde uzaklaşır. B bölgesi ise monomoleküler su filmi üzerinde bulunan üst üste sıralanmış su molekülleri katmanıdır. Bu katmandaki su molekülleri gittikçe azalan bir adsorbsiyon gücüyle bağlanmıştır. A bölgesindeki adsorbe edilmiş su ise, bağlandığı grubun bir unsuru gibi davranır ve sıvı fazda değildir. Kurutmada bu bölgedeki suyun uzaklaştırılması arzu edilmez. Çünkü kurutma da bu noktaya varıldığında gıda aşırı ısı ısınmakta ve etkisinde kalmaktadır. (Cemeroğlu 2013^b).

3.6.4 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı

Kuruma hızını etki eden bir diğer önemli değişken kurutulan gıdanın birim yüzey alanıdır. Ürünün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmesi ile geniş bir ısı ve kütle transferi alanı elde edilmektedir. Böylece nemin uzaklaşacağı yüzey alanı arttırılmış olur. Çok ince dilimlerde ise gıdanın yanma olasılığından optimum kalınlık seçilmelidir (Altun 2017).

3.6.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Nitelikler

Gıdanın kendine özgü nitelikleri de kuruma hızına etki eden faktörlerden birisidir. Bu nitelikler kuruma boyunca değişim gösterir. Şeker, tuz vb. küçük

moleküllü çözünen maddeler bakımından zengin olan gıdalar, bu çözünen bileşenleri daha az miktarda içeren gıdalara göre daha zor kurur. Çözünen bileşenler suyun buhar basıncını düşürür ve bu da suyun buharlaşmasını zorlaştırır. Ortamda yağ bulunması da kuruma hızını sınırlandırır. Bir emülsiyonda yağ sürekli fazı oluşturur ve yağ tarafından izole edilmiş su damlacıklarının böyle bir sistemde buharlaşıp uzaklaşması güçleşir. Gıdanın bileşimi onun su bağlama gücünü etkiler. Serbest su, öncelikli olarak ve kolayca uzaklaştırılabilen sudur. Ancak katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaştırılmaktadır. Nişasta, pektin ve diğer gam maddeleri gibi moleküllerce kolloidal jel yapısı içinde tutulan su ise kurutma esnasında daha zor uzaklaşmaktadır. Bu da nişasta ve pektince zengin gıdaların daha zor kurutulduğunu göstermektedir. Gıdalarda en zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı olan sudur. Kurutma esnasında hücreler arası boşluklarda bulunan suyun uzaklaştırılması daha kolaydır. Ancak hücre zedelendiğinde hücre zarının geçirgenliği artar ve hücre içindeki su daha kolay uzaklaşır. Bu da haşlanmış ürünlerin daha hızlı kurduğunu göstermektedir (Cemeroğlu 2013^b; Tüfekçi 2014; Demiray 2015).

3.7 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler

3.7.1 Fiziksel Değişimler

Kurutma sırasında özellikle kurutmanın başlangıcında gıdanın iç tabakasındaki suyun uzaklaşmak üzere dış yüzeye olan hareketi (doğrudan doğruya bir sıvı hareketi) sırasında suda çözünen bileşenlerin de yüzeye taşınmasına neden olur. Benzer şekilde yüzeyde kuru madde konsantrasyonu artınca iç kısımlardaki azalan konsantrasyonu dengelemek amacıyla yüzeyden içeri doğru da bir kuru madde taşınımı gerçekleşir. Suyun yüzeye bir sıvı hareketi şeklinde gerçekleştiği tüm kuruma dönemlerinde olay bu şekilde gerçekleşir. Kurutma koşullarına bağlı olarak bu tanımlanan taşınım hareketlerinden birisi daha egemen olabilir. Bu kuru madde taşınımı ile yüzeyde veya merkezde aşırı kuru madde birikimleri meydana gelir. Bu olaya yöresel kuru madde birikimi denir (Cemeroğlu 2013^a).

Kurutma prosesinde kurumanın ilk aşamasında yüksek sıcaklık uygulanması nedeniyle gıdanın yüzeyinde hızla kuruyan tabaka büzüşür ve henüz ıslak olan alt tabakaya baskı yapar. Henüz ıslak olan alt tabakanın basınca direnç göstermesi, üst tabakanın gerilip bir kabuk şeklini almasına yol açar ve kabuk bağlar. Bu sert kabuk kurumanın ileri aşamalarında dahi sert yapısını korur. Kurutma sırasında meydana gelen bu fiziksel değişim gıda merkezinden dış yüzeye doğru suyun hareketini engeller ve kurutmanın yavaşlamasına neden olur (Cemeroğlu 2013^a)

Kurutulmuş gıdalarda kitle yoğunluğu önemli bir kalite göstergesidir. Kurutma sırasında gıdanın hacmi azaldığından kitle yoğunluğunda da değişimler meydana gelir. Kuruma sırasında kurutma koşullarının tüm kitlenin beraberce ve düzenli bir hacim kaybı ile kurumasına olanak verecek şekilde ayarlanması durumunda, bu ürünün kitle yoğunluğu oldukça yüksek olacaktır (Cemeroğlu 2013^a).

Kurutma sırasında meydana gelen bir diğer fiziksel değişim de gıdanın rehidrasyon kapasitesidir. Kurutma sırasında, nişasta, protein ve gamsı maddelerin yapısında meydana gelen değişimler gıda bileşenlerinin suyu tekrar absorbe etme yetisini (rehidrasyon yeteneği) etkileyebilir. Rehidrasyon yeteneği de; kurutulmuş gıdanın belirli sürede suda bekletilmesi sonrası geri kazandığı su miktarı olarak ölçülmektedir ve gıda bu süre zarfında ne kadar çok su geri kazanırsa gıdanın rehidrasyon yeteneğinin de o kadar yüksek olduğu anlamına gelir (Cemeroğlu 2013^a).

3.7.2 Kimyasal Değişimler

Kurutma işleminde uygulanan sıcaklığın yüksek olması, kimyasal değişimlerin ne düzeyde gerçekleşeceğini etkileyen en önemli faktördür. Kurutma, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirdiğinden aynı zamanda ışığı yansıtma, dağıtma, absorbe etme ve geçirme özelliklerini de değiştirir. Karotenoid ve antosiyaninler zarar görür. Klorofiller kısmen bozulur. Kurutulan materyalin rengi de bu faktörlere bağlı olarak değişir. Yüzeyden suyun uzaklaşması nedeniyle meydana gelen optik değişimler, maillard reaksiyonları, enzimatik esmerleşme reaksiyonları, karamelizasyon ve oksidasyon reaksiyonları gibi tüm değişimler gıdanın renginde de değişimlere yol açar. Kurutmada şeker oranı su kaybının gelişmesine paralel oransal olarak artar. Protein, yağ, mineral maddeler gibi diğer besin unsurları da oransal olarak

artar. Sakkaroz taşıyan ürünlerde özellikle yüksek asit de bulunuyorsa, bu kısmen inversiyona uğrar. Bu olaylar kurutmanın uzamasıyla daha da artar. Özellikle güneşte kurutmada görülür. Özellikle güneşte kurutmada vitamin kayıpları kurutucularda kurutulanlara göre daha fazla olur. Özellikle çok yüksek sıcaklıklar proteinlerde bozulmalara ve besin değerinde azalmalara neden olur. Yüksek sıcaklıklarda yağların oksidasyonu da önemlidir (Dadalı 2007; Demiray 2009; Cemeroğlu 2013^a; Guiné ve diğ. 2018).

3.7.3 Mikrobiyolojik Değişimler

Kuruma sırasında mikroorganizmalardan kaynaklanan sorunların önlenmesi için mikrobiyolojik olarak daha güvenilir hammadde kullanılması önemlidir. Hammaddenin hazırlanması ve kurutulmasında hijyenik koşullara uyulması gerekir. Eğer ürünün nem oranı güvenli seviyelere inmişse, depolama koşulları uygunsa depolamada mikrobiyolojik sıkıntı beklenmez. Kurutmada mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli nem azalır. Sebzelere uygulanan haşlama işlemi mikroorganizma yükünde önemli azalmalara neden olur. Birçok meyvede uygulanan kükürtleme işlemi de mikroorganizma yükünde azalmaya neden olur. Güneşte kurutma yönteminde doğa koşullarına bağlı olarak mikroorganizma yükünde artışlar olabilir ve bazen fermantasyonda görülebilir. Bu nedenle randımanda azalma da olabilir. Buna göre kurutulmuş ürünlerde canlı mikroorganizma bulunmakta ancak koşullar elverişli olmadığı için faaliyet gösteremediği bilinmektedir. Buna ilave olarak özellikle kuru ürünlerde birçok patojenik mikroorganizma uzun süre canlı kalabilmekte ve gıda zehirlenmesi yapabildikleri bilinmektedir (Özer 2010; Cemeroğlu 2013^a).

3.8 Tarhana Literatür Özeti

Literatür incelendiğinde; tarhana ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların ağırlıklı olarak tarhana hamuru formülasyonunda yapılan değişiklikler ile fiziksel ürün özelliklerinin geliştirilmesi, fonksiyonelliğinin artırılması, besin bileşiminin geliştirilmesi ile farklı renk, şekil, aroma ve mikrofloraya sahip tarhanaların elde

edilmesi ve farklı yörelere ait tarhanaların bazı niteliklerinin belirlenmesi veya karşılaştırılması gibi konularda çalışmalar yapıldığı görülmüştür (Yörükoğlu 2012; Georgala, 2018; Çalışkan Koç ve Özçira 2019; Köten ve diğ., 2019; Georgala, 2020; Gök, 2021; Bal Yıldırım ve diğ., 2021; Gök ve Vatandost, 2021; Başlar ve diğ., 2022; Yarış, 2022; Kurt ve Levent 2023; Bardakçı ve Karacabey 2023; Oğurlu ve Tarakçı 2023).

Bununla birlikte tespit edebildiğimiz kadarıyla, bu tez çalışmasında olduğu gibi tarhana hamurunun farklı yöntemlerle ve farklı koşullarda kurutulmasını konu alan çalışmaların literatürde sınırlı miktarda bulunduğu söylenebilir. Bu bağlamda, tarhana ile ilgili yapılan çalışmalar özet olarak aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Yapılan bir çalışmada tarhana üretiminde kullanılan farklı kurutma yöntemlerinin patojen mikroorganizmalar üzerinde yaptığı bakteriyostatik etki belirlenmiştir. Bu amaçla, üretilen tarhana hamurlarına 38 adet patojen mikroorganizma (*Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus* and *E. coli* O157:H7+S. aureus) aşılanmıştır. Tarhana örnekleri 35 ± 2 °C'de 7 gün fermente edilerek ve geleneksel sıcak havada ve mikrodalga fırında kurutulmuştur. Mikrobiyal popülasyonun büyümesi ve aşılanan patojenlerin hayatta kalması, tarhana fermantasyonu ve kurutma yöntemlerinden etkilenmiştir. *E. coli* O157:H7 aşılanmış örneklerde, fermentasyonun üçüncü gününe kadar *E. coli* O157:H7 varlığı görülmüş; beşinci günden sonra tespit edilememiştir. *S. aureus* sayısı fermentasyonun birinci gününden sonra belirgin bir şekilde azalmıştır. Ancak fermentasyon sonunda *S. aureus* sayısı 102 kob/g olmuştur. Konveksiyonel kurutma işleminde *S. aureus* sayısı önemli bir seviyenin altına düşmemiştir. Endüstriyel üretim için mikrodalga kurutmanın alternatif kullanılabileceği bildirilmiştir (Dağlıoğlu ve diğ. 2002).

Tarhana hamurunun atmosfer basıncında 10 dakika kaynatılmadan önceki ve sonraki kuruma davranışının incelendiği bir çalışmada; kurutma sıcaklığı (60-80 °C) ve tarhana hamur kalınlığının (1-6 mm) etkisi değerlendirilmiştir. Normal tarhana hamurunun nem içeriği 0.4-0.7 kg su/kg kuru madde arasında sabit hızda kuruma periyodu ve sonrasında azalan hız periyoduna sahipken, kaynatılmış tarhana hamurunun kurutulması tamamen azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Pişirme işlemi sonucunda meydana gelen nişasta jelatinizasyonu ile artan gözenekli yapı

nedeniyle kurutma işleminin daha hızlı olduğu değerlendirilmiştir. Farklı hamur kalınlıklarında suyun difüzyon katsayısı hesaplanmış, hem normal hem de pişmiş hamur için artan numune kalınlığında suyun difüzyon katsayısında bir artış tespit edilmiştir. Ancak pişmiş hamur için difüzyon katsayısı normal hamura göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığının etkisini belirlemek için aktivasyon enerjileri hesaplanmış; normal tarhana hamurunun daha yüksek aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyduğu bildirilmiştir. Hamur kalınlığının aktivasyon enerjisi üzerine etkisinin pişirilmeyen tarhanalarda daha önemli olduğu tespit edilmiştir (İbanoğlu ve Maskan 2002).

Hayta ve diğ. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada endüstriyel mikrodalga kurutma, tünelde kurutma, ev tipi mikrodalga fırında kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılarak tarhanaların fonksiyonel ve duyuşal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Tarhanaların fonksiyonel özelliklerinin kurutma yönteminden etkilendiğı, en yüksek protein çözünürlüğünün dondurarak kurutulmuş örneklerde tespit edildiğı tespit edilmiştir. Endüstriyel mikrodalgada kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin köpük stabilitesi, su ve yağ tutma kapasiteleri ile renk kabul edilebilirliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca endüstriyel mikrodalgada kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin kuruma süresinin de diğer yöntemlere göre önemli ölçüde düşük olduğu bildirilmiştir.

Göçmen ve diğ. (2004) güneşte ve vakumla kurutulmuş tarhana örneklerinde aroma aktif bileşenleri araştırmışlardır. Kullanılan kurutma yöntemindeki farklılıkların aroma aktif bileşiklerin miktarını etkilediğı, vakum kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde uçucu bileşenlerin ham maddelerden salınmasının engellendiğı belirtilmiştir. Vakum kurutma yöntemi ile kurutulan tarhanalarda 41 adet aroma aktif bileşen tutulurken, güneşte kurutma yöntemi ile sadece 23 tane bileşenin korunabildiğı bildirilmiştir. Her iki tarhana türünde de en fazla yoğunluk gösteren aroma bileşik grubunun aldehitler olduğu da çalışmada vurgulanmıştır.

Ekinci (2005) 30 °C'de 4 gün fermantasyon sonrası 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan tarhana örneklerinde kurutma ve fermantasyon proseslerinin suda çözünen çeşitli vitaminler üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda; tarhana örneklerinin suda çözünen vitamin içerikleri üzerinde, hem fermantasyon hem de kurutma koşullarının önemli etkileri olduğu bildirilmiştir. Fermantasyon prosesi ile

tarhana örneklerinin riboflavin, niasin, pantotenik asit, askorbik asit ve folik asit içeriklerinde önemli artışlar olduğu, ancak tiamin ve piridoksinde önemli bir değişme olmadığını tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek suda çözünen vitamin kaybının 70 °C'de 35 saat boyunca kurutulan tarhanalarda olduğu bildirilmiştir.

Yücel Şengün (2006)'ün yaptığı çalışmada; sekiz tane tarhana örneğinde, fermentasyonda rol alan laktik asit bakterilerinin tanımlanması yapılmıştır. Sonuç olarak; mevcut bakteri izolatlarının %45.7'sinin *Lactobacillus*, %28.9'unun *Enterococcus*, %13.7'sinin *Streptococcus*, %4.3'ünün *Pediococcus*, %1.9'unun *Lactococcus*, %1.5'inin *Leuconostoc* ve %1.2'sinin *Weissella*, cinsine ait olduğu bildirilmiştir.

Gürbüz ve diğ. (2010) güneşte, gölgede, vakum altında kurutma ve dondurarak muhafaza yöntemleri ile elde ettiği tarhana örneklerinde organik asit değişimini incelemişler; organik asit miktarının 72 saatlik fermantasyon süresince arttığını, vakumda kurutulmuş, güneşte kurutulmuş ve gölgede kurutulmuş tarhana örneklerinde toplam asitlik değerinin sırasıyla %11, %17 ve %23 arttığını bildirmişlerdir. Dondurulmuş tarhanadan hazırlanan çorbanın duyusal olarak en yüksek puanlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, vakumda kurutulmuş ve dondurulmuş tarhana örneklerinin, güneşte ve gölgede kurutulan tarhana örneklerinden yapılan çorbalara göre daha yüksek duyusal puan aldığı da bildirilmiştir.

Özmen (2011) pirinç ununa ikame olarak mercimek, bezelye ve nohut unlarının tarhanada kullanımını ile ilgili yaptığı çalışmada; kullanılan farklı ikame unların tarhananın renk değerlerini etkilediğini, tarhanaların toplam antioksidan aktivite ve fenolik madde değerleri ile protein, tiamin, riboflavin ve besinsel lif gibi önemli bileşenlerde artışa neden olduğunu bildirmiştir. Duyusal olarak ise %40 baklagil unu ikameli tarhanaların daha yüksek beğeni aldığı da bildirilmiştir.

Özel (2012)'nin çalışmasına göre Uşak yöresinde üretilen tarhanalarda, *Lactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus*; maya türlerinin ise *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida glabrata*, *Candida humilis* ve *Issatchenkia orientalis* türlerinin fermentasyon süresince baskın olduğu bildirilmiştir.

Özçam (2012) yaptığı çalışmada; Kahramanmaraş ilindeki 40 farklı tarhana cipsi mikrobiyolojik açıdan incelenmiş ve çalışma sonucunda; tarhana cipslerinin toplam mezofilik aerobik canlı, küf-maya, toplam koliform ve *Staphylococcus aureus* bakımından mevzuata uygun olduğunu bildirmiştir.

Gül (2013) yaptığı çalışmada; tarhanalarda fermentasyon süresince; *L. namurensis* PFC70 sayısını 3.65-8.30 log kob/g arasında, *P. acidilactici* PFC69 sayısını 3.00-9.32 log kob/g arasında, *Lc. lactis* PFC77 sayısını 3.80-8.64 log kob/g arasında, *S. cerevisiae* PFC121 sayısını ise <3.00-7.18 log kob/g arasında tespit ettiklerini bildirmiştir.

Aslankara (2013) farklı koşullarda kurutulan barbunya unlarını %25-50 oranlarında tarhana üretiminde ikame olarak kullanmıştır. %25 oranında barbunya unu ile ikame edilen tarhana örneklerinin duyusal olarak daha iyi puanlar aldığı tespit edilmiştir. Buna ilave olarak üretilen tarhanadan elde edilen tarhana çorbasının reolojik özellikleri incelenmiş ve tarhana çorbası örneklerinin pseudoplastik tipte akış özelliği gösterdiği bildirilmiştir.

Güneşte kurutma, etüvde kurutma ve mikrodalga kurutma işlemlerinin, farklı oranlarda yulaf unu ilave edilen tarhanaların fenolik madde kompozisyonunun, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesini nasıl etkilendiğinin araştırıldığı bir çalışmada; tarhanalarda en yüksek miktarda bulunan flavonolün kaempferol ve fenolik asit 3-hidroksi-4-metoksi sinamik asit olduğu tespit edilmiştir. Tarhanaya ilave edilen yulaf unu miktarına bağlı olarak, tarhanalarda toplam fenolik madde içeriğinin kademeli olarak arttığı, 55 °C'de etüvde kurutulan tarhana örneklerinde diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek toplam fenolik içeriği tespit edildiği bildirilmiştir. Mikrodalga ve etüvde kurutulan yüksek yulaf unlu tarhanaların toplam antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde miktarı değerlerinin diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buradan yola çıkılarak çalışma sonucunda; yulaf unu katkılı tarhana örneklerinde toplam antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde miktarı açısından etüv ve mikrodalgada kurutma yöntemleri önerilmiştir (Değirmencioglu ve diğ. 2016).

Işık ve Yapar (2017) tarhana üretiminde buğday ununu belli oranlarda domates çekirdeği küspesi ile ikame etmiştir. Domates çekirdeği miktarı arttıkça tarhanaların

protein, yağ, çözünmeyen diyet lifi, toplam diyet lifi, kül, mineral ve toplam fenolik içerikleri ile antioksidan aktivite değerlerinin arttığı bildirilmiştir. Ancak domates çekirdeği küspesi ikamesinin parlaklık değerini azalttığı bildirilmiştir. Yapılan reolojik analizlerde; tarhanalardan yapılan çorbaların Newtonyen olmayan akışkan pseudoplastik akış davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Domates posası ile üretilen tarhanaların görünür viskozite ve K değerleri kontrol grubundan yüksek olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte domates çekirdeği, biber çekirdeği ve biber posası ilave edilen tarhanaların görünür viskozite ve K değerlerinin kontrol örneklerinden düşük olduğu da bildirilmiştir.

Gül ve Çon (2019)'un çalışmasında; tarhana hamurunda fermentasyon sırasında *Saccharomyces cerevisiae* PFC121 ile bazı laktik asit bakterilerinin etkileşimlerini incelemişlerdir. *Saccharomyces cerevisiae* PFC121'in tarhana mikroflorasında bulunmasının tarhananın kimyasal özellikleri ve laktik asit bakterilerinin miktarı ve üzerinde önemli bir etkisi olduğu bildirilmiştir.

Salma ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada; tarhana üretiminde buğday beyaz ununun, tam buğday unu, yulaf ve arpa unları ile ikame edilmesi sonucu üretilen tarhanalarda, reolojik ve duyuşsal nitelikler ile fonksiyonel besin öğelerindeki değişimleri incelemişlerdir. Özellikle tam buğday unu ikameli tarhanalarda protein, lipid, ham lif ve toplam fenolik madde içerikleri bakımından daha yüksek değerler elde edildiği bildirilen çalışmada, beyaz unun farklı tam tahıl unları ile ikame edilerek üretilmesinin mümkün ve faydalı olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte ikame unlarla üretilen tarhanalarda su ve yağ emme kapasitesinin önemli ölçüde arttığı, tarhana çorbası örneklerinin de pseudoplastik akış özelliği gösterdiği bildirilmiştir.

Çalışkan Koç ve Özçira (2019), buğday unu ile ruşeymin farklı oranlarda (%10, 20, 30, 50) kullanıldığı tarhana üretiminde tarhananın bazı özelliklerini araştırmışlardır. Ruşeym ilavesi ile tarhana örneklerinin L ve b değerleri düşmüş, antioksidan kapasite, su ve yağ tutma kapasiteleri ile toplam fenolik madde değerlerinin yükseldiği bildirilmiştir.

Sarı, kırmızı, ve yeşil ve mercimek unlarını buğday unu yerine ikame ederek glutensiz tarhana üretilen bir çalışmada; kontrol grubu olarak üretilen buğday unu tarhanasına alternatif olarak üretilen mercimek unları ikameli tarhanaların; protein,

yağ, kül, diyet lifi, toplam fenolik madde içerikleri ile toplam antioksidan kapasite değerlerinin kaydadeğer olarak arttığı tespit edilmiştir (Göncü ve Çelik 2020).

Aktaş ve Akın (2020) yaptığı çalışmada tarhana hamuru bileşimine pirinç kepeği ve mısır kepeği eklemişler, kullanılan ikamelerin bazı fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik, fonksiyonel ve duyuşal özelliklerindeki değişime etkisini incelemişlerdir. Çalışmada; daha yüksek protein, selüloz, yağ içeriği, kül, antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarına sahip tarhanaların %15 oranında pirinç kepeği ilave edilen örneklerden elde edildiği tespit edilmiştir. Ancak bu tarhanaların duyuşal genel kabul edilebilirlik değerlerinin düşük olduğu, kontrole en yakın duyuşal puanları mısır kepeği ilave edilmiş örneklerin aldığı bildirilmiştir.

Atasoy ve Hendek Ertop (2021) tarafından yapılan çalışmada; tarhana üretiminde buğday unu yerine farklı oranlarda mısır, pirinç, fasulye, nohut, mercimek ve karabuğday unlarını ikame ederek kullanmış ve sonuç olarak farklı ikame bakliyat ve tahıl unları kullanımının tarhana besin öğeleri bileşimi (mineral ve yağ asidi içeriği, antioksidan aktivite vs.) ve reolojik özellikleri bakımından önemli farklılıklara neden olduğu buna ilave olarak tarhananın reolojik niteliklerini de etkilediğini bildirmişlerdir.

Güven (2023), ekmeklik nitelikteki buğday ununa farklı oranlarda düşük kaliteli olarak bilinen bonkalite un ikamesi ile üretilen tarhanalarda; bonkalite un miktarı arttıkça, yoğurma özelliklerinin zayıfladığını, tarhana örneklerinin protein, kül, yağ, toplam fenolik madde ve fitik asit içeriği ile antioksidan kapasite değerlerinin önemli oranda arttığını bildirmiştir. Ayrıca bonkalite un miktarı artışı ile L değeri ve su tutma kapasitesinin düştüğünü, köpük stabilitesi ve yağ tutma kapasitesinin arttığını da bildirmiştir.

Bardakçı ve Karacabey (2023) kırılma penceresi teknolojisi ile vakum ve atmosferik koşullarda tarhana üretimi gerçekleştirmişlerdir. Tarhananın fiziksel ve kimyasal bazı özelliklerini inceledikleri çalışmada; tarhana örneklerinin akış özelliklerini de araştırmışlardır. Üretilen tarhanalardan edilen tarhana çorbalarının psödoplastik akış davranışı gösterdiğini bildirmişlerdir. Buna ilave olarak kurutma sıcaklığındaki artışla örneklerin viskozitelerinde azalma olduğu ve bunun da sıcaklığın

etkisiyle protein-protein ve protein-su interaksiyonlarındaki destabilizasyona bağlanabileceği bildirilmiştir.

Oğurlu ve Tarakçı (2023) tarhanasının besleyici değerini artırmak amacıyla fındık posası ilavesi ile ürettikleri tarhanaların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Fındık posası ilavesi ile tarhan örneklerinin a ve b değerlerinin arttığını, L değerinin ise düştüğünü bildirmişlerdir. Bununla birlikte fındık posası katkı miktarındaki artışla tarhana örneklerinin viskozite değerlerinde azalma olduğu da bildirilmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

Tarhana üretiminde kullanılan buğday unu yerel bir işletmeden (Denizli), kırmızı biber yerel pazar yerinden (Denizli), tam yağlı homojenize inek yoğurdu (Mis, Aynes Gıda San. ve Tic. Aş., Denizli, Türkiye), domates, kuru nane, tuz, kuru soğan ve yaş ekmek mayası (*S. Cerevisiae*) (Pakmaya, İzmir) Denizli ilindeki yerel marketlerden temin edilmiştir.

Tarhana üretim formülasyonu; %40 un, %20 kırmızı biber, %16 yoğurt, %12 soğan, %10 domates, %1 tuz, %0.5 nane ve %0.5 yaş maya olmak üzere toplamda 1 kg kütle olacak şekilde hazırlanmıştır. Öncelikle soğan, domates ve kırmızı biberler doğranmış ve blenderda (Essenso, Food Chopper, Çin) püre haline getirilmiştir. Tarhana hamuru hazırlanırken elde edilen püreye, bütün hamur malzemeleri formülasyonda belirtilen miktarlarda tartılıp eklenerek karıştırılmış ve yoğurucu (KitchenAid, Amerika) ile yoğurulmuştur. Hazırlanan tarhana hamuru 30 °C'de fermentasyona bırakılmıştır. Fermentasyon süresince pH ve asitlik derecesi ölçümleri yapılmıştır. Fermentasyonun 6. gününde asitlik derecesi 21'e ulaşmış olup bu aşamada fermentasyon sonlandırılmıştır. Elde edilen tarhana hamuru buzdolabı sıcaklığında bekletildikten sonra 30, 40 ve 50 °C sıcaklıkta, 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızında, sabit bağıl nemde (%10) ve 1 ± 0.2 cm kalınlıkta kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

4.2 Denemelerde Kullanılan Sistem ve Ölçüm Aletleri

4.2.1 Kurutma Kabini ve Özellikleri

Tarhana hamuru örnekleri, Eksis Endüstriyel Kurutma Sistemleri (Isparta) tarafından üretimi ve bölüm laboratuvarına kurulumu yapılan PLC kontrollü laboratuvar tipi kurutma makinesi (Sıcak havalı kabin tipi kurutucu)'nde kurutulmuştur. Kurutma kabininin genel görünümü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Kurutma kabininin genel görünümü

Laboratuar ölçekli tepsili kurutucunun çalışma sıcaklık aralığı 30-85 °C, hava hızı 0.5 m/s ile 2 m/s aralığındadır. Zaman sayacı ile otomatik kurutma sistemi süresi ayarlama, sıcaklık, hava hızı ve nem kayıt etme, kademeli kurutma ayarı (farklı sürelerde farklı sıcaklıklar ayarı), çalışma esnasında elde edilen veriler ile sıcaklık, ağırlık (opsiyonel), nem değerlerini görme, grafiksel inceleme özellikleri mevcuttur. Paslanmaz çelik iç ve dış kabine sahip olup, 10 adet tepsisi yerleştirmeye uygun raf sistemi, toplam 1 m² tepsiler için 30x30 cm tepsilerden; 10 adet paslanmaz çelik tepsisi kapasitesi bulunmaktadır. Elektrik ısıtma sistemi maksimum 3 kW olarak belirlenmiştir. Devir kontrollü sirkülasyon fan sistemi ve hız kontrollü raf döndürme sistemi, 1 adet filtreli temiz hava giriş fanı, 1 adet nem kontrollü egzoz fanı bulunmaktadır. Ürünün kurutma esnasında ağırlık değişimini ölçebilmek için makine alt kısmında bulunan yük hücresi ile ağırlık değişiminin kontrol edilebilmesi özelliği mevcuttur. Ayrıca kurutma kabinine istenilen düşük sıcaklıklarda (30-35 °C) kurutma yapılabilmesi için soğutma ünitesi entegre edilmiştir.

4.2.2 Renk Cihazı

Kuruma süresince belirlenen aralıklarla alınan tarhana örneklerinin renk ölçümleri Hunterlab MiniScan XE renk ölçüm cihazı (Hunter Associates Laboratory, Model: MiniScan XE, Reston, VA, A.B.D.) ile yapılmıştır (Şekil 4.2). Ölçümlerde ‘Hunterlab Renk Skalası (L, a, b)’ metodu kullanılmıştır. Renk skalasında ‘L’ değeri gıda renginin parlaklığını ifade etmektedir ve 0-100 (beyaz-siyah) aralığında değişen değerler almaktadır. Renk koordinat sistemindeki a ve b değerleri ise belirli bir değer aralığı ifade etmemekle birlikte, ‘a’ değeri pozitif olduğu zaman kırmızılık, negatif olduğunda ise yeşillik değerlerini belirtmektedir. ‘b’ değeri ise pozitif olduğu takdirde sarılık, negatif olduğunda ise mavilik değerlerini belirtmektedir (Uysal 2019).



Şekil 4.2: Renk ölçüm cihazı genel görünümü

4.2.3 Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC)

Tarhana hamurunun kurutulmadan önceki, kurutmanın belli aşamalarındaki ve kurutulduktan sonraki likopen ve β -karoten miktarlarının belirlenebilmesi için, HPLC (Thermo Scientific, UHPLC 3000, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan HPLC cihazının genel görünümü Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3: HPLC cihazı genel görünümü

4.3 Metot

4.3.1 Kabin Kurutucuda Yapılan Kurutma Çalışmaları

Tarhana hamurunun 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda, 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızında, sabit bağıl nem (%10) ve sabit kalınlıkta (1 cm) tarhana kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Fermentasyonu tamamlanan ve başlangıç nem içeriği %50-54 aralığında olan tarhana hamuru buzdolabında (+4°C) bekletildikten sonra 1 cm kalınlığında ve 4 cm çapındaki çemberle şekil verilerek kurutucuda son ürün nem içeriği %8 olana kadar kurutulmuştur. Kurutulan tarhana örneklerinin nem içeriği değişimleri hesaplanmıştır ve kuruma esnasında her bir tarhana örneğinin kurutma kinetiği analizleri sırasında belirlenen toplam kuruma zamanları baz alınarak kurutma süresince eşit zaman aralıklarında 7 adet örnek alınmıştır. Alınan örneklerde renk analizi, β -karoten ve likopen analizleri, aroma profil analizi ve mikrobiyoloji analizleri yapılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Üretimi yapılan tarhana hamurları, kabin kurutucuda belirlenen koşullarda kurutulmuş ve bu koşullarda kurutulan ürünler geleneksel yöntemle kurutulan ürünle

karşılaştırılmıştır. Sıcaklık ve hava hızı değişkenlerine bağlı olarak kabin kurutma koşullarının optimizasyonu yapılmıştır.

4.3.2 Analiz Yöntemleri

4.3.2.1 Renk Değişimlerinin İncelenmesi

Tarhana hamuru örneklerinin renk değişimi üzerine kurutma işleminin etkisini incelemek amacıyla, belirlenen zaman aralıklarında tarhana hamurundan örnekler alınmış, bu örneklerde ölçüm yapılmıştır. Renk ölçümlerinde Hunterlab renk ölçüm cihazı (Hunter Associates Laboratory, Model: MiniScan XE, A.B.D.) kullanılmıştır ve L, a ve b renk değerleri ölçülmüştür.

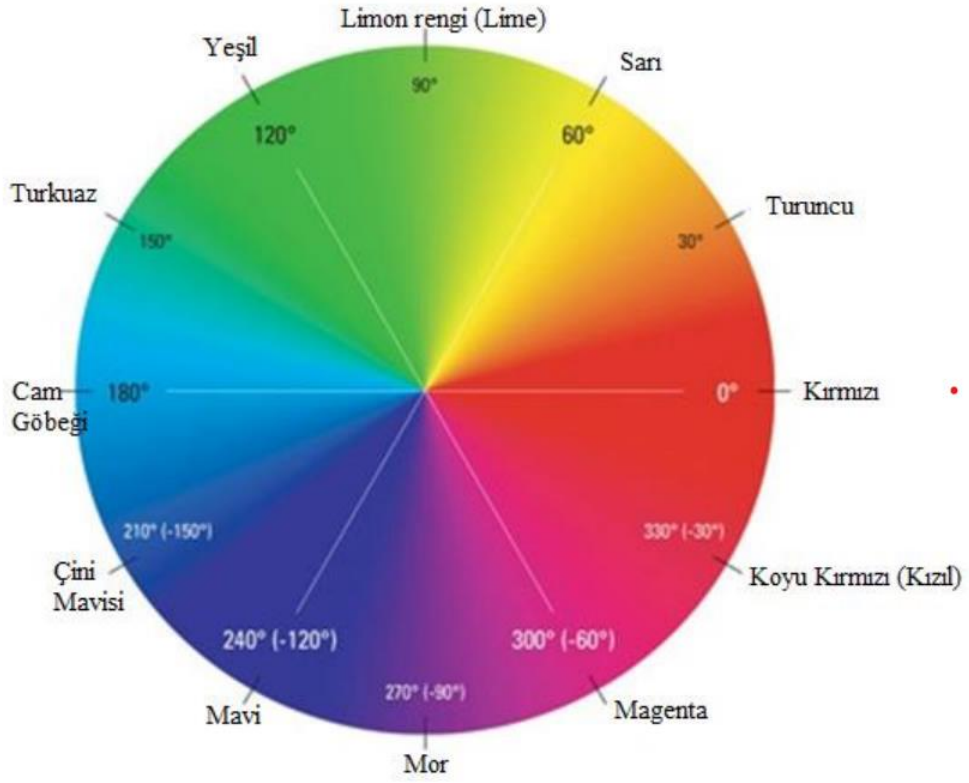
Renk ölçümleri gerçekleştirilmeden önce renk ölçüm cihazı kalibre edilmiştir. Renk ölçümleri, öğütülen ve homojen hale getirilen tarhana örneklerinin 3 farklı noktasından yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Renk ölçümleri sonucunda elde edilen Hunter L, a ve b değerleri kullanılarak; Hue açısı yani renk tonu açısı (Hue Angle), Kroma değeri (Chroma) ve toplam renk sapması (ΔE) gibi renk kriterleri hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1, 4.2, 4.3). Hue açısı bir renk dairesi olarak tanımlanmakta olup kırmızı-mor renkleri 0° - 270° açı değerlerinde, sarı rengi 60° açı değerinde, mavi ve yeşil renkleri arasını da 240° - 120° açı değerlerinde almaktadır. Şekil 4.4'te renklere ait açı değerleri detaylı olarak gösterilmiştir. Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Donuk renklere kroma değerleri düşerken canlı renklere ise kroma değeri yükselmektedir (Demiray 2015).

$$\text{Hue Açısı} = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (4.1)$$

$$\text{Kroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (4.2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (4.3)$$



Şekil 4.4: Renklere ait Hue açısı değerleri (Demiray 2015)

4.3.2.2 Nem Tayini

Tarhana hamuru örneklerinin nem değerleri (g su/g kuru madde); metal nem tayini kaplarına 10 g örnek tartılarak örneklerin kurutma fırınında 105 °C’de 24 saat tutulması ile belirlenmiştir (Göncü 2020).

4.3.2.3 β -Karoten ve Likopen İçeriklerinin Belirlenmesi

Kurutma işleminin, tarhana örneklerindeki β -karoten ve likopen miktarları üzerine etkisini belirlemek amacıyla kurutma aşamasında belirlenen aralıklarla örnekler alınmış ve bu örneklerde HPLC sistemi ile β -karoten ve likopen miktarlarındaki değişim belirlenmiştir. HPLC sistemi ekstraksiyon ile tanımlama ve hesaplama olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır (Demiray 2009).

Ekstraksiyon işleminde kurutma esnasında belirli aralıklarla alınan örneklerden santrifüj tüplerine 3'er gram tartılarak %1 BHT içeren 40 mL etanol / hekzan (4v/3v) çözeltisiyle homojenizatörde (IKA-T25, IKA-Werke, Almanya) 1 dakika homojenize edilmiştir. Bu homojen karışım 5 °C'de 11000 x g'de 15 dakika süre ile santrifüj (Hettich, Universal 30 RF, İngiltere) işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüj cihazından sarsmadan dikkatlice çıkarılan santrifüj tüplerinin üst kısmında oluşan berrak görünümlü etanol-hekzan fazı pastör pipeti kullanılarak amber şişelere alınmıştır.

Amber şişelerde toplanan süpernatantların 0.45 µm'lik membran filtreden (İsolab, 094.05.006, Almanya) geçirilmiş ve HPLC cihazına enjeksiyonu yapılmıştır. Örneklerden elde edilen kromatogramlar β-karoten ve likopen standartlarından elde edilen pikler ile karşılaştırılarak örneklerin β-karoten ve likopen pikleri tespit edilmiştir. β-karoten ve likopen standartlarından farklı konsantrasyonlarda çözeltilerden HPLC cihazına enjeksiyon yapılarak, analiz neticesinde elde edilen β-karoten ve likopen standart çözeltilerinin kromatogramlarının hesaplanan alanlarından elde edilen verilerle çizilen standart eğrilerin denkleminde yararlanılarak örneklerin içerdiği β-karoten ve likopen miktarları tespit edilmiştir.

4.3.2.3.1 Kromatografi Koşulları

β-karoten ve likopen analizlerinde kullanılan HPLC sisteminde C18 kolon (ACE, Aberden, İskoçya, 25 cm x 4.6 mm ID, 5 µm) kullanılmıştır. Sistemde mobil faz olarak hacmen %40 asetonytril, %20 metanol, %20 diklor metan ve %20 hekzan içeren çözelti kullanılmıştır. İzokratik koşullarda akış hızı 0.45 mL/dakika, kolon fırını sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmış, 20 µL enjeksiyon hacmi ve 20 dakika elüsyon süresi ile analiz gerçekleştirilmiştir. β-karoten için 445nm ve likopen için 470 nm'de DAD (Thermo Scientific, UHPLC 3000, Almanya) dedektör kullanılarak okuma gerçekleştirilmiştir.

4.4 Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

4.4.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Tarhana örneklerinin kabin kurutucu sistemlerde kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = (m/KM)/KM \quad (4.4)$$

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

m: Örnek ağırlığı (g)

KM: Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g) (Tüfekçi 2014).

4.4.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

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

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t)/dt \quad (4.5)$$

M_{t+dt} : Herhangi bir t+dt anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

dt: Kuruma süresi (dakika) (Tüfekçi 2014).

4.4.3 Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı terimi birimsizdir ve Denklem 4.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR = (M - M_e)/(M_0 - M_e) \quad (4.6)$$

MR: Nem oranı (birimsiz)

M: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_0 : Başlangıç nem içeriği (g su/g kuru madde) (Tüfekçi 2014).

4.5 Kinetik Modelleme Çalışmaları

4.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Farklı koşullar altında elde edilen kurutma eğrileri ile yapılan matematiksel modelleme çalışmaları son ürün kalitesi hakkında fikir vermektedir. Bu da kurutma prosesinin nicel olarak anlaşılmasına, uygulama ve ekonomik anlamda prosesin değerlendirilmesine olanak sağlar. Kurutma kinetiği modelleri, prosese dahil olan sıcaklık, hava hızı gibi değişkenlerin kurutma kinetiği üzerindeki etkisini belirlemek ve proses koşullarının optimize edilmesi açısından önemli görülmektedir (Tüfekçi 2014).

Bu çalışmada deneysel verilerin Page, Henderson Pabis, Lewis, Logaritmik ve Modifiye Page modellere uygunluğu araştırılmıştır.

4.5.1.1 Page Model

Page model Denklem 4.7'de sunulmuştur.

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (4.7)$$

k: Kinetik sabit (1/dakika)

n: Modele ait katsayı

t: Kuruma süresi (dakika) (Doymaz 2004).

4.5.1.2 Henderson ve Pabis Model

Henderson ve Pabis model Denklem 4.8'de sunulmuştur.

$$MR = a \exp(-kt) \quad (4.8)$$

a: Modele ait katsayı (birimsiz)

k: Kinetik sabit (1/dakika)

t: Kuruma süresi (dakika) (Dadalı ve diğ. 2007).

4.5.1.3 Lewis Model

Lewis modeli Denklem 4.9'da verilmiştir.

$$MR = \exp(-kt) \quad (4.9)$$

k: Kinetik sabit (1/dakika)

t: Kuruma süresi (dakika) (Akpınar ve diğ. 2003).

4.5.1.4 Logaritmik Model

Logaritmik model Denklem 4.10'da verilmiştir.

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (4.10)$$

a: modele ait katsayı (birimsiz)

c: modele katsayı (birimsiz)

k: kinetik sabit (1/dak)

t: kuruma süresi (dakika) (Toğrul ve Pehlivan 2004).

4.5.1.5 Modifiye Page Model

Modifiye Page model Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (4.11)$$

k: kinetik sabit (1/dakika)

n: modele ait katsayı

t : kuruma süresi (dakika) (Özdemir ve Devres 1999).

4.5.2 Regresyon Analizleri

Karekök ortalamasının hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir (Mengeş ve Ertekin 2007). RMSE ve χ^2 değerleri Denklem 4.12 ve Denklem 4.13 ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır (Tüfekçi ve Özkal 2020).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4.12)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (4.13)$$

N: Deneysel veri sayısı

n: Kullanılan modeldeki katsayı sayısı

4.5.3 Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması

Gıdaların ince tabaka şeklinde kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin önemli ölçütlerinden biri olan etkin difüzyon katsayısı tarhana örnekleri için, Fick'in ikinci yasasının uygun sınır koşullarda dilim (kesit) kabulü yapılması sonucu elde edilen Denklem 4.14 basitleştirilerek hesaplanmıştır;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1+2n)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 Def f^t}{4L^2}\right) \quad (4.14)$$

D_{eff} etkin difüzyon katsayısı (m^2 /saat), L dilim kalınlığının yarısı (merkezinden dilimin yüzeyine olan mesafe) (m) ve t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Tüfekçi 2014).

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri çözüm için kullanıldığında, Denklem 4.15 logaritmik formda yazılır (Tüfekçi 2014).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad (4.15)$$

Deneyel MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden etkin difüzyon katsayısı hesaplanır (Tüfekçi 2014).

$$eğim = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (4.16)$$

4.5.4 β -Karoten ve Likopen Değişimlerinin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları

β -karoten ve likopen değişimlerine ait sıfırıncı derece kinetik modele ait eşitlik aşağıda verilmiştir (Tümer 2022);

$$C = C_0 \pm kt \quad (4.17)$$

C: Herhangi bir t anındaki bileşen konsantrasyonu

C_0 : t=0 anındaki bileşen konsantrasyonu

k: Kinetik sabit (konsantrasyon / zaman (dakika))

t: Zaman (dakika)

β -karoten ve likopen değişimlerine ait birinci derece kinetik modele ait eşitlik aşağıda verilmiştir (Tümer 2022);

$$C/C_0 = \exp(\pm kt) \quad (4.18)$$

C: Herhangi bir t anındaki bileşen konsantrasyonu

C_0 : t = 0 anındaki bileşen konsantrasyonu

k: Kinetik sabit (zaman (dakika))⁻¹

t: Zaman (dakika)

4.5.4.1 Aktivasyon Enerjisinin (E_a) Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, hem Q₁₀ ve hem de aktivasyon enerjisinin (E_a) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından 1889'da tanımlanmış olup, bugün de geçerliliğini koruyan bu ifade Eşitlik 4.19 verilmiştir (Ariahu ve diğ. 2021).

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (4.19)$$

k: Kinetik sabit (h⁻¹)

k₀: Arrhenius sabiti veya frekans faktörü

E_a: Aktivasyon enerjisi (kJ mol⁻¹)

R: Gaz sabiti (8.314 x 10⁻³ kJ mol⁻¹ K⁻¹)

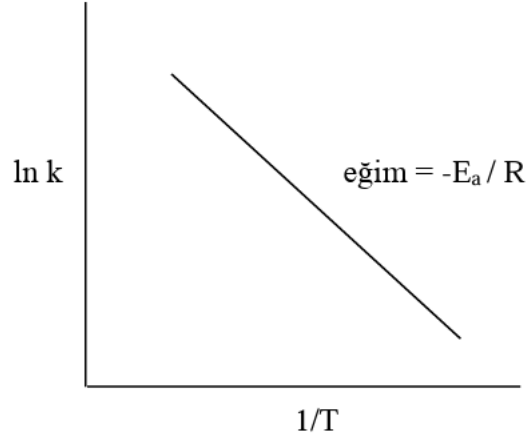
T: Sıcaklık (K)

Eşitlik 4.19 ile verilen Arrhenius bağıntısının logaritması alınarak,

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (4.20)$$

Eşitlik 4.20 elde edilir. Bu eşitlikten yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır. 1/T – ln k grafiği çizilerek (Şekil 4.5) elde edilen doğrunun eğiminden yararlanılarak ve Eşitlik 4.21 kullanılarak E_a hesaplanır (Ariahu ve diğ. 2021).

$$E_a = -(eğim)R \quad (4.21)$$



Şekil 4.5: Arrhenius grafiği

4.5.4.2 Q₁₀ Değerinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklığa bağımlılığını gösteren diğer bir kinetik katsayı olan Q₁₀ değeri, sıcaklığın 10°C yükseltilmesinin reaksiyon hızına etkisini gösteren bir kriter olup (Cemeroğlu ve diğ. 2011), Eşitlik 4.22'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = (k_2/k_1)^{10/(T_2-T_1)} \quad (4.22)$$

k₁: T₁ sıcaklığındaki kinetik sabit (h⁻¹)

k₂: T₂ sıcaklığındaki kinetik sabit (h⁻¹)

T₁: Sıcaklık (K)

T₂: Sıcaklık (K)

4.5.4.3 Yarı Ömür Süresinin (t_{1/2}) Hesaplanması

Tarhana örneklerinin kurutulması sürecindeki β-karoten ve likopen konsantrasyonlarının yarısının azalması için gerekli süreyi ifade eden yarı ömür süresinin (t_{1/2}) hesaplanmasında kullanılan denklem aşağıda verilmiştir (Ariahu ve diğ. 2021).

$$t_{1/2} = \ln(0.5)/k \quad (4.23)$$

$t_{1/2}$: Yarı ömür süresi

k : Kinetik sabit (zaman (dakika))⁻¹

4.6 Reolojik Analizler

10 g miktarda tartılan kurutulmuş tarhana örneğinin üzerine 90 mL saf su ilave edilmiştir. Oluşan %10'luk (w/v) tarhana-su karışımı manyetik karıştırıcı ısıtıcıda (Daihan MSH-20A, Güney Kore) ısıtıcısı 250 °C'de ayarlanarak 750 rpm karıştırma hızında geri soğutmalı sistemde 5 dk karıştırılmıştır. Hazırlanan tarhana çorbası örneklerinin reolojik özellikleri Brookfield DV-III reometre cihazında (Brookfield Engineering Lab. ABD) belirlenmiştir. Ölçümler sirkülasyonlu su banyosuna bağlı numune kabında 70 °C'de SC4-21 nolu reolojik ölçüm başlığı ile 14 farklı devir sayısında (40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 135, 140, 150, 160, 180 ve 200 rpm) gerçekleştirilmiştir. Bu sayede farklı kayma hızlarına karşılık kayma gerilimi grafikleri ve akış eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen akış davranış eğrilerinin üs yasası (power law) (psödoplastik davranışı ifade eden model) modeline uygunluğunu araştırmak üzere; akış davranış indeksi (n) ve kıvam katsayısı (K) değerleri hesaplanmıştır (Denklem 4.24) (Davulcu 2012).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (4.24)$$

K : Kıvam indeksi

n : Akış davranış indeksi

4.6.1 Ortalama Mutlak Sapma (OMS)

$$OMS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{deney} - y_{model}}{y_{deney}} \right|_i \times 100 \quad (4.25)$$

y : Deneylerden ve model denkleminde elde edilen değerleri

n : Kullanılan veri sayısını ifade etmektedir (Davulcu 2012).

4.7 Mikrobiyolojik Analizler

Mikrobiyolojik analiz için kurutulmuş tarhana örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve maya küf (MK) sayımı analizleri yapılmıştır (Göncü 2020).

4.7.1 Toplam Mezofilik Aerobik Bakterileri (TMAB) Sayımı

Tarhana örnekleri ile hazırlanan dilüsyonlardan Plate Count Agar (PCA) besiyerine yayma yöntemiyle paralelli olarak ekim yapılmıştır. Sonrasında 30 °C'de 48 saat süreyle inkübasyona tabi tutulmuştur. İnkübasyon sonrası petri kapları üzerinden sayım yapılmış sonuçlar log kob/g olarak tespit edilmiştir (Göncü 2020).

4.7.2 Maya ve Küf Sayımı

Tarhana örnekleri ile hazırlanan dilüsyonlardan Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol Agar (DRBC) besiyerine iki paralel yayma yöntemiyle ekim yapılmıştır. 28-30 °C'de 5 gün süreyle inkübasyona bitakılmıştır. Maya ve küf görülen petri kapları üzerindeki koloniler sayılmış ve sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir (Göncü 2020).

4.8 Aroma Analizi

Kurutulmuş tarhana örneklerinde aroma analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hizmet alımı şeklinde yapılmıştır. Analiz koşulları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Aroma analizi koşulları

Kullanılan Cihaz:	Shimadzu (Japan) GC- 2010 Plus Shimadzu GCMS-QP2010 SE (Dedektör)
Enjeksiyon Bloğu:	250 °C
Dedektör:	250 °C
Akış Hızı(ml/dakika):	1,61
Dedektör :	70 eV
İyonlaştırma Türü:	EI
Kullanılan Gaz:	Helyum
Kullanılan Kolon:	Restek Rx-5Sil MS 30 m * 0.25 mm, 0.25 um katalog no : Restek 13623
Sıcaklık Programı:	40 °C de 2 dakika bekledikten sonra 250 °C'e dakikada 4 °C'lik artışla ulaşıyor. 250 °C'de 5 dakika bekliyor.
Kullanılan Kütüphaneler:	Wiley, Nist, Tutor, FFNSC
SPME şartları:	Fused silica SPME fiber CAR/PDMS numune 60 °C de fibersiz 15 dakika fiber ile 30 dakika bekletilip 250 C de desorbe edilir. Katalog no: supelco 57318
SPME VİAL	Supelco 27159 15 mL clear PTFE /Silicone septa Cap

4.9 Optimizasyon ve İstatistiksel Analizler

Endüstriyel tarhana kurutma prosesinde optimum kurutma koşullar yanıt yüzey metodu kullanılarak Design Expert 7.0 (Stat-Ease Co., Mineapolis, ABD) programı ile belirlenmiştir. Elde edilen veriler aynı paket program (Stat-Ease Inc., Version 7.0, Minneapolis, ABD) içerisinde gerçekleştirilen ANOVA analizleri ile değerlendirilmiştir. Tarhana örneklerinin toplam β -karoten miktarı değişim oranı, toplam likopen değişim oranı ve kuruma süreleri referans alınarak Merkezi Kompozit Tasarım modeli uygulanmıştır.

Tez çalışması kapsamında tarhana üretimi üç tekerrürlü olarak, analizler iki paralelli olarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarının ortalama değerleri kullanılarak SPSS

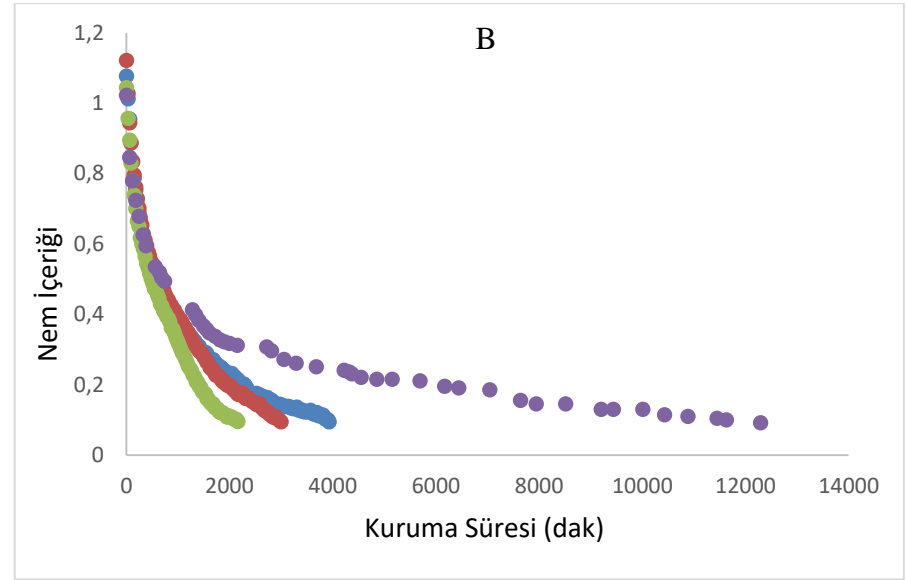
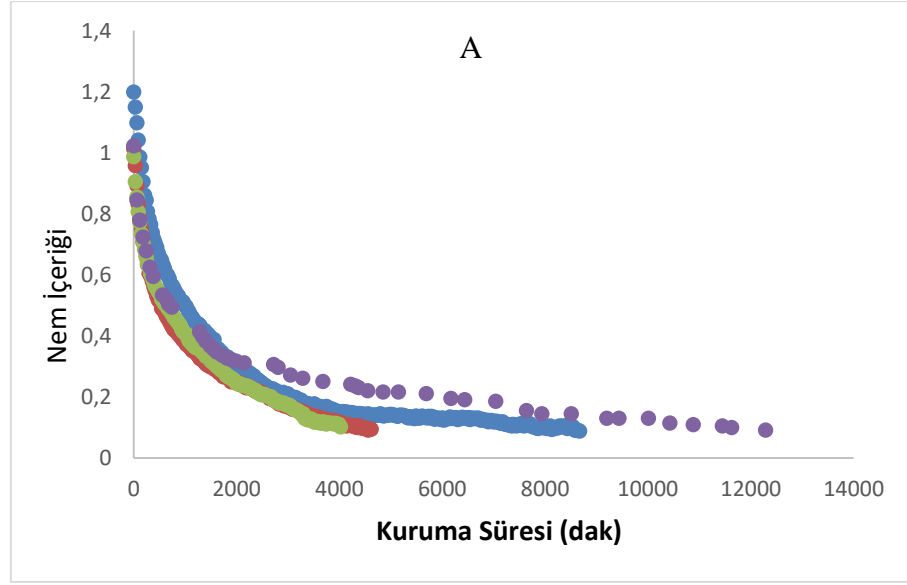
16.0 paket programı ile varyans analizi yapılmış ve ortalamaların karşılaştırılması Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur.

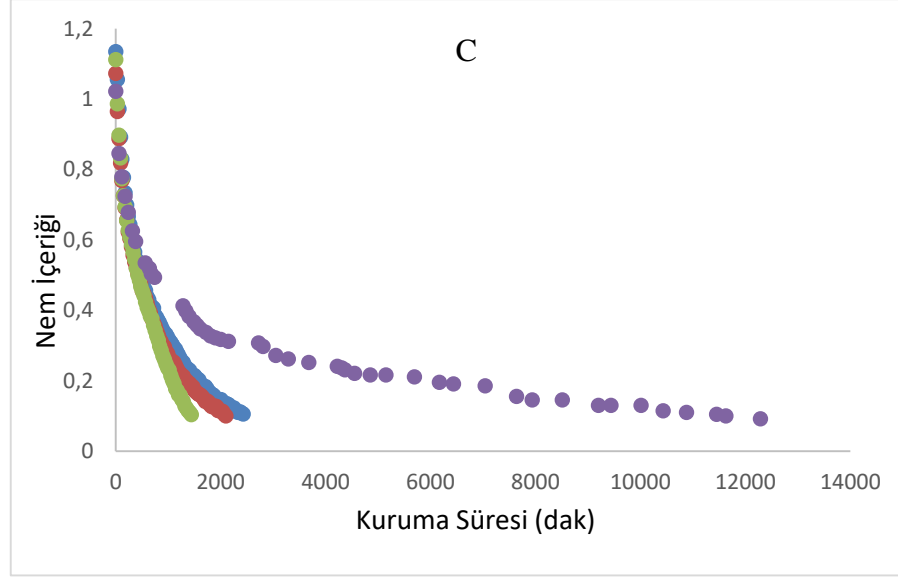
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1 Tarhana Hamurunun Farklı Sıcaklık ve Hava Hızıyla Kurutulmasıyla İlgili Kinetik Çalışma Sonuçları

5.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Tarhana örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_0=1.08\pm 0.06$ kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Üç farklı kurutma sıcaklığında (30, 40 ve 50°C), üç farklı hava hızında (0.5, 1.25 ve 2 m/s), %10 bağıl nemde ve geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler geleneksel yöntemle karşılaştırmalı olarak Şekil 5.1 A, B, C’de grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 5.1’den de görüleceği üzere kurutmada kullanılan sıcaklık değerlerinin artması ile kuruma sürelerinde önemli azalmalar saptanmıştır. Nitekim, 0.5 m/s hava hızında kurutulan örneklerden; 30°C sıcaklıkta kurutulan örneklerin nem içeriğinin 1.09’dan 0,103 kg su/kg kuru madde değerine düşmesi 8160 dakika sürerken, 40°C sıcaklık ortamında nem içeriğinin 1.07’den 0.103 kg su/kg kuru madde değerine düşmesi 3840 dakika, 50°C sıcaklık ortamında ise nem içeriğinin 1.05’ten 0.105 kg su/kg kuru madde değerine düşmesi 2400 dakika sürmüştür. Geleneksel yöntemde kurutulan örneklerde ise nem içeriğinin 1.02’den 0.109 kg su/kg kuru madde değerine düşmesi 10880 dakika zaman almıştır. Diğer hava hızı koşullarında (1.25 ve 2 m/s) da benzer şekilde kurutma ortamı sıcaklığındaki artış ile örneklerin kuruma zamanları kayda değer oranda azalmış olup tüm kabin kurutma koşullarında kuruma zamanları geleneksel yöntemden daha kısa sürmüştür.





Şekil 5.1: Tarhana örneklerine ait nem içeriği kuruma süresi grafikleri; A) 30 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma, B) 40 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma, C) 50 °C’de farklı hava hızlarında ve geleneksel yöntemle kurutma

5.1.2 Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinin kabin kurutucuda kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler beş ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı ve sabitleri ile istatistiksel veriler Tablo 5.1’de verilmiştir. Elde edilen verilerden, yüksek R^2 ile düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip Page ve Modifiye Page modellerin tarhana örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri Page ve Modifiye Page modeller için sırasıyla 0.9596-0.9981, 0.000042-0.00061 ve 0.000764-0.003041 aralığında bulunmuştur.

Tablo 5.1: Kurutulmuş tarhana örnekleri için kullanılan modellerin istatistiksel parametreleri ve model katsayıları

Örnek Kodu	Model No	Model Katsayıları			R ²	RMSE	X ²
30°C 0,5 m/s	Lewis	k=0.0004			0.9388	0.007734	0.017409
	Henderson ve Pabis	k=0.0002	a=2.2791		0.8552	0.056357	0.927469
	Page	k=0.016431	n=0.5701		0.9569	0.001445	0.00061
	Modifiye Page	k=0.000742	n=0.5701		0.9569	0.001445	0.00061
	Logaritmik	k=0.0005	a=0.4961	c=0.0737	0.9405	0.003592	0.003782
30°C 1,25 m/s	Lewis	k=0.0006			0.9744	0.0089	0.012358
	Henderson ve Pabis	k=0.0004	a=1.6019		0.9748	0.040532	0.257973
	Page	k=0.013961	n=0.6096		0.9839	0.001221	0.000234
	Modifiye Page	k=0.000905	n=0.6096		0.9839	0.001221	0.000234
	Logaritmik	k=0.0009	a=0.8345	c=0.0928	0.9171	0.003685	0.002147
30°C 2 m/s	Lewis	k=0.0006			0.9834	0.008389	0.009573
	Henderson ve Pabis	k=0.0005	a=1.4117		0.9861	0.029004	0.115279
	Page	k=0.01216	n=0.6236		0.9953	0.000942	0.000121
	Modifiye Page	k=0.000849	n=0.6236		0.9953	0.000942	0.000121
	Logaritmik	k=0.001	a=0.9112	c=0.1037	0.9293	0.004763	0.003133
40°C 0,5 m/s	Lewis	k=0.0007			0.975	0.009104	0.011025
	Henderson ve Pabis	k=0.0005	a=1.5728		0.9694	0.040044	0.214928
	Page	k=0.0123	n=0.6378		0.9851	0.001314	0.000231
	Modifiye Page	k=0.001	n=0.6378		0.9851	0.001314	0.000231
	Logaritmik	k=0.001	a=0.7429	c=0.0873	0.9734	0.002667	0.00096
40°C 1,25 m/s	Lewis	k=0.0009			0.9872	0.007978	0.006493
	Henderson ve Pabis	k=0.0007	a=1.3713		0.9903	0.03053	0.096044
	Page	k=0.0119	n=0.656		0.9939	0.001275	0.000167
	Modifiye Page	k=0.0011	n=0.656		0.9939	0.001275	0.000167
	Logaritmik	k=0.0013	a=0.8969	c=0.0842	0.9226	0.004603	0.002206
40°C 2 m/s	Lewis	k=0.0012			0.9955	0.006306	0.002943
	Henderson ve Pabis	k=0.0011	a=1.1858		0.9946	0.017552	0.023124
	Page	k=0.0073	n=0.7474		0.9918	0.002251	0.00038
	Modifiye Page	k=0.0013	n=0.7474		0.9918	0.002251	0.00038
	Logaritmik	k=0.002	a=1.1872	c=0.0917	0.9258	0.012397	0.0117
50°C 0,5 m/s	Lewis	k=0.0011			0.91	0.0093	0.0071802
	Henderson ve Pabis	k=0.0009	a=1.4034		0.9843	0.034669	0.101028
	Page	k=0.0102	n=0.6995		0.9893	0.001543	0.0002002
	Modifiye Page	k=0.0014	n=0.6995		0.9893	0.001543	0.0002002
	Logaritmik	k=0.0018	a=0.9636	c=0.0918	0.923	0.005877	0.002939
	Lewis	k=0.0012			0.9296	0.009507	0.006509

50°C 1,25 m/s	Henderson ve Pabis	k=0.001	a=1.3467		0.9882	0.033847	0.083697
	Page	k=0.0116	n=0.6909		0.9981	0.000764	0.000042
	Modifiye Page	k=0.0015	n=0.6909		0.9981	0.000764	0.000042
	Logaritmik	k=0.0019	a=0.9197	c=0.093	0.9509	0.004843	0.001739
50°C 2 m/s	Lewis	k=0.0016			0.9796	0.008033	0.003228
	Henderson ve Pabis	k=0.0015	a=1.1448		0.9915	0.019066	0.018571
	Page	k=0.0097	n=0.7369		0.9884	0.003041	0.000472
	Modifiye Page	k=0.0018	n=0.7369		0.9884	0.003041	0.000472
Geleneksel Yöntem	Logaritmik	k=0.0026	a=1.0875	c=0.093	0.8881	0.012088	0.007627
	Lewis	k=0.0002			0.893	0.036992	0.067084
	Henderson ve Pabis	k=0.0002	a=1.9096		0.8994	0.116371	0.678299
	Page	k=0.0378	n=0.4404		0.9882	0.002706	0.000367
Geleneksel Yöntem	Modifiye Page	k=0.0005	n=0.4404		0.9882	0.002706	0.000367
	Logaritmik	k=0.0003	a=0.5183	c=0.0896	0.9544	0.011648	0.006946

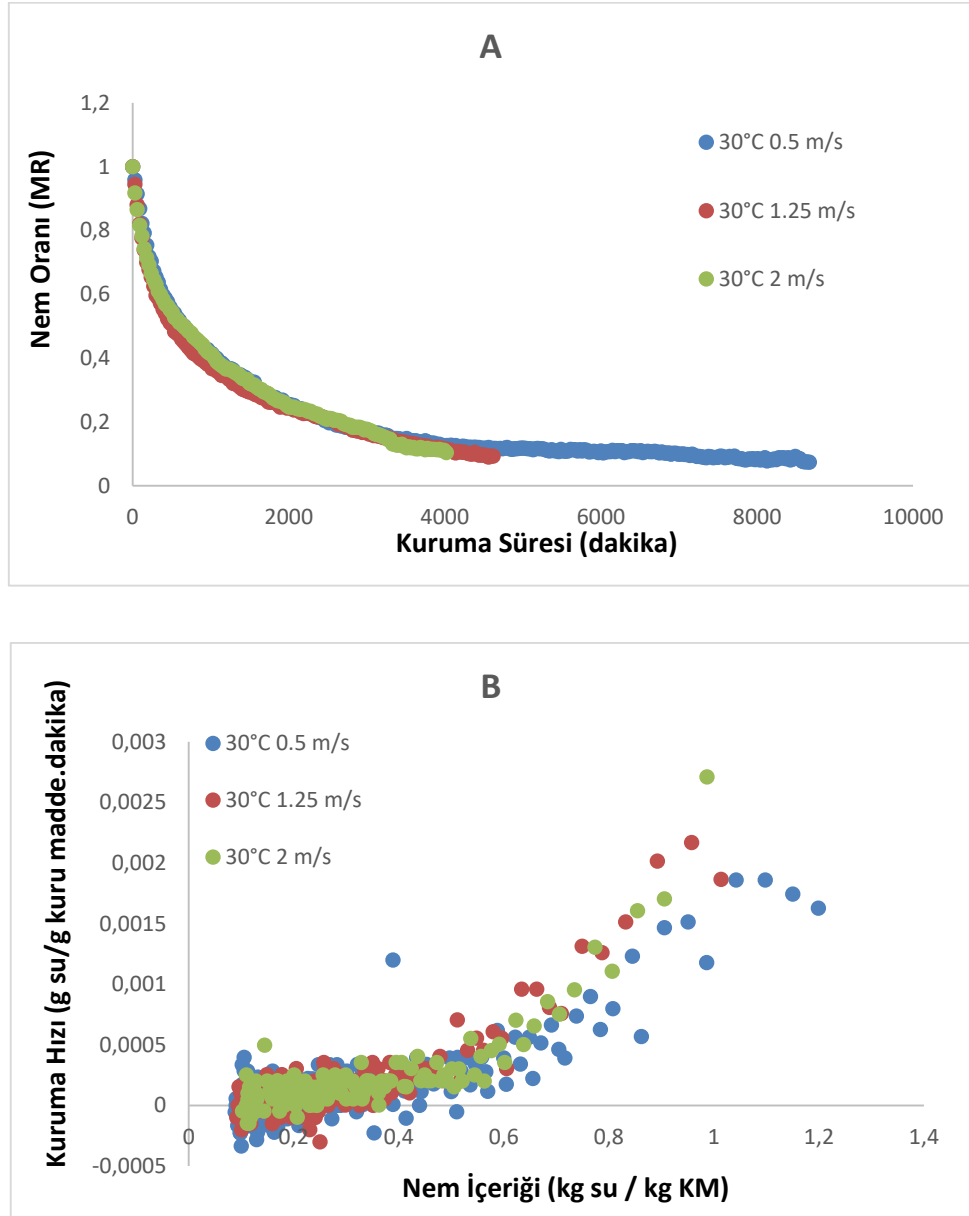
Tarhana örneklerinin 30,40 ve 50 °C’de kurutulması sürecinde etkin difüzyon katsayıları Tablo 5.2’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre 30 °C’de kurutulan örneklerin 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızları için tespit edilen difüzyon katsayısı değerleri $6.99-14.79 \times 10^{-8}$, 40 °C için $15.7-32.11 \times 10^{-8}$ ve 50 °C için $26.64-44.98 \times 10^{-8}$ aralığında tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneği için ise etkin difüzyon katsayısı değeri 0.003×10^{-8} olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden anlaşıldığı üzere kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. İbanoğlu ve Maskan (2002)’in tarhana kuruttukları çalışmada elde edilen difüzyon katsayısı değerleri çalışmamız ile uyum içindedir.

Tablo 5.2: Farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri

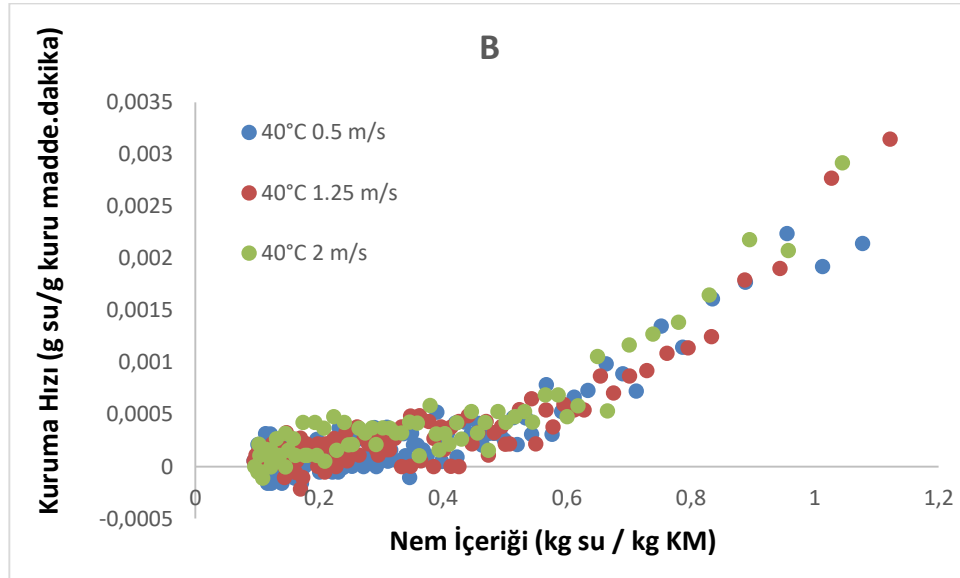
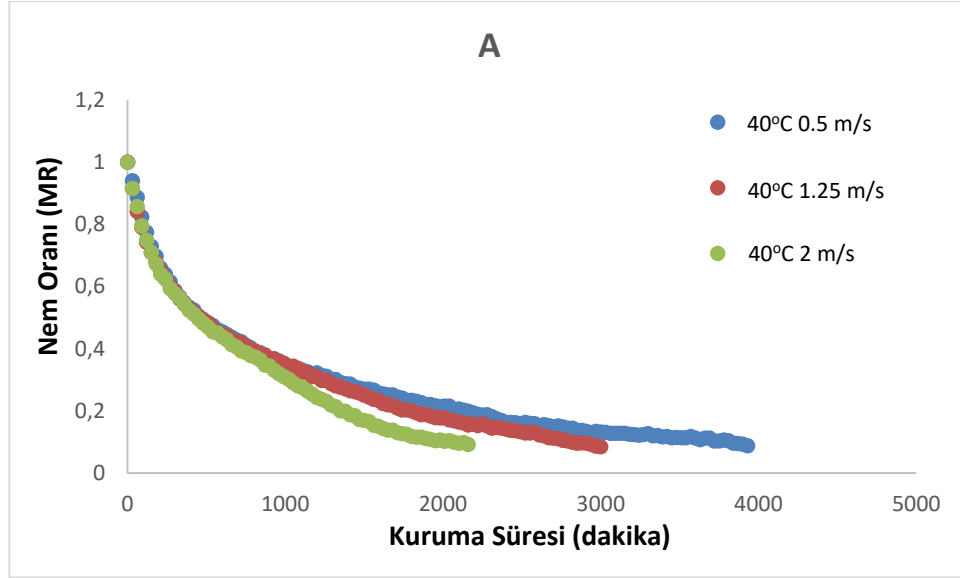
Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	$D_{eff} * 10^{-8}$ (m ² /s)
30	0.5	6.99
30	1.25	13.27
30	2	14.79
40	0.5	15.7
40	1.25	21.48
40	2	32.11
50	0.5	26.64
50	1.25	30.49
50	2	44.98
Geleneksel Yöntem		0.003

5.1.2.1 Kurutma Sıcaklığının ve Hava Hızının Kurumaya Etkisi

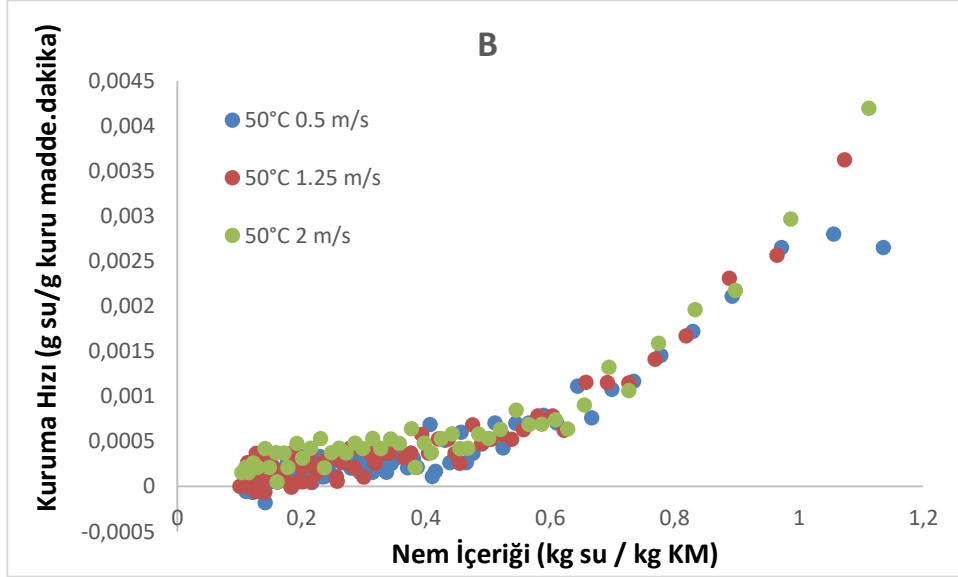
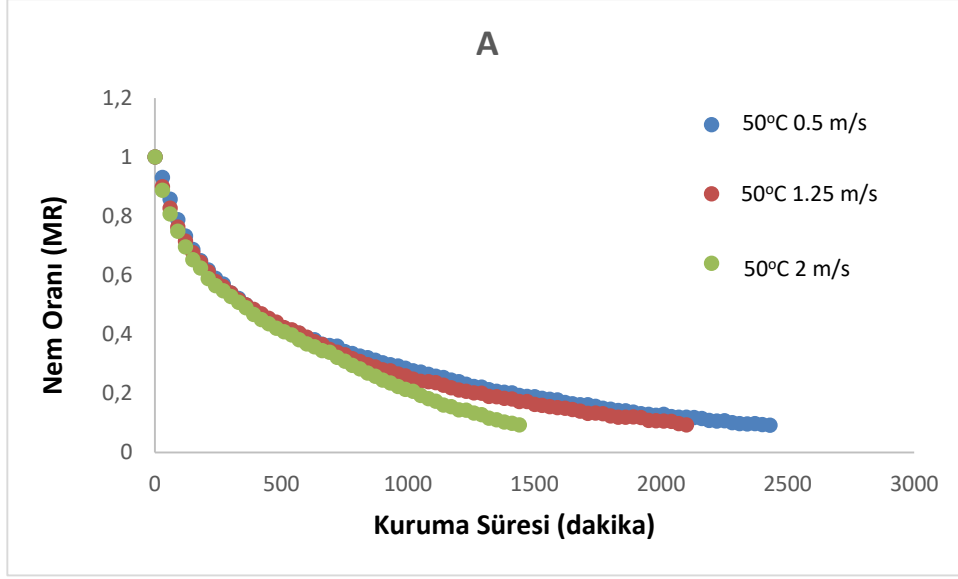
Denemelerde uygulanan kurutma sıcaklığı ve hava hızının tarhana örneklerinin kuruma eğrilerine etkisi Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 'te verilmiştir. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 incelendiğinde kurutma sıcaklığındaki ve hava hızındaki artışın kuruma süresini kısalttığı görülmektedir. Şekil 5.5'te ise geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğine ait kuruma eğrileri de verilmiştir.



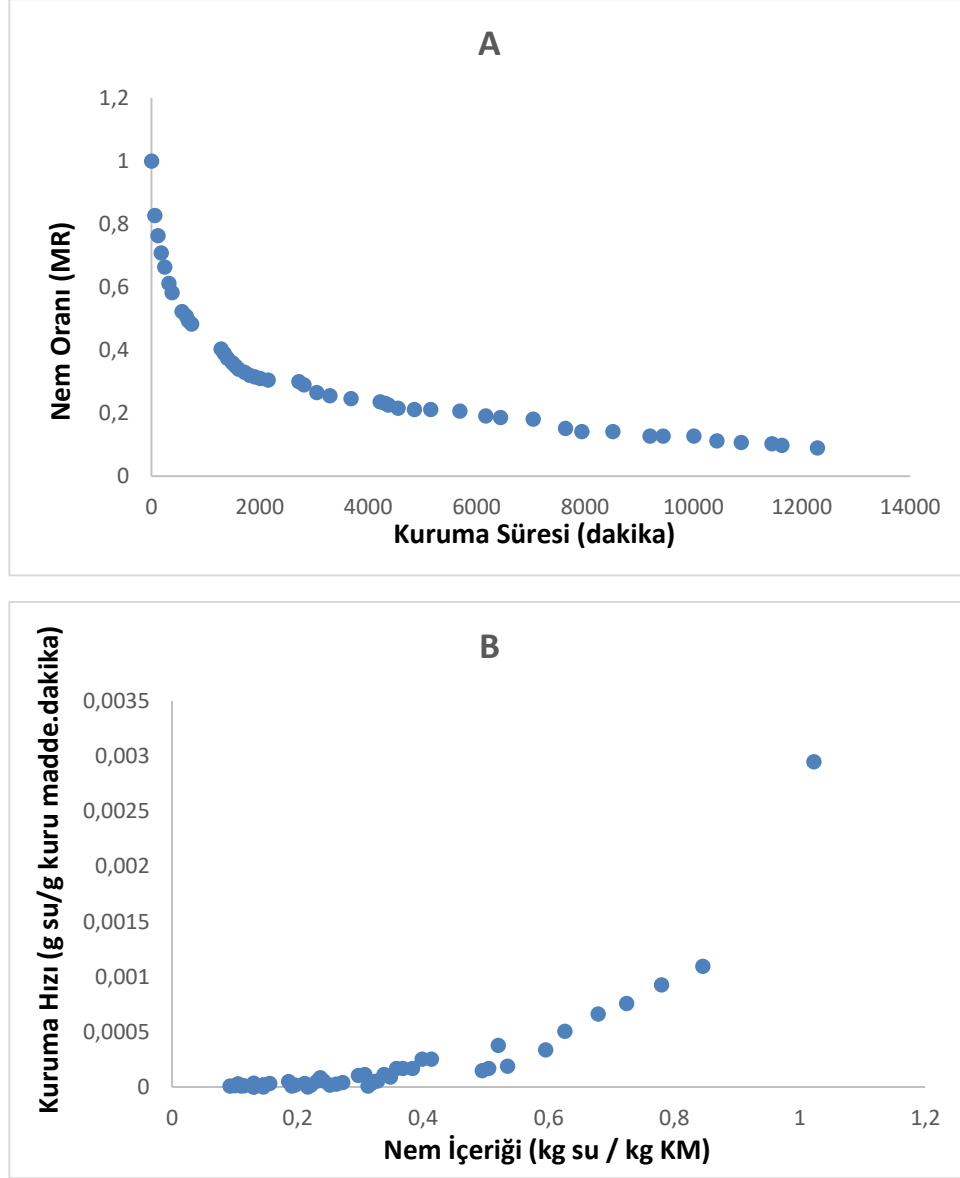
Şekil 5.2: 30 °C'de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi



Şekil 5.3: 40 °C’de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi



Şekil 5.4: 50 °C’de 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızına tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi



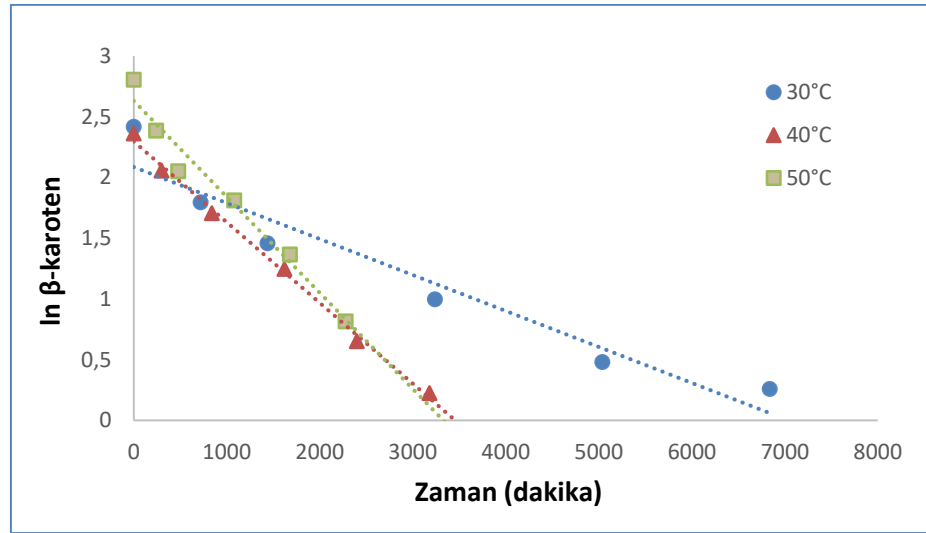
Şekil 5.5: Geleneksel yöntemle kurutma işlemine tabi tutulmuş tarhana örneklerinin kuruma eğrileri, A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi

Tarhana örnekleri için çizilen nem içeriğine karşı kuruma hızı grafikleri incelendiğinde; bu çalışmada sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenmemiştir. Tarhana örneklerinin kurutulması sürecinde tüm koşullarda hava hızları için kurutma süreci boyunca azalan hızda kuruma periyodu görülmüştür. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinde de azalan hızda kuruma periyodu gözlenmiştir. Tüm nem içeriği-kurutma hızı grafikleri incelendiğinde; çalışmada ağırlıklı olarak azalan hızda kuruma periyodu gözlenmesi, kurutma sürecinin de çoğunlukla difüzyon kontrollü

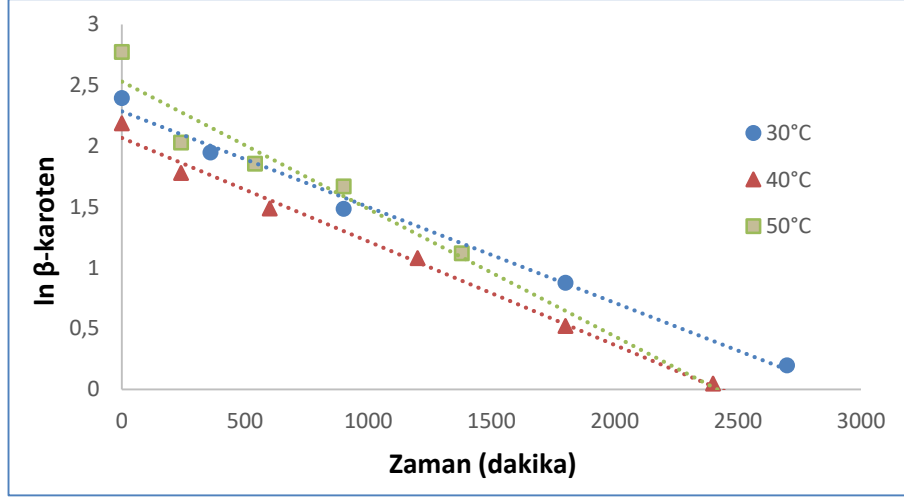
olarak gerçekleştiğini göstermektedir (Demiray ve Tülek 2012; İbanoğlu ve Maskan 2002).

5.1.3 Tarhana Örneklerinde β -Karoten ve Likopen Değişim Kinetiği

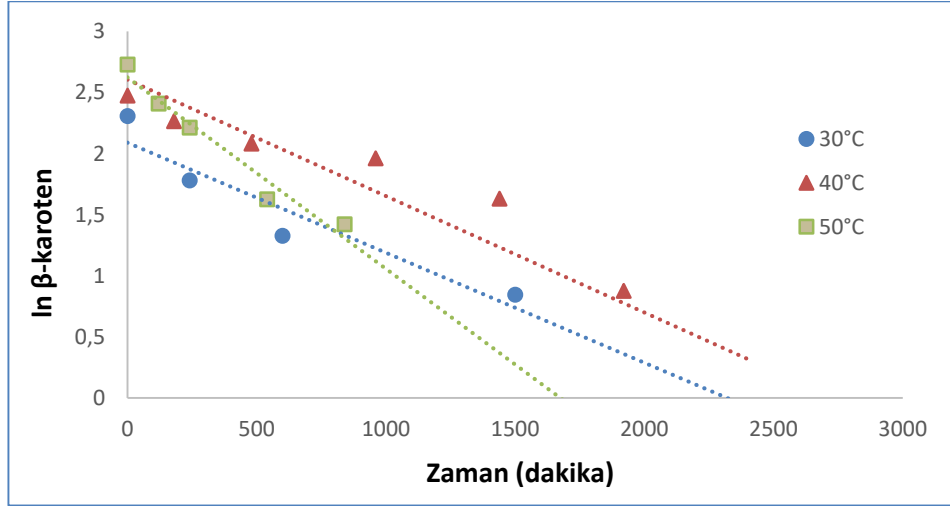
Her sıcaklık ve hava hızı için tarhana örneklerinin kurutulması sırasındaki β -karoten konsantrasyonlarının doğal logaritmasının zamana karşı değişim grafiği Şekil 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9’de verilmiştir. Doğrusal korelasyon katsayıları (R^2) 0.92 ile 0.99 arasında değişmektedir, bu da β -karoten bozunma reaksiyonunun birinci derece kinetik modele uygun olduğunu doğrulamaktadır (Bechoff ve diğ. 2010; Demiray ve Tülek 2016; Ariaahu 2021). Tez çalışmasından farklı olarak Soto ve diğ. (2020)’nin papaya cipsini 15, 25, 35 ve 45°C’de depoladıkları çalışmada β -karoten bozunma reaksiyonunun ikinci derece kinetik modele uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Tarhana kurutma proseslerinde tüm farklı hava hızı koşulları için kurutma sıcaklığındaki artışın tarhana örneklerinin β -karoten içeriğinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Chilungo ve diğ. (2019) da 37°C’den yüksek sıcaklıklarda β -karotenin bozunma eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir.



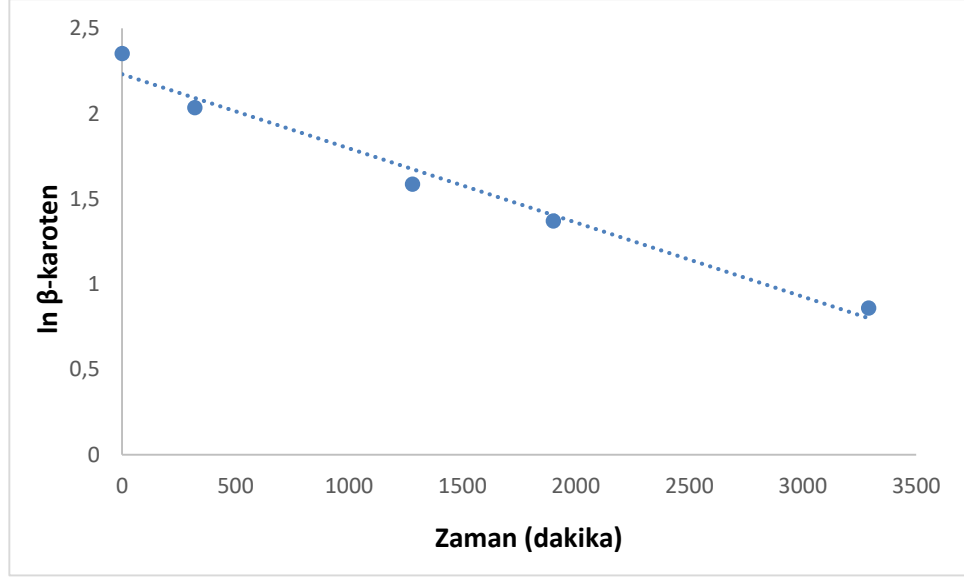
Şekil 5.6: 0.5 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β -karoten bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.7: 1.25 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.8: 2 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin β-karoten bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.9: Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneklerinin β -karoten bozunma kinetiği grafikleri

Kurutma sürecinde, β -karoten içeriğindeki değişimi belirlemek için yapılan kinetik hesaplamalara temel teşkil edecek örneklerin alım zamanlarına bağlı olarak tespit edilen β -karoten içerikleri Tablo 5.3-5.6 arasında verilmiştir.

Tablo 5.3: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	β-Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
30°C 0.5 m/s			
0	11.21	0.29	2.56
720	6.01	0.08	1.34
1440	4.29	0.15	3.51
3240	2.70	0.02	0.83
5040	1.61	0.05	3.26
6840	1.29	0.03	2.34
8640	0.79	0.01	0.64
30°C 1.25 m/s			
0	10.95	0.17	1.53
720	7.01	0.06	0.87
1440	4.41	0.03	0.79
3240	2.40	0.05	2.14
5040	1.22	0.02	1.44
6840	0.59	0.02	3.61
8640	0.58	0.02	2.77
30°C 2 m/s			
0	10.03	0.14	1.35
720	5.92	0.14	2.31
1440	3.77	0.05	1.26
3240	2.32	0.02	0.88
5040	0.87	0.03	3.44
6840	0.50	0.01	2.11
8640	0.46	0.01	0.56

Tablo 5.4: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	β -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
40°C 0.5 m/s			
0	10.59	0.13	1.24
300	7.81	0.07	0.89
840	5.50	0.14	2.47
1620	3.48	0.07	1.88
2400	1.91	0.05	2.66
3180	1.25	0.02	1.55
3960	0.89	0.01	0.68
40°C 1.25 m/s			
0	8.90	0.17	1.88
240	5.92	0.13	2.26
600	4.42	0.03	0.66
1200	2.94	0.08	2.82
1800	1.68	0.06	3.41
2400	1.05	0.02	1.67
3000	0.78	0.03	3.21
40°C 2 m/s			
0	11.88	0.05	0.46
180	9.62	0.16	1.71
480	8.01	0.19	2.32
960	7.10	0.06	0.87
1440	5.10	0.16	3.11
1920	2.40	0.06	2.34
2400	0.92	0.02	2.53

Tablo 5.5: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	β -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
50°C 0.5 m/s			
0	16.50	0.23	1.38
240	10.85	0.31	2.88
480	7.78	0.17	2.16
1080	6.12	0.05	0.79
1680	3.91	0.10	2.67
2280	2.26	0.02	0.76
2880	0.49	0.01	1.49
50°C 1.25 m/s			
0	16.00	0.40	2.52
240	7.60	0.12	1.54
540	6.40	0.04	0.55
900	5.31	0.15	2.78
1380	3.06	0.08	2.66
1860	0.89	0.00	0.48
2340	0.51	0.01	1.47
50°C 2 m/s			
0	15.33	0.20	1.31
120	11.11	0.32	2.84
240	9.14	0.23	2.51
540	5.08	0.03	0.66
840	4.14	0.10	2.38
1140	0.55	0.01	1.85
1440	0.52	0.01	2.35

Tablo 5.6: Geleneksel yöntemle kurutulan örneklerin β -karoten değişimine yönelik sonuçlar

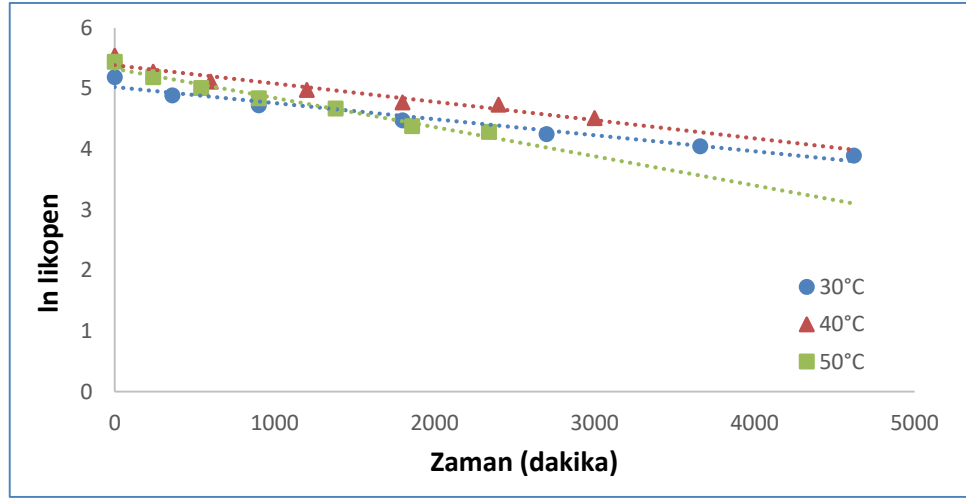
Örnek Alım Aralıkları (dak)	β -Karoten (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
Geleneksel Yöntem			
0	10.52	0.27	2.56
320	7.66	0.27	3.58
1280	4.89	0.06	1.21
1900	3.94	0.05	1.19
3290	2.37	0.06	2.58

Tüm farklı sıcaklık ve hava hızlarında tarhana örneklerinin kurutulması sırasındaki likopen konsantrasyonlarının doğal logaritmasının zamana karşı değişim grafiği Şekil 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13' de verilmiştir. Doğrusal korelasyon katsayıları (R^2) 0.88 ile 0.97 arasında değişmektedir. Bu nedenle; β -karoten değişimi ile benzer şekilde, likopenin bozunma reaksiyonunun da birinci dereceden kinetik modele uygun olduğu tespit edilmiş olup kurutma sıcaklığındaki artış ile birlikte tarhana örneklerinin likopen içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Santos-Sánchez ve diğ. (2012)'nin çalışmasında da kurutma sıcaklığındaki artış ile birlikte likopen miktarının azaldığı bildirilmiştir. Pathak ve Sagar (2023) pişirme, kurutma ve pastörizasyon gibi termal işlemlerin likopen içeriğinde azalmaya neden olabileceğini bununla birlikte termal işlemlerin likopenin biyoyararlılığını artırabileceğini de bildirmişlerdir. Buna ilave olarak Goula ve diğ. (2006), domates pulplarına 50, 60, 70, 80 ve 90 °C'de 20, 40, 60, 80 ve 100 dakika ısı işlem uyguladıkları çalışmalarında; anılan koşullarda likopen degradasyon reaksiyonunun birinci derece kinetik modele uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Tez çalışmasından farklı olarak Soto ve diğ. (2020)'nin papaya cipsini 15, 25, 35 ve 45 °C'de depoladıkları çalışmada likopen bozunma reaksiyonunun ikinci derece kinetik modele uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

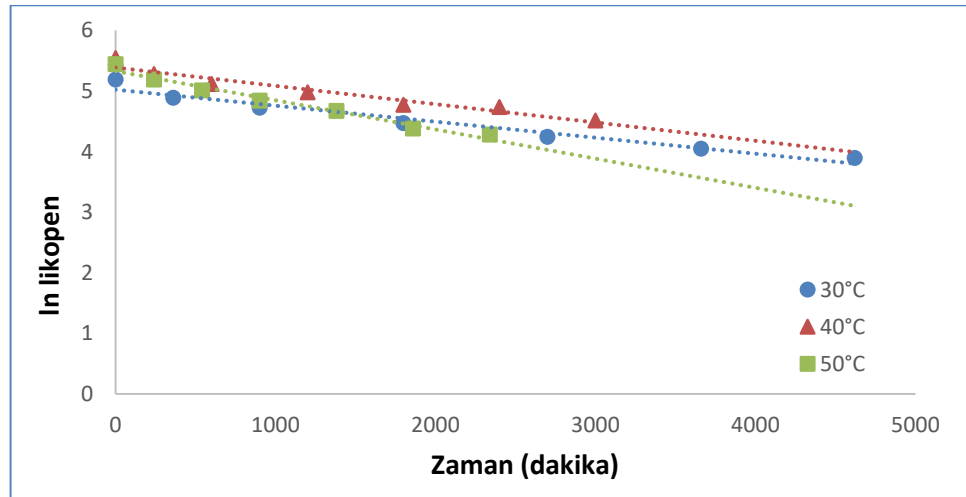
Farklı kurutma yöntem ve koşullarının tarhananın kurutulması sürecinde β -karoten ve likopen değişimine etkisini karşılaştırabileceğimiz bilimsel bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ancak daha önce bahsedildiği gibi farklı β -karoten ve likopen kaynağı gıda maddelerinin kurutulması sürecinde kurutma koşullarının β -karoten ve likopen gibi bileşenlere etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Goula ve diğ. 2006; Bechoff ve diğ. 2010; Santos-Sánchez ve diğ. 2012; Demiray ve Tülek 2016; Chilungo ve diğ. 2019; Soto ve diğ. 2020). Buna ilave olarak tarhana numunelerindeki son fenolik miktarları üzerinde kurutma yöntemlerinin etkilerinin incelendiği bir çalışmada, kurutma koşullarından kaynaklanan fenolik madde miktarındaki değişimlerin, farklı kurutma koşullarına göre fenolik bileşiklerin değişen stabilitesine bağlanabileceği bildirilmiştir (Değirmencioğlu ve diğ. 2016).

Bazı araştırmacılar tarafından gıda işleme proseslerinde tespit edilen β -karoten, likopen gibi bileşenlerin miktarındaki azalmaların ısı işlemeler sebebiyle meydana gelen izomerizasyonlar olduğu düşünülmektedir (Bechoff ve diğ. 2011). Dehidrasyon proseslerinde karotenoidlerin miktarındaki azalmada; sıcaklık, zaman, yüzey alanı ve dehidrasyon ortamı atmosferi gibi faktörlerin etkili olduğu bilinmektedir (Langston ve

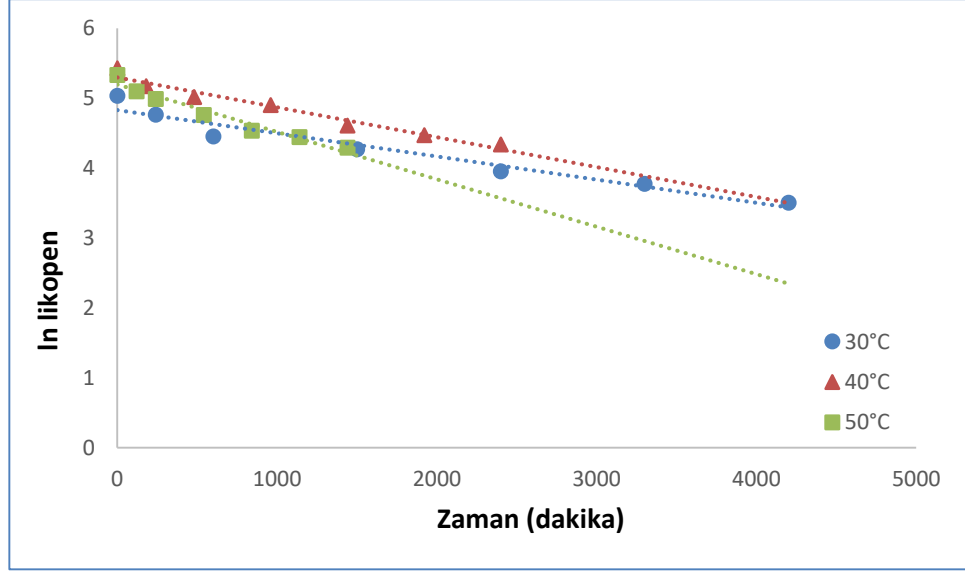
diğ. 2023). Garzon ve diğ. (2019) ise karotenoid oksidasyonunu etkileyen ve azalmasını sağlayan temel faktörlerin ışık, sıcaklık, oksijen varlığı ve astlıkteki artış olabileceğini bildirmiştir. Ayrıca kurutulmuş gıdalar veya toz ürünler için ürün kalitesini belirleyen en önemli parametrenin su aktivitesi olduğu da bilinmektedir. Padda ve Picha (2008) de karotenoid parçalanmasının otooksidasyondan kaynaklanabileceğini ve oksijen, sıcaklık, enzimatik aktivite gibi faktörlerin de bu bozunmadan sorumlu olabileceğini bildirmiştir.



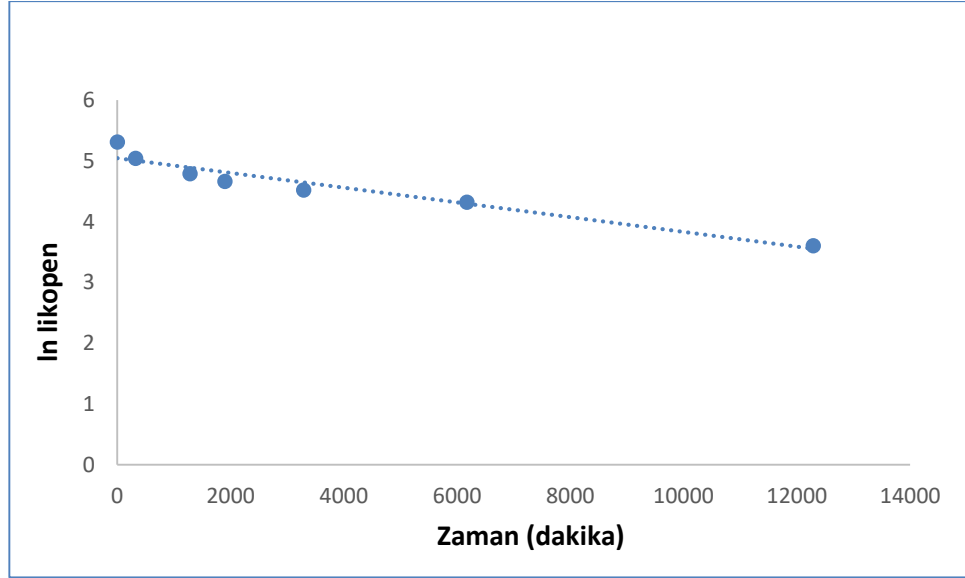
Şekil 5.10: 0.5 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulmuş tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.11: 1.25 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulmuş tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.12: 2 m/s hava hızında 30, 40, 50 °C sıcaklıklarında kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri



Şekil 5.13: Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneklerinin likopen bozunma kinetiği grafikleri

Kurutma sürecinde, likopen içeriğindeki değişimi belirlemek için yapılan kinetik hesaplamalara temel teşkil edecek örneklerin alım zamanlarına bağlı olarak tespit edilen likopen içerikleri Tablo 5.7- 5.10 arasında verilmiştir.

Tablo 5.7: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	Likopen (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
30°C 0.5 m/s			
0	194.05	4.31	2.22
720	132.88	1.38	1.04
1440	102.36	2.65	2.59
3240	69.58	1.01	1.45
5040	53.35	1.24	2.32
6840	41.41	0.31	0.76
8640	33.77	0.42	1.24
30°C 1.25 m/s			
0	179.62	0.40	0.22
720	132.91	1.66	1.25
1440	112.37	0.84	0.75
3240	87.62	1.95	2.22
5040	69.78	2.26	3.24
6840	57.27	0.90	1.57
8640	49.17	0.65	1.33
30°C 2 m/s			
0	153.28	3.57	2.33
720	117.17	1.97	1.68
1440	85.79	2.03	2.37
3240	71.34	0.58	0.82
5040	51.93	1.65	3.18
6840	43.55	0.67	1.54
8640	33.21	0.06	0.19

Tablo 5.8: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	Likopen (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
40°C 0.5 m/s			
0	232.49	2.91	1.25
300	179.75	1.17	0.65
840	153.44	3.94	2.57
1620	118.58	0.74	0.62
2400	98.66	3.41	3.46
3180	93.39	2.59	2.77
3960	81.14	0.71	0.88
40°C 1.25 m/s			
0	255.21	1.68	0.66
240	195.74	3.39	1.73
600	166.71	0.97	0.58
1200	145.01	2.28	1.57
1800	117.85	2.78	2.36
2400	113.83	1.60	1.41
3000	90.99	2.62	2.88
40°C 2 m/s			
0	227.13	3.52	1.55
180	175.89	4.20	2.39
480	150.21	5.20	3.46
960	134.03	1.18	0.88
1440	99.88	2.66	2.66
1920	87.22	1.24	1.42
2400	76.41	0.44	0.57

Tablo 5.9: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızları ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	Likopen (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
50°C 0.5 m/s			
0	273.91	4.27	1.56
240	200.43	1.16	0.58
480	161.11	2.27	1.41
1080	125.47	0.99	0.79
1680	106.10	2.53	2.38
2280	93.06	2.13	2.29
2880	86.45	0.66	0.76
50°C 1.25 m/s			
0	231.37	2.06	0.89
240	179.59	2.30	1.28
540	149.82	3.61	2.41
900	126.34	1.98	1.57
1380	106.58	0.95	0.89
1860	79.72	1.17	1.47
2340	72.45	1.82	2.51
50°C 2 m/s			
0	205.90	3.27	1.59
120	163.01	1.43	0.88
240	146.16	3.76	2.57
540	116.42	0.92	0.79
840	93.24	1.38	1.48
1140	84.81	2.26	2.67
1440	73.08	0.54	0.74

Tablo 5.10: Geleneksel yöntem ile kurutulan örneklerin likopen değişimine yönelik sonuçlar

Örnek Alım Aralıkları (dak)	Likopen (mg/100 g KM)	Std Sapma	RSD
Geleneksel Yöntem			
0	202.17	6.59	3.26
320	154.53	2.13	1.38
1280	120.45	2.94	2.44
1900	106.21	5.09	4.79
3290	91.74	1.27	1.38
6170	75.43	4.14	5.49
12290	36.85	0.61	1.66

Tarhana örneklerinin farklı sıcaklık ve hava hızı koşullarında kurutulması sürecinde gerçekleşen β -karoten ve likopen değişim reaksiyonları ile ilgili kinetik veriler (k değeri, Q_{10} değeri, E_a değeri ve yarılanma süresi değeri) sırası ile Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’te verilmiştir.

Tablo 5.11: Kurutulan tarhana örneklerinin β -karoten değişim kinetiği verileri

Hava Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	k (dk ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dk)	Q_{10} (30-40°C)	Q_{10} (40-50°C)	E_a (kJ/mol)
0.5	30	0.0003	2310	2	1.67	49.05
	40	0.0006	1155			
	50	0.0010	693			
1.25	30	0.0007	990	1.14	1.75	28
	40	0.0008	866			
	50	0.0014	495			
2	30	0.0007	990	1	3.57	6.15
	40	0.0007	990			
	50	0.0025	277			
Geleneksel Yöntem		0.0003	2310	-	-	-

Tarhana hamurlarının kurutulması sürecindeki β -karoten ve likopen değişim reaksiyonu hız sabitleri sırasıyla 0.0003-0.0014 dk⁻¹ ve 0.0001-0.007 dk⁻¹ aralığında olup, kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki değişimlerden önemli derecede etkilendiği saptanmıştır. Bechoff ve diğ. (2010) tatlı patates cipslerini 10, 20, 30 ve 40 °C’de depoladıkları çalışmada β -karoten degradasyon reaksiyonu hız sabitlerini 0.0029 – 0.045 gün⁻¹ aralığında tespit etmişler ve sıcaklıktaki artış ile birlikte reaksiyonu hız sabitlerinin de arttığını bildirmişlerdir. Ariaahu ve diğ. (2021) enkapsüle havuç tozlarını 40, 50 ve 60 °C’de stabilite testine tabi tuttıkları çalışmada; β -karoten degradasyon reaksiyonunu birinci derece kinetik modele uygun olarak bulmuşlar, β -karoten degradasyon reaksiyonu hız sabitlerini ise 0.021 – 0.0404 hafta⁻¹ aralığında tespit etmişlerdir.

Tez çalışmasında kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile β -karoten değişim reaksiyonu hız sabitlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte tarhana hamuru kurutma sürecinde, hava hızındaki artış ile β -karoten bozunma reaksiyonunun aktivasyon enerjisi değerinin azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, kurutma prosesinde uygulanan sıcaklık ve hava hızı parametrelerinin artırılması ile β -karoten değişim reaksiyonu yarı ömür süresi de azalma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte, bozunma reaksiyonları sırasında kurutma sıcaklığında meydana gelen her 10 °C’lik

değişimin reaksiyon üzerindeki etkisini ifade eden Q_{10} değerleri incelendiğinde; 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhana hamuru örnekleri için, kurutma prosesi sırasında kurutma sıcaklığının 30 °C'den 40 °C'ye çıkarılmasının ($Q_{10}=2.0$), kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasına ($Q_{10}=1.67$) göre, β -karoten bozunma reaksiyonunu daha fazla etkilediği belirlenmiştir. Bunun aksi olarak; diğer hava hızı koşulları (1.25 ve 2 m/s) için kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasının bozunma reaksiyonu üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Demiray ve Tülek (2016)'in çalışmasında β -karoten degradasyon reaksiyonu için elde edilen Q_{10} değerleri (1.4 - 1.5), bu çalışmadaki β -karoten degradasyon reaksiyonu için elde edilen Q_{10} değerleri (1.0- 3.57) ile benzer aralıkta seyretmiştir. Her iki çalışmada da daha yüksek sıcaklıklarda yapılan 10 °C'lik sıcaklık artışlarında Q_{10} değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Demiray ve Tülek (2016) 45, 55 ve 65 °C'de 0.2 m/s hava hızında kuruttukları havuç örnekleri için β -karoten degradasyon reaksiyonu aktivasyon enerjisi değerini 33.33 kJ/mol olarak tespit ederken, tarhana örneklerinin 0.5 m/s hava hızında 30, 40 ve 50 °C'de kurutulduğu bu çalışmada β -karoten degradasyon reaksiyonu aktivasyon enerjisi değerini 49.05 kJ/mol olarak tespit edilmiştir. Bechoff ve diğ. (2010) ise tatlı patates cipslerini 10, 20, 30 ve 40 °C'de depoladıkları çalışmada β -karoten degradasyon reaksiyonu aktivasyon enerjisi değerini 64.2 kJ/mol olarak tespit etmişlerdir. Ariahu ve diğ. (2021) enkapsüle havuç tozlarını 40, 50 ve 60 °C'de stabilite testine tabi tuttıkları çalışmada; β -karoten degradasyon reaksiyonunu birinci derece kinetik modele uygun olarak bulmuşlardır. Bu reaksiyon için aktivasyon enerjisi değerini ise farklı enkapsülasyon malzemeleri için 6.41 – 50.86 kJ/mol aralığında tespit etmişlerdir.

Tablo 5.12: Kurutulan tarhana örneklerinin likopen değişim kinetiği verileri

Hava Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	k (dk ⁻¹)	t _{1/2} (dk)	Q ₁₀ (30-40°C)	Q ₁₀ (40-50°C)	E _a (kJ/mol)
0.5	30	0.0002	3465	1	2	27.89
	40	0.0002	3465			
	50	0.0004	1732			
1.25	30	0.0003	2310	1	1.66	20.5
	40	0.0003	2310			
	50	0.0005	1386			
2	30	0.0003	2310	1.33	1.75	34.3
	40	0.0004	1732			
	50	0.0007	990			
Geleneksel Yöntem		0.0001	6930	-	-	-

Tarhana örneklerinin kurutulması sırasında, kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile likopen değişim reaksiyonu hız sabitlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte tarhana hamuru kurutma sürecinde, hava hızındaki artış ile likopen bozunma reaksiyonunun aktivasyon enerjisi değeri azalmıştır. Buna ilave olarak, kurutma prosesinde uygulanan sıcaklık ve hava hızının artması ile likopen değişim reaksiyonu yarı ömür süresinin azaldığı saptanmıştır. Lee ve Chen (2002) ve Shi ve diğ. (2008) sıcaklıktaki artışla birlikte likopen izomerizasyonu meydana geldiği ve bunun da likopen miktarında değişimlere neden olduğunu bildirmişlerdir. Bunu destekler şekilde, Jatau ve diğ. (2018) 60-100 °C aralığındaki sıcaklık değişimlerinde %15 ile %71.7 oranlarında likopen kaybı meydana geldiğini bildirmişlerdir. Galdeano ve diğ. (2022) kaynamış suda pişirilmiş likopence zengin olan karpuz içeren makarnalarda %11-41 aralığında; krakerlerde %32-34 aralığında likopen kaybı olduğunu, 45 ve 65 °C'de kurutulan makarnalarda ise likopen degradasyonu olmadığını bildirmiştir. Correa-Filho ve diğ. (2021) domates prina ekstraktı ile zenginleştirdikleri yoğurtlarda likopenin stabil olduğunu bildirmiş, bu stabiliteyi de likopenin yoğurdun yağ farksiyonunda çözünmesi nedeniyle korunmuş olabilmesine bağlamışlardır.

Ayrıca, likopen bozunma reaksiyonları için elde edilen Q_{10} değerleri incelendiğinde; tüm hava hızı koşulları için, kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasının bozunma reaksiyonu üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma prosesleri gıdanın fiziksel yapısı, kimyasal bileşimi ve nem içeriğine göre farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilmektedir. Kurutma sırasında uygulanan sıcaklık-süre kombinasyonları, gıdanın içerdiği önemli besin ögeleri olan vitaminler, karotenoidler ve fenolik bileşikler gibi bileşenlere farklı etkiler göstermektedir. Yüksek sıcaklık ve uzun proses zamanları bu önemli bileşenlerde önemli oranda zararlar meydana getirebilmektedir. Proses koşullarındaki değişimler, polifenoloksidaz gibi enzimlerin aktiviteleri ile hassas bileşenlerin termal etki ile bozunması kurutma işlemlerinde karşılaşılan önemli problemlerdir (Wojdylo ve diğ. 2014; Mrkic ve diğ. 2006).

Kurutma sırasında ortamda bulunan oksijen de oksidasyona karşı hassas olan bu önemli biyoaktif bileşenlerde oksidatif değişimlere neden olabilmektedir. Kurutma ortamındaki hava hızındaki değişimler de ortamdaki oksijen hareketini etkilediğinden

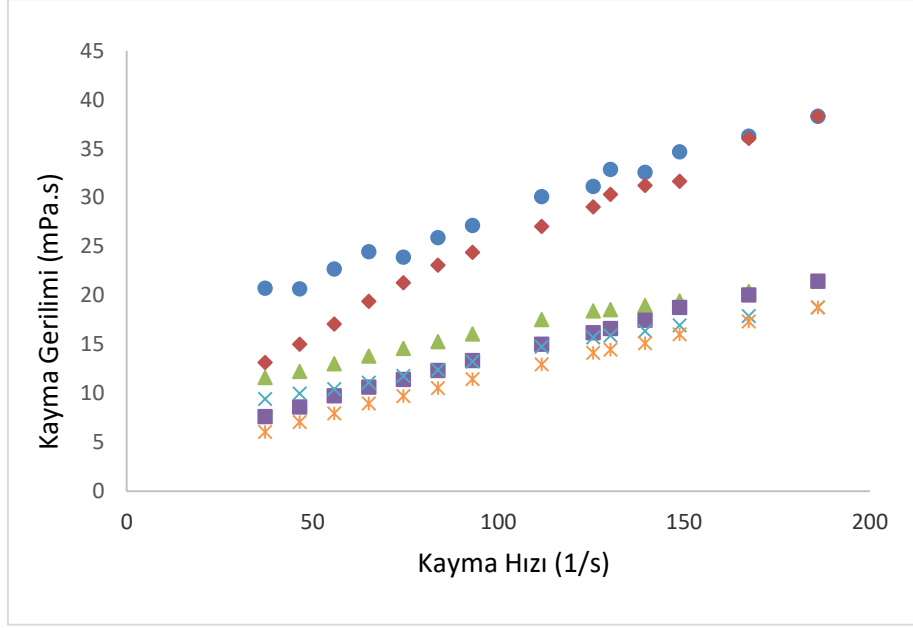
oksidasyon ile bozunma süreçlerinde önem arz etmektedir. Tüm bu nedenlerle sağlık açısından önemli biyoaktif bileşenlerce zengin gıdaların kurutulması proseslerinde optimum sıcaklık-zaman-hava hızı koşullarının tespit edilmesi açısından yapılan bu çalışma, tarhana üreticileri ve literatüre önemli katkılar sağlayacaktır (Nguyen ve diğ. 2015).

5.1.4 Tarhana Örneklerinin Reolojik Özellikleri

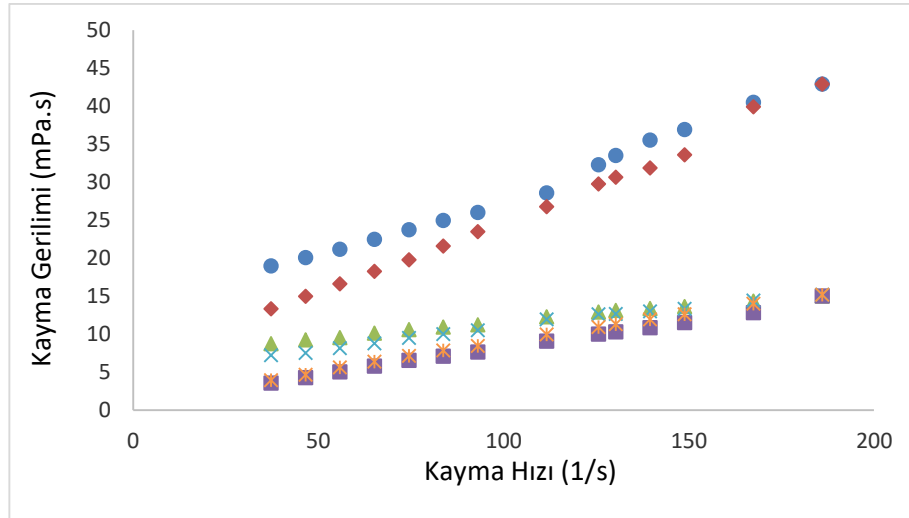
Denemelerde elde edilen tarhana örneklerinden tarhana-su karışımı hazırlanmış ve elde edilen karışımın akış özellikleri reolojik analizler ile belirlenmiştir.

Tarhana-su karışımı hazırlanmasında; 500 ml'lik erlen içine 10 g tarhana örneği tartılarak 100 °C'de kaynatılmış 90 ml saf su eklenmiş ve zaman kaybetmeden ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 250 °C'de 750 rpm karıştırma hızında geri soğutmalı sistemde 5 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan örnekten sirkülasyonlu su banyosuna bağlı numune kabına aktarılarak 70 °C'de SC4-21 nolu reolojik ölçüm başlığı ile 14 farklı hızda (40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 135, 140, 150, 160, 180 ve 200 rpm) K ve n değerleri belirlenmiştir. Tarhana su karışımlarının akış davranış özellikleri Power Law Modeli kullanılarak tespit edilmiştir.

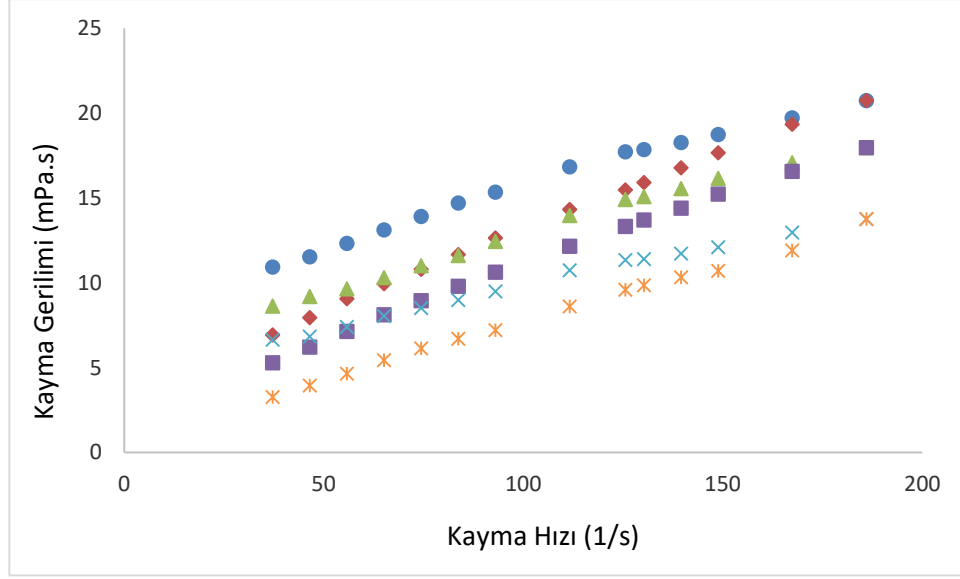
Tarhana örneklerinin aynı hava hızında farklı sıcaklıklardaki kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki sırası ile Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'de verilmiştir. Artan hız sırası ölçümü değerleri ile azalan hız sırası ölçümü değerleri birbirinden farklı bulunmuş ve bunun sonucu olarak histeresiz döngüleri ortaya çıkmıştır. Genelde artan hız sırası ölçümü değerlerinin azalan hız sırası ölçümü değerlerinden daha büyük olarak bulunmuştur.



Şekil 5.14: 0.5 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●)artan hız] 30 °C, [(◆) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■)azalan hız] 40 °C, [(x)artan hız] 50 °C, [(*)azalan hız] 50°C.

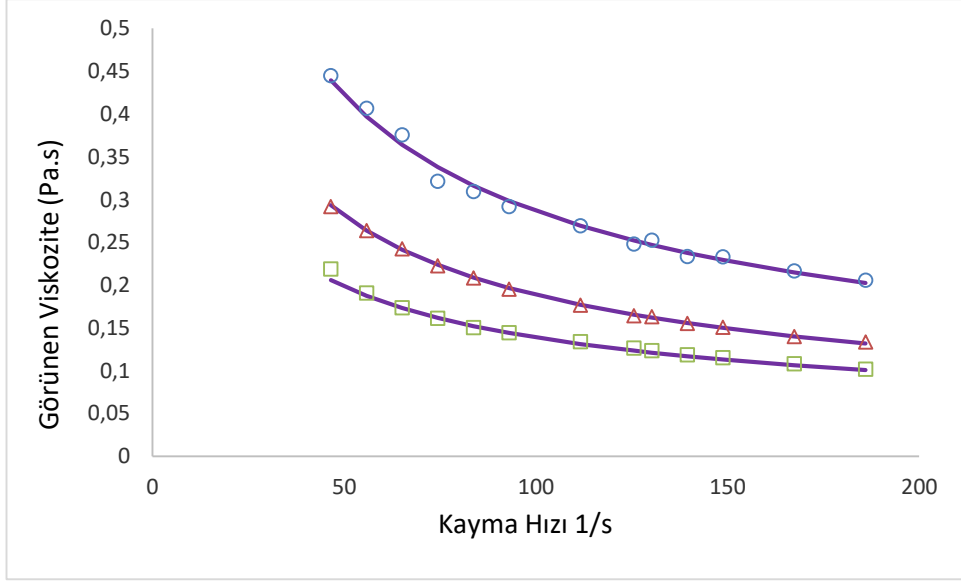


Şekil 5.15: 1.25 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●)artan hız] 30 °C, [(◆) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■)azalan hız] 40 °C, [(x)artan hız] 50 °C, [(*)azalan hız] 50°C.

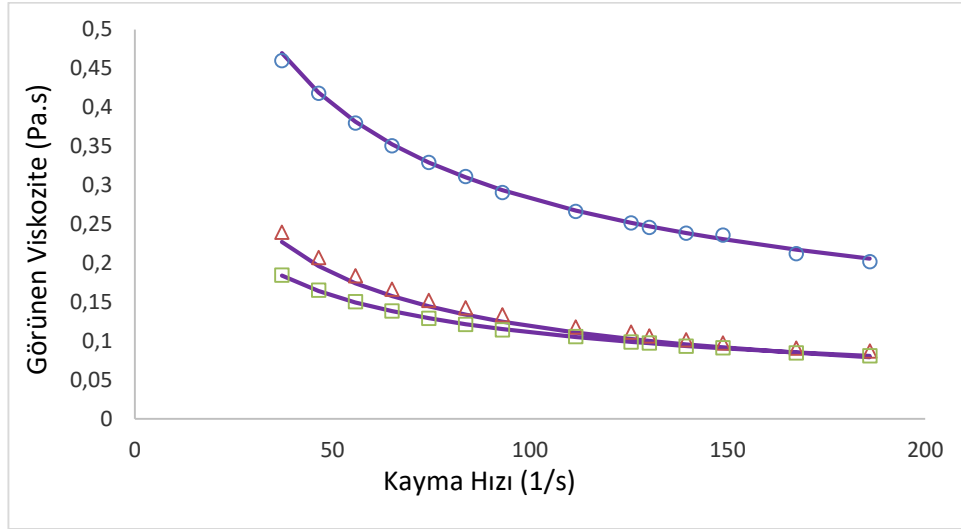


Şekil 5.16: 2 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü : [(●)artan hız] 30 °C, [(◆) azalan hız] 30 °C, [(▲) artan hız] 40 °C, [(■)azalan hız] 40 °C, [(x)artan hız] 50 °C, [(*)azalan hız] 50 °C.

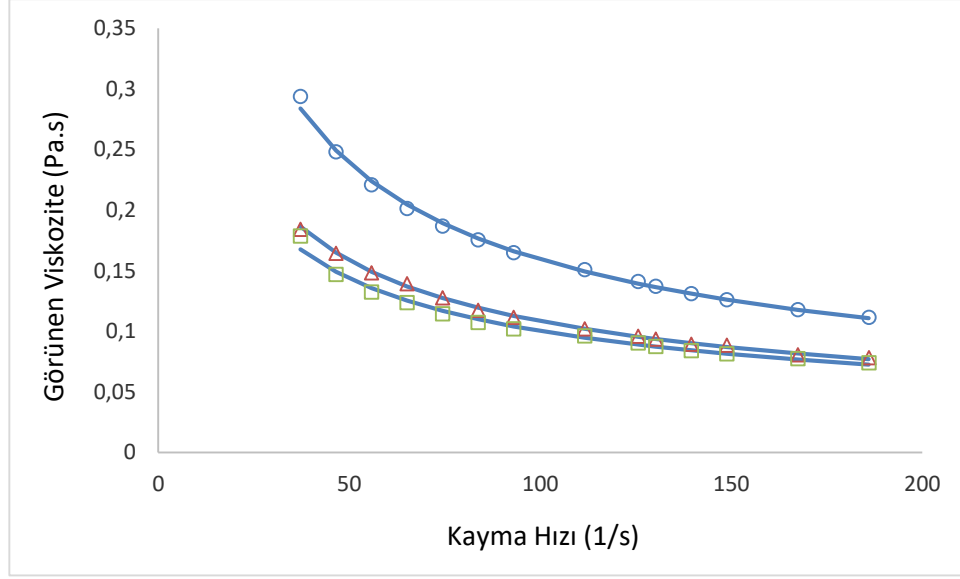
Tarhana örneklerinin aynı hava hızlarında farklı sıcaklıklardaki görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli sonuçları ile karşılaştırması sırası ile Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19’de verilmiştir. Örneklerin viskozitelerinin kayma hızı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Tüm bu davranış şekilleri tarhana örneklerinin Newtonyen akış davranışına sahip olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.17: 0.5 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30°C, (Δ) 40°C, (\square) 50°C, (—) üs yasası modeli.

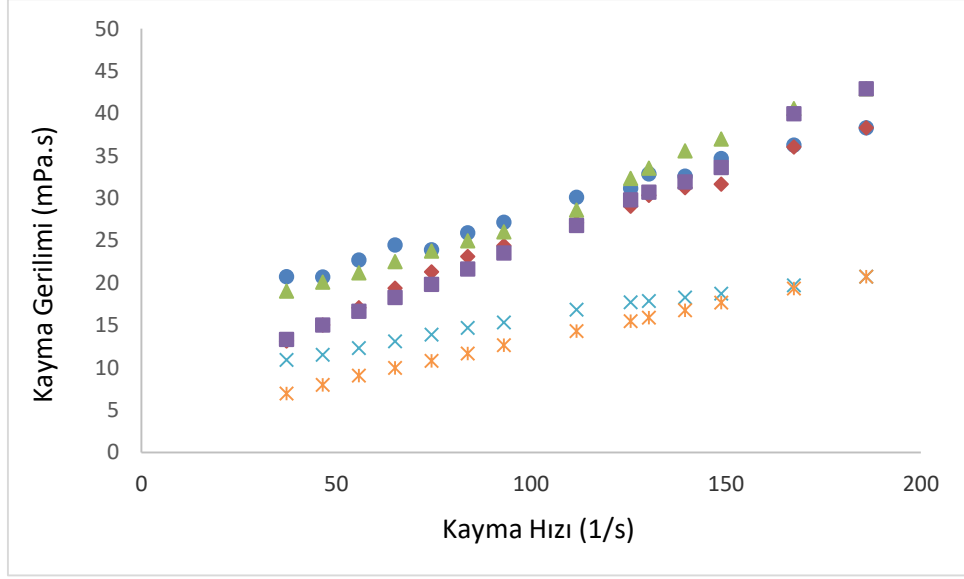


Şekil 5.18: 1.25 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30°C, (Δ) 40°C, (\square) 50°C, (—) üs yasası modeli.

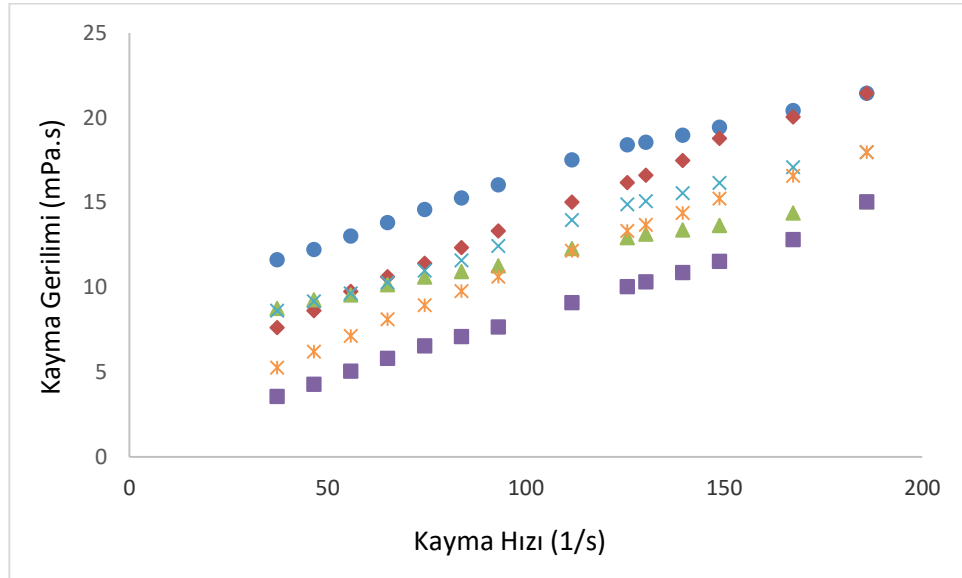


Şekil 5.19: 2 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 30°C, (Δ) 40°C, (\square) 50°C, (—) üs yasası modeli.

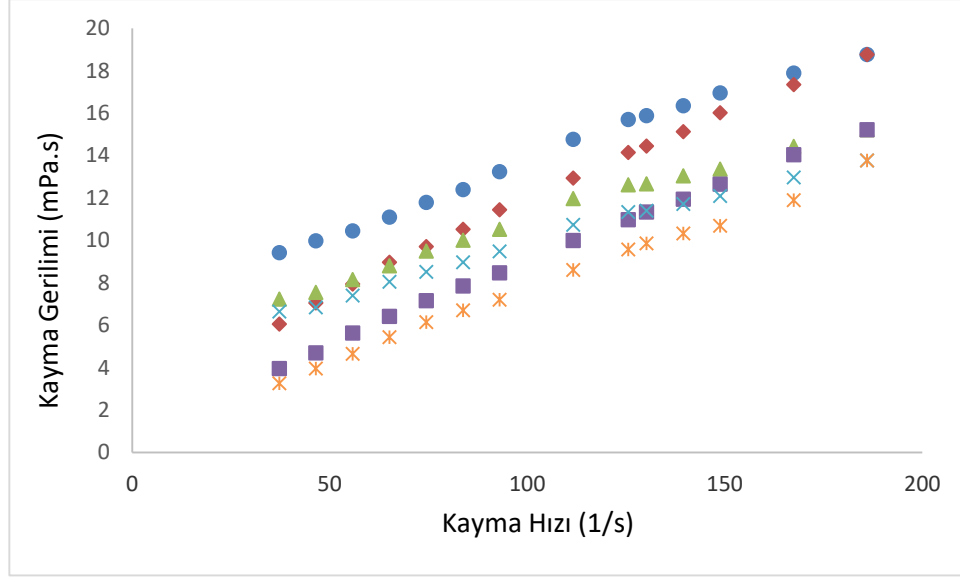
Tarhana örneklerinin aynı sıcaklıkta farklı hava hızlarındaki kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki sırası ile Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22’de verilmiştir. Artan hız sırası ölçümü değerleri ile azalan hız sırası ölçümü değerleri birbirinden farklı bulunmuş ve bunun sonucu olarak histeresiz döngüleri ortaya çıkmıştır. Genelde artan hız sırası ölçümü değerlerinin azalan hız sırası ölçümü değerlerinden daha büyük olarak bulunmuştur.



Şekil 5.20: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: [(●)artan hız] 0.5 m/s, [(◊)azalan hız] 0.5 m/s, [(▲) artan hız] 1.25 m/s, [(■)azalan hız] 1.25 m/s, [(x)artan hız] 2 m/s, [(*)azalan hız] 2 m/s.

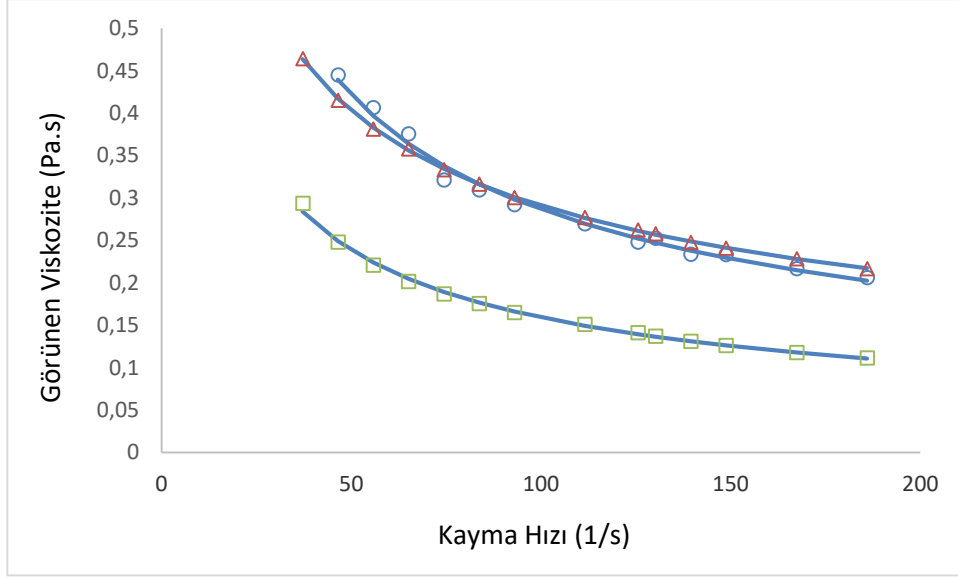


Şekil 5.21: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: [(●)artan hız] 0.5 m/s, [(◊)azalan hız] 0.5 m/s, [(▲) artan hız] 1.25 m/s, [(■)azalan hız] 1.25 m/s, [(x)artan hız] 2 m/s, [(*)azalan hız] 2 m/s.

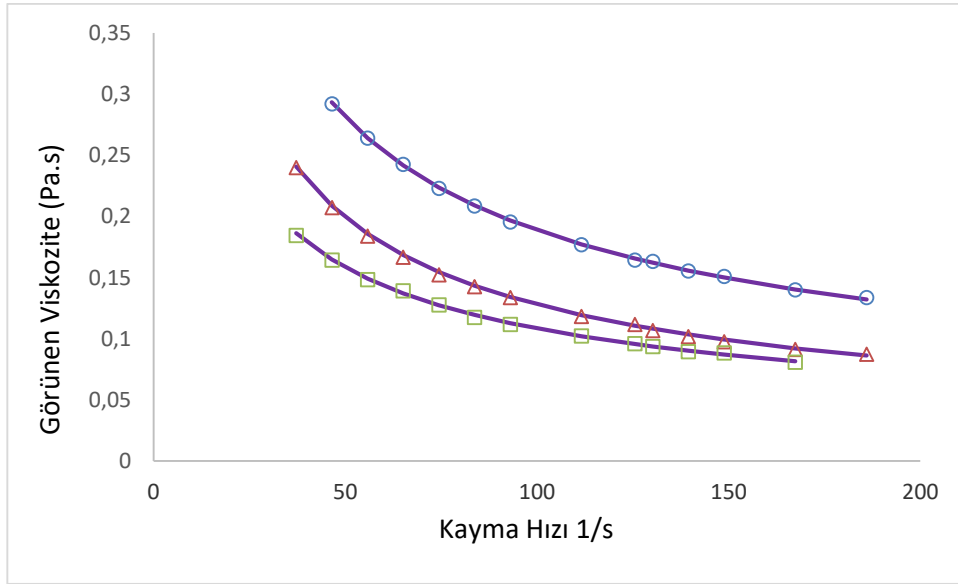


Şekil 5.22: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histeresiz döngüsü: [(●)artan hız] 0.5 m/s, [(◆)azalan hız] 0.5 m/s, [(▲) artan hız] 1.25 m/s, [(■)azalan hız] 1.25 m/s, [(x)artan hız] 2 m/s, [(*)azalan hız] 2 m/s.

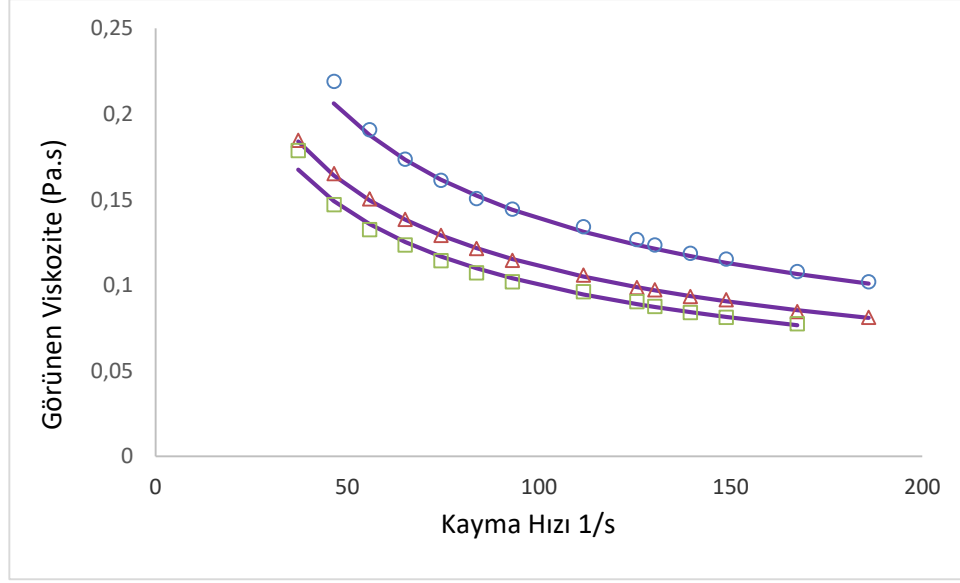
Tarhana örneklerinin aynı sıcaklıklarda farklı hava hızlarındaki görülen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli sonuçları ile karşılaştırması sırası ile Şekil 5.23, 5.24 ve 5.25’de verilmiştir. Örneklerin viskozitelerin kayma hızı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Tüm bu davranış şekilleri tarhana örneklerinin Newtonyen akış davranışına sahip olmadığını göstermektedir (Güven 2023; Oğurlu ve Tarakçı 2023).



Şekil 5.23: 30 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (\square) 2 m/s, (—)üs yasası modeli.

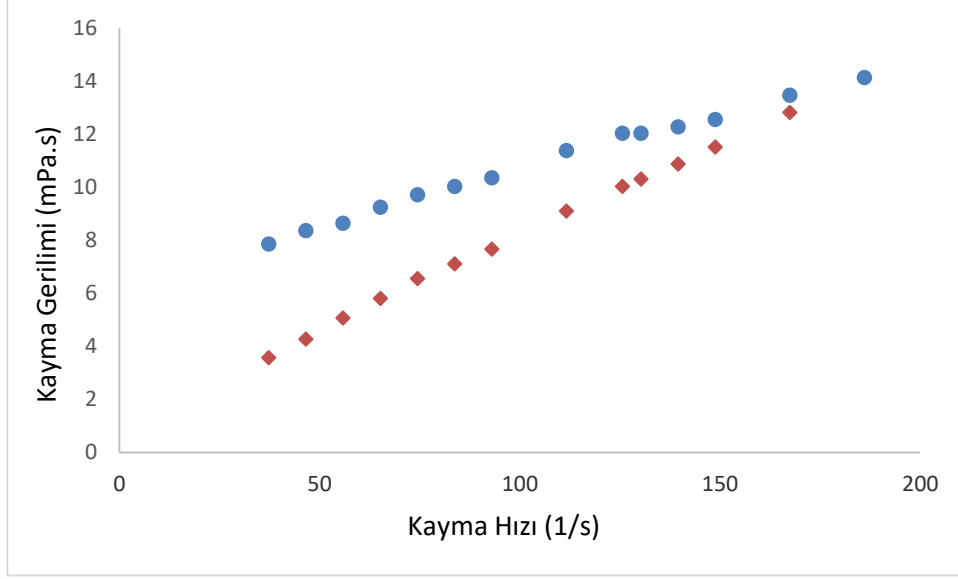


Şekil 5.24: 40 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (\square) 2 m/s, (—)üs yasası modeli.

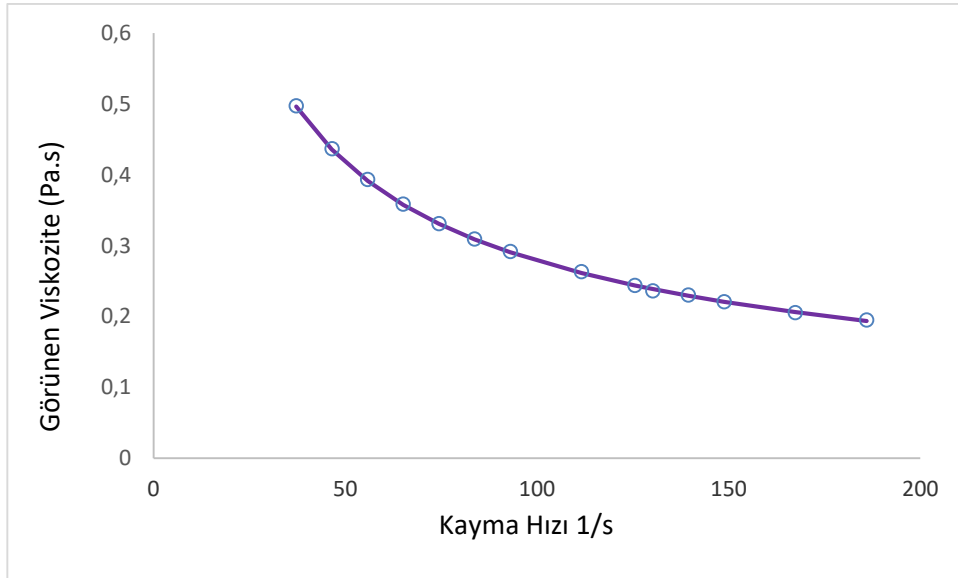


Şekil 5.25: 50 °C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan tarhana örneklerinin görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (o) 0.5 m/s, (Δ) 1.25 m/s, (□) 2 m/s, (—)üs yasası modeli.

Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinin kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki Şekil 5.26’te ve görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli sonuçları Şekil 5.27’da verilmiştir. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinde de artan hız sırası ölçümü değerleri ile azalan hız sırası ölçümü değerleri birbirinden farklı bulunmuş ve bunun sonucu olarak histeresiz döngüleri ortaya çıkmıştır. Artan hız sırası ölçümü değerlerinin azalan hız sırası ölçümü değerlerinden daha büyük olarak bulunmuştur. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinde de diğer koşullarda kurutulan örneklere benzer şekilde viskozitesinin kayma hızı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Bu davranış şekilleri geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinin de Newtonyen akış davranışa sahip olmadığını göstermektedir (Şensoy ve Tarakçı 2023; Güven 2023; Oğurlu ve Tarakçı 2023).



Şekil 5.26: Geleneksel yöntemle kurutulmuş tarhana örneklerinin akış eğrilerine ait histerezis döngüsü: [(●)artan hız] , [(◆)azalan hız].



Şekil 5.27: Geleneksel yöntemle kurutulmuş tarhana örneklerinin görünür viskozitesinin kayma hızı ile değişimi: (●) geleneksel, (—)üs yasası modeli.

Tarhanaların akış davranış indeksi (n) 1'den ne kadar uzaklaşıyorsa Newtonyen davranışından sapma o kadar fazladır. Tez kapsamında üretilen tarhanaların ' n ' değerinin 1'den küçük olması sebebiyle Newtonyen olmayan akışkanlardan psödoplastik (kayma incelmesi gösteren) akış tipinde oldukları anlaşılmaktadır (İbanoğlu ve İbanoğlu 1999; Güven 2023; Oğurlu ve Tarakçı 2023).

Benzer şekilde Oğurlu ve Tarakçı (2023), Şensoy ve Tarakçı (2023) ile Bardakçı ve Karacabey (2023), çalışmalarında ürettikleri tarhanalardan elde edilen tarhana çorbalarının psödoplastik akış davranışı gösterdiğini bildirmişlerdir.

Kıvam katsayısı değeri (K) de örneklerin viskozitesi hakkında bilgi vermektedir (Yılmaz ve diğ. 2010). Viskozite akışkanların akışa gösterdiği direncin indikatörü olarak bilinmektedir. Gıdalarda K değerinin artması onun daha kıvamlı ya da bir başka ifade ile viskozitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Kurutulmuş toz tarhanalarda nişastanın suyu yapısına alması ve şişmesiyle viskozite artmaktadır. Sıcaklık ve enzimatik hidroliz gibi etkenlerle ise akışkan gıdaların viskozitesinde azalma meydana gelebilmektedir (Bardakçı ve Karacabey 2023; Güven 2023).

Yapılan bir çalışmada toz tarhanaların 50 °C’de kurutulması ve nişastanın çirışlenme sıcaklığına ulaşmamış olması sebebiyle viskozite ölçümlerinin gerçekleştiği sıcaklıklarda yapıda bulunan nişastanın çirışlendiği bildirilmiş, bu sebeple 90-110 °C’lerde kurutulan tarhanaların k değerlerinin 50 °C’de kurutulan tarhanalardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca artan analiz sıcaklığı ile tarhanaların kıvam katsayısı değerlerinin azaldığı, sıcaklığın artmasıyla protein-protein ve protein-su etkileşimlerinde destabilizasyon meydana geldiği ve bunun da viskozitede azalmaya yol açtığı bildirilmiştir (Hayta ve diğ. 2002). Bardakçı ve Karacabey (2023) de kırılma penceresi teknolojisi ile ürettiği tarhanalarda viskozitedeki azalmayı benzer nedenlere bağlamıştır.

Yukarıdaki çalışmadan yola çıkılarak bizim çalışmamızdaki kurutma sıcaklıklarında da nişastanın çirışlenme sıcaklığına ulaşmadığı ve çirışlenmenin analiz sıcaklığı olan 70 °C’de gerçekleştiği söylenebilir. Bu durumda örneklerin viskozitesindeki değişim protein yapısındaki değişikliklerden kaynaklanabileceği düşünülebilir. Bilindiği üzere proteinler düşük pH, yüksek sıcaklık gibi faktörlerin etkisiyle denatüre olmaktadır. Proteinlerin denatürasyonu neticesinde protein çözünürlüğü azalır ve su tutma kapasitesi düşer (Li ve Lee 1996). Özellikle kurutmanın ilerleyen aşamalarında kuru madde miktarının da artmasıyla pH daha da düşmekte ve proteinlerin denatürasyonu ve çözünürlüğü daha düşük sıcaklıklarda da azalmaktadır. Protein çözünürlüğü ve su bağlama kapasitesindeki artışa bağlı olarak özellikle daha yüksek sıcaklıktaki kurutma koşullarında örneklerin viskozitesinde azalma meydana gelebilmektedir. Kurutma sıcaklığındaki artışla birlikte örneklerin viskozitelerinde

azalma olduğu ve bunun da sıcaklığın etkisiyle protein-protein ve protein-su interaksiyonlarındaki destabilizasyona bağlanabileceği lietartürde bildirilmiştir (Bardakçı ve Karacabey 2023). Çalışmada da en yüksek sıcaklık koşulunda viskozitenin daha düşük seviyede olduğu görülmektedir.

Farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinin üs yasası modeli sabitleri Tablo 5.13 ve 5.14’te verilmiştir.

Tablo 5.13: Sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulmuş tarhana örneklerinin üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu		Artan Hız					Azalan Hız			
Hava Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²	OMS (%)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²	OMS (%)	
0.5	30	3.7520	0.4415	0.9847	1.9981	1.2283	0.6571	0.9972	1.4231	
	40	2.6810	0.3964	0.9955	0.7939	0.7099	0.6495	0.9977	1.3155	
	50	1.4922	0.4845	0.9934	1.2218	0.4724	0.7032	0.9997	0.5070	
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153	
1.25	30	2.5451	0.5291	0.9604	4.3834	0.8941	0.7282	0.9875	3.2715	
	40	2.4227	0.3456	0.9895	1.3964	0.1691	0.8446	0.9996	0.6278	
	50	1.1666	0.4894	0.9925	1.6339	0.1868	0.8383	0.9996	2.3018	
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153	
2	30	2.3577	0.4148	0.996	0.9468	0.5768	0.6828	0.999	0.9290	
	40	1.3881	0.4881	0.9877	2.1316	0.3326	0.7636	0.9999	0.2567	
	50	1.0973	0.4803	0.9898	1.8002	0.1396	0.8729	0.9985	1.3503	
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153	

Tablo 5.14: Sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulmuş tarhana örneklerinin üs yasası modeli sabitleri

Ölçüm Metodu	Artan Hız					Azalan Hız			
	Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²	OMS (%)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
30	0.5	3.7520	0.4415	0.9847	1.9981	1.2283	0.6571	0.9972	1.4231
	1.25	2.5451	0.5291	0.9604	4.3834	0.8941	0.7282	0.9875	3.2715
	2	2.3577	0.4148	0.996	0.94	0.5768	0.6828	0.999	0.92
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153
40	0.5	2.6810	0.3964	0.9955	0.7939	0.7099	0.6495	0.9977	1.3155
	1.25	2.4227	0.3456	0.9895	1.3964	0.1691	0.8446	0.9996	0.6278
	2	1.3881	0.4881	0.9877	2.1316	0.3326	0.7636	0.9999	0.25671
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153
50	0.5	1.4922	0.4845	0.9934	1.2218	0.4724	0.7032	0.9997	0.5070
	1.25	1.1666	0.4894	0.9925	1.6339	0.1868	0.8383	0.9996	2.3018
	2	1.0973	0.4803	0.9898	1.8002	0.1396	0.8729	0.9985	1.3503
	Geleneksel	4.1062	0.4157	0.9676	2.8395	1.2596	0.6511	0.9969	1.5153

5.1.5 Tarhana Örneklerinin Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Mikrobiyolojik sayımlar sonucunda elde edilen maya-küf (MK) sayısı ve toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı sonuçları Tablo 5.15'te verilmiştir. Kabin kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde MK sayıları 3.4 – 3.95 log kob/ml aralığında tespit edilirken; geleneksel kurutma yöntemi ile kurutulan tarhanalarda ise MK sayısı 4.74 log kob/ml olarak tespit edilmiştir. Soğuksulu ve Külcü (2023), vegan tarhana ürettikleri çalışmalarında; tarhana örneklerinin MK sayılarını 3.79 – 3.97 log kob/g aralığında tespit ederken kontrol grubu olan yoğurt içeren ve formülasyonunda yoğurt içeren tarhanada MK sayısını 3.97 log kob/g olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada, geleneksel kurutma yönteminde elde edilen MK sayılarına, çalışılan en

düşük sıcaklık değeri olan 30 °C’de kurutulan örneklerde yaklaşılmıştır. Ancak yine de kabin kurutucuda kontrollü koşullarda kurutulan örneklerin tamamının MK sayıları geleneksel kurutma yöntemi ile kurutulan örneklere göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Aynı sıcaklık değerinde hava hızındaki artışın tarhanadaki MK sayısına belirgin düzenli bir etkisi olmasa da hava hızındaki artışa bağlı olarak MK sayısı azalmış ya da aynı kalmıştır.

Tablo 5.15: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait mikrobiyolojik analiz sonuçları

Örnek	TMAB (log kob/ml)	Maya-Küf (log kob/ml)
30°C 0.5 m/s	4.70±0.14	3.95±0.12
30°C 1.25 m/s	4.65±0.23	3.95±0.20
30°C 2 m/s	4.60±0.18	3.78±0.15
40°C 0.5 m/s	4.60±0.09	3.78±0.08
40°C 1.25 m/s	4.54±0.14	3.65±0.11
40°C 2 m/s	4.54±0.18	3.65±0.15
50°C 0.5 m/s	4.48±0.09	3.48±0.07
50°C 1.25 m/s	4.40±0.13	3.48±0.10
50°C 2 m/s	4.00±0.16	3.40±0.14
Geleneksel	5.40±0.11	4.74±0.09

Kabin kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde TMAB sayıları 4.00 – 4.70 log kob/ml aralığında tespit edilirken; geleneksel kurutma yöntemi ile kurutulan tarhanalarda ise TMAB sayısı 5.40 log kob/ml olarak tespit edilmiştir. 30 °C’de yapılan kurutmada tarhanada belirlenen TMAB sayısı da maya küf sonuçları ile benzer sonuçlar ortaya koymuştur. TMAB sayısı değerleri aynı hava hızında kurutulan örneklerde sıcaklıktaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Soğuksulu ve Külcü (2023), vegan tarhana ürettikleri çalışmalarında; tarhana örneklerinin TMAB sayılarını 3.94 – 4.19 log kob/g aralığında tespit ederken kontrol grubu olan ve formülasyonunda yoğurt içeren tarhanada TMAB sayısını 4.18 log kob/g olarak tespit etmişlerdir.

Mikrobiyolojik analiz sonuçları incelendiğinde kontrollü koşullarda endüstriyel kurutma sisteminde kurutulan tarhanaların Tarhana Standardına uygun olduğu, geleneksel yöntemle kurutulan tarhanaların az da olsa standarttaki mikrobiyolojik kriterlerden sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

5.1.6 Tarhana Örneklerinin Aroma Analizi Sonuçları

Gıdaların kurutulması esnasında karakteristik gıda aromasını belirleyen uçucu aroma bileşenlerinde bir miktar kayıp meydana gelebilmektedir. Bu kayıplar gıdanın kuru madde miktarı, su aktivitesi, kurutma esnasındaki aroma bileşenlerinin buhar basınçları ve su buharındaki çözünürlükleri gibi faktörlerden etkilenmektedir (Yazar, 2022). Gıdaların kurutulması sırasında uygulanan sıcaklık ve hava hızı gibi faktörlerdeki değişimler de uçucu aroma bileşenleri üzerindeki etkisi nedeniyle, geleneksel ve endüstriyel kurutma yöntemleri ile kurutulan tarhanaların aroma bileşimlerinin farklı olmasına yol açmaktadır. Özellikle sıcaklık faktöründeki değişimler kimi zaman mevcut aroma maddelerinin bazılarında kayıplar meydana getirirken, kimi zaman da sıcaklığın etkisiyle meydana gelen maillard reaksiyonları gibi biyokimyasal reaksiyonlar sonucu yeni aroma bileşiklerinin meydana gelmesine neden olabilmektedir.

Tarhana örneklerinin aroma bileşen grupları Tablo 5.16'de verilenler olduğu belirtilmiştir. Bu gruplar aldehitler, esterler, terpenler, alkoller, fenoller ve diğerleri şeklinde gruplandırılmıştır.

Köten ve diğ. (2019) tarhananın tat ve aroma maddelerinin fermantasyon sırasında oluşan laktik asit, etil alkol ve karbondioksitten kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar da organik asitlerin tarhana aromasına katkıda bulunduğunu, fermantasyon sürecinde oluşan asetik asidin küf gelişimini önlemekle birlikte tarhana aromasının oluşmasına önemli katkıları olduğunu bildirmişlerdir. (Magala ve diğ. 2013; Özdemir ve diğ. 2018). Geleneksel ve ticari olarak üretilen toplamda 9 adet Uşak tarhanası örneğinin incelendiği bir çalışmada; en yüksek düzeyde tespit edilen organik asitlerin laktik ve süksinik asit olduğu, bunları da asetik asidin izlediği bildirilmiştir (Yazıcı, 2016).

Tablo 5.16: Tarhana örneklerinin başlıca aroma bileşen grupları listesi

Aldehitler	Esterler	Terpenler	Diğerleri
Acetaldehyde (CAS) Ethanal	Butyl acrylate	l-Limonene	Trimethyloxirane
3-Methylbutanal	Butyl propionate	1,8-Cineole	Dichloromethane
n-Hexanal	Capronate <ethyl->	Carvone <(E)-, dihydro->	Acetic acid
(E)-2-Hexenal	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl	Carvone	n-Butyl ether
Heptanal	Ethyl caprylate	beta-Elementene	Styrene
trans-2-Heptenal	Ethyl decanoate	beta-Bourbonene	1-Methoxy-2-propoxyethane
Octanal	Ethyl laurate	Caryophyllene	Toluene
Benzeneacetaldehyde	Myristate <ethyl->	Farnesene <(E)-, beta->	n-Butyric acid
Oct-2(E)-enal	Palmitate <ethyl->	alpha-Humulene	Lactic acid
Nonanal	Ethyl linoleate	9-Eicosene, (E)-Caryophyllene oxide	6-Methyl-5-hepten-2-one
2-Nonenal, (E)-	Ethyl oleate		Furan, 2-pentyl-
n-Decanal	4-Ethylpropiolactam		Hexanoic acid
Dec-2(E)-enal	n-Butyl acetate	Fenoller	p-Dichlorobenzene
Hexadecanal diallyl acetal		Furfural	Oct-3(E)-en-2-one
Pentadecanal-	Alkoller	Phenol, 2-methoxy-	Octanoic Acid
2-Butenal	Ethanol		Naphthalene
Pentanal			Dodecane
Propanal, 3-(methylthio)- (CAS)	Methional (CAS)		Nonanoic acid
Benzaldehyde (CAS)			Hexadecane
Phenylmethanal			Oleic acid
			Tetradecane
			Octadecane, 1-chloro-
			Pentadecane
			3-Methylpentadecane
			Hexadecane
			Octadecane
			Ethylhexoic acid

Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları göreceli pik alanı yüzdesi (%) olarak Tablo 5.17’de verilmiştir. Tespit edilen aroma bileşen gruplarında; 19 aldehit, 14 ester, 11 terpen, 1 alkol, 2 fenol ve 27 diğer aroma bileşen grubu olmak üzere toplamda 74 adet aroma bileşeni bulunmaktadır. Yaralı ve İnanç (2023) geleneksel ve direkt fermantasyon yöntemiyle ürettikleri tarhana örneklerinde sırası ile 48 ve 44 adet aroma bileşeni tespit etmişlerdir. Carpino ve diğ. (2010) da tarhana örneklerinde 20 adet aroma bileşeni tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bunlar 12 aldehit, 3 alkol, 1 asit esteri, 1 sülfür, 1 terpen ve 2 adet de tanımlanamayan

aroma grubu olarak listelenmiştir. Göçmen ve diğ. (2004) ise toplamda 41 adet aroma bileşeni tespit etmişlerdir.

Tablo 5.17: Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları (Göreceli pik alanı yüzdesi (%))

Grup	Aroma İsmi	0,5 m/s			1,25 m/s			2 m/s			Geleneksel Yöntem
		30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Aldehitler	Asetaldehit (CAS) Etanal	0.61	0.63	0.24	0.39	0.54	0.72	0.56	0.46	1.17	0.88
	3-Metilbutanal	0.22	0.19	0.49	0.21	0.15	0.32	0.22	0.17	0.5	0.43
	n-Hekzanal	3.73	4.79	2.69	3.47	3.57	4.06	3.61	3.38	6.17	10.1
	(E)-2-Hekzenal		0.09	0.06		0.06		0.12			0.19
	Heptanal	0.26	0.39	0.16	0.3	0.29	0.27	0.28	0.27	0.36	0.75
	trans-2-Heptenal	0.77	0.8	1.24	0.91	1.29	0.54	0.67	0.99	0.37	2.77
	Oktanal			0.03			0.09		0.11	0.21	0.59
	Benzen Asetaldehit	0.64	0.64	0.81	0.89	1.14	1.04	0.99	1.02	0.64	0.91
	Oct-2(E)-enal	0.2	0.19	0.18	0.28	0.2	0.15	0.27	0.23		0.75
	Nonanal	0.8	1.09	0.57	0.84	1.05	0.69	0.83	0.76	0.82	2.24
	2-Nonenal, (E)-	0.26	0.2	0.14	0.29	0.29		0.26	0.29		0.43
	n-Dekanal	0.37	0.53	0.18	0.32	0.45	0.26	0.29	0.37	0.35	0.58
	Dec-2(E)-enal				0.17						0.48
	Heksadecanal dialil asetal	0.3	0.21	0.13	0.37	0.26		0.23	0.35		0.39
	Pentadecanal-	0.12			0.06						
	2-Butenal	0.11	0.13		0.12	0.08	0.22	0.06	0.1		0.2
	Pentanal	0.6	0.84	0.36	0.69	0.55	0.64	0.71	0.51	0.63	1.27
	Propanal, 3-(metiltiyo)- (CAS)			0.05		0.13	0.13	0.17	0.11		0.08
	Metional										
	Benzaldehit (CAS) Fenilmetanal	1.1	1.07	0.93	1.47	1.7	1.32	1.41	1.22	0.71	1.51
Toplam		10.09	11.79	8.26	10.78	11.75	10.45	10.68	10.34	11.93	24.55

Tablo 5.17 (devam): Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları (Göreceli pik alanı yüzdesi (%))

Grup	Aroma İsmi	0,5 m/s			1,25 m/s			2 m/s			Geleneksel Yöntem
		30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Esterler	Butil akrilat	0.61	0.92	0.41	0.46	1.18	0.71	0.44	0.84	0.57	0.28
	Butil propiyonat	0.14	0.16	0.1	0.09	0.21	0.19	0.12	0.16		
	Kapronat <etil->	0.24	0.38	0.29	0.34	0.41	0.53	0.38	0.24	0.56	0.7
	2(3H)-Furanone,	0.26	0.27	0.25	0.28	0.29	0.23	0.23	0.27		0.65
	2(3H)-Furanone, dihidro-5-pentil-	0.26	0.27	0.25	0.28	0.29	0.23	0.23	0.27		0.65
	Etil kaprilat	0.92	1.31	0.38	0.8	0.6	1.56	2.02	0.58	3.69	5.85
	Etil dekanolat	0.91	1.28	0.53	0.86	0.91	1.18	0.85	0.77	0.39	1.24
	Etil laurate	0.76	1.59	0.79	1.32	1.31	1.21	1.13	1	0.25	0.33
	Miristat <etil->	0.59	1.25	0.79	1.33	1.5	0.98	0.85	0.68		0.31
	Palmitat <etil->	2.44	3.96	1.73	5.29	4.28	3.65	3.86	2.41	0.49	1.47
	Etil linoleat	1.16	1.55	0.72	2.76	2.54	1.44	1.47	1.47		0.57
	Etil oleat	0.33	0.43	0.22	0.79	0.71	0.54	0.42	0.45		0.21
	4-Etilpropiolaktam	0.25					0.26		0.29		0.08
	n-Butil asetat	0.27	0.24	0.15	0.23	0.32	0.34	0.08	0.22	0.34	
	Toplam	9.14	13.61	6.61	14.83	14.55	13.05	12.08	9.65	6.29	12.34

Tablo 5.17 (devam): Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları (Göreceli pik alanı yüzdesi (%))

Grup	Aroma İsmi	0,5 m/s			1,25 m/s			2 m/s			Geleneksel Yöntem
		30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Terpenler	l-Limonen	0.28	0.27	0.14	0.16	0.15	0.38	0.38	0.29	1.45	0.29
	1,8-Cineole	0.18	0.14	0.13	0.07		0.19	0.23	0.16	0.49	0.29
	Carvone <(E)-, dihidro->							0.1		0.27	0.46
	Carvone	5.23	5.7	9.25	5.54	9.31	5.07	6.09	9.92	4.45	10.12
	beta-Elemene		0.21			0.07		0.18			0.22
	beta-Bourbonene	0.24	0.45	0.15	0.13	0.23		0.39	0.33		0.65
	Karyofilen	0.78	1.63	0.56	0.51	0.79	0.67	1.53	1.19	0.69	1.62
	Farnesene <(E)-, beta->		0.11	0.07				0.17			0.13
	alfa-Humulen							0.11			0.1
	9-Eikosen, (E)-	0.08	0.13	0.11	0.1	0.15	0.15	0.11	0.16		
	Karyofilen oksit	0.47	0.83	0.65	0.87	0.35	0.31	0.57	0.4		0.59
	Toplam		7.26	9.47	11.06	7.38	11.05	6.77	9.86	12.45	7.35
Alkoller	Etanol	3.59	8.09	5.2	4.62	5.17	5.35	5.1	3.68	2.05	3.59
	Toplam	3.59	8.09	5.2	4.62	5.17	5.35	5.1	3.68	2.05	3.59
Fenoller	Furfural	0.87	1.05	1.19	1.32	2.36	1.23	1.99	2	1.1	1.36
	Fenol, 2-metoksi-	0.47	0.44	0.12	0.44	0.55	0.21	0.46	0.62		
	Toplam	1.34	1.49	1.31	1.76	2.91	1.44	2.45	2.62	1.1	1.36

Tablo 5.17 (devam): Tarhana örneklerindeki uçucu aroma bileşenlerinin listesi ve miktarları (Göreceli pik alanı yüzdesi (%))

Grup	Aroma İsmi	0,5 m/s			1,25 m/s			2 m/s			Geleneksel Yöntem
		30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Diğerleri	Trimetiloksiran	2.73	3.55	0.96	1.31	1.76	2.02	2.34	1.54	2.47	2.3
	Diklormetan	0.58	0.4	0.32	0.25	0.49	0.68	0.64	0.31	1.02	0.55
	Asetik asit	56.39	43.75	59.95	52.44	41.45	50.33	47.46	50.53	60.19	35.27
	n-Butil eter	0.25	0.36	0.18	0.15	0.34	0.35	0.17	0.32	0.46	
	Stiren	0.36	0.62	0.19	0.36	0.47	0.38	0.43	0.29		
	1-Metoksi-2-propoksietan	0.09		0.28					0.11		
	Toluen	0.11	0.14	0.06	0.1	0.15	0.17	0.12	0.12	0.11	
	n-Butirik asit	0.8	0.22	0.09	0.37	0.42		0.43	0.16	0.25	
	Laktik asit	0.26	0.32	0.58	0.49	0.3	0.75	0.16	0.44	0.52	
	6-Metil-5-hepten-2-one	0.13	0.23	0.37	0.11	0.23	0.42	0.48	0.3	0.44	0.41
	Furan, 2-pentil-	0.3	0.26	0.79	0.34	1.21	1.51	1.59	0.38	1.64	0.72
	Hekzanoik asit	0.62	0.72	1.57	0.75	0.47	1.94	1.38	1.43	1.34	0.25
	p-Diklorobenzen					0.12		0.13	0.07		0.09
	Oct-3(E)-en-2-one	0.32	0.38	0.21	0.25	0.24	0.23	0.24	0.29	0.24	1.36
	Oktanoik Asit	1.22	0.62	0.35	0.83	1.05	0.77	0.56	0.64		0.37
	Naftalin	0.16			0.16	0.31		0.21			
	Dodekan	0.22	0.35	0.15	0.1	0.22	0.35	0.22	0.26	0.52	0.18
	Nonanoik asit				0.21	0.29					
	Hekzadekan	2.18	2.27	0.97	1.04	1.87	1.96	1.59	1.69	1.69	1.48
	Oleik asit	0.63	0.45		0.58	0.28		0.63	0.41		0.2
	Tetradekan	0.45	0.56	0.33	0.36	0.47	0.47	0.45	0.48	0.38	0.73
	Oktadekan, 1-kloro-	0.14	0.19	0.04		0.17		0.1	0.16		
	Pentadekan	0.22	0.09	0.08	0.2	0.35	0.16	0.12	0.14		
	3-Metilpentadekan	0.1	0.07	0.07		0.15			0.33		
	Hekzadekan	0.39	0.23	0.24	0.43	0.94	0.56	0.62	0.39		0.42
	Oktadekan	0.16			0.11	1.1	0.14		0.22		
	Etilhekzoik asit								0.5		
Toplam		68.81	55.78	67.78	60.94	54.85	63.19	60.07	61.51	71.27	44.33

Tez çalışmasında aldehit, ester, terpen, alkol ve fenol gruplarından en yüksek göreceli pik alanına sahip olan grup %24.55 göreceli pik alanı ile geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğindeki aldehit grubu olarak tespit edilmiştir. Aldehit grubu içerisinde ise en yüksek miktardaki aroma bileşeni %10.1 ile hekzanal olarak belirlenmiştir. Yaralı ve İnanç (2023) de çalışmasında en yüksek göreceli pik alanına sahip bileşen olarak hekzanal (%30.34) bileşenini tespit etmiş olup tez çalışması ile uyumlu bir sonuç elde etmiştir.

Aldehit ve terpen grubu aroma bileşenleri dışındaki diğer aroma bileşen grupları için; kabin kurutucuda kurutulan tarhana örneklerinin aroma bileşen miktarları geleneksel yöntemle kurutulan örneklerle göre daha yüksek miktarda tespit edilmiştir. Bahsi geçen aroma bileşen gruplarından en düşük göreceli pik alanına sahip olan grup fenoller olarak bulunmuştur. Fenollerden sonra en düşük göreceli pik alanına sahip olan grup alkoller olarak görülmektedir.

Aldehitler grubu için aynı hava hızında kurutulan örneklerde sıcaklıktaki artış ile birlikte göreceli pik alanı genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Sadece 2 m/s hava hızında kurutulan örneklerde sıcaklığın 40 °C'den 50 °C'ye çıktığı koşulda aldehit miktarının arttığı tespit edilmiştir. Aynı sıcaklık koşulunda kurutulan tarhana örneklerinde hava hızındaki değişim ile birlikte tarhana örneklerinin içerdiği aldehit bileşen grubu miktarlarının birbirine yakın bir seyir izlediği görülmektedir.

Ester aroma bileşen grubu miktarları incelendiğinde; 1.25 ve 2 m/s hava hızında kurutulan örneklerde kurutma sıcaklığındaki artış ile ester grubu aroma bileşeni miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhana örneklerinde kurutma sıcaklığı 30 °C'den 40 °C'ye çıktığında ester grubu aroma bileşenleri miktarı bir miktar artış gösterirken, kurutma sıcaklığı 40 °C'den 50 °C'ye çıktığında ester grubu aroma bileşen miktarının 30 °C'de kurutulan örneklerden de daha düşük bir değere gerilediği görülmektedir. Terpen, alkol ve fenol aroma bileşen grupları miktarlarının aynı hava hızında kurutulan örneklerin kurutma sıcaklığındaki değişim ile artma veya azalama yönünde düzenli bir seyir izlemediği tespit edilmiştir.

Sıcaklık ve hava hızı koşullarındaki değişimler ile kurutma prosesi sırasında bazı aroma bileşenleri kaybolurken ya da miktarı azalırken yeni aroma bileşikleri de

oluşabilmektedir. Aroma bileşen miktarlarındaki bu düzensiz seyirin nedeni farklı kurutma koşullarında kaybolan yada meydana gelen aroma bileşenlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Tarhana örneklerinin aroma bileşen miktarlarında uygulanan sıcaklık, zaman, starter kültür çeşidi, kullanılan süt veya yoğurdun bileşimi gibi faktörlerin de etkili olabileceği bildirilmektedir (Yaralı ve İnanç 2023). Bununla birlikte; Kati ve diğ. (2004) ve Coppa ve diğ. (2011) süt ve ekşi hamurda tespit ettikleri bazı aroma bileşenlerini tarhanada tespit edemediklerini bildirmişlerdir. Buradan yola çıkılarak tarhana üretiminde uygulanan proses koşullarının tarhana aroma bileşen grupları üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

5.1.7 Tarhana Örneklerinin Renk Özellikleri

Kurutulmak üzere hazırlanan tarhana hamurlarına ait L değerleri Tablo 5.18’de verilmiştir. Hamurların L değerlerinin 58.17 ile 56.23 arasında değiştiği görülmüştür. Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin L değerleri ise Tablo 5.19’de verilmiştir. Tablo 5.19 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde L değerlerinin 67.57 ile 63.20 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlara yakın ve benzer olacak şekilde; Güven (2023) bonkalite un katkılı tarhanaların L değerlerini 69.23 ile 77.13 aralığında tespit ederken, Çalışkan Koç ve Özçira (2019) ise buğday ruşeymi katkılı tarhanalarda L değerlerini 51.28 ile 81.03 aralığında tespit etmişlerdir.

Tez çalışmasında en yüksek L değeri 30 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük L değeri 50 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülmüştür. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerinde kurutulan örneklerde L değerlerinde farklılıklar görülse de sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin L değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.18: Tarhana hamurlarına ait L değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	56.89±0.57	C ^{2*}	b ¹	57.73±0.09	A	a	56.23±0.04	D	c	56.68±0.03	b
40	57.76±0.02	B	a	57.71±0.05	A	a	56.59±0.05	C	c	56.68±0.03	b
50	58.17±0.02	A	a	57.29±0.01	B	b	57.44±0.02	A	b	56.68±0.03	c
GM	56.68±0.03	C		56.68±0.03	C		56.68±0.03	B			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tablo 5.19: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait L değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	65.90±0.02	B	b	67.57±0.32	A	a	63.21±0.01	C	d	65.66±0.24	c
40	66.78±0.23	A	a	63.82±0.36	C	c	65.68±0.03	A	b	65.66±0.24	b
50	63.34±0.01	D	c	63.20±0.00	D	c	63.91±0.04	B	b	65.66±0.24	a
GM	65.66±0.24	C		65.66±0.24	B		65.66±0.24	A			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tarhana hamurları ve kurutulmuş tarhana örneklerinin L değerleri arasındaki değişimi gösteren Tablo 5.20 incelendiğinde kurutulduktan sonraki en büyük değişim %17.05 ile 30 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken, kurutulduktan sonra L değeri en düşük miktarda artış gösteren örneklerin 50 °C’de 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhanalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kurutma işlemi sonrası tüm örneklerde L değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Tarhana hamuru örneklerinin kurutulması ile; L değerlerinin azaldığı, a ve b değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Farklı sıcaklık ve hava hızı koşullarında kurutulan örneklerde hamur ve son ürün arasındaki L, a, b değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.05).

Tablo 5.20: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası L değerlerindeki değişim

Örnek Kodu	L(Hamur)	L(Tarhana)	Değişim (%)
30°C 0.5 m/s	56.89±0.57	65.90±0.02	15.84
30°C 1.25 m/s	57.73±0.09	67.57±0.32	17.05
30°C 2 m/s	56.23±0.04	63.21±0.01	12.41
40°C 0.5 m/s	57.76±0.02	66.78±0.23	15.62
40°C 1.25 m/s	57.71±0.05	63.82±0.36	10.59
40°C 2 m/s	56.59±0.05	65.68±0.03	16.05
50°C 0.5 m/s	58.17±0.02	63.34±0.01	8.89
50°C 1.25 m/s	57.29±0.01	63.20±0.00	10.31
50°C 2 m/s	57.44±0.02	63.91±0.04	11.27
GM	56.68±0.03	65.66±0.24	15.85

Kurutulmak üzere hazırlanan tarhana hamurlarına ait a değerleri Tablo 5.21’te verilmiştir. Hamurların a değerlerinin 14.67 ile 17.90 arasında değiştiği görülmüştür. Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin a değerleri ise Tablo 5.22’de verilmiştir. Tablo 5.22 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde a değerlerinin

11.13 ile 14.87 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Çalışmamızdan farklı olarak Güven (2023) bonkalite un katkılı tarhanalarda a değerlerini 4.13 ile 4.98 aralığında tespit etmiştir. Benzer şekilde Çalışkan Koç ve Özçira (2019) da a değerlerini 4.08 ile 6.05 aralığında tespit etmiştir.

En yüksek a değeri 40 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük a değeri ise geleneksel yöntemle kurutulan tarhanalarda görülmüştür. Kabin krutucuda kurutulan tüm örnekleri a değerleri geleneksel yöntemle kurutulan örneklerden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerlerinde kurutulan örneklerde a değerlerinde farklılıklar görölse de sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin a değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.21: Tarhana hamurlarına ait a değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	14.69±0.19	C	b	17.54±0.02	AB	a	14.76±0.01	B	b	14.67±0.02	b
40	17.24±0.02	A	a	17.25±0.27	B	a	16.87±0.04	A	a	14.67±0.02	b
50	16.64±0.04	B	c	17.90±0.02	AB	a	17.32±0.02	A	b	14.67±0.02	d
GM	14.67±0.02	C		14.67±0.02	C		14.67±0.02	B			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tablo 5.22: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait a değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	13.36±0.04	A	b	13.27±0.13	B	b	14.07±0.01	B	a	11.13±0.16	c
40	12.53±0.09	B	c	14.87±0.31	A	a	13.75±0.03	B	b	11.13±0.16	d
50	12.91±0.01	AB	c	13.77±0.03	B	b	14.68±0.03	A	a	11.13±0.16	d
GM	11.13±0.16	C		11.13±0.16	C		11.13±0.16	C			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tarhana hamurları ve kurutulmuş tarhana örneklerinin a değerleri arasındaki değişimi gösteren Tablo 5.23 incelendiğinde kurutulduktan sonraki en büyük değişim

%32.14 ile 30 °C'de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken, kurutulduktan sonra a değeri en düşük miktarda azalma gösteren örneklerin 30 °C'de 2 m/s hava hızında kurutulan tarhanalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kurutma işlemi sonrası tüm örneklerde a değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.23: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası a değerlerindeki değişim

Örnek Kodu	a(Hamur)	a(Tarhana)	Değişim (%)
30°C 0.5 m/s	14.69±0.19	13.36±0.04	9.96
30°C 1.25 m/s	17.54±0.02	13.27±0.13	32.14
30°C 2 m/s	14.76±0.01	14.07±0.01	4.88
40°C 0.5 m/s	17.24±0.02	12.53±0.09	37.59
40°C 1.25 m/s	17.25±0.27	14.87±0.31	15.98
40°C 2 m/s	16.87±0.04	13.75±0.03	22.70
50°C 0.5 m/s	16.64±0.04	12.91±0.01	28.83
50°C 1.25 m/s	17.90±0.02	13.77±0.03	30.02
50°C 2 m/s	17.32±0.02	14.68±0.03	18.03
GM	14.67±0.02	11.13±0.16	31.74

Kurutulmak üzere hazırlanan tarhana hamurlarına ait b değerleri Tablo 5.24'da verilmiştir. Hamurların b değerlerinin 21.25 ile 23.98 arasında değiştiği görülmüştür.

Tablo 5.24: Tarhana hamurlarına ait b değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark	1.25 m/s	İstatistiksel fark	2 m/s	İstatistiksel fark	GM	İstatistiksel fark
30	21.26±0.20	B b	23.79±0.01	A a	21.47±0.01	C b	21.25±0.01	b
40	23.45±0.04	A a	23.73±0.07	A a	23.31±0.00	B a	21.25±0.01	b
50	23.37±0.01	A b	23.81±0.02	A ab	23.98±0.01	A a	21.25±0.01	c
GM	21.25±0.01	B	21.25±0.01	B	21.25±0.01	C		

Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin b değerleri ise Tablo 5.25'de verilmiştir. Tablo 5.25 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde b değerlerinin 19.04 ile 22.52 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Çalışmamıza benzer şekilde Güven (2023) bonkalite un katkılı tarhanalarda b değerlerini 19.61 ile 25.14 aralığında; Özçira (2019) ise 22.84 ile 28.78 aralığında tespit etmişlerdir.

En yüksek b değeri 30 °C'de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük b değeri ise geleneksel yöntemle kurutulan tarhanalarda görülmüştür. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerlerinde kurutulan örneklerde

b değerlerinde farklılıklar görülsede sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin b değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı ancak kurutma sıcaklığı 30 °C'den 50 °C'ye çıktığında sıcaklık artışı ile b değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte kabin kurutucu ile kurutulan tüm örneklerin b değerlerinin geleneksel yöntemle kurutulan örneklerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.25: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait b değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	20.77±0.01	B	a	20.52±0.03	C	a	20.92±0.01	C	a	19.04±0.09	b
40	21.66±0.05	A	b	22.36±0.16	A	a	21.88±0.02	B	ab	19.04±0.09	c
50	21.83±0.02	A	b	21.72±0.02	B	b	22.52±0.00	A	a	19.04±0.09	c
GM	19.04±0.09	C		19.04±0.09	D		19.04±0.09	D			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tarhana hamurları ve kurutulmuş tarhana örneklerinin b değerleri arasındaki değişimi gösteren Tablo 5.26 incelendiğinde kurutulduktan sonraki en büyük değişim %315.94 ile 30 °C'de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken, kurutulduktan sonra b değeri en düşük miktarda azalma gösteren örneklerin 30 °C'de 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhanalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kurutma işlemi sonrası tüm örneklerde b değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.26: Tarhana hamuru örneklerinin kurutma sonrası b değerlerindeki değişim

Örnek Kodu	b(Hamur)	b(Tarhana)	Değişim (%)
30°C 0.5 m/s	21.26±0.20	20.77±0.01	2.36
30°C 1.25 m/s	23.79±0.01	20.52±0.03	15.94
30°C 2 m/s	21.47±0.01	20.92±0.01	2.61
40°C 0.5 m/s	23.45±0.04	21.66±0.05	8.26
40°C 1.25 m/s	23.73±0.07	22.36±0.16	6.13
40°C 2 m/s	23.31±0.00	21.88±0.02	6.55
50°C 0.5 m/s	23.37±0.01	21.83±0.02	7.04
50°C 1.25 m/s	23.81±0.02	21.72±0.02	9.61
50°C 2 m/s	23.98±0.01	22.52±0.00	6.47
GM	21.25±0.01	19.04±0.09	11.59

Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin ΔE değerleri ise Tablo 5.27'da verilmiştir. Tablo 5.27 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde ΔE değerlerinin 6.56 ile 11.17 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek ΔE değeri 30 °C'de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük ΔE değeri ise 50 °C'de 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülmüştür. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerlerinde kurutulan örneklerde ΔE değerlerinde farklılıklar görülse de sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin ΔE değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.27: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait ΔE değerleri

Sıcaklık	0.5 m/s	İstatistiksel fark		1.25 m/s	İstatistiksel fark		2 m/s	İstatistiksel fark		GM	İstatistiksel fark
30	9.12±0.60	B	c	11.17±0.38	A	d	7.03±0.05	D	d	9.90±0.30	b
40	10.33±0.24	A	a	6.70±0.59	D	c	9.68±0.10	B	c	9.90±0.30	b
50	6.56±0.03	C	d	7.51±0.05	C	c	7.14±0.03	C	c	9.90±0.30	a
GM	9.90±0.30	A		9.9±0.30	B		9.90±0.30	A			

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin kroma değerleri ise Tablo 5.28'de verilmiştir. Tablo 5.28 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde kroma değerlerinin 22.05 ile 26.88 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek kroma değeri 50 °C'de 2 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük kroma değeri ise geleneksel yöntemle kurutulan tarhanalarda görülmüştür. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerlerinde kurutulan örneklerde kroma değerlerinde farklılıklar görülse de sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin kroma değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı tespit edilmiştir. Ancak kurutma sıcaklığının 30 °C'nin üzerine çıktığı koşullarda kroma değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kabin kurutucu ile kurutulan tüm örneklerin kroma değerlerinin geleneksel yöntemle kurutulan örneklerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.28: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait Kroma değerleri

Sıcaklık	İstatistiksel		İstatistiksel		İstatistiksel		İstatistiksel	
	0.5 m/s	fark	1.25 m/s	fark	2 m/s	fark	GM	fark
30	24.69±0.03	C b	24.44±0.09	C a	25.21±0.01	C a	22.05±0.16	d
40	25.02±0.09	B c	26.85±0.32	A b	25.84±0.03	B b	22.05±0.16	d
50	25.36±0.01	A c	25.72±0.01	B a	26.88±0.01	A a	22.05±0.16	d
GM	22.05±0.16	D	22.05±0.16	D	22.05±0.16	D		

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Hamurlar kurutulduktan sonraki tarhana örneklerinin hue açısı değerleri ise Tablo 5.29’de verilmiştir. Tablo 5.29 incelendiğinde; kurutulmuş tarhana örneklerinde hue açısı değerlerinin 56.38 ile 59.95 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek hue açısı değeri 40 °C’de 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülürken en düşük hue açısı değeri ise 40 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalarda görülmüştür. 40 °C’de 1.25 m/s hava hızında kurutulan tarhanalar dışında kabin kurutucuda kurutulan tüm örneklerin hue açısı değerleri geleneksel yöntemle kurutulan örneklerden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızı değerlerinde kurutulan örneklerde hue açısı değerlerinde farklılıklar görülse de sıcaklık ve hava hızındaki değişimler nedeniyle tarhana örneklerinin hue açısı değerlerinde artma veya azalma yönünde düzenli bir seyir olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 5.29: Kurutulmuş tarhana örneklerine ait Hue Açısı değerleri

Sıcaklık	İstatistiksel		İstatistiksel		İstatistiksel		İstatistiksel	
	0.5 m/s	fark	1.25 m/s	fark	2 m/s	fark	GM	fark
30	57.27±0.08	D c	57.11±0.25	C b	56.08±0.03	D d	59.69±0.27	a
40	59.95±0.16	A a	56.38±0.39	D c	57.87±0.05	B c	59.69±0.27	b
50	59.40±0.04	C c	57.63±0.09	B d	56.92±0.04	C d	59.69±0.27	a
GM	59.69±0.27	B	56.69±0.27	A	56.69±0.27	A		

¹Küçük harfler sabit sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. ²Büyük harfler sabit hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutma ve GM ile kurutma sonucu elde edilen veriler arasındaki farkı ifade etmektedir. *Farklı harfler ile gösterilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tarhana kurutma prosesi sırasında kullanılan farklı sıcaklık ve hava hızı koşullarının tarhana örneklerinin renk niteliklerini açıklayan L, a, b, ΔE, kroma ve hue

açısı değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunsa da, farklı koşullarda bu parametrelerde meydana gelen değişimlerin düzenli bir seyir izlemediği görülmüştür.

Renkte esmerleşme, sıcaklık artışı ile ısıtılmanın bir sonucu olarak ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu (Maillard reaksiyonları) sonucunda da meydana gelmiş olabileceği değişik araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Lisin miktarı düşük olan buğday ile lisin ve indirgen bir şeker olan laktoz yönünden zengin olan yoğurdun karışımı sonucu elde edilen tarhana; yüksek sıcaklıklarda işlendiği zaman Maillard reaksiyonlarının meydana gelmesinin mümkün olduğu ifade edilmektedir (Singh ve diğ. 1991).

Kurutma prosesi boyunca tarhana örneklerindeki renk değişimleri başlangıç tarhana hamuru içeriğinde bulunan biber ve domates gibi renk bileşenleri bakımından zengin materyallerin nitelikleri ile yakından ilgilidir. Kurutma süresince tarhana örneklerindeki renk değişimleri; üretimde kullanılan materyallerdeki karotenler, fenolik maddeler, antosiyaninler vb. bileşenlerde; sıcaklık, hava hızı, kurutma hızı, su aktivitesi gibi değişkenlerde meydana gelen değişimlere bağlı olarak gerçekleşen oksidasyon, esmerleşme reaksiyonları (maillard ve enzimatik esmerleşme reaksiyonları), anabolik ve katabolik reaksiyonlar, proses koşullarına göre bu reaksiyonların hızlarındaki değişimler sebebiyle meydana gelmektedir.

Özellikle sıcaklık ve hava hızındaki değişimler kurutma hızında değişimlere neden olmakta kurutma prosesi boyunca tarhana hamuru materyalinin su aktivitesi sürekli değişmektedir. Materyaldeki ve ortam koşullarındaki değişimler de kurutma sırasında meydana gelen biyokimyasal reaksiyonların tamamını etkilemektedir. Kompleks yapıda olan gıda maddelerinde, özellikle meyve ve sebzelerde, farklı olgunluk düzeylerinde, farklı bileşen kompozisyonuna sahip materyallerin kullanılabilme olasılığı benzer proses koşullarında farklı reaksiyonların meydana gelmesini ve dolayısıyla farklı renk niteliklerine sahip son ürünlerin oluşmasına yol açabilir. Sıcaklık gibi değişkenlerin etkisiyle prosesin farklı zamanlarında renk maddelerindeki değişimler sonucu örneklerin renginin daha açık bir renge dönüşmesi söz konusu olabilirken bir taraftan da gerçekleşen reaksiyonlar sonucu yeni renk bileşikler de oluşabilmekte tarhana örneklerinin rengi farklı yönde değişebilmektedir.

Sonuç olarak hammaddedeki farklılıklar farklı proses koşullarında, farklı etkilere yol açarak gerçekleşmesi beklenen renk değişim reaksiyonlarının beklenenden farklı olmasına ve farklı proses koşullarında farklı değişim seyirleri görülmesine neden olmuş olabilir. Yapılan literatür taramalarında da gıdaların renk veren bileşenlerinde uygulanan işlem, depolama koşulları ve süresine bağlı olarak artma ve azalmalar olduğu görülmektedir (Mıchalczyk ve Macura 2010).

5.1.8 Tarhana Örneklerinin Yanıt Yüzey Yöntemi İle Optimizasyonu

Tez çalışması kapsamında endüstriyel tarhana kurutma prosesi için optimum sıcaklık ve hava hızı koşullarını belirlemek amacıyla yanıt yüzey metodu kullanılmıştır. Tarhana örneklerinin toplam β -karoten miktarı değişim oranı, toplam likopen değişim oranı ve kuruma süreleri referans alınarak Merkezi Kompozit Tasarım modeli uygulanmıştır. Deneysel ve tahmini yanıtlar Tablo 5.30'de yer almaktadır. Tarhana kurutma işlemi sonucunda deneysel ve tahmini yanıtlar arasındaki farkın az olması, bu modelin uygunluğu hakkında fikir vermektedir.

Tablo 5.30: Tarhananın kurutulması işleminin Merkezi Kompozit Tasarım modeline göre bağımsız değişkenler ve yanıtların deneysel ve tahmini değerleri

DENEY NO	Bağımsız Değişkenler				Deneysel ve Tahmini Yanıtlar					
	Gerçek Değerler		Kodlanmış Değerler		β -Karoten Yüzde Değişimi (%)		Likopen Yüzde Değişimi (%)		Kuruma Süresi (Dakika)	
	X1	X2	X1	X2						
	Sıcaklık	Hava Hızı	Sıcaklık	Hava Hızı	Deneysel Değer	Tahmini Değer	Deneysel Değer	Tahmini Değer	Deneysel Değer	Tahmini Değer
1	40	1.25	0	0	91.22	91.35	64.34	64.14	3000	2898.62
2	50	2	1	1	96.62	96.64	64.5	66.82	1440	1803.28
3	40	1.25	0	0	91.22	91.35	64.34	64.14	3000	2898.62
4	40	0.5	0	-1	91.58	91.13	65.09	67.37	3930	4533.45
5	40	2	0	1	92.25	92.06	66.35	65.06	2160	2063.45
6	40	1.25	0	0	91.22	91.35	64.34	64.14	3000	2898.62
7	30	0.5	-1	-1	92.95	93.25	82.59	79.77	8670	8053.28
8	50	1.25	1	0	96.82	96.65	68.68	65.82	2100	1723.45
9	40	1.25	0	0	91.22	91.35	64.34	64.14	3000	2898.62
10	40	1.25	0	0	91.22	91.35	64.34	64.14	3000	2898.62
11	30	1.25	-1	0	94.66	94.19	72.62	76.47	4620	5503.45
12	50	0.5	1	-1	97.01	97.16	68.43	68.97	2430	2443.28
13	30	2	-1	1	95.44	95.61	78.33	77.3	4020	3753.28

Tarhana örneklerinin kurutulmasında toplam β -karoten içeriği değişimi, toplam likopen içeriği değişimi ve kuruma süresi yanıtlarının optimizasyonunda tercih edilen en iyi model kuadratik model olmuştur. Toplam β -karoten içeriği değişim oranı, toplam likopen değişim oranı ve kuruma süresi için yapılan varyans analizinde elde edilen F-değeri, p-değeri, uyum eksikliği gibi istatistiksel veriler ve kuruma faktörlerinin etkilerinin istatistiksel ifadeleri Tablo 5.31-33'te verilmiştir.

5.1.8.1 β -Karoten Değişim Oranı Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin tarhana kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren veriler Tablo 5.24'de verilmiştir.

Tablo 5.31'de kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğu görülmektedir ($R^2=0.98$).

Tablo 5.31: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren Anova tablosu

Kaynak	Kareler	Serbestlik	Kareler	F-değeri	p-değeri
Model	68.68	5	13.74	134.46	< 0.0001*
A-Sıcaklık	9.13	1	9.13	89.33	< 0.0001*
B-Hava hızı	1.28	1	1.28	12.52	0.0095*
AB	2.07	1	2.07	20.30	0.0028*
A²	45.77	1	45.77	448.04	< 0.0001*
B²	0.1672	1	0.1672	1.64	0.2416
Artık	0.7151	7	0.1022		
Uyum eksikliği	0.7151	3	0.2384		
Net hata	0.0000	4	0.0000		
Genel Toplam	69.40	12			

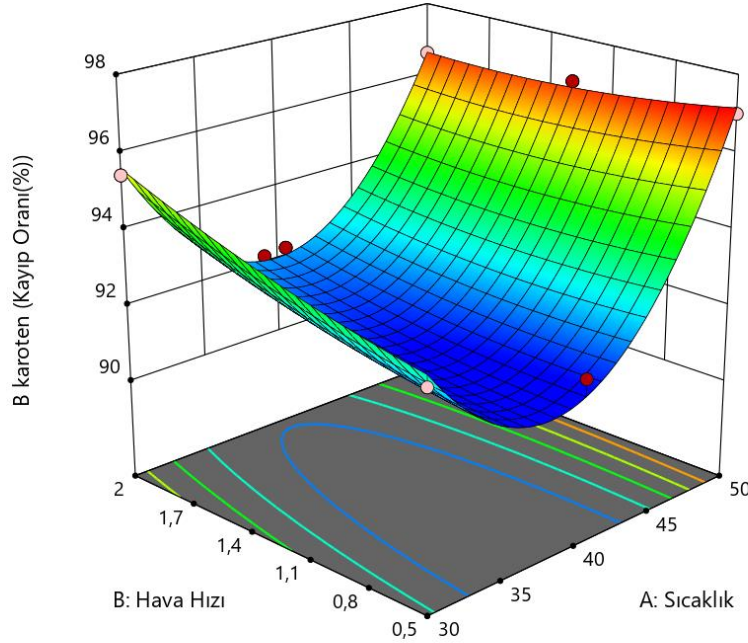
$R^2=0.98$ * $p<0.05$

Yüksek F- değeri ile düşük p-değeri anlamlı değerleri ifade etmektedir. Model F-değerinin 134.46 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

İstatistiksel önem düzeyi $p < 0.05$ olarak tespit edilen A, B, AB ve A^2 etkisi; kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı için istatistiksel olarak önemli etkiye sahiptir. B^2 etkisi $p > 0.05$ olarak tespit edilmesi nedeniyle bu model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tarhana kurutma sistemine yanıt olarak girilen ve optimum noktada minimum değerde çıkması istenen β -karoten değişim oranı için istatistiksel açıdan önemli sayılan varyasyon kaynakları kullanılarak ikinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir.

$$\beta\text{-Karoten (Gerçek)} = 4.07 \cdot A^2 + 1.23 \cdot A + 0.4617 \cdot B - 0.72 \cdot AB + 0.2460 \cdot B^2 + 91.35$$
$$\beta\text{-Karoten (Kodlanmış)} = 0.04710 \cdot A^2 - 3.01349 \cdot A + 3.36207 \cdot B - 0.096 \cdot AB + 0.437395 \cdot B^2 + 146.66548$$



Şekil 5.28: Tarhana hamurlarının kurutulmasında β -karoten değişim oranı yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi.

Tarhana hamurlarının kurutulmasında β -karoten değişim oranı yanıtına kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisini gösteren yanıt-yüzey grafiği

3-D grafik olarak Design Expert programı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 5.28). Buna göre farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinde genel olarak; kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte kurutma hızındaki artış ve kuruma süresinin azalmasına bağlı olarak β -karoten değişim (kayıp) oranı (%) azaldığı söylenebilir.

Tarhana örneklerindeki fenolik madde miktarları üzerinde kurutma yöntemlerinin etkilerinin incelendiği bir çalışmada, kurutma koşullarından kaynaklanan fenolik madde miktarındaki değişimlerin, farklı kurutma koşullarına göre fenolik bileşiklerin değişen stabilitesine bağlanabileceği bildirilmiştir (Değirmencioğlu ve diğ. 2016).

5.1.8.2 Likopen Değişim Oranı Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin likopen kurutma sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren veriler Tablo 5.32’de verilmiştir.

Tablo 5.32: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin likopen kurutma sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren anova tablosu.

Kaynak	Kareler	Serbestlik	Kareler	F-değeri	p-değeri
Model	385.90	5	77.18	12.09	0.0025*
A-Sıcaklık	169.92	1	169.92	26.62	0.0013*
B-Hava hızı	8.00	1	8.00	1.25	0.2997
AB	0.0272	1	0.0272	0.0043	0.9498
A ²	135.39	1	135.39	21.21	0.0025*
B ²	11.85	1	11.85	1.86	0.2152
Artık	44.67	7	6.38		
Uyum eksikliği	44.67	3	14.89		
Net hata	0.0000	4	0.0000		
Genel Toplam	430.57	12			

R²=0.89 *p<0.05

Tablo 5.32’te kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin tarhana kurutma prosesi sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğu görülmektedir ($R^2=0.8926$).

Yüksek F- değeri ile düşük p-değeri anlamlı değerleri ifade etmektedir. Model F-değerinin 12.09 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

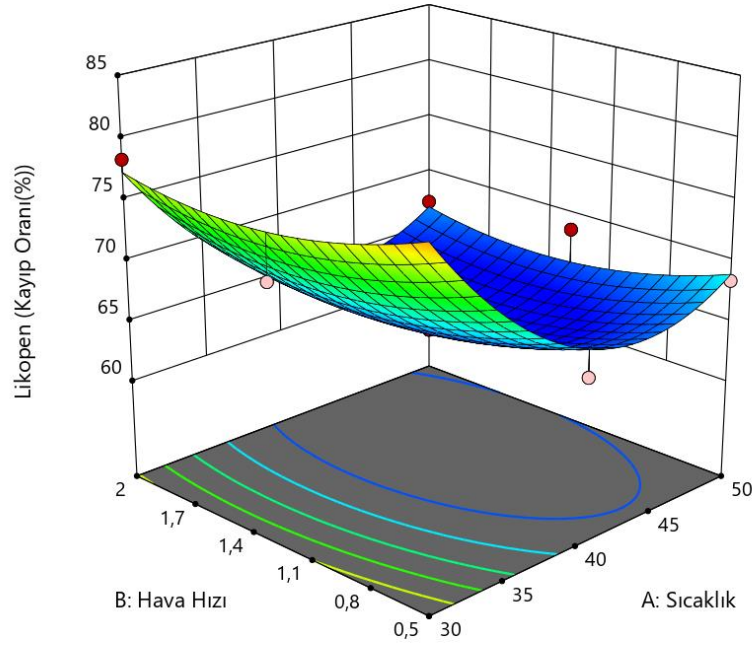
İstatistiksel önem düzeyi $p<0.05$ olarak tespit edilen A ve A^2 değerleri; kurutma sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı için istatistiksel olarak önemli etkiye sahiptir. B, B^2 , AB ortak etkisi $p>0.05$ olarak tespit edilmesi nedeniyle bu model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tarhana kurutma sistemine yanıt olarak girilen ve optimum noktada minimum değerde çıkması istenen likopen değişim oranı (%) için istatistiksel açıdan önemli sayılan varyasyon kaynakları kullanılarak ikinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir.

$$\text{Likopen (Gerçek)} = 7*A^2 - 5.32*A - 1.16*B + 0.0825*AB + 2.07*B^2 + 64.14$$

$$\text{Likopen (Kodlanmış)} = 0.070016*A^2 - 6.14716*A - 11.1869*B + 0.011*AB + 3.68276*B^2 + 205.68322$$

Tarhana hamurlarının kurutulmasında Likopen değişim oranı yanıtına kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisini gösteren yanıt-yüzey grafiği 3-D grafik olarak Design Expert programı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29: Tarhana hamurlarının kurutulmasında Likopen değişim oranı yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi.

Şekil 5.29'deki grafiğe göre farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinde; kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte kurutma hızındaki artış ve kuruma süresinin azalmasına bağlı olarak likopen değişim (kayıp) oranının (%) azaldığı söylenebilir. Santos-Sánchez ve diğ. (2012)'nin çalışmasında da kurutma sıcaklığındaki artış ile birlikte likopen miktarının azaldığı bildirilmiştir.

5.1.8.3 Kuruma Süresi Yanıtı İçin Tarhana Kurutma Koşullarının Optimizasyonu

Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kuruma süresi arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren veriler Tablo 5.33'de verilmiştir.

Tablo 5.33'de kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kuruma süresi arasında iyi bir kuadratik ilişki olduğu görülmektedir ($R^2=0.95$).

Tablo 5.33: Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kuruma süresi arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren Anova tablosu

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model(Kuadratik)	3.680E+07	5	7.361E+06	26.69	0.0002*
A-Sıcaklık	2.143E+07	1	2.143E+07	77.70	< 0.0001*
B-Hava hızı	9.151E+06	1	9.151E+06	33.18	0.0007*
AB	3.349E+06	1	3.349E+06	12.14	0.0102*
A ²	1.411E+06	1	1.411E+06	5.12	0.0582
B ²	4.415E+05	1	4.415E+05	1.60	0.2463
Artık	1.931E+06	7	2.758E+05		
Uyum eksikliği	1.931E+06	3	6.436E+05		
Net hata	0.0000	4	0.0000		
Genel Toplam	3.873E+07	12			

R²=0.95 *p<0.05

Yüksek F- değeri ile düşük p-değeri anlamlı değerleri ifade etmektedir. Model F-değerinin 26.69 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

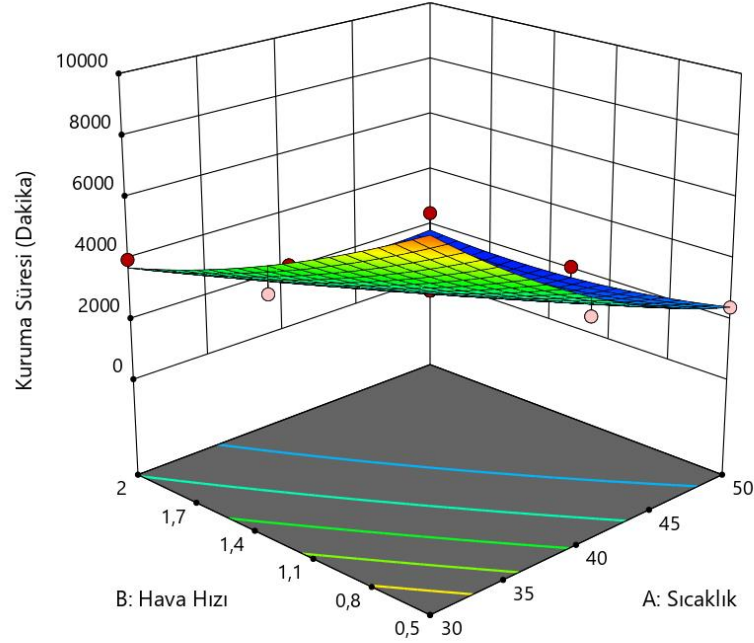
İstatistiksel önem düzeyi p<0.05 olarak tespit edilen A, B, AB değerleri; kuruma süresi için istatistiksel olarak önemli etkiye sahiptir. A² ve B² değerleri için p>0.05 olarak tespit edilmesi nedeniyle bu model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tarhana kurutma sistemine yanıt olarak girilen ve optimum noktada minimum değerde çıkması istenen kuruma süresi (dakika) için istatistiksel açıdan önemli sayılan varyasyon kaynakları kullanılarak ikinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir.

$$\text{Kuruma Süresi (Gerçek)} = 7.14828*A^2 - 913.36207*A - 8303.67816*B + 122*AB + 710,80460*B^2 + 31164.82759$$

$$\text{Kuruma Süresi (Kodlanmış)} = 714.83*A^2 - 1890*A - 1235*B + 915*AB + 399.83*B^2 + 2898.62$$

Tarhana hamurlarının kurutulmasında kuruma süresi yanıtına kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisini gösteren yanıt-yüzey grafiği 3-D grafik olarak Design Expert programı kullanılarak çizilmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30: Tarhana hamurlarının kurutulmasında kuruma süresi yanıtına ait yüzey grafiği, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisi.

Şekil 5.30'teki grafiğe göre farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinde genel olarak; kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte kuruma süresinin azaldığı söylenebilir.

Tablo 5.34: Tarhana kurutma işlemi optimizasyonu optimizasyon kısıtları

Yanıt ve Değişkenler	Kısıtlar	Alt limit	Üst Limit
Sıcaklık (°C)	Aralığında	30	50
Hava hızı (m/s)	Aralığında	0.5	2
Kuruma süresi (dakika)	Aralığında	1440	8670
B-karoten değişim oranı (%)	Aralığında	91.22	97.01
Likopen değişim oranı (%)	Aralığında	64.34	82.59

Tarhana örneklerinin kurutulması işleminde belirlenen kurutma koşulu kısıtları (Tablo 5.34) içerisinde likopen ve β -karoten değişim oranı ile kuruma süresi için

Merkezi Kompozit tasarım modeli ile hesaplanan optimum koşul değerleri için bulunan 4 çözüm bulunmuştur (Tablo 5.35). Bu çözümlerden en yüksek arzu edilirlilik değere sahip olan koşul değerlerden veriler alınmıştır. Bu optimum değerlerden sıcaklık 40.362 °C ve hava hızı 1.62 m/s olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.35: Tarhana örneklerinin kurutulması işleminde likopen ve β -karoten değişim oranı ile kuruma süresi için Merkezi Kompozit tasarım modeli ile hesaplanan optimum koşul değerleri için çözümler

Numara	Sıcaklık (°C)	Hava hızı (m/s)	Kuruma süresi (dakika)	B-karoten değişim oranı	Likopen değişim oranı
1*	40.362	1.620	2334.96	91.674	63.895
2	40.358	1.626	2329.34	91.678	63.904
3	40.377	1.615	2338.77	91.670	63.882
4	40.329	1.609	2352.48	91.659	63.897

*Optimum seçilen koşul

Optimum koşulda deneysel olarak; likopen değişim oranı %63.895 ve β -karoten değişim oranı %91.674 ve kuruma süresi ise 2334.96 dakika olarak belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında geleneksel (güneşte) kurutma yöntemine alternatif olarak endüstriyel anlamda kullanılabilecek farklı bir kurutma yöntemi ve farklı kurutma koşulları kullanılarak, tarhananın kalite özelliklerinin korunması açısından uygun kurutma koşullarının belirlenmesi amacıyla hem kabin kurutma sisteminde hem de geleneksel yöntemle tarhana üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı koşullarda üretilen tarhanaların bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik niteliklerinden yola çıkılarak farklı tarhana üretim, yöntem ve koşullarının karşılıklı değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Buna ilave olarak elde edilen veriler kullanılarak optimizasyon yapılmış tasarlanan endüstriyel tarhana kurutma sistemi için en uygun sıcaklık ve hava hızı koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tüm bu amaç ve hedefler doğrultusunda yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Farklı koşullarda kurutulan tarhana örneklerinin kabin kurutucuda kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler beş ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Elde edilen verilerden, yüksek R^2 ile düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip Page ve Modifiye Page modellerin tarhana örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri Page ve Modifiye Page modeller için sırasıyla 0.9596-0.9981, 0.000042-0.00061 ve 0.000764-0.003041 aralığında bulunmuştur.

Kurutulan tarhana örneklerin 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızları için tespit edilen difüzyon katsayısı değerleri; 30 °C için $6.99-14.79 \times 10^{-8}$, 40 °C için $15.7-32.11 \times 10^{-8}$ ve 50 °C için $26.64-44.98 \times 10^{-8}$ m²/s aralığında tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneği için ise etkin difüzyon katsayısı değeri 0.003×10^{-8} m²/s olarak belirlenmiştir. Buna göre kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır.

Denemelerde uygulanan kurutma sıcaklığı ve hava hızının tarhana örneklerinin kurutma eğrilerine etkisi incelendiğinde; kurutma sıcaklığındaki ve hava hızındaki artışın kuruma süresini kısalttığı görülmüştür.

Tarhana örneklerinin kurutulması sürecinde 50 ve 40 °C sıcaklıklarda 2 ve 1.25 m/s hava hızları için kurutma süreci boyunca azalan hızda kuruma periyodu görülmüştür. Aynı sıcaklıklarda 0.5 m/s hava hızında yapılan tarhana kurutma denemelerinde ise başlangıçta (0.8-1.0 nem oranı aralığı) artan hızda kuruma periyodu görülürken, daha sonra yine azalan hızda kuruma periyodu gözlenmiştir.

30 °C sıcaklıkta yapılan kurutma denemelerinde ise 2 m/s hava hızında tüm kuruma süreci boyunca azalan hızda kuruma periyodu görülürken, 0.5 ve 1.25 m/s hava hızı koşullarında başlangıçta (0.9-1.0 nem oranı aralığı) artan hızda kuruma periyodu, devamında ise azalan hızda kuruma periyodu tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinde de azalan hızda kuruma periyodu gözlenmiştir.

Her sıcaklık ve hava hızı için tarhana örneklerinin kurutulması sırasındaki β -karoten bozunma reaksiyonunun birinci derece kinetik modele uygun olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak, tarhana kurutma proseslerinde tüm farklı hava hızı koşulları için kurutma sıcaklığındaki artışın tarhana örneklerinin β -karoten içeriğinde azalmaya neden olduğu da tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin kurutulması sırasındaki β -karoten değişimi ile benzer şekilde, likopenin bozunma reaksiyonunun da birinci dereceden kinetik modele uygun olduğu tespit edilmiş olup kurutma sıcaklığındaki artış ile birlikte tarhana örneklerinin likopen içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Tarhana hamurlarının kurutulması sürecindeki β -karoten ve likopen değişim reaksiyonu hız sabitleri sırasıyla 0.0001-0.007 dk⁻¹ ve 0.0003-0.0014 dk⁻¹ aralığında olup, kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki değişimlerden önemli derecede etkilendiği saptanmıştır.

Kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile β -karoten değişim reaksiyonu hız sabitlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte tarhana hamuru kurutma sürecinde, hava hızındaki artış ile β -karoten bozunma reaksiyonunun yarı ömür süresi ve aktivasyon enerjisi değerinin azaldığı belirlenmiştir.

β -karoten değişim reaksiyonu Q_{10} değerleri incelendiğinde; 0.5 m/s hava hızında kurutulan tarhana hamuru örnekleri için, kurutma prosesi sırasında kurutma sıcaklığının 30 °C'den 40 °C'ye çıkarılmasının ($Q_{10} = 2.0$), kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasına ($Q_{10} = 1.67$) göre, β -karoten bozunma reaksiyonunu daha fazla etkilediği belirlenmiştir. Farklı olarak; diğer hava hızı koşulları (1.25 ve 2 m/s) için kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasının bozunma reaksiyonu üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak tarhana örneklerinin 0.5 m/s hava hızında 30, 40 ve 50 °C'de kurutulduğu bu çalışmada β -karoten degradasyon reaksiyonu aktivasyon enerjisi değerini 49.05 kJ/mol olarak tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin kurutulması sırasında, kurutma sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile likopen değişim reaksiyonu hız sabitlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte tarhana hamuru kurutma sürecinde, hava hızındaki artış ile likopen bozunma reaksiyonunun aktivasyon enerjisi değeri azalmıştır. Buna ilave olarak, kurutma prosesinde uygulanan sıcaklık ve hava hızının artması ile likopen değişim reaksiyonu yarı ömür süresinin azaldığı saptanmıştır. Ayrıca, likopen bozunma reaksiyonları için elde edilen Q_{10} değerleri incelendiğinde; tüm hava hızı koşulları için, kurutma sıcaklığının 40 °C'den 50 °C'ye çıkarılmasının bozunma reaksiyonu üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin aynı sıcaklıklarda farklı hava hızlarındaki görünen viskozitesinin kayma hızı ile değişimi ve üs yasası modeli sonuçları ile karşılaştırması yapılmış, örneklerin viskozitelerin kayma hızı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Tüm bu davranış şekilleri tarhana örneklerinin Newtonyen akış davranışına sahip olmadığını göstermektedir. Tez kapsamında üretilen tarhanaların akış davranış indeksi (n) değerinin 1'den küçük olması sebebiyle Newtonyen olmayan akışkanlardan psödoplastik (kayma incelmesi gösteren) akış tipinde oldukları görülmüştür.

Mikrobiyolojik sayımlar sonucunda genel olarak kurutma sıcaklıklarında tarhanada belirlenen maya küf sayısı azalmıştır. Aynı sıcaklık değerinde hava hızındaki artışın tarhanadaki maya küf sayısına belirgin düzenli bir etkisi olmasa da, hava hızındaki artışa bağlı olarak maya-küf sayısı azalmış ya da aynı kalmıştır.

30 °C’de yapılan kurutmada tarhanada belirlenen toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı da maya küf sonuçları ile benzer sonuçlar ortaya koymuş, söz konusu değerler aynı hava hızında sıcaklıktaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir.

Tarhana örneklerinde aroma bileşen grupları toplam konsantrasyonları incelendiğinde aldehitler, esterler ve terpenler gruplarının yoğun olarak bulunduğu görülmektedir. Geleneksel yöntemle kurutulan tarhana örneğinde ise özellikle aldehitler grubunun ve az da olsa terpenler grubunun diğer örneklere göre daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir.

Tarhana hamuru örneklerinin kurutulması ile; L değerlerinin azaldığı, a ve b değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Farklı sıcaklık ve hava hızı koşullarında kurutulan örneklerde hamur ve son ürün arasındaki L, a, b değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Tarhana kurutma prosesi sırasında kullanılan farklı sıcaklık ve hava hızı koşullarının tarhana örneklerinin renk niteliklerini açıklayan L, a, b, ΔE , kroma ve hue açısı değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunsa da, farklı koşullarda bu parametrelerde meydana gelen değişimlerin düzenli bir seyir izlemediği tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin kurutulmasında toplam β -karoten içeriği değişim oranı, toplam likopen içeriği değişim oranı ve kuruma süresi yanıtlarının optimizasyonunda tercih edilen en iyi model kuadratik model olmuştur. Kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin tarhana kurutma prosesi sonundaki likopen içeriğindeki azalma oranı arasında iyi bir kuadratik ilişki ($R^2=0.8926$) olduğu tespit edilmiş olup yüksek F-değeri ile düşük p-değeri anlamlı değerleri ifade etmektedir. Model F-değerinin 12.09 olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde; kurutma sıcaklığı ve hava hızı faktörleri ile tarhana örneklerinin kurutma sonundaki β -karoten içeriğindeki azalma oranı arasında iyi bir kuadratik ilişki ($R^2=0.98$) olduğu görülmektedir ve yüksek F-değeri ile düşük p-değeri anlamlı değerleri ifade etmektedir. Model F-değerinin 134.46 olması ise modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tarhana hamurlarının kurutulmasında β -karoten ve likopen değişim oranı yanıtına kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisini gösteren yanıt-yüzey grafiğine göre kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte

kurutma hızındaki artış ve kuruma süresinin azalmasına bağlı olarak β -karoten ve likopen değişim (kayıp) oranının (%) azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde; tarhana hamurlarının kurutulmasında kuruma süresi yanıtına kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı faktörlerinin etkisini gösteren yanıt-yüzey grafiğine göre kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artış ile birlikte kuruma süresinin azaldığı da görülmüştür.

Tarhana örneklerinin kurutulması işleminde belirlenen kurutma koşulu kısıtları içerisinde likopen ve β -karoten değişim oranı ile kuruma süresi için Merkezi Kompozit tasarım modeli ile hesaplanan optimum koşul değerleri için bulunan 4 çözüm bulunmuştur. Bu çözümlerden en yüksek arzu edilirlilik değerine sahip olan koşul değerlerden veriler alınmıştır. Bu optimum değerlerden sıcaklık 40.362 °C ve hava hızı 1.62 m/s olarak belirlenmiştir. Optimum koşulda deneysel olarak; likopen değişim oranı %63.895 ve β -karoten değişim oranı %91.674 ve kuruma süresi ise 2334.96 dakika olarak tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Akbaş, Ş. ve Coşkun, H., “Tarhana üretimi ve özellikleri üzerine bir değerlendirme”, Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 703-706, (2006).
- Akpınar, E. K., Bicer, Y. and Yıldız, C., “Thin layer drying of red pepper”, *Journal of Food Engineering*, 59, 99-104, (2003).
- Aksoy, A., “Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kıymanın Kurutma Kinetiği, Mikroyapısı, Rengi ve Rehidrasyon Oranı Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2019).
- Aktacir, M.A. and Yeşilata, B., “Simple moisture transfer model for drying of sliced foods”, *Applied Thermal Engineering*, 29, 44, 748-752, (2009).
- Aktaş, K. and Akın, N., “Influence of rice bran and corn bran addition on the selected properties of tarhana, a fermented cereal-based food product”, *LWT*, 129, 109574, (2020).
- Alçay, A.Ü., Yalçın, S., Bostan, K. ve Dinçel, E., “Orta Asya’dan Anadolu’ya Kurutulmuş Gıdalar”, *ABMYO Dergisi*, 40, 83-93, (2015).
- Altun, E., “Deniz Börülcesinin Mikrodalga Tekniği ile Kurutulması: Kuruma, Renk ve Rehidratasyon Kinetiğinin Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2017).
- Anonim, “TS 2282 Tarhana standardı”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2004).
- Apaydın, N., “Aydın Yöresinde İncir Kurutmada Kullanılacak Olan Doğal Akımlı Bir Güneş Enerjili Kurutucunun Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Aydın, (2007).
- Ariahu, C. C., Kamaldeen, O. S. and Yusufu, M. I., “Kinetic and thermodynamic studies on the degradation of carotene in carrot powder beads”, *Journal of Food Engineering*, 288, (2021).
- Aslankara, T., “Barbunyanın (*Phaseolus vulgaris* L.) Lif ve Antioksidan Kaynağı Olarak Tarhana Çorbası Hazırlanmasında Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi. *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2013).

Atasoy, R. and Hendek Ertop, M., “Assessment of nutritional and bioactive properties for gluten-free tarhana containing various legumes and cereals”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15606, (2021).

Aytuna, H. ve Aran, N., “Tahıl Ürünlerinde Fermantasyon Uygulamaları ve Besin Değerleri Üzerine Etkileri”, *Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi, Gaziantep* 365-373, (2002).

Bal Yıldırım, M., Özkanlı, O. ve Sönmezdağ, A.S., “Farklı bölgelere ait tarhanaların duyuşsal özellikleri”, *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 9(3), 2073-2091, (2021).

Bardakçı, M. S. and Karacabey, E., “Drying of tarhana dough by Refractance Window technology under vacuum/atmospheric conditions: Characterization of physical and quality parameters”, *Food Science and Nutrition*, 00:1-14, (2023).

Başlar, M., Özçelik, G N., and Çalışkan, H. A., “Comprehensive review on Beyşehir Tarhana, A Turkish traditional food”, *International Journal of Gastronomy Research*, 1(1), 5-43, (2022).

Bechoff, A., Dhuique-Mayer, C., Dornier, M., Tomlins, K. I., Boulanger, R., Dufour, D. and Westby, A., “Relationship between the kinetics of β -carotene degradation and formation of norisoprenoids in the storage of dried sweet potato chips”, *Food Chemistry*, 121, 348-357, (2010).

Bechoff, A., Poulaert, M. and Tomlins, K., “Retention and bioaccessibility of beta-carotene in blended foods containing orange-flesh sweet potato flour”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 10373-10380, (2011).

Bilgiçli, N., “Tarhananın Fitik Asit İçeriği Ve Bazı Besin Öğeleri Üzerine Maya, Malt ve Fitaz Katkılarının Etkileri.” Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2004).

Blandino, A., Al-Aseeri, M.E., Pandiella, S.S., Cantero, D. and Webb, C., “Cereal-based fermented foods and beverages”, *Food Research International*, 36, 527-543, (2003).

Brennan, J.G, *Food Processing Handbook*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 602, (2006).

Carpino, S., Rapisarda, T., Belvedere, G., Papademas, P., Neocleous, M., Scadt, I., Pasta, C. and Licitra, G., “Effect of dehydration by sun or by oven on volatiles and aroma compounds of trachanas”, *Dairy Science Technology*, 90 (6), 715-727, (2010).

Cemeroğlu, B. ve Acar, J., Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Ankara: Sanem Matbaası, (1986).

Cemeroğlu, B.S., Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Ankara: Bizim Grup Basımevi, (2013a).

Cemeroğlu, B., Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler Kitabı, Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 228, (2013b).

Chilungo, S., Muzhingi, T., Truong, V. D. and Allen, J. C., “Effect of processing and oil type on carotene bioaccessibility in traditional foods prepared with flour and puree from orange-fleshed sweetpotatoes”, *International Journal of Food Science and Technology*, 14106, 1-9, (2019).

Coppa, M., Martin, B., Pradel, P., Leotta, B., Priolo, A. and Vasta, V., “Effect of a hay-based diet or different upland grazing systems on milk volatile compounds”, *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 59 (9), 4947-4954, (2011).

Correa-Filho, L. C., Santos, D. I., Brito, L., Moldao-Martins, M. and Alves, V. D., “Storage stability and in vitro bioaccessibility of microencapsulated tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) pomace extract”, *Bioengineering*, 9 (7), 311, (2022).

Çalışkan Koç, G. and Özçıra, N., “Chemical composition, functional, powder, and sensory properties of tarhana enriched with wheat germ”, *Journal of Food Science and Technology*, 56 (12), 5204-5213, (2019).

Çopur, Ö. U., Göçmen, D., Tamer, C. E. ve Gürbüz, O. “Tarhana üretiminde farklı uygulamaların ürün kalitesine etkisi”, *Gıda*, 26 (5), 339-346, (2001).

Dadalı, G., “Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).

Dadalı, G., Kılıç Apar, D. and Özbek, B., “Microwave drying kinetics of okra”, *Drying Technology*, 25, 917-924, (2007).

Dağlıoğlu, O., Arıcı, M., Konyalı, M. and Gümüş, T., “Effects of tarhana fermentation and drying methods on the fate of *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus*”, *European Food Research and Technology*, 215 (6), 515-519, (2002).

Davulcu, B., “Haşhaş Tohumu Ezmesinin Reolojik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2012).

Değirmencioglu, N., Gurbuz, O., Herken, E. N. and Yildiz, A. Y., “The impact of drying techniques on phenolic compound, total phenolic content and antioxidant capacity of oat flour tarhana”, *Food Chemistry*, 194, 587-94, (2016).

Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and Degirmencioglu, A., “Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves”, *Biosystems Engineering*, 88, 325-335, (2004).

Demir, M. K., “Geleneksel tarhana üretiminde tam buğday unu kullanımı”, *Akademik Gıda*, 16 (2), 148-155, (2018).

Demiray, E., “Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β -karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2009).

Demiray, E. and Tulek, Y., “Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer”, *Heat Mass Transfer*, 48, 841-847, (2012).

Demiray, E., “Havuç ve Kırmızı Biberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2015).

Demiray, E. and Tulek, Y., “Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying”, *International Journal of Food Properties*, 20:1, 151-156, (2016).

Doğan, M. and Tekiner, İ. H., “Extracellular phytase activities of lactic acid bacteria in sourdough mix prepared from traditionally produced boza as starter culture”, *Food and Health*, 6 (2), 117-127, (2020).

Doymaz, İ., “Convective air drying characteristics of thin layer carrots”, *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364, (2004).

Doymaz, İ. and Pala, M., “Hot-air drying characteristics of red pepper”, *Journal of Food Engineering*, 55, 331-335, (2002).

Ekinci, R., “The effect of fermentation and drying on the water-soluble vitamin content of tarhana, a traditional Turkish cereal food”, *Food Chemistry*, 90, 127-132, (2005).

Erbaş, M., “Yaş Tarhananın Üretim ve Farklı Saklama Koşullarında Bileşimindeki Değişmeler”, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, (2003).

Erbaş, M., Certel, M. ve Uslu, M. K., “Yaş ve kuru tarhananın şeker içeriğine fermantasyon ve depolamanın etkisi”, *Gıda*, 29 (4), 299-305, (2004).

Erbaş, M., Certel, M. and Uslu, M. K., “Microbiological and chemical properties of tarhana during fermentation and storage as wet-sensorial properties of tarhana soup”, *LWT*, 38, 409-416, (2005).

Erkan, H., elik, S., Bilgi, B. and Kksel, H., “A new approach for the utilization of barley in food products: Barley tarhana”, *Food Chemistry*, 97 (1), 12-18, (2006).

Galdeano, M. C., Dos Santos Gomes, F., Chavez, D. W. H., Almeida, E. L., Moulin, L. C. and Tonon, R. V., “Lycopene-rich watermelon concentrate used as a natural food colorant: Stability during processing and storage”, *Food Research International*, 160, (2022).

Garzon, G. A., Riedl, K. M. and Schwart, S.J., “Determination of anthocyanins, total phenolic content, and antioxidant activity in Andes berry (*Rubus glaucus Benth*)”, *Journal of Food Science*, 74 (3), C227-C232, (2009).

Georgala, A., “The effect of different parameters on the ‘Tarhana’ food properties: a review of some literature data”, *Clinical Nutrition and Metabolism*, 1(1), 1-15, (2018).

Georgala, A., “The microbiology of Greek/Cyprus tarhanas and of Turkish tarhana: a review”, *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(2), 134-148, (2020).

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C. and Nikas, V.A., “Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp”, *Journal of Food Engineering*, 74, 37-46, (2006).

Göçmen, D., Gurbuz, O., Rouseff, R.L., Smoot, J.M. and Dağdelen, A. F., “Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma active compounds in sun-dried and vacuum-dried tarhana”, *European Food Research and Technology*, 218 (6), 573-578, (2004).

Gk, İ., “Functional potential of several turkish fermented traditional foods: Biotic properties, bioactive compounds, and health benefits”, *Food Reviews International*, 37, 1-26, (2021).

Gk, İ. and Vatandost, G., “Studying the consumer preferences and consumption attitudes of traditional tarhana”, *Journal of Food Health and Technology Innovations*, 4(9), 338-367, (2021).

Göncü, A., “Tarhana retiminde Farklı Mercimek Unları ve Boza Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2020).

Göncü, A. and Çelik, İ., “Investigation of some properties of gluten-free tarhanas produced by red, green and yellow lentil whole flour“, *Food Sci Technol.* 12(40), 574-81, (2020).

Guiné, R., Gonçalves, I., Correia, P., and Florença, S., “Valorization of Shiitake mushroom by-products through confection of pies and rissoles”, In International Conference on Mediterranean Diet and Gastronomy, pp. 75-75, (2018).

Gül, L. B. and Çon, A. H. “Technological properties of some lactic acid bacteria and interactions with *Saccharomyces cerevisiae* PFC121 in tarhana dough during fermentation”, *J. BioSci. Biotechnol.*, 8 (1), 7-16, (2019).

Gül, L. B., “Tahanadan İzole Edilen Bakteriyosin Üreticisi Laktik Asit Bakterilerinin Endüstriyel Özellikleri ve *Saccharomyces cerevisiae* ile Etkileşimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Samsun, (2013).

Gürbüz, O., Göçmen, D., Özmen, N. and Dağdelen, F., “Effects of yeast, fermentation time, and preservation methods on tarhana”, *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 40 (4), 263-275, (2010).

Güven, F., “Bonkalite Un Kullanılarak Tarhananın Besleyicilik ve Fonksiyonel Özelliklerinin Geliştirilmesi ve İstant Tarhana Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Karaman, (2023).

Hayta, M., Alpaslan, M. and Baysar, A., “Effect of drying methods on functional properties of tarhana: A wheat flour-yogurt mixture”, *Journal of Food Science*, 67 (2), 740-744, (2002).

Işık, F. and Yapar, A., “Effect of tomato seed supplementation on chemical and nutritional properties of tarhana”, *J Food Meas Caract.*, 11 (2), 667-674, (2017).

İbanoğlu, Ş. and Maskan, M. “Effect of cooking on the drying behaviour of Tarhana dough, a wheat flour-yoghurt mixture”, *Journal of Food Engineering*, 54 (2), 119-123, (2002).

İbanoğlu, Ş. and İbanoğlu, E., “Rheological properties of cooked tarhana, a cereal-based soup”, *Food Research International*, 32 (1), 29-33, (1999).

Jatau, S. H., Sokoto, M. A., Almustapha, M. N., Muhammad, C., Dabai, M. U. and Zubairu, A. Y., “Effect of heat on lycopene content of hot peppers (*Capsicum annum*) using various processing temperature”, *International Journal of Science and Engineering*, 14 (2), (2018).

Kabak, B. and Dobson, A. D., “An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 248-260, (2011).

Kanat, A., “İ.T.Ü. KOSGEB'de Geliştirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, (2001).

Kati, K., Kaisa, P. and Karin, A., “Influence and interactions of processing conditions and starter culture on formation of acids, volatile compounds, and amino acids in wheat sourdoughs”, *Cereal Chemistry*, 81 (5), 598-610, (2004).

Kocayığıt, F., “Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).

Kovacı, T., Dikmen, E. ve Şencan Şahin, A., “Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı” *Journal of Technical Sciences*, 2: 25-39, (2018).

Köten, M., Karahan, A.M., Karahan, L.E. ve Yazman, M.M., “Tarhananın besinsel önemi ve fonksiyonel bileşenlerce zenginleştirilmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4 (3): 120-129, (2019).

Kumral, A., “Nutritional, chemical and microbiological changes during fermentation of tarhana formulated with different flours”, *Chemistry Central Journal*, 2, 9-16, (2015).

Kurt, E. ve Levent, H., “Ultrason destekli çimlendirilmiş maş fasulyesi ununun tarhana kalitesine etkileri”, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27 (4), 531-544, (2023).

Kutlu, N. ve İşci, A., “Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi”, *Akademik Gıda*, 14 (1), 21-27, (2016).

Langston, F. M. A., Nash, G. R. and Bows, J. R., “The retention and bioavailability of phytochemicals in the manufacturing of baked snacks”, *Food Science and Nutrition*, 63:14, 2141-2177, (2023).

Lee, M. T. and Chen, B. H., “Stability of lycopene during heating and illumination in a model system”, *Food Chemistry*, 78 (4), 425-432, (2002).

Li, M. and Lee, T., “Effect of extrusion temperature on solubility and molecular weight distribution of wheat flour proteins”, *J. Agric. Food Chem.*, 44, 763-768, (1996).

Magala, M., Kohajdová, Z. and Karovičová, J., “Preparation of lactic acid bacteria fermented wheat-yoghurt mixtures”, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12 (3), 295-302, (2013).

Michalczyk, M. and Macura, R., “Effect of processing and storage on the antioxidant activity of frozen and pasteurized shadlow serviceberry (*Amelanchier canadensis*)”, *International Journal of Food Properties*, 13, 6, 1225-1233, (2010).

Mrkic, V, Cocci, E., Dalla Rosa, M. and Sacchetti, G., “Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1559-1566, (2006).

Nguyen, V.T., Vuong, Q., Bowyer, M. and Altena, I.A.N.V., “Effects of different drying methods on bioactive compound yield and antioxidant capacity of phyllanthus amarus”, *Drying Technology*, 33 (8), 1006-1017, (2015).

Oğurlu, M. N. and Tarakçı, Z., “Effect of hazelnut pulp addition on physical and chemical properties of tarhana”, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 26 (6), 1358-1367, (2023).

Özbalta, N. ve Güngör A., “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Altındağ Matbaacılık, İzmir, (1997).

Özçam, M., “Cips Tarhananın Tekstürel ve Mikrobiyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Manisa, (2012).

Özdemir, M. and Devres, Y.O., “The thin layer drying characteristic of hazelnuts during roasting”, *Journal of Food Engineering*, 42, 225-233, (1999).

Özdemir, N., Yazıcı, G., Şimşek, Ö., Özkal, S.G. and Çon, A.H., “The effect of lactic acid bacteria and yeast usage on aroma development during tarhana fermentation” *Food Bioscience*, 26, 30-37, (2018).

Özel, S., “Tarhana Hamuru Fermentasyonunun Mikrobiyal Taksonomik Yapısının ve Populasyon Dinamiğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2012).

Özer, A., “Bazı Tıbbi Bitkilerin Sıcak Havalı Kurutucuda Kurutulması ve Kurutma Sıcaklıklarının Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal*

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Tekirdağ, (2010).

Özmen, H. F., “Çölyak Hastaları İçin Baklagil Unları ile Zenginleştirilmiş Pirinç Tarhanası”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2011).

Padda, M. S. and Picha, D. H., “Quantification of phenolic acids and antioxidant activity in sweetpotato genotypes”, *Scientia Horticulturae*, 119 (1), 17-20, (2008).

Pathak, M. and Sagar, N. A., “Influence of thermal treatments, extraction methods, and storage conditions on lycopene content of foods”, *Journal of Food Quality*, 13, (2023).

Pu, H., Li, Z., Hui, J., and Raghavan, G.V., “Effect of relative humidity on microwave drying of carrot”, *Journal of Food Engineering*, 190, 167-175, (2016).

Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., Toledo, L., Enrione, J. and Galvez, L., “Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process”, *Journal of Food Engineering*, 198, 81-90, (2017).

Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., Gıda Endüstrisi Makinaları, Ankara: Önder Matbaa, (1990).

Salma, M. I., Rizk, I. R. S., Rasmy, N. M. and Mahdy, S. M., “Effect of substitution of wheat flour with oat and barley meal on the functional, rheological and sensory properties of tarhana”, *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27 (1), 445-465, (2019).

Santos-Sanchez, N.F., Valadez-Blanco, R., Gomez-Gomez, M.S., Perez-Herrera, A. and Salas-Coronado, R., “Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices”, *Food Science and Technology*, 46:298-304, (2012).

Shi, J., Dai, Y., Kakuda, Y., Mittal, G. and Xue, S. J., “Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato puree”, *Food Control*, 19 (5), 514-520, (2008).

Silva, V., Costa, J. J., Figueiredo, A. R., Nunes, J., Nunes, C., Ribeiro, T. I. and Pereira, B., “Study of three-stage intermittent drying of pears considering shrinkage and variable diffusion coefficient”, *Journal of Food Engineering*, 180, 77-86, (2016).

Singh, R. K., Nielsen, S. S. and Chambers, J. V., “Selected characteristics of extruded blends of milk protein raffinates or nonfat dry milk with corn flour”, *J. Food Process. Preserv.*, 15, 285-302, (1991).

Soğuksulu, S., and Külçü, D.B., “Determining some quality characteristics of vegan tarhana added with red beet (*Beta Vulgaris* Var. *Curenta*) Powder”, *Food/Feed Science and Technology*, 66: e23220844, (2023).

Soto, M., Dhuique-Mayer, C., Servent, A., Jimenez, N., Vaillant, F. and Achir, N., “A kinetic study of carotenoid degradation during storage of papaya chips obtained by vacuum frying with saturated and unsaturated oils”, *Food Research International*, 128, 108737, (2020).

Soysal, Y., “Microwave drying characteristics of parsley”, *Biosystems Engineering*, 89 (2), 167-173, (2004).

Şensoy, E. and Tarakçı, Z., “Effect of almond pulp addition on physical, chemical and functional properties of tarhana”, *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 20 (3), 620-630, (2023).

Tarakçı, Z., Doğan, I. S. and Koca, A., “A Traditional fermented Turkish soup, tarhana formulated with corn flour and whey”, *International Journal of Food Science & Technology*, 39, 455-458, (2004).

Toğrul, İ. T. and Pehlivan, D., “Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process”, *Journal of Food Engineering*, 65, 413-425, (2004).

Tunde-Akintunde, T., Afolabi, T. and Akintunde, B. “Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*)”, *Journal of Food Engineering*, 68 (4), 439-442, (2005).

Tüfekçi, S., “Ultrasen Ön İşleminin Bamya ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2014).

Tüfekçi, S. and Özkal, S. G., “Investigation of effect of ultrasound pretreatment on drying and rehydration characteristics and microstructure of apple slices”, *YYU Journal of Agricultural Science*, 30, 950-962, (2020).

Tümer, E., “Kısmen Kurutulmuş Halde Dondurulan Havuç ve Domatesin Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi ve Kinetik Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2022).

Uysal, M. B., “Limon ve Portakal Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu İle Kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2019).

Ünlü, M. U. “Havuç Lifi ve Şeker Pancarı Lifinin Tarhana Kalitesine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray, (2017).

Vega-Mercado H., Góngora-Nieto M.M. and Bárbosa-Canovas G.V., “Advances in Dehydration of Foods”, *Journal of Food Engineering*, 49, 271-289, (2001).

Voda, A., Homan, N., Witek, M., DuijsteR, A., Dalen, G., Sman, R., Nijse, J., Vliet, L., AS, H., V. and Duynhoven, J., “The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot”, *Food Research International*, 49 (2), 687-693, (2012).

Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P. and Oszmianski, J., “Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries”, *Food Bioprocess Technol*, 7, 829-841, (2014).

Yaralı, K. and İnanç, A. L., “Comparison of novel and conventional techniques for tarhana production”, *Akademik Gıda*, 21 (1), 27-37, (2023).

Yarış, A., “Turkish traditional fermented plant-products as functional food”, *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 6 (1), 42-51, (2022).

Yazar, J.G., “Ökse Otu Yapraklarını Kurutma ve Kuru Yaprakların Depolanmasında Bazı Biyoaktif Bileşenlerin Değişimlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2022).

Yazıcı, G., “Uşak Tarhanasının Organik Asit İçeriğinin Laktik Asit Bakteri Çeşitliliği İle İlişkisinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2016).

Yıldırım, Ç. ve Güzeler, N., “Tarhana Cipsi”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, TARGİD Özel sayı, 1-8, (2016).

Yılmaz, M.T., Sert, D. and Demir, M.K., “Rheological properties of tarhana soup enriched with whey concentrate as a function of concentration and temperature”, *Journal of Texture Studies*, 41(6), 863-879, (2010).

Yönel, G., Karagöz, Ş. and Güllü, M. “Production and varieties of tarhana”, *International West Asia Congress of Tourism Research*, Van, Turkey, 193-204, (2018).

Yörükoğlu, T., “Maraş Tarhanasının Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, (2012).

Yücel Şengün, İ., “Ege Bölgesinin Bazı Yörelerinde Yapılan Geleneksel Tarhana ve Bileşenlerinin Bakteri Florasının Tanımlanması” Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2006).

Zambak, Ö., “Ultrases Ön İşleminin Sığır Bonfile ve Tavuk Göğüs Etlerinin Kurutma Davranışları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2015).