

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TARHANANIN KURUTULMASINDA YENİLİKÇİ KURUTMA
UYGULAMALARI: ÜRÜN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Serenay AŞIK AYGÜN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TARHANANIN KURUTULMASINDA YENİLİKÇİ KURUTMA
UYGULAMALARI: ÜRÜN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Serenay AŞIK AYGÜN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARHANANIN KURUTULMASINDA YENİLİKÇİ KURUTMA
UYGULAMALARI: ÜRÜN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Serenay AŞIK AYGÜN

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FDK-2024-6705 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEMMUZ 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARHANANIN KURUTULMASINDA YENİLİKÇİ KURUTMA
UYGULAMALARI: ÜRÜN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Serenay AŞIK AYGÜN
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 25/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Doç. Dr. Muammer DEMİR

ÖZET

TARHANANIN KURUTULMASINDA YENİLİKÇİ KURUTMA UYGULAMALARI: ÜRÜN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Serenay AŞIK AYGÜN

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof Dr. Ayhan TOPUZ

Temmuz 2025; 100 sayfa

Tarhana özellikle ülkemizde bilinen ve yaygın olarak tüketilen sağlıklı ve geleneksel bir üründür. Başta Ege Bölgesi olmak üzere pek çok bölgede üretilen tarhana; temel bileşen olarak yoğurt, un, maya ile birlikte sebze püreleri ve/veya salça içermektedir. Bu içeriklerle hazırlanan hamur fermentasyon sonrasında kurutulup öğütülmekte ve uzun raf ömrü kazandırılmış, besleyici bir ürün elde edilmektedir. Türkiye'nin her yöresinde sevilerek tüketilen toz tarhana ürünleri endüstriyel olarak da üretilmekte ve kurutma işleminin gerçekleştirilmesi için sıcak havalı kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Yüksek enerji girdisiyle uzun sürede gerçekleştirilen bu kurutma işlemlerinde ürünün besin içeriği azalmakta ve kalitesi olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada, tarhana hamurunun kurutulması için kırımım pencereli kurutma (KPK), kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma (KDKPK), sıcak hava kurutma (SHK) ve geleneksel (sergen) kurutma (GK) yöntemleri kullanılmış ve elde edilen toz ürünlerin karakteristik fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Bu amaçla önce kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma işlem koşulları Design-Expert paket programında Yanıt Yüzey yönteminde Optimal Özel Tasarım Deneme deseni (Response Surface Methodology, Optimal Custom Design) ile optimize edilmiştir. Deneme deseninin bağımsız değişkenleri, serme kalınlığı (1-3 mm), ürün yüzey sıcaklığı (32-40 °C) ve sirkülasyon suyu sıcaklığı (60-90 °C)'dır. Bağımlı değişkenler olarak da minimum kuruma süresi, maksimum suda çözünür toplam vitamin (Askorbik asit ve B₃, B₆, B₉ vitaminleri) miktarı ve minimum esmerleşme indeksi seçilmiştir. Bu koşullarda gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda, 1.5 mm serme kalınlığı, 36 °C yüzey sıcaklığı ve 85 °C sirkülasyon suyu sıcaklığı optimum koşullar olarak belirlenmiştir.

Ayrıca KPK yönteminde, kızılötesi desteğinin etkinliğini de test edebilmek için KDKPK yönteminde belirlenen optimum koşullar (Serme kalınlığı, sirkülasyon suyu sıcaklığı) kullanılarak kızılötesi lamba desteği olmadan kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. SHK yöntemi için ise literatürde tarhana kurutmak için kullanılan veriler dikkate alınarak 3 mm serme kalınlığı, 1.86 m/sn hava hızı ve 80°C kurutma sıcaklığı kurutma parametreleri olarak belirlenmiştir. Geleneksel üretimi temsilen ise tarhana hamurları temiz bir beyaz pamuklu bez üzerine parça parça halinde serilerek kurutulmuştur. Tüm kurutma yöntemlerinden elde edilen tarhanaların karakteristik fizikokimyasal

ve mikrobiyolojik özellikleri 90 gün boyunca 5 periyotta karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen kurutmalarda tarhana hamurunun kuruma süresi, kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sistemi için 43 dakika, kırımım pencereli kurutma sistemi için 55 dakika iken, sıcak hava kurutma yönteminde 220 dakika ve geleneksel kurutma yöntemine 96 saat olarak tespit edilmiştir. Kurutma süreleri dikkate alındığında, kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yönteminin kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığı belirlenmiştir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, yenilikçi kurutma uygulamalarının (kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sistemi- kırımım pencereli kurutma sistemi) tarhananın kuruma süresini önemli ölçüde azalttığı, biyoaktif bileşenlerin bu kurutma yöntemlerinde daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yöntemi ile elde edilen ürünlerin toz akış özelliklerinin ve renk özelliklerinin diğer yöntemlerde üretilen tarhanalara göre daha iyi olduğu, diğer fiziksel analizlerde de bu yöntemin üstünlükleri bulunduğu tespit edilmiştir. En yüksek protein miktarı, serbest aminoasit miktarı, Askorbik asit ve niasin miktarı, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve karotenoid içeriği kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yönteminde elde edilen tarhanalarda belirlenmiştir. Geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen tarhanalarda daha fazla sayıda uçucu bileşen tespit edilmesine rağmen yenilikçi yöntemlerinde daha az sayıda tespit edilen aynı bileşenlerin pik alanları daha yüksek belirlenmiştir. Ayrıca geleneksel kurutma yönteminde üretilen tarhanaların mikrobiyal aktivitesinin daha yüksek olduğu, yenilikçi yöntemlerde özellikle kızılötesi desteği ile gerçekleştirilen kurutmalarda mikrobiyal aktivitenin sınırlandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak tarhananın kurutulması için seçilen yenilikçi kurutma yöntemlerinin ürün kalitesi ve stabilitesi açısından daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu uygun bir alternatif kurutma yöntemi olduğu değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Kırımım pencereli kurutma, Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma, Tarhana

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Doç. Dr. Muammer DEMİR

ABSTRACT

INNOVATIVE DRYING APPLICATIONS IN DRYING TARHANA: IMPACT ON PRODUCT PROPERTIES

Serenay AŞIK AYGÜN

PhD Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

July 2025; 100 pages

Tarhana is a healthy and traditional product known and widely consumed, especially in our country. Produced in many regions, especially in the Aegean Region, tarhana contains yogurt, flour and vegetable purees and/or tomato paste as the basic ingredients. This dough, prepared with various ingredients, is dried and ground after fermentation to produce a nutritious product with a long shelf life. Powdered tarhana products, which are popular in every region of Turkey, are also produced industrially and hot air-drying systems are used for drying in the facilities. In these drying processes, which are carried out in a long time with high energy input and require intensive grinding process afterwards, the nutritional content of the product decreases and the quality of the product is negatively affected.

In this study, refractance window drying, infrared assisted refractance window drying, hot air drying and traditional drying methods were used for drying tarhana dough and various physicochemical and microbiological properties of the powder products were comparatively determined. For this purpose, infrared assisted refractance window drying process conditions were first optimized by response surface method. The independent variables of the experimental design were laying thickness (1-3 mm), product surface temperature (32-40 °C) and circulation water temperature (60-90 °C). Minimum drying time, maximum amount of total water soluble vitamins (ascorbic acid and vitamins B3, B6, B9) and minimum browning index were selected as dependent variables. As a result of the optimization studies carried out under these conditions, 1.5 mm laying thickness, 36 °C surface temperature and 85 °C circulation water temperature were determined as optimum conditions.

In order to evaluate the effectiveness of infrared (IR) support in the KPK drying method, additional drying trials were conducted without the use of infrared lamps, using the optimal conditions (spreading thickness and circulation water temperature) previously established for the KDKPK method. For the SHK method, drying parameters were determined based on data reported in the literature for tarhana drying, and were set as follows: 3 mm spreading thickness, 1.86 m/s air velocity, and 80 °C drying temperature. To represent traditional production, tarhana dough was spread in small portions onto a clean white cotton cloth and allowed to dry under ambient conditions. The tarhana samples obtained from all drying methods were analyzed comparatively in terms of

their characteristic physicochemical and microbiological properties over a 90-day storage period, evaluated at five distinct time points.

The drying time of tarhana dough was calculated as 43 minutes for infrared assisted refractance window drying system, 55 minutes for refractance window drying system, 220 minutes for hot air-drying method and approximately 96 hours for traditional drying method. Considering the drying times, it was determined that the infrared assisted diffraction window drying method significantly shortened the drying time.

When the results obtained within the scope of the thesis were evaluated in general, it was determined that innovative drying applications (infrared assisted refractance window drying system - refractance window drying system) significantly reduced the drying time of tarhana and bioactive components were better preserved in these drying methods. It was determined that the powder flow properties and color properties of the products obtained by infrared assisted refractance window drying method were better than the tarhanas produced by other methods, and this method was superior in other physical analyzes. The highest protein content, free amino acid content, ascorbic acid and niacin content, total phenolic matter, antioxidant activity and carotenoid content were determined in tarhanas obtained by refractance assisted diffraction window drying method. Although more volatile components were detected in tarhanas obtained by traditional drying method, it was determined that the components were better preserved in innovative methods. It was also determined that the microbial activity of tarhanas produced in the traditional drying method was higher, while the infrared support in the innovative methods limited the microbial activity. As a result, it was evaluated that using these innovative methods for drying tarhana is a suitable alternative drying method in terms of product quality.

KEYWORDS: Infrared assisted refractance window drying system, Refractance window drying system, Tarhana

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Muharrem CERTEL

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER

Prof. Dr. Erkan KARACABEY

Assoc. Prof. Dr. Muammer DEMİR

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında sıklıkla tüketilen geleneksel bir ürün olan tarhananın, farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması ve fonksiyonel bileşenler açısından en az kaybın olduğu kurutma yönteminin seçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tarhana kurutulması için kırım pencereci kurutma ve kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma yöntemlerinin geleneksel kurutuma yöntemlerine göre oldukça iyi bir alternatif oluşu değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmaların ve bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde;

- Akademik hayatımda ve bu çalışmanın tüm aşamalarında, tecrübeleri ve kıymetli fikirleriyle bana yol gösteren, tüm bunların yanı sıra etik ve değerlerine bağlı iyi bir bilim insanı olarak yetişmemi sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),
- Fikirleri ve katkıları ile beni daima yönlendiren, tez izleme süreçlerine katkı koyan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Muharrem CERTEL (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve Sayın Prof. Dr. Erkan KARACABEY'e (Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),
- Tezin değerlendirilmesi aşamalarında öneri ve katkılarıyla teze katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER (Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve Sayın Doç. Dr. Muammer Demir'e (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi)
- Doktora eğitimim boyunca bana burs desteği (2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı) sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu'na (TÜBİTAK) ve Türkiye Cumhuriyeti Yükseköğretim Kurulu'nun 100/2000 doktora burs programına,
- Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, Gıda Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve araştırmamı maddi olarak destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ve çalışanlarına,
- Laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan Sayın Prof. Dr. Mustafa ERBAŞ (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Sayın Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKÇETİN (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve Sayın Doç. Dr. Firuze ERGİN ZEREN'e (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), mikrobiyolojik analizlerde yardımlarını esirgemeyen Sayın Gıda Yüksek Mühendisi Esin ÖZEL'e, Arş. Gör. Hatice Kübra KIZILAY'a,
- Bu uzun sürecin başından beri akademik hayatımı birlikte yürüttüğüm, bana her koşulda destek ve motivasyonunu eksik etmeyen hem dostum hem de ekip arkadaşım Gıda Yüksek Mühendisi Sayın Tuğçe ATBAKAN KALKAN'a,
- Akademik hayatım boyunca aklıma her gelen soruda bana her zaman destek sağlayan Sayın Öğr. Gör. Dr. Emrah EROĞLU'na, tez ve laboratuvar çalışmalarım süresinde desteklerini esirgemeyen Sayın Doç Dr. Mehmet TORUN (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Sayın Doç. Dr. Sultan ARSLAN-TONTUL (Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi), Sayın Doç. Dr. İsmail TONTUL (Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Sayın Doç. Dr. Ferhan BALCI TORUN'a (Akdeniz Üniversitesi Turizm Fakültesi)

- Tez kapsamında yürütülen laboratuvar çalışmalarında bana yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım, Sayın Gıda Yüksek Mühendisi Keziban Kübra Kızılırmak'a, Sayın Gıda Yüksek Mühendisi Gülderen COŞGUN'a, Sayın Gıda Yüksek Mühendisi Nida PINARBAŞI'na, Sayın Öğr. Gör. Yusuf YILMAZ'a, oda arkadaşım Arş. Gör. Selin BAŞMAK'a ve geriye kalan tüm ekip ve laboratuvar arkadaşlarıma,
- Hayatımın başından beri beni her koşulda destekleyen, bu aşamalara gelmemde en büyük emeğe sahip olan canımdan öte annem Gülsüm AŞIK'a, kardeşim Seray AŞIK'a, dedem Kemal YÖNDEMLİ'ye
- Hayatıma girdiğinden beri yolumu aydınlatan, varlığı ile bana güç veren her koşulda yanımda olan sevgili eşim İsmail AYGÜN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.
- Ve son olarak her zaman kalbimde ve yanımda hissettiğim, beni uzaklardan izlediklerine inandığım, yanımda olsalar bu başarımdan en az benim kadar gurur duyacak merhum babam Ali Rıza AŞIK'a, tez çalışmalarım sırasında ani bir şekilde kaybettiğim ikinci babam amcam merhum Eyup AŞIK'a, ve halam merhume Leyla AŞIK'a özlem ve dualarımı gönderiyorum...

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Tarhananın kurutulmasında yenilikçi kurutma uygulamaları: ürün özellikleri üzerine etkisi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

25/07/2025

Serenay AŞIK AYGÜN



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Tarhana	3
2.2. Kurutma	7
2.2.1. Sıcak hava kurutma	8
2.2.2. Kırınım pencereli kurutma	9
2.2.3. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma	13
2.3. Tarhananın Kurutulması ile İlgili Yapılan Çalışmalar	14
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Materyal	16
3.2. Metot	16
3.2.1. Tarhana hamurunun hazırlanması	16
3.2.2. Tarhana hamurunun kurutulması	16
3.2.2.1. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma	16
3.2.2.2. Kırınım pencereli kurutma	18
3.2.2.3. Sıcak hava kurutma	19
3.2.2.4. Geleneksel kurutma	19
3.2.3. Tarhana tozlarının depolanması ve gerçekleştirilen analizler	20
3.3. Analizler	20
3.3.1. Nem ve su aktivitesi	20
3.3.2. Renk analizi	20
3.3.3. Esmerleşme indeksi	20
3.3.4. pH değeri ve asitlik tayini	21
3.3.5. Çözünürlük	21
3.3.6. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk	21

3.3.7. Akış özellikleri	22
3.3.8. Higroskopisite	22
3.3.9. Su ve yağ tutma kapasitesi	22
3.3.10. Partikül boyutu	22
3.3.11. Protein miktarı tayini.....	23
3.3.12. Aminoasit profili	23
3.3.13. Toplam fenolik bileşen miktarı	23
3.3.14. Antioksidan aktivite	24
3.3.15. Toplam karotenoid miktarı.....	25
3.3.16. 5-Hidroksimetilfurfural analizi	25
3.3.17. Suda çözünür vitamin tayini.....	26
3.3.18. Uçucu bileşen analizi	28
3.3.19. Mikrobiyolojik analizler.....	29
3.3.20. Duyusal analiz	29
3.3.21. İstatistiksel analizler	29
3.3.22. Temel bileşen analizi.....	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Kızılötesi Destekli Kırınım Pencereli Kurutma Optimizasyonu.....	31
4.1.1. Kuruma süresinin modelin yanıtı olarak incelenmesi	32
4.1.2. Esmerleşme indeksinin modelin yanıtı olarak incelenmesi	34
4.1.3. Askorbik asit miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi.....	35
4.1.4. B grubu vitamin miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi.....	38
4.1.5. Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma sisteminde optimum kurutma koşulları	39
4.2. Tarhana Hamurunun Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri.....	41
4.3. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Tarhana Tozlarının Kuruma Süreleri	43
4.4. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Tarhana Tozlarının Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri	44
4.4.1. Nem içeriği ve su aktivitesi	45
4.4.2. Renk özellikleri	46
4.4.3. Esmerleşme indeksi.....	48
4.4.4. pH ve asitlik tayini	49
4.4.5. Çözünürlük	50
4.4.6. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk	51

4.4.7. Akış özellikleri	53
4.4.8. Higroskopisite	54
4.4.9. Su ve yağ tutma kapasitesi	55
4.4.10. Partikül boyutu	56
4.4.11. Protein miktarı.....	58
4.4.12. Aminoasit profili	59
4.4.13. Toplam fenolik madde miktarı	62
4.4.14. Antioksidan aktivite	64
4.4.15. Toplam karotenoid miktarı	65
4.4.16. 5-Hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı	66
4.4.17. Suda çözünür vitamin miktarı	68
4.4.18. Uçucu bileşen kompozisyonu.....	71
4.4.19. Mikrobiyolojik analiz.....	81
4.4.20. Duyusal Analiz.....	82
5. SONUÇLAR	85
6. KAYNAKLAR.....	87
7. EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
R^2_{dzt}	: Düzeltilmiş regresyon katsayısı
a_w	: Su aktivitesi
$D_{[4,3]}$	: Hacim ağırlıklı ortalama yarıçap (μm)
d_{10}	: Partiküllerin %10'unun belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
d_{50}	: Partiküllerin %50'sinin belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
d_{90}	: Partiküllerin %90'ının belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
dk.	: Dakika
g	: Gram
g	: Santrifüj kuvveti
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
p	: p değeri
R^2_{tah}	: Tahmini regresyon katsayısı
R^2	: Regresyon katsayısı
sa.	: Saat
sn.	: Saniye
T	: Sıcaklık
μm	: Mikrometre
ρ	: Yoğunluk
ρ_b	: Yığın yoğunluğu (g/cm^3)
ρ_t	: Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm^3)

Kısaltmalar

C.V. %	: Varyasyon katsayısı (Coefficient of variation)
CI	: Carr indeks değeri
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
GCMS	: Gaz kromatografisi kütle spektrometresi
GK	: Geleneksel kurutma
HMF	: Hidroksimetil furfural
HPLC	:Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
HR	: Hausner oranı
KDKPK	: Kızılötesi destekli kırınım pencereli kurutma
KM	: Kurumadde
KPK	: Kırınım pencereli kurutma
PRESS	: Tahmini artık kareler toplamı (Predicted Residual Sum of Squares)
SHK	: Sıcak hava kurutma
TEAA	: Troloks eşdeğeri antioksidan aktivite
TMAB	: Toplam mezofilik aerobik bakteri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. KPK sisteminin ısı transfer mekanizması.....	10
Şekil 2.2. KPK sisteminin temel mekanizmaları	10
Şekil 2.3. KD-KPK sisteminin temel mekanizmaları	13
Şekil 3.1. KDKPK sisteminde tarhana kurutulması	18
Şekil 3.2. KPK sisteminde tarhana kurutulması	18
Şekil 3.3. Sıcak hava kurutma yöntemi için camlara serilen tarhana hamuru ve son toz ürün.....	19
Şekil 3.4. Geleneksel kurutma yöntemi kurutulan tarhana hamurları	19
Şekil 3.5. Gallik asit standart kurvesi	24
Şekil 3.6. Troloks standart kurvesi	24
Şekil 3.7. HMF standart kurvesi	26
Şekil 3.8. B ₃ standart kurvesi.....	27
Şekil 3.9. B ₆ standart kurvesi.....	27
Şekil 3.10. B ₉ standart kurvesi.....	27
Şekil 3.11. Askorbik asit standart kurvesi	28
Şekil 4.1. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresi üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri	34
Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin Askorbik asit miktarı üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri	37
Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin B grubu vitamin miktarı üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri.....	39
Şekil 4.4. KDKPK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü.....	44
Şekil 4.5. KPK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü.....	44
Şekil 4.6. SHK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü.....	45
Şekil 4.7. SHK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü.....	45
Şekil 4.8. Toz örneklerin depolama başlangıcındaki partikül boyut değerleri	58
Şekil 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı HMF (mg/100g km) değerleri.....	67
Şekil 4.10. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı Askorbik asit (mg/100g km) değerleri.....	69
Şekil 4.11. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B ₃ vitamini (mg/100g km) değerleri	69

Şekil 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B ₆ vitamini (mg/100g km) değerleri	70
Şekil 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B ₉ vitamini (mg/100g km) değerleri	70
Şekil 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhanaların uçucu bileşenlerine ait temel bileşen analizi	80
Şekil 4.15. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhanaların uçucu bileşenlerine ait hiyerarşik kümeleme analizi sonuçları	81
Şekil 4.16. Tarhana tozlarının depolama başlangıcındaki (0.gün) duyusal analiz sonuçları	83
Şekil 4.17. Tarhana tozlarının depolama sonunda (90.gün) duyusal analiz sonuçları	84



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Farklı kurutma yöntemlerinin enerji gereksinimi, buharlaştırma kapasitesi ve termal verimlilik açısından karşılaştırılması	11
Çizelge 3.1 Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sisteminde kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deneme deseni	17
Çizelge 3.2: HMF analizi için HPLC koşulları	25
Çizelge 3.3. GC-MS analiz şartları	28
Çizelge 4.1. Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma koşullarının optimizasyon deneme deseni ve bağımsız değişken sonuçları	31
Çizelge 4.2. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresi üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	33
Çizelge 4.3. Bağımsız değişkenlerin esmerleşme indeksi üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	35
Çizelge 4.4. Bağımsız değişkenlerin Askorbik asit miktarı üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	36
Çizelge 4.5. Bağımsız değişkenlerin B grubu vitaminlerin miktarı üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler	38
Çizelge 4.6. Optimum kurutma koşulları.....	40
Çizelge 4.7. Optimum kurutma koşullarda üretilen ürünlerin teorik ve deneysel sonuçları.....	40
Çizelge 4.8. Tarhana hamurunun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri	41
Çizelge 4.9. Tarhana hamurunun fermentasyon süresince pH ve asitlik derecesi değerleri.....	41
Çizelge 4.10. Tarhana hamurunun uçucu bileşen kompozisyonu ($\times 10^5$ alan).....	42
Çizelge 4.11. Tarhana hamurunun serbest aminoasit kompozisyonu (mg/100 g km)	43
Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemlerinde kurutulan tarhanaların kuruma süreleri.....	43
Çizelge 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı nem içeriği ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	46
Çizelge 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı L^* , a^* , b^* , Hue açısı ve chroma değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	47

Çizelge 4.15. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	49
Çizelge 4.16. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı pH ve asitlik derecesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	49
Çizelge 4.17. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı çözünürlük (%) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	51
Çizelge 4.18. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m^3) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	52
Çizelge 4.19. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı Carr indeks ve Hausner oranı değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.20. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı higroskopisite (g nem/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	55
Çizelge 4.21. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı su ve yağ tutma kapasitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	56
Çizelge 4.22. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı partikül boyutu değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	57
Çizelge 4.23. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı protein miktarı (% km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	59
Çizelge 4.24. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam serbest aminoasit miktarı (mg /100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	61
Çizelge 4.25. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	63
Çizelge 4.26. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı antioksidan aktivite (mg TEAA/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	65
Çizelge 4.27. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam karotenoid miktarı (mg /100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	66
Çizelge 4.28. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı HMF miktarı (mg /kg km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	67

Çizelge 4.29. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı askorbik asit, B ₃ , B ₆ ve B ₉ vitamin miktarı (mg /kg km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	68
Çizelge 4.30. KDKPK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan).....	72
Çizelge 4.31. KPK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan).....	74
Çizelge 4.32. SHK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan).....	75
Çizelge 4.33. GK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan).....	77
Çizelge 4.34. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı maya-küf ve TMAB değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	82
Çizelge 4.35. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama başlangıcı ve sonundaki duyusal analiz değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	83

1. GİRİŞ

Tarhana, geleneksel olarak Orta Doğu ve Balkanlar'da yaygın olarak tüketilen, fermantasyon yoluyla elde edilen bir tahıl-yoğurt bazlı geleneksel bir ürün olup, besleyici değeri yüksek, fonksiyonel özellikler gösteren fermente bir gıdadır. Genellikle buğday unu, yoğurt, çeşitli sebzeler (domates, biber, soğan vb.) ve baharatların karışımının laktik asit fermentasyonuna bırakılmasıyla üretilmektedir. Fermantasyon süreci hem mikrobiyal stabiliteyi artırmakta hem de besin öğelerinin biyoyararlılığını iyileştirmektedir. Tarhana, protein, vitamin ve mineral içeriği bakımından zengin olup, özellikle laktik asit bakterileri ve maya türlerinin oluşturduğu mikrobiyota sayesinde de besleyici bir gıdadır. Tarhana üretimi, hamurun hazırlanması, fermentasyonu ve kurutulması aşamalarını içermektedir. Kurutularak uzun raf ömrü kazandırılan tarhana hem kırsal hem de endüstriyel ölçekte üretilebilmekte ve çorba formunda yaygın olarak tüketilmektedir. Türk Standartları Enstitüsü'nün 2282 numaralı standardında tarhana; buğday unu, buğday kırması, ırmik veya bunların karışımı ile yoğurt, yeşil veya kırmızıbiber, tuz, kuru soğan, domates, tat ve koku verici, sağlığa zararsız bitkisel maddelerin karıştırılıp fermente edildikten sonra kurutulması, öğütülmesi ve elenmesiyle elde edilen bir gıda maddesi olarak tanımlanmıştır.

Kurutma, gıdalardaki suyun eş zamanlı ısı ve kütle transferi yoluyla uzaklaştırılması işlemidir. Temel bir gıda muhafaza yöntemi olan kurutma, insanlık tarihi boyunca ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve bozulmalarını önleyerek uzun süreli saklama olanakları sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır. Kurutma işlemi, mikroorganizma gelişimini engellemenin yanı sıra, enzimatik ve kimyasal bozulma reaksiyonlarını da yavaşlatarak gıdanın kalite özelliklerinin korunmasına katkıda bulunur. Günümüzde geleneksel yöntemlerin yanı sıra modern kurutma teknolojileri de geliştirilmiş olup, bu teknikler ürünün besin değeri, duysal özellikleri ve fonksiyonel bileşenlerinin korunması açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

İnsanlığın ilk zamanlarından beri bir gıda muhafaza metodu olarak uygulanan kurutma işlemi, en başlarda güneşte doğal konveksiyonla kurutma şeklinde yapılmaktaydı. Ancak bu yöntemin uzun kuruma süresi, biyoaktif bileşen kayıplarının fazla olması ve mikroorganizma yükünün artması gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Gelişen teknolojiler, insani beklentiler ve kaliteli son ürün üretme isteğinden dolayı geçmişten günümüze çeşitli yenilikçi kurutma yöntemleri geliştirilmiştir.

Kırınım pencereci kurutma yöntemi, ısı enerjisinin, kızılötesi radyasyonu geçirebilen özel bir bant materyali (örneğin Mylar film) altından dolaştırılan belirli sıcaklıkta ki sıcak su aracılığıyla sağlandığı yenilikçi bir kurutma teknolojisidir. Bu sistemde, sıcak suyun yaydığı kızılötesi radyasyonun bant üzerine serilmiş nemli gıdaya ulaşmasını sağlayan optiksel olarak yarı geçirgen bir "kırınım penceresi" bulunduğu öne sürülmektedir. Kurutma sürecinin başlangıcında, bant üzerinden geçen radyasyon enerjisi gıdaya doğrudan iletilerek ürünün yüzeyinden nemin uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Süreç ilerledikçe, nemin uzaklaşmasına bağlı olarak optik pencerenin geçirgenliği azalır ve bu aşamadan sonra ısı transferi esas olarak iletim (kondüksiyon) yoluyla devam etmektedir. Böylece ürünün nemi etkin bir şekilde uzaklaştırılırken besin kalitesi üzerinde minimal olumsuz etki oluşması sağlanmaktadır.

Kızılötesi destekli kırımın pencereleli kurutma yöntemi ise, kırımın pencereleli kurutma sistemine kızılötesi lamba desteğinin entegre edilmiştir. Bu geliştirilmiş kurutma yönteminde, kızılötesi kaynağından yayılan elektromanyetik enerjinin etkisiyle gıda içerisindeki nemin daha hızlı ve verimli bir şekilde uzaklaştırılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalar, kızılötesi ışıının kırımın pencereleli kurutma yöntemi ile birlikte kullanılması durumunda, ürün yüzeyinde ve iç kısımlarında daha homojen bir ısıtma ve kurutma sağlandığını, bu sayede toplam kuruma süresinin belirgin şekilde azaldığını ve elde edilen nihai ürünlerin yüksek kalite özellikleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu kombinasyon, özellikle ısıya duyarlı bileşenlerin korunması açısından önemli avantajlar sunmakta olup, enerji verimliliği ve ürün kalitesi bakımından üstünlükleri olan yenilikçi bir kurutma teknolojisi olarak değerlendirilmektedir.

Tarhana üretiminin önemli işlem basamaklarından birisi olan kurutmanın daha kısa sürede gerçekleştirilmesiyle ürünün enerji girdilerinin düşürülmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması son yılların önemli AR-GE konularından biri haline gelmiştir. Bu açıdan tarhananın kısa sürede düşük enerji girdisiyle daha nitelikli bir şekilde kurutulması ve tüketici beğenisinin yüksek olması önem arz etmekte olup, bu tez kapsamında bu hedefe hizmet edebilecek yenilikçi kurutma teknolojilerinin geleneksel tarhana üretimine entegre edilerek uygulanması planlanmıştır.

Bu amaçla gerçekleştirilen tez çalışmasında, yaygın kullanılan formülasyonla geleneksel olarak hazırlanan tarhana hamuru kırımın pencereleli kurutma, kızılötesi destekli kırımın pencereleli kurutma, sıcak hava kurutma ve geleneksel kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ve elde edilen toz ürünlerin karakteristik fizikokimyasal ve mikrobiyolojik analizleri 90 gün boyunca belirli periyotlarda karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Tarhana

Geçmişten günümüze kadar Asya, Afrika, Ortadoğu ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde yoğurt-tahıl karışımı fermente ürünler insanların beslenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bu fermente ürünlerin içeriği bölgeden bölgeye kısmen değişmekle birlikte yoğurt ve tahıl genellikle ana bileşen olarak kalmaktadır. Ülkemizde de yoğurt ve tahılın fermente edilmesi ile üretilen en önemli gıdalardan birisi yüksek besin içeriği ile öne çıkan tarhanadır. Tarhana ülkemizde genellikle çorba olarak sıcak bir şekilde tüketilmektedir ancak farkı yörelerde tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak yaş halde veya plaka halinde kurutularak da tüketilebilmektedir. Ülkemizde yaygın olarak üretilen tarhana benzeri ürünler Yunanistan'da trahana, Irak'ta kushuk, Mısır'da kishk, Macaristan ve Finlandiya'da tahonya/talkuna olarak bilinmektedir (İbanoğlu vd. 1999, Erbaş 2003, Certel vd. 2007).

Türk Standartları Enstitüsü'nün 2282 numaralı standardında tarhana; buğday unu, buğday kırması, irmik veya bunların karışımı ile yoğurt, yeşil veya kırmızıbiber, tuz, kuru soğan, domates, tat ve koku verici, sağlığa zararsız bitkisel maddelerin karıştırılıp fermente edildikten sonra kurutulması, öğütülmesi ve elenmesiyle elde edilen bir gıda maddesi olarak tanımlanmıştır. Tarhananın yine aynı standartta yer alan duysal özellikleri ise şu şekildedir: sarıdan kırmızıya değişen renklerde olmalı, kendine özgü koku, tat ve görünüşte olmalı; acılaşmış, kokuşmuş, küflenmiş olmamalı, yabancı tat ve koku içermemelidir. Bu standarda göre tarhananın protein miktarı kuru maddede en az % 12, rutubet miktarı en çok % 10, tuz miktarı kuru maddede en çok %10, % 67 lik etil alcole geçen asitlik derecesi en az 15, en çok 40, külün % 10'luk hidroklorik asitle çözülmeyen kısmı tuz hariç en çok % 0.2 olmalıdır (TSE 2004).

TSE 2282 standardına göre, 'un tarhanası', 'göce tarhanası', 'irmik tarhanası' ve 'karışık tarhana' olmak üzere dört adet tarhana türü vardır. Bu tarhana türlerinin isimleri üretiminde buğday unu, kırması ve irmiğin kullanılma durumuna göre belirlenmektedir. Örneğin, irmik tarhanası üretiminde un yerine irmik kullanılmakta olup karışık tarhana üretiminde ise buğday unu, buğday kırması ve irmikten en az ikisi kullanılabilir (Ertop ve Atasoy 2019). Tarhana üretiminin standart bir üretim şekli bulunmamaktadır. Ana bileşenlere eklenen ürünler ve üretim şekli hemen hemen her ülke ve bölgede gelenek, görenek ve beslenme alışkanlıklarına göre farklılık göstermektedir. Tarhana formülasyonlarının bu şekilde farklılık göstermesi, fermentasyonun farklı sıcaklık ve sürelerde ilerlemesi ve kullanılan kurutma yöntemlerinin farklılığı gibi sebeplerden dolayı farklı tat, koku ve bileşimlerde tarhanalar elde edilmektedir. Bu sebeplerle elde edilen bu ürünler farklı tarhana isimleri ile anılmaktadır. Ege, Trakya, Gediz, Sivas, Maraş, Beyşehir, Uşak, Kastamonu yaş, göce, göçmen, kiren (kızılçık), hamur, et, süt, üzüm tarhanaları ve top, ak, kıymalı, şalgamlı ve pancarlı tarhanalar Türkiye'de üretilen ve tüketilen farklı tarhana çeşitleridir. Ülkemizde Bolu Kızılçık Tarhanası, Kütahya Kızılçık Tarhanası, Muğla Göce Tarhanası, Maraş Tarhanası ve Uşak Tarhanası coğrafi menş tescilli tarhanalardandır (Coşkun 2014, Varol 2021).

Ülkemizde genellikle 2 tip tarhana üretimi ve tüketimi yaygındır. Bunlardan ilki buğday ve yoğurdun fermente edilmesi ve plaka şeklinde kurutulması ile elde edilen Maraş tipi tarhana, diğeri ise un tarhanası olarak da bilinen un ve yoğurdun içine çeşitli

sebze pulpları ve baharatların ilave edilip fermentasyon sonrası kurutulduğu Ege tipi bir tarhanadır (Coşkun 2014). Ülkemizin farklı bölgelerinde farklı formülasyonlarla üretilen tarhanalar farklı besinsel içeriklere sahip olabilmektedir. Genel bir ifade ile; Tamer vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ülkemizin farklı bölgelerinden formülasyonları farklı olan 21 adet tarhana örneğinin nem, kül, tuz, protein, ham yağ, asitlik derecesi ve indirgen şeker miktarları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nem içeriklerinin %9.35 ve 66.4, kül miktarlarının %1.36 ve 9.40, tuz miktarlarının %0.62 ve 9.01, protein içeriklerinin %6.77 ve 28.55, ham yağ miktarlarının %0.43 ve 15.78, asitlik derecelerinin %1.7 ve 40.7, indirgen şeker miktarının ise %0.22 ve 1.85 arasında değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir. Bu farklılığın kullanılan hammaddelerden ve miktarlarından olduğu bilinmektedir.

Ülkemizin en önemli geleneksel fermente ürünlerinden biri olan tarhana, yüksek besin değerine sahip bir gıdadır. Tarhana; protein, vitamin, mineral ve organik asitler bakımından zengin olup kolay sindirilebildiği için insan beslenmesi ve sağlığı açısından önemli bir yere sahiptir. Tarhanada temel bileşen olarak yer alan buğday unu ve yoğurt esansiyel aminoasitler yönünden birbirlerini büyük ölçüde tamamlamakta ve bu sebeple de tarhana yüksek kaliteli bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Formülasyona eklenen diğer besin öğeleri ile (sebze püreleri, baharatlar vb.) vitamin ve mineraler açısından zengin ve beslenme açısından büyük öneme sahiptir. Ayrıca içerisine giren bazı hammaddelerin raf ömrü kısa olduğu için tüketimleri de sınırlıdır. Bu ürünler tarhanaya işlenerek uzun süre boyunca saklanabilmektedir. Örneğin, öğütülmemiş buğday yıl boyunca muhafaza edilebilse de un olarak öğütüldüğünde raf ömrü kısıtlanır. Diğer yandan yoğurt ve sebze pulplarının raf ömrü zaten uzun değildir ve bozulma eğilimi gösterir. Bu temel gıda unsurlarını bir araya getirilmesiyle elde edilen tarhana hem uzun süre dayanabilir hem de hamurun fermentasyona uğratılması nedeniyle katma değer kazandırılmış (daha kolay sindirilebilir ve lezzeti zenginleştirilmiş) olmaktadır. Ayrıca, hamur oluşturmada miktarca önemli yer tutan bu bitkisel kökenli materyallerin (domates ve biber pulpları) kullanıldığı Ege tipi tarhana hamurlarında bu pulplar hem su kaynağıdır hem de hamurda fermentasyonun, ekşi maya hamurunda olduğu gibi, laktik asit bakterilerince zengin şekilde gerçekleşmesine vesile olan bir ortamı sağlamaktadır (organik asit içeriği ile pH düşürücü etki ve mikroflora kökenli laktik asit bakterilerinin ortama katılması ile). Bunun da ötesinde, sebze pulplarında bulunan ve pek çoğunun biyoaktif özellikler taşıdığı bilinen pigmentler de Ege tipi un tarhanalarının karakteristik rengini sağlayan bileşenlerdir. Bu bileşenlerin işlem sürecinde korunması ve depolama süresince degradasyona uğramaması, bu türden tarhanaların besinsel ve duyuşal özelliklerinin korunması açısından kritik önem taşımaktadır (Karahan vd. 2019).

Tarhana üretimi genel olarak hamurun hazırlanması, fermentasyon işlemi ve kurutma-öğütme işlemlerini kapsamaktadır. Çeşitli hammaddelerin eklenmesiyle elde edilen tarhana hamuru, genellikle 1-7 gün süreyle fermentasyona tabi tutulmaktadır (Certel vd. 2007). Tescillenmiş bir ürün olan Uşak tarhanası için belirtilen fermentasyon süresi 21 gündür (Şimşek vd. 2012). Endüstriyel üretimde fermentasyon işlemini kısaltmak için formülasyona maya ilavesi yapılmaktadır. Ev tipi üretimlerde genellikle maya ilavesi bulunmamaktadır. Ev tipi ve endüstriyel üretimlerin her birinde fermentasyon işlemi sonrası mutlaka bir kurutma basamağı bulunmaktadır. Kurutma işlemleri sonrası elde edilen ürünler ince tanecik boyutlarına (<1 mm) öğütülüp depolanmaktadır (Akbaş ve Coşkun 2006).

Fermentasyon aşaması ürüne özgü tat, aroma ve kokunun oluşması için tarhana üretiminde önemli bir aşamadır. Ege tipi un tarhanalarında fermentasyonun iki aşamada gerçekleştiğinden söz edilebilmektedir. Birincil fermentasyon yoğurdun elde edilmesi ile ilgilidir ve sütün *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* bakterileri ile mayalanması ve laktozun laktik asite dönüşümünü sağlar. Bazı yörelerde ve endüstriyel üretimlerde fermentasyon sürecini hızlandırmak için formülasyona eklemek mayası olan *Saccharomyces cerevisiae* da eklenmektedir. Maya fermentasyonu sonucu hamurda etil alkol ile karbondioksit oluşur ve laktik asit fermentasyonu sonucu oluşan laktik asit ile tarhanaya özgü asidik ve ekşi tadı sağlayan tat ve aroma bileşenleri ortaya çıkar (Bilgiçli ve İbanoğlu 2007). Fermentasyon işlemi sonucunda oluşan çeşitli organik asitler ortamın pH seviyesini düşürerek veya koruyucu şekilde etkileyerek ürünlerdeki istenmeyen mikroorganizma gelişimini engelleyip ürünün raf ömrünü arttırıp muhafazasını kolaylaştırmaktadır. Fermentasyon işleminin bir başka etkisi ise karbohidratların, yağların ve proteinlerin hidrolize uğratılarak sindirilebilirliği ve yararlılığı arttırıp beslenmeye katkı sağlamasıdır. Ayrıca, fermentasyon esnasında bazı mikroorganizmaların çeşitli vitamin ve büyüme faktörlerini sentezleyerek ürünün beslenme değerine olumlu katkıda bulunabildiği bildirilmektedir (Özbilgin 1983; Erbaş vd. 2006; Karahan vd. 2019).

Fermentasyon süresinin ve depolamanın tarhanaların organik asit, yağ asidi bileşimi ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, tarhana hamurları 3 günlük fermentasyon işlemi sonucunda kurutulmuş ve 6 ay depolamaya tabii tutulmuştur. Fermentasyon süresinin artmasıyla ürünlerde, toplam asitlik ile laktik asit, asetik asit, pirüvik asit ve propiyonik asit miktarları artarken; sitrik asit miktarında azalma tespit edilmiştir. Depolama süresi boyunca organik asit miktarlarında azalma gözlemlenmiştir. Elde edilen tarhanaların %14 doymamış, %86 doymuş yağ asidi içerdiği ve baskın yağ asidinin palmitik asit (%40) olduğu belirlenmiştir (Erbaş vd. 2006).

Certel vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, tarhanadaki suda çözünür vitamin içeriklerinin fermentasyon süresi ve depolamaya bağlı değişimi incelenmiştir. Riboflavin, tiamin, niasin, B6 vitamini ve folik asit içeriklerinin fermentasyon süresi boyunca artış gösterdiği rapor edilmiştir. Depolama süresine göre tiamin, riboflavin ve folik asit içerikleri önemli ölçüde etkilendiği, ancak niasin ve vitamin B6 içeriklerinin depolama süresinden istatistiksel açıdan önemli ölçüde etkilenmediği bildirilmiştir.

Klasik tarhana hamuruna buğday rüşeymi ve kepeği ilavesiyle fonksiyonel özelliği arttırılarak ürünlerin toplam asitliği, fitik asit miktarı ve renk özelliklerinin 3 günlük fermentasyon süresi boyunca incelendiği bir çalışmada, toplam asitlik fermentasyonun ilk gününde keskin bir biçimde artmış, diğer günlerde de bu artış devam etmiştir. Formülasyona eklenen buğday rüşeymi ve kepeği ürünlerdeki fitik asit miktarını arttırmıştır. Bununla birlikte, karışımda bulunan fitik asitin %90'ından fazlası fermentasyon ile inaktive edildiği belirlenmiştir. Ayrıca fermentasyon süresinin artmasıyla ürünlerin renginin koyulaştığı (*L* değerinde azalma) ve ürünlerin daha yeşil-daha az kırmızımsı ve daha mavi-daha az sarı özellik gösterdiği rapor edilmiştir (Bilgiçli ve İbanoğlu 2007).

Fermentasyon süresince tarhana hamurundaki aroma bileşenlerinin farklılıklarının incelendiği bir çalışmada, ev ve ticari ölçekte hazırlanan 9 farklı tarhana hamurunun uçucu bileşenleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda fermentasyon sonrası en fazla üretilen organik asitler laktik, süksinik ve asetik asitler olurken, ürünlerdeki keton formundaki bileşenlerde azalma tespit edilmiştir. Hamurların aroma profillerinde alkol ve ester

bazlı bileşenlerin miktarlarında artış gözlemlenmiş ve tarhanadaki istenen aromanın ester bileşiklerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Özdemir vd. 2019).

Direkt ve geleneksel fermentasyon yöntemlerinin tarhana hamurunda meydana getirdiği kimyasal ve duyuşal farklılıkları araştıran bir başka çalışmada, fermentasyonların belirli periyotlarında örnekler alınmış ve uçucu bileşenleri incelenip gruplandırılmıştır. Direkt fermentasyon yöntemi ile üretilen tarhanalarda 44, geleneksel fermentasyon yöntemi ile üretilen fermentasyonlarda ise toplam 48 adet uçucu bileşen belirlenmiştir. Her iki yöntemde de elde edilen uçucu bileşenlerin çoğunluğunun aldehit formunda olduğu; panelistlerin duyuşal değerlendirmesinde direkt fermentasyon yöntemi ile elde edilen tarhanaların daha çok beğenildiği rapor edilmiştir (Yaralı ve İnanç 2023).

Tarhana üretimini konu alan bilimsel yayınlardan yola çıkarak son zamanlardaki bir kısım çalışmaların farklı formülasyonların geliştirilmesini amaçlayan çalışmalar olduğu görülmektedir. Besin bileşimini veya gluten içeriğini değiştirmek için (çiya/yulaf/keten tohumu/karabuğday unu katkı veya ikamelerinin kullanımı ve formülasyonda alternatif fermente süt ürünlerinin kullanılması (kefir vb.) gibi çalışmalar bunlara örnek olarak verilebilir. Yapılan bir çalışmada yaş tarhana üretiminde besin değerini arttırmak için formülasyona süt ürünü olarak sadece yoğurt, sadece kefir ve yoğurt-kefir karışımı eklenmiş ve ürünlerin mikrobiyolojik özellikleri, kimyasal kompozisyonları ve uçucu bileşenleri belirlenmiştir. Kefir ilavesinin laktik asit bakteri sayısını artırdığını, maya ve toplam mezofilik aerobik bakteri sayısını ise etkilemediği ve antioksidan aktiviteyi arttırdığı belirlenmiştir. Tüm formülasyonların galaktoz, fruktoz ve glukoz içeriğinin mikrobiyal aktivite nedeniyle sürekli azaldığı, fermentasyon sırasında toplam 72 uçucu bileşik tespit edildiği rapor edilmiştir (Arslan-Tontul vd. 2018).

Bilgiçli (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tarhananın besin değerini ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için formülasyona tahıl kaynağı olarak farklı oranlarda (%20, %40, %60, %80 ve %100) karabuğday unu ilave edilmiştir. Karabuğday unu ilavesiyle üretilen ürünlerde protein, yağ ve selüloz ile fitik asit, kül ve külü oluşturan potasyum, magnezyum ve fosfor gibi minerallerinin miktarlarının önemli düzeyde artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak karabuğday kullanımının tarhananın renk değeri ile su ve yağ tutma kapasitelerini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, glutensiz tarhana üretimi için formülasyona buğday unu yerine nohut, fasulye, mısır, esmer pirinç, karabuğday ve mercimek unları eklenmiş ve tarhanalar çeşitli besinsel ve biyoaktif özellikleri açısından araştırılmıştır. Tarhana formülasyonunda tahıl ve baklagil unlarının kullanılması, tarhana örneklerinin besinsel içeriğini olumlu yönde katkılacağı, özellikle mercimek ununun yağ asidi kompozisyonunu önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Eklenen mercimek, nohut, pirinç, fasulye ve mısır unları gluten içermediğinden, yeni tarhana ürünleri çölyak hastaları için uygun bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. (Atasoy ve Hendek-Ertop 2021)

Salça üretim atıklarından domates ve biber çekirdeğinin tarhana hamurunda kullanılmasının araştırıldığı bir çalışmada, katkılanan domates ve biber çekirdeği miktarı arttıkça genel olarak aminoasit içeriklerinin arttığı, toplam doymamış ve çoklu doymamış yağ asidi oranlarının artarken toplam doymuş yağ asidi oranının azaldığı rapor edilmiştir (Işık 2013).

Buğday rüşeyminin tahıl kaynağı olarak formülasyona belli oranlarda ilave edilmesiyle elde edilen ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği bir başka çalışmada ise, rüşeym ilavesinin son üründe pH, kül, protein, selüloz, yağ ve toplam fenolik içerik ve köpürme kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir (Çalışkan-Koç ve Özçira 2019).

Geleneksel tarhana hamuruna farklı oranlarda balkabağı, karabuğday ve kefirin katkılındığı bir başka çalışmada ise balkabağı ilavesinin ürünlerdeki antioksidan aktiviteyi arttırdığı, kefir ilavesi ile de ürünlerde mikroorganizma faaliyetinin yükseldiği rapor edilmiştir (Işık vd. 2023).

Aktaş ve Akın (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada, tarhananın besin değeri ve fonksiyonel özelliklerinin artırılması amacıyla formülasyona pirinç kepeği ve mısır kepeği ilave edilmiştir. Çalışmada, bu lif kaynaklarının %15 oranında kullanılmasıyla elde edilen ürünlerin selüloz, kül, protein ve yağ içeriğinin arttığı ayrıca antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarının da anlamlı düzeyde artış gösterdiği saptanmıştır. Ancak, pirinç kepeği ile zenginleştirilen örneklerin duyu analizlerinde genel kabul edilebilirlik düzeylerinin düşük olduğu, mısır kepeği ilave edilen numunelerin duyu değerlendirme sonuçlarının kontrol grubu ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Çevik ve Ertaş (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, buğday ununa farklı oranlarda kinoa, karabuğday ve acı bakla unu ilave edilerek tarhananın besinsel ve duyu özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Tarhana formülasyonuna eklenen bu alternatif unların düzeylerindeki artışla birlikte ürünün kırmızılık ve sarılık değerlerinin yanı sıra kül, protein, fitik asit, kalsiyum, demir, potasyum, magnezyum, fosfor, çinko içerikleri ile toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesinde doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, tarhananın besinsel özelliklerini geliştirmek amacıyla formülasyona %20 oranında kinoa unu ilavesinin uygun olabileceği önerilmiştir.

Glutensiz tarhana üretimi amacıyla temel bileşen olarak pirinç unu kullanılmış ve pirinç ununa ek olarak hamur formülasyonuna %20 ve %40 oranlarında mercimek, bezelye veya nohut unları ilave edilmiştir. Uygulanan duyu analizler sonucunda, %40 oranında mercimek unu içeren tarhana çorbasının en yüksek beğeni düzeyine sahip ürün olduğu, geliştirilen bu yeni formülasyonların çölyak hastaları için alternatif bir glutensiz gıda ürünü olarak değerlendirilebileceği rapor edilmiştir (Özmen 2011)

2.2. Kurutma

Kurutma, gıda içerisindeki nemin eş zamanlı ısı kütle transferi ile azaltılması işlemidir. Bir gıda muhafaza yöntemi olan kurutma, insanlığın ilk yıllarından beri ürünlerin raf ömrünün arttırılmak ve uzun süre muhafaza etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kurutma işlemi ile ürünlerdeki su aktivitesi değerleri belirli bir değer altına düşürülmekte, bu sayede de özellikle mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal bozulmalar önlenmektedir. Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen ürünler ya doğrudan gıda olarak tüketilmekte ya da endüstrisinde hammadde olarak kullanılmaktadır. (Ertekin ve Yaldiz 2004, Başünal 2016).

Meyve ve sebzelerin kurutulması ve kuru halde muhafaza edilmesi milattan önceki dönemlere dayanmaktadır. Bu dönemde, Persler, Hindular, Mısırlılar, Yunanlılar ve Çinliler farklı ürünleri, Orta ve Yakın Doğu halkı ise incir, hurma, şeftali, incir ve üzümü güneşte kurutup tüketmişlerdir. Güneşte doğal kurutmanın tarihi milattan önce 20.000'e kadar uzanırken, çeşitli sistemlerle mekanik kurutma İkinci Dünya Savaşı'nın sonundan günümüze kadar hızla gelişim ve değişim göstermiştir. 19. Yüzyıla kadar kurutma işlemi için rüzgâr ve güneş gibi doğal enerji kaynakları kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerin hijyen problemi, işlem süresinin uzun olması ve istenilen kalitede son ürün elde edilememesi gibi olumsuz durumları bulunmaktadır. Bu nedenle ilerleyen dönemlerde çeşitli mekanik kurutma yöntemleri gıdaların kurutulmasında büyük önem taşımaktadır. Ayrıca son dönemlerde kurutma performansını arttırmak için çeşitli hibrit kurutma yöntemleri de geliştirilmiştir (Hayashi 1989).

Kurutma işleminde temel amaç gıdaların raf ömrünü arttırmak olsa da besin öğelerindeki ve fonksiyonel bileşenlerindeki kayıpların da olabildiğinde önlenmesi bir başka çalışılması gereken konu olmuştur (Saavedra vd. 2017). Ürünlerdeki bu kayıpların en aza indirilebilmesi için en uygun kurutma yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Düşük enerji gereksinimi, zaman ve enerji verimliliği, son ürünün kalitesi endüstride kurutma yönteminin seçimindeki en önemli ana etkenlerdendir. Teknolojinin gelişmesi ile kurutma sürecinin her aşaması izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Kurutma teknolojileri her geçen gün geliştirilerek gıda endüstrisi için yeni sistemler ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda enerji yoğun gıda proseslerine bağlı karbon salınımı ve buna bağlı çevresel etkiler Dünyanın üzerinde yoğunlaştığı önemli araştırma konuları haline gelmiştir. Bu nedenle son yıllarda kurutma teknolojinde bu sorunun çözümüne yönelik enerji girdilerinin düşürülmesi ve atıkların azaltılması önceliklendirilmiştir. Günümüzde akışkan yataklı, püskürtmeli, dondurarak kurutma teknolojileri yanında, mikrodalga/radyo frekans/kızılötesi destekli yeni sistemler, kırımım pencereci kurutma sistemleri gibi farklı prensiplerle çalışan hibrit kurutma teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır (Kutlu ve İşci 2016, Kovacı vd. 2018, Aşık-Aygün ve Topuz 2024).

Gıda kurutma teknolojileri, gelişim sürecine bağlı olarak dört nesilde sınıflandırılmaktadır. Birinci nesil kurutma sistemleri, ısı transferi için sıcak hava kullanımına dayanan ve özellikle katı materyallerin kurutulmasına uygun olan tepsili, fırın, tünel tipi gibi yatak ve dolap tipi kurutucuları kapsamaktadır. İkinci nesil kurutma teknolojileri ise, viskoz, bulamaç ya da macun kıvamındaki gıdalar için daha elverişli olan püskürtmeli ve tamburlu kurutma sistemlerini içermektedir. Üçüncü nesil kurutma yöntemleri arasında, ürün kalitesini koruma açısından avantaj sağlayan dondurarak kurutma ve ozmotik kurutma teknikleri yer almaktadır (Vega-Mercado ve ark., 2001). Dördüncü nesil kurutma teknolojileri ise; kızılötesi kurutma, mikrodalga kurutma, akışkan yataklı kurutma, radyo frekansı ile kurutma, ısı pompalı kurutma ve kırımım pencereci kurutma gibi; hammadde türü, kalite özellikleri ve ürünün raf ömrü gibi parametrelere göre özelleştirilebilen ileri teknolojik kurutma yöntemlerinden oluşmaktadır (Chou ve Chua 2001).

2.2.1. Sıcak hava kurutma

Geçmişte gıdaların kurutulmasında güneşte-açık doğal konveksiyonla kurutma yöntemi yaygınken zamanla bu yöntemin yerini kurutma için sıcak hava akımında kurutma yöntemleri almıştır (Tunde ve Afolabib 2005). Sıcak hava kurutma yöntemi yani bir diğer

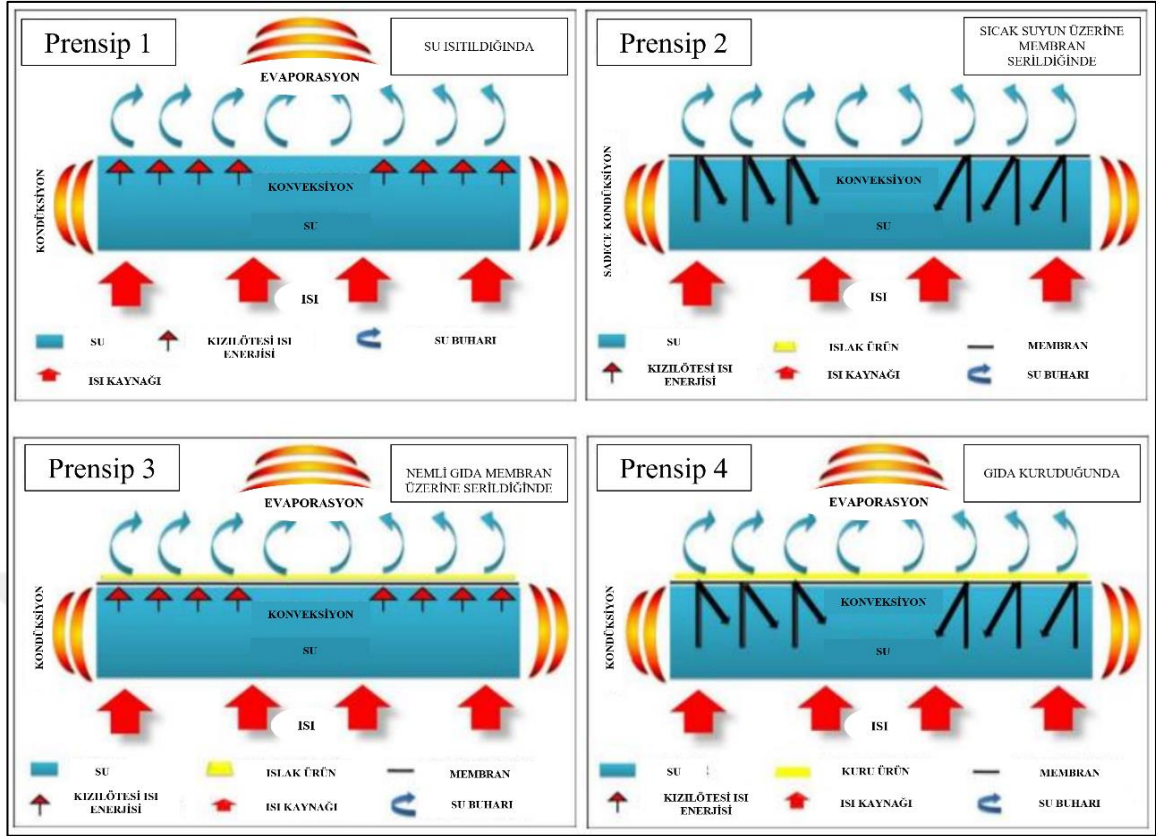
adı ile konveksiyonel kurutma, gıdalardan nemin bir sıcak hava ile ısı kütle transferi prensibine göre uzaklaştırılması ve gıdaların bu sayede kurutulması temeline dayanmaktadır. Kurutma aşamasının başlarında ürün ısınmaya başladığında, yüzeyinden nemin buharlaşması gerçekleşmektedir. Kurutma sürecinin ilerleyen aşamalarında, sürekli hava akışına maruz kalan ürün yüzeyi kururken, iç kısımlarda bulunan su, difüzyon yoluyla yüzeye doğru taşınmaktadır. Bu ısı kütle transferi süreçleri, gıdanın içerdiği su miktarı, çevresel koşullara bağlı olarak denge bağlı neme ulaşınca kadar devam etmektedir (Geankopolis 2005).

Gıda endüstrisinde de ürünlerin kurutulmasında en yaygın kullanılan kurutma yöntemi basit ve uygulanabilirliği yüksek olduğu için sıcak hava kurutma yöntemidir. Ancak bu yöntemde, ürünün bileşimine ve kimyasal-fiziksel yapısına bağlı olarak büzüşme renkte esmerleşme, aroma besin ve renk kayıpları da meydana gelebilmektedir. Enerji verimliliğinin düşük olması, enerji tüketiminin ve işletme maliyetinin yüksek olması da bu yöntemin bir diğer olumsuz durumlarıdır (Voda vd. 2012, Rodríguez vd. 2017). Bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak ve daha kaliteli ürünler elde etmek için sıcak hava kurutma yöntemine başka kurutma yöntemlerinin (mikrodalga, ultrases vb.) entegre edildiği birçok çalışma da bulunmaktadır (Demiray 2015, Doymaz 2017).

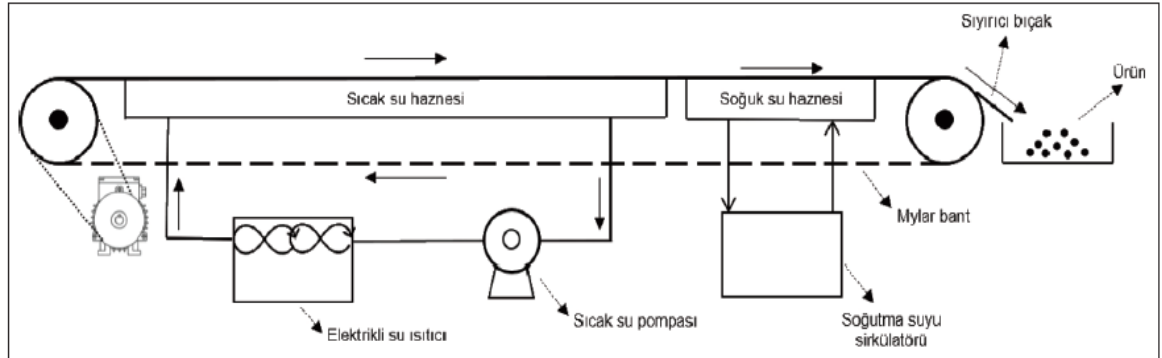
2.2.2. Kırınım pencereci kurutma

Kurutma verimliliğinin artırılması ve daha kaliteli son ürün elde etme isteği ile ilerleyen teknolojilerle birçok yenilikçi kurutma teknolojileri geliştirilmiştir. Bu yenilikçi kurutma teknolojilerinden birisi de kırınım pencereci kurutma (KPK) (Refractance Window-RW) teknolojisidir. KPK teknolojisi, düşük enerji gereksinimi, kısa kuruma süresi ve kaliteli son ürün eldesi gibi çeşitli üstünlükleri bulunan yüksek ısı kütle transferine sahip bir film kurutma yöntemidir. Bu yöntem Richard Magoon tarafından 1986 yılında patentlenmiştir (Shende ve Datta 2018).

Kırınım pencereci kurutma sisteminde ısı enerjisi, kızılötesi radyasyona izin veren özel bir bant (Mylar film) altından sirküle ettirilen belirli bir sıcaklıktaki sıcak sudan sağlanmaktadır. Bu sıcak sudan bant üstüne serilmiş nemli gıdaya bant boyunca kızılötesi radyasyonun ulaşmasını sağlayan bir ‘pencere’ açıldığı ileri sürülmektedir. Ulaşan radyasyon enerjisi ile bant üzerindeki üründen nem uzaklaşır ve bu şekilde nem kaybedilirken ışıma penceresi yavaş yavaş kapanarak ısı transferi sadece konveksiyonla devam eder ve böylece nemli ürün kurutulmaktadır. Kırınım pencereci kurutma sisteminde uygulanan ısı transfer mekanizmaları Şekil 2.1’de verilmiştir. Kontrollü bir şekilde ısı transferi sağlandığı için son üründeki kalite kaybı, besin ve fonksiyonel bileşen kayıpları da düşük düzeyde tutulmaktadır. Kuruma süresinin de kısa olduğundan daha nitelikli kuru ürünler elde edilebilmektedir. Kuruma sonunda kuruyan ürün hareketli bant sayesinde soğuk su haznesinin olduğu tarafa taşınır ve sıyrıcı bir bıçak yardımıyla sistemden uzaklaştırılır. Bant üzerine serilen ürünün yapısına bağlı olarak, yoz granül veya dilim halinde kuru ürünler elde edilebilmektedir. Sistemde kurutma verimliliğini ve sürekliliği artırma için sistemdeki su yeniden istenilen sıcaklığa ısıtılarak kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki temel kurutma prensibinin şematize edilmiş hali Şekil 2.2’de verilmiştir. Kurutma süreçleri atmosferik koşullar altında sürdürüldüğü gibi vakum ortamında da bu süreçlerin devam ettirildiği çalışmalar da mevcuttur (Nindo ve Tang 2007; Topuz vd. 2009; Bardakçi ve Karacabey 2024).



Şekil 2.1. KPK sisteminin ısı transfer mekanizması (Trivedi vd. 2017, Parmar ve Dhamsaniya 2023)



Şekil 2.2. KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024)

Kırınım pencereli kurutma sisteminde tüketilen toplam enerjinin büyük bir kısmı bant üzerine serilen üründen nemi uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem sıcak hava kurutma, dondurarak kurutma gibi yöntemlerden daha iyi enerji verimliliğine sahiptir. Ayrıca dondurarak kurutucuya göre iletme maliyeti de oldukça düşüktür. Farklı kurutma yöntemlerinin buharlaştırma kapasiteleri, enerji gereksinimleri ve termal verimliliklerinin karşılaştırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, KPK yönteminin enerji gereksinimi incelenen diğer kurutma yöntemlerine göre genellikle düşüktür. Sıcak hava kurutma yöntemine göre enerji gereksinimi düşük olmasına karşın buharlaştırma kapasitesi yüksek ve kuruma süresi daha düşük olduğu için enerji/zaman

etkinliği yönünden kullanılabilir iyi bir alternatif kurutma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Shende ve Datta 2018). Örneğin, farklı kurutma yöntemlerinin (sıcak hava, dondurarak, KPK) elma dilimlerinin kurutulmasındaki enerji verimliliğinin araştırıldığı bir çalışmada, en yüksek enerji verimliliğine sahip kurutma yönteminin KPK yöntemi olduğu, en düşük CO2 emisyonunun ise yine KPK yöntemine ait olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca aynı miktarda elma diliminin kurutulmasında KPK yönteminin enerji tüketiminin sıcak hava kurutma yönteminin enerji tüketiminin yarısı, dondurarak kurutma yönteminin enerji tüketiminin ise yaklaşık 1/20'si olduğu da belirtilmiştir (Baeghbal vd. 2010).

Çizelge 2.1. Farklı kurutma yöntemlerinin enerji gereksinimi, buharlaştırma kapasitesi ve termal verimlilik açısından karşılaştırılması (Shende ve Datta 2018)

Kurutma yöntemi	Buharlaştırma ka- pasitesi ($\text{KgH}_2\text{Osa}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Enerji gereksi- nimi (kW)	Termal ve- rimlilik (%)
Sıcak hava kurutma	0.3-1.8	20-35	35-40
Püskürterek kurutma	1-30	11-13	20-51
Vakum kurutma	6-20	2.11-4.41	35-78
Dondurarak kurutma	0.0027-0.0037	130.65	30-32
Kırınım pencereli kurutma (Pilot ölçekli)	4-8	11.5-13.8	52-72

KPK yöntemi her ne kadar yeni bir kurutma yöntemi olsa da yukarıda bahsedilen olumlu yönlerinden dolayı meyve- sebze pulpları, meyve-sebze dilimleri, bitkisel ekstraktlar, süt ve süt ürünleri ve et ürünleri gibi birçok farklı gıda ürününün kurutulmasında kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Kırınım pencereli kurutma yöntemini konu alan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Abul-Fadl ve Ghanem (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, KPK yönteminde 60-75-95 °C sıcaklıkta ve 60°C sıcaklıkta sıcak hava kurutma yönteminde domates püresi kurutulmuş ve elde edilen ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. KPK yönteminden elde edilen domates tozlarının likopen, askorbik asit ve flavonoid miktarlarının sıcak hava kurutma yöntemi ile elde edilen domates tozlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kızılılık püresinin kurutulmasına sıcak hava kurutma ve KPK yöntemlerinde kurutulduğu ve farklı fizikokimyasal özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada, sıcak hava kurutma yöntemi için 50, 60 ve 70 °C; KPK sistemi için ise 90, 95 ve 98 °C kurutma sıcaklıkları test edilmiştir. Elde edilen son ürünlerde, askorbik asit, toplam monomerik antosiyanin, antioksidan aktivite ve hidroksimetilfurfural (HMF) içerikleri analiz edilmiştir. En yüksek askorbik asit, toplam monomerik antosiyanin miktarının ve antioksidan aktivite değerinin KPK yöntemiyle kurutulmuş ürünlerde elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, en düşük HMF içeriğinin de yine KPK yöntemiyle kurutulmuş örneklerden elde edildiği, kızılılık püresi kurutulmasında ürün kalitesinin korunması açısından en uygun kurutma yönteminin KPK yöntemi olduğu ve ideal kurutma sıcaklığının 90 °C olarak seçilmesi gerektiği rapor edilmiştir (Tontul vd. 2018).

Tontul vd. 2018 tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, izoelektrik noktada proteinler çöktürülmüş ve elde edilen izolatları 2 farklı kurutma yönteminde (Dondurarak ve KPK) kurutulmuştur. Elde edilen son ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre KPK yönteminin kurutma süresini önemli ölçüde kısalttığı, KPK yöntemi ile elde edilen ürünlerin emülsiyon, yağ ve su tutma özelliklerinin dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen örneklere göre daha iyi olduğu rapor edilmiştir.

KPK yönteminde *Lactobacillus fermentum* K73 mikroorganizmasının enkapsülasyonu, ilgili mikroorganizmanın kurutulması ve aktivasyonu için gerçekleştirilen kurutma kinetiği çalışmalarında, 60, 70 ve 80°C kurutma sıcaklıkları ile çalışılmıştır. Kurutulan tüm sıcaklıklarda mikroorganizmalar başarılı bir şekilde enkapsüle edilmiştir. KPK yönteminde en uygun işlem koşullarının 80 °C kurutma sıcaklığı ve 41 dakika kuruma süresi olarak belirlendiği rapor edilmiştir (Aragón-Rojas vd. 2019).

KPK yönteminde kurutma koşullarının optimize edildiği bir çalışmada, çarkıfelek meyvesi kurutulmuş ve elde edilen ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri (nem, askorbik asit, β -karoten, toplam fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan aktivite) değerlendirilmiştir. Optimum kurutma sıcaklığı ve süresi sırasıyla 82,5 °C ve 60 dakika olarak belirlenmiştir (Asiimwe vd. 2022).

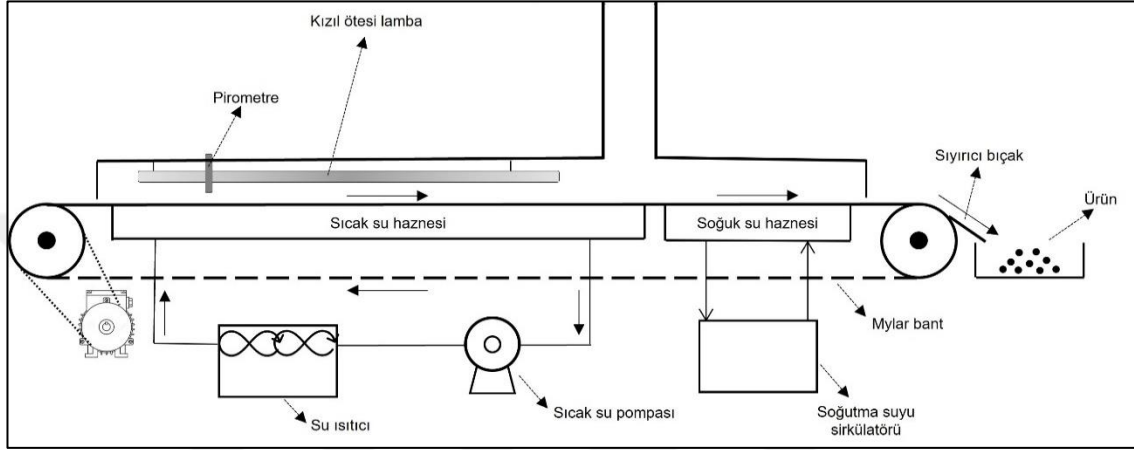
Kırmızı meyvelerin (Çilek, yaban mersini, kıızılcık, vişne) farklı kurutma yöntemleri ile (KPK, akışkan yataklı, dondurarak, sıcak hava kurutma) püre halinde kurutulduğu bir çalışmada, elde edilen son ürünlerin askorbik asit, toplam fenolik madde, antosiyanin, toplan flavonoid madde miktarları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. KPK yöntemiyle elde edilen ürünlerin en yüksek askorbik asit içeriğine sahip olduğu, diğer fonksiyonel bileşenlerin ise en yüksek miktarının dondurarak kurutma yönteminde elde edilen ürünlere ait olduğu belirlenmiştir. KPK yönteminin dondurarak kurutma yöntemi ile benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Nemzer vd. 2018).

Dondurarak kurutma ve KPK yöntemlerinde elde edilen yoğurt tozlarının bazı fiziksel ve mikrobiyolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. KPK yöntemi ile üretilen yoğurt tozlarının renk değerlerinin dışında diğer fiziksel özelliklerinin dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen ürünlerden üstün olduğu belirtilmiştir. *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* miktarlarının, KPK yönteminde 50°C kurutma sıcaklığında üretilen yoğurt tozlarında en yüksek değerde olduğu bildirilmiştir (Tontul vd., 2018a).

Literatürde birçok ürünün kurutulmasında kullanılan KPK yöntemine son dönemlerde yenilikçi teknolojilerin eklenmesiyle hibrit kurutma yöntemleri de tasarlanmıştır. KPK yönteminde kızılötesi gücü, ultrason desteği veya vakum sisteminin ilave edilmesiyle yenilikçi teknolojiler tasarlanmaktadır.

2.2.3. Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma

Kırımım pencereli kurutma sistemine kızılötesi lamba desteğinin eklendiği bu kurutma yönteminde, kızılötesi kaynağından yayılan enerji ile gıda içerisindeki nemim daha hızlı uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Kızılötesi gücünün KPK yöntemi ile birlikte kullanıldığında, homojen bir ısıtma ve kurutma sağlandığı, kuruma süresinin kısaldığı ve yüksek kaliteli son ürünler elde edildiği rapor edilmiştir. Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma (KD-KPK) yönteminin şematize edilmiş hali Şekil 2.3'te verilmiştir. (Puente-Díaz vd. 2020; Rajoriya vd. 2023).



Şekil 2.3. KD-KPK sisteminin temel mekanizmaları (Vural 2024)

Literatürde bu kurutma yönteminin farklı ürünlere uygulandığı kısıtlı çalışmalar mevcuttur. Arslan-Tontul vd. (2022) gerçekleştirdiği çalışmada; instant ekmek mayası üretimi için kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yöntemini kullanmışlardır. Kurutma parametreleri olarak; kurutma sıcaklığı (40 ve 50°C), 2 mm sabit serme kalınlığı ve var/yok kızılötesi desteği belirlenmiştir. Test edilen parametreler değerlendirildiğinde, instant maya üretimi için kızılötesi destekli kurutma sisteminin alternatif bir kurutma yöntemi olduğu rapor edilmiştir.

Elma dilimlerinin (2 ve 5 mm), uzak kızılötesi (FIR) destekli kırımım pencereli kurutma ve sıcak hava kurutma sistemlerinde kurutulduğu ve elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı bir çalışmada, kızılötesi desteğinin kuruma süresini kısalttığı için ürünlerdeki fonksiyonel bileşenleri daha iyi koruduğu ve enerji etkinliği açısından da verimli bir kaynak olabileceği değerlendirilmiştir (Rajoriya vd. 2020).

Çift geçişli fotovoltaik-termal (PVT) güneş kolektörüyle birleştirilmiş kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sisteminde spirulinanın kurutulduğu bu çalışmada ise, kurutma değişkeni olarak farklı seviyelerde besleme hızı ve kurutma hava hızı seçilmiş; kurutma sıcaklığı (50 °C) ve kızılötesi lamba gücü (250 W) ise sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda PVT'nin etkinliği hesaplanmış ve son ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir (Rezvani vd. 2022).

Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yönteminde yanıt yüzey metodu ile kurutma koşullarının optimize edilmesi ile ilgili bir çalışmada, domates dilimleri farklı kurutma sıcaklıklarında (60, 64, 70, 76 ve 80°C) ve farklı kızılötesi lamba gücünde

(200, 280, 400, 520 ve 600 W) kurutulmuştur. Elde edilen domates tozlarının askorbik asit, toplam fenolik madde, likopen miktarı ve renk özellikleri analiz edilmiştir. Optimum kurutma koşullarının 70 °C sıcaklık ve 500 W lamba gücü olduğu rapor edilmiştir (Arslan 2022).

2.3. Tarhananın Kurutulması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Tarhana hamurunun ev tipi üretiminde kurutma işlemi genellikle hamurun güneşe veya gölgeye temiz bir sergi/çarşaf üzerine parçalar halinde serilerek gerçekleştirilmektedir. Bu işlemde kurutma süresi genellikle 3-5 gün arasında değişmektedir. Kuruma süresinin uzunluğundan dolayı üründe istenilmeyen kalite bozuklukları meydana gelebilmektedir. Bu sorunların başında renk ve aroma kayıpları, istenilmeyen mikrobiyolojik faaliyetler ve besleyici özelliklerin azalması gelmektedir. Güneşte açıkta kontrolsüz kurutma işlemi ile toz, kir ve istenmeyen yabancı unsurlar tarhana kalitesini ve mikrobiyolojik faaliyetleri olumsuz etkileyebilmektedir. Kuruma süresi uzun olduğu için üründe besinsel ve biyoaktif bileşen açısından istenmeyen kayıplarda meydana gelebilmektedir. Örneğin gerçekleştirilen bir çalışmada, tarhanaların sıcak hava kurutma ile açıkta güneşte kurutma açısından vitamin kayıpları incelenmiş ve sıcak hava kurutma ile vitamin kaybı %22.4 olurken, güneşte kurutmada bu oran %84.5'e kadar yükselmiştir (Daglioğlu 2000). Endüstriyel ölçekte ise, kurutma aşaması hem geliştirilmiş nihai ürün kalitesi hem de enerji tüketimi açısından önemli bir işlemdir. Kurutma işlemi genellikle yaklaşık %10 nem içeriğine ulaşılan kadar 60–65 °C'de 5-6 saat boyunca sıcak hava ile gerçekleştirilir (Sakin-Yılmaz 2017).

Literatürde farklı kurutma yöntemleriyle tarhana hamurunun kurutulup toz tarhana elde edildiği ve çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Tarhana hamurunun kurutulmasını konu alan bu çalışmalarda genel olarak; sıcak hava akımıyla kurutma, vakumda kurutma, mikrodalga ile kurutma, açıkta kurutma ve donuk kurutma teknikleri tek başına ya da kombine olarak kullanılmıştır. En yaygın kullanılan geleneksel yöntem endüstriyel ölçekte olduğu gibi sıcak hava akımıyla kurutma yöntemidir. Tarhana hamurlarının farklı kurutma yöntemleri (Tünel kurutma, dondurarak kurutma, ev tipi mikrodalga kurutma, endüstriyel mikrodalga kurutma) ile kurutulduğu ve fonksiyonel ve duyuşal özelliklerindeki değişimlerinin incelendiği bir çalışmada en yüksek protein çözünürlüğünü dondurarak kurutulmuş, en yüksek köpük kapasitesinin ise tünel kurutma uygulanmış örneklerde olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada mikrodalga kurutma uygulamasının ürünlerin renk ve duyuşal özellikleri açısından en çok tercih edilir uygulama olduğu rapor edilmiştir (Hayta vd. 2002).

Yapılan başka bir çalışmada, 50, 60 ve 70°C fırın kurutma sıcaklığında kurutulan tarhanaların suda çözünür vitamin içeriklerindeki değişim incelenmiş ve en yüksek vitamin kaybının 70°C kuruma sıcaklığı ve 35 saat kuruma süresinde elde edildiği belirtilmiştir (Ekin 2005).

Tarhana formülasyonuna yulaf unu ilavesi ile tarhanaların fenolik kompozisyonu, toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesindeki değişimin incelendiği çalışmada, kurutma yöntemi olarak güneşte açıkta, fırın ve mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Yulaf unu katkılı tarhana örneklerinde en yüksek fenolik bileşen ve antioksidan aktivitelerinin fırında ve mikrodalga kurutma yönteminde kurutulan örneklerle ait olduğu bildirilmiştir (Değirmencioğlu vd. 2016).

İbanoğlu ve Maskan (2002) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada; sıcak hava yöntemi ile (60-80°C) kurutma işlemi öncesi, fermente olmuş hamur ön pişirme işlemine tabii tutulmuş ve fiziksel özellikleri pişirme işlemi uygulanmamış hamur ile karşılaştırılmıştır. Pişirme işleminin, muhtemelen nişasta jelatinizasyonu ile hamurun artan gözenekliliği nedeniyle kurutma işlemini hızlandırdığı, pişmiş hamurun kurutma sonrası difüzyon katsayısının daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Güneşte kurutma ve vakum altında kurutma yöntemlerinin tarhana örneklerindeki aroma aktif bileşenleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, headspace SPME, GC-O ve GC-MS yöntemleri kullanılarak bu kurutma yöntemlerinden elde edilen ürünlerin aroma aktif bileşenleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm yöntemlerde vakum altında kurutma ile elde edilmiş tarhana örneklerinin daha fazla aroma bileşenine sahip olduğu tespit edilmiştir. Vakum altında kurutma ile 41, güneşte kurutma yöntemi ile 23 adet aroma aktif bileşen tespit edilmiş olup, bu bileşenlerin çoğunun aldehit formunda olduğu bildirilmiştir (Göçmen vd. 2004).

Tarhana hamurunun 30, 40 ve 50 °C sıcaklıkta, 0.5, 1.25 ve 2 m/s hava hızlarında sıcak hava akımında ve geleneksel (güneşte kurutma yöntemi) kurutma yöntemleriyle kurutulduğu bir çalışmada; β -karoten ve likopen degradasyonu ve bozunma kinetikleri araştırılmıştır. Bileşenlerin reaksiyon hız sabitleri ve aktivasyon enerjileri belirlenmiş ve düşük kurutma sıcaklığı-yüksek hava hızında kurutulan örneklerde bu bileşen kayıplarının daha az olduğu rapor edilmiştir (Tümer vd. 2023).

Çankırı bölgesinde tüketilen tarhanaların çeşitli kurutma yöntemleri ile kurutulması (açıkta, sıcak hava ve mikrodalga) ve Taguchi yöntemi kullanılarak optimum kurutma koşullarının belirlendiği bu çalışmada, ürünlerin kuruma karakteristikleri ve fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir (Başataç vd. 2023).

Tarhana hamuru; sıcaklığı yağ banyosu ile ayarlanmış ve vakum altında tutulan kırınım pencereci kurutma sisteminde (90-100-110 °C kuruma sıcaklığı, sabit 3mm serme kalınlığı), konveksiyonel kurutma sisteminde (50 °C) ve etüvde kurutulmuştur. Bu yöntemlerden elde edilen örneklerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Kırınım pencereci kurutma sistemine vakum ilavesi ile elde edilen ürünlerin fenolik ve antioksidan özelliklerinin olumlu derecede etkilendiği ancak sistemin geliştirilmesi gerektiği rapor edilmiştir (Bardakçı ve Karacabey 2024).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Tez çalışmasında tarhana hamurunu oluşturmak için gerekli hammaddelerden olan buğday unu, inek sütünden üretilmiş tam yağlı set tip yoğurt, domates salçası (28 °briks), kuru soğan ve taze kırmızıbiber (kapyra), baharatlar (nane, toz kırmızıbiber), tuz ve toz halde aktif ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) yerel bir marketten temin edilmiştir. Temin edilen tüm hammaddeler çalışma süresince uygun depolama koşullarında saklanmıştır.

Analizlerde kullanılan sarf malzemeler ise medikal firmalardan kullanım amacına uygun saflıkta (analitik ve/veya kromatografik) temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Tarhana hamurunun hazırlanması

Tarhana hamurunun hazırlanmasında Maskan ve İbanoğlu (2002) tarafından uygulanan formülasyon kullanılmıştır. Bu formülasyonda 120 gram kabuğu soyulmuş parçalanmış kuru soğan, 120 gram sap ve çekirdeklerinden ayrılmış kırmızıbiber ve 200 ml içilebilir nitelikte su karıştırılarak parçalayıcı (DS Produkte 3186-1 blender) ile en yüksek devirde parçalanmıştır. Bu karışıma domates salçası (120 g), tuz (80 g), kuru nane (20 g) ve toz kırmızıbiber (20 g) ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 10 dakika boyunca kaynatıldıktan sonra soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan karışıma yoğurt (500 g), buğday unu (1000 g), maya (20 g) ve tekrar su (200 ml) ilave edilerek 5 dakika yoğurma mikserinde (Kumtel HSM-02, Türkiye) yoğurulmuştur. Elde edilen tarhana hamuru inkübatörde (Memmert UN55, Türkiye) 30±2 °C sıcaklıkta 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresince 0.,24.,48. ve 72. saatlerde hamurdan örnekler alınarak pH ve toplam asitlik değerleri ölçülmüştür. İnkübasyon sonunda elde edilen tarhana hamuru mümkün olan en kısa sürede kurutma denemelerine alınmıştır. Bu hamur kurutma denemeleri tamamlanıncaya kadar +4 °C'de bekletilmiştir.

3.2.2. Tarhana hamurunun kurutulması

Tez çalışması kapsamında hazırlanan tarhana hamurları kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma (KDKPK), kırım pencereci kurutma (KPK), endüstriyel üretimi temsilen sıcak hava kurutma (SHK) ve geleneksel üretimi temsilen de sergen kurutma (GK) yöntemleri ile kurutulmuş ve öğütölerek elde edilen toz ürünlerin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri belirlenmiştir.

3.2.2.1. Kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma

Kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma işlemi için bölümümüzde mevcut olan 0.75 m² kurutma alanına sahip, sıcaklığı, bant hızı, serme kalınlığı ve kızılötesi lamba (IR) kızılötesi lamba (IR) (ELCON EIR Hızlı tepki orta dalga, 1100 mm, 235 V, maksimum 4000W) parametrelerinin ayarlanabildiği kurutma sistemi kullanılmıştır. (ŞEKİL) Kurutma sırasında ürün yüzey sıcaklığı on/off kontrollü bir pirometre ile

(OPTRIS OPTCSTCLT15) izlenmiş ve sabit bir değerde tutulmuştur. IR lamba ile pirometre arasındaki iletişim bir ısı kontrol cihazı (PID) (ELCON P10 PID (Proportional-integral-derivative) (Orantısal-integral-türevsel)) ile sağlanmıştır. Kurutma sırasında oluşan su buharı sistemin üzerine monte edilen davlumbaza bağlı salyangoz fan (1.2 m/s hava hızı) (AYAS, OBRA-200-4K-T) ile ortamdan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca ürün yüzey sıcaklığının homojen olup olmadığı termal kameralar ile teyit edilmiştir.

Literatürde tarhana kurutulmasında kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sisteminin kullanıldığı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu amaçla bu kurutma yönteminde kurutma koşullarının belirlenmesi için optimizasyon çalışmaları, Design-Expert sürüm 13 yazılımı (Design-Expert for Windows, Stat-Ease Inc., ABD) kullanılarak Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (RSM) Optimal Özel Tasarım Deneme deseni ile yürütülmüştür. Deneme deseninin bağımsız değişkenleri, serme kalınlığı (SK) (1-3 mm), ürün yüzey sıcaklığı (YS) (32-40 °C) ve sirkülasyon suyu sıcaklığı (SSS) (60-90 °C)'dir. Optimizasyon çalışmalarında bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları daha önce farklı materyallerin aynı kurutma sisteminde kurutulduğu literatür çalışmaları (Tontul 2018, Aşık 2019, Vural 2024) ve ön denemeler dikkate alınarak belirlenmiştir. Bağımlı değişkenler olarak da minimum kuruma süresi (KS), maksimum suda çözünür toplam vitamin (Askorbik asit ve B₃, B₆, B₉ vitaminleri) miktarı (SÇTVM) ve minimum esmerleşme indeksi (EI) seçilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sisteminde kurutma koşullarının optimizasyonu için kullanılan deneme deseni

Desen no	Serme Kalınlığı	Yüzey Sıcaklığı	Sirkülasyon Suyu Sıcaklığı
1	2	40	90
2	1	40	70
3	2	40	90
4	2	40	60
5	2	36	80
6	3	36	80
7	3	32	60
8	3	36	80
9	2	36	80
10	2	32	80
11	2	36	60
12	1	40	90
13	3	40	60
14	1	36	90
15	3	32	90
16	1	32	80
17	2	32	60
18	2	36	80
19	1	40	70
20	1	32	60

Optimizasyon çalışmalarındaki kurutma denemeleri, tüm örneklerin nihai nem içeriğinin TS 2282 tarhana standardına göre %10'un altına düşene kadar sürdürülmüş ve kuruma süreleri kaydedilmiştir. Kurutma işleminden sonra elde edilen ürünler bir öğütücü (Kiwi KSPG-4811) yardımıyla ile öğütülmüş ve 35-mesh elekten geçirilmiştir. Son ürünler analiz ve depolama işlemlerine kilitli ambalajlarda -20°C'de muhafaza edilmiştir. KDKPK sisteminde gerçekleştirilen bir kurutma denemesine ait görseller Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. KDKPK sisteminde tarhana kurutulması

3.2.2.2. Kırınım pencereli kurutma

Kırınım pencereli kurutma yönteminde, KDKPK yöntemi optimizasyonunda belirlenen optimum sirkülasyon suyu sıcaklığı ve serme kalınlığı parametreleri kullanılarak, kızılötesi lamba desteği olmadan kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen son ürünler bir öğütücü (Kiwi KSPG-4811) yardımıyla öğütülmüş ve 35-mesh elekten geçirilmiş olup analiz ve depolama işlemlerine kadar kilitli ambalajlarda -20°C'de muhafaza edilmiştir. KPK sisteminde gerçekleştirilen bir kurutma denemesine ait görseller Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. KPK sisteminde tarhana kurutulması

3.2.2.3. Sıcak hava kurutma

Tarhana hamurlarının sıcak hava akımında kurutma yönteminde kurutulmasında Maskan ve İbanoğlu (2022) tarafından uygulanan parametreler kullanılmıştır. Hazırlanan tarhana hamurları cam tepsilere 3 mm serme kalınlığında serilmiş ve 1.86 m/sn hava hızında 80°C kurutma sıcaklığında kurutulmuştur. Elde edilen son ürünler öğütücü (Kiwi KSPG-4811) ile öğütülmüş ve 35-mesh elekten geçirildikten sonra analizlere ve depolama işlemlerine kadar kilitli ambalajlarda -20°C’de muhafaza edilmiştir. Sıcak hava kurutma sisteminde gerçekleştirilen bir kurutma denemesine ait görseller Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Sıcak hava kurutma yöntemi için camlara serilen tarhana hamuru ve son toz ürün

3.2.2.4. Geleneksel kurutma

Tarhana hamurlarının kurutulmasında geleneksel üretimi temsil etmesi ve elde edilen ürünlerin kurutma yöntemleri bakımından karşılaştırılması amacıyla, hazırlanan tarhana hamurları temiz pamuklu bir bez üzerine topaklar halinde serilerek kurutulmuştur (Şekil 3.4). Tarhana hamurlarının kurutulması 96 saat sürmüş olup elde edilen toz ürünler bir öğütücü (Kiwi KSPG-4811) yardımıyla öğütülüp 35 mesh elekten geçirildikten sonra analizlere ve depolama işlemlerine kadar kilitli ambalajlarda -20°C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.4. Geleneksel kurutma yöntemi kurutulan tarhana hamurları

3.2.3. Tarhana tozlarının depolanması ve gerçekleştirilen analizler

Tarhana hamurlarının KDKPK yönteminde kurutulması ile ilgili optimizasyon çalışmasının tamamlanmasının ardından belirlenen optimum koşullarda KDKPK yönteminde üretimler gerçekleştirilmiştir. KPK, SHK ve GK yöntemlerinde de üretimlerin tamamlanmasının ardından elde edilen nihai ürünlerde depolama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen toz tarhanalar kilitli ambalajlarda (Doypack®, üç katmanlı; kraft kağıt – alüminyum – PE) hava almayacak şekilde 25°C’de 90 gün boyunca depolamaya tabii tutulmuştur. Depolamanın belirli günlerinde (0., 15., 30., 60. ve 90. günler) ayrı ayrı ambalajlardan alınan ürünlerin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

3.3. Analizler

3.3.1. Nem ve su aktivitesi

Tarhana hamurlarının ve toz ürünlerin nem içeriği 105°C’de bir kızılötesi nem tayin cihazı (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) ile belirlenmiştir. Su aktivitesi değerleri ise su aktivitesi ölçer (AquaLab 4TE, Decagon Devices Inc, Pulmann, Washington, ABD) kullanılarak 25°C’de ölçülmüştür (Tontul vd. 2018).

3.3.2. Renk analizi

Örneklerin renk değerleri Şahin-Nadeem vd. (2013) tarafından uygulanan yöntemle göre Konica Minolta (CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japonya) renk ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Analiz öncesi cihaz beyaz kalibrasyon plakası kullanılarak kalibre edilmiştir. Yaklaşık 3 gram toz örnek ölçüm kabına alındıktan sonra farklı noktalardan 3 farklı okuma yapılmış ve ölçümlerin ortalaması alınarak örneklerin renk değerleri belirlenmiştir. Örneklerin ton açısı (Hue Angle) ve doygunluk (Chroma) değerleri ölçümlerden elde edilen CIE L, a ve b renk değerleri kullanılarak Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ton açısı } (h^\circ) = \frac{180}{\pi} * \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3.1)$$

$$\text{Doygunluk } (C^*) = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.2)$$

3.3.3. Esmerleşme indeksi

Esmerleşme indeksi (Eİ), ürünlerin CIE skala parametreleri olan L*, a* ve b* değerleri kullanılarak Eşitlik 3.3 ve 3.4 ile hesaplanmıştır (Choi vd. 2017, Wrolstad ve Smith 2017).

$$Eİ = \frac{100(x-0.31)}{0.17} \quad (3.3)$$

$$x = \frac{a^*+1.75L^*}{5.645L^*+(a^*-3.012b^*)} \quad (3.4)$$

3.3.4. pH değeri ve asitlik tayini

Örneklerin pH değerin belirlemek amacıyla 5 g örnek 100 ml distile su ile homojenize edilmiş ve filtre kağıdından süzölmüştür. Dijital pH metrenin (S210, Metler Toledo, İsviçre) probu süzöntü içerisine daldırılmış ve örneklerin pH değeri oda sıcaklığında belirlenmiştir.

Örneklerin asitlik derecesi ise TSE (2004) Tarhana Standardına göre belirlenmiştir. 10 g tarhana örneği tartılarak, üzerine 50 ml nötrale edilmiş % 67'lik etil alkol eklenmiş ve homojenize edilmiştir. Filtre kağıdından süzöldükten sonra süzöntüden 10 ml alınıp üzerine 2-3 damla fenolftalein indikatörü damlatılmış ve 0.1 N sodyum hidroksit ile stabil pembe renk alana kadar titre edilmiştir. Harcanan sodyum hidroksit miktarının 5 ile çarpılmasıyla örneklerin asitlik dereceleri hesaplanmıştır. Standarda göre bu asitlik derecesi kuvvetli veya zayıf asit fark etmeksizin toplam asitlik değerini vermektedir.

3.3.5. Çözünürlük

Toz tarhanaların çözünürlük değeri Cano-Chauca vd. (2005) tarafından belirlenen metotta bazı modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek oda sıcaklığındaki 50 ml distile su ile 600 devir/dakikada manyetik karıştırıcıda 5 dakika çözöndürölmüştür. Karışım sonra 3000 g'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiş ve üst fazdan 20 ml alınarak 105°C'deki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutma aşaması sonrası ağırlık farkı ile örneklerin çözünürlük değeri Eşitlik 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{\Delta m}{m_{20}} * 100 \quad (3.5)$$

Verilen eşitlikte;

Δm : kurutma işleminde tespit edilen ağırlık farkını,

m_{20} : kurutulan 20 mL çözeltide, örneğin tamamen çözönmesi durumunda bulunması gereken kuru madde miktarını ifade etmektedir.

3.3.6. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk

Toz tarhanaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değeri Beristain vd. (2001) tarafından rapor edilen yöntemle göre belirlenmiştir. Yaklaşık 2-3 gram toz tarhana 10 ml hacimli mezür içine aktarılmış ve ilk hacmi (V_0) belirlenmiştir. Yığın yoğunluk toz örnek ağırlığının (m) ilk hacme (V_0) oranı ile, sıkıştırılmış yoğunluk ise yine örnek ağırlığının (m) hacim değışimi gözlenmeyene kadar (100 kere) bir yüzeye vurularak sıkıştırılmış son hacme (V_1) oranı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara ilişkin eşitlikler (Eşitlik 3.6 ve 3.7) aşağıda verilmiştir.

$$\text{Yığın yoğunluğu} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = m/V_0 \quad (3.6)$$

$$\text{Sıkıştırılmış yoğunluk} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = m/V_1 \quad (3.7)$$

3.3.7. Akış özellikleri

Toz tarhanaların akış özellikleri; sıkıştırılmış-yığın yoğunluk değerleri yardımıyla akabilirlik değeri olan Carr İndeks (Carr Index, CI) ve yapışkanlık değeri olan Hausner Oranı (Hausner Ratio, HR) olarak eşitlik 3.8 ve 3.9'a göre hesaplanmıştır (Jinapong vd. 2008).

$$Akabilirlik (CI) = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} * 100 \quad (3.8)$$

$$Yapışkanlık (HR) = \frac{\rho_t}{\rho_b} \quad (3.9)$$

Carr (1965) yaptığı çalışmada, toz ürünlerin Carr Index (CI) değerlerinin, 15'ten küçük olması durumunda akabilirlik ölçütünün çok iyi, 15-20 arasında iyi, 20-35 arasında zayıf, 35-45 arasında kötü ve 45'ten büyük ise çok kötü olarak belirtmiştir.

3.3.8. Higroskopisite

Toz tarhanaların higroskopisite değerlerini belirlemek amacıyla yaklaşık 1 gram örnek petrilere yüzey alanını arttırmak amacıyla yayılmış ve doymuş NaCl çözeltisi (Bağıl nemi oda sıcaklığında %75.3) bulunan desikatörde 25 °C sıcaklıkta 90 dk. süre tutularak nemlendirilmiştir. Süre sonunda toz örneklerin son ağırlıkları üzerinden higroskopisite değerleri eşitlik 3.10'a g nem/100 g kurumadde olarak belirlenmiştir (Koc vd. 2014).

$$Higroskopisite (kg nem/100 kg KM) = (m_{90} - m_0)m_{KM} * 100 \quad (3.10)$$

Verilen eşitlikte;

m_0 : Başlangıç örnek ağırlığını,

m_{90} : 90 dk. Süre sonundaki örnek ağırlığını,

m_{KM} : Kullanılan örneğin kurumadde miktarını ifade etmektedir.

3.3.9. Su ve yağ tutma kapasitesi

Toz tarhana örneklerinin su ve yağ tutma kapasitelerini belirlemek amacıyla yaklaşık 0.1 gram örnek ependorf tüplerine tartılmış ve üzerlerine su tutma kapasitesi için 1.5 ml distile su, yağ tutma kapasitesi için ise 1.5 ml ayçiçek yağı eklenmiştir. Elde edilen karışım 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmiş ve süre sonunda 5000 g'de 30 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrasında üst sıvı kısım ayrılmış ve su-yağ tutmuş katı kısım yeniden tartılmıştır. Örneklerin su-yağ tutma kapasiteleri gravimetrik olarak g su/g km toz örnek olarak hesaplanmıştır (Tontul vd. 2018).

3.3.10. Partikül boyutu

Toz tarhanaların partikül boyut dağılımları lazer ışığı kırınımlı (LLD) partikül boyut ölçüm cihazı (MasterSizer 2000S, Malvern Panalytical, Malvern, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde örnek refraktif indeks değeri 1.52 (Default) olarak kullanılmıştır. D [4, 3] ve D [3, 2] değerleri sırasıyla örnekleri hacim (HAO) ve yüzey (YAO) ağırlıklı ortalama değerlerini; d (0.1), d (0.5) ve d (0.9) değerleri ise oransal ola-

rak partiküllerin sırasıyla %10'unun, %50'sinin ve %90'ının verilen büyüklüğe eşit veya daha küçük boyutlu olduğunu ifade etmektedir. Cihaz yazılımı (Malvern Application Ver. 5.60) kullanılarak toz örneklerin bu değerleri hesaplanmıştır.

3.3.11. Protein miktarı tayini

Örneklerin ham protein miktarı AACC (2009) metodu ile Kjeldahl yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 3-5 gram örnek Kjeldahl tüpüne aktarılmış ve örneklerin üzerine Kjeldahl tableti ve 10 ml sülfürik asit ilave edilmiştir. Karışım Kjeldahl tüpü yakma ünitesine yerleştirilmiş ve 1 saat 300°C'de sonrasında ise 400 °C'de yakılmıştır. Yakma işlemi sonrasında yeşil renge dönen karışımın içerisine 50 ml saf su ilave edilip ve distilasyon cihazına yerleştirilmiştir. Distilasyon cihazının toplama haznesine içerisinde 30 ml %4'lük borik asit ve pH değişimini gözlemlemek için de 3-4 damla indikatör ilave edilmiş erlen yerleştirilmiştir. Distilasyon cihazına yerleştirilen Kjeldahl tüpleri %40'luk NaOH çözeltisi ile distile edildikten sonra distile edilen çözelti toplama haznesindeki erlene damıtılmıştır. Erlende toplanan çözelti 0.1 N HCl ile titre edilmiş ve harcanan HCl miktarına göre protein miktarı eşitlik 3.11'e göre hesaplanmıştır.

$$Protein (\%) = N \times f \times (V_1 - V_0) \times 0.0014 \times CF \times 100 / m \quad (3.11)$$

N: Titrasyonda harcanan HCl çözeltisi normalitesi

V₁: Titrasyonda harcanan HCl çözeltisinin hacmi

V₀: Kör titrasyonda harcanan HCl hacmi

f: Titrasyonda harcanan HCl çözeltisinin faktörü

CF: Kjeldahl azotu – proteine çevirme faktörü (6.25)

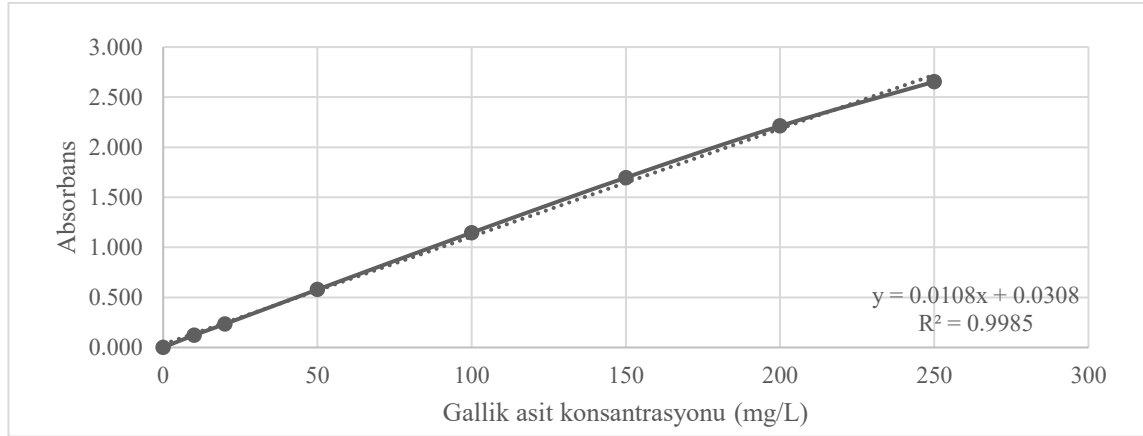
m: Analiz için alınan numune miktarı

3.3.12. Aminoasit profili

Örneklerin aminoasit profilleri HPLC yöntemi ile Akdeniz Üniversitesi Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkez'inden hizmet alımı yoluyla belirlenmiştir.

3.3.13. Toplam fenolik bileşen miktarı

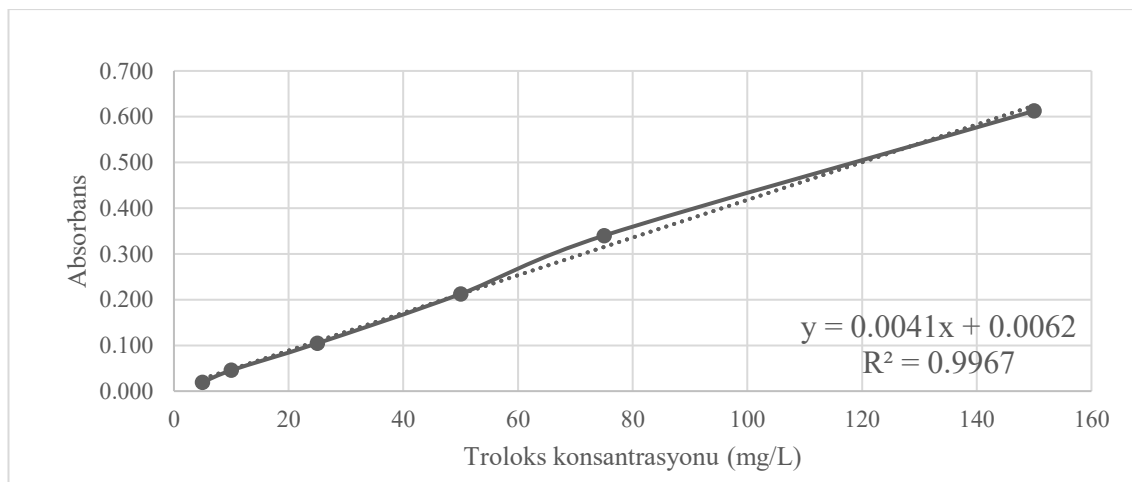
Örneklerin toplam fenolik bileşen miktarı ve antioksidan aktivite analizleri için gerekli ekstraktlar Velioğlu vd. (1998) tarafından uygulana ekstraksiyon prosedürü dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek test tüplerine tartılmış ve 25 ml %80'lik metanol ilave edilerek 60 dakika boyunca ultrasonik banyoda ekstrakte edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar ön denemelerle belirlenen oranda yine %80 metanol ile seyreltilmiştir. Uygun oranda seyreltilen ekstraktlardan 0.5 ml alınarak üzerine sırasıyla 2.5 ml Folin Ciocalteu (0.2 N) ve 2 ml %7.5'lik sodyum karbonat (Na₂CO₃) çözeltileri eklenerek karıştırılmış ve 50°C sıcaklıktaki su banyosunda 5 dk. bekletilmiştir. Bekletilen örnekler daha sonra oda sıcaklığında soğutulmuş ve örneklerin absorbansları aynı şartlarda hazırlanan şahit numuneye (örnek yerine 0.5 ml %80 metanol+2.5 ml Folin Ciocalteu + 2 ml sodyum karbonat) karşı spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800 240 V, Japonya) 760 nm dalga boyunda kaydedilmiştir. Örneklerin toplam fenolik madde miktarları gallik asit standart eğrisi yardımıyla Şekil 3.5'e göre hesaplanmış, sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /100 g kuru madde olarak verilmiştir (Dincer vd. 2012).



Şekil 3.5. Gallik asit standart kurvesi

3.3.14. Antioksidan aktivite

Örneklerin antioksidan aktivite tayininin belirlenmesinde DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalının inhibisyonu yöntemi kullanılmıştır. Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi için hazırlanan ekstraktlar antioksidan aktivite tayini için de kullanılmıştır. Bu amaçla %80 metanolle önceden belirlenen oranda seyreltilmiş ekstraktan 50 µL ependorflara alınmış ve üzerine 950 µL taze hazırlanmış DPPH çözeltisi (60 µM, saf metanolde hazırlanmış) eklenmiştir. Karışım vortekslelendikten sonra karanlık ortamda 30 dakika bekletilmiştir. Örneklerle birlikte şahit numune de (50 µL metanol + 950 µL DPPH çözeltisi) hazırlanmış ve şahit numunenin absorbans değeri bekleme süresinin başında 517 nm de saf metanole karşı kaydedilmiştir. Bekleme süresinin sonunda ise örneklerin absorbans değeri 517 nm’de kaydedilmiş ve şahit numune ile aralarındaki absorbans farklı hesaplanmıştır. Örneklerin antioksidan aktivite değeri aynı koşullarda hazırlanan troloks eğrisi (Şekil 3.6) yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuçlar mg troloks eşdeğeri antioksidan aktivite (TEAA)/ 100 g kuru madde olarak verilmiştir (Fernández-León vd. 2013).



Şekil 3.6. Troloks standart kurvesi

3.3.15. Toplam karotenoid miktarı

Örneklerin toplam karotenoid madde miktarı Meléndez-Martínez vd. (2007) tarafından uygulanan prosedüre göre spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g örnek 20 mL ekstraksiyon çözeltisi ile (hekzan/aseton/metanol, 50:25:25 h/h, %0.1 BHT) homojenize edilmiş ve karışım 6000 devir/dk hızda 15 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrası berrak kısmının absorbens değeri, ekstraksiyon çözeltisine karşı 450 nm dalga boyunda spektrofotometrede kaydedilmiştir. Örneklerin toplam karotenoid madde miktarı β -karoten cinsinden eşitlik 3.12'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam karotenoid miktarı (mg/100g KM)} = \left(\frac{\text{Abs} \times S_f}{2500} \right) * 1000 \quad (3.12)$$

S_f , ürünlerin seyreltme faktörünü, Abs ürünlerin absorbens değerlerini belirtmektedir.

3.3.16. 5-Hidroksimetilfurfural analizi

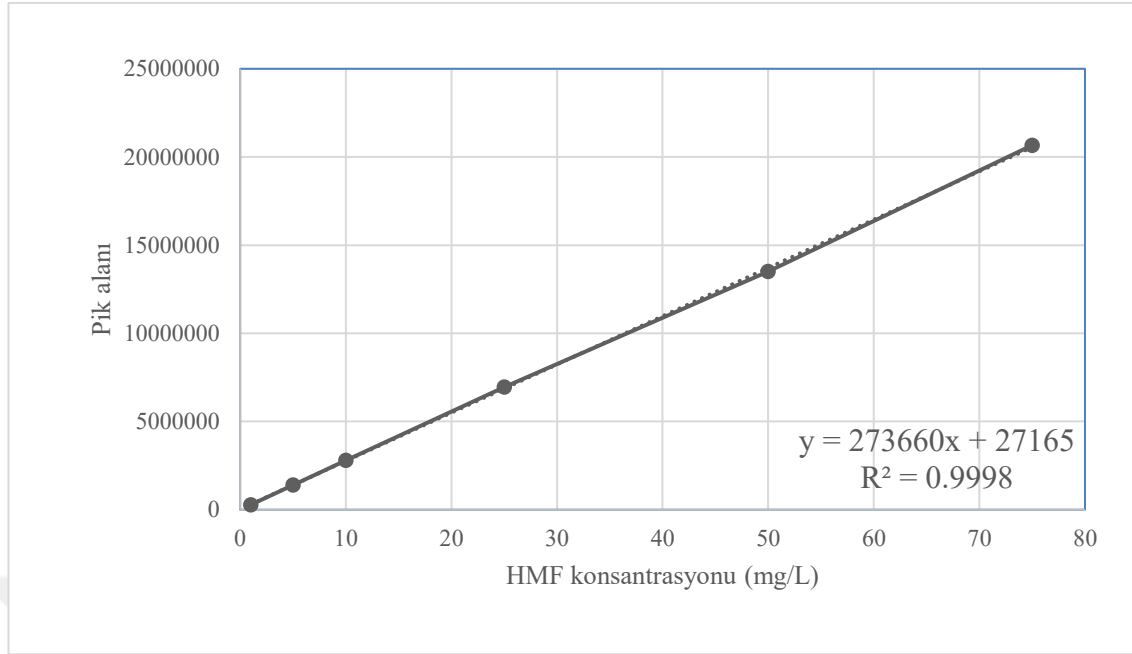
Toz tarhanaların HMF içerikleri Tontul (2017) tarafından kullanılan yöntemle göre kromatografik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g örnek önce 10 ml su ile homojenize edilmiş daha sonra karışım 5000 g 'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası berrak kısımdan 5 ml santrifüj tüpüne aktarılmış ve üzerine 0.5'er ml Carrez I ve Carrez II çözeltileri eklenmiştir. Aynı şartlarda santrifüj edilen karışımın berrak kısmı 0.45 μ m membran filtreden geçirildikten sonra HPLC'de (Shimadzu LC20 AD, Japonya) analiz edilmiştir. HPLC sistemi DGU-20A5 degaz ünitesi, LC-20AD pompa ünitesi, SIL-20AD otomatik örnekleyici, CTO-20AC kolon fırını ve SPD-20M20A diode array dedektörden oluşmaktadır. HPLC analiz koşulları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Örneklerin HMF miktarı aynı koşullarda elde edilen belirli konsantrasyonlara ait standartların pik alanları kullanılarak oluşturulan standart eğri (Şekil 3.7) yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuçlar mg HMF/100 g kuru madde olarak verilmiştir.

Carrez I çözeltisi: 150 g potasyum hekzasiyanoferrat (II) suda çözülür ve 1000 mL'ye tamamlanır.

Carrez II çözeltisi: 300 g çinko sülfat heptahidrat suda çözülür ve 1000 mL'ye tamamlanır.

Çizelge 3.2: HMF analizi için HPLC koşulları

Kolon	C18 (ters faz, 250 x 4.6 mm, 5 μ m)
Kolon fırını sıcaklığı	32°C
Hareketli faz	Asetonitril/ su (5/95; v/v)
Akış hızı	0.5 mL/dk.
Dedektör	Diode array dedektör (DAD), 280 nm
Enjeksiyon hacmi	20 μ L
Analiz süresi	20 dk

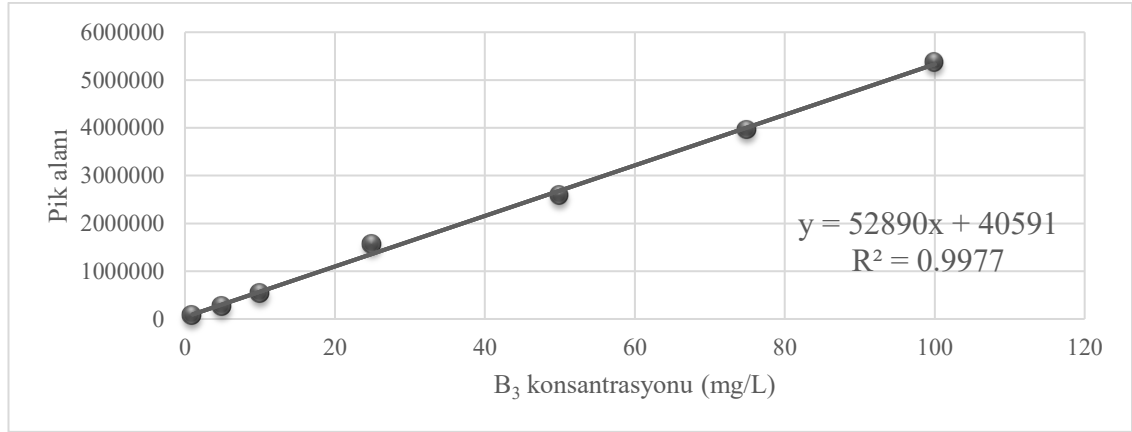
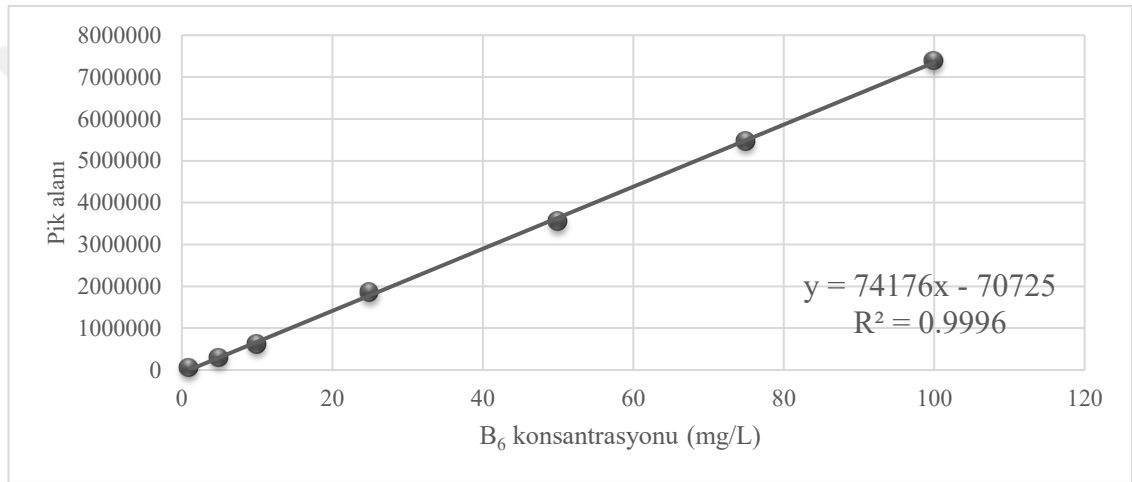
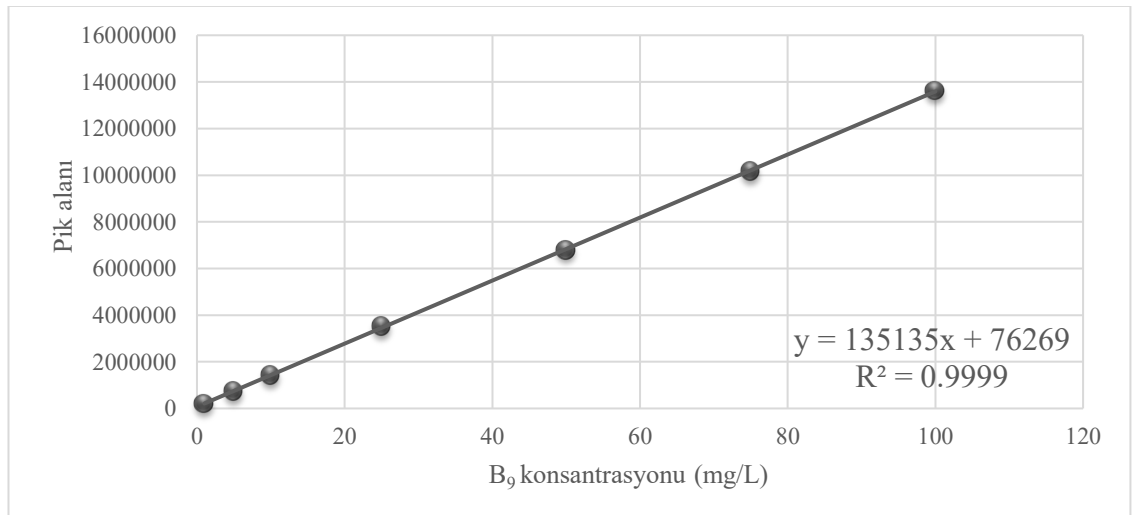


Şekil 3.7. HMF standart kurvesi

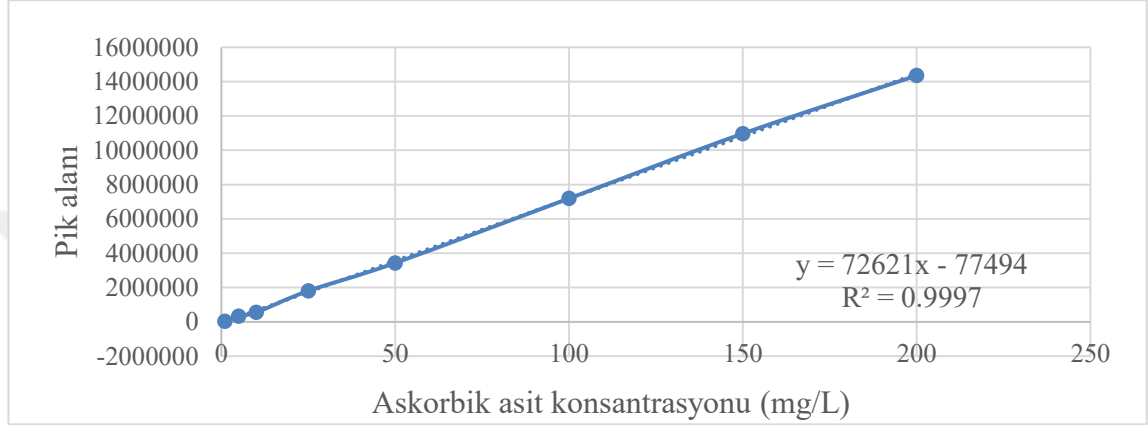
3.3.17. Suda çözünür vitamin tayini

Örneklerin suda çözünür vitamin içerikleri, B grubu vitaminlerinden niasin (B_3), piridoksin (B_6), folik asit (B_9) ve C vitamini (Askorbik asit) miktarları belirlenerek hesaplanmıştır.

Suda çözünür vitaminlerden B grubu vitaminlerinin ekstraksiyonu için Certel vd. (2007)'e göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 2 g örnek 16 ml $0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ çözeltisi ile karıştırılmış ve karışım otoklavda 121°C 'de 30 dakika ısıtılma tabii tutulmuştur. Örnekler soğutulduktan sonra üzerine 4 ml n-hekzan eklenmiş ve karışım homojenize edilerek 5000 g 'de 15 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası hekzan fazı altında kalan berrak kısım $0.45 \mu\text{m}$ membran filtreden geçirildikten sonra HPLC'de (Shimadzu LC20 AD, Japonya) analiz edilmiştir (Certel vd. 2007). HPLC analiz koşulları Ekinci ve Kadakal (2005) tarafından kullanılan yöntemle göre ayarlanmıştır. Bu yöntemde kolon sıcaklığı: 25°C , Mobil faz: $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ KH}_2\text{P}_4\text{O}_7$ (pH:7) / metanol (90:10 v/v)-izokratik akış, Akış hızı: 0.7 ml/dk , Analiz süresi: 40 dakikadır. Örneklerin vitaminlerinden B_3 , B_6 ve B_9 vitamin içerikleri saf standartlarından farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler yardımıyla oluşturulan kurveler üzerinden hesaplanmıştır. Dedektör B_3 tespiti için 261 nm; B_6 için 324 nm ve B_9 için ise 282 nm dalga boyuna ayarlanmıştır. Bu vitaminlere ait pikler iç standartlarla test edilerek doğrulanmıştır. Standartlara ait kurveler Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.

Şekil 3.8. B₃ standart kurvesiŞekil 3.9. B₆ standart kurvesiŞekil 3.10. B₉ standart kurvesi

Örneklerin L-Askorbik asit içerikleri ise Asami vd. (2003) tarafından kullanılan kromatografik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek 10 ml metafosforik asit çözeltisi (%4.5) ile homojenize edilmiş ve 5000 g 'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası berrak kısım 0.45 µm membran filtreden geçirildikten sonra HPLC'de (Shimadzu LC20 AD, Japonya) analiz edilmiştir. HPLC şartları: Kolon sıcaklığı: 35 °C, Mobil faz: Ultra saf su, pH 2.2 (Sülfürik asit ile ayarlanmış), Akış hızı: 0.6 mL/dk, Analiz süresi: 15 dakika. Örneklerin Askorbik asit miktarı aynı koşullarda elde edilen belirli konsantrasyonlara ait standartların pik alanları kullanılarak oluşturulan standart eğri (Şekil 3.11) yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. Askorbik asit standart kurvesi

3.3.18. Uçucu bileşen analizi

Örneklerin uçucu bileşen tayini Özdemir vd. 2019 tarafından rapor edilen SPME metodu modifiye edilerek GC-MS (Shimadzu GCMS-QP2010 Plus, Tokyo, Japonya) ile belirlenmiştir. Bu amaçla 0.5 g örnek 20 ml'lik viallere aktarılmış ve 50°C sıcaklıkta ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Vialler 500 d/dk hızda karıştırıldıktan sonra 10 dk ön inkübasyona bırakılmış daha sonra 5 dk süre ile uçucu bileşenlerin fibere [50/30 µm SPME (Supelco, Pensilvanya, ABD)] adsorpsiyonu sağlanmıştır. Ekstraksiyon sonunda uçucu bileşenlerin desorpsiyonu için fiber enjeksiyon bloğunda 5 dk bekletilmiştir. GC-MS analiz koşulları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. GC-MS analiz şartları

Kolon	TRB5-MS
Fırını sıcaklığı	40°C (3dk bekleme), 4°C/dk hızla 240°C yükselme (10dk bekleme)
Taşıyıcı gaz	He (1.61 mL/dk)
Enjeksiyon modu	Split 20
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı	250 °C
Ara yüzey sıcaklığı	250
İyon kaynağı sıcaklığı	200
Kütle aralığı	35-350 amu
Tarama hızı	769 tarama/s
Analiz süresi	63 dk

Elde edilen kromatogram pikleri, Wiley ve NIST kütüphaneleri ile karşılaştırılarak tanımlanmış, bu tanımlamalarda minimum benzerlik oranı %70 olarak kabul edilmiştir. Uçucu bileşenlerin ön değerlendirmesinde yalnızca 100.000 alan biriminin üzerindeki pikler dikkate alınarak yüksek kantitatif yoğunluğa sahip bileşenler seçilmiştir. Ancak bu yöntem, aroma profiline katkı sağlayabilecek düşük konsantrasyondaki aroma aktif bileşenleri göz ardı edebileceğinden, kromatogramlar 0 alan biriminden itibaren detaylı biçimde yeniden incelenmiş ve aromaya katkı sağlayan bileşenler ayrıca değerlendirilmeye alınmıştır.

3.3.19. Mikrobiyolojik analizler

TS 2282 tarhana standardı gereği örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ile maya ve küf sayısı analiz edilmiştir. Örneklerden 1 g alınarak aseptik koşullarda hazırlanan 9 ml Ringer solüsyonunda çözündürülmüş ve ardından uygun oranda seyreltilmiştir. TMAB için, PCA (Plate Count Agar) besiyerinde dökme plak yöntemiyle ekimler yapılmış ve 30 °C’de 3 gün inkübasyona bırakılmıştır. Maya küf sayımı için ise PDA (Potato Dextrose Agar) besiyerine yayma plak yöntemiyle ekim yapılmış ve 25 °C’de 3-5 gün inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda petriyerler sayılmış ve sonuçlar log₁₀ kob/g cinsinden verilmiştir (Erbaş vd. 2005). Tüm ekim ve seyreltme işlemleri aseptik koşullarda gerçekleştirilmiştir.

3.3.20. Duyusal analiz

Tarhana örneklerinin depolama başlangıcında ve sonunda (0. ve 90. Günler) duyu analizi Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden 10 kişilik eğitimli panelistler gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 14 gram tarhana örneği 200 ml suda çözülmüş ve 12 dakika boyunca kaynatılmıştır. Tarhana çorbasına aşına olan panelistler, çorbaları renk, lezzet, kıvam ve genel kabul edilebilirlik açısından 1-hiç beğenmeme ve 5-çok beğenme olmak üzere 5 puanlık bir hedonik ölçek kullanarak puanlamışlardır. Örnekler, herhangi bir önyargıya karşı önlem olarak 1 harf 3 sayı olacak şekilde kodlanmış ve panelistlere rastgele sunulmuştur (Erbaş 2005, Bilgiçli 2006). Duyusal analiz sonuçları örümcek ağı grafiğine aktarılmıştır.

3.3.21. İstatistiksel analizler

Tez çalışması kapsamında kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma koşullarının optimizasyonu yanıt yüzey metodu (Response Surface) Optimal Custom deneme deseni Design Expert 13 paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında uygun modelin seçiminde model uyumluluğu ($p < 0.05$), model uyum eksikliği (lack of fit değeri, $p > 0.05$), en yüksek regresyon (R^2) ve düzeltilmiş regresyon katsayıları ($R^2_{döl}$) kriterleri dikkate alınmıştır. Bu şartları sağlayan modeller kullanılarak bağımsız değişkenlerin optimum şartları istenebilirlik fonksiyonundan (desirability) yararlanılarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında kurutma üretimleri 2 tekerrürlü, analizler ise 2 paralelli olarak yürütülmüştür. Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına ait istatistiksel değerlendirmeler SAS 9.0 (Statistical Analysis System) paket programında yapılmıştır. Analizlerle elde edilen verilerde istatistiksel açıdan önemli ($p < 0.05$) bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile ortaya koyulmuştur.

3.3.22. Temel bileşen analizi

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının uçucu bileşen profili belirlendikten sonra sonuçların daha kolay anlaşılması adına temel bileşen analizi ve hiyerarşik kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz XLSTAT (Addinsoft, New York, USA) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kızılötesi Destekli Kırınım Pencerele Kurutma Optimizasyonu

Tarhana hamurunun kızılötesi destekli kırınım pencerele kurutma sisteminde kurutulmasında kurutma şartlarının belirlenmesi maçıyla gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları Optimal Özel Tasarım deneme desenine göre yürütülmüştür. Optimizasyon çalışmalarında bağımsız değişkenler sirkülasyon suyu sıcaklığı, serme kalınlığı, ürün yüzey sıcaklığı; bağımlı değişkenler ise kuruma süresi, esmerleşme indeksi, suda çözünür vitamin miktarı (Askorbik asit ve analiz edilen B grubu vitaminleri ((B₃), (B₆), (B₉)) ayrı ayrı) belirlenmiştir. Optimum koşulları belirlemede bağımlı değişkenler minimum kuruma süresi, maksimum suda çözünür vitamin (Askorbik asit ve B₃, B₆, B₉ vitaminleri) miktarı ve minimum esmerleşme indeksi seçilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasına ait deneme deseni ve bağımsız değişkenlerin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kızılötesi destekli kırınım pencerele kurutma koşullarının optimizasyon deneme deseni ve bağımsız değişken sonuçları

Desen no	Serme Kalınlığı (mm)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Sirkülasyon Suyu Sıcaklığı (°C)	Kuruma süresi (dk)	Esmerleşme İndeksi	Askorbik asit miktarı (mg/100 g km)	B grubu vitamin miktarı (mg/100 g km)
1	2	40	90	48	84.87	171.01	18.77
2	1	40	70	69	91.09	76.20	14.32
3	2	40	90	49	84.16	173.02	19.05
4	2	40	60	79	94.24	80.71	13.90
5	2	36	80	62	86.46	120.40	13.86
6	3	36	80	65	87.28	85.97	15.46
7	3	32	60	89	94.23	53.63	12.58
8	3	36	80	69	87.31	104.49	12.26
9	2	36	80	64	85.45	116.40	14.36
10	2	32	80	62	89.04	99.58	13.30
11	2	36	60	82	92.56	59.27	12.44
12	1	40	90	42	82.01	212.20	18.07
13	3	40	60	82	93.73	57.28	12.29
14	1	36	90	39	83.47	209.80	15.62
15	3	32	90	55	84.16	128.97	15.46
16	1	32	80	47	85.75	148.32	15.51
17	2	32	60	84	92.18	55.51	12.58
18	2	36	80	62	87.03	116.40	13.65
19	1	40	70	67	91.85	76.21	14.53
20	1	32	60	74	92.49	62.65	12.91

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarında bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler (kuruma süresi, esmerleşme indeksi, suda çözünür vitamin miktarı (Askor-

bik asit ve analiz edilen B grubu vitaminleri ((B₃), (B₆), (B₉)) üzerine etkisinin analiz edilmesinde model uyumsuzluğu, varyasyon katsayısı (CV), saf hata, kalıntı hata kareler toplamı (PRESS), regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{dzt}), tahmini belirleme katsayısı (R^2_{tah}) ve yeterli kesinlik parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, modelin optimizasyon yanıtını anlamlı bir şekilde yansıtip yansıtmadığına model uyumsuzluğundan kaynaklanan hatanın önemsiz ve regresyondan kaynaklanan varyasyonun %95 güvenlik seviyesinde önemli olması koşuluyla karar verilmiştir (Koç 2015).

Bağımlı değişkenleri ifade eden modellerin hesaplanan deneysel veriyi hangi ölçüde karşıladığı regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{dzt}), ve varyasyon katsayısı (CV) hesaplanarak belirlenmiştir. Modellerin uygunluğunun test edildiği bu istatistiksel değerlere Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te yer verilmiştir. Deneysel verilerin uygun model tarafından açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı olarak ifade edilen R^2 değerleri, elde edilen tüm modellerde $R^2 > 0.8870$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler modelin deneysel verileri yüksek doğrulukta temsil ettiğini göstermektedir. Temsil edilen modele yeni terimlerin eklenmesi, istatistiksel olarak önemsiz olsa bile R^2 'yi arttırmaktadır. Bu sebeple düzeltilmiş R^2 değerinin de modelin bağımlı değişkenler için uygunluğunun test edilmesinde kullanılması önerilmektedir. Bağımlı değişkenleri temsil eden tüm modellerde düzeltilmiş R^2 değeri 0.9876 ile 0.7853 arasında değişmektedir. Düzeltilmiş R^2 ve R^2 değerlerinin birbirine oldukça yakın olması temsil eden modellerde istatistiksel açıdan önemsiz terimlerin olmadığı ve model uygunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir (Myers ve Montgomery 1995). Deneysel verilerdeki kalıntı varyasyonunun ortalamaya bağlı bir ölçüsü olan varyasyon katsayısının (CV) büyük değerleri deneysel verilerin ortalamadan çok fazla saptığını, küçük değerleri ise deneysel verilerin hemen hemen ortalamaya çok yakın olduğunu temsil etmektedir (Lazić 2004). Çizelgeler incelendiğinde bağımlı değişkenlerin CV değerlerinin 1.22 ve 9.19 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler küçük değerler olduğu için bağımlı değişkenlerin deneysel verilerin ortalama değerlere yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bağımlı değişkenleri temsil eden modellerin daha sonra yapılabilecek denemelerde tahminleme modeli olarak kullanılabilmesi için yeterli kesinlik ve PRESS istatistikleri de kullanılmaktadır. Bu doğrultuda yeterli kesinlik değerlerinin 4'ten büyük olması gerektiği vurgulanmıştır (Myers ve Montgomery 1995). Bu çalışmadaki tüm bağımlı değişkenlerin modellerinin yeterli kesinlik değerleri 4'ten büyüktür.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine istatistiksel etkileri alt başlıklar halinde incelenmiştir.

4.1.1. Kuruma süresinin modelin yanıtı olarak incelenmesi

Farklı kurutma koşullarında kurutulan tarhanaların kuruma süreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde kuruma sürelerinin 39 ve 89 dakika arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Kuruma süresi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiş. Analiz değişkenlerinin %95 güven seviyesinde etkilerini gösteren ANOVA tablosu Çizelge 4.2'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresi üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

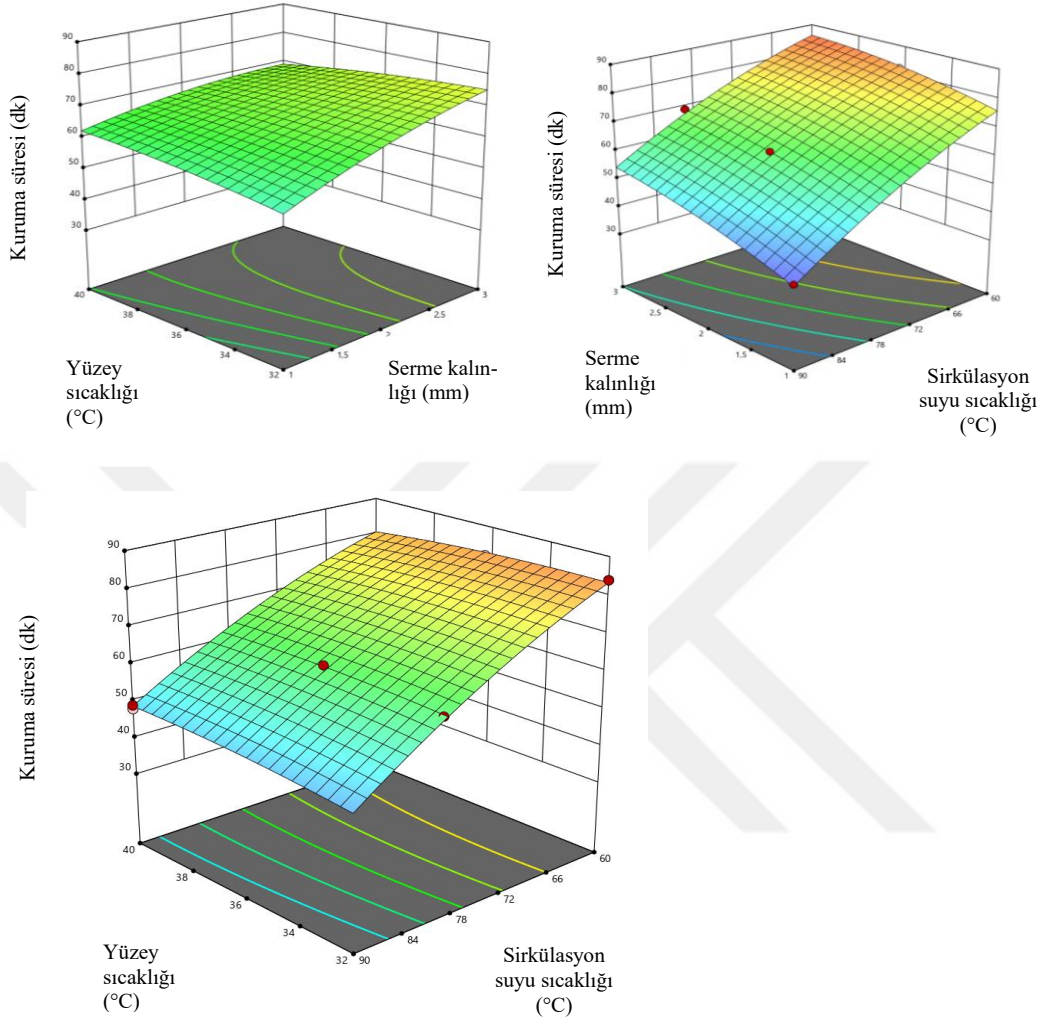
Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	9	3999.20	< 0.0001**
A	1	384.40	< 0.0001**
B	1	0.0211	0.9298
C	1	3114.84	< 0.0001**
AB	1	63.60	0.0006**
AC	1	11.41	0.0618
BC	1	16.05	0.0318*
A ²	1	15.20	0.0356*
B ²	1	2.70	0.3303
C ²	1	22.32	0.0148*
Kalıntı	10	25.80	
Model uyumsuzluğu	5	12.63	0.5176
Saf hata	5	13.17	
Toplam	19	4025.00	

Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Kuadratik	0.9936	0.9878	0.9634	2.49	147.42	45.1812

**p < 0.01, *p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-serme kalınlığı, B-yüzey sıcaklığı, C- sirkülasyon suyu sıcaklığı

ANOVA tablosu incelendiğinde, kuruma süresinin model ile istatistiksel açıdan uyumlu ($p < 0.01$) olduğu, model uyumsuzluğunun ise istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmektedir. Model denkleminin R^2 değerinin 0.9936 ve düzenlenmiş R^2 değerinin ise 0.9634 olduğu bu sayede modelin kuruma süresini temsil etmede başarılı olduğu değerlendirilmiştir. Kuruma süresi üzerine serme kalınlığı (A) ve sirkülasyon suyu sıcaklığının (C) tekli interaksiyonlarının; AxB, BxC, AxA ve CxC ikili interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli düzeyde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sirkülasyon suyu sıcaklığının artması ile film üzerine serilen üründen uzaklaşması gereken nem miktarı daha hızlı bir şekilde uzaklaştığı için, sıcaklık arttıkça kuruma süresi kısalmıştır. Ayrıca ürün serme kalınlığının artması ile birim alanda kuruyacak ürün miktarı artmış olup kuruma süresi uzamıştır. Bu etkiler eşitlik 4.1’de de açıkça görülmektedir. Serme kalınlığının katsayısını pozitif olduğu yani serme kalınlığının artmasıyla kuruma süresinin de artacağı, sirkülasyon suyu sıcaklığının katsayısının negatif olduğu yani sirkülasyon suyu sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısılacağı anlaşılmaktadır. Kuruma süresi için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.1’deki ikinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir. Ayrıca kurutma koşullarının kuruma süresi üzerine etkinliğini görmek için elde edilen modeller kullanılarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.1). 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilirken bağımsız değişkenlerden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutularak diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları oluşturulmuştur.

$$\text{Kuruma süresi} = 6.52A + 0.0445B - 17.33C - 3.07AB + 1.43AB + 1.50BC - 1.86A^2 - 0.9097B^2 - 2.94C^2 \quad (\text{Eşitlik 4.1})$$



Şekil 4.1. Bağımsız değişkenlerin kuruma süresi üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri

4.1.2. Esmerleşme indeksinin modelin yanıtı olarak incelenmesi

Farklı kurutma koşullarında kurutulan tarhanaların esmerleşme indeksleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde esmerleşme indeksi değerleri 82.01 ve 94.24 arasında değiştiği görülmektedir. Esmerleşme indeksi üzerine bağımsız değişkenlerin etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz değişkenlerinin %95 güven seviyesinde etkilerini gösteren ANOVA tablosu Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bağımsız değişkenlerin esmerleşme indeksi üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	3	283.09	< 0.0001**
A	1	1.78	0.2333
B	1	11.40	0.0028**
C	1	275.81	< 0.0001**
Kalıntı	16	18.56	
Model uyumsuzluğu	11	16.74	0.0633
Saf hata	5	1.82	
Toplam	19	311.54	

Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Linear	0.9385	0.9269	0.9082	1.22	27.68	22.5411

**p < 0.01, *p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-serme kalınlığı, B-yüzey sıcaklığı, C- sirkülasyon suyu sıcaklığı

ANOVA tablosu incelendiğinde, esmerleşme indeksinin linear model ile istatistiksel açıdan uyumlu ($p < 0.01$) olduğu, model uyumsuzluğunun ise istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmektedir. Model denkleminin R^2 değerinin 0.9385 ve düzenlenmiş R^2 değerinin ise 0.9269 olduğu belirlenmiştir. Esmerleşme indeksi için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.2'deki birinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir.

$$\text{Esmerleşme indeksi: } 0.4096A + 0.3362B - 4.85C \quad (\text{Eşitlik 4.2})$$

4.1.3. Askorbik asit miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi

Farklı kurutma koşullarında kurutulan tarhanaların Askorbik asit miktarları Çizelge 4.1'de verilmiş olup, değerler 53.63 ve 212.2 mg/100 g km arasında değişmektedir. Askorbik asit miktarı üzerine bağımsız değişkenlerin etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiş. Analiz değişkenlerinin %95 güven seviyesinde etkilerini gösteren ANOVA tablosu Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, Askorbik asit miktarının model ile istatistiksel açıdan uyumlu ($p < 0.01$) olduğu, model uyumsuzluğunun ise istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmektedir. Model denkleminin R^2 değerinin 0.9784 ve düzenlenmiş R^2 değerinin ise 0.9590 olduğu modelin Askorbik asit içeriğini temsil etmede başarılı olduğu değerlendirilmiştir. Askorbik asit miktarı üzerine serme kalınlığı (A) ve sirkülasyon suyu sıcaklığının (C) tekli interaksiyonlarının; Ax C ve Cx C ikili interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Bağımsız değişkenlerin Askorbik asit miktarı üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	9	46685.06	0.0011**
A	1	3117.47	0.0003**
B	1	36.13	0.5666
C	1	33465.20	< 0.0001**
AB	1	218.94	0.1753
AC	1	1819.41	0.0018**
BC	1	4.97	0.8304
A ²	1	0.6972	0.9362
B ²	1	100.27	0.3468
C ²	1	1977.69	0.0014**
Kalıntı	10	1028.88	
Model uyumsuzluğu	5	844.69	0.0600
Saf hata	5	184.19	
Toplam	19	47713.94	

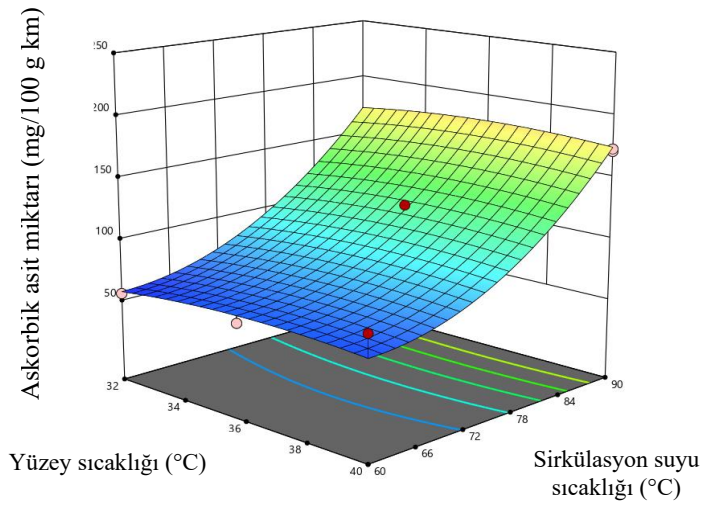
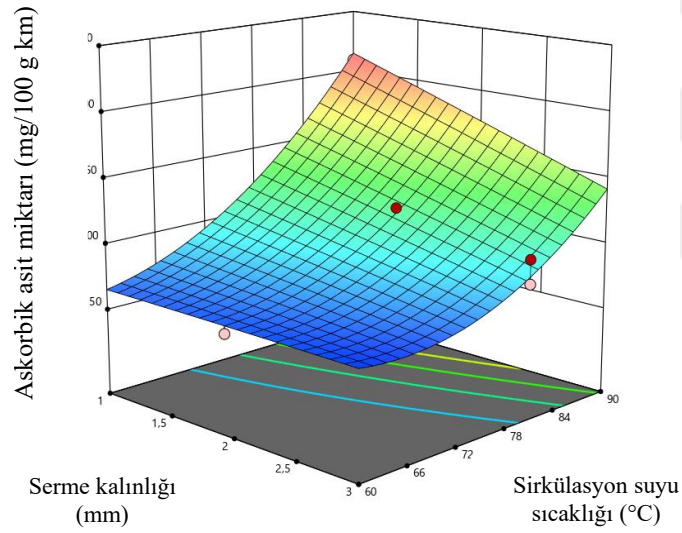
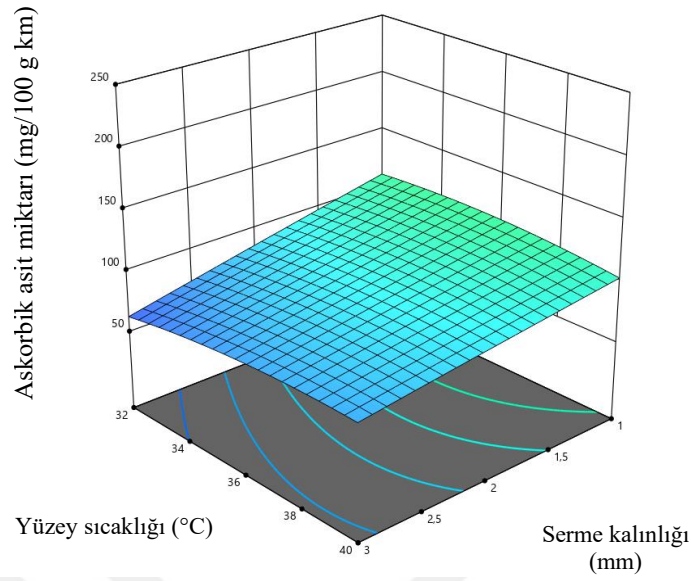
Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Kuadratik	0.9784	0.9590	0.8746	9.19	5984.70	22.9579

**p < 0.01, *p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-serme kalınlığı, B-yüzey sıcaklığı, C- sirkülasyon suyu sıcaklığı

Askorbik asit miktarı için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.3'teki ikinci dereceden bir model eşitliği elde edilmiştir. Ayrıca kurutma koşullarının Askorbik asit miktarı üzerine etkisini gözlemlemek için 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.2). 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilirken bağımsız değişkenlerden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutularak diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları oluşturulmuştur.

$$\text{Askorbik asit miktarı (mg/100 g km)} = -18.56A + 1.84B + 56.82C + 5.69AB - 18.08AC - 0.8345BC - 0.3981A^2 - 5.54B^2 + 27.69C^2 \quad (\text{Eşitlik 4.3})$$

Eşitlik 4.3 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, serme kalınlığının artmasıyla Askorbik asit miktarının azaldığı, sirkülasyon suyu sıcaklığının artmasıyla da kuruma süresi kısaldığı için Askorbik asit degradasyonunun azaldığı ve Askorbik asit miktarının arttığı görülmektedir. Manso vd. (2001) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada; sıcaklık ve zamana bağlı Askorbik asitin degradasyon kinetiği incenmiş ve sıcaklığa maruz kalma süresinin artmasıyla Askorbik asitin parçalanmasının hızlandığı ve parçalanma ürünlerinin ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Bahsedilen çalışma ile tezdeki optimizasyon verileri paralel sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin Askorbik asit miktarı üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri

4.1.4. B grubu vitamin miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi

Farklı kurutma koşullarında kurutulan tarhanaların B grubu vitamin toplam miktarları Çizelge 4.1’de verilmiş olup, değerler 12.26 ve 19.05 mg/100 g km arasında değişmektedir. B grubu vitaminlerinin toplam miktarı üzerine bağımsız değişkenlerin etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz değişkenlerinin %95 güven seviyesinde etkilerini gösteren ANOVA tablosu Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bağımsız değişkenlerin B grubu vitaminlerin miktarı üzerine etkisini gösteren ANOVA tablosu ve model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistiksel veriler

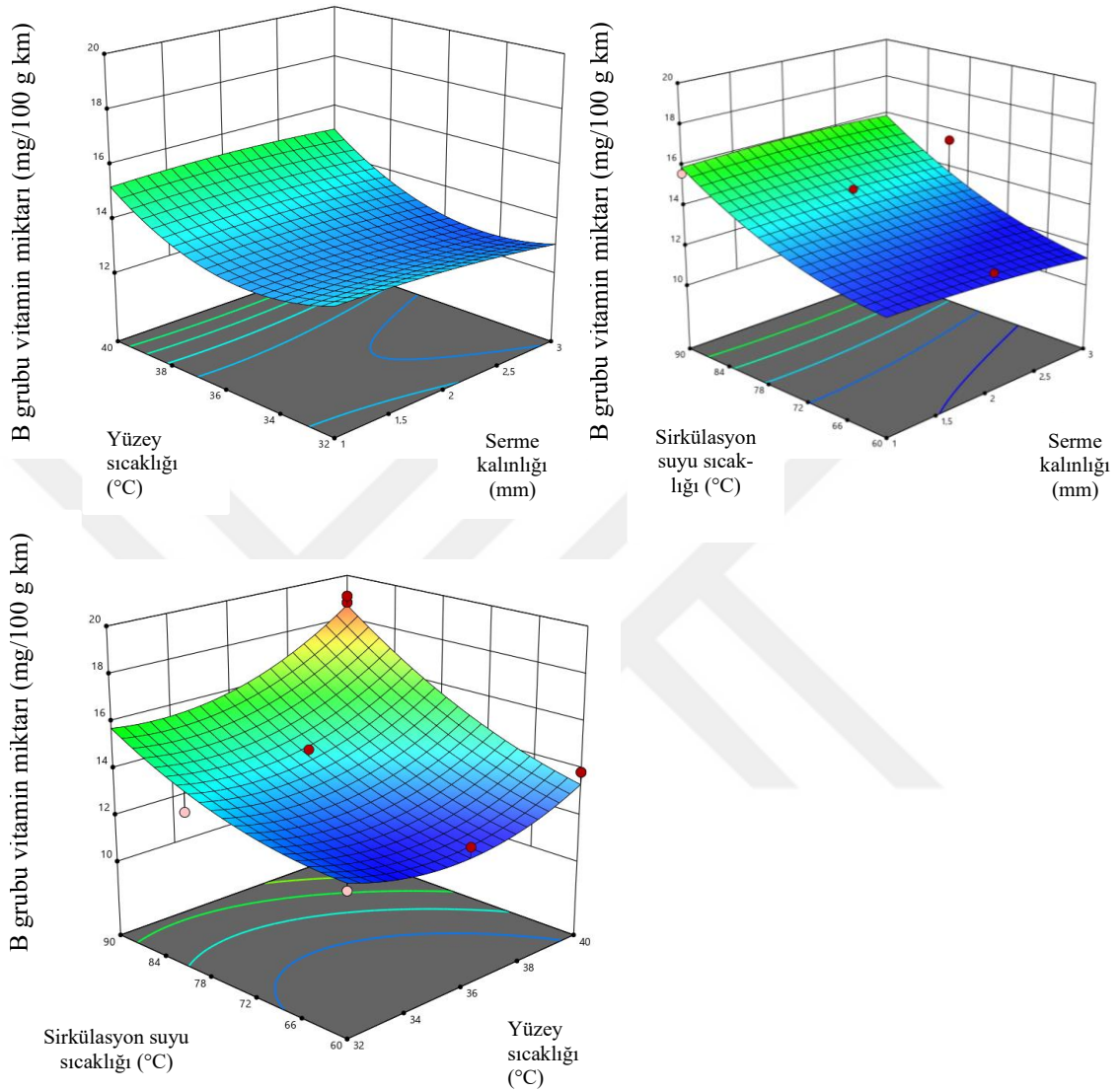
Varyasyon kaynakları	SD	Kareler toplamı	p değeri
Model	9	73.38	0.0011*
A	1	0.4713	0.4938
B	1	7.48	0.0179*
C	1	43.12	< 0.0001**
AB	1	0.1852	0.6657
AC	1	0.2628	0.6075
BC	1	2.58	0.0273*
A ²	1	0.0882	0.7650
B ²	1	4.29	0.0478*
C ²	1	1.30	0.2662
Kalıntı	10	9.35	
Model uyumsuzluğu	5	3.91	0.6376
Saf hata	5	5.44	
Toplam	19	82.73	

Model	R ²	R ² _{dzl}	R ² _{tah}	CV %	PRESS	Yeterli kesinlik
Kuadratik	0.8870	0.7853	0.6197	6.65	48.01	9.7505

**p <0.01, *p <0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli, A-serme kalınlığı, B-yüzey sıcaklığı, C- sirkülasyon suyu sıcaklığı

ANOVA tablosunda, B grubu vitaminlerin miktarının model ile istatistiksel açıdan uyumlu ($p < 0.01$) olduğu, model uyumsuzluğunun ise istatistiksel açıdan önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmektedir. Model denkleminin R² değerinin 0,8870 ve düzenlenmiş R² değerinin ise 0,7853 olduğu belirlenmiştir. B grubu vitaminlerin miktarı üzerine Yüzey sıcaklığı (B) ve sirkülasyon suyu sıcaklığı (C) tekli interaksiyonlarının; BxC ve BxB ikili interaksiyonlarının istatistiksel açıdan önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir. B grubu vitaminlerin miktarı için varyasyon kaynakları kullanılarak Eşitlik 4.4’teki ikinci dereceden bir model eşitliği hesaplanmıştır. Ayrıca kurutma koşullarının bu bağımlı değişken üzerine etkisini gözlemlemek için 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.3). 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri elde edilirken bağımsız değişkenlerden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutularak diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları oluşturulmuştur.

$$\text{B grubu vitamin miktarı (mg/100 g km)} = -0.2282A + 0.8389B + 2.04C + 0.1656AB + 0.2173AC + 0.606BC + 0.1419A^2 + 1.15B^2 + 0.70C^2 \quad (\text{Eşitlik 4.4})$$



Şekil 4.3. Bağımsız değişkenlerin B grubu vitamin miktarı üzerine etkisini gösteren 3 boyutlu yanıt yüzey grafikleri

4.1.5. Kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sisteminde optimum kurutma koşulları

Kurutma denemeleri sonrasında minimum kuruma süresi, maksimum suda çözünür vitamin (Askorbik asit ve B₃, B₆, B₉ vitaminleri) miktarı ve minimum esmerleşme indeksi için istatistiksel açıdan önemli bulunan faktörler birlikte değerlendirilerek istenebilirlik fonksiyonunun en yüksek değerinde (0.950) olduğu optimum kurutma koşulları belirlenmiştir. Belirlenen optimum koşullar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Optimum koşullarda üretilen ürünlerin doğrulama testi sonuçları ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Optimum kurutma koşulları

	Serme Kalınlığı (mm)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Sirkülasyon suyu sıcaklığı (°C)	Kuruma süresi (dk)	Esmerleşme İndeksi	Askorbik asit miktarı (mg/100 g km)	B grubu vitamin miktarı (mg/100 g km)
Minimum	1	32	60	42	82.01	53.63	12.26
Optimum	1.5	36	85	45	83.03	184.40	15.79
Maksimum	3	40	90	89	94.24	212.2	19.05

Çizelge 4.7. Optimum kurutma koşullarda üretilen ürünlerin teorik ve deneysel sonuçları

	Serme Kalınlığı (mm)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Sirkülasyon suyu sıcaklığı (°C)		Kuruma süresi (dk)	Esmerleşme İndeksi	Askorbik asit miktarı (mg/100 g km)	B grubu vitamin miktarı (mg/100 g km)
Optimum	1.5	36	85	Tahminlenen değer	45	83.03	184.40	15.79
				Deneysel değer	47	85,25	171.89	14.63
				Hata (%)	4.26	2.67	7.03	7.35

$$\text{Hata (\%)} = ((d_{\text{deneysel}} - d_{\text{tahminlenen}}) / d_{\text{deneysel}}) \times 100$$

Optimum noktada gerçekleştirilen doğrulama denemelerinin sonuçları incelendiğinde programın önerdiği modelde tahminlenen değerlere ile deneysel değerlerin birbirine yakın olduğu ve hata değerlerinin %10'un altında olduğu belirlenmiştir.

4.2. Tarhana Hamurunun Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Bölüm 3.2.1’de belirtilen şekilde hazırlanan ve 72 saat fermentasyona bırakılan tarhana hamurlarının çeşitli fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Tarhana hamurlarının pH ve asitlik derecesi değerleri 0-24-48 ve 72. saatlerde olmak üzere takip edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Çizelge 4.9 incelendiğinde, fermentasyon süresi arttıkça laktik asit fermentasyonundan dolayı pH değerinin azaldığı buna bağlı olarak asitlik derecesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Nitekim Karagozlu vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da tarhana hamurlarının nem içeriğinin %47, pH değerinin ise 4.97 olup fermentasyon süresinde pH değerinin azaldığı rapor edilmiştir.

Çizelge 4.8. Tarhana hamurunun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri

Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikler	Tarhana Hamuru
Nem (%)	45.21±0.93
Su aktivitesi	0.888±0.00
Protein miktarı (% km)	21.11±0.21
Toplam fenolik madde (mg GAE /100g km)	410.76±3.76
Antioksidan aktivite (mg TEAA/100g km)	142.42±5.39
Toplam karotenoid miktarı (mg/kg km)	20.39±0.24
Askorbik asit (mg/kg km)	823.04±10.45
B ₃ vitamin miktarı (mg/kg km)	137.93±0.60
B ₆ vitamin miktarı (mg/kg km)	71.51±1.98
B ₉ vitamin miktarı (mg/kg km)	13.84±0.22
TMAB (log ₁₀ cfu/g)	6.60±0.06
Maya/Küf (log ₁₀ cfu/g)	8.03±0.25

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tarhana hamurunun fermentasyon süresince pH ve asitlik derecesi değerleri

Fermentasyon süreleri	pH	Asitlik Derecesi
Başlangıç	5.76±0.02	6.25±0.25
24 saat	5.27±0.48	6.75±0.25
48 saat	4.76±0.03	7.00±0.00
72 saat	4.72±0.01	8.00±1.00

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Tarhana hamurlarının uçucu bileşen kompozisyonu Çizelge 4.10’da verilmiştir. Toplam 51 adet uçucu bileşen tespit edilmiş ve tanımlanmış olup, bu bileşenler farklı fonksiyonel gruplarına göre ayrı alt başlıklar altında gruplandırılmıştır. Çizelge 4.10 incelendiğinde, tarhana hamurunda fermentasyon sonucunda en fazla alkol grubu bileşenlerin olduğu ve etanol bileşeninin en yüksek alana sahip olduğu belirlenmiştir. Karboksilik asit grubundan yaygın asitin asetik asit, ester grubundan en yüksek alana sahip bileşenin ise etil dekanolat olduğu tespit edilmiştir.

Tarhana gibi aroma profilinin önemli olduğu fermente ürünlerde, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlara ek olarak, mikroorganizma faaliyetleri ve etkileşimleri de ürünlerin duyuşal özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Tarhana üretiminde maya kullanılmasının son ürünlerde duyuşal özellikleri, lezzeti ve aromayı arttırdığı bilinmektedir (Çelik vd. 2005). Mayaların fermentasyonu sonucunda son ürünlerde aromaya katkı sağlayan etanol, 2,3-Bütanediol, propanol, izobütanol, ve 2-heptanon gibi önemli bileşiklerin oluştuğu belirlenmiştir (Gocmen vd. 2004). Ester bileşikler tarhananın karakteristik meyvemsi, tatlımsı ve fermente aromalarının temel kaynaklarından olup istenilen aroma gelişimi için oldukça önemlidir. Bu tür fermente gıdalarda esterlerin oluşumu genellikle mayaların metabolik aktiviteleri ile gerçekleşmektedir. Esterler, mayaların alkol fermentasyonunda oluşan etanol ve asetil-CoA ile bu bileşiklerin asetil transferaz enzimlerinin katalizlemesi sonucu veya mayaların lipit metabolizması sonucu oluşmaktadır (Hansen ve Hansen 1996). Özdemir vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ticari ve ev yapımı tarhana hamurlarının 15 günlük fermentasyonu sonrasında çeşitli fizikokimyasal özellikleri belirlenmiş, gerçekleştirilen uçucu bileşen analizinde alkol grubundan etanol, karboksilik asit grubundan asetik asit, ester grubundan ise etil dekanolat bileşenlerinin en yüksek yüzde alana sahip olduğu rapor edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen tarhana hamurlarının uçucu bileşen kompozisyonu bu literatür çalışmalarındaki ilgili verilerle uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Tarhana hamurunun uçucu bileşen kompozisyonu (x10⁵ alan)

Bileşen	Alan	Bileşen	Alan
Alkol		Ester	
Etanol	1767.07±25.87	Etil dekanolat	145.37±4.19
Feniletil alkol	281.67±9.14	Etil hekanoat	128.46±2.10
(2R,3R)-2,3-Bütanediol	156.21±6.77	Etil asetat	120.42±6.54
İzoamil alkol	134.72±6.99	Etil laurat	32.82±0.93
2-Metil-1-bütanol	64.71±2.11	Etil heptanoat	12.22±0.11
İzobütanol	53.03±3.15	Etil nonanoat	11.76±0.94
2,3-Bütanediol	44.62±1.09	3-Metil-1-bütanol asetat	11.62±0.96
1-Hekzanol	31.61±2.13	Etil bütanoat	11.34±1.19
2-Metil-1-bütanol	27.90±1.98	Sitroneil izobürirat	6.07±0.05
1-Oktanol	17.13±0.00	6-Hepten-4-olide	5.35±0.05
1-Heptanol	8.15±0.00	Metil salisilat	4.31±0.00
1-Pentanol	7.89±0.00	2-Metilbütıl asetat	2.80±0.00
3-Dodecen-1-ol	7.38±0.09	Bütıl asetat	2.52±0.00
3-Oktanol	7.21±0.00	Keton	
6-Dodecenol	6.80±0.03	Karvon	211.89±9.58
1-Okten-3-ol	4.63±0.00	Asetoin	20.78±3.17
2-Metil-1-pentanol	3.93±0.00	6-Metilhept-5-en-2-on	5.83±0.00
1-Dekanol	3.31±0.00	Eter	
1-Propanol	2.93±0.00	Okalıptol	20.65±1.54
Karboksilik asit		2-Butiltetrahidrofuran	12.49±1.06
Asetik asit	266.84±7.12	Sülfürlü bileşik	
Hekzanik asit	47.87±2.06	Dialil trisülfıt	8.86±0.06
Oktonik asit	36.30±1.90	Dialil disülfıt	6.00±0.00
Nonanoik asit	17.42±1.05	Aldehit	
Bütanoik asit	15.01±0.03	Asetaldehit	18.20±1.13
3-Metilbütanoik asit	11.64±0.94	Diğer	
Stearik asit	8.17±0.06	Karyofillen	12.38±0.15
Laktik asit	6.95±0.00	D-Limonen	2.98±0.00
2-Metilbütanoik asit	2.98±0.00		

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Tarhana hamurlarının serbest aminoasit kompozisyonu Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.11’de analiz edilen toplam serbest aminoasit miktarının büyük çoğunluğunun glutamik asit olduğu, glutamik asidi prolinin takip ettiği görülmektedir. Nitekim Erbaş vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada tarhana hamurlarının serbest aminoasit içeriklerinin incelenmiş ve fermentasyon başlangıcında en yüksek içeriğin glutamik asit olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Daglioglu (2000) derleme çalışmasında tarhanaların serbest amino asit içeriklerini araştırmış olup, en yüksek içeriğin yine glutamik asit ve prolin olduğunu rapor etmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen bu veriler genel olarak literatürle uyumludur.

Çizelge 4.11. Tarhana hamurunun serbest aminoasit kompozisyonu (mg/100 g km)

Aminoasit	mg/100 g km	Aminoasit	mg/100 g km
Glutamik asit	4103.64±13.00	Prolin	922.24±5.04
Histidin	274.15±7.67	Metiyonin	219.62±5.07
Arjinin	451.30±5.85	Fenilalanin	537.87±7.58
Glisin	414.98±5.89	Lisin	398.71±2.46
Alanin	397.85±6.95	Toplam	7720.35±21.87

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

4.3. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Tarhana Tozlarının Kuruma Süreleri

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan tarhanaların kuruma süreleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en kısa kuruma süresinin kızılötesi destekli kırımın pencereless kurutma yönteminde 43 dakika olduğu, en uzun kuruma süresinin ise geleneksel kurutma yönteminde olduğu belirlenmiştir. Kızılötesi lamba ilavesinin kuruma süresini kırımın pencereless kurutma yöntemindeki kuruma süresine göre yaklaşık %20 oranında kısalttığı gözlemlenmiştir.

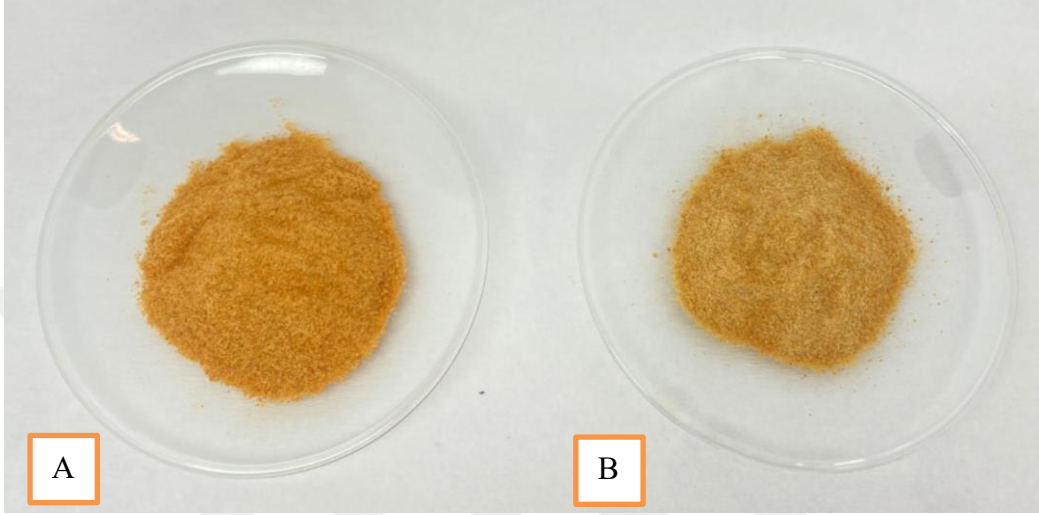
Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemlerinde kurutulan tarhanaların kuruma süreleri

Kurutma yöntemi	Kuruma süresi
KDKPK	43.00±2.00 (dk)
KPK	55.50±2.50 (dk)
SHK	220.50±7.50 (dk)
GK	96±1.50 (saat)

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

4.4. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Elde Edilen Tarhana Tozlarının Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozları 90 gün boyunca 25 °C’de depolanmış ve ürünlerin bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri araştırılmıştır. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan ürünlerin 0. ve 90. Günlerdeki değişimi aşağıda Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.



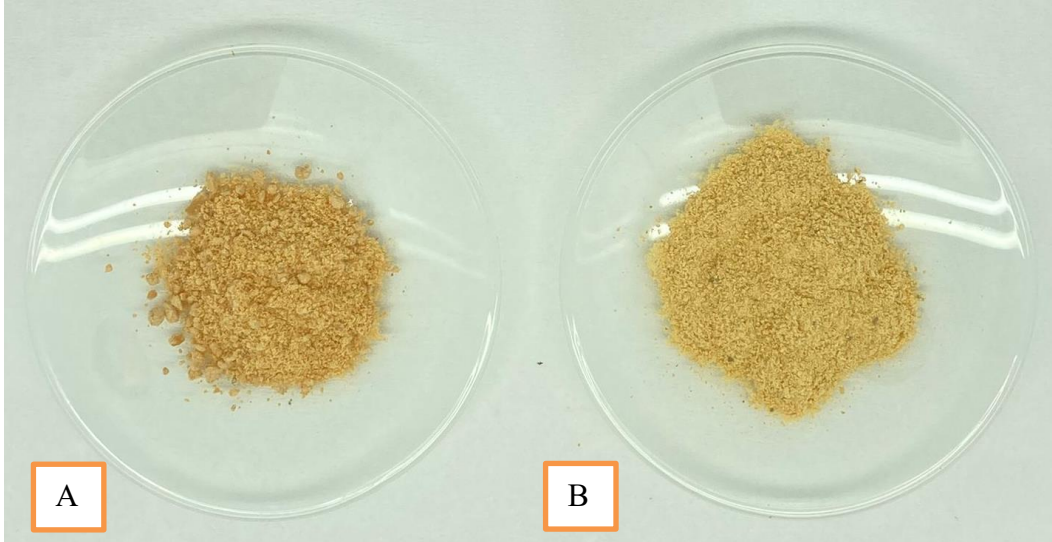
Şekil 4.4. KDKPK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü



Şekil 4.5. KPK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü



Şekil 4.6. SHK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü



Şekil 4.7. SHK yöntemi ile elde edilen toz tarhanaların 0.(A) ve 90.(B) Gün görüntüsü

4.4.1. Nem içeriği ve su aktivitesi

Gıda içerisindeki toplam su miktarını ifade eden nem oranı, özellikle toz formdaki ürünler başta olmak üzere, tüm gıdaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Toz ürünlerde yaygın olarak gözlemlenen topaklaşma ve kekleşme gibi problemler, özellikle depolama sırasında kritik öneme sahip olup, doğrudan ürünün nem içeriği ile ilişkilidir. Ayrıca toz ürünlerdeki nem içeriğindeki artış moleküler arası etkileşimleri artırarak kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların hızlanmasına neden olmaktadır. (Mathlouthi, 2001, Chegini ve Ghobadian, 2005).

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı nem içeriği ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir. Elde edilen toz

ürünlerin nem içeriklerinin geleneksel kurutma yöntemi hariç, TSE 2282 standardına uygun bir şekilde %10'un altında olduğu belirlenmiştir. Su aktivitesi değerlerinin ise 0.65 değerinin altında olduğu ve bu değerler sonucunda ürünlerin mikrobiyal bozulmalara karşı stabil olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı nem içeriği ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Nem içeriği (g su/100 g örnek)					
KDKPK	5.28±0.06 ^{ba}	5.03±0.12 ^{ba}	5.82±0.03 ^{ba}	5.44±0.27 ^{ba}	5.81±0.13 ^{ba}
KPK	5.09±0.18 ^{ba}	4.81±0.16 ^{ba}	4.60±0.39 ^{ba}	5.58±0.21 ^{ba}	5.54±0.13 ^{ba}
SHK	4.33±0.23 ^{bd}	4.63±0.06 ^{bcd}	5.23±0.06 ^{bBC}	5.73±0.10 ^{baB}	5.99±0.04 ^{ba}
GK	11.38±0.39 ^{aA}	11.65±0.09 ^{aA}	11.93±0.41 ^{aA}	11.52±0.05 ^{aA}	11.61±0.27 ^{aA}
Su aktivitesi					
KDKPK	0.366±0.001 ^{bd}	0.394±0.012 ^{bcC}	0.394±0.000 ^{aB}	0.417±0.002 ^{ba}	0.430±0.001 ^{ba}
KPK	0.358±0.000 ^{bc}	0.374±0.025 ^{cBC}	0.389±0.008 ^{aBC}	0.419±0.009 ^{bb}	0.434±0.002 ^{ba}
SHK	0.396±0.002 ^{aB}	0.412±0.015 ^{abB}	0.421±0.019 ^{aB}	0.434±0.011 ^{aA}	0.426±0.005 ^{ba}
GK	0.416±0.003 ^{aC}	0.434±0.013 ^{aB}	0.431±0.026 ^{aB}	0.454±0.008 ^{aAB}	0.498±0.017 ^{aA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırıyım pencerele kurutma. KPK:Kırıyım pencerele kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

4.4.2. Renk özellikleri

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı renk değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir. Çizelge 4.14 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların L* değerlerinin 66.71-73.51; KPK yöntemi ile elde edilen tozların 70.06-73.96, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 66.98-73.53, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 76.63-81.22 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine renk değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir. KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların a* değerlerinin 8.18-16.44, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 8.81-15.72, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 9.31-15.90, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 6.68-11.16 arasında; b* değerlerinin ise KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 37.53-40.52; KPK yöntemi ile elde edilen tozların 37.04-39.94, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 37.09-40.05, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 30.89-31.97 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Örneklerin depolama süresine renk değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların hue açısı değerlerinin 67.44-74.06; KPK yöntemi ile elde edilen tozların 68.23-74.10, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 68.15-74.47, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 70.10-76.24 arasında; chroma değerlerinin ise KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların 39.12-43.69, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 40.06-42.38, SHK yöntemi ile elde edilen tozların

38.62-43.09, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 32.31-33.56 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı L*, a*, b*, Hue açısı ve chroma değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
L*					
KDKPK	66.71±0.68 ^{bc}	71.53±0.01 ^{cAB}	69.49±0.22 ^{bb}	72.96±0.11 ^{ba}	73.51±0.36 ^{ba}
KPK	70.06±0.85 ^{bb}	72.48±0.23 ^{baB}	70.82±0.29 ^{bb}	73.39±0.18 ^{ba}	73.96±0.05 ^{ba}
SHK	66.98±0.41 ^{bc}	71.10±0.15 ^{cb}	70.19±0.16 ^{bb}	72.65±0.03 ^{ba}	73.53±0.37 ^{ba}
GK	76.63±0.02 ^{aE}	79.07±0.02 ^{aD}	79.91±0.17 ^{aC}	80.64±0.13 ^{aB}	81.22±0.06 ^{aA}
a*					
KDKPK	16.44±0.20 ^{aA}	15.96±0.01 ^{aA}	13.87±0.05 ^{abB}	11.04±0.04 ^{aC}	9.18±0.03 ^{aD}
KPK	15.72±0.22 ^{aA}	15.02±0.29 ^{aA}	13.52±0.02 ^{bb}	11.43±0.20 ^{aC}	9.81±0.03 ^{aD}
SHK	15.90±0.12 ^{aA}	15.43±0.23 ^{aA}	14.29±0.06 ^{ab}	10.76±0.04 ^{aC}	9.31±0.14 ^{aD}
GK	11.16±0.10 ^{ba}	9.35±0.08 ^{bb}	8.87±0.12 ^{cBC}	8.07±0.02 ^{bc}	6.68±0.31 ^{bd}
b*					
KDKPK	39.58±0.54 ^{aAB}	40.52±0.19 ^{aA}	38.60±0.10 ^{abB}	37.53±0.57 ^{aB}	37.82±0.18 ^{aB}
KPK	39.36±0.18 ^{aAB}	39.94±0.18 ^{aA}	37.04±0.67 ^{bb}	38.39±0.48 ^{aB}	37.73±0.28 ^{aB}
SHK	40.05±0.22 ^{aA}	38.46±0.04 ^{bb}	39.57±0.22 ^{aA}	37.09±0.22 ^{aC}	38.00±0.15 ^{aBC}
GK	31.94±0.03 ^{ba}	31.78±0.05 ^{ca}	31.90±0.24 ^{ca}	31.97±0.11 ^{ba}	30.89±0.12 ^{bb}
Hue					
KDKPK	67.44±0.52 ^{bc}	68.63±0.02 ^{bc}	70.54±0.32 ^{bb}	73.58±0.22 ^{ba}	74.06±0.09 ^{ba}
KPK	68.23±0.18 ^{abB}	69.20±0.41 ^{bb}	69.85±0.20 ^{bb}	73.42±0.08 ^{ba}	74.10±0.09 ^{ba}
SHK	68.35±0.25 ^{abB}	68.15±0.31 ^{bb}	70.69±0.56 ^{baA}	73.83±0.15 ^{ba}	74.47±0.22 ^{ba}
GK	70.10±0.03 ^{aC}	73.75±0.04 ^{aB}	74.46±0.31 ^{aB}	75.83±0.01 ^{aA}	76.24±0.05 ^{aA}
Chroma					
KDKPK	42.85±0.43 ^{aAB}	43.69±0.04 ^{aA}	41.33±0.21 ^{abB}	39.12±0.55 ^{aC}	39.21±0.06 ^{aC}
KPK	42.38±0.26 ^{aAB}	42.72±0.07 ^{ba}	39.41±0.65 ^{bc}	40.06±0.52 ^{aBC}	40.53±0.27 ^{aABC}
SHK	43.09±0.16 ^{aA}	41.44±0.04 ^{cb}	42.05±0.22 ^{ab}	38.62±0.20 ^{aC}	39.98±0.11 ^{aC}
GK	33.56±0.43 ^{ba}	33.13±0.08 ^{da}	33.11±0.20 ^{ca}	32.97±0.11 ^{ba}	32.31±0.44 ^{ba}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencerelessi kurutma. KPK:Kırınım pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Farklı yöntemlerle kurutulmuş toz tarhanaların değerleri incelendiğinde, en yüksek L değerinin geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu bu ürünlerin renginin diğer yöntemlerle üretilen ürünlere göre daha parlak-açık olduğu belirlenmiştir. KDKPK, KPK ve SHK yöntemlerinden elde edilen tozların L* değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde farklı olmadığı tespit edilmiştir. Bu benzer durumun KPK yöntemlerinde işlem süresinin kısa olmasına rağmen kurutma sıcaklığının SHK yöntemine göre nispeten daha yüksek olmasından ve SHK yönteminden elde edilen tozların ise kurutma süresinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm örneklerin L* değerlerinin depolama süresi boyunca istatistiksel açıdan önemli düzeyde arttığı görülmektedir. Örneklerin a* değerleri de depolama süresi boyunca azalmış

olup, ürünlerin rengi depolama süresi sonunda açılmış ve daha parlak-aydınlık renk gözlemlenmiştir. (Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7) Bu durumun depolama boyunca ürünlerdeki karotenoid kaybından ve buna bağlı olarak a^* değerinin azalmasından kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Taşoğulları ve Şimşek (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, toz tarhanalar farklı dozlarda ışınlanmış ve 5 aylık depolama periyodu boyunca örneklerin kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Depolama sonunda kontrol grubu dahil tüm örneklerin a değerlerinin azaldığı buna bağlı olarak da örneklerin L^* değerlerinin arttığı rapor edilmiştir.

TS 2282 standardına göre, toz tarhanaların renginin sarımtırak kırmızı olması gerektiği belirtilmiştir. Pozitif değeri kırmızılık göstergesi olan a değeri ile pozitif değeri sarılık göstergesi olan b değerinin, KDKPK, KPK ve SHK yöntemlerinden elde edilen tozlarda istatistiksel açıdan önemli düzeyde farklı olmadığı belirlenmiştir. En düşük a^* ve b^* değeri GK ile elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Tüm örneklerin depolama süresi boyunca a^* ve b^* değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir.

Buğday unu yerine bitkisel kaynaklı unların ikame olarak kullanıldığı bir çalışmada, tarhana hamurları tez kapsamında hazırlanan formülasyona benzer bir şekilde hazırlanmış ve elde edilen ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. %100 buğday unu ile hazırlanan hamurdan elde edilen kontrol grubu örneklerinin L değerlerinin 73-75, a değerleri 10-11, b değerleri 35-36, hue değerleri 72-73 chroma değerleri ise 36 ve 39 değerleri arasında değiştiği rapor edilmiştir (Cankurtaran vd. 2020). Çalışma verilerine göre, tez kapsamında elde edilen toz ürünlerin renk değerlerinin genel olarak literatürle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

4.4.3. Esmerleşme indeksi

Renk özelliklerinden hesaplanan, ürünlerin esmerleşme indeksi değerleri ve depolamaya bağlı değişimi Çizelge 4.15'te verilmiştir. Çizelge 4.13 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların esmerleşme indeksi değerlerinin 78.97-103.73, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 78.78-95.68, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 79.55-104.09, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 52.89-63.51 arasında değiştiği gözlenmiştir.

En yüksek esmerleşme indeksi değerini KDKPK ve SHK yöntemlerinden elde edilen toz ürünlere ait olduğu, en düşük esmerleşme indeksi değerlerinin ise GK yöntemi ile elde edilen örneklere ait olduğu belirlenmiştir. SHK yönteminde uzun kuruma süresi, KDKPK yönteminde ise kızılötesi gücünden dolayı son ürünlerdeki L değerleri daha düşüktür. Bu sebeple ürünlerde hesaplanan esmerleşme indeksi değerleri daha yüksek bulunmaktadır. Geleneksel kurutma ile üretilen örnekler herhangi bir ısıtma işlemi tabii olmadığı için ve L değeri diğer örneklere göre daha yüksek olduğu için esmerleşme indeksi değeri daha düşüktür. Nitekim depolama süresi boyunca esmerleşme indeksi değeri azalmış olup bu durumun depolama süresi sonunda değerlerinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.15. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresi-ne bağlı esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Esmerleşme İndeksi				
KDKPK	103.73±0.02 ^{aA}	96.53±0.53 ^{aB}	92.58±0.73 ^{abBC}	80.98±1.35 ^a	78.97±0.93 ^{aC}
KPK	95.68±0.81 ^{bA}	92.98±0.31 ^{bAB}	85.63±2.26 ^{bBC}	82.99±1.73 ^{aC}	78.78±0.66 ^{aC}
SHK	104.09±1.44 ^{aA}	91.00±0.38 ^{bB}	94.51±1.02 ^{aB}	80.03±0.56 ^{aC}	79.55±0.29 ^{aC}
GK	63.51±0.03 ^{cA}	59.03±0.21 ^{cB}	58.05±0.21 ^{cB}	56.78±0.34 ^{bC}	52.89±0.01 ^{bC}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

4.4.4. pH ve asitlik tayini

Fermente bir ürün olan tarhanada, laktik asit bakterileri ve mayalar tarafından üretilen organik asitler; ürünün mikrobiyal stabilitesinin sağlanmasında ve tüketiciler tarafından arzu edilen karakteristik aromanın oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Erdem 2008). Ürünlerde oluşan bu asitler pH değişimi ve asitlik tayini ile belirlenmektedir. pH örneklerdeki serbest hidrojen iyonu aktivitesini asitlik değeri ise tarhanalarda TS 2282 standardına göre %67'lik etil alkole geçen asitlik değeri olarak tanımlanmıştır. Bu standartta tarhanaların asitlik dereceleri en az 10, en çok 35 olması gerektiği belirlenmiştir (TSE 2004). Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı renk değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresi-ne bağlı pH ve asitlik derecesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	pH				
KDKPK	4.89±0.02 ^{aA}	4.75±0.04 ^{aB}	4.67±0.02 ^{aB}	4.63±0.02 ^{aB}	4.65±0.02 ^{aB}
KPK	4.72±0.04 ^{abA}	4.67±0.06 ^{aA}	4.66±0.00 ^{aA}	4.62±0.01 ^{aA}	4.63±0.01 ^{aA}
SHK	4.70±0.06 ^{abA}	4.60±0.01 ^{aA}	4.54±0.01 ^{bA}	4.55±0.04 ^{aA}	4.58±0.02 ^{aA}
GK	4.62±0.01 ^{bA}	4.56±0.04 ^{aAB}	4.49±0.02 ^{bAB}	4.49±0.01 ^{aAB}	4.47±0.02 ^{bB}
	Asitlik derecesi				
KDKPK	11.08±0.02 ^{bC}	11.13±0.03 ^{cC}	11.35±0.10 ^{bBC}	11.78±0.03 ^{cB}	12.25±0.20 ^{bA}
KPK	11.28±0.08 ^{bD}	11.43±0.08 ^{bCD}	11.80±0.05 ^{bC}	12.38±0.13 ^{bB}	12.88±0.03 ^{abA}
SHK	11.38±0.03 ^{bD}	11.53±0.03 ^{bD}	11.83±0.08 ^{bC}	12.58±0.02 ^{bB}	12.68±0.02 ^{abA}
GK	12.25±0.10 ^{aC}	12.78±0.03 ^{aBC}	13.08±0.08 ^{aB}	13.78±0.03 ^{aA}	14.25±0.20 ^{aA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.16 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların pH ve asitlik derecesi değerlerinin 4.65-4.89 ve 11.08-12.25, KPK yöntemi ile elde edilen toz-

ların 4.60-4.72 ve 11.28-12.88, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 4.58-4.70 ve 11.38-12.68, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 4.47-4.62 ve 12.25-14.25 arasında değiştiği gözlenmiştir. Farklı yöntemlerle üretilen bu tarhanalar asitlik dereceleri açısından TS 2282 standardı ile uyumludur.

Toz tarhanaların en düşük pH ve en yüksek asitlik derecesi değeri GK yöntemi ile elde edilen örneklerde belirlenmiştir. Bu durumun bu örneklerde mikroorganizma faaliyetinin diğer kurutma yöntemlerine elde edilen örneklerle göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Tüm örneklerde depolama süresince pH değeri artma ve azalma eğilimindedir. Stabil olmayan bu durum depolama süresi boyunca uçucu bileşenlerin özellikle asit grubu bileşenlerin azalması ve yeni bazı bileşenlerin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Taze ve depolanmış Kastamonu tarhanalarının 4 ay boyunca farklı fizikokimyasal özelliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada, depolama süresinde örneklerde mikroorganizma faaliyeti artmış ve buna bağlı olarak pH değeri düşmüş, asitlik derecesi ise artmıştır (Özdemir vd. 2012).

Domates ve biber salçası atıklarının farklı oranlarda tarhana hamuruna katkılıldığı ve elde edilen ürünlerin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, toz tarhanaların pH değerlerinin 12 aylık depolama süresince azaldığı ve asitlik derecesi değerlerinin ise arttığı rapor edilmiştir (Işık 2019).

4.4.5. Çözünürlük

Toz ürünlerin suda çözünme yeteneğini belirlemek için hesaplanan çözünürlük değeri, örneklerin sulu bir ortamda davranışını belirleyen önemli bir kriterdir. Özellikle tarhana gibi suda çözündürüp hazırlanan gıdalarda yüksek çözünürlük değeri istenilen bir durumdur. Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen toz tarhanaların depolama süresi boyunca değişen çözünürlük değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çizelge 4.17’ye göre, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların çözünürlük değerlerinin %74.93-78.16, KPK yöntemi ile elde edilen tozların %75.69-79.21, SHK yöntemi ile elde edilen tozların %74.84-80.84, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise %79.32-82.35 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Toz örneklerin çözünürlük değerleri genellikle benzer değerlerde olup, en yüksek çözünürlük değeri GK yöntemi ile elde edilen toz örneklerine aittir. KDKPK, KPK ve SHK yöntemleri ile elde edilen toz örneklerin çözünürlük değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde elde edilen toz örneklerin çözünürlük değerleri depolama süresi boyunca azalmıştır. Çözünürlük değerlerindeki bu azalışın, KDKPK yöntemi ile elde edilen ürünlerin çözünürlük değerleri hariç, istatistiksel açıdan önemli düzeyde olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.17. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı çözünürlük (%) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Çözünürlük (%)				
KDKPK	78.16±0.30 ^{ba}	77.85±0.56 ^{ba}	76.97±0.82 ^{ba}	76.66±0.91 ^{ba}	74.93±0.12 ^{ba}
KPK	79.21±0.17 ^{ba}	78.43±0.23 ^{ba}	77.12±0.24 ^{bb}	77.09±0.20 ^{abB}	75.69±0.28 ^{bc}
SHK	80.84±2.95 ^{ba}	79.79±2.12 ^{ba}	79.14±2.04 ^{ba}	76.45±0.74 ^{abA}	74.84±0.07 ^{bb}
GK	82.35±0.00 ^{aA}	81.62±0.28 ^{aA}	81.41±0.23 ^{aA}	80.51±0.08 ^{aAB}	79.32±0.20 ^{aB}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencereci kurutma. KPK:Kırınım pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma
Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.
Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Toz ürünlerin yüksek yığın yoğunluğunun yüksek olmasını birim hacimde daha fazla kütle bulundurması demektir. Bu ürünlerin gözeneklilik değerinin de daha düşük olması anlamına gelmektedir (Saifullah vd. 2016). Gözeneklilik ise ürünlerin çözünürlüğü üzerinde etkili bir kavramdır. Düşük gözenekli yani yüksek yığın yoğunluklu ürünlerin suda çözünürlüğü de düşük olabilmektedir. Düşük yoğunluklu toz ürünlerin parçacık boyutunun daha büyük olması sebebiyle ürünler suya daha hızlı bataabilmekte, yüzeyde kalmamakta ve su ile daha hızlı etkileşime girebilmektedir. Bu durum ise düşük yığın yoğunluklu, fazla gözenekli ve büyük partikül boyutlu ürünlerin çözünürlüğünün yüksek olmasına sebep olmaktadır (Goula ve Adamopoulos 2005). Tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde, düşük yığın yoğunluğu ve yüksek partikül boyutuna sahip GK yöntemi ile elde edilen ürünlerin çözünürlük değerleri diğer yöntemlerle elde edilen tozların çözünürlük değerlerine göre nispeten daha yüksektir.

Atmosferik ve vakum altındaki kırınım pencereci kurutma, konveksiyonel ve etüv kurutma yöntemleri ile tarhananın kurutulmasını konu alan bir çalışmada, örneklerin bazı fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Tarhana tozlarının suda çözünürlük değerleri %82.65-84.11 arasında belirlenmiştir (Bardakçi ve Karacabey 2024). Bu değerler tez çalışması kapsamında elde edilen çözünürlük değerleri ile benzer olup sonuçlar literatür ile uyumludur.

4.4.6. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk

Belirli bir hacimdeki örnek miktarının karşılığı olan yığın yoğunluk değeri, toz ürünlerin depolama şeklini, stabilitesini ve akış davranışlarını etkileyen önemli bir özelliktir. Yığın yoğunluğu değerinin düşük olması ürünleri paketlemede kullanılacak paket hacmini arttırdığı için genellikle istenmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek yığın yoğunluklu ürünlerin birim hacminde daha fazla kütle bulunduğu için daha az yer kaplamakta ve nakliye, depolama maliyetlerinde de olumlu yönde fayda sağlamaktadır (Aşık 2019).

Tarhana tozlarının depolama süresine bağlı yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri Çizelge 4.18’de verilmiştir. KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin sırasıyla 549.30-692.26 kg/m³ ve 675.20-812.14

kg/m³, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 555.31-668.47 kg/m³ ve 703.55-820.65 kg/m³, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 519.32-615.79 kg/m³ ve 653.26-755.66 kg/m³, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 420.32-505.11 kg/m³ ve 600.66-696.53 kg/m³ arasında değişmektedir.

Çizelge 4.18. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m³) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Yığın yoğunluk (kg/m ³)					
KDKPK	692.26±4.09 ^{aA}	659.28±3.83 ^{aA}	653.96±11.37 ^{aAB}	613.01±3.33 ^{aC}	549.30±1.49 ^{aD}
KPK	668.47±6.14 ^{aA}	643.13±5.89 ^{abAB}	620.60±4.25 ^{abBC}	591.21±7.02 ^{abC}	555.31±4.06 ^{aD}
SHK	615.79±0.19 ^{bA}	604.08±10.64 ^{bA}	590.39±3.26 ^{bAB}	570.38±1.05 ^{bB}	519.32±0.93 ^{bC}
GK	505.11±14.15 ^{cA}	484.69±9.86 ^{cA}	471.02±1.81 ^{cA}	464.74±2.61 ^{cAB}	420.32±0.94 ^{cB}
Sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m ³)					
KDKPK	812.14±13.66 ^{aA}	806.19±3.48 ^{aA}	783.80±15.80 ^{aA}	719.51±1.26 ^{aB}	675.20±5.04 ^{abB}
KPK	820.65±11.12 ^{aA}	817.51±6.24 ^{aA}	753.64±5.50 ^{aB}	745.98±10.85 ^{aBC}	703.55±2.32 ^{aC}
SHK	755.66±6.50 ^{abA}	747.36±2.24 ^{abAB}	746.47±3.21 ^{abAB}	681.12±8.52 ^{bb}	653.26±7.98 ^{bC}
GK	696.53±14.07 ^{bA}	660.88±11.79 ^{cAB}	672.25±7.01 ^{bAB}	642.96±7.05 ^{cBC}	600.66±0.79 ^{cC}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencerelessi kurutma. KPK:Kırınım pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

En yüksek yığın yoğunluk değerlerinin KDKPK yöntemi ile elde edilen toz örneklerine ait olduğu, en düşük yığın yoğunluk değerlerinin ise GK yöntemi ile elde edilen toz ürünlere ait olduğu belirlenmiştir. Depolama süresinde artış ile tüm örneklerin yığın yoğunluk değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Yüksek yığın yoğunluk değerlerine göre yine en yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değeri KDKPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen toz ürünlere ait olduğu gözlemlenmiştir.

Toz örneklerin partikül boyutunun büyümesi ile partiküller arası boşluk fazla olmaktadır. Bu durum partiküllerin daha gevşek şekilde istiflenmesine dolayısıyla birim hacimdeki kütlenin de daha az olmasına neden olmaktadır. Genel bir ifadeyle, toz ürünlerin partikül boyutunun azalması, partiküller arası boşluklara daha ince partiküllerin yerleşmesini sağlayarak yığın yoğunluğu üzerinde artırıcı yönde etki göstermektedir. Büyük partikül boyutundan dolayı birim hacimdeki kütlenin daha az olması ise toz ürünlerde düşük yığın yoğunluğu anlamına gelmektedir (Koç 2015). Nitekim tez çalışması kapsamında GK yöntemi ile elde edilen toz ürünler, en yüksek partikül boyutuna ve en düşük yığın yoğunluk değerlerine sahiptir. Bu bilgiler doğrultusunda elde edilen veriler bilimsel literatür ile de uyumludur.

Gıdaların kurutulması sabit ve azalan hızlı olmak üzere iki ana aşamadan oluşmaktadır. Kurutma sıcaklığının artmasıyla, bu sabit hızlı kuruma aşamasında daha yüksek ilk kurutma oranı sağlanmakta ve bundan sonra kurutma işlemi gıdanın iç kısmından yüzeye nemin difüzyon mekanizması ile kontrol edilmektedir. Kurutma sırasında yüksek sıcaklıkların kullanılması bu yüksek kuruma oranından dolayı üründe nem kaybını önleyen neme dayanıklı bir kabuk oluşumuna neden olabilmektedir. Bu kabuğun oluşumu da genellikle yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ile sonuçlanmakta-

dır (Tontul vd. 2018). Zomorodi ve Hedayat (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada farklı kurutma yöntemleri ile domates tozları elde edilmiş ve elde edilen ürünlerin fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. En yüksek yığın yoğunluk değerlerinin KPK yöntemi ile elde edilen tozlara, en düşük yığın yoğunluk değerlerinin ise açık hava güneşte kurutma yöntemleri ile elde edilen tozlara ait olduğu belirlenmiştir. Bu durumun KPK yöntemi ile elde edilen tozların daha düzlemsel şekilli olmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir. Tez çalışması sonuçlarına bakıldığında, en yüksek kurutma sıcaklığı KDKPK ve KPK yöntemlerinde uygulanmış olup bu yöntemlerle elde edilen ürünlerin de yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri diğer yöntemlerde kurutulan ürünlere göre daha yüksektir.

Tarhana formülasyonunda buğday unu yerine ikame unların kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, elde edilen toz tarhanaların yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri sırasıyla 0.59-0.50 g/cm³, 0.83-0.97 g/cm³ değerleri arasında bulunmuştur (Kömürcü ve Bilgiçli 2022). Gerekli birim çevirme işlemleri yapıldığında tez çalışması kapsamında elde edilen verilerin ilgili bu literatür ile genellikle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

4.4.7. Akış özellikleri

Toz halindeki ürünlerin akış özelliklerini belirlemek için yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden akabilirlik değeri olan Carr İndeks (Carr Index, CI) ve yapışkanlık-sıkıştırılabilirlik değeri olan Hausner Oranı (Hausner Ratio, HR) hesaplanmıştır. Carr İndeks (CI) değerlerinin 15'ten küçük olması durumunda ürünün akabilirliğinin çok iyi, 15-20 arasında ise iyi, 20-35 arasında ise zayıf, 35-45 arasında ise kötü ve 45'ten büyük ise çok kötü olarak belirtilmiştir. Hausner oranı (HR) değerinin, 1.00-1.11 arasında olması ürünün sıkıştırılabilirliğinin mükemmel, 1.12-1.18 arasında ise iyi, 1.19-1.25 arasında olması kabul edilebilir, 1.26-1.34 arasında olması zayıf, 1.35-1.45 arasında olması çok zayıf ve 1.45'ten büyük olması ise kötü olarak belirlenmiştir (Carr 1965).

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı CI ve HR değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir. KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların CI ve HR değerlerinin sırasıyla 14.73-18.64 ve 1.17-1.23, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 17.65-21.32 ve 1.21-1.27, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 18.50-20.91 ve 1.23-1.27, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 26.61-30.02 ve 1.36-1.43 değerleri arasında değişmektedir.

Örneklerin CI değerleri incelendiğinde, depolama başında KDKPK yöntemi ile elde edilen örneklerin çok iyi, KPK ve SHK yöntemleri ile elde edilen ürünlerin iyi, GK yöntemi ile elde edilen örneklerin ise zayıf akabilirlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak ürünlerin depolama süresi arttıkça akabilirlik değerlerinin arttığı ve akış özelliklerinin zayıfladığı arttığı tespit edilmiştir.

Toz ürünlerin HR oranı incelendiğinde ise, depolama başında KDKPK yöntemi ile elde edilen örneklerin iyi, KPK ve SHK yöntemleri ile elde edilen ürünlerin kabul edilebilir, GK yöntemi ile elde edilen örneklerin ise zayıf yapışkanlık-sıkıştırılabilirlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tüm akış özellikleri birlikte incelendiğinde, KDKPK uygulamasının toz ürünler için iyi akabilirlik ve sıkıştırılabilirlik özellikleri oluşturduğundan, tarhana üretimi için öne çıkan bir kurutma yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.19. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı Carr indeks ve Hausner oranı değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Carr İndeks (CI)					
KDKPK	14.73±1.94 ^{bB}	18.22±0.83 ^{bA}	16.56±0.23 ^{bB}	14.80±0.61 ^{cB}	18.64±0.83 ^{bA}
KPK	18.52±1.85 ^{bB}	21.32±1.32 ^{bA}	17.65±0.04 ^{bB}	20.72±2.09 ^{bA}	21.07±0.32 ^{bA}
SHK	18.50±0.73 ^{bA}	19.17±1.67 ^{bA}	20.91±0.10 ^{bA}	20.35±0.54 ^{bA}	20.48±1.32 ^{bA}
GK	27.41±3.50 ^{aB}	26.61±2.80 ^{aB}	29.93±0.46 ^{aA}	27.70±0.43 ^{aB}	30.02±0.06 ^{aA}
Hausner oranı (HR)					
KDKPK	1.17±0.03 ^{aA}	1.22±0.01 ^{aA}	1.20±0.00 ^{cA}	1.17±0.01 ^{bA}	1.23±0.01 ^{bA}
KPK	1.23±0.03 ^{aA}	1.27±0.02 ^{aA}	1.21±0.00 ^{cA}	1.26±0.03 ^{bA}	1.24±0.03 ^{bA}
SHK	1.23±0.01 ^{aA}	1.24±0.03 ^{aA}	1.26±0.00 ^{bA}	1.26±0.01 ^{bA}	1.27±0.01 ^{bA}
GK	1.38±0.07 ^{aA}	1.36±0.05 ^{aA}	1.43±0.01 ^{aA}	1.38±0.01 ^{aA}	1.43±0.01 ^{aA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencerelessi kurutma. KPK:Kırınım pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

4.4.8. Higroskopisite

Higroskopisite, toz ürünlerin nem ile etkileşimini tanımlayan temel bir özelliktir. Bu özellik, çevresel nemin toz yapısı tarafından ne ölçüde absorbe edilebildiğini (yani moleküler yapı içerisine alınabildiğini) ve ne miktarda adsorbe edilebildiğini (yani partikül yüzeyine tutunabildiğini) göstermektedir. Elde edilen toz örneklerin depolama süresine bağlı higroskopisite değerlerindeki değişim Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.18 incelendiğinde, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların higroskopisite değerlerinin 2.91-5.08 g nem/100 g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 2.41-4.90 g nem/100 g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 3.86-4.57 g nem/100 g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 4.54-7.14 g nem/100 g km arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek higroskopisite değerinin GK yöntemi ile elde edilen örneklerle, en düşük higroskopisite değerlerinin ise KPK yöntemi ile elde edilen örneklerle ait olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresi boyunca da tüm ürünlerin higroskopisite değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir.

Toz özelliklerinin çevreden nem çekmesi sonucu nem miktarının artması, yüksek higroskopik özellik göstermesi bunun sonucunda da yığın yoğunluğunun azalması ve akış özelliklerinin kötüleşmesi gibi olumsuz durumlar ortaya çıkabilmektedir (Barbosa-Cánovas vd. 2005). Nitekim tez çalışması sonuçları birlikte irdelendiğinde, en yüksek nem değerinin ve en düşük yığın yoğunluk değerinin GK yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu, en yüksek higroskopisite değerinin ise yine bu durumlara bağlı olarak GK yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı higroskopisite (g nem/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Higroskopisite (g nem/100 g km)				
KDKPK	2.91±0.03 ^{cC}	2.89±0.02 ^{cC}	3.04±0.01 ^{cC}	4.60±0.12 ^{bB}	5.08±0.06 ^{bA}
KPK	2.41±0.01 ^{dD}	2.59±0.08 ^{cD}	2.96±0.02 ^{cC}	3.88±0.07 ^{cB}	4.90±0.09 ^{bcA}
SHK	3.66±0.09 ^{bB}	3.95±0.06 ^{bB}	4.09±0.04 ^{bB}	4.28±0.12 ^{bcAB}	4.57±0.02 ^{cA}
GK	3.94±0.10 ^{aE}	4.10±0.09 ^{aD}	4.96±0.01 ^{aC}	5.65±0.01 ^{aB}	6.14±0.03 ^{bA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma. KPK:Kırımın pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

4.4.9. Su ve yağ tutma kapasitesi

Hidrofilik maddelerin su ile birleşme eğilimi olarak tanımlanan su tutma kapasitesi; hamurlar, soslar, fırınlanmış ürünler gibi viskoz yapıdaki gıdalarda önemli bir yapısal özellik olarak kabul edilmektedir. Protein yapısı, nişasta granülerinin yapısı ve şekli, sıcaklık, pH ve tuz miktarı su tutma kapasitesi üzerine doğrudan etkili faktörlerdendir (Bardakçı 2022). Yağ tutma kapasitesi ise, hidrofobik gıda bileşenleri tarafından emilebilen yağ miktarı şeklinde tanımlanmaktadır. Gıdalardaki çoğu koku ve tat bileşenleri yağ içerisinde çözündüğü için son ürünün lezzet ve duyuşsal özellikleri açısından önemli bir kalite kriteridir (Hayta vd. 2002).

Tarhana tozlarının depolama süresine bağlı su ve yağ tutma kapasiteleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların su ve yağ tutma kapasiteleri sırasıyla 4.32-4.53 g su/g km ve 2.11-2.36 g yağ/g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 4.14-3.94 g su/g km ve 1.86-2.06 g yağ/g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 1.30-2.44 g su/g km ve 1.80-1.99 g yağ/g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 0.93-1.38 g su/g km ve 2.15-2.87 g yağ/g km değerleri arasında değiştiğı gözlemlenmektedir. En yüksek su tutma kapasitesi değerlerinin KDKPK yöntemi ile elde edilen tozlara, en düşük su tutma kapasitesinin ise GK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu belirlenmiştir. KDPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen tozların su tutma kapasitelerinin depolama süresi boyunca istatistiksel açıdan önemli düzeyde değişmediğı, SHK ve GK yöntemi ile elde edilen tozların su tutma kapasitelerinin ise depolama süresi boyunca istatistiksel açıdan önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek yağ tutma kapasitesi değerlerinin GK yöntemi ile elde edilen tozlara, en düşük yağ tutma kapasitesinin ise SHK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu belirlenmiş olup bu farklılığın istatistiksel açıdan önemli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Yağ tutma kapasitelerinin depolama süresinde değişmemesinin, tarhanada bulunan protein yapılarının hidrofobik özelliklerinin çoğunun değişmeden kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.21. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı su ve yağ tutma kapasitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Su tutma kapasitesi (g su/g km)				
KDKPK	4.51±0.10 ^{aA}	4.53±0.17 ^{aA}	4.37±0.10 ^{aA}	4.32±0.15 ^{aA}	4.36±0.09 ^{aA}
KPK	4.05±0.09 ^{bA}	4.14±0.02 ^{aA}	4.08±0.07 ^{aA}	3.99±0.00 ^{aA}	3.94±0.07 ^{bA}
SHK	2.32±0.05 ^{cA}	2.44±0.22 ^{bA}	2.35±0.16 ^{bA}	1.52±0.04 ^{bB}	1.30±0.08 ^{cB}
GK	1.38±0.01 ^{dA}	1.35±0.02 ^{cAB}	1.02±0.04 ^{cBCC}	0.96±0.13 ^{bC}	0.93±0.01 ^{cC}
	Yağ tutma kapasitesi (g yağ/g km)				
KDKPK	2.11±0.01 ^{aA}	2.34±0.32 ^{aA}	2.36±0.22 ^{bA}	2.35±0.09 ^{bA}	2.21±0.02 ^{aA}
KPK	1.86±0.14 ^{aA}	2.06±0.08 ^{bA}	2.02±0.03 ^{cA}	1.99±0.27 ^{cA}	1.93±0.05 ^{aA}
SHK	1.80±0.06 ^{aA}	1.84±0.12 ^{bA}	1.99±0.04 ^{cA}	1.85±0.14 ^{cA}	1.94±0.07 ^{aA}
GK	2.15±0.09 ^{aB}	2.48±0.05 ^{aB}	2.87±0.17 ^{aA}	2.63±0.10 ^{aAB}	2.26±0.11 ^{aAB}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma. KPK:Kırımın pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Bardakçı (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının farklı fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen ürünlerin su tutma kapasitelerinin 1.63-0.60 g su/g km, yağ tutma değerlerinin ise yaklaşık 1.1 ve 0.8 g yağ/g km değerleri arasında değiştiği, en yüksek su tutma kapasitesinin KPK yöntemlerimle elde edilen örneklerle ait olduğu belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında da en yüksek sus tutma kapasitesinin de KPK yöntemlerinde olduğu ancak bu sayısal farklılığın kullanılan hammadde farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen örneklerin su tutma kapasitesinin birbirinden farklı olması, örneklerdeki nişasta granüllerinin yapısından ve boyutundan, protein içeriklerinden ve protein kümelerinin dağılımından kaynaklanmaktadır (Muir vd. 2000). Ayrıca su tutma kapasitesi jelatinizasyon ile doğrudan ilişkilidir. Formülasyonda kullanılan undaki nişastanın jelatinizasyon sıcaklığı 58-65 °C arasındadır (Yüksel 2020). KDKPK ve KPK yöntemlerindeki kurutma sıcaklığı diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Bu sıcaklıklar nişastanın jelatinizasyon sıcaklığının üstündedir. Bu nedenle bu örneklerde nişastanın jelleştiği ve bunun sonucunda bu örneklerin daha yüksek su tutma kapasitelerinin olduğu söylenebilmektedir.

4.4.10. Partikül boyutu

Toz ürünlerde parçacık boyutu ürünün birçok özelliğini doğrudan etkilemektedir. Tez çalışması kapsamında farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhanaların depolama süresine bağlı partikül boyut değerlerinin değişimi Çizelge 4.22’de verilmiştir. D [4, 3] ve D [3, 2] değerleri sırasıyla örnekleri hacim (HAO) ve yüzey (YAO) ağırlıklı ortalama değerlerini, d (0.1), d (0.5) ve d (0.9) değerleri ise oransal olarak partiküllerin sırasıyla %10’unun, %50’sinin ve %90’ının verilen büyüklüğe eşit veya daha küçük boyutlu olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 4.22. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı partikül boyutu değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
D[4,3]					
KDKPK	178.19±3.51 ^{dB}	239.51±5.25 ^{cB}	271.58±3.92 ^{aA}	285.91±4.82 ^{bA}	295.90±8.52 ^{bA}
KPK	226.06±1.22 ^{cB}	286.21±2.83 ^{abA}	290.40±8.17 ^{aA}	289.76±4.37 ^{bA}	322.12±3.70 ^{bA}
SHK	255.27±4.30 ^{bB}	256.01±2.30 ^{bcB}	292.07±9.29 ^{aAB}	323.83±9.99 ^{aAB}	347.37±1.55 ^{aB}
GK	275.76±2.49 ^{aC}	321.04±8.86 ^{aB}	311.27±1.45 ^{aB}	344.19±7.63 ^{aB}	443.28±11.84 ^{aA}
D[3,2]					
KDKPK	114.85±1.77 ^{aABC}	101.16±2.48 ^{aC}	106.60±6.03 ^{aBC}	136.79±9.46 ^{aAB}	144.75±5.81 ^{aA}
KPK	91.88±0.70 ^{aA}	120.17±4.41 ^{aA}	136.56±5.72 ^{aA}	135.33±5.23 ^{aA}	122.78±5.09 ^{aA}
SHK	107.92±7.95 ^{aBC}	93.38±2.57 ^{bc}	123.13±3.96 ^{aABC}	151.85±9.01 ^{aA}	133.03±0.86 ^{aAB}
GK	104.82±0.45 ^{aA}	123.88±8.33 ^{aA}	105.03±3.99 ^{aA}	122.45±1.48 ^{aA}	142.31±4.66 ^{aA}
d(0.1)					
KDKPK	59.44±1.01 ^{aAB}	43.65±0.94 ^{bB}	55.31±3.93 ^{aAB}	64.29±5.81 ^{aAB}	70.08±3.34 ^{aA}
KPK	46.72±0.17 ^{bA}	62.64±1.85 ^{abA}	68.60±2.95 ^{aA}	62.87±5.55 ^{aA}	62.83±0.48 ^{aA}
SHK	54.38±3.36 ^{abBC}	46.63±1.54 ^{abC}	58.83±2.35 ^{aABC}	72.23±2.93 ^{aA}	63.92±1.76 ^{aAB}
GK	53.71±0.42 ^{abA}	65.63±5.29 ^{aA}	55.48±2.69 ^{aA}	53.45±0.66 ^{aA}	67.53±8.87 ^{aA}
d(0.5)					
KDKPK	150.50±1.41 ^{cA}	162.85±5.28 ^{bA}	254.49±6.87 ^{aA}	270.65±62.97 ^{bA}	236.07±9.55 ^{aA}
KPK	199.73±1.71 ^{bB}	266.16±9.65 ^{aA}	257.43±10.35 ^{aAB}	201.19±5.33 ^{cB}	284.64±8.50 ^{aA}
SHK	189.80±9.16 ^{bC}	204.50±4.54 ^{bB}	252.24±5.58 ^{aB}	309.20±10.02 ^{aA}	260.52±11.59 ^{aB}
GK	255.40±4.09 ^{aB}	307.68±14.54 ^{aA}	264.11±1.96 ^{aB}	265.05±9.69 ^{bB}	375.98±13.97 ^{aA}
d(0.9)					
KDKPK	332.39±9.68 ^{dC}	504.98±9.48 ^{bB}	510.44±1.67 ^{cB}	537.29±0.72 ^{cB}	591.03±5.23 ^{cA}
KPK	437.81±1.81 ^{cD}	534.93±4.87 ^{bc}	561.54±7.35 ^{bBC}	589.22±7.04 ^{bB}	634.09±11.09 ^{bA}
SHK	478.48±6.10 ^{bD}	549.47±8.90 ^{abC}	568.61±10.54 ^{bc}	609.30±0.93 ^{bB}	684.02±0.51 ^{bA}
GK	523.63±0.85 ^{aE}	588.15±1.13 ^{aD}	629.13±4.40 ^{aC}	735.93±6.40 ^{aB}	893.65±3.46 ^{aA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencereleli kurutma. KPK:Kırınım pencereleli kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

D[4,3]: Hacim ağırlıklı ortalama

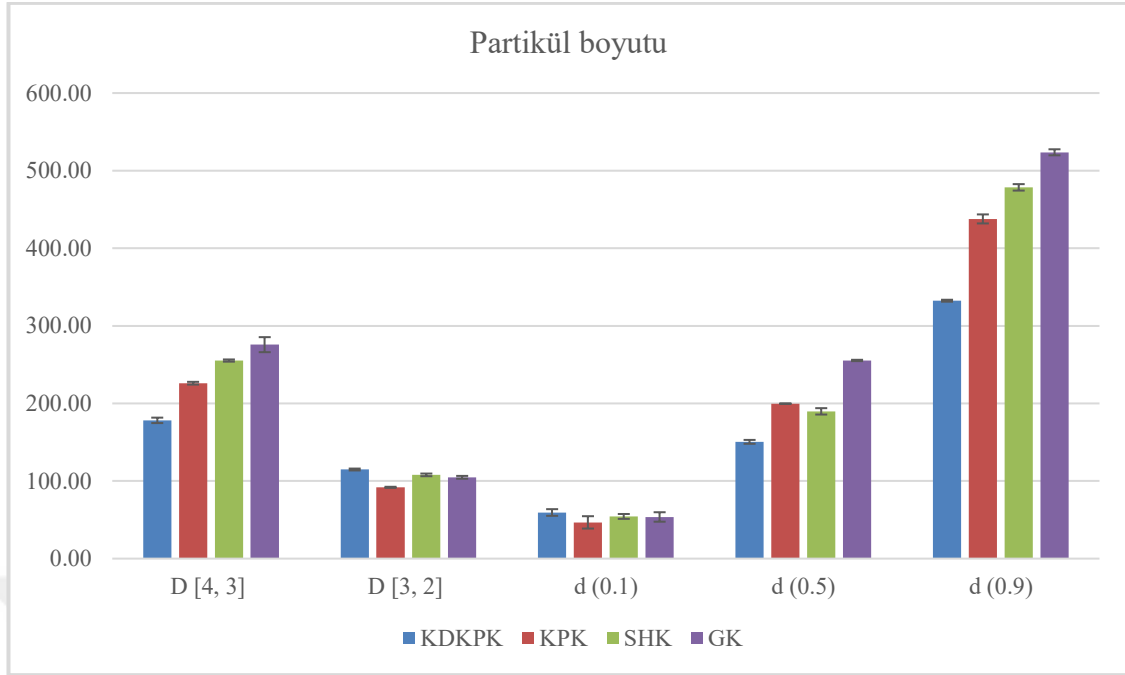
D[3,2]: Yüzey ağırlıklı ortalama

D₁₀: Partiküllerin %10'u belirtilen değerden küçüktür

D₅₀: Partiküllerin %50'si belirtilen değerden küçüktür

D₉₀: Partiküllerin %90'ı belirtilen değerden küçüktür

Tarhana hamurları belli bir kalınlıkta KDKPK, KPK ve SHK sistemlerine serilerek kurutma sonunda da spatula yardımıyla kazınıp sistemlerden toz tarhana şeklinde ayrılmaktadır. GK yönteminde ise elde edilen kuru ürünler direkt öğütme işlemine tabii tutulmaktadır. Tüm kurutma işlemleri sonucunda öğütülen tarhana tozları 35 mesh elekten (500 µm) geçirilmiştir. Depolamanın başlangıcında özellikle GK yöntemi ile elde edilen örneklerde 500 µm üzerinde partiküller ölçülmüştür. Bunun nedeni de GK yöntemi ile elde edilen örneklerin higroskopisite ve nem değerlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Toz örneklerin depolama başlangıcındaki partikül boyut değerleri

Şekil 4.8 ve Çizelge 4.22 incelendiğinde, en yüksek partikül boyut değerlerinin GK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca tüm örneklerin partikül boyut değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde arttığı gözlemlenmiştir.

4.4.11. Protein miktarı

Tarhana hamurunun başlangıçtaki protein bileşimi temel olarak yoğurt (süt proteinleri ve yoğurt fermantasyonundan kaynaklanan proteinler/peptitler) ve tahıl (glüten dahil buğday proteinleri) ana bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen toz tarhanaların depolama süresine bağlı %protein değerleri Çizelge 4.23'te verilmiştir. Çizelge 4.23'e göre, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların protein miktarı değerleri %17.10-15.05, KPK yöntemi ile elde edilen tozların %16.69-14.60, SHK yöntemi ile elde edilen tozların %16.53-14.34, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise %16.12-12.80 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek protein miktarı KDKPK yöntemi ile elde edilen tozlarda, en düşük protein miktarı ise GK yöntemi ile elde edilen tozlarda hesaplanmıştır. Tüm örneklerin depolama süresi arttıkça protein miktarlarında azalma gözlemlenmiştir. TSE 2282 standardına göre, tarhana kuru maddede en az %12 protein içermelidir. Tez çalışması kapsamında üretilen tüm örneklerin protein miktarları, depolama süresi boyunca bu standarda uygundur.

Çizelge 4.23. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresi-ne bağlı protein miktarı (% km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Protein miktarı (% km)				
KDKPK	17.10±0.20 ^{aA}	16.10±0.01 ^{aB}	15.96±0.00 ^{aB}	15.83±0.00 ^{aC}	15.05±0.05 ^{aD}
KPK	16.69±0.08 ^{bA}	16.15±0.00 ^{aB}	16.06±0.01 ^{bB}	15.32±0.01 ^{bC}	14.60±0.00 ^{bD}
SHK	16.53±0.18 ^{cA}	16.06±0.04 ^{bB}	15.38±0.01 ^{cC}	15.38±0.00 ^{bC}	14.34±0.00 ^{cD}
GK	16.12±0.03 ^{dA}	15.90±0.00 ^{cB}	15.31±0.01 ^{dC}	14.86±0.02 ^{cD}	12.80±0.01 ^{dE}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma
Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir. Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Daglioglu (2000) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tarhanaların üretim yöntemleri, fermentasyonu ve kimyasal bileşimi ile ilgili bilgiler derlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde literatürde tarhanaların ortalama %15-16 protein kurumadde içerdği rapor edilmiştir.

Tarhana hamuruna farklı oranlarda vişne katkısının son ürünün fizikokimyasal özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kontrol örneği olarak tez çalışmasında-ki uygulanan hamur formülasyonuna benzer bir formülasyon kullanmıştır. Kontrol örneğinin protein miktarı %14.84 olarak hesaplanmış olup, bu değer tez çalışmasından elde edilen veriler ile uyumludur (Göncü 2024).

Tarhana hamur formülasyonunda maya ilavesinin son ürünlerdeki protein miktarını arttırdığı çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Gürbüz ve Yıldız 2019; Cankurtaran ve Bilgiçli 2022). Fermentasyon süresi boyunca maya ilaveli/ilavesiz tarhanaların serbest aminoasit ve ham protein miktarının belirlendiği bir çalışmada, son ürünlerin protein değerleri ortalama olarak %11.2 ve %13.3 olarak tespit edilmiştir. Maya ilavesinin ürünlerdeki serbest aminoasit ve protein miktarını arttırdığı rapor edilmiştir (Varol ve Karakaş-Budak 2025)

Fermentasyon sırasında tarhana hamurundaki ve depolama süresince yaş ve kuru tarhananın mikrobiyolojik, kimyasal ve duysal özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, örneklerin protein içerikleri yaklaşık %16.79 olarak tespit edilmiştir (Erbaş vd. 2005). Bu ilgili literatür verileri tez çalışması sonuçları ile uyumludur.

4.4.12. Aminoasit profili

Tarhana, bitkisel kaynaklı sebze, baharat ve un gibi bileşenlerin; hayvansal kaynaklı, yüksek kaliteli protein içeren yoğurtla bir araya getirilmesiyle hazırlanan dengeli bir gıdadır. Tarhanada ana bileşenlerden biri olan un, özellikle esansiyel amino asitlerden lizin ve treonin açısından yetersizdir. Ancak üretimde kullanılan yoğurt, bu amino asitler yönünden zengindir. Bu sayede tarhana, tamamlayıcı bileşenlerin katkısıyla elzem amino asitler bakımından dengelenmiş, protein kalitesi yüksek bir fermente ürün olarak değerlendirilmektedir (Çekal ve Aslan 2017). Tarhananın aminoasit miktarı ve

profili son ürünlerdeki aroma-lezzet oluşumunu ve son ürünün besin değeri etkileyen önemli bir parametredir. Çünkü bazı mikroorganizmaların çeşitli aminoasitleri parçalaması ve proteinlerin serbest aminoasitlere dönüşmesi sonucunda farklı bileşenler oluşabilmektedir. Bu oluşan farklı bileşenler veya serbest aminoasitler son ürünlerdeki besin değeri ve lezzeti etkilemektedir. Örneğin aminoasitler enzimlerle deaminoasyon ve dekarboksilasyon yoluyla parçalanarak amonyak, karbondioksit, asetik asit, propiyonik, valerik asit ve izobütirik asit gibi bileşenlere dönüşebilmektedir. Sülfür içeren aminoasitlerin miktarındaki artış ise ürünün besin değeri olumlu yönde etkilemektedir (Erbaş vd. 2005).

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhanaların serbest aminoasit içeriğinin depolama süresine bağlı değişimi Çizelge 4.24'te verilmiştir. En yüksek serbest aminoasit miktarının KDKPK ve KPK yöntemlerinde elde edilen örnekler için olduğu, en düşük serbest aminoasit miktarının ise GK yöntemleri ile elde edilen örnekler için olduğu belirlenmiştir. Tarhana hamurunun serbest aminoasit içeriğinin verildiği Çizelge 4.11 dikkate alındığında, en yüksek aminoasit kaybının GK yönteminde olduğu anlaşılmaktadır. Depolama süresi boyunca, tüm örneklerin serbest aminoasit içerikleri istatistiksel açıdan önemli düzeyde artış göstermiştir. Çizelgeye göre tüm kurutma yöntemlerinde en yüksek içeriğin depolama başlangıcında glutamik asit olduğu, glutamik asidi prolinin takip ettiği gözlemlenmektedir. Metiyonin ve histidinin ise en düşük miktarda içerikler olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca, genellikle örneklerin glutamik asit, histidin, metiyonin içeriklerinin azaldığı, diğer serbest aminoasitlerin ise artış eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.24. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresi-ne bağlı toplam serbest aminoasit miktarı (mg /100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Glutamik asit (mg/100 g km)					
KDKPK	3303.55±1.45 ^{bB}	3257.42±8.58 ^{aC}	3439.47±2.53 ^{aA}	3246.63±1.37 ^{aD}	2508.89±1.11 ^{aE}
KPK	3461.56±8.44 ^{aA}	3212.50±2.50 ^{aC}	3231.76±1.24 ^{bB}	3233.82±1.18 ^{aB}	2388.68±1.32 ^{bD}
SHK	2199.47±5.53 ^{dE}	3157.92±1.08 ^{bA}	3016.89±1.11 ^{dB}	2399.47±4.53 ^{bC}	2365.66±5.66 ^{cD}
GK	3264.61±3.39 ^{cA}	3025.58±2.42 ^{cC}	3174.78±3.78 ^{cB}	2483.89±3.89 ^{bD}	2357.89±2.11 ^{cE}
Histidin (mg/100 g km)					
KDKPK	220.69±0.31 ^{aC}	177.15±0.85 ^{bCE}	238.34±1.66 ^{aB}	257.95±2.05 ^{aA}	192.81±2.19 ^{bD}
KPK	210.69±1.31 ^{aC}	179.90±0.10 ^{bD}	220.66±0.66 ^{bB}	253.19±1.81 ^{aA}	227.72±2.28 ^{aB}
SHK	243.71±1.29 ^{aA}	171.38±1.38 ^{cE}	202.67±2.67 ^{cD}	230.54±0.54 ^{bB}	219.53±0.47 ^{aC}
GK	214.40±0.60 ^{aB}	210.88±1.12 ^{aB}	213.63±1.63 ^{bB}	229.26±1.26 ^{bA}	223.86±1.14 ^{aA}
Arjinin (mg/100 g km)					
KDKPK	379.04±0.96 ^{bD}	303.72±1.28 ^{cE}	412.84±2.16 ^{aB}	448.75±1.25 ^{aA}	393.72±1.28 ^{aC}
KPK	359.59±0.41 ^{cC}	314.72±0.28 ^{bD}	389.11±0.89 ^{bB}	429.33±0.67 ^{bA}	388.01±1.99 ^{abB}
SHK	412.94±2.94 ^{aA}	299.60±0.40 ^{cE}	362.55±2.45 ^{cD}	394.02±0.98 ^{cB}	376.19±1.19 ^{cC}
GK	370.58±0.58 ^{bC}	365.62±0.62 ^{aC}	379.37±0.63 ^{bB}	398.22±1.78 ^{cA}	382.61±1.39 ^{bcB}
Glinin (mg/100 g km)					
KDKPK	349.04±0.96 ^{bD}	279.22±0.78 ^{bE}	379.83±0.17 ^{aB}	409.27±0.73 ^{aA}	363.47±1.53 ^{aC}
KPK	332.84±2.16 ^{cC}	288.81±1.19 ^{bD}	358.19±1.81 ^{aB}	397.52±2.48 ^{aA}	360.57±1.43 ^{aB}
SHK	383.94±1.06 ^{aA}	274.35±1.35 ^{bE}	329.92±0.08 ^{aD}	368.23±1.77 ^{bB}	347.81±2.81 ^{aC}
GK	341.61±1.39 ^{bcBC}	333.34±2.34 ^{aC}	347.81±2.19 ^{aBC}	362.87±2.87 ^{bA}	352.85±2.85 ^{aB}
Alanin (mg/100 g km)					
KDKPK	337.39±2.61 ^{bD}	268.91±1.09 ^{bCE}	364.25±0.75 ^{aB}	397.11±2.89 ^{aA}	349.21±0.79 ^{aC}
KPK	319.03±0.97 ^{cC}	273.87±1.87 ^{bD}	341.53±1.53 ^{bB}	385.21±4.79 ^{aA}	344.34±0.66 ^{abB}
SHK	369.13±0.87 ^{aA}	264.80±0.20 ^{cE}	318.89±1.11 ^{dD}	349.85±0.15 ^{bB}	337.77±2.23 ^{bC}
GK	326.34±1.34 ^{cC}	323.79±1.21 ^{aC}	334.01±0.99 ^{cB}	353.58±1.42 ^{bA}	339.07±0.93 ^{bB}
Prolin (mg/100 g km)					
KDKPK	750.93±0.93 ^{bc}	618.75±1.25 ^{aE}	689.83±0.17 ^{aD}	2692.76±2.24 ^{aA}	782.86±2.14 ^{bB}
KPK	717.13±2.87 ^{cB}	569.99±5.01 ^{cB}	589.85±0.15 ^{cB}	1348.23±16.77 ^{ba}	818.18±1.82 ^{aB}
SHK	1506.85±3.15 ^{aA}	587.53±2.47 ^{bC}	580.74±1.26 ^{cC}	869.09±10.91 ^{cB}	778.26±1.74 ^{bB}
GK	603.24±1.76 ^{dB}	587.81±2.81 ^{bC}	603.19±1.81 ^{bB}	746.23±46.23 ^{cA}	797.69±2.31 ^{ba}
Metiyonin (mg/100 g km)					
KDKPK	187.92±2.08 ^{bc}	149.33±0.67 ^{bE}	203.27±2.73 ^{aB}	218.79±1.21 ^{aA}	163.85±3.15 ^{bD}
KPK	178.27±1.73 ^{bc}	154.14±0.86 ^{bD}	188.34±1.66 ^{bB}	213.88±1.12 ^{aA}	191.03±1.97 ^{aB}
SHK	207.21±2.79 ^{aA}	149.28±0.72 ^{bD}	173.34±1.66 ^{cC}	194.22±1.78 ^{bB}	187.53±2.47 ^{bB}
GK	182.61±2.39 ^{bB}	178.05±1.95 ^{aB}	180.91±2.09 ^{bcB}	194.37±0.63 ^{ba}	188.22±1.78 ^{baB}
Fenilalanin (mg/100 g km)					
KDKPK	439.29±0.71 ^{bc}	354.43±3.57 ^{bcD}	474.45±0.55 ^{aB}	522.30±2.70 ^{aA}	461.12±3.88 ^{aB}
KPK	418.44±1.56 ^{cC}	367.98±2.02 ^{aD}	451.02±1.98 ^{aB}	500.69±1.31 ^{ba}	451.00±1.00 ^{abB}
SHK	483.80±1.20 ^{aA}	350.42±1.58 ^{cE}	417.33±2.33 ^{aD}	461.19±1.81 ^{cB}	439.10±0.90 ^{bC}
GK	432.31±2.69 ^{bcD}	425.49±0.51 ^{aD}	437.26±2.26 ^{aBC}	461.82±1.18 ^{cA}	444.31±0.69 ^{bB}
Lisin (mg/100 g km)					
KDKPK	331.38±1.62 ^{bD}	264.39±0.61 ^{bCE}	356.65±1.65 ^{aB}	392.58±2.42 ^{aA}	341.03±1.03 ^{aC}
KPK	313.64±0.36 ^{dC}	275.45±1.55 ^{bD}	337.04±0.96 ^{bB}	372.66±2.66 ^{ba}	339.11±0.89 ^{aB}
SHK	363.86±1.14 ^{aA}	263.68±2.32 ^{cE}	312.38±0.62 ^{dD}	348.11±1.89 ^{cB}	331.34±1.66 ^{bC}
GK	323.63±1.37 ^{cC}	315.21±2.21 ^{aD}	326.81±1.19 ^{cBC}	348.27±1.73 ^{cA}	334.57±0.43 ^{abB}
Toplam (mg/100 g km)					
KDKPK	6299.23±9.77 ^{aC}	5673.32±10.68 ^{bD}	6558.94±7.06 ^{aB}	8586.15±16.85 ^{aA}	5556.94±15.06 ^{aE}
KPK	6311.19±11.81 ^{aB}	5637.36±6.64 ^{bDC}	6107.51±6.49 ^{bcB}	7134.52±27.48 ^{ba}	5508.65±13.35 ^{aD}
SHK	6170.89±9.11 ^{ba}	5518.95±6.05 ^{cD}	5714.71±3.29 ^{dB}	5614.71±19.29 ^{cC}	5383.19±4.81 ^{bE}
GK	6059.32±8.68 ^{cA}	5765.77±0.77 ^{abc}	5997.77±4.23 ^{cA}	5578.50±17.50 ^{cB}	5421.07±7.93 ^{bC}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencereless kurutma. KPK:Kırınım pencereless kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir. Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Uşak tipi tarhananın aminoasit ve protein içeriklerinin araştırıldığı bir çalışmada, maya ilaveli ve maya ilavesiz tüm tarhana örneklerinde en yüksek serbest aminoasit içeriğinin glutamik asit ve prolin olduğu belirlenmiştir (Varol 2021). Tez çalışması kapsamında da en yüksek içeriklerin glutamik asit ve prolin olduğu gözükmemekte olup sonuçlar literatürü destekler niteliktedir.

Ülkemizin farklı bölgelerinden toplam 134 adet tarhana örneğinin analiz edilip çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada, en yüksek serbest aminoasit içeriklerinin glutamik asit ve prolin olduğu, en düşük serbest aminoasit içeriklerinin ise sistein ve tirozin olduğu rapor edilmiştir (Daglioğlu 2000).

Tarhana hamurunda buğday ununa karabuğday ununun farklı oranlarda ikame edildiği ve elde edilen son ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, karabuğday unu ilavesiyle ürünlerin bazı serbest aminoasit miktarları artış göstermiştir. En yüksek serbest aminoasitin lisin ve tirozin olduğu, karabuğday unu ilavesiyle ürünlerin asparajin ve glutamik asit miktarının azaldığı tespit edilmiştir (Bilgiçli 2009). Tez çalışması ve bu literatür bulguları arasındaki farklılık tarhana hamur formülasyonlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Erbaş vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, fermentasyon süresi boyunca tarhanaların çeşitli fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Fermentasyon süresince tarhanaların serbest aminoasit içeriklerinin arttığı buna bağlı olarak da ürünlerin pH değerinin düştüğü belirlenmiştir. Fermentasyon başlangıcında glutamik asit ve triptofanın, fermentasyon sonunda ise glutamik asit, triptofan ve valinin en yüksek içerikler olduğu rapor edilmiştir.

Ticari ve ev yapımı 20 farklı çeşit tarhananın çeşitli fizikokimyasal içeriklerinin araştırıldığı bir çalışmada, ürünlerin toplam serbest aminoasit miktarları 0.040 ve 0.729 g/100 g tarhana arasında değiştiği rapor edilmiştir. Tez çalışması verilerine bakıldığında ise, gerekli birim çevirme basamakları sonrasında elde edilen verilerin bu literatür çalışması ile uyumlu bulunduğu tespit edilmiştir (Özdestan ve Üren 2013).

Göncü (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, vişne püresinin salça ve biber püresine çeşitli oranlarda ikamesinin son ürünlerdeki fizikokimyasal özellikleri nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Çalışmada kullanılan kontrol grubunu temsil eden tarhana hamuru, tez çalışması kapsamında hazırlanan hamur ile aynı formülasyondadır. Çalışma sonuçlarına göre, glutamik asit miktarı 4248 mg/100 g, arjinin miktarı 497 mg/100 g, glisin miktarı 367 mg/100 g, metiyonin miktarı 231 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler tez çalışması ile benzer sonuçlar içermektedir.

4.4.13. Toplam fenolik madde miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam fenolik madde miktarları Çizelge 4.25'te verilmiştir. Çizelge 4.25 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların toplam fenolik madde miktarı 154.86-298.05 mg GAE/100 g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 159.39-278.05 mg GAE/100 g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 149.26-270.07 mg GAE/100 g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 137.88-246.12 mg GAE/100 g km değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. En yüksek toplam fenolik madde miktarına sahip

örneklerin KDKPK yöntemi ile elde edildiği, tüm kurutma yöntemlerinde depolama süresinin artmasına bağlı toplam fenolik madde miktarında azalma tespit edilmiştir.

Çizelge 4.25. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresi-ne bağlı toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g km)					
KDKPK	298.49±1.27 ^{aA}	270.90±3.94 ^{aB}	212.44±4.00 ^{aC}	172.33±1.33 ^{aD}	154.86±3.61 ^{aE}
KPK	278.05±0.51 ^{bA}	260.27±4.72 ^{aB}	241.82±0.74 ^{aC}	169.58±5.47 ^{aD}	159.39±1.86 ^{aD}
SHK	270.07±1.53 ^{bA}	246.87±7.75 ^{aAB}	190.42±8.44 ^{bBC}	165.22±1.11 ^{aCD}	149.26±2.03 ^{abD}
GK	246.12±1.74 ^{cA}	194.67±0.82 ^{bb}	182.11±0.62 ^{bc}	166.08±3.03 ^{aD}	137.88±1.91 ^{bE}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma. KPK:Kırım pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Kurutma sıcaklığındaki artış ile ürünlerin toplam fenolik madde miktarında da artış tespit edilmiştir. Nitekim KDKPK yönteminde kızılötesi lamba kullanımının da toplam fenolik madde miktarını arttırdığı gözlemlenmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamalarının, hücre yapılarında daha fazla bozulmaya yol açarak bağlı olan fenolik bileşenlerin hücre matrisinden daha kolay serbest kaldığı ve daha kolay ekstrakte edilebildiği bilinmektedir (Patrón-Vázquez vd., 2019; Hernández-Santos vd., 2016). Ayrıca kurutma işlemi sırasında meydana gelen esmerleşme reaksiyonları sonrası elde edilen ara ürünler, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitede de artışa neden olabilmektedir. Bu artış, kurutma işlemi sırasında konjuge fenolik yapıların parçalanması, bunu takiben gerçekleşen belirli düzeyde polimerizasyon ve/veya oksidasyon reaksiyonları ile ilişkili olabilmektedir. Ayrıca, tanede doğal olarak bulunan endojen fenolik bileşiklere ek olarak, yeni fenolik yapıların oluşumu da bu artışta rol oynayabilmektedir. Bunun yanı sıra, Maillard reaksiyonu (enzimatik olmayan esmerleşme), karamelizasyon ve fenolik bileşiklerin kimyasal oksidasyonu gibi diğer reaksiyonların da toplam fenolik madde içeriğinde gözlenen artışa katkı sağladığı literatürde ifade edilmektedir (Bardakçı 2022). Bu bilgiler ışığında, tez çalışması verileri incelendiğinde, en yüksek toplam fenolik madde miktarına, en yüksek HMF içeriğine ve en yüksek esmerleşme indeksi değerine sahip örneklerin KDKPK yöntemi ile elde edilen ürünler olduğu görülmektedir.

Kızılötesi lamba gücünün son ürünlerdeki fenolik madde miktarını arttırdığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Örneğin, KPK sisteminde kızılötesi lamba, vakum uygulaması ve zorlamalı hava akımının kombine edildiği hibrit kurutma yöntemlerinde domates püresinin kurutulduğu bir çalışmada, en yüksek fenolik madde içeriğinin kızılötesi lamba kullanılarak gerçekleştirilen kurutma yönteminde elde edildiği bildirilmiştir (Gaviria-Lozano vd., 2025). Ayrıca soğan püresinin çeşitli yöntemlerle kurutulduğu bir çalışmada, en yüksek fenolik madde içeriğinin yine kızılötesi lamba desteği KPK yönteminde elde edildiği rapor edilmiştir (Vural 2024).

Tarhana formülasyonunda buğday unu yerine yulaf ununun ikame olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, formülasyona farklı oranlarda yulaf unu buğ-

day unu yerine ilave edilmiş ve elde edilen hamurlar 50 °C’de fırında kurutulmuştur. Toz tarhanaların toplam fenolik madde miktarları serbest halde 122.49-217.40 mg GAE/100 g km olarak hesaplanmıştır (Kilci ve Gocmen 2014).

Tarhana hamurunun atmosferik ve vakum şartlarında KPK kurutma yöntemleri, etüv ve konveksiyonel kurutma yöntemleri ile kurutulduğu çalışmada, kullanılan hamur formülasyonu tez çalışmasındaki formülasyon ile aynı olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışma kapsamında örneklerin toplam fenolik madde içeriği 35.03-42.19 mg GAE/ 100 g km değerleri arasında hesaplanmıştır (Bardakçı 2022). Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ile bu sonuçların farklılığın hamur formülasyonunda kullanılan hammadde farklılığından olabileceği değerlendirilmiştir.

İsık ve Yapar (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, biyoaktif özellikleri iyileştirmek amacıyla tarhana hamuruna farklı oranlarda domates çekirdeği katılmış ve elde edilen son ürünlerin çeşitli fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Son ürünlerin toplam fenolik madde miktarları 200-400 mg GAE / 100 g km arasında olup, formülasyonda domates çekirdeği oranının artmasıyla ürünlerin toplam fenolik madde içeriklerinin arttığı rapor edilmiştir.

4.4.14. Antioksidan aktivite

Serbest radikaller, hücre yapısına zarar verebilecek reaksiyonlarla oluşabilen kararsız moleküllerdir. Antioksidan maddeler ise bu zararlı moleküllerin oluşumunu engelleyerek ya da yavaşlatarak vücut için koruyucu bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle, günlük beslenmeyle yeterli miktarda antioksidan alınması sağlık açısından büyük önem taşımaktadır. Gıdalarda bulunan antioksidan bileşenlerin yüksek düzeyde olması hem gıdanın kalitesini artırmakta hem de insan sağlığına olumlu katkılar sağlamaktadır. Yapılan çeşitli araştırmalar, antioksidanların bazı hastalıkların önlenmesinde ve hücre yaşlanmasının geciktirilmesinde etkili olduğunu göstermektedir. Gıdaların işlenmesi sırasında antioksidan maddelerin korunması da oldukça önemlidir (Albayrak vd. 2010).

Tez çalışması kapsamında, farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.26’da verilmiştir. Çizelgeye göre, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların antioksidan aktivite değerlerinin 22.26-98.31 mg TEAA/100 g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların antioksidan aktivite değerlerinin 13.27-83.38 mg TEAA/100 g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların antioksidan aktivite değerlerinin 13.29-90.16 mg TEAA/100 g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların antioksidan aktivite değerlerinin ise 9.35-74.40 mg TEAA/100 g km arasında değiştiği gözlenmiştir. En yüksek antioksidan aktivite değerleri KDKPK, KDK ve SHK yöntemleri ile kurutulmuş örneklerde tespit edilmiş olup bu kurutma yöntemleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz düzeydedir. En düşük antioksidan aktivite değerleri ise GK yöntemi ile elde edilmiş toz örneklerde hesaplanmıştır. Tüm kurutma yöntemlerinde depolama periyodu boyunca antioksidan aktivite değerleri azalmış olup, depolama sonunda en yüksek antioksidan aktivite değerine sahip örneklerin KDKPK yöntemi ile elde edilen örnekler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı antioksidan aktivite (mg TEAA/100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Antioksidan aktivite (mg TEAA/100 g km)					
KDKPK	98.31±3.24 ^{aA}	63.54±4.05 ^{aB}	37.26±2.30 ^{aC}	27.62±1.26 ^{aCD}	22.26±0.99 ^{aD}
KPK	83.38±3.17 ^{abA}	46.95±0.42 ^{bBC}	30.02±1.15 ^a	13.27±0.71 ^{bD}	14.08±0.81 ^{bD}
SHK	90.16±2.15 ^{aA}	48.65±2.35 ^{bB}	29.04±1.17 ^{aC}	14.39±0.46 ^{bD}	13.29±0.17 ^{cbD}
GK	74.40±6.22 ^{bA}	40.04±0.17 ^{cB}	17.78±0.39 ^{bC}	10.18±0.47 ^{bC}	9.35±0.33 ^{cC}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Tarhana, buğday unu, yoğurt ve çeşitli sebzelerin karışımıyla fermente edilen geleneksel bir Türk gıdasıdır. İçerdiği yoğurt, sebzeler ve baharatlar sayesinde tarhana, yüksek besin değeri ve önemli miktarda antioksidan kapasiteye sahiptir. Tarhanalardaki antioksidan kapasite, büyük oranda fenolik bileşiklerin, askorbik asit gibi vitaminlerin ve karotenoidlerin varlığına bağlıdır. Tarhanada bulunan bu bileşenler, ışık, oksijen ve yüksek sıcaklık gibi faktörlerle zamanla okside olabilmekte ve dolayısıyla antioksidan etkinlik azalmaktadır (Karahanlı vd. 2019). Nitekim tez çalışması kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde, depolama süresindeki artış ile toz tarhanaların antioksidan aktivite değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

Tarhana hamurunun konveksiyonel ve dondurarak kurutulması ve elde edilen ürünlerin fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, ürünlerin antioksidan aktivite değerleri sırasıyla 38.2-36.3 Mm olarak hesaplanmıştır. Kurutma sıcaklığındaki artış ile ürünlerin antioksidan aktivite değerlerinin artma eğilimde olduğu, bu eğilimin de esmerleşme reaksiyonu ürünlerinin antioksidan madde özelliği gösterebileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Işık vd. 2023).

4.4.15. Toplam karotenoid miktarı

Tarhanalardaki karotenoid içeriği formülasyona ilave edilen salça, kırmızı biber ve toz kırmızı biber hammaddelerinden kaynaklanmaktadır. Bu hammaddeler tarhanaya özgü sarımtırak-kırmızı rengi sağlamakta olup bu görsel renk tüketici algısı için de oldukça önemlidir. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam karotenoid madde miktarları Çizelge 4.27’de verilmiştir. Çizelgeye göre; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların toplam karotenoid miktarı 5.99-13.71 mg/100 g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 6.23-14.51 mg/100 g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 2.87-8.21 mg/100 g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 2.71-7.04 mg/100 g km değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. En yüksek toplam karotenoid miktarı KDKPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen toz örneklerde hesaplanmıştır. En düşük toplam karotenoid madde miktarı ise SHK ve GK yöntemleri ile üretilen örneklerde elde edilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde depolama süresine bağlı olarak ürünlerin toplam karotenoid madde miktarlarında istatistiksel açıdan önemli düzeyde azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.27. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı toplam karotenoid miktarı (mg /100 g km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	Toplam karotenoid miktarı(mg/100 g km)				
KDKPK	13.71±1.53 ^{aA}	11.16±0.29 ^{aAB}	8.91±0.09 ^{aBC}	6.85±0.02 ^{aC}	5.99±0.02 ^{aC}
KPK	14.51±0.22 ^{aA}	10.09±0.89 ^{aB}	8.45±0.11 ^{aC}	6.99±0.08 ^{aD}	6.23±0.06 ^{aD}
SHK	8.21±0.14 ^{bA}	6.39±0.16 ^{bB}	5.07±0.01 ^{bC}	3.35±0.27 ^{bD}	2.87±0.04 ^{bD}
GK	7.04±0.12 ^{bA}	6.94±0.14 ^{bA}	4.86±0.17 ^{bB}	2.97±0.04 ^{bC}	2.71±0.04 ^{bC}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Domates ve biber çekirdeğinin farklı oranlarda tarhana hamuruna katkılандığı bir çalışmada, tarhana tozları 12 ay depolanmış ve depolama periyodu boyunca çeşitli fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma verilerine göre depolama süresince ürünlerin toplam karotenoid madde içerikleri azaldığı tespit edilmiştir. Ürünlerin karotenoid madde içeriklerinin azalmasıyla renk değerlerinden a değeri de azalmıştır. Bu durumun karotenoidlerin otooksidasyonun ve karotenoidlerin ısı, ışık, asit ve oksijen ile okside olmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir (Işık 2013). Nitekim tez çalışma verilerine göre de, en düşük a değerinin GK yöntemi ile elde edilen örneklerde olduğu aynı zamanda bu örneklerin de en düşük toplam karotenoid madde miktarına sahip olduğu gözlemlenmektedir. GK yöntemleri ile kurutulmuş ürünlerin açık hava akımında kurutulmasından kaynaklı ürünlerdeki karotenoid maddelerin kolaylıkla okside olduğu bu sebepten karotenoid madde miktarının azaldığı düşünülmektedir.

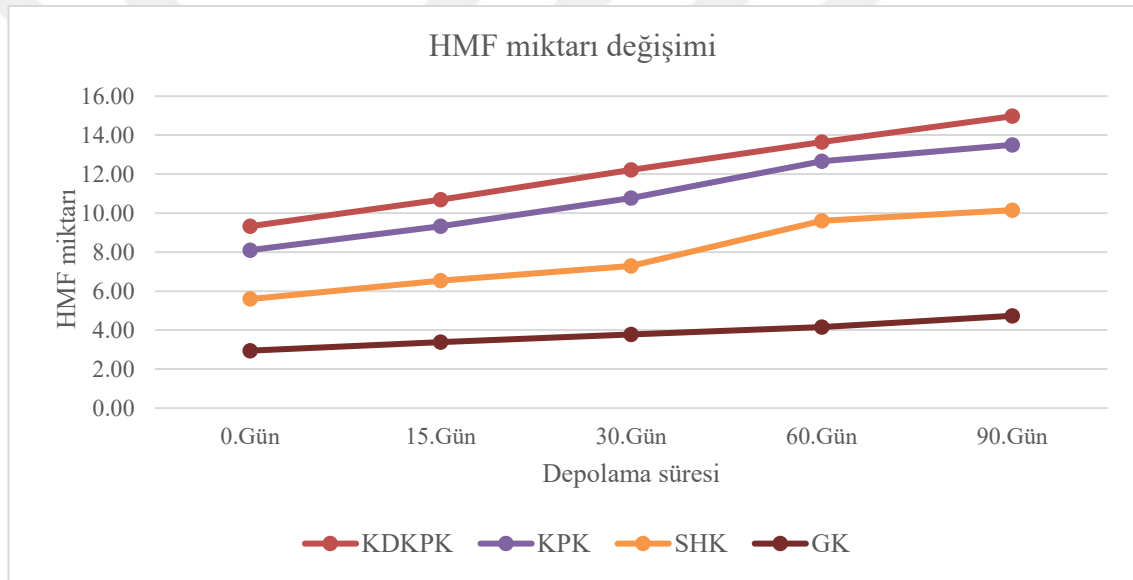
4.4.16. 5-Hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı

Isıl işleme maruz kalmanın bir ölçütü olan HMF miktarının, farklı kurutma yöntemleri ile elde edilmiş tarhana tozlarının depolama süresine bağlı değişimi Çizelge 4.28'de verilmiştir. Çizelge 4.28 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların HMF miktarı 9.33-14.97 mg GAE/100 g km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 8.10-13.51 mg GAE/100 g km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 5.59-10.16 mg GAE/100 g km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 2.95-4.74 mg GAE/100 g km değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.9'a göre ise en yüksek HMF miktarına sahip örneklerin KDKPK yöntemi ile elde edildiği, en düşük HMF içeriğine sahip örneklerin ise GK yöntemi ile elde edilen örneklere ait olduğu belirlenmiştir. Depolama süresindeki artış ile tüm örneklerin HMF içeriğinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.28. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı HMF miktarı (mg /kg km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
	HMF (mg/kg km)				
KDKPK	9.33±0.25 ^{aE}	10.70±0.03 ^{aD}	12.21±0.05 ^{aC}	13.65±0.09 ^{aB}	14.97±0.06 ^{aA}
KPK	8.10±0.43 ^{aD}	9.33±0.53 ^{aCD}	10.77±0.09 ^{bBC}	12.67±0.12 ^{bAB}	13.51±0.36 ^{bA}
SHK	5.59±0.54 ^{bC}	6.54±0.09 ^{bBC}	7.29±0.28 ^{cB}	9.61±0.10 ^{cA}	10.16±0.14 ^{cA}
GK	2.95±0.00 ^{cD}	3.48±0.09 ^{cC}	3.68±0.01 ^{dC}	4.16±0.04 ^{dB}	4.74±0.07 ^{dA}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınım pencerelessi kurutma. KPK:Kırınım pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma
Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.
Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



Şekil 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı HMF (mg/100g km) değerleri

HMF oluşumunda önemli bir yeri olan Maillard reaksiyonu, karbonil grubu içeren bileşiklerle (özellikle indirgen şekerler) amino grubu taşıyan bileşikler (aminoasitler, aminler, peptitler ve proteinler) arasında gerçekleşen bir dizi kimyasal tepkimedir. Bu iki grup bir araya geldiğinde ve uygun koşullar oluştuğunda (örneğin ısı, düşük su aktivitesi, asidik ortam), Maillard reaksiyonu başlar. Bu reaksiyon sonucunda lezzet ve renk oluşmakta, ancak aynı zamanda HMF gibi bileşikler de ortaya çıkmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında bu reaksiyonda hızlanmaktadır. Tarhana üretiminde ise hem karbonil grubu hem de amino grubu içeren bileşikler doğal olarak bulunmaktadır. Karbonil grubu tarhanadaki un ve sebzelerden gelen indirgen şekerlerde, amino grubu ise yoğurt ve un kaynaklı proteinler ile fermentasyon sonucunda ortaya çıkan serbest aminoasitlerde bulunmaktadır. Tarhanalarda aminoasit varlığı ve yüksek sıcaklık uygulamaları bu reaksiyonları hızlandırmaktadır (Batu vd. 2014). Nitekim tez çalışması verileri incelendiğinde, en yüksek aminoasit içeriğine sahip örneklerin

KDKPK yöntemi ile elde edilen örnekler olduğu ve yine en yüksek kurutma sıcaklığının bu yöntemde uygulandığı görülmektedir. KDKPK yöntemi ile elde edilen örneklerin en yüksek HMF miktarına sahip olmasının da bu durumlara bağlı olduğu bilimsel verilerle ilişkilendirilmektedir.

Bir uçucu bileşen olan ‘furfural’ ise yine Maillard reaksiyonunun bir ara ürünüdür. Tez çalışması kapsamında elde edilen ürünlerin uçucu bileşenlerinin verildiği Çizelge 4.30-4.31-4.32-4.33 incelendiğinde, en yüksek furfural bileşen alanının KDKPK yöntemi ile elde edilen ürünlerde belirlendiği görülmektedir. Ayrıca en düşük HMF miktarının elde edildiği GK yönteminde, furfural bileşeni tespit edilmemiştir.

Göncü (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, vişne püresinin tarhana hamurundaki kullanım olanakları araştırılmıştır. Tez çalışmasına benzer bir formülasyonla hazırlanan kontrol örneğinin HMF içeriği 6.36 ppm olarak hesaplanmış olup, tez çalışmasındaki veriler ile uyumludur.

4.4.17. Suda çözünür vitamin miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının suda çözünür vitamin miktarlarının depolama süresine bağlı değişimi Çizelge 4.29’da verilmiştir. Çizelge 4.29 incelendiğinde; KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların Askorbik asit değerlerinin 487.80-98.9 mg/kg km, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 516.03- 109.55 mg/kg km, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 290.44- 85.39 mg/kg km, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 207.68-62.46 mg/kg km arasında değiştiği gözlenmiştir.

Örneklerin depolama süresine bağlı B₃, B₆ ve B₉ vitamin miktarının değişimi ise şu şekildedir: KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların B₃ (Niasin) , B₆ (Piridoksin) ve B₉ (Folik asit) vitamin miktarı değerleri sırasıyla 60.01-37.13, 33.32-19.54, 3.71-1.12 mg/kg km; KPK yöntemi ile elde edilen tozların 50.33-27.74, 36.51-18.72, 4.11-1.98 mg/kg km; SHK yöntemi ile elde edilen tozların 46.02-27.63, 47.72-18.16, 3.21-1.50 mg/kg km; GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 30.65-14.89; 25.95-14.33, 1.73-0.83 mg/kg km arasında değişmektedir.

Çizelge 4.29. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı askorbik asit, B₃, B₆ ve B₉ vitamin miktarı (mg /kg km) değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Askorbik asit (mg/kg km)					
KDKPK	487.80±0.59 ^{aA}	397.98±1.80 ^{aB}	249.65±2.48 ^{aC}	133.66±2.14 ^{aD}	98.99±0.32 ^{bE}
KPK	516.03±4.16 ^{aA}	404.13±8.77 ^{aB}	214.07±6.82 ^{bC}	140.67±1.15 ^{aD}	109.55±0.74 ^{aE}
SHK	290.44±8.13 ^{bA}	247.15±7.27 ^{bA}	154.90±3.18 ^{cB}	113.20±0.93 ^{bBC}	85.39±2.10 ^{cC}
GK	207.68±0.92 ^{cA}	155.90±0.31 ^{cB}	113.31±2.03 ^{dC}	75.28±1.14 ^{cD}	62.46±0.73 ^{dE}
B ₃ (mg/kg km)					
KDKPK	60.01±0.66 ^{aA}	52.90±0.74 ^{aB}	47.79±0.17 ^{aC}	39.63±0.15 ^{aD}	37.19±0.26 ^{aD}
KPK	50.33±0.39 ^{bA}	44.20±0.28 ^{abB}	34.69±0.90 ^{bC}	32.34±0.45 ^{aC}	27.74±0.53 ^{bC}
SHK	46.02±2.70 ^{bA}	37.61±0.22 ^{bB}	34.03±0.55 ^{bBC}	31.08±0.18 ^{aBC}	27.63±0.26 ^{bC}
GK	30.65±0.13 ^{cA}	26.79±0.39 ^{cB}	20.99±0.53 ^{cB}	18.22±0.65 ^{bC}	14.89±0.65 ^{cC}

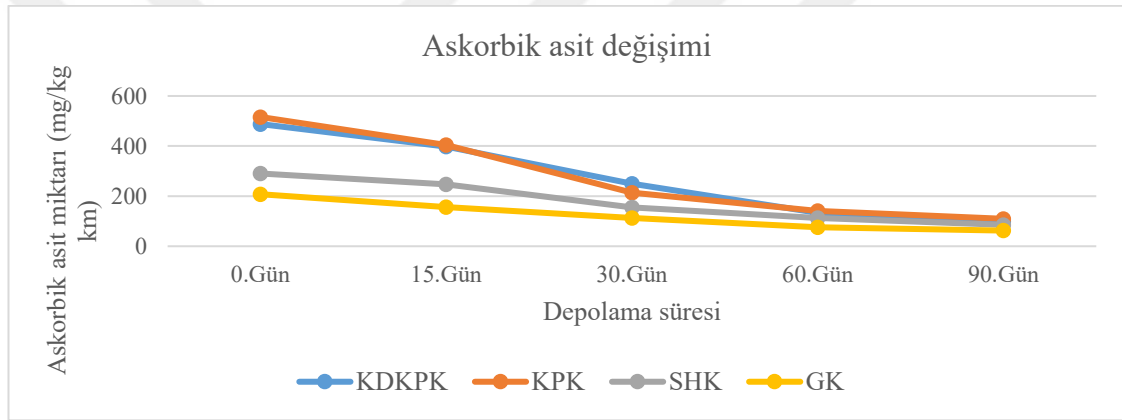
Devamı arkada

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
B₆ (mg/kg km)					
KDKPK	33.32±0.58 ^{bA}	28.71±0.43 ^{cB}	23.66±0.38 ^{bC}	20.37±0.41 ^{aD}	19.45±0.38 ^{aD}
KPK	36.51±0.84 ^{bA}	35.67±0.21 ^{bA}	27.74±0.22 ^{aB}	19.24±0.40 ^{aC}	18.72±0.31 ^{aC}
SHK	47.72±0.10 ^{aA}	42.92±0.01 ^{aB}	23.66±0.38 ^{bC}	18.44±0.78 ^{abD}	18.16±0.21 ^{aD}
GK	25.95±0.29 ^{cA}	24.88±0.12 ^{dA}	23.25±0.51 ^{bB}	15.51±0.14 ^{bC}	14.33±0.04 ^{bC}
B₉ (mg/kg km)					
KDKPK	3.71±0.04 ^{bA}	3.01±0.00 ^{aB}	2.51±0.04 ^{aC}	1.23±0.01 ^{cD}	1.12±0.03 ^{cD}
KPK	4.11±0.01 ^{aA}	3.12±0.06 ^{aB}	2.66±0.04 ^{aC}	2.36±0.03 ^{aD}	1.98±0.05 ^{aE}
SHK	3.21±0.01 ^{cA}	2.66±0.02 ^{bB}	2.21±0.01 ^{aC}	1.63±0.04 ^{bD}	1.50±0.02 ^{bE}
GK	1.73±0.01 ^{dA}	1.57±0.04 ^{cB}	1.08±0.02 ^{bC}	0.91±0.01 ^{dD}	0.83±0.02 ^{dD}

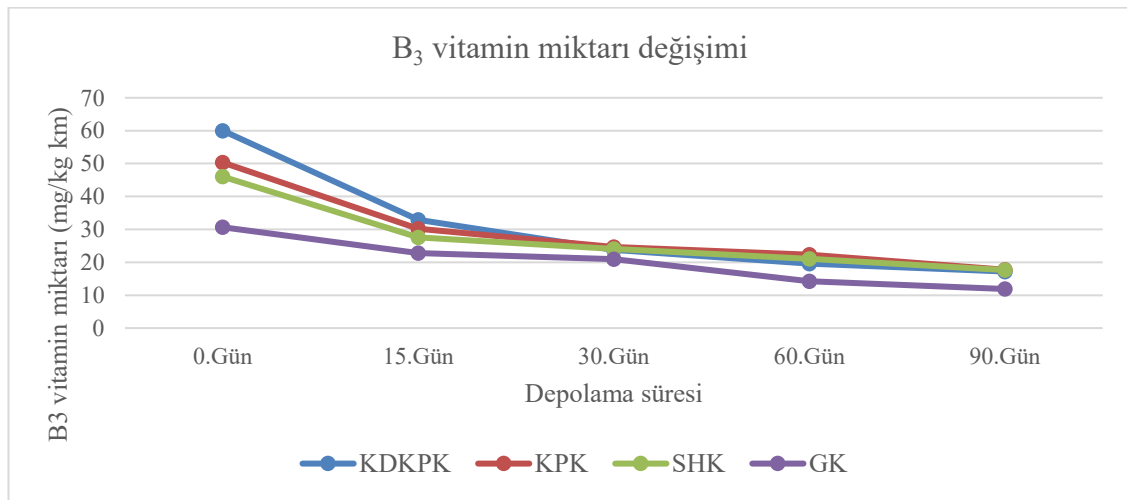
Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırınm pencerele kurutma. KPK:Kırınm pencerele kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

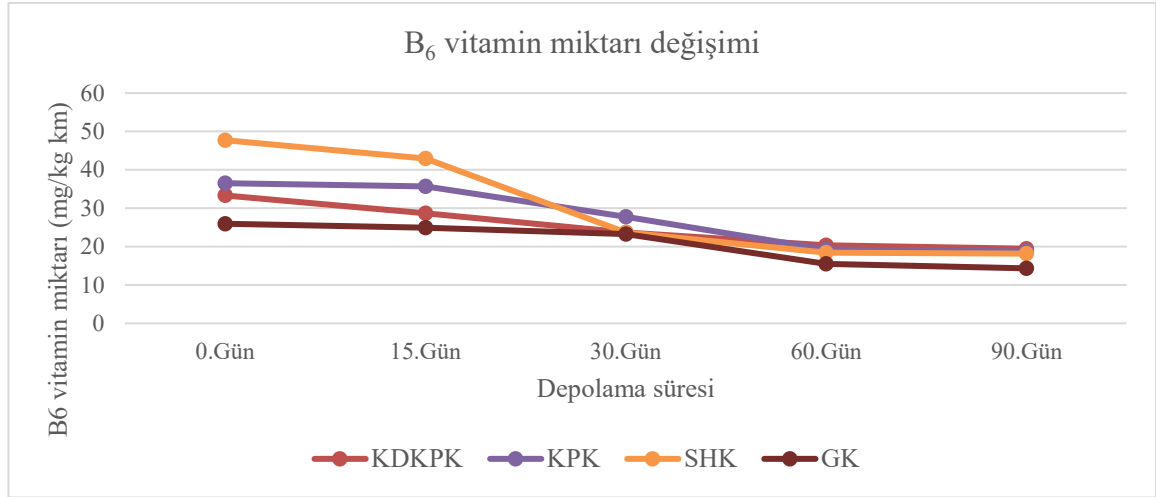
Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



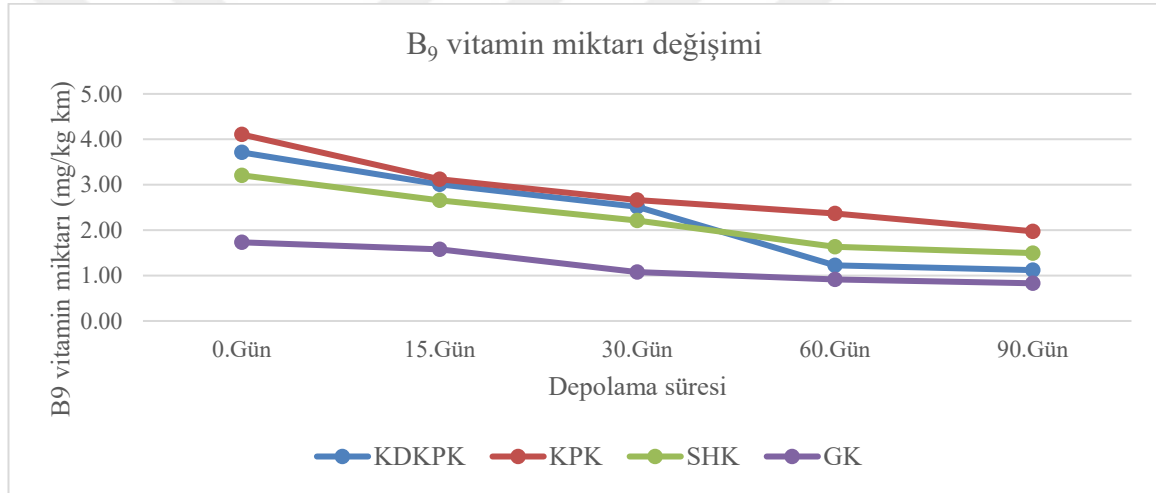
Şekil 4.10. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı Askorbik asit (mg/100g km) değerleri



Şekil 4.11. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B₃ vitamini (mg/100g km) değerleri



Şekil 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B₆ vitamini (mg/100g km) değerleri



Şekil 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı B₉ vitamini (mg/100g km) değerleri

Suda çözünür vitamin miktarlarının depolama süresine bağlı değişimlerinin grafik olarak Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13'te verilmiştir. İlgili grafikler incelendiğinde, en yüksek Askorbik asit ve folik asit miktarlarının KPK yöntemi ile elde edilen tozlara, en düşük Askorbik asit ve folik asit miktarlarının ise GK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu görülmektedir. En yüksek niasin miktarının, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozlara, en düşük niasin miktarının ise GK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu belirlenmiştir. SHK yöntemi ile elde edilen tozların en yüksek piridoksin miktarına sahip olduğu, en düşük piridoksin miktarının ise GK yöntemi ile elde edilen tozlara ait olduğu tespit edilmiştir. Tüm örneklerin suda çözünür vitamin miktarları depolama süresinin artması ile azalmıştır.

Ekinci (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sıcak hava kurutma yönteminde 50-60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulan tarhana tozlarının biyoaktif bileşenleri araştırılmıştır. Tarhana tozlarının Askorbik asit miktarı 14-16.3 ppm, niasin miktarı

16.1-18.4 ppm, piridoksin miktarı 0.23-0.30 ppm, folik asit miktarı ise 0.40-0.48 ppm arasında belirlenmiştir. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ile bu sonuçların farklılığın hamur formülasyonunda kullanılan hammadde ve kurutma yöntemleri farklılığından olabileceği değerlendirilmiştir.

Ekinci ve Kadakal (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, tarhana örneklerinin HPLC yöntemi ile suda çözünür vitamin içerikleri araştırılmıştır. Tarhana örneklerinde en fazla Askorbik asit ve B grubu vitaminlerden de en fazla niasin bulunduğu rapor edilmiştir.

4.4.18. Uçucu bileşen kompozisyonu

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının uçucu bileşen kompozisyonları Çizelge 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33'te verilmiştir.

KDKPK yönteminde kurutulan tarhana tozlarının uçucu bileşen kompozisyonunun verildiği Çizelge 4.30 incelendiğinde; 11 karboksilik asit, 9 aldehit, 8 alkol, 7 ester, 5 keton olmak üzere toplam 58 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir. Alkol grubundan 2,3-Bütanediol, karboksilik asit grubundan asetik asit, ester grubundan etil oktanoat, keton grubundan 6-Metilhept-5-en-2-on ve aldehit grubundan da nonanal en yüksek alanlı bileşenler olarak belirlenmiştir. Tespit edilen bileşenlerde en yüksek alanlı bileşen alkol grubundan 2,3-Bütanediol bileşenidir. 2,3-Bütanediol fermentasyon ürünlerinde doğal olarak oluşan, bazı laktik asit ve mayalar tarafından glukozu kullanarak sentezlenen bir alkoldür. Son ürüne hafif tatlı, yumuşak ve alkollü bir aroma profili kazandırmaktadır. 2,3-Bütanediol bileşenin depolama süresi arttıkça alanının azaldığı tespit edilmiştir. 2-İzopropil-5-metil-1-heptanol; 3-Metil-1-pentanol ve gliserol depolama başlangıcında tespit edilemeyip depolama süresince ortaya çıkan alkol grubu bileşenlerdendir. Karboksilik asit grubundan asetik asit ise yine tarhanalarda laktik asit bakterileri tarafından şekerin parçalanmasıyla oluşan birincil organik asittir. Tarhanalarda keskin, ekşi aromayı sağlayan asetik asit fermente tat oluşumu için önemlidir. Fermente ürünlerde bulunan asetik asitin depolama süresi boyunca miktarsal olarak azalması 2 nedene bağlı olabilir. Son ürünler yüksek sıcaklık ve hava teması olan bir ortamda depolanırsa asetik asit buharlaşıp üründen ayrılabilir. Diğer bir neden ise, etanol ile esterleşme reaksiyonlarına katılıp etil asetat bileşenini oluşturmalarıdır. Nitekim tez çalışması kapsamında depolama süresindeki artış ile ürünlerdeki asetik asit alanı azalmış olup etil asetat oluşumu gözlemlenmiştir. Karboksilik asit grubundan 3-Metilbütanoik asit ve stearik asit bileşenleri depolama süresi depolama başlangıcında tespit edilmeyip depolama süresi boyunca oluşan bileşenlerdir. Ester grubundan en yüksek alanlı bileşen olan etil oktanoat ise yine fermente ürünlerde mayalar tarafından oktanoik asit ve etanol ile sentezlenmektedir. Bu bileşen fermente ürünlere meyvemsi bir aroma kazandırmaktadır. Tez çalışması kapsamında KDKPK yöntemi ile elde edilen tarhanalarda, depolama süresi boyunca ester bileşen sayıları artmaktadır. Bu durumun alkol ve asitlerin bir araya gelerek esterleşme reaksiyonlarına katılmaları sonucundan ortaya çıktığı düşünülmektedir. İzopentil pentanoat, etil palmitat ve etil asetat bileşenleri depolama süresi arttıkça ortaya çıkan ester bileşenleridir. Keton grubundan en yüksek alana sahip olan bileşen ise son ürüne narenciye, otluk ve çiçeksi bir aroma katan 6-Metilhept-5-en-2-on'dur. Bu bileşenin alanı depolama süresi arttıkça artmaktadır. Bu durumun bileşenlerin kimyasal olarak birbirine dönüşmesinden ve aminoasitlerin enzimatik olmayan reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Keton grubundan 3,5-oktadien-2-on ve 3-Hekzanon

bileşenleri depolama süresi arttıkça ortaya çıkan bileşenlerdir. Aldehit grubundan en yüksek alanlı bileşen ise Nonanal bileşenidir. Nonanal fermente ürünlerde bulunan, son ürünlere çiçeksi-narenciye ve tatlımsı bir aroma kazandıran bir bileşendir. Bu bileşen hem lipit oksidasyonu sonucunda depolama süresince ortaya çıkabilmekte hem de domates, biber, sarımsak gibi bitkisel kaynaklarda doğal olarak da bulunabilmektedir. Tez çalışması kapsamında KDKPK yönteminde elde edilen tarhana tozlarında nonanal alanı depolama süresince zamanla artmakta daha sonra da azalmaktadır. Bu durum son üründe lipit oksidasyonunun artması sonucu nonanal miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.30. KDKPK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan)

Bileşen	0.Gün Alan	15.Gün Alan	30.Gün Alan	60.Gün Alan	90.Gün Alan
Alkol					
2,3-Bütanediol	105.08±10.94	97.44±8.79	96.11±8.72	95.76±5.01	92.07±4.91
Etanol	12.58±0.72	7.20±0.98	6.71±0.83	5.12±0.51	4.80±0.70
Feniletanol	5.74±0.09	5.68±0.07	4.24±0.00	4.48±0.00	6.35
(S)-Propan-1,2-diol	1.27±0.00	1.21±0.00	1.05±0.00	0.90±0.00	0.56±0.00
2-Decen-1-ol	1.02±0.00	0.98±0.00	0.72±0.00	t.e	t.e
2-İzopropil-5-metil-1-heptanol	t.e	t.e	0.88±0.00	t.e	t.e
3-Metil-1-pentanol	t.e	t.e	0.55±0.00	t.e	0.48±0.00
Gliserol	t.e	t.e	t.e	t.e	1.92±0.00
Karboksilik asit					
Asetik asit	88.50±4.91	87.23±6.85	82.52±3.11	78.39±4.02	66.24±3.09
Nonanoik asit	18.30±1.12	3.71±0.87	t.e	t.e	t.e
Hekzanik asit	3.76±0.07	3.63±0.05	8.92±0.09	6.23±0.01	8.37±0.05
İzobütirik asit	2.09±0.00	1.97±0.00	2.09±0.00	1.95±0.00	1.75±0.00
Oktonoik asit	1.83±0.00	1.01±0.00	1.50±0.00	1.45±0.00	1.54±0.00
Propiyonik asit	1.10±0.01	0.72±0.00	1.20±0.05	1.07±0.03	1.54±0.00
İzovalerik asit	0.69±0.00	0.35±0.00	0.28±0.00	0.67±0.00	1.20±0.00
Laktik Asit	0.42±0.00	0.31±0.00	0.35±0.00	0.34±0.00	0.36±0.00
2-Metilbütanoik Asit	0.31±0.00	0.31±0.00	0.30±0.00	0.29±0.00	t.e
3-Metilbütanoik asit	t.e	t.e	t.e	t.e	0.30±0.00
Stearik asit	t.e	t.e	t.e	27.26±2.11	29.43±1.19
Ester					
Etil oktanoat	19.84±1.08	19.88±0.97	19.92±0.85	21.84±0.56	26.45±0.47
Etil dekanat	6.38±0.08	5.29±0.09	4.80±0.18	3.10±0.15	2.24±0.12
Etil hekzanoat	0.97±0.17	1.70±0.02	3.14±0.01	3.84±0.02	3.82±0.03
Linalil asetat	3.43±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
İzopentil pentanoat	t.e	t.e	0.46±0.00	t.e	t.e
Etil palmitat	t.e	t.e	t.e	t.e	1.73±0.00
Etil asetat	t.e	t.e	t.e	t.e	0.41±0.00
Keton					
6-Metilhept-5-en-2-on	6.20±1.19	8.75±1.05	8.59±0.98	8.69±0.84	11.43±1.21
Karvon	3.10±0.52	3.56±0.73	4.04±0.41	5.45±0.39	7.61±0.93
Asetoin	0.95±0.00	0.85±0.00	0.83±0.00	0.76±0.00	0.75±0.00
3,5-oktadien-2-on	t.e	t.e	0.76±0.00	0.71±0.00	0.35±0.00
3-Hekzanon	t.e	t.e	t.e	0.21±0.00	0.17±0.00
Aldehit					
Nonanal	7.46±0.98	9.81±0.73	10.25±0.99	6.12±0.51	4.07±0.47
2-Nonenal	1.77±0.01	1.46±0.00	t.e	t.e	t.e

Devamı arkada

Bileşen	0.Gün Alan	15.Gün Alan	30.Gün Alan	60.Gün Alan	90.Gün Alan
Aldehit					
Heksanal	1.08±0.00	0.81±0.00	2.27±0.00	3.39±0.07	4.47±0.12
Furfural	1.06±0.00	1.06±0.00	1.01±0.00	2.81±0.09	3.01±0.05
Heptanal	t.e	t.e	0.28±0.00	0.31±0.00	0.32±0.00
Benzaldehit	t.e	t.e	t.e	1.97±0.05	4.50±0.00
Oktanal	t.e	t.e	t.e	0.30±0.00	0.25±0.00
Dekanal	0.13±0.00	1.11±0.00	t.e	t.e	t.e
3-Metilbütanal	0.26±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Sülfürlü Bileşik					
Dihekilsülfür	2.64±0.02	1.87±0.00	1.57±0.00	1.48±0.00	1.47±0.00
Diğer					
4,6-Dimetildodekan	7.18±0.81	11.23±0.98	12.27±0.99	14.07±0.86	14.13±0.43
3,8-Dimetilundekan	1.64±0.00	2.21±0.00	3.89±0.00	6.17±0.05	8.07±0.09
5,5-Dimetilundekan	t.e	t.e	t.e	3.11±0.00	2.09±0.00
2,5,9-Trimetildekan	t.e	t.e	1.34±0.00	1.17±0.00	0.89±0.00
2,3,6-Trimetildekan	t.e	t.e	1.28±0.00	1.49±0.00	1.51±0.00
2,2,4-Trimetilheksan	t.e	t.e	t.e	2.45±0.00	2.51±0.00
2,6,11-Trimetildodekan	t.e	t.e	1.35±0.00	1.59±0.00	2.70±0.00
2,6,10-Trimetiltridekan	t.e	t.e	t.e	1.49±0.00	1.47±0.00
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	t.e	t.e	t.e	11.65±0.29	14.13±0.37
D-Limonen	9.72±1.45	t.e	t.e	t.e	t.e
Trans-Karyofillen	3.38±0.04	3.12±0.003	3.12±0.00	1.40±0.00	1.75±0.00
4-Metildodekan	1.14±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Tetradekan	1.15±0.00	1.33±0.00	1.53±0.00	t.e	t.e
Heksadekan	t.e	1.38±0.00	2.02±0.00	2.20±0.00	2.31±0.00
Heptadekan	t.e	t.e	6.88±0.09	t.e	t.e
Pentadekan	t.e	t.e	6.09±0.08	t.e	t.e
Oktadekan	t.e	2.16±0.00	2.15±0.00	2.27±0.00	2.08±0.00

t.e.:Tespit edilmedi

KPK yönteminde kurutulan tarhana tozlarının uçucu bileşen kompozisyonunun verildiği Çizelge 4.31 incelendiğinde; 9 karboksilik asit, 9 aldehit, 9 alkol, 7 ester, 4 keton olmak üzere toplam 52 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir. Bu kurutma yöntemi ile elde edilen bileşenler KDKPK yönteminde ortaya çıkan bileşenler ile benzerlik göstermektedir. 2,3-Bütanediol en yüksek alana sahip olan alkol grubu bir bileşen olup depolama süresi boyunca bu bileşenin alanı azalmaktadır. 1-Bütanol ve 3,7-Dimetil-1-oktanol bileşenleri ise depolama başlangıcında tespit edilmeyen ancak depolama süresince ortaya çıkan alkol grubu bileşenlerdir. Karboksilik asit grubundan en yüksek alanlı bileşen asetik asit olup, depolama süresi arttıkça bu bileşenin alanı azalmıştır. Hekzanik asit ve 3-Metilbütanoik asit bileşenleri ise depolama başlangıcında bulunmayıp depolama süresince tespit edilen karboksilik asit bileşenleridir. Ester grubundan etil oktaoat en yüksek alanlı bileşendir. Bu bileşenin alanı depolama süresince artmaktadır. Bu durum diğer bileşenlerin esterleşme reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Nitekim depolama süresince ester bileşen sayısı artmakta olup Pentil formiat bileşeni depolama süresince oraya çıkmaktadır. Keton grubundan 6-Metilhept-5-en-2-on bileşeni en yüksek alanlı bileşen olup, kimyasal dönüşümlerden dolayı depolama süresince alanı artmaktadır. Aldehit grubundan ise nonanal; bu grubun en yüksek alanlı bileşenidir. Heptanal, benzaldehit, 3-Metilbütanal ve heptanal bileşenleri depolama süresince ortaya çıkan aldehit grubu bileşenlerdir.

Çizelge 4.31. KPK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan)

Bileşen	0.Gün Alan	15.Gün Alan	30.Gün Alan	60.Gün Alan	90.Gün Alan
Alkol					
2,3-Bütanediol	99.85±4.97	95.85±3.81	93.57±3.59	92.46±2.49	89.31±1.83
Etanol	31.18±0.89	21.30±0.64	14.05±0.31	12.25±0.97	10.08±0.081
Feniletanol	5.92±0.09	3.92±0.05	4.35±0.04	4.10±0.01	4.38±0.05
(S)-Propan-1,2-diol	1.03±0.00	0.65±0.00	0.73±0.00	0.81±0.00	0.95±0.00
3-Metil-1-bütanol	0.32±0.00	0.29±0.00	0.20±0.00	0.18±0.00	0.12±0.00
İzoamil alkol	1.19±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
İzobütanol	0.31±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
1-Bütanol	t.e	0.13±0.00	t.e	t.e	t.e
3,7-Dimetil-1-oktanol	t.e	t.e	t.e	t.e	1.41±0.00
Karboksilik asit					
Asetik asit	88.15±2.55	87.97±0.98	82.02±1.34	78.09±0.96	73.18±0.85
Nonanoik asit	20.59±0.00	5.24±0.00	t.e	t.e	t.e
İzobütirik asit	2.53±0.05	2.37±0.002	2.32±0.00	2.13±0.00	t.e
Oktanoik Asit	1.45±0.00	1.69±0.00	2.25±0.01	2.03±0.00	2.38±0.00
Propiyonik asit	1.06±0.00	1.08±0.00	1.17±0.00	1.19±0.00	1.22±0.00
İzovalerik asit	0.94±0.00	0.79±0.00	0.89±0.00	0.83±0.00	0.81±0.00
2-Metilbutanoik asit	0.39±0.00	0.37±0.00	0.48±0.00	0.32±0.00	0.34 ±0.00
Hekzanik asit	t.e	3.33±0.04	5.57±0.07	5.00±0.08	9.05±0.46
3-Metilbütanoik asit	t.e	t.e	t.e	0.90±0.00	0.87±0.00
Ester					
Etil oktanoat	25.42±1.12	26.11±1.29	27.83±0.97	29.22±0.91	32.15±2.17
Etil dekanat	6.13±0.06	5.28±0.03	5.73±0.07	4.77±0.05	3.27±0.00
Etil hekzanoat	2.22±0.00	5.41±0.02	5.33±0.00	2.38±0.00	2.11±0.00
Etil laktat	0.72±0.00	0.60±0.00	0.58±0.00	t.e	t.e
Etil asetat	0.40±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
2-feniletil izobüirrat ester	0.23±0.00	0.21±0.00	t.e	t.e	t.e
Pentil formiat	t.e	t.e	t.e	0.19±0.00	0.17±0.00
Keton					
6-Metilhept-5-en-2-on	5.33±0.34	9.99±0.18	15.41±0.47	19.00±0.98	21.82±0.83
Karvon	4.04±0.00	4.25±0.00	4.82±0.00	3.71±0.00	4.55±0.00
Asetoin	1.15±0.00	1.01±0.00	0.90±0.00	0.64±0.00	0.75±0.00
3,5-oktadien-2-on	t.e	t.e	t.e	t.e	2.01±0.00
Aldehit					
Nonanal	2.83±0.02	4.85±0.23	5.32±0.71	5.65±0.39	5.27±0.54
Furfural	0.62±0.00	0.64±0.00	0.89±0.00	0.91±0.00	1.12±0.00
Heksanal	0.44±0.00	0.63±0.00	0.87±0.00	0.89±0.00	0.97±0.00
Asetaldehit	0.21±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
İzovaleraldehit	0.17±0.00	0.13±0.00	0.13±0.00	0.15±0.00	0.16±0.00
Heptanal	t.e	0.11±0.00	0.23±0.00	0.27±0.00	0.31±0.00
Benzaldehit	t.e	t.e	t.e	2.11±0.00	4.08±0.07
3-Metilbütanal	t.e	t.e	t.e	0.11±0.00	0.12±0.00
Heptenal	t.e	t.e	t.e	t.e	0.31±0.00
Sülfürlü Bileşik					
Dihekilsülfür	3.53±0.00	1.74±0.00	1.22±0.00	1.02±0.00	0.86±0.00
Diğer					
4,6-Dimetildodekan	16.79±1.21	15.61±1.34	14.37±1.05	8.43±0.87	7.82±0.52
2,5,9-Trimetildekan	t.e	t.e	1.24±0.00	t.e	t.e
2,5,10-Trimetildekan	t.e	t.e	1.19±0.00	t.e	t.e
2,6,11-Trimetildodekan	4.18±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e

Devamı arkada

Bileşen	0.Gün	15.Gün	30.Gün	60.Gün	90.Gün
	Alan	Alan	Alan	Alan	Alan
2,6,10-Trimetiltridekan	1.21±0.00	1.19±0.00	t.e	t.e	t.e
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	t.e	t.e	t.e	1.03±0.00	0.98±0.05
d-Limonen	6.66±0.91	3.12±0.00	2.15±0.00	2.00±0.00	0.75±0.00
trans-Karyofillen	2.81±0.00	2.78±0.00	2.88±0.00	2.41±0.00	1.91±0.00
o-Simen	t.e	2.30±0.00	1.38±0.00	1.21±0.00	1.08±0.00
Tetradekan	t.e	1.29±0.00	1.18±0.00	1.21±0.00	1.19±0.00
Heksadekan	t.e	1.29±0.00	1.62±0.00	1.58±0.00	1.30±0.00
Heptadekan	t.e	1.5±0.00	1.52±0.00	1.58±0.00	1.20±0.00
Oktadekan	2.85±0.00	2.01±0.00	1.16±0.00	t.e	t.e

t.e.:Tespit edilmedi

SHK yönteminde kurutulan tarhana tozlarının uçucu bileşen kompozisyonunun verildiği Çizelge 4.32 incelendiğinde; 10 karboksilik asit, 10 ester, 10 alkol, 6 keton ve 5 aldehit olmak üzere toplam 55 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir. Bu kurutma yönteminde de 2,3-Bütanediol en yüksek alana sahip olan alkol grubu bir bileşen olup depolama süresi boyunca bu bileşenin alanı azalmaktadır. Gliserol ve 1-Pentanol bileşenleri ise depolama başlangıcında tespit edilmeyen ancak depolama süresince ortaya çıkan alkol grubu bileşenlerdir. Karboksilik asit grubundan en yüksek alanlı bileşen asetik asit olup, depolama süresi arttıkça bu bileşenin alanı azalmıştır. Laktik asit ve stearik asit bileşenleri ise depolama başlangıcında bulunmayıp depolama süresince tespit edilen karboksilik asit bileşenleridir. Ester grubundan etil oktanoat en yüksek alanlı bileşendir. Bu bileşenin alanı depolama süresince artmaktadır. Etil asetat, etil laurat, izobütil butanoat ve feniletil asetat bileşenleri ise depolama başlangıcında tespit edilmeyen ancak depolama süresince ortaya çıkan ester grubu bileşenlerdir. Keton grubundan 6-Metilhept-5-en-2-on bileşeni en yüksek alanlı bileşen olup, kimyasal dönüşümlerden dolayı depolama süresince alanı artmaktadır. 3,5-Oktadien-2-on ve 7-Metil-4-okten-3-on bileşenleri ise depolama başlangıcında bulunmayıp depolama süresince tespit edilen keton bileşenleridir. Aldehit grubundan ise nonanal; bu grubun en yüksek alanlı bileşenidir. Benzaldehit ve 3-Metilbütanal bileşenleri depolama süresince ortaya çıkan aldehit grubu bileşenlerdir.

Çizelge 4.32. SHK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan)

Bileşen	0.Gün	15.Gün	30.Gün	60.Gün	90.Gün
	Alan	Alan	Alan	Alan	Alan
Alkol					
2,3-Bütanediol	98.61±4.02	93.10±5.04	87.52±6.14	85.92±5.35	78.14±4.79
Etanol	35.52±1.78	24.17±2.91	23.65±3.54	21.71±1.24	18.80±1.03
Feniletilalkol	6.47±0.77	5.97±0.64	6.73±0.35	6.20±0.23	6.35±0.14
(S)-Propan-1,2-diol	1.47±0.04	1.32±0.07	1.20±0.09	1.16±0.02	1.56±0.00
2-Metilbütan-1-ol	0.83±0.00	0.26±0.00	0.46±0.00	0.39±0.00	0.43±0.00
İzobütanol	0.22±0.00	0.20±0.00	0.19±0.00	0.18±0.00	t.e
1-Hekzanol	0.35±0.00	t.e	t.e	t.e	0.26±0.00
3-Metil-1-bütanol	1.65±0.04	1.32±0.04	0.99±0.04	t.e	t.e
Gliserol	t.e	t.e	t.e	t.e	1.92±0.04

Devamı arkada

Bileşen	0.Gün	15.Gün	30.Gün	60.Gün	90.Gün
	Alan	Alan	Alan	Alan	Alan
1-Pentanol	t.e	t.e	t.e	t.e	0.48±0.04
Karboksilik asit					
Asetik asit	86.75±8.03	83.22±7.91	84.03±5.12	78.40±4.24	76.24±3.01
Nonanoik asit	18.55±0.79	3.61±0.71	t.e	t.e	t.e
Hekzanik asit	3.17±0.02	3.64±0.21	6.46±0.56	7.82±0.98	8.37±0.07
İzobütirik asit	2.84±0.01	2.94±0.01	2.84±0.00	2.53±0.00	t.e
Oktanoik asit	1.75±0.01	2.32±0.01	2.84±0.00	3.17±0.00	3.54±0.00
Propiyonik asit	1.13±0.01	1.07±0.00	1.51±0.00	1.25±0.00	1.54±0.00
İzovalerik asit	0.92±0.00	0.28±0.00	1.03±0.00	0.84±0.00	1.20±0.00
2-Metilbutanoik asit	0.36±0.00	0.22±0.00	0.46±0.00	0.39±0.00	0.44±0.00
Laktik asit	t.e	t.e	0.56±0.00	0.66±0.00	0.70±0.00
Stearik asit	t.e	t.e	t.e	t.e	9.43±0.00
Ester					
Etil oktanoat	14.72 ±1.02	22.38±1.05	23.33 ±0.97	26.57±0.61	27.45 ±0.59
Etil dekanat	5.95 ±0.08	6.66±0.09	8.42 ±0.87	9.44±0.93	10.24 ±1.02
Etil hekzanoat	3.11±0.00	8.26±0.70	10.25±0.82	10.38 ±0.51	13.82 ±0.57
Etil palmitat	0.41 ±0.00	0.59 ±0.00	0.65 ±0.00	1.37 ±0.00	1.73 ±0.00
Etil asetat	t.e	t.e	0.67 ±0.00	0.68 ±0.00	0.66 ±0.00
Etil laktat	0.72 ±0.00	0.26±0.00	t.e	t.e	t.e
Etil laurat	t.e	t.e	1.50 ±0.00	t.e	t.e
İzobütil butanoat	t.e	t.e	0.46 ±0.00	t.e	t.e
Feniletil asetat	t.e	t.e	0.32 ±0.00	t.e	t.e
Etil nonanoat	0.30 ±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Keton					
6-Metilhept-5-en-2-on	6.92 ±0.91	8.41±0.87	15.23 ±1.43	16.51 ±1.03	16.43 ±1.78
Asetoin	3.41 ±0.09	2.99±0.08	3.02 ±0.14	2.15 ±0.31	2.51 ±0.47
D-Karvon	4.77 ±0.09	5.64±0.04	6.09 ±0.05	6.64 ±0.03	7.61 ±0.98
Trans-Dihidrokarvon	2.78±0.00	2.50±0.00	3.15 ±0.00	t.e	t.e
3,5-Oktadien-2-on	t.e	t.e	0.34 ±0.00	1.18 ±0.00	2.35 ±0.00
7-Metil-4-okten-3-on	t.e	t.e	t.e	t.e	0.57 ±0.00
Aldehit					
Nonanal	2.61 ±0.10	5.11±0.57	5.39 ±0.39	5.41 ±0.72	5.07±0.79
Furfural	0.59 ±0.00	0.89 ±0.00	1.02 ±0.00	1.38 ±0.00	1.41 ±0.00
Heksanal	0.35 ±0.00	0.54±0.00	1.14 ±0.00	2.39 ±0.00	4.47 ±0.00
3-Metilbutanal	t.e	t.e	0.22 ±0.00	0.20 ±0.00	t.e
Benzaldehit	t.e	t.e	t.e	2.39 ±0.00	4.50±0.58
Diğer					
3,8-Dimetilundekan	3.99 ±0.97	5.87±0.56	6.02 ±0.42	7.81 ±0.79	8.07 ±0.15
2,3,7-Trimetiloktan	2.83 ±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Trans-Karyofillen	2.36 ±0.00	2.81±0.00	3.18 ±0.00	2.95 ±0.00	2.75 ±0.00
Oktadekan	1.97 ±0.00	2.82±0.00	2.20 ±0.00	2.12 ±0.00	2.08 ±0.00
2,6,10-Trimetiltridekan	1.51 ±0.00	1.25±0.00	1.02 ±0.00	0.84 ±0.00	t.e
4,6-Dimetildodekan	7.91±0.98	9.24±1.05	11.23 ±0.98	13.40 ±1.09	14.13±2.05
2,6,11-Trimetildodekan	t.e	t.e	10.54 ±0.00	5.67±0.00	2.70±0.00
D-Limonen	1.42 ±0.00	1.18±0.00	t.e	t.e	t.e
Heptadekan	2.55±0.00	2.51±0.00	1.87±0.00	1.37±0.00	t.e
Heksadekan	1.32±0.00	1.31±0.00	1.34 ±0.00	t.e	t.e
Pentadekan	t.e	t.e	5.99±0.64	t.e	t.e
p-Simen	t.e	t.e	1.37±0.00	1.41±0.00	1.40±0.00
Nonadekan	t.e	t.e	t.e	t.e	1.72±0.00
4-metildodekan	0.96 ±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e

t.e.:Tespit edilmedi

GK yönteminde kurutulan tarhana tozlarının uçucu bileşen kompozisyonunun Çizelge 4.33'te verilmiştir. Çizelge 4.33 incelendiğinde; 17 alkol, 15 aldehit, 13 ester, 11 karboksilik asit, 6 keton olmak üzere toplam 72 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir. Alkol grubundan 2,3-Bütanediol en yüksek alana sahip olan bileşen olup depolama süresi boyunca bu bileşenin alanı azalmaktadır. Karboksilik asit grubundan en yüksek alanlı bileşen asetik asit olup, depolama süresi arttıkça bu bileşenin alanı azalmıştır. Ester grubundan Etil dekanat en yüksek alanlı bileşendir ve alanı depolama süresince azalmaktadır. Keton grubundan aseton bileşeni en yüksek alanlı bileşen olup, depolamanın 15. Gününde tespit edilememiştir. Keton grubundan en yüksek alanlı bileşen diğer kurutma yöntemlerinde olduğu gibi 6-Metilhept-5-en-2-on bileşenidir. Aldehit grubundan ise nonanal; bu grubun en yüksek alanlı bileşenidir.

Çizelge 4.33. GK yöntemiyle üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı uçucu bileşen kompozisyonu değişimi ($\times 10^5$ alan)

Bileşen	0.Gün Alan	15.Gün Alan	30.Gün Alan	60.Gün Alan	90.Gün Alan
Alkol					
2,3-Bütanediol	76.80±2.31	75.96±4.39	74.46±2.71	73.62±3.97	71.80±2.87
Feniletanol	24.63±1.11	17.94±0.99	16.15±0.97	11.00±0.68	11.74±0.73
2-Metil-5-(1-metiletetil)sikloheksanol	15.25±2.05	t.e	t.e	t.e	t.e
2-İzopropil-5-metil-1-heptanol	t.e	t.e	t.e	2.15±0.00	1.89±0.00
3-metil-1-pentanol	t.e	t.e	t.e	t.e	1.46±0.00
3-Metoksi-3-metilbütanol	16.79±1.81	16.09±1.67	16.33±1.38	12.16±1.05	11.60±1.83
6-Metil-3-heptanol	0.52±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Etanol	2.27±0.00	1.58±0.00	1.51±0.00	1.47±0.00	1.55±0.00
1-Pentanol	t.e	t.e	0.43±0.00	0.37±0.00	0.25±0.00
1-Hekzanol	1.78±0.01	0.71±0.00	0.66±0.00	0.60±0.00	0.87±0.00
1-Heptanol	0.86±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
1-Oktenol	2.2±0.005	t.e	t.e	t.e	t.e
2-hepten-1-ol	0.81±0.00	0.78±0.00	t.e	t.e	t.e
1-Okten-3-ol	2.50±0.00	3.58±0.04	5.82±0.08	6.58 ±0.18	6.99±0.09
Benzil alkol	3.58±0.03	3.47±0.02	3.29±0.00	3.56 ±0.00	3.09±0.00
Linalool	0.89±0.00	3.13±0.00	3.70±0.00	3.83±0.00	3.96±0.00
Dihidrokarveol	3.78±0.12	4.01±0.17	4.95±0.98	11.98±1.83	12.24±1.74
Karboksilik asit					
Asetik asit	41.60±2.42	22.90±1.98	19.94±0.91	13.44±0.68	11.80±0.75
Nonanoik asit	13.23±0.97	11.38±0.65	9.67±0.40	7.04±0.09	5.79±0.05
Hekzanik asit	4.87±0.13	6.42±0.00	7.38±0.00	14.36±0.99	18.73±1.03
Oktanoik Asit	4.63±0.08	2.57±0.81	2.13±0.02	2.29±0.05	1.73±0.00
İzobütirik asit	2.26±0.00	0.22±0.00	0.21±0.00	0.20±0.00	0.23±0.00
İzovalerik asit	1.49±0.00	0.54±0.00	0.64±0.00	0.53±0.00	0.54±0.00
2-metilbutanoik asit	t.e	t.e	0.18±0.00	0.14±0.00	0.18±0.00
Valerik asit	t.e	t.e	t.e	0.23±0.00	0.30±0.00
Propiyonik asit	0.93±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Laktik Asit	0.34±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Stearik Asit	0.62±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Ester					
Etil dekanat	7.65±0.95	1.88±0.83	1.75±0.00	1.47±0.00	1.46±0.00
Benzil asetat	3.06±0.00	4.67±0.61	5.07±0.33	t.e	t.e
Etil laurat	2.00±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e

Devamı arkada

Bileşen	0.Gün	15.Gün	30.Gün	60.Gün	90.Gün
	Alan	Alan	Alan	Alan	Alan
Etil hekzanoat	1.94±0.00	1.78±0.00	1.64±0.00	1.39±0.00	1.23±0.00
Etil asetat	1.12±0.00	0.57±0.00	0.46±0.00		0.64±0.00
Etil palmitat	0.64±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Benzil asetat	5.65±0.97	5.38±0.51	2.39±0.09	0.52±0.00	0.11±0.00
Etil nonanoat	t.e	0.76±0.00	t.e	t.e	t.e
Linalil formiat	t.e	0.55±0.00	t.e	t.e	t.e
İzopropil propionat	t.e	t.e	0.28±0.00	t.e	t.e
Pentil format	t.e	t.e	0.11±0.00	t.e	t.e
Dimetil pentanedioat	t.e	t.e	t.e	1.88±0.00	1.51±0.00
Linalil izobütülat	t.e	t.e	t.e	2.48±0.00	2.51±0.00
Keton					
6-Metilhept-5-en-2-on	10.01±0.99	13.00±1.31	19.82±1.25	20.83±0.98	25.81±0.75
Asetoin	1.97±0.00	0.81±0.00	0.72±0.00	0.62±0.00	0.68±0.00
3-okten-2-on	0.52±0.00	0.41±0.00	t.e	t.e	t.e
Aseton	12.50±0.96	t.e	t.e	t.e	t.e
1-Fenil-1,2-propandion	1.04±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e
Karvon	4.04±0.09	t.e	t.e	t.e	t.e
Aldehit					
Nonanal	2.87±0.00	3.21±0.09	6.76±0.63	7.41±0.42	8.44±0.95
Heksanal	1.01±0.00	6.06±0.87	7.57±0.17	8.25±0.73	13.90±1.22
Asetaldehit	0.80±0.00	0.73±0.00	0.70±0.00	0.54±0.00	0.41±0.00
3-Metilbütnal	0.60±0.00	1.34±0.00	2.15±0.00	2.38±0.00	2.50±0.00
Dekanal	2.69±0.05	2.41±0.03	2.35±0.01	1.79±0.00	1.76±0.00
Heptanal	t.e	0.68±0.00	0.85±0.00	0.83±0.00	0.81±0.00
Furfural	t.e	0.32±0.00	0.45±0.00	0.68±0.11	0.96±0.05
2-Metilbütnal	t.e	0.30±0.00	0.54±0.00	0.63±0.00	0.72±0.00
Benzaldehit	t.e	t.e	4.31±0.34	5.37±0.96	7.11±0.16
2-Nonenal	t.e	t.e	2.74±0.11	1.41±0.00	0.96±0.03
3-Furaldehit	t.e	t.e	0.58±0.00	t.e	t.e
İzobütüil aldehit	t.e	t.e	0.49±0.00	t.e	t.e
2-Metilpropanal	t.e	t.e	t.e	0.19±0.00	0.11±0.00
2-Heptenal	t.e	1.45±0.00	t.e	t.e	t.e
2-Oktenal	t.e	0.85±0.00	t.e	t.e	t.e
Diğer					
4,6-Dimetildodekan	11.58±0.97	10.42±0.66	8.56±0.47	7.49±0.89	5.76±0.71
2,6,10-Trimetiltridekan	1.37±0.00	1.35±0.00	1.38±0.00	1.32±0.00	1.40±0.00
2,6,11-Trimetildodekan	2.38±0.00	2.29±0.00	4.12±0.09	4.16±0.05	2.12±0.00
3,3,5-trimetildekan	t.e	t.e	t.e	1.09±0.00	2.52±0.00
2,6,10,14-Tetrametilheksadekan	t.e	t.e	t.e	1.06±0.00	1.40±0.00
Heksadekan	5.98±0.11	3.99±0.15	1.53±0.03	t.e	t.e
Heptadekan	t.e	t.e	1.10	t.e	t.e
Oktadekan	1.79±0.00	1.81±0.00	1.75±0.00	1.79±0.00	1.94±0.00
d-Limonen	3.16±0.00	2.42±0.00	1.90±0.00	1.54±0.00	t.e
Karyofillen	3.11±0.00	t.e	t.e	t.e	t.e

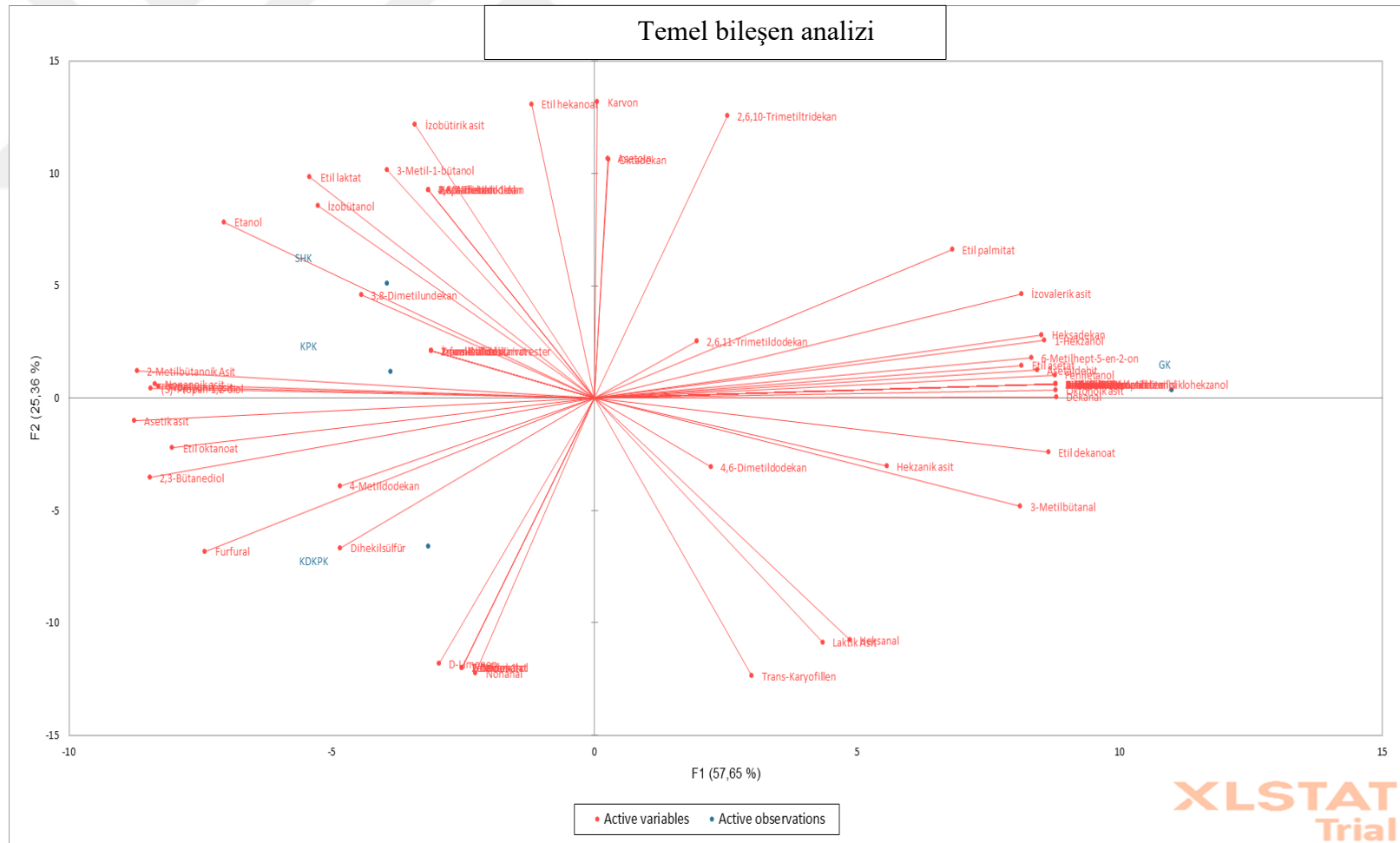
t.e.:Tespit edilmedi

Tez çalışması kapsamında elde edilen uçucu bileşenlerin verildiği çizelgeler birlikte incelendiğinde, KDKPK yönteminde 58, KPK yönteminde 52, SHK yönteminde 55 ve GK yönteminde 72 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir. GK yönteminde elde edilen tarhana tozları daha fazla mikrobiyal aktiviteye sahip olduğundan bu yöntemde daha fazla uçucu bileşen tespit edilebileceği düşünülmektedir. Tüm kurutma yönteminde en yüksek alanlı bileşen alkol grubundan 2,3-Bütanediol'dür. Kurutma yöntemleri ayrı ayrı incelendiğinde ise, bu bileşenin alanı en yüksek KDKPK yönteminde elde edilen tozlarda belirlenmiştir. İlgili bileşenin en düşük alanı ise GK yönteminde elde edilen tozlarda

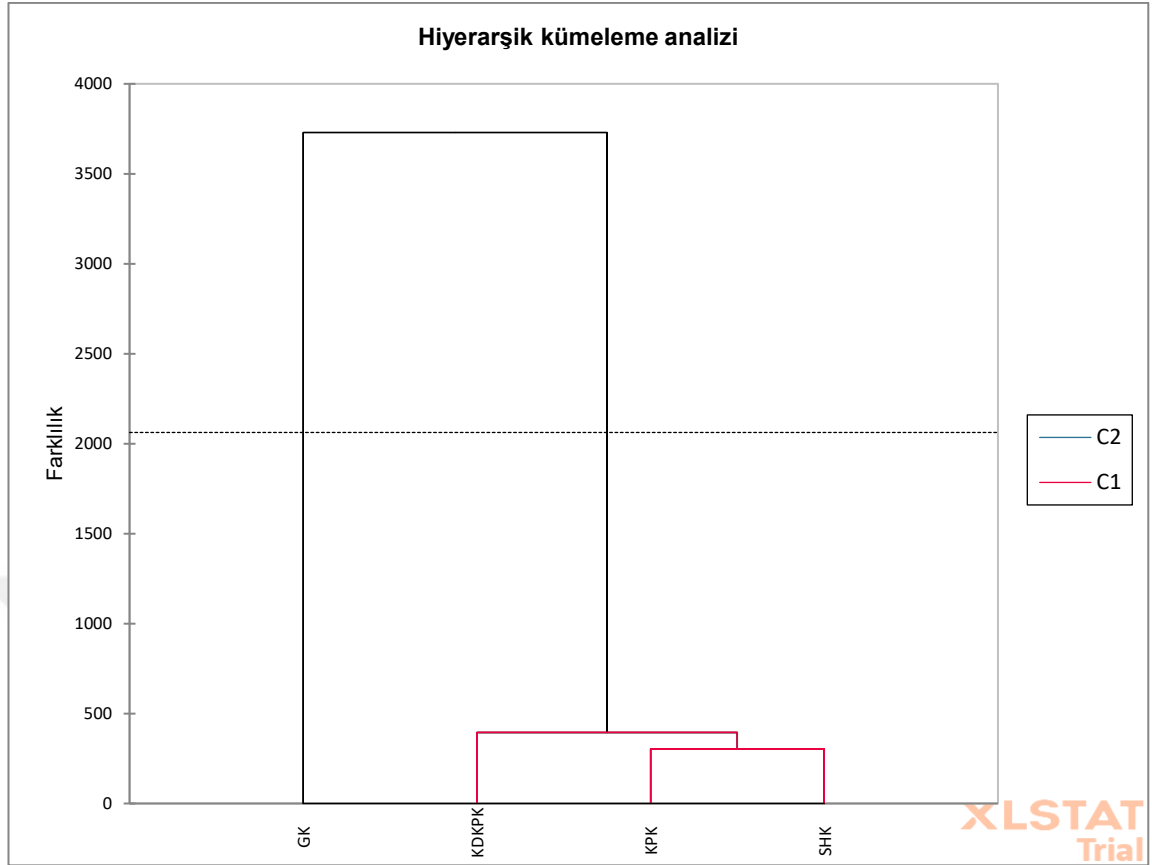
tespit edilmiştir. Karboksilik asit grubunda bulunan asetik asit ise yine tüm kurutma yöntemlerinden en yüksek alanlı bileşendir. Bu iki bileşen de tarhana hamurunun fermentasyonu sırasında oluşmaktadır. En düşük asetik asit alanı GK yöntemi ile edilen tozlarda belirlenmiştir. Ester bileşenleri açısından değerlendirildiğinde tüm kurutma yöntemlerinde ester bileşen çeşidi depolama arttıkça artmaktadır. Bu durum tozlarda meydana gelen esterleşme reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır. KDKPK, KPK ve SHK yöntemlerinden elde edilen tozlarda yaygın olan ester uçucu bileşeni etil oktanoat iken GK yönteminde ise etil dekanoat bileşenidir. 6-Metilhept-5-en-2-on bileşeni ise her kurutma yönteminde en yüksek alanlı keton grubu bileşendir. Nonanal bileşeni de tüm kurutma yöntemlerinde en yüksek alanlı aldehit bileşeni olarak tespit edilmiştir.

Tüm tarhana örneklerinde, depolama süresinin artmasıyla oksidasyon ürünlerinin de oluştuğu gözlemlenmektedir. Özellikle aldehit grubundan hekzanal, nonanal, heptanal, pentanal ve oktanal bileşenleri yağların oksidasyonu sonucu oluşmaktadır. En yaygın oksidatif bozulma ürünü olan hekzanal ise örneklerdeki linoleik asit oksidasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Örneklerin uçucu bileşenleri incelendiğinde, tüm örneklerde depolama sonucunda aldehit bileşen sayılarında artış olduğu, genel olarak da nonanal bileşen alanının depolama süresinde arttığı belirlenmiştir. Bu değişimlerin örneklerde meydana gelen oksidasyon sonucu olduğu değerlendirilmiştir. Yağ asitlerinin oksidasyonu veya mikrobiyal fermentasyon sonucu oluşan karboksilik asit bileşen sayısı ise örneklerde genel olarak depolama süresi arttıkça artmış ve örneklerde daha önce tespit edilmeyen bileşenler tespit edilmiştir. Ayrıca GK yönteminde daha fazla uçucu bileşen tespit edilmesinin nedeninin, örneklerin kuruma aşamasının diğer yöntemlere göre daha uzun olduğundan kuruma başlangıcında halen fermentasyonun devam etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Açık hava güneşte kurutma ve vakum kurutma yöntemlerinde kurutulan tarhana tozlarının aroma aktif bileşenlerinin araştırıldığı bir çalışmada, tez çalışmasında elde edilen bileşenlere benzer bileşenler tespit edilmiştir. Güneşte kurutma ile daha fazla uçucu bileşen oluştuğu ancak vakum kurutma yönteminin ilgili bileşenleri daha iyi koruduğu tespit edilmiştir (Gocmen vd. 2004).



Şekil 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhanaların uçucu bileşenlerine ait temel bileşen analizi



Şekil 4.15. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhanaların uçucu bileşenlerine ait hiyerarşik kümeleme analizi sonuçları

Temel bileşen analizi ve hiyerarşik kümeleme analizinin verildiği Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 incelendiğinde, kurutma yöntemlerinin temel 2 küme oluşturduğu görülmektedir. Geleneksel kurutma yönteminin diğer kurutma yöntemlerinden uçucu bileşenler bakımından farklı olduğu belirlenmiştir. Diğer kümede yer alan KDKPK, KPK ve SHK kurutma yöntemlerinde ise KPK ve SHK yöntemlerinin uçucu bileşenler bakımından daha benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.

4.4.19. Mikrobiyolojik analiz

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı maya-küf ve TMAB sayılarının değişimi Çizelge 4.34'te verilmiştir. KDKPK yöntemi ile elde edilen tozların maya-küf miktarının 3.85-3.03 $\log_{10}$ kob/g, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 4.27-3.61 $\log_{10}$ kob/g, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 4.49-4.19 $\log_{10}$ kob/g, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 6.92-5.49 $\log_{10}$ kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir. Örneklerin TMAB sayılarının ise, KDKPK yöntemi ile elde edilen tozlarda 5.17-4.05 $\log_{10}$ kob/g, KPK yöntemi ile elde edilen tozların 5.29-4.96 $\log_{10}$ kob/g, SHK yöntemi ile elde edilen tozların 5.29-4.25 $\log_{10}$ kob/g, GK yöntemi ile elde edilen tozların ise 6.35-4.87 $\log_{10}$ kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir.

En yüksek mikrobiyolojik aktivite GK yöntemi ile elde edilen, en düşük mikrobiyolojik aktivite ise KDKPK yöntemi ile elde edilen tarhanalarda hesaplanmıştır. Tüm örneklerde depolama süresi ilerledikçe TMAB ve Maya-küf sayılarında azalma tespit edilmiştir. KDKPK yönteminde en kısa kurutma süresi olmasına rağmen kızılötesi desteğinin ürünlerdeki mikrobiyolojik aktiviteyi azalttığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.34. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama süresine bağlı maya-küf ve TMAB değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Depolama Süresi (Gün)				
	0	15	30	60	90
Maya-Küf sayısı ($\log_{10}$ kob/g)					
KDKPK	3.85±0.19 ^{dA}	3.79±0.09 ^{cB}	3.31±0.01 ^{dC}	3.05±0.02 ^{dD}	3.03±0.05 ^{dD}
KPK	4.27±0.11 ^{cA}	4.26±0.06 ^{bB}	4.10±0.01 ^{cC}	3.84±0.01 ^{cD}	3.61±0.01 ^{cD}
SHK	4.49±1.15 ^{bA}	4.28±0.39 ^{bA}	4.33±0.00 ^{bA}	4.26±0.01 ^{bA}	4.19±0.01 ^{bB}
GK	6.92±0.01 ^{aA}	6.84±0.00 ^{aB}	6.75±0.01 ^{aC}	6.44±0.01 ^{aD}	5.49±0.01 ^{aE}
TMAB ($\log_{10}$ kob/g)					
KDKPK	5.17±0.05 ^{dA}	4.80±0.07 ^{cB}	4.40±0.08 ^{cBC}	4.28±0.03 ^{bCD}	4.05±0.05 ^{bcD}
KPK	5.29±0.24 ^{cA}	5.16±0.08 ^{bA}	4.69±0.00 ^{bcB}	4.43±0.05 ^{bbB}	3.96±0.04 ^{cC}
SHK	5.79±0.26 ^{bA}	5.65±0.12 ^{bcB}	5.25±0.08 ^{abB}	5.14±0.03 ^{aB}	4.25±0.05 ^{bC}
GK	6.35±0.00 ^{aA}	6.08±0.03 ^{aAB}	5.63±0.17 ^{aBC}	5.36±0.09 ^{aCD}	4.87±0.03 ^{aD}

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencereci kurutma. KPK:Kırımın pencereci kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma

Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların $P<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir. Her bir varyasyon kaynağı için aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalamaların $P<0.05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterir.

Arslan-Tontul vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, kırımın pencereci kurutma sisteminde Tip-3 ekşi maya kurutulmuş ve ekmek üretiminde sıvı ekşi mayaya alternatif olarak kullanımı araştırılmıştır. Mayalar 50 °C’de kırımın pencereci kurutma sisteminde kurutulmuş ve kısa bir kuruma süresi olmasına rağmen mayaların canlılıklarının 3 logaritmik düzeyde azaldığı rapor edilmiştir. Yaş ve kuru tarhanalar, 6 ay boyunca farklı koşullar altında depolanmış ve ürünlerin depolama ve fermentasyon süresi boyunca kimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri gözlemlenmiştir. Fermentasyon sonunda tarhana hamurlarının TMAB sayısı 5.95 $\log_{10}$ kob/g, maya ve küf sayısı ise 5.78 $\log_{10}$ kob/g olarak hesaplanmıştır. Tüm ürünlerin depolama süresi arttıkça mikrobiyolojik aktivitelerinin azaldığı rapor edilmiştir (Erbaş vd. 2005).

Geleneksel tarhana hamurunun kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin fermentasyon ve kurutma işlemleri sırasında değişimini konu alan bir çalışmada, kurutulmuş tarhanaların TMAB sayıları 5.83 kob/g, maya-küf sayıları ise 5.31 kob/g olarak hesaplanmıştır (Karagozlu vd. 2008). Bu literatür verileri tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ile uyumludur.

4.4.20. Duyusal Analiz

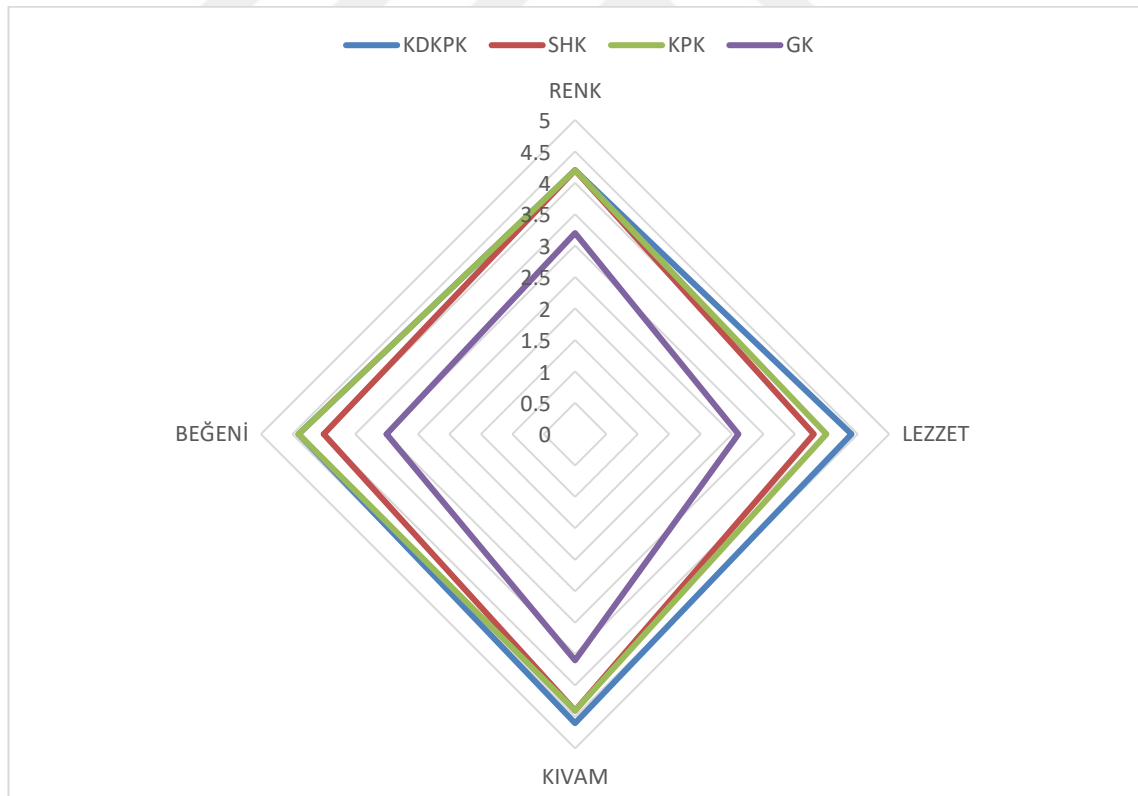
Farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen tarhanaların depolama başlangıcı ve sonunda duyusal değerlendirmesi renk, lezzet, kıvam ve genel beğeni parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre genel beğenide en beğenilen örnekler KDKPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen tarhanalar olurken, en

beğenilmeyen örnek ise GK yöntemi ile elde edilen örnekler olmuştur. Örneklerin depolama başlangıcı ve sonundaki duyusal değerlendirmesine ilişkin Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.35'te verilmiştir.

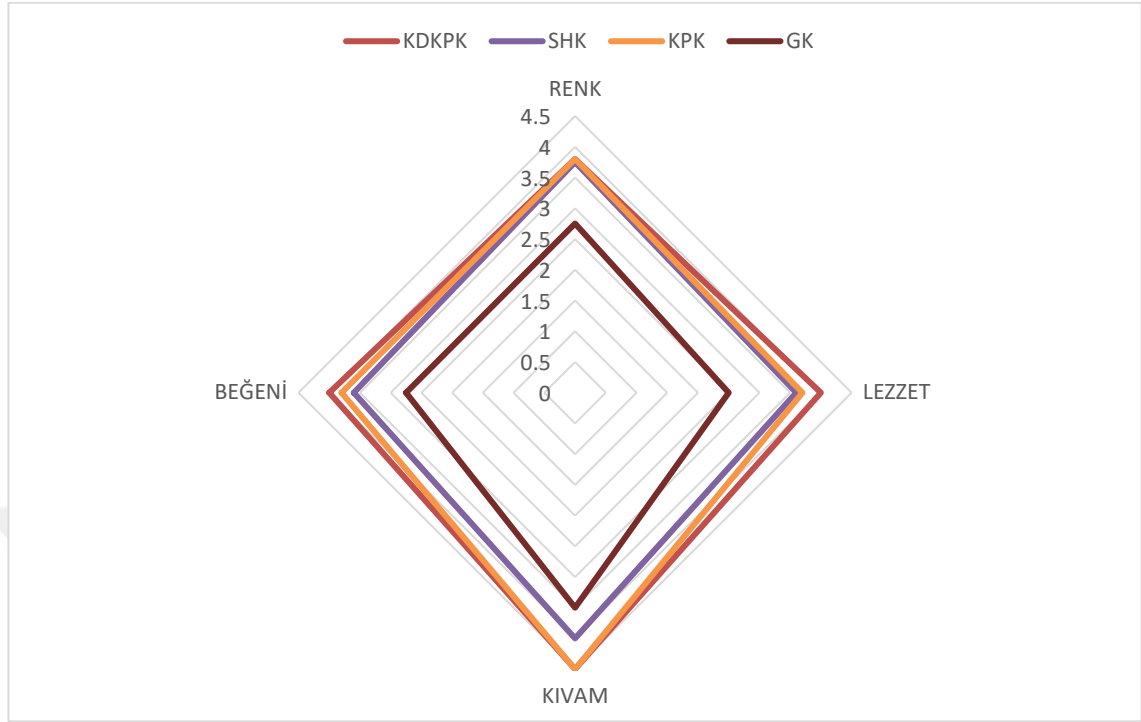
Çizelge 4.35. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen tarhana tozlarının depolama başlangıcı ve sonundaki duyusal analiz değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	0. gün			
	Renk	Lezzet	Kıvam	Genel beğeni
KDKPK	4.20±0.75 ^a	4.40±0.80 ^a	4.60±0.49 ^a	4.40±0.80 ^a
KPK	4.20±0.75 ^a	3.80±0.75 ^b	4.40±0.49 ^a	4.00±0.63 ^b
SHK	4.20±0.40 ^a	4.00±0.89 ^b	4.40±0.49 ^a	4.40±0.49 ^a
GK	3.20±0.75 ^b	2.60±0.80 ^c	3.60±0.80 ^b	3.00±0.63 ^c
Uygulama	90. gün			
	Renk	Lezzet	Kıvam	Genel beğeni
KDKPK	3.80±0.50 ^a	4.00±0.75 ^a	4.50±0.52 ^a	4.00±0.70 ^a
KPK	3.75±0.65 ^a	3.60±0.56 ^b	4.00±0.35 ^b	3.60±0.43 ^b
SHK	3.80±0.48 ^a	3.70±0.62 ^b	4.50±0.45 ^a	3.80±0.52 ^b
GK	2.75±0.72 ^b	2.50±0.65 ^c	3.50±0.75 ^c	2.75±0.75 ^c

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. KDKPK:Kızılötesi destekli kırımın pencerelessi kurutma. KPK:Kırımın pencerelessi kurutma. SHK:Sıcak hava kurutma. GK: Geleneksel Kurutma. Her bir varyasyon kaynağı için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalamaların P<0.05 seviyesinde farklı olduğunu gösterir.



Şekil 4.16. Tarhana tozlarının depolama başlangıcındaki (0.gün) duyusal analiz sonuçları



Şekil 4.17. Tarhana tozlarının depolama sonunda (90.gün) duyusal analiz sonuçları

Örneklerin depolama başlangıcındaki duyusal analiz sonuçlarına göre, lezzet açısından en beğenilen örneğin KDKPK yönteminde üretilen tarhana örneği olduğu; kıvam ve renk açısından en beğenilen örneklerin KDKPK, KPK ve SHK yöntemlerinde üretilen tarhana örnekleri olduğu değerlendirilmiştir. Tarhana örneklerinin depolama süresinin artmasıyla genel beğenilerinin azaldığı da belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen tez çalışmasında geleneksel bir ürün olan tarhana, dört farklı kurutma yöntemi (kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma, kırımım pencereli kurutma, sıcak hava kurutma ve geleneksel kurutma) ile kurutulmuş ve elde edilen ürünlerin çeşitli fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri 90 gün boyunca incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan yenilikçi kurutma teknolojilerinden kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yöntemi bu tez kapsamında tarhana kurutmak için ilk defa denenmiş olup elde edilen sonuçlara göre kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığı gözlemlenmiştir.

- Literatürde tarhana kurutmak için ilk kez uygulanan kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma (KDKPK) yöntemi için kurutma koşulları optimize edilmiştir. Optimizasyon için yanıt yüzey metodunda Optimal Özel Tasarım deneme deseni kullanılmış; bağımsız değişkenler olarak serme kalınlığı (1-3 mm), ürün yüzey sıcaklığı (32-40 °C) ve sirkülasyon suyu sıcaklığı (60-90 °C); bağımlı değişkenler olarak ise kuruma süresi, esmerleşme indeksi, askorbik asit miktarı ve B grubu vitamin miktarı belirlenmiştir. Optimum kurutma koşulları, 85 °C sirkülasyon suyu sıcaklığı, 1.5 mm serme kalınlığı ve 36 °C ürün yüzey sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

- Tarhana hamurunun kuruma süresi, kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma sistemi için 43 dakika, kırımım pencereli kurutma sistemi için 55 dakika, sıcak hava kurutma yönteminde 220 dakika geleneksel kurutma yöntemine ise yaklaşık 96 saat olarak hesaplanmıştır. Kurutma süreleri dikkate alındığında, kızılötesi destekli kırımım pencereli kurutma yönteminin kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığı belirlenmiştir.

- Elde edilen toz ürünlerin nem değerlerinin geleneksel kurutma yöntemi hariç istatistiksel açıdan benzer olduğu, geleneksel kurutma yönteminde doğal konveksiyon ile kurutma sağlandığı için nem düzeyinin yaklaşık %10-11 civarında olduğu ve düşük nem değerlerine inilemediği belirlenmiştir.

- Tarhanaların renk özellikleri incelendiğinde, en yüksek L* değerinin geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu, en yüksek a* değerinin ise KDKPK yönteminde kurutulan ürünlere ait olduğu belirlenmiştir. Renk değerlerinden hesaplanan esmerleşme indeksi değerinin ise en yüksek KDKPK ve SHK yöntemlerinde kurutulan örneklerle ait olduğu sonucuna varılmıştır.

- En düşük pH, en yüksek asitlik derecesi değerlerinin geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen örneklerle ait olduğu ve en yüksek mikrobiyal gelişimin de yine geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen örneklerde tespit edildiği bu sebeple ürünlerin pH değerlerinin düşük olduğu düşünülmektedir.

- Toz örneklerin çözünürlük değerleri genellikle benzer değerlerde olup, en yüksek çözünürlük değeri GK yöntemi ile elde edilen toz örneklerle ait olduğu, depolama süresi arttıkça ürünlerin çözünürlük değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. KDKPK, KPK ve SHK yöntemleri ile elde edilen toz örneklerin çözünürlük değerlerinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir.

- Toz ürünlerin akış özellikleri incelendiğinde, KDKPK yönteminde elde edilen ürünlerin en iyi akabilirlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.
- Toz ürünlerde önemli bir kalite parametresi olan yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin en yüksek KDKPK yönteminde elde edilen toz örneklerle ait olduğu belirlenmiştir.
- En yüksek su tutma kapasitesinin KDKPK yönteminde elde edilen toz örneklerle ait olduğu, yağ tutma kapasitesinde ise örneklerin istatistiksel açıdan birbirine benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- Protein miktarı, Askorbik asit miktarı, niasin miktarı, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite ve toplam karotenoid miktarının en yüksek KDKPK yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu tespit edilmiştir.
- En yüksek HMF miktarının KDKPK, en düşük HMF miktarının ise GK yöntemi ile edilen ürünlere ait olduğu belirlenmiştir.
- Geleneksel kurutma yöntemi ile elde edilen tarhanalarda daha fazla uçucu bileşen tespit edilmesine rağmen bileşenlerin yenilikçi yöntemlerde daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. KDKPK yönteminden elde edilen toz ürünlerde fermente ürünlere özgü uçucu bileşenlerin daha iyi korunduğu ve daha yüksek alanda tespit edildiği değerlendirilmiştir.
- KDKPK ve KPK yöntemleri ile elde edilen tarhanalar duyuusal açıdan en beğenilen örnek olurken, GK yöntemi ile elde edilen örnekler panelistler tarafından en az beğenilen örnek olmuştur.
- Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde tarhana kurutmak için KDKPK ve KPK yöntemlerinin biyoaktif bileşenler ve toz özellikleri açısından olumlu sonuçlar verdiği, bu yenilikçi kurutma yöntemlerinin tarhana kurutmak için uygulanabilir yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu yenilikçi kurutma yöntemlerinde kısa kuruma süresi, buna bağlı daha düşük enerji gereksinimi ve birim zamanda daha fazla ürün kurutulabilmesi bu yöntemlerin bir başka avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- AACC. 2009. Crude Protein-Kjeldahl Method. Boric Acid Modification 46-12.01. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (11th ed.). AOAC International. Arlington. VA. <https://doi.org/10.1094/aaccintmethod-46-12.01>.
- Abul-Fadl. M. M.. & Ghanem. T. H. (2011). Effect of refractance-window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powder as compared to the convection drying method.
- Akbaş. Ş.. Coşkun. H. 2006. "Tarhana üretimi ve özellikleri üzerine bir değerlendirme". Türkiye. 9. 24-26.
- Aktaş. K.. Akın. N.. 2020. Influence of rice bran and corn bran addition on the selected properties of tarhana. a fermented cereal based food product. *LWT*. 129. 109574.
- Albayrak, S., Sağdıç, O. and Aksoy, A. 2010. Bitkisel ürünlerin ve gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26 (4): 401-409.
- Aragón-Rojas. S.. Quintanilla-Carvajal. M.X.. Hernández-Sánchez. H.. Hernández-Álvarez. A.J. and Moreno. F.L. 2019. Encapsulation of *Lactobacillus fermentum* K73 by Refractance Window drying. *Scientific reports*. 9 (1): 5625.
- Arslan-Tontul. S.. Mutlu. C.. Candal. C.. & Erbaş. M. 2018. Microbiological and chemical properties of wet tarhana produced by different dairy products. *Journal of food science and technology*. 55. 4770-4781.
- Arslan. S. (2022). Optimization of Tomato Slices Drying in a Continuous Infrared-Assisted Refractance Window™ Dryer Using Response Surface Methodology. *Iran. J. Chem. Chem. Eng. Research Article Vol. 41*(12).
- Arslan-Tontul. S.. Çetin-Babaoğlu. H.. Aslan. M.. & Tontul. İ. 2022. Refractance window drying in the production of instant baker's yeast and its effect on the quality characteristics of bread. *Journal of Food Science*. 87(11). 4991-5000.
- Asami. D.K.. Hong. Y.-J.. Barrett. D.M. and Mitchell. A.E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry*. 51 (5): 1237-1241.
- Asiimwe. A.. Kigozi. J. B.. Baidhe. E.. & Muyonga. J. H. (2022). Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. *Lwt*. 154. 112742.
- Aşık. S. 2019. Farklı kurutma yöntemleri ile biyoaktif bileşenlerce zengin portakal tozu üretimi. Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 158 s.

- Atasoy, R., Hendek Ertop, M. 2021. "Assessment of nutritional and bioactive properties for gluten-free tarhana containing various legumes and cereals". *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(7). e15606.
- Aygün, S. A., Topuz, A. 2024. Kırınım Pencereli Kurutma Teknolojisi. *Türkiye Klinikleri Food Sciences-Special Topics*, 10(2), 54-61.
- Baeghbal v. Niakosari M. Kiani M. Design, manufacture and investigating functionality of a new batch refractance Window system. in *5th Proceedings International conference on Innovations in Food and Bioprocess Technology*. Pathumthani. Thailand. 2010. p.1-7.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H. 2005. Food powders. Springer, NewYork, NY, 372 s.
- Bardakçı. M.S. 2022. Mantar ve tarhananın kırınım pencereli kurutma tekniğiyle kurutulması ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Doktora tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 121 s.
- Bardakçı. M. S.. & Karacabey. E. 2024. Drying of Tarhana dough by Refractance Window™ technology under vacuum/atmospheric conditions: Characterization of physical and quality parameters. *Food Science & Nutrition*. 12(2). 971-984.
- Başataç. R., Yalçın. Z. G.. & Gülen. F. J. 2023. Investigation of Drying Methods of Tarhana Produced in Çankırı Region by Taguchi Method. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*. 7(4). 210-216.
- Başunal. H. 2016. Dilimlenerek dondurulan kırmızıbiberin bazı fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerin ön işlem olarak uygulanan ozmotik kurutmanın etkisi. Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 80 s.
- Batu, A., Aydoymuş, R. E., & Batu, H. S. 2014. Gıdalarda hidroksimetilfurfural (HMF) oluşumu ve insan sağlığı üzerine etkisi. *Electronic Journal of Food Technologies*, 9(1), 40-55.
- Beristain. C.I., García. H.S. and Vernon-Carter. E.J. 2001. Spray-dried encapsulation of cardamom (elettaria cardamomum) essential oil with mesquite (prosopis juliflora) gum. *LWT-Food Sci. Technol.*. 34 (6): 398-401.
- Bilgiçli, N., Elgün, A., Herken, E. N., Ertaş, N., İbanoglu, Ş. 2006. Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 680-686.
- Bilgiçli. N.. İbanoğlu. Ş. 2007. "Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity. phytic acid content and colour of tarhana. a wheat flour-yoghurt mixture". *Journal of Food Engineering*. 78(2). 681-686.
- Bilgiçli. N. 2009. "Effect of buckwheat flour on chemical and functional properties of tarhana". *LWT-Food Science and Technology*. 42(2). 514-518.

- Cankurtaran, T., Ceylan, H., & Bilgiçli, N. 2020. Effect of partial replacement of wheat flour by taro and Jerusalem artichoke flours on chemical and sensory properties of tarhana soup. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14826.
- Cano-Chauca. M., Stringheta. P.C., Ramos. A.M. and Cal-Vidal. J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 6 (4): 420-428.
- Carr. R.L. 1965. Evaluating flow properties of solids.
- Certel. M., Erbaş. M., Uslu. M. K., Erbaş. M. O. 2007. "Effects of fermentation time and storage on the water-soluble vitamin contents of tarhana". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87(7). 1215-1218.
- Chegini, G. and Ghobadian, B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23 (3): 657-668
- Choi. S.M., Lee. D.-J., Kim. J.-Y. and Lim. S.-T. 2017. Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. *Food chemistry*. 231: 386-392.
- Chou. S. and Chua. K. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*. 12 (10): 359-369.
- Coşkun. F.. 2014. Tarhananın tarihi ve Türkiye’de tarhana çeşitleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 9(3). 69-79.
- Çalışkan Koç. G., Özçira. N. 2019. "Chemical composition, functional, powder, and sensory properties of tarhana enriched with wheat germ". *Journal of food science and technology*. 56(12). 5204-5213.
- Çekal, N. ve Aslan, B. 2017. Gastronomik bir değer olarak tarhana ve coğrafi işaretlemeye tarhananın yeri ve önemi. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 1(2),124-135.
- Çelik, I., Isık, F., Simsek, Ö., & Gursoy, O. 2005. The effects of the addition of baker's yeast on the functional properties and quality of tarhana, a traditional fermented food. *Czech Journal of Food Sciences*, 23(5).
- Çevik. A., Ertaş. N.. 2019. Effect of quinoa, buckwheat and lupine on nutritional properties and consumer preferences of tarhana. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 11(2). 145-155.
- Daglioğlu. O. 2000. "Tarhana as a traditional Turkish fermented cereal food. Its recipe, production and composition". *Food/Nahrung*. 44(2). 85-88.
- Değirmencioglu. N., Gürbüz. O., Herken. E. N., Yıldız. A. Y. 2016. "The impact of drying techniques on phenolic compound, total phenolic content and antioxidant capacity of oat flour tarhana". *Food Chemistry*. 194. 587-594.

- Demiray, E.. 2015. Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması. kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli. 263s.
- Dincer, C.. Topuz, A.. Sahin-Nadeem, H.. Ozdemir, K.S.. Cam, I.B.. Tontul, I.. Gokturk, R.S. and AY, S.T. 2012. A comparative study on phenolic composition, antioxidant activity and essential oil content of wild and cultivated sage (*Salvia fruticosa* Miller) as influenced by storage. *Industrial Crops and Products*. 39 170-176.
- Doymaz, İ.. 2017. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*. 53(1). 25-35.
- Ekinci, R. 2005. "The effect of fermentation and drying on the water-soluble vitamin content of tarhana, a traditional Turkish cereal food". *Food chemistry*. 90(1-2). 127-132.
- Ekinci, R.. & Kadakal, C. 2005. Determination of seven water-soluble vitamins in tarhana, a traditional Turkish cereal food, by high-performance liquid chromatography. *ACTA chromatographica*. 15. 289.
- Erbaş, M.. 2003. Yaş tarhananın üretim ve farklı saklama koşullarında bileşimindeki değişimler. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. Doktora Tezi. 189s.
- Erbaş, M.. Certel, M.. Uslu, M. K. 2005. "Microbiological and chemical properties of Tarhana during fermentation and storage as wet—sensorial properties of Tarhana soup". *LWT-Food Science and Technology*. 38(4). 409-416.
- Erbas, M., Ertugay, M. F., Erbas, M. Ö., & Certel, M. 2005. The effect of fermentation and storage on free amino acids of tarhana. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(5), 349-358.
- Erbaş, M.. Uslu, M. K.. Erbaş, M. O.. Certel, M. 2006. "Effects of fermentation and storage on the organic and fatty acid contents of tarhana, a Turkish fermented cereal food". *Journal of Food Composition and Analysis*. 19(4). 294-301.
- Ertekin, C. and Yaldiz, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. 63 (3): 349-359.
- Ertop, M. H.. Atasoy, R. 2019. "Farklı tahıl ve bakliyat unları ile üretilen tarhanaların fizikokimyasal, reolojik ve duyuşal nitelikleri". *Gıda*. 44(5). 781-793.
- Fernández-León, M.F.. Fernández-León, A.M.. Lozano, M.. Ayuso, M.C.. Amodio, M.L.. Colelli, G. and González-Gómez, D. 2013. Retention of quality and functional values of broccoli 'parthenon' stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*. 31 (2): 302-313.
- Gaviria-Lozano, A. C., Castro, A. M., Diaz, L. E., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Moreno, F. L. 2025. Improving the drying efficiency, quality attributes, and

- lycopene bioaccessibility (in vitro) of tomato puree using refractance-window hybrid drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.*, 2025, 104014.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 35-42.
- Geankopolis. C.J.. 2005. Transport processes and unit operations. Prentice-Hall.
- Gocmen. D.. Gurbuz. O.. Rouseff. R. L.. Smoot. J. M.. Dagdelen. A. F. 2004. "Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma active compounds in sun-dried and vacuum-dried tarhana". *European Food Research and Technology*. 218(6). 573-578.
- Göncü, A. 2024. The effect of using sour cherry (*Prunus cerasus* L.) puree in tarhana formulations on nutritional value and functional properties of tarhana. *Food Science & Nutrition*, 12(8), 5412-5425.
- Hansen, Å., & Hansen, B. (1996). Flavour of sourdough wheat bread crumb. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 202(3), 244-249.
- Hayashi. H. 1989. Drying technologies of foods-their history and future. *Drying Technology*. 7 (2): 315-369.
- Hayta. M.. Alpaslan. M.. Baysar. A. 2002. "Effect of drying methods on functional properties of tarhana: A wheat flour-yogurt mixture". *Journal of Food Science*. 67(2). 740-744.
- Hernández-Santos, B., Martínez-Sánchez, C.E., Torruco-Uco, J.G., Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I.I., Vajando-Anaya, E.S., Carmona-García, R., Herman-Lara, E., 2016. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. *Drying technology*, 34(12), 1414-1422.
- Işık. F. 2013. "Salça üretim atıklarının tarhana üretiminde kullanımı". Doktora tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Işık, M. S., Bilgin, R., Gökırmaklı, Ç., Şatır, G., & Güzel-Seydim, Z. B. 2023. Determination of the effects of different drying methods on tarhana with improved functional properties. *Turk. J. Agric.-Food Sci. Technol*, 11, 460-469.
- İbanoğlu. Ş.. İbanoğlu. E.. Ainsworth. P. 1999. "Effect of different ingredients on the fermentation activity in tarhana". *Food Chemistry*. 64(1). 103-106.
- İbanoğlu. Ş.. Maskan. M. 2002. "Effect of cooking on the drying behaviour of tarhana dough. a wheat flour-yoghurt mixture". *Journal of Food Engineering*. 54(2). 119-123.

- Isik, F., Yapar, A. 2017. Effect of tomato seed supplementation on chemical and nutritional properties of tarhana. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 667-674.
- Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.* 84 (2): 194-205.
- Karahan, A. M., Köten, M., Karahan, L. E., Yazman, M. M. 2019. "Tarhananın besinsel önemi ve fonksiyonel bileşenlerce zenginleştirilmesi". *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 4(3). 120-129.
- Karahan, A. M., Köten, M., Karahan, L. E., Yazman, M. M. 2019. Tarhananın besinsel önemi ve fonksiyonel bileşenlerce zenginleştirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3), 120-129.
- Karagozlu, N., Ergonul, B., & Karagozlu, C. 2008. Microbiological attributes of instant tarhana during fermentation and drying. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 14(6), 535-541.
- Kilci, A., Gocmen, D. (2014). Phenolic acid composition, antioxidant activity and phenolic content of tarhana supplemented with oat flour. *Food chemistry*, 151, 547-553.
- Koc, B., Sakin-Yilmazer, M., Kaymak-Ertekin, F. and Balkir, P. 2014. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. *J Food Sci Technol*. 51 (7): 1377-1383.
- Koç, M. 2015. Farklı kurutma yöntemleri ile bal tozu üretim koşullarının optimize edilmesi ve depolama stabilitesinin belirlenmesi. Doktora tezi. Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 202 s.
- Kovacı, T., Dikmen, E. and Şahin, A.Ş. 2018. Kurutma Sistemleri. Enerji Tüketimleri ve Ürün Kalitesine Etkileri ve Örnek Sistem Tasarımı. *Journal of Technical Sciences*. 8 (2): 25-39.
- Kömürcü, T. C., & Bilgiçli, N. 2022. Effect of ancient wheat flours and fermentation types on tarhana properties. *Food Bioscience*, 50, 101982.
- Kutlu, N. and İşci, A. 2016. Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. *Akademik Gıda*. 14 (1): 21-27.
- Lazić, Ž.R.. 2004. Design of Experiments in Chemical Engineering. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.
- Mathlouthi, M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12(7), 409-417.

- Manso. M.C.. Oliveira. F.A.. Oliveira. J.C. and Frías. J.M. 2001. Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*. 36 (3): 303-312.
- Maskan. M.. & İbanoglu. Ş. 2002. Hot air drying of cooked and uncooked tarhana dough. a wheat flour-yoghurt mixture. *European Food Research and Technology*. 215.413-418.
- Meléndez-Martínez. A.J.. Vicario. I.M. and Heredia. F.J. 2007. Analysis of carotenoids in orange juice. *Journal of Food composition and analysis*. 20 (7): 638-649.
- Muir DD, Tamime AY, Khaskheli M. 2000. Effect of processing conditions and rawmaterials on the properties of khisk. 2. Sensory profile and microstructure. *Lebensm-Wiss-u-Technol* 33:452-461.
- Myers. R.H. and Montgomery. D.C.. 1995. Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments. John Wiley and Sons. New York.
- Nemzer. B.. Vargas. L.. Xia. X.. Sintara. M. and Feng. H. 2018. Phytochemical and physical properties of blueberries. tart cherries. strawberries. and cranberries as affected by different drying methods. *Food chemistry*. 262 242-250.
- Nindo. C. and Tang. J. 2007. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*. 25 (1): 37-48.
- Özbilgin. S..1983. "The chemical and biological evaluation of tarhana supplemented with chickpea and lentil". Ph. D. Thesis. Cornell Univ.. Ithaca. New York.
- Özdemir, N., Alkan, L. B., & Çon, A. H. 2012. Taze ve depolanmış Kastamonu yaş tarhanasının mikrobiyolojik kalitesi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 23(2), 35-40.
- Özdemir. N.. Şimşek. Ö.. Temiz. H.. Çon. A. H. 2019. "The effect of fermentation time on the volatile aromatic profile of tarhana dough". *Food Science and Technology International*. 25(3). 212-222.
- Özdestan, Ö., Üren, A. 2013. Biogenic amine content of tarhana: A traditional fermented food. *International Journal of Food Properties*, 16(2), 416-428.
- Özmen. F. H. (2011). Rice tarhana enriched with legume flours for celiac patients (Doctoral dissertation. MS thesis Hacettepe University).
- Parmar. A. and Dhamsaniya. N. 2023. Refractance window drying: A novel drying technique for quality retention.
- Patrón-Vázquez, J., Baas-Dzul, L., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Sánchez-Contreras, Á., García-Cruz, U., & Pacheco, N. (2019). The effect of drying temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes. *Agronomy*, 9(9), 474.
- Puente-Díaz. L.. Spolmann. O.. Nocetti. D.. Zura-Bravo. L.. & Lemus-Mondaca. R. (2020). Effects of infrared-assisted refractance window™ drying on the drying kinetics. microstructure. and color of physalis fruit purée. *Foods*. 9(3). 343.

- Rajoriya. D., Shewale. S. R., Bhavya. M. L., Hebbar. H. U. 2020. Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 66. 102530.
- Rajoriya. D., Bhavya. M. L., & Hebbar. H. U. 2023. Far infrared assisted refractance window drying: Influence on drying characteristics and quality of banana leather. *Drying Technology*. 41(13). 2143-2155.
- Rezvani. Z., Morteza pour. H., Ameri. M., Akhavan. H. R., & Arslan. S. 2022. Drying of Spirulina with a continuous infrared-assisted refractance window™ dryer equipped with a photovoltaic-thermal solar collector. *Heat and Mass Transfer*. 58(10). 1739-1755.
- Rodríguez. Ó., Gomes. W., Rodrigues. S. and Fernandes. F.A. 2017. Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple. *Ultrasonics sonochemistry*. 35 92-102.
- Saavedra. J., Córdova. A., Navarro. R., Díaz-Calderón. P., Fuentealba. C., Astudillo-Castro. C., Toledo. L., Enrione. J. and Galvez. L. 2017. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*. 198 81-90.
- Sakin-Yilmazer. M. 2017. "Convective drying behavior of tarhana dough". *Journal of food process engineering*. 40(1). e12296.
- Saifullah, M., Yusof, Y., Chin, N., Aziz, M., 2016. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. *Powder technology*, 301, 396-404.
- Shende. D. and Datta. A.K. 2018. Refractance window drying of fruits and vegetables: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Şimşek. Ö., Özel. S., Çon. A.H. 2012. "Ev ve işletme tipi Uşak tarhanası hamurlarında fermentasyon sürecine ait mikrobiyolojik ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması". *Gıda*. 37(6): 341-348.
- Tamer. C. E., Kumral. A., Aşan. M., ve Şahin. İ. 2007. "Chemical compositions of traditional tarhana having different formulations". *Journal of food processing and preservation*. 31(1). 116-126.
- Taşoğulları, N., Şimşek, Ö. 2020. The effect of irradiation on the quality properties of tarhana. *Applied Sciences*, 10(14), 4749.
- TSE. 2004. TS 2282 Tarhana Standardı. Ankara.
- Topuz. A., Feng. H. and Kushad. M. 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Science and Technology*. 42 (10): 1667-1673.
- Tontul. İ. 2017. Kırınım pencere (refractance window) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma teknikleri ile fonksiyonel bileşenlerce zengin nar pestili üretimi. Doktora tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 138 s.

- Tontul. I., Eroglu. E. and Topuz. A. 2018. Convective and refractance window drying of cornelian cherry pulp: Effect on physicochemical properties. *J. Food Process Eng.* 41(8):
- Tontul. İ., Kasimoglu. Z., Asik. S., Atbakan. T., & Topuz. A. 2018. Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*. 109. 1253-1259.
- Tontul. İ., Ergin. F., Eroğlu. E., Küçükçetin. A. and Topuz. A. 2018. Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*.
- Trivedi. M., D'costa. V., Shitut. J. and Srivastav. S. 2017. Refractance window technology: A promising drying technique for the food industry. *Int. J. Innov. Emerging Res. Eng.* 4: 6-16.
- Tunde-Akintunde. T., Afolabi. T. and Akintunde. B. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*). *Journal of Food Engineering*. 68 (4): 439-442.
- Tümer. B.D., Şimşek. Ö., Özkal. S.G. 2023. β -carotene and lycopene degradation kinetics of tarhana dough during convective air drying and traditional drying methods. *Food Science and Technology*. 43.
- Varol. S.A. 2021. Uşak tipi tarhanada protein ve amino asitlerin analizi. Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 44 s.
- Varol, S. A., & Karakas-Budak, B. 2025. Amino acids based total protein versus crude protein in mixed fermented food: Case study of tarhana. *Journal of Food Composition and Analysis*, 142, 107380.
- Vega-Mercado. H., Góngora-Nieto. M.M. and Barbosa-Cánovas. G.V. 2001. Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*. 49 (4): 271-289.
- Velioglu. Y. S., Mazza. G., Gao. L. and Oomah. B. D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(10): 4113-4117.
- Voda. A., Homan. N., Witek. M., DuijsteR. A., Dalen. G., Sman. R., Nijse. J., Vliet. L., AS. H.V. and Duynhoven. J. 2012. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*. 49(2): 687-693.
- Vural. E. 2024. Kızılötesi destekli kırım pencereci kurutma sisteminde yüksek kaliteli soğan tozu üretimi. Doktora tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 66 s.
- Yaralı. K., & İnanç. A.L. 2023. Comparison of Novel and Conventional Techniques for Tarhana Production. *Akademik Gıda*. 21(1). 27-37.
- Yüksel, M., 2020. Fenolikçe Zenginleştirilmiş Prejelatinize Nişasta Üretimi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Mersin. 63 s.

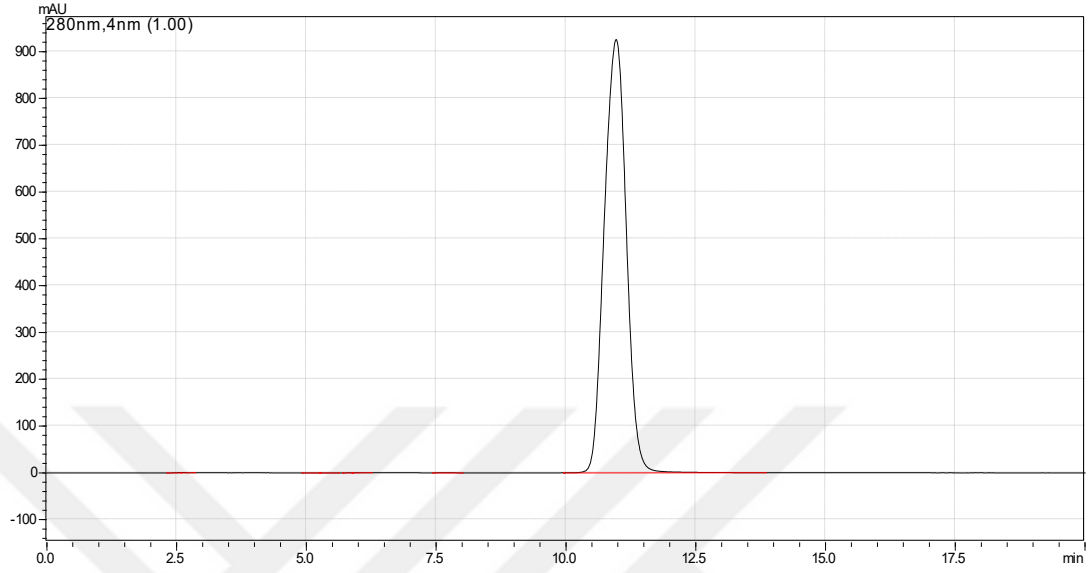
Zomorodi, S., Hedayat, A. 2023. Impact of Refractance Window drying method on physical properties and phenolic antioxidants of tomato powder in comparison with other methods.

Wrolstad. R.E. and Smith. D.E. 2017. Color analysis. *Food analysis*: 545-555.

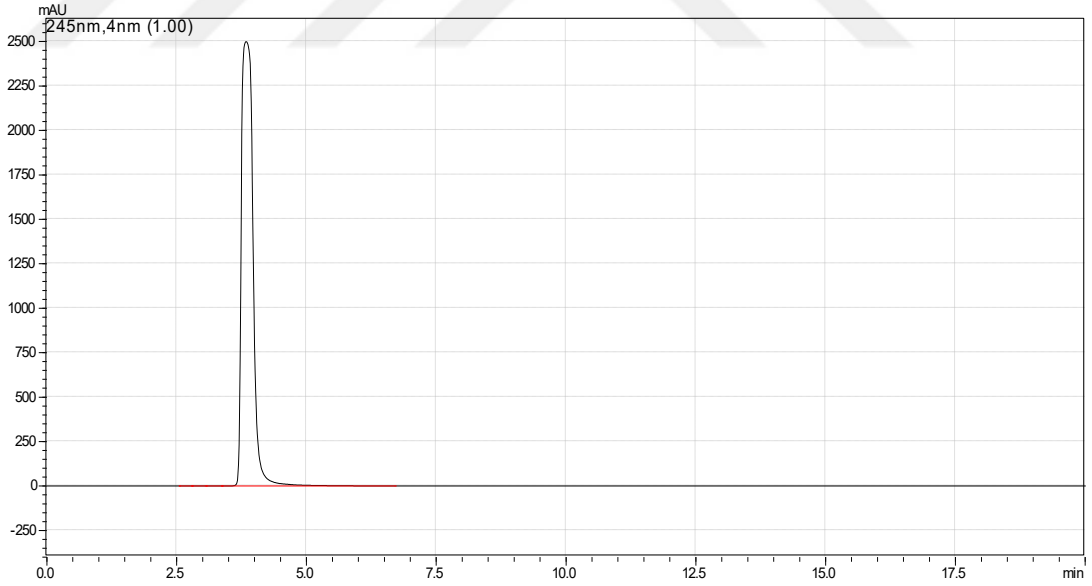


7. EKLER

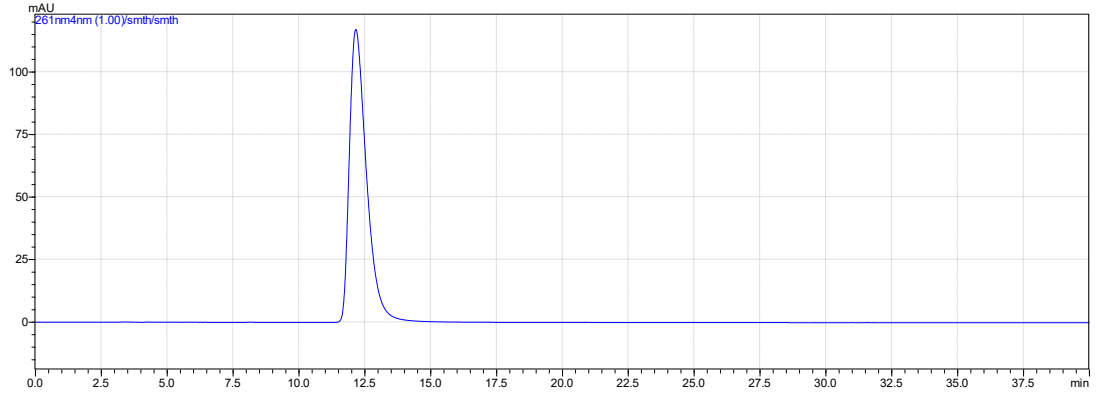
EK-1: Tez kapsamında elde edilen HMF standart maddesinin 280 nm dalga boyundaki kromatogramı



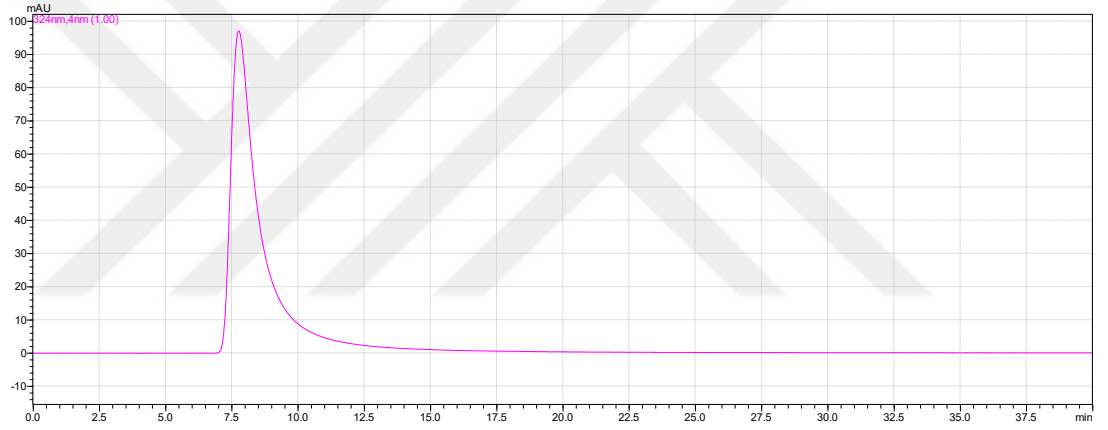
EK-2: Tez kapsamında elde edilen Askorbik asit standart maddesinin 245 nm dalga boyundaki kromatogramı



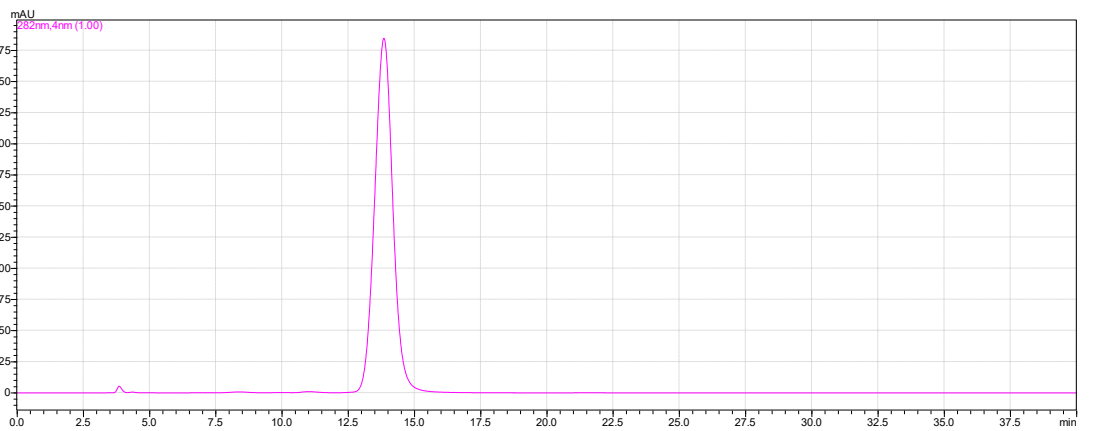
EK-3: Tez kapsamında elde edilen B₃ standart maddesinin 261 nm dalga boyundaki kromatogramı



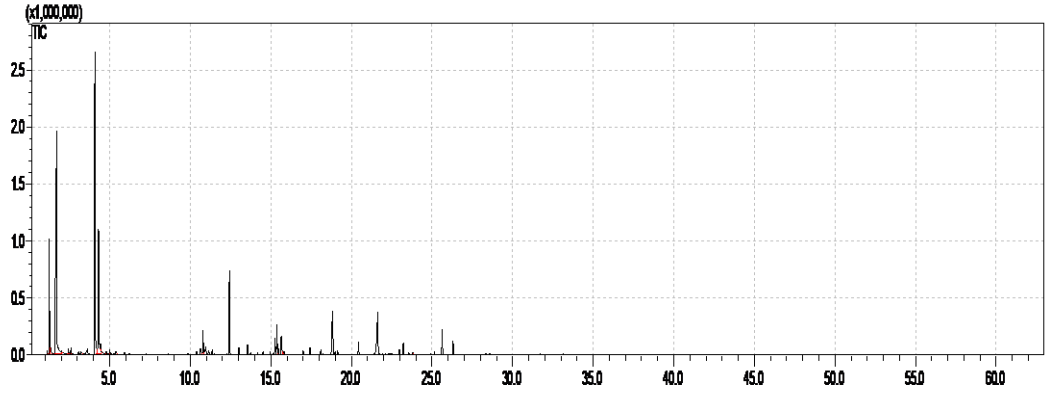
EK-4: Tez kapsamında elde edilen B₆ standart maddesinin 324 nm dalga boyundaki kromatogramı



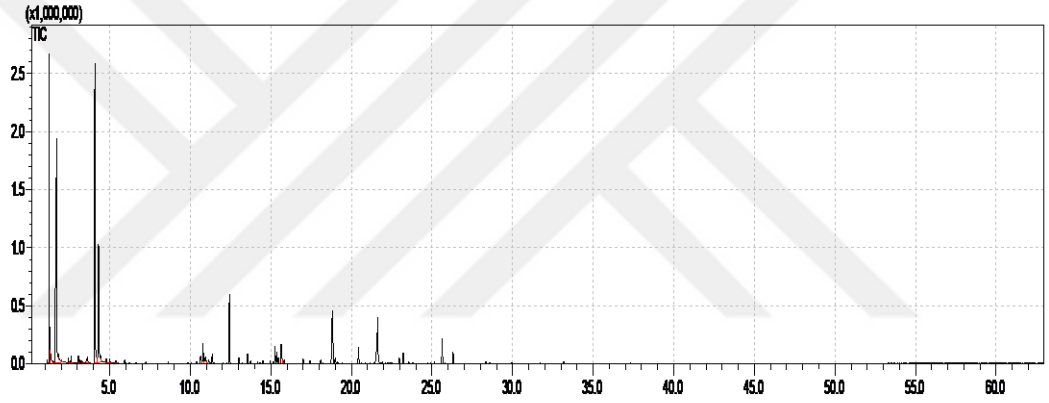
EK-5: Tez kapsamında elde edilen B₆ standart maddesinin 282 nm dalga boyundaki kromatogramı



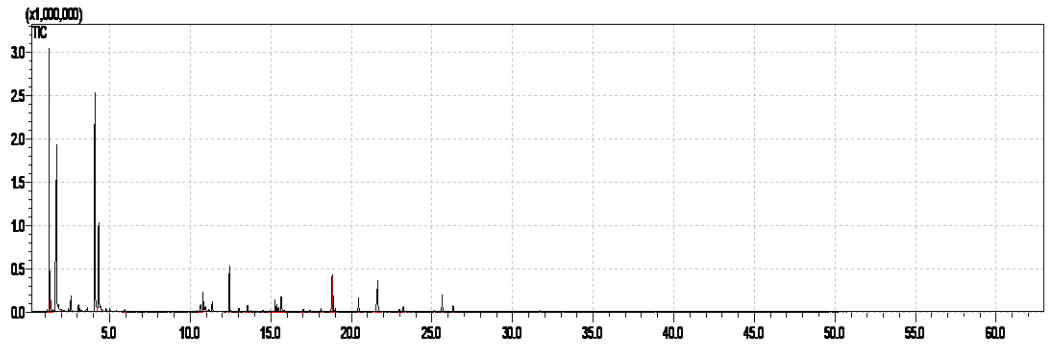
EK-6: KDKPK yöntemi ile elde edilen tarhanaların uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



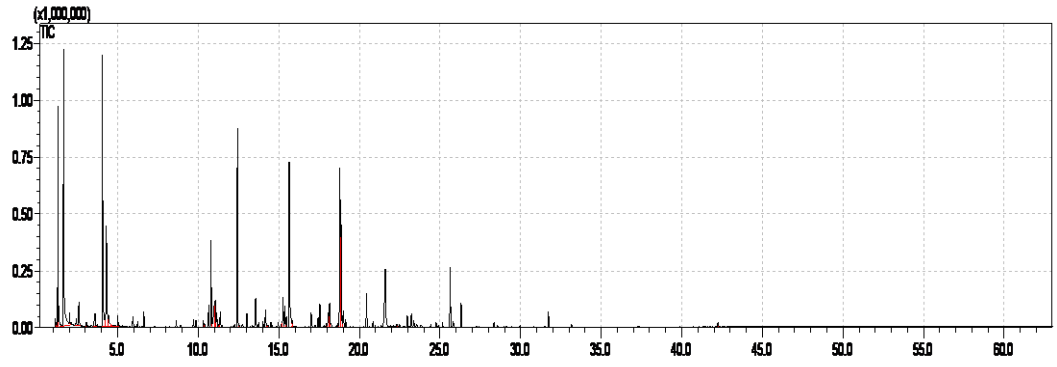
EK-7: KPK yöntemi ile elde edilen tarhanaların uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



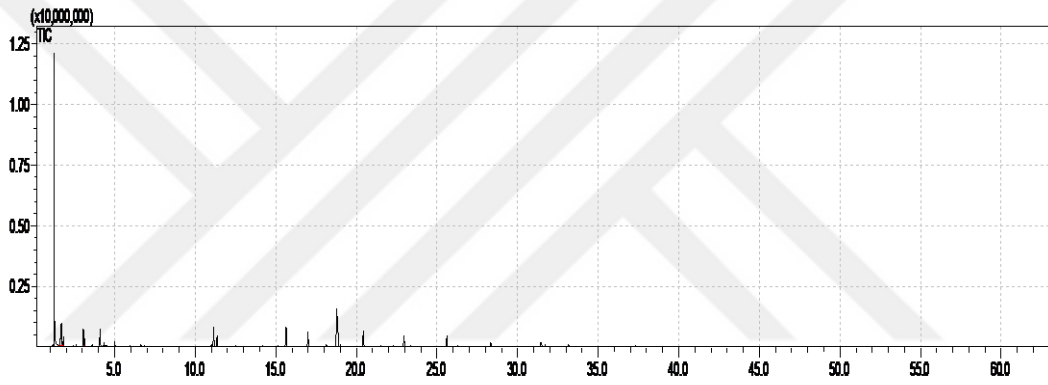
EK-8: SHK yöntemi ile elde edilen tarhanaların uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



EK-9: GK yöntemi ile elde edilen tarhanaların uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



EK-10: Tarhana hamurunun uçucu bileşen kompozisyonlarına ait kromatogram



ÖZGEÇMİŞ

Serenay AŞIK AYGÜN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2019 – 2025	Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi. Gıda Mühendisliği Bölümü. Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
Mart 2023-Devam Ediyor	Mühendislik Fakültesi. Gıda Mühendisliği Bölümü. Antalya

ESERLER

A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- A1. Tontul. İ., Kasimoglu. Z., Asik. S., Atbakan. T., & Topuz. A. (2018). Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*. 109. 1253-1259.

- A2.** Asik. S.. Atbakan Kalkan. T.. & Topuz. A. (2021). Optimization of spray drying condition and wall material composition for myrtle extract powder using response surface methodology. *Drying Technology*. 39(12). 1869-1882.
- A3.** Atbakan Kalkan. T.. Asik Aygun. S.. & Topuz. A. (2025). Influence of Different Drying Techniques on Selected Physicochemical and Bioactive Properties of Mushroom Powders. *HortiS (2025)* 42(2):72-79.
- A4.** Özel, E., Aşık-Aygün, S., Açıkalin, E., Zeren, F. E., & Küçükçetin, A. (2025). Yanık Dondurmanın Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri. *Akademik Gıda*, 23(2), 156-163.
- A5.** Günel, Z., Aşık-Aygün, S., Kalkan, T. A., & Topuz, A. (2025). Effects Of Vacuum Impregnation With Honey And Rosehip Solutions On The Fortification And Enzymatic Browning Of Quince (*Cydonia Oblonga M.*). *Gıda*, 50(4), 664-679.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

- B1.** Atbakan T.. Aşık S.. Kasımoğlu Z. and Topuz A. (2017). Total phenolic content and sensory properties of mixed herbal tea produced from different aromatic plants. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants. Konya. Turkey. May 9-12. (Özet Bildiri)
- B2.** Aşık S.. Atbakan T.. Kasımoğlu Z. and Topuz A. (2017). Optimization of herbal tea formulation. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants. Konya. Turkey. May 9-12. (Özet Bildiri)
- B3.** Atbakan. T.. Asik. S. and Topuz. A. (2018). Physicochemical properties some physicochemical properties of commercial protein isolates. XIIIth International Conference of Food Physicists. Antalya. Turkey. October 23-25. (Özet Bildiri)

C. Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:

C2. Yazılan ulusal/uluslararası kitaplardaki bölümler:

- C2.1.** AYGÜN. S. A.. & TOPUZ. A. (2024). Kırınım Pencereli Kurutma Teknolojisi. *Türkiye Klinikleri Food Sciences-Special Topics*. 10(2). 54-61.
- C2.2.** TOPUZ. A.. DİNÇER. C.. & AYGÜN. S. A. (2023). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojileri: Yenilikler ve Zorluklar. *Türkiye Klinikleri Food Sciences-Special Topics*. 9(2). 39-46.
- C2.3.** Topuz. A.. Dincer. C.. Kalkan. T. A.. & Aygun. S. A. (2023). Drying of tea. herbs. and spices. In *Drying Technology in Food Processing* (pp. 543-586). Woodhead Publishing.

D. Projeler

1. Farklı Kurutma Yöntemleri ile Biyoaktif Bileşenlerce Zengin Portakal Tozu Üretimi BAP Araştırma Projesi. FLY-2018-3709. **Yardımcı Araştırmacı**

2. Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen mantar tozlarının bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi BAP Araştırma Projesi. FBG-2019-5014. **Yardımcı Araştırmacı**
3. Tarhananın Kurutulmasında Yenilikçi Kurutma Uygulamaları: Ürün Özellikleri Üzerine Etkisi BAP Araştırma Projesi. FDK-2024-6705. **Yardımcı Araştırmacı**

