T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN TRABZON HURMASI PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2026
ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN TRABZON HURMASI PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2026

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN TRABZON HURMASI PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2024-6745 nolu proje ile desteklenmiştir.

OCAK 2026

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN TRABZON HURMASI PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 29/01/2026 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)
Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER
Doç. Dr. Cüneyt DİNÇER

ÖZET

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN TRABZON HURMASI PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Ocak 2026; 68 sayfa

Ülkemizde yetiştiriciliği giderek yaygınlaşan Trabzon hurması meyvesi, kısa hasat sezonu ve sınırlı depolama süresine sahiptir. Bu nedenle meyvenin hasat dönemi dışında da tüketilebilmesi amacıyla farklı meyve ürünlerine işlenmesi ve tüketiminin yıl geneline yayılması önem arz etmektedir. Bu amaçla üretilen meyve ürünlerinden biri de pestildir. Ancak geleneksel üretim yöntemleri, pestilin besinsel, duyusal ve renk özelliklerini olumsuz etkilemekte ve önemli biyoaktif bileşen kayıplarına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında, söz konusu olumsuzlukların endüstriyel üretime uygun yenilikçi bir kurutma yöntemi olan kırınım pencereli kurutma tekniği ile azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmanın hedefleri; ürün kalitesinin artırılması, esmerleşmenin azaltılması, insan sağlığına zararlı bileşen oluşumunun engellenmesi ve enerji girdilerinin azaltılmasıdır. Ayrıca, Trabzon hurması pestili için geliştirilen ideal formülasyonun kırınım pencereli kurutma yöntemiyle kurutulmasına ait kinetik parametrelerin belirlenmesi de amaçlanmıştır.

Bu tezde, Trabzon hurması pestili üretimi için kırınım pencereli kurutma (KPK), sıcak hava kurutma (SHK) ve geleneksel gölgede sergen kurutma (GK) yöntemleri karşılaştırmalı olarak kullanılmış ve elde edilen Trabzon hurması pestillerinin fizikokimyasal özellikleri kıyaslanmıştır. Öncelikle ön denemelerle pestil formülasyonu, herle kalınlığı ve kuruma süreleri tespit edilmiştir. Bu denemelerde en uygun serme kalınlığı 3.5 mm olarak belirlenmiştir. Sıcak hava kurutma 70, 80 ve 88°C'lerde sıcak havada ve 2 m/s hava hızında pürüzsüz cam yüzeylere herleyi sermek suretiyle; kırınım pencereli kurutma 70, 80 ve 88°C'lerdeki sirkülasyon suyu sıcaklığında, herleyi Mylar banda sermek suretiyle; geleneksel kurutmayı temsilen ise gölgede sergen kurutma yönteminde herle yine pürüzsüz cam yüzeylere serilerek oda sıcaklığında üretim gerçekleştirilmiştir.

Yedi farklı uygulama ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin yapısal (tekstür) özellikleri, su aktivitesi, pH, renk, esmerleşme indeksi, antioksidan aktivite değerleri ile nem, suda çözünür kuru madde, 5-hidroksimetilfurfural (HMF), askorbik asit, duyusal analiz, toplam fenolik madde, toplam karotenoid miktarları belirlenerek uygulamalara bağlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen kurutmalarda Trabzon hurması pestili herlesinin kuruma süresi, kırınım pencereli kurutma sistemi için 70°C'de 60 dakika, 80°C'de 50 dakika ve 88°C'de 40 dakika iken, sıcak hava kurutma yönteminde 70°C'de 90 dakika,

80°C'de 75 dakika ve 88°C'de 70 dakika; geleneksel kurutma yönteminde ise 24 saat ile 48 saat arasında hava koşullarına göre değişen süreler tespit edilmiştir. Kırınım pencereli kurutma yöntemi, kuruma süresini çok önemli ölçüde kısaltmıştır.

Tez kapsamında ortaya çıkan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, yenilikçi kurutma uygulaması olan kırınım pencereli kurutma sistemi ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin, biyoaktif bileşenlerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. En yüksek askorbik asit miktarı, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite ve toplam karotenoid miktarı kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen Trabzon hurması pestillerinde belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre de genel beğeni bakımından en çok tercih edilen örnek, 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olmuştur. Pestillerin tümünün HMF değeri standartların çok altında çıkmıştır. Pestillerin esmerleşme indeksi değerleri kıyaslandığında, en düşük değerler kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde çıkmıştır. Üretilen pestiller tekstürel açıdan değerlendirildiğinde elastikiyet, esneklik ve çiğnenebilirlik bakımından kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestiller daha olumlu bulunmuştur.

Kırınım pencereli kurutma sisteminde kurutulan Trabzon hurması pestilinin kurutma kinetiği parametreleri ilk kez bu tez kapsamında belirlenmiştir. Kırınım pencereli kurutma sisteminde 70, 80 ve 88°C'de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta üretilen Trabzon hurması pestillerinin kurutulmasını en iyi ifade eden matematiksel modelin Difüzyon Yaklaşımı (Diffusion Approximation) modeli olduğu belirlenmiştir. 70, 80 ve 88 °C'lerde kırınım pencereli kurutma sisteminde üretilen pestillerin efektif difüzyon katsayıları sırasıyla $7.08*10^{-10}$, $8.07*10^{-10}$, $10.68*10^{-10}$ m^2/s olarak belirlenmiş olup sirkülasyon suyu sıcaklığı arttıkça, kuruyan pestillerdeki nemin efektif difüzyon katsayısının arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda Trabzon hurması pestili üretimi için kullanılan kırınım pencereli kurutma yönteminin, sıcak hava kurutma ve gölgede sergen kurutma yöntemlerine göre ürün kalitesi açısından daha avantajlı bir yöntem olduğu sonucu elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kırınım pencereli kurutma, Kurutma kinetiği, Trabzon hurması pestili

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER

Doç. Dr. Cüneyt DİNÇER

ABSTRACT

EFFECTS OF REFRACTANCE WINDOW DRYING ON THE DRYING KINETICS AND QUALITY PARAMETERS OF PERSIMMON LEATHER

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

MSc Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

January 2026; 68 pages

The persimmon fruit whose cultivation is becoming increasingly widespread in our country, has a short harvest season and limited storage time. Therefore, processing it into different fruit products and spreading its consumption throughout the year is important so that the fruit can be consumed outside of the harvest season. One of the fruit products produced for this purpose is fruit leather (pestil). However, traditional production methods negatively affect the nutritional, sensory, and color properties of fruit leather and cause significant losses of bioactive components. In this thesis study, it is aimed to reduce these negative effects with the refractance window drying technique, an innovative drying method suitable for industrial production. The objectives of the study are to improve product quality, reduce browning, prevent the formation of components harmful to human health, and reduce energy inputs. In addition, it is aimed to determine the kinetic parameters of the drying of the ideal formulation developed for persimmon fruit leather using the refractance window drying method.

In this thesis, refractance window drying (RWD), hot air drying (HAD), and traditional shade drying (SD) methods were used comparatively to produce persimmon leather and the physicochemical properties of the resulting persimmon leathers were compared. First, preliminary experiments were conducted to determine the leather formulation, sheet thickness, and drying times. In these experiments, the most suitable sheet thickness was determined to be 3.5 mm. Hot air drying was performed by spreading the sheet on smooth glass surfaces in hot air at 70, 80 and 88°C and an air velocity of 2 m/s; refractance window drying was performed by spreading the sheet on a Mylar belt at circulating water temperatures of 70, 80 and 88°C; and traditional shade drying was performed at room temperature, again by spreading the sheet on smooth glass surfaces.

The structural (textural) properties, water activity, pH, color, browning index, antioxidant activity values, as well as moisture, water-soluble dry matter, 5-hydroxymethylfurfural (HMF), ascorbic acid, sensory analysis, total phenolic content, and total carotenoid content of persimmon leather produced using seven different applications were determined, and differences depending on the application were identified.

In the drying processes carried out within the scope of this thesis, the drying time of persimmon leather was determined to be 60 minutes at 70°C, 50 minutes at 80°C, and 40 minutes at 88°C for the refractance window drying system; 90 minutes at 70°C, 75 minutes at 80°C, and 70 minutes at 88°C for the hot air drying method; and varying times between 24 and 48 hours depending on weather conditions for the traditional drying method. The refractance window drying method significantly shortened the drying time.

When the results obtained within the scope of this thesis are evaluated generally, it has been determined that persimmon leather produced with the innovative drying method, the refractance window drying system, have better preserved bioactive components. The highest ascorbic acid content, total phenolic content, antioxidant activity and total carotenoid content were determined in persimmon leather produced with the refractance window drying method. According to the sensory analysis results, the most preferred sample in terms of overall liking was the leather produced with the refractance window drying method at 88°C. The HMF value of all leathers was well below the standards. When the browning index values of the leathers were compared, the lowest values were obtained in the leathers produced with the refractance window drying method. When the produced leathers were evaluated in terms of textural aspects, the leathers produced with the refractance window drying method were found to be more favorable in terms of elasticity, flexibility, and chewability.

The drying kinetic parameters of persimmon leather dried in a refractance window drying system were determined for the first time within the scope of this thesis. It was determined that the Diffusion Approximation model best describes the drying of persimmon leather produced at three different temperatures (70, 80 and 88°C) in the refractance window drying system. The effective diffusion coefficients of the persimmon leathers produced in refractance window drying system at 70, 80 and 88 °C were determined to be $7.08*10^{-10}$, $8.07*10^{-10}$, and $10.68*10^{-10}$ m^2/s, respectively, and it was found that the effective diffusion coefficient increased as the circulating water temperature increased.

The studies concluded that the refractance window drying method used to produce persimmon leather is more advantageous in terms of product quality compared to hot air drying and shade drying methods.

KEYWORDS: Drying kinetics, Refractance window drying, Persimmon leather

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER

Assoc. Prof. Dr. Cüneyt DİNÇER

ÖNSÖZ

Genel olarak geleneksel yöntemlerle kurutulan pestil, meyvelerin hasat sezonu dışında da muhafazasını sağlayarak tüketimine olanak tanımaktadır. Doğal yapısı ve besleyiciliğinden dolayı zararlı atıştırmalıklara alternatif olan pestil, güneşte, gölgede, sıcak havada kurutma gibi alışılmış yöntemlerle üretilmeye devam edilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yenilikçi teknolojiye sahip olan kırınım pencereli (Refractance Window-RW) kurutma sistemi ile Trabzon hurması pestili üretiminde alternatif bir üretim şekli denenerek, bu teknolojinin gölgede kurutma ve sıcak havada kurutma yöntemlerine göre olan avantajlarını ortaya çıkarmak hedeflenmiştir.

Tez konumun belirlenmesi ve süreç içerisinde aklıma takılan konuların aydınlatılmasında yardımını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),

Tezin değerlendirilme aşamasında önerileriyle teze katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Erdoğan KÜÇÜKÖNER (Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve Sayın Doç. Dr. Cüneyt DİNÇER'e (Akdeniz Üniversitesi Finike Meslek Yüksekokulu),

Araştırmamı maddi olarak destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Laboratuvar olanaklarını kullanmama olanak sağlayan Prof. Dr. Mustafa Kemal USLU'ya (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),

Çalışmalarımın farklı süreçlerinde yardımını esirgemeyen Dr. Serenay AŞIK AYGÜN, Öğr. Gör. Dr. Emrah EROĞLU, Dr. Tuğçe ATBAKAN KALKAN, Gıda Yüksek Mühendisi Nida PINARBAŞI'na,

Laboratuvar teknik imkanlarını kullanmama olanak sağlayan çalışmakta olduğum kurum Batı Akdeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve bu süreçte desteklerini esirgemeyen başta Dr. Demet YILDIZ TURGUT olmak üzere, Kimya Yüksek Mühendisi Orçun ÇINAR'a, Dr. Arzu BAYIR YEĞİN'e ve Yüksek Kimyager Kadriye YÜKSEL'e,

Çalışmalarım boyunca manevi olarak hep arkamda olan aileme ve eşimin ailesine,

Süreç içerisinde olumlu veya olumsuz her türlü durumda sabırla destekçim olan, yüksek lisans eğitimime devam etmemi sağlayan sevgili eşim Ender GÜMÜŞ'e ve canım kızım Ece GÜMÜŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kırınım Pencereli Kurutma Yönteminin Trabzon Hurması Pestilinin Kurutma Kinetiği ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkileri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

29/01/2026

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
AKADEMİK BEYAN vi
SİMGELER VE KISALTMALAR ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK TARAMASI 3
2.1. Trabzon Hurması 3
2.2. Pestil 4
2.3. Kurutma 5
2.3.1. Gölgede sergen kurutma 5
2.3.2. Sıcak hava kurutma 6
2.3.3. Kırınım pencereli (refractance window-RW) kurutma 6
2.4. Trabzon Hurması Pestili ile İlgili Yapılan Çalışmalar 10
3. MATERYAL VE METOT 12
3.1. Materyal 12
3.2. Metot 12
3.2.1. Pestil formülasyonunun belirlenmesi 12
3.2.2. Trabzon hurması püresinin hazırlanması 12
3.2.3. Herle hazırlanması 13
3.2.4. Kurutma 14
3.3. Analizler 19
3.3.1. Su aktivitesi 19
3.3.2. Nem 19
3.3.3. Suda çözünür kuru madde 20
3.3.4. pH tayini 20
3.3.5. Renk analizi 21
3.3.6. Tekstür analizi 22
3.3.7. HMF analizi 22
3.3.8. Esmerleşme indeksi 23

3.3.9. Askorbik asit tayini 24
3.3.10. Ekstraksiyon 24
3.3.11. Toplam fenolik madde miktarı 25
3.3.12. Antioksidan aktivite tayini 26
3.3.13. Toplam karotenoid miktarı tayini 26
3.3.14. Duyusal analiz 27
3.3.15. Kurutma kinetiği ve modelleme 28
3.3.16. İstatistiksel analiz 30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 31
4.1. Trabzon Hurması Kabuksuz Meyve Püresinin Bazı Fizikokimyasal Özellikleri 31
4.2. Farklı Kurutma Yöntemleriyle Kurutulmuş Trabzon Hurması Pestilinin Kalite Özellikleri 33
4.2.1. Su aktivitesi 33
4.2.2. Nem 35
4.2.3. Suda çözünür kuru madde 36
4.2.4. pH 37
4.2.5. Renk 37
4.2.6. Tekstür 39
4.2.7. HMF 40
4.2.8. Esmerleşme indeksi 42
4.2.9. Askorbik asit 43
4.2.10. Toplam fenolik madde miktarı 44
4.2.11. Antioksidan aktivite 45
4.2.12. Toplam karotenoid miktarı 47
4.2.13. Duyusal analiz 48
4.2.14. Kurutma kinetiği ve modelleme 49
5. SONUÇLAR 57
6. KAYNAKLAR 59
7. EKLER 67
ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a* : Yeşillik/kırmızılık parametresi

b* : Mavilik/sarılık parametresi

a_w : Su aktivitesi

°C : Santigrat derece

C : Chroma renk değeri

cm : Santimetre

dk. : Dakika

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı

$E^{½}$: Ekstinksiyon katsayısı

g : Gram

h^o : Hue açısı

kg : Kilogram

L : Litre / Dilim yarı kalınlığı

L* : Açıklık/ koyuluk parametresi

M : Molar

m : Metre

Me : Denge anındaki nem muhtevası

Mo : Başlangıçtaki nem muhtevası

Mt : Ürünün belirli bir zamandaki nem muhtevası

µg : Mikrogram

µm : Mikrometre

mL : Mililitre

MR : Nem oranı

N : Gözlemlenen deneysel veri sayısı / Newton

n : Modeldeki bağımsız değişken sayısı

nm : Nanometre

p : Önemlilik derecesi

R^2 : Regresyon katsayısı

R^2_{dzl} : Düzeltilmiş regresyon katsayısı

RMSE : Tahmini standart hata

rpm : Dönme devir sayısı

$\chi 2$: Ki-kare

s : Saniye

Sf : Seyreltme faktörü

% : Yüzde

Kısaltmalar

DPPH : 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl Serbest Radikali

GAE : Gallik asit eşdeğeri

HMF : 5- Hidroksimetil furfural

HPLC : Yüksek performanslı sıvı kromatografisi

KM : Kuru madde

GK : Geleneksel kurutma

SHK : Sıcak hava kurutma

KPK : Kırınım pencereli kurutma

RW : Refractance Window

SHK : Sıcak hava kurutma

TE : Troloks eşdeğeri

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminin Şematik Gösterimi (Nindo ve Tang 2007) 6

Şekil 2.2. (a) Kurutma işleminin başlangıcında iletim, konveksiyon ve radyasyon; **(b)** kurutma işleminin sonunda iletim ve konveksiyon, sıcak sudan Mylar film aracılığıyla kuruyan ürüne ve ürün yüzeyi üzerinden konveksiyon ısı transferi (Clarke 2004) 7

Şekil 3.1. Trabzon hurması püresi hazırlama aşamaları 13

Şekil 3.2. Konserve Trabzon hurması püresi hazırlanması 13

Şekil 3.3. Herle hazırlama sırasında gerçekleştirilen pişirme işlemi 13

Şekil 3.4. Trabzon hurması pestili akış şeması 14

Şekil 3.5. Gölgede kurutmanın yapıldığı dönem Antalya ili meteorolojik verileri **a)** Bağıl nem; **b)** En yüksek ve en düşük sıcaklık (https://www.havaturkiye.com) 15

Şekil 3.6. Herle serme aparatı 15

Şekil 3.7. Gölgede sergen kurutma yöntemi için camlara serilen herle 16

Şekil 3.8. Gölgede kurutma sırasında alınan görüntüler 16

Şekil 3.9. Gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan Trabzon hurması pestili (son ürün) 16

Şekil 3.10. Trabzon hurması pestillerinin ambalajlanmasında kullanılan vakumlu paketleme cihazı 17

Şekil 3.11. Vakumlu ambalajlanmış Trabzon hurması pestili 17

Şekil 3.12. Sıcak hava kurutma yöntemi ile pestil üretimi 18

Şekil 3.13. Kırınım pencereli kurutma cihazı 18

Şekil 3.14. Kırınım pencereli kurutma cihazında Trabzon hurması pestili üretimi 19

Şekil 3.15. Su aktivitesi ölçüm cihazı 19

Şekil 3.16. Nem tayin cihazı 20

Şekil 3.17. Digital refraktometre cihazı 20

Şekil 3.18. Ultra-turrax, spektrofotometre ve pH metre 21

Şekil 3.19. Renk ölçüm cihazı ve pestilde renk ölçümü 21

Şekil 3.20. 5- Hidroksimetilfurfural kalibrasyon grafiği 23

Şekil 3.21. Askorbik asit kalibrasyon grafiği 24

Şekil 3.22. Ekstraksiyon basamakları 25

Şekil 3.23. Gallik asit kalibrasyon grafiği 25

Şekil 3.24. Troloks kalibrasyon grafiği 26

Şekil 3.25. Kinetik çalışması için kırınım pencereli kurutma sisteminde 5 dakikada bir iki paralelli örnek alma 28

Şekil 4.1. Duyusal analiz sırasında panelistlere sunulan örnek bir tabak görüntüsü 48

Şekil 4.2. Kırınım pencereli kurutma cihazında 70°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi 50

Şekil 4.3. Kırınım pencereli kurutma cihazında 80°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi 50

Şekil 4.4. Kırınım pencereli kurutma cihazında 88°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi 51

Şekil 4.5. 70 C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği 54

Şekil 4.6. 80 C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği 55

Şekil 4.7. 88 °C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği 55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Duyusal analiz formu.....27

Çizelge 3.2. Nem oranı (MR) değerlerine uygulanan matematiksel modelleme eşitlikleri.....28

Çizelge 4.1. Trabzon hurması meyve pürelerinin bazı fizikokimyasal özellikleri 31

Çizelge 4.2. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....34

Çizelge 4.3. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin nem değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 35

Çizelge 4.4. Isıl işlem görmüş Trabzon hurması pürelerinin ve serilen herlelerin suda çözünür kuru madde (°Briks) değerleri 36

Çizelge 4.5. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin pH değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....37

Çizelge 4.6. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....38

Çizelge 4.7. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin tekstür profil analizi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....39

Çizelge 4.8. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin HMF değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....41

Çizelge 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....42

Çizelge 4.10. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin askorbik asit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....43

Çizelge 4.11. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....44

Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....46

Çizelge 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam karotenoid miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....47

Çizelge 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin duyusal analizlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları 48

Çizelge 4.15. 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu.....52

Çizelge 4.16. 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu.....52

Çizelge 4.17. 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu.....53

Çizelge 4.18. Farklı şartlarda kurutulmuş pestillere ait Diffusion Approximation model katsayıları.....54

1. GİRİŞ

Ebenaceae familyasından Trabzon hurması (*Diospyros kaki* L.), klimakterik bir meyvedir (Yamada 2002). Bu meyve Türkiye'nin farklı bölgelerinde "cennet elması", "cennet meyvesi", "Japon elması", "amme" gibi farklı isimlerle de tanınmaktadır (Onur 1985; Tülek ve Demiray 2014).

Dünya'da Trabzon hurması üretimi gün geçtikçe artmakta olup 2022 yılı verilerine göre üretim miktarı, 4.332.167 ton olarak belirlenmiştir. Bu üretimin %78'ini Çin tek başına karşılamaktayken, onu Kore, Azerbaycan, Japonya ve Brezilya takip etmektedir (FAO 2023). Türkiye'de 97.560 ton Trabzon hurması üretilmekte olup bu üretim değeriyle ülkemiz yedinci sırada yer almaktadır.

Trabzon hurması, yüksek glikoz ve fruktoz içeriği ile ekstra şeker ilavesi olmayan fonksiyonel, enerji değeri yüksek gıda üretimi için elverişli bir meyvedir. Farklı şekillerde işlenmesi sonucunda reçel, marmelat, dondurma ve pasta üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca kuru Trabzon hurması müsli, kahvaltılık gevrek gibi tüketim alanları da mevcuttur (Çelen 2019).

Klimakterik olgunlaşma sırasında, meyvelerde solunum hızı artar ve etilen hormonunun üretimi yükselir. Bu süreçte, meyve yumuşar, renklenir ve aroma oluşumu tetiklenir. Trabzon hurması gibi klimakterik meyveler hasattan sonra da olgunlaşmaya devam ettiği için özel depolama ve taşıma şartları gerektirmektedir. Trabzon hurması diğer çoğu meyveye nazaran daha az etilen üretmekte olup daha düşük solunum hızına sahiptir, ancak olgunlaşma süreci normal bir şekilde devam eder (Kluge 2018). Trabzon hurması olgunlaşmadan önce yeşil renktedir. Olgunlaşma sırasında sararmaya başlar ve olgunlaşınca, yapısında yer alan karotenoid dolayısıyla turuncu ve kırmızı rengini almaktadır. Meyvedeki karotenoid miktarı; iklime, üretim yöntemlerine, muhafaza şartlarına, meyvenin olgunluk durumuna ve genetik faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Matheus vd. 2020).

Trabzon hurması çeşitlerinden tadı buruk olmayan Fuyu ve tadı buruk olan Hachiya Trabzon hurmalarının olgunlaşma sırasındaki karotenoid bileşik, fenolik bileşik ve L-askorbik asit miktarlarında meydana gelen değişimi HPCL ile analiz edilmiştir. Hachiya çeşidinde, fenolik bileşikler olgunlaşma sırasında büyük oranda azalma göstermiştir. Fuyu'da da ilk olarak 84.7 mg/kg gibi yüksek bir değer bulunurken, olgunlaşma sona erdiğinde fenolik bileşiklerin 39.6 mg/kg seviyesine düştüğü tespit edilmiştir (Karhan vd. 2003).

Tez çalışması kapsamında kullanılan Hachiya çeşidi Trabzon hurmasının meyve et rengi değişken olup tadı buruktur. Ülkemizde meyve kurusu şeklinde tüketimi en yaygın çeşit Hachiya'dır. Buruk olduğu için sertken tüketilmeyip yumuşayınca ve burukluğu azalınca tüketilmeye uygun hale gelmektedir (Tabekha vd. 2007). Hachiya çeşidine ait meyvelerin mineral madde muhtevası incelendiğinde; potasyum, fosfor, magnezyum, kalsiyum, demir, sodyum, bakır, çinko içeriği sırasıyla 203 mg / 100 g, 27 mg / 100 g, 11 mg / 100 g, 16 mg / 100 g, 0.27mg / 100 g, 10 mg / 100 g, 0.11 mg / 100 g ve 0.10 mg / 100 g olarak tespit edilmiştir (Çelik vd. 2008).

Trabzon hurması pestiline ait bir tebliğ ya da standart bulunmamakta olup Türk Standartları Enstitüsü Üzüm Pestili Standardı'nda (TS 12680) üzüm pestili tanımı (Anonim 2020) şöyledir:

"Taze olgun üzümlerin, üzüm suyu haline getirildikten sonra, nişasta, beyaz şeker katılması ve mevzuatına uygun diğer katkı maddelerinin ilâvesi ile tekniğine uygun olarak koyulaştırılması, sonra belli kalınlıkta yayılması ve gerektiğinde kuru meyve ilâvesi ile katlanması ve kurutulması sonucu üretilen ürün". Diğer pestil standartlarında benzer tanımlar yer almaktadır. Ancak Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'nde 01 Nisan 2024 tarihi itibariyle pestilde katkı maddesi kullanımının yasaklandığı bildirilmektedir.

Pestil, geleneksel bir ürün olup son yıllarda endüstriyel üretimi de artmış bulunmaktadır. Günümüzde pestil, elma, armut, hünnap, aronya, balkabağı, dut, kayısı, üzüm, erik, çilek, muz, kırmızı pancar, kocayemiş, mango ve şeftali gibi birçok farklı meyveden elde edilebilmektedir. Yüksek enerji içeriği ile sağlıklı atıştırmalık olarak tercih edilmektedir.

Pestilin üretilme amacında, mevsimi dışında da bazı meyve sebzeleri besin içeriği korunarak tüketmek yatmaktadır. Günümüzde her türlü gıda tüm yıl boyu temin edilebilmektedir ancak bilinçli ve sağlık konusunda hassas olan tüketicilerce her gıdayı zamanında tüketmenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle zamanında temin edilen meyve sebze uygun muhafaza yöntemleri ile dönüştürülerek içeriği korunmaya çalışılmaktadır. Eski zamanlardan beri kullanılmakta olan kurutma yöntemi bu muhafaza yöntemlerindendir. Ürünün su içeriği uçurularak belli bir seviyenin altına indirilmekte ve böylece üründe maya, bakteri, küf üreme potansiyeli minimuma düşürülmektedir. Böylece ürünün raf ömrü artmaktadır. Güneşte kurutma yöntemi geleneksel olarak kullanılan bir yöntemdir ancak bu metotta dış faktörlerin olumsuz etkisi kontrol edilemediğinden endüstriyel üretimde sıcak hava kurutma, mikrodalga kurutma dondurarak kurutma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerde hem ürünün besinsel ve fonksiyonel içerikleri olumsuz etkilenmekte hem de bu kurutma işlemleri uzun zaman almakta ve enerji girdileri yüksek olmaktadır. Bu tez çalışmasıyla mevcut pestil üretiminde yaşanan bu olumsuzluklara çözüm getirmek için yenilikçi bir kurutma teknolojisi olan kırınım pencereli kurutma tekniği karşılaştırmalı olarak denemiştir.

Bu amaçla pestil üretimi için Trabzon hurması püresi gölgede, sıcak havada ve kırınım pencereli kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Kırınım pencereli kurutma sisteminin, geleneksel yöntem olan gölgede kurutma ve endüstriyel yöntem olan sıcak havada kurutma yöntemleri ile aralarındaki farklılıklar, pestillere uygulanan ürüne özgü bazı fizikokimyasal analizlerle belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Trabzon Hurması

Çin kökenli olan Trabzon hurması (*Diospyros kaki* L.*),* subtropikal ve ılıman iklimlere uyum sağlama yeteneği nedeniyle artık çoğu ülkede yetiştirilmektedir (Sampaio vd. 2017). Nitekim bu meyve Çin'den sonra Kore, Japonya, Brezilya ve İtalya'da yaygın olarak yetiştirilmektedir (Çelen 2019). Türkiye' ye ise hangi tarihte getirildiği bilinmemekle birlikte, ilk olarak Trabzon ilinde yetiştirildiği ve oradan diğer illere yayılarak Trabzon hurması adıyla anılmaya başlandığı rapor edilmiştir. Son yıllarda daha çok Akdeniz Bölgesi'nde yetiştirilmekte olup Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde, çok dağınık ve parçalı olarak yapılmaktadır; genelde bir bahçe düzeni söz konusu değildir (Onur 1990; Tuzcu ve Yıldırım 2000; Kaya 2016).

Trabzon hurması, çok sayıda makro ve mikro besin kaynağı olup insan sağlığı açısından yüksek biyoaktiviteye sahiptir. Karbonhidratlar, organik asitler, fenolik bileşikler, karotenoidler ve tanenler meyvede bulunan ana besin bileşenleridir. Aynı zamanda askorbik asit ve A vitamini gibi vitaminlerin de kaynağıdır (Matheus 2022). L-askorbik asit, meyve sebzeler başta olmak üzere birçok besinde doğal olarak bulunan güçlü bir antioksidan maddedir. Sebze ve meyvelerde toplam C vitamini, dehidroaskorbik asit ve L-askorbik asitten oluşmaktadır (Kaynaş ve Kuzucu 2004). Buruk olmayan çeşitlerin C vitamini miktarı, buruk olan çeşitlerin miktarına göre daha fazladır. Trabzon hurması meyvesinde hem L-askorbik asit hem de dehidroaskorbik asit bulunmaktadır (Marchand vd 2000).

Buruk olan Hachiya çeşidinin meyveleri olgunlaşınca tüketilebilmektedir. Fuyu çeşidinin meyveleri ise olgunlaşmadan da tüketilebilmektedir. Trabzon hurmasının bazı çeşitlerindeki yoğun burukluk, aynı zamanda bu meyvelerin enzimatik olarak esmerleşmesinden de sorumlu olan yüksek çözünür tanen içeriğinden kaynaklanmaktadır (Chung vd. 2017). Baltacıoğlu ve Artık (2013) çalışmalarında Hachiya ve Fuyu çeşidinden Trabzon hurmalarının Briks değerlerinin 16.2-18.2, pH değerlerinin 5.31-5.50, titre edilebilir asitlik değerlerinin 0.28-5.31 g/kg, kül değerlerinin %0.34-0.37, lif değerlerinin %0.58-0.66, nem oranı değerlerinin %81.1-81.11 ve protein değerlerinin %0.56-0.58 aralıklarında değiştiğini bildirmişlerdir.

Trabzon hurmasının birçok çeşidi, taze olarak soğuk depoda -1 °C ve +1 °C'de %80-90 nem oranında sadece 2 ile 4 ay süre muhafaza edilebilmektedir (Yıldız Akbulut 2021). Trabzon hurması, yüksek nem içeriği (~%80) ve pH değeri (~6.01) nedeniyle hızla bozulmaya maruz kalabilmektedir. Bu meyve Ekim ayının sonundan Aralık ayının sonuna kadar hasat edilip pazarlanmaktadır. Pazarlama sürecini uzatmak ve meyvenin yılın diğer aylarında tüketilebilmesi için uygun şekilde işlenerek raf ömrü uzatılabilmekte, yetiştiriciliği yapılmayan yerlerde de yıl boyunca tüketimine olanak sağlanmaktadır (Tabekha vd. 2007).

Trabzon hurmasının bağışıklığı güçlendirdiği, kolesterolü azalttığı belirtilmiştir (Bölek vd. 2014). Doğal antioksidanların hasta olma riskini düşürdüğü yapılan çalışmalarla ispatlanmış olup askorbik asit ve fenolik maddeler gibi doğal antioksidan

içeren meyve ve sebzelerin düzenli tüketilmesinin kardiovasküler hastalıklarla mücadele etmede oldukça önemli olduğu bildirilmiştir. İçeriği sayesinde diyabet, tansiyon, diüretik, öksürük ve diş çürükleri de dahil olmak üzere bakteriyel ve viral bulaşıcı hastalıklara karşı faydalı olduğu bildirilmiştir. Trabzon hurması meyvesinin bilinen faydalarının bir kısmı karotenoid ve polifenol gibi çeşitli biyoaktif bileşiklerin mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır (Khatoon vd. 2021). Trabzon hurması meyvesi ve bu meyveden türetilen ürünlerin in vivo çalışmalarında, lipit metabolizması ve glikoz seviyelerinin düzenlenmesine katkıda bulunduğu, kanserojen ve antienflamatuar etkileri olumlu etkilediği ispatlanmıştır (Gonzalez vd. 2021).

Trabzon hurması C vitamini açısından zengin olduğundan ve C vitaminin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri bulunduğundan, bu meyvenin bazı bulaşıcı hastalıklara neden olan mikroorganizmaların aktivitesini durdurma yeteneğine sahip olduğu da bildirilmiştir (Doseděl vd. 2021). Meyvede bulunan yüksek potasyum içeriği, kardiyovasküler sistemin düzenlenmesi, kalp kaslarının güçlendirilmesi ve kan basıncının normalleştirilmesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Singh ve Prasad 2023). Bu meyve, ateroskleroz ve anemi tedavisinde de kullanılmaktadır (Kyazimova vd 2018). Sonuç olarak biyoaktif bileşenler bakımından zengin olması ve sağlık üzerine olumlu etkilerinin olduğunun bildirilmesinden dolayı, Trabzon hurması meyvesinin farklı muhafaza teknikleri ile ve muhafaza edilerek veya işlenerek uzun süre tüketilebilir hale getirilmesi önem arz etmektedir.

2.2. Pestil

Pestil, çeşitli meyvelerden üretilebilen geleneksel bir kuru meyve atıştırmalığıdır. Moyis (1981)'e göre pestil, ıslak meyve püresinin düz bir zemin üzerine serilip nemi uzaklaştırılarak kohesif derimsi bir yapı oluşana kadar kurutulması ile edilen bir gıda ürünü olarak tanımlanmıştır. Meyvenin raf ömrü çok kısadır ve depolama sırasında bozulma nedeniyle önemli kayıplar meydana gelebilmektedir. Meyvelerin raf ömrünü arttırmak ve besin değerini kaybetmeden mevsimi dışında da tüketimlerini sağlamak için pestil üretimi gerçekleştirilmektedir (Cagandi ve Otles 2005). Tüketicilerin sağlıklı, doğal ve fonksiyonel özelliklere sahip gıdalara olan eğilimlerinde gerçekleşen artış sonucu, çeşitli meyvelerden üretilen pestil, taze meyvelere popüler bir alternatif haline gelmiş olup pestile olan uluslararası pazardaki talep her geçen gün artmaktadır (Chowdhury vd 2010).

Pestil, yenilmesi kolay ve ambalajlamaya uygun bir meyve çerezidir. Bu nedenle hemen her yerde tüketilebilmektedir. Hafif oldukları için kolayca depolanabilir ve soğukta depolama gerektirmezler (Ruiz vd. 2012; Kara ve Küçüköner 2019).

Pestillerin enerji, karbonhidrat ve mineral madde açısından zengin ürünler oldukları Ekşi ve Artık (1984) tarafından yapılan bir çalışmada, dut, üzüm ve kayısı pestillerinin bazı kimyasal özellikleri incelenmek suretiyle kanıtlanmıştır. Pestil örneklerinde protein değerleri %1.9‑4.1 arasında, yağ değerleri %0.1-2.6 arasında, karbonhidrat değerleri %79‑87.6 arasında ölçülürken; bazı mineral madde

konsantrasyonlarından kalsiyum 2318-3828 mg/kg, demir 11-46 mg/kg, magnezyum 47-72 mg/kg olarak tespit edilmiş olup fosfor, sodyum, bakır gibi mineralleri de içerdikleri tespit edilmiştir.

2.3. Kurutma

Gıda ürünlerini korumak için en yaygın kullanılan yöntem kurutmadır. Meyve ve sebzelerin içeriğinde %60-90 oranında bulunan yüksek su miktarı bozulmaya neden olmaktadır (Flores ve Davies 2016). Eski çağlardan beri var olan kurutma yöntemi, günümüzde çağdaş gıda işletmelerinde de kullanılmakta; gıdalar, güvenli bir nem seviyesine kadar kurutularak su aktiviteleri azaltılmakta; böylece mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal bakımdan daha dayanıklı hale getirilmiş olmaktadır. Bu, ürünün raf ömrünü arttırmaya yardımcı olmaktadır. Kurutma ayrıca, paketleme, depolama ve nakliye masraflarından tasarruf sağlayan daha az hacim avantajı da sağlar (Kalse vd. 2025).

Kurutma teknolojileri dört nesilde geliştirilmiştir: birinci nesil tepsi ve yatak tipi kurutuculardan oluşmaktadır; ikinci nesil sprey ve tambur tipi kurutuculardan oluşur; üçüncü nesil dondurarak ve ozmotik dehidrasyonu içerir; dördüncü nesil ise mikrodalga, kızılötesi, radyo frekansı, ısı pompası, akışkan yatak ve kırınım pencereli kurutma gibi teknolojilerden oluşmaktadır (Raghavi vd. 2018).

Gıdada kurutma sırasında enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme, vitamin degradasyonu gibi birtakım kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Bu reaksiyonlardan bazıları aroma gelişimi gibi olumlu sonuçlar doğururken, bazıları vitamin kaybı, renk değişimi, kötü tat oluşumu gibi istenmeyen sorunlara yol açabilmektedir (Bonazzi ve Dumoulin 2011). Gıdalardaki bu değişiklikler, kuruma süresi, sıcaklık ve ürünün su aktivitesi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Alaei vd. 2018). Yenilikçi kurutma yöntemlerinin amacı, kurutma sırasında ortaya çıkan bu olumsuzlukları gidermek veya en düşük seviyeye indirerek daha kaliteli ürün eldesi sağlamaktır. Doğal kurutma yöntemleri sırasında, kurutma hızı ve kurutulmuş ürünün kalitesi üzerinde kontrol edilebilirlik daha zayıfken; mekanik kurutucular daha yüksek kurutma hızına sahiptirler ve bu kurutucularla üretilen ürünlerin kalite standartları kontrol edilebilmektedir (Babu vd. 2018).

2.3.1. Gölgede sergen kurutma

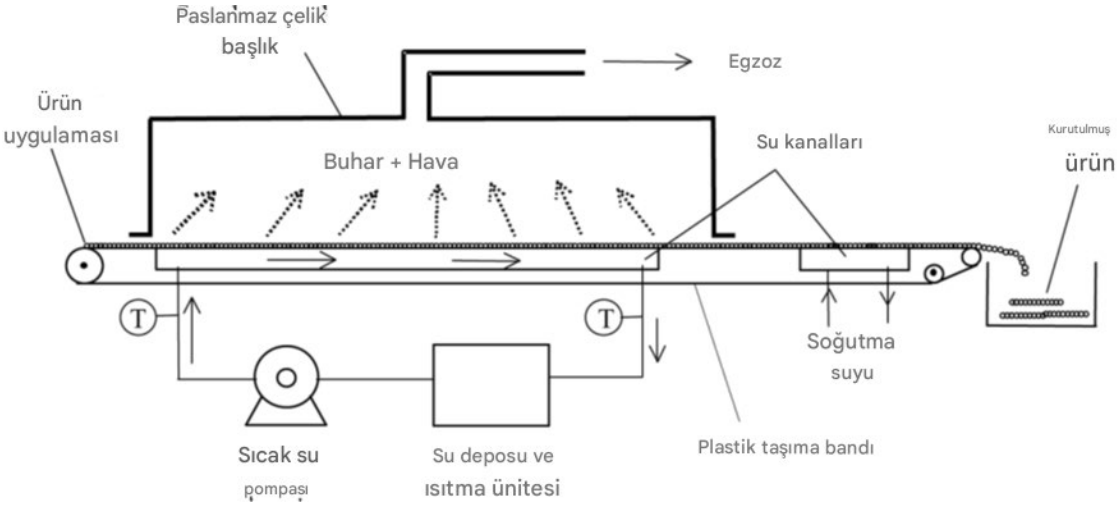
Gölgede kurutma yöntemi, geleneksel pestil üretiminde yaygın kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde herhangi bir enerji ihtiyacı bulunmamaktadır. Kurutmanın uzun sürmesi ve materyalde küflenmeye sebep olabilmesi bu yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır (Motevali vd. 2016; Alibas vd. 2020). Sıcaklık düşük ve ortamdaki nem fazlaysa pestil yavaş kurumakta ve yavaş kururken de hammaddenin içeriğinde bulunan su mikroorganizmaların gelişmesine sebep olmaktadır (Kara ve Küçüköner 2019). İklim şartlarının geleneksel kurutma için elverişli olmadığı nemli ve yağışlı bölgelerde üretimi kolay, enerji maliyeti düşük, kuruma süresi kısa ve aynı zamanda gıda özelliklerini koruyacak yenilikçi kurutma yöntemlerinin kullanımını zorunlu hale gelmektedir (Akgün ve Kara 2023).

2.3.2. Sıcak hava kurutma

Yöntemde, kurutma aşamasında kurutulan gıda ürününün su içeriğinin buharlaştırılması için ısınan havadan yararlanılmaktadır ve buharlaşan su ise yine hava ile uzaklaştırılır (Karaaslan 2012). Fan yardımıyla kurutucu içerisine verilen hava, önce kurutma materyalinin dış yüzeyini ısıtır. Daha sonra bu hava, konveksiyon yoluyla alt katmanlara doğru iletilerek materyalin tamamının ısınmasını sağlamaktadır. Böylece materyalin ilk önce dış kısmı kurumaya başlar ve daha sonra kuruma alt katmanlara doğru ilerlemektedir (Cemeroğlu ve Özkan 2004). Kurutma sıcaklığı arttıkça materyalin kuruma süresi kısalır ancak bu durumun ürünün yapısında bozulmalara ve üründe kalite kayıplarına sebep olduğu bilinmektedir (Sharma ve Prasad 2001). Sıcak hava kurutma sisteminin kullanımının basit olması, ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması gibi pozitif yönleri olmasına rağmen; uzun süreli ve homojen olmayan kurutma, yüksek enerji tüketimi gibi bazı negatif yönleri de bulunmaktadır. Yaygın kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, ürünün çok uzun süre yüksek sıcaklığa ve uzun kurutma sürelerine maruz kalması sonucunda üründe istenmeyen fiziksel, kimyasal ve duyusal değişimler oluşturmaktadır (Karaaslan 2012).

2.3.3. Kırınım pencereli (refractance window-RW) kurutma

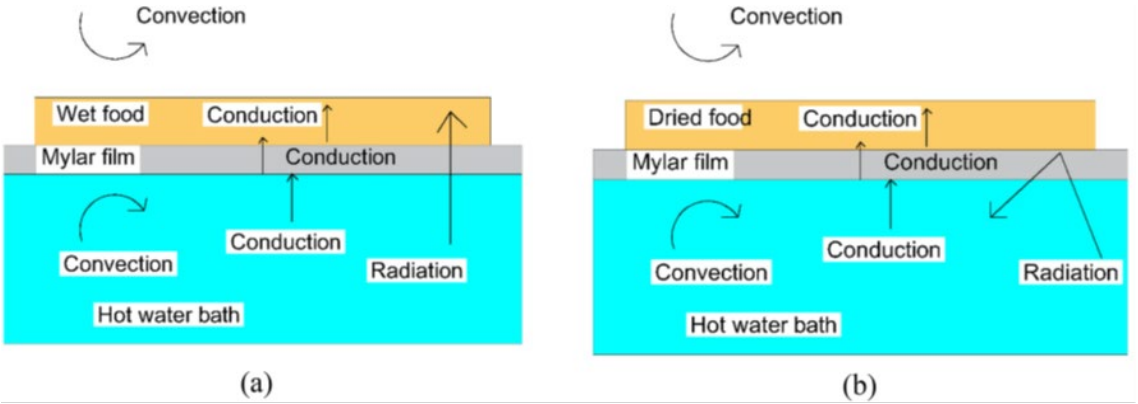
Kırınım pencereli kurutma yöntemini, 1986 yılında, MCD Technologies, Inc. (Tacoma, WA) geliştirmiş; Richard Magoon ısıya duyarlı gıdaları verimli bir şekilde kurutmak için 1989 yılında patentini almıştır. Verimliliği ve enerji tasarrufunu birleştiren, ürün kalitesini koruyan yenilikçi bir kurutma tekniği olan kırınım pencereli (Refractance Window) kurutma, tepsi, vakum ve tambur kurutma gibi geleneksel kurutma tekniklerine rekabetçi bir alternatif sunmaktadır. Kırınım pencereli kurutma, ürünün kurutma hızını artıran, besin değerinin düşmesini engelleyen ve enerji tüketimini azaltan bir yöntemdir. Bu yöntemde ısı ürüne iletim, taşınım ve radyasyon mekanizmaları üzerinden hızlı bir şekilde aktarılmaktadır (Kalse vd. 2025). Kırınım pencereli kurutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminin Şematik Gösterimi (Nindo ve Tang 2007)

Atmosferik basınç altında çalışır; bu düşük çalışma basıncı, gıda ürünlerinde oksidasyonu ve serbest radikal oluşumunu sınırlar ve raf ömrünü uzatır (Raghavi vd. 2018). Kırınım pencereli kurutma yönteminde, 70 ◦C'nin altındaki sirkülasyon suyu sıcaklığının daha uzun kuruma süresine ve daha düşük ürün kalitesine yol açabileceği, daha yüksek sıcaklığın (>95◦C) ise ısıtma ortamında türbülans ve hava kabarcıkları oluşturarak polyester filmden ısı transferini engelleyebileceği ileri sürülmektedir (Clarke 2004).

Kırınım pencereli kurutucuda, ısı transferinin üç modunun olması bu yöntemi diğer kurutma yöntemlerinden farklı kılmaktadır. Sıcak suyun termal enerjisi, taşınım ve iletim moduyla Mylar filme aktarılır; filmden ürüne ise iletim moduyla aktarılır. Ancak, sıcak suyun termal enerjisinin bir kısmı radyasyon modunda doğrudan ürüne aktarılır. Filmden geçen radyasyon enerjisinin iletimi, su film gıda üçlü sisteminin kırılma indisine bağlıdır. Film üzerinde ürün olmadığı zaman, hava ve su arasındaki kırılma indisi uyumsuzluğu çok yüksek olduğu için, radyasyon enerjisinin çoğu film ve su ara yüzünden suya yansır. Yüksek nem içeriği nedeniyle düşük kırılma indisine sahip olan ıslak gıda ürünleri, Mylar filmin üzerine yerleştirildiğinde, su film gıda sisteminin kırılma indisleri birbirine yaklaşır ve film gıda temas yüzeyinde termal radyasyon için bir pencere açar. Bu, filmden ürüne daha fazla termal radyasyon iletimine neden olur. Ürün kurudukça kırılma indisi artar ve bir uyumsuzluk oluşur. Bu nedenle, termal radyasyonun çoğu suya geri yansıtılır ve böylece termal radyasyon penceresi kademeli olarak kapanır. Bu kendi kendini düzenleyen mekanizma, ürünün kurutma işleminin son aşamasında nazikçe kurutulmasını sağlar. Bu, ürünün bozulmasını önler ve gerçek ürün sıcaklığının 70 °C'nin altında kalması nedeniyle ürünün kalitesini korur (Mahanti vd. 2021). Bu kurutma yönteminin ısı transfer mekanizması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. (a) Kurutma işleminin başlangıcında iletim, konveksiyon ve radyasyon; **(b)** kurutma işleminin sonunda iletim ve konveksiyon, sıcak sudan Mylar film aracılığıyla kuruyan ürüne ve ürün yüzeyi üzerinden konveksiyon ısı transferi (Clarke 2004)

Kırınım pencereli kurutma ekipmanının maliyeti, benzer miktarda ürünü kurutmak için kullanılan bir dondurarak kurutma makinesinin yaklaşık üçte biri ile yarısı kadardır; kırınım pencereli kurutucuların işletme enerji maliyetleri ise dondurarak kurutma makinelerinin yarısından azdır (Nindo ve Tang 2007).

Genel olarak, kırınım pencereli kurutma yöntemi, renk, antioksidan, vitamin gibi ısıya duyarlı kalite parametreleri, kurutma süresi ve termal verimlilik açısından geleneksel kurutma teknolojilerinden daha iyi performans göstermektedir (Kumar vd 2024).

Tontul ve Topuz (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, nar pestili üretimi için yeni yöntemler geliştirmek amacıyla çeşitli formülasyonların (geleneksel ve hidrokolloid) ve kurutma tekniklerinin 50, 60, 70 C'de sıcak hava kurutma, 50, 60, 70 C'de mikrodalga destekli sıcak hava kurutma (90 veya 180 W) ve 90, 95, 98 C'de kırınım pencereli kurutma etkileri incelenmiştir. Hidrokolloid ilavesi, pestillerin geleneksel formülasyona kıyasla daha üstün fizikokimyasal özelliklere sahip olmasını sağlamıştır. Mikrodalga destekli kurutma daha yüksek fenolik içerik sağlarken, kırınım pencereli kurutma daha yüksek askorbik asit ve antosiyanin içeriği ve daha düşük 5-hidroksimetilfurfural içeriği sağlamıştır. Pestillerdeki uçucu bileşikler, mikrodalga destekli kurutmanın enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını desteklediğini göstermiştir. Sonuç olarak hidrokolloid formülasyonu ve kırınım pencereli kurutma tekniğinin, yüksek biyoaktif bileşik içeriğine sahip yüksek kaliteli pestil üretimi için başarılı ve avantajlı üretim yöntemleri oldukları tespit edilmiştir.

Tontul ve Topuz (2018) tarafından yapılan çalışmada, kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen nar pestillerinin, üç farklı depolama sıcaklığında depolama sırasında kimyasal özellikleri incelenmiştir. Nar pestillerinin biyoaktif bileşikleri, özellikle yüksek depolama sıcaklıklarında depolama sırasında kademeli olarak azalmıştır. HMF içeriği ve uçucu enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyon ürünleri, özellikle 35°C'de depolama sırasında artmıştır. Ayrıca, 35°C'de kısa süreli depolama, 22°C'de uzun süreli depolamaya benzer bir uçucu bileşime neden olmuştur. Sonuç olarak, biyoaktif bileşiklerin stabilitesini artırmak için pestilin düşük sıcaklıklarda depolanması gerektiği kanısına varılmıştır.

Puente vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, altınçilek püresi, kırınım pencereli kurutma uygulamasında yaygın kullanılan sıcaklıktan daha düşük olan 70 °C'lik bir sıcaklıkta statik modda gerçekleştirilmiş ve bu da dengeye ulaşmak için 180 dakikalık daha uzun bir kurutma süresine yol açmıştır. Pestilin kalite özellikleri, dondurarak kurutma, konvektif kurutma ve kızılötesi radyasyonla kurutma ürünleriyle karşılaştırılmıştır. Kırınım pencereli kurutma yönteminin, uzun bir kurutma süresi altında bile, birçok yönden dondurarak kurutulmuş ürünlerle karşılaştırılabilir, yüksek kaliteli bir ürün ürettiği; ürünlerin toplam fenolik içeriklerinin önemli ölçüde farklı olmadığı, toplam flavonoid ve toplam karotenoid içeriklerinin ise yalnızca biraz daha düşük olduğu bulunmuştur. Kırınım pencereli kurutma örneklerinin, dondurarak kurutulmuş ürüne göre taze örneğe daha yakın bir rengi koruduğu tespit edilmiştir.

Rajoriya vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, sıcaklığın (70, 80 ve 90 ◦C) ve püre kalınlığının (2 ve 3 mm), kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulmuş muz pestilinin kuruma karakteristikleri, kütle transferi ve kalite nitelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar 90 ◦C'de kurutmanın, 70 ◦C'de kurutmaya kıyasla her iki kalınlıkta da kuruma süresini (~%61-64) ve enerji tüketimini (~%30-44) azalttığını göstermiştir. 90 ◦C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi, incelenen diğer kurutma koşullarına kıyasla en düşük toplam renk değişimi (3.4-6.9) ve daha yüksek askorbik asit tutulumu (~%76-78) ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, toplam fenolik (10.3 mg GAE/g km) ve

flavonoid içeriğinin (3.4 mg QE/g km) tutulumu ve antioksidan kapasitesinin de (58.8 mM TE/g km), 90 ◦C'de kurutulan örneklerde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, kırınım pencereli kurutma sırasında daha yüksek bir sıcaklıkta kurutmanın kuruma süresini kısalttığı ve kalite özelliklerinin korunmasını da iyileştirdiği ileri sürülmüştür.

Nansereko vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kırınım pencereli kurutma yöntemi sırasında kullanılan su sıcaklığı ve püre kalınlığının, jak meyvesi pestilinin besin içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kurutma sıcaklığını ve meyve püresi kalınlığını optimize etmek için yanıt yüzey metodolojisi kullanılmıştır. Optimum kurutma suyu sıcaklığı ve püre kalınlığı sırasıyla 93.4°C ve 2.56 mm olarak bulunmuştur.

Kour vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kompozisyon optimizasyonu için farklı sakaroz ve pektin oranlarına sahip dokuz kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulmuş jak meyvesi pestili örneğinin duyusal analizi yapılmıştır. Renk, Aroma, Tat, Ağızda Kalan Tat, Sertlik ve Genel Kabul Görebilirlik (OAA) niteliklerini kullanarak duyusal analiz için 9 noktalı hedonik ve bulanık yaklaşım olmak üzere iki duyusal yaklaşım kullanılmıştır. En çok kabul gören pestillerin, hedonik skala için %10 sakaroz + %0.5 pektin ve bulanık yaklaşım için ise %10 sakaroz + %0 pektin içeren pestiller olduğu tespit edilmiştir. Jak meyvesi pestilinin tercih edilirliği sakaroz ilavesiyle artmış; pektin ilavesi sonuçlarda genel artış ya da genel azalış eğilimine sebebiyet vermemiştir. İki yaklaşımın sonuçları arasındaki fark, bulanık yaklaşımda dikkate alınan kalite özelliklerinin karşılaştırmalı öneminden kaynaklanmaktadır.

Kasse ve Asrat (2025) yaptıkları bir çalışmada, dondurarak kurutma ve kırınım pencereli kurutmanın mango pestilinin kalite özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kurutma yönteminin tüm kalite parametrelerini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Dondurarak kurutma yöntemiyle üretilen mango pestili, daha yüksek nem, protein, yağ, lif, toplam kül, pH, toplam çözünür katı madde, su aktivitesi, karotenoidler, fenolikler, flavonoidler ve C vitamini seviyelerini korumuştur. Buna karşılık, kırınım pencereli kurutma örnekleri daha yüksek karbonhidrat içeriği, titre edilebilir asitlik, kırmızılık (a* değeri), sertlik ve yapışkanlık sergilemiştir. Kırınım pencereli kurutma yöntemi, daha kısa kurutma süresi, besin içeriğini koruma ve istenen renk, dokusal özellikler açısından daha avantajlı bulunmuştur. Elde edilen bulgulara dayanarak, kırınım pencereli kurutma yöntemi, yüksek kaliteli mango pestili üretimi için dondurarak kurutma yöntemine umut vadeden, verimli ve pratik bir alternatif olarak değerlendirilmiştir.

Gebeyehu vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada, kırınım pencereli kurutma yöntemi ile farklı kurutma sıcaklıkları (75, 85 ve 95°C) ve serme kalınlıklarında (1, 3 ve 5 mm) mango pestili üretilmiştir ve ince tabaka kurutma modelleri ve Fick difüzyon yasası kullanılarak kırınım pencereli kurutucunun genel enerji verimliliği, mango püresinin kurutma kinetiği incelenmiştir. Sonuçlar, tüm işlemler için kurutmanın azalan hız periyodunda gerçekleştiğini ve Page modelinin kurutma kinetiğine en uygun model olduğunu göstermiştir. Mango püresinin etkili nem difüzyon katsayısının (D_{eff}), kalınlık ve kurutma sıcaklığıyla arttığı tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığı ve mango püresi serme kalınlığı arttıkça, enerji tüketimi artmış ve enerji verimliliği azalmıştır.

2.4. Trabzon Hurması Pestili ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Gökçe (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tünel kurutucuda 0.6, 1.0, 1.4 m/s hava hızlarında, 1, 2 ve 3 mm olmak üzere üç farklı serme kalınlığında ve 45, 50, 55 °C sıcaklıklarda Trabzon hurması pestili üretilmiştir. Bu pestillerin toplam renk değişimi, nem içeriği, toplam asitlik, askorbik asit değeri, toplam şeker gibi bazı kalite parametreleri araştırılmıştır. Ayrıca, kırılganlık, esneklik, elastikiyet, yapışkanlık ve sertlik gibi tekstür özellikleri incelenmiştir. En uygun sıcaklığın 53 °C, hava hızının 1.14 m/s, serme kalınlığının ise 2 mm olduğu; kuruma süresinin, hava hızı ve sıcaklığın artmasıyla azaldığı, serme kalınlığının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

Mohamed vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Trabzon hurması pestilinin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal özellikleri incelenmiştir. Trabzon hurması pestili, sıcak buharla işlemden geçirilmiş olan Trabzon hurması püresi, mango püresi, glikoz şurubu, şeker, pektin, sitrik asit ve nişasta karışımının kurutulmasıyla hazırlanmış ve mikrodalgada 55°C'de 30 dakika boyunca kurutulmuştur. Pestil, nişasta hariç aynı bileşenler kullanılarak tekrar hazırlanmıştır. Sonuç olarak, nişasta içeren pestilin doku özelliklerinin, nişasta içermeyen pestilden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Nişasta içeren veya içermeyen Trabzon hurması pestillerinde nem, kül ve asitlik birbirine yakın bulunmuştur. Nişasta içeren Trabzon hurması pestilinin askorbik asit değeri, antioksidan aktivite ve karotenoid içeriği ve esmerleşme indeksi, nişasta içermeyen pestilden yüksek bulunmuştur. Polifenoller, flavonoidler ve tanenler içeriği, nişasta içeren Trabzon hurması pestilinde daha düşük bulunmuştur. Nişasta içeren Trabzon hurması pestilinde L* değeri, nişasta içermeyen Trabzon hurması pestilinde ise a* ve b* değerleri daha yüksek bulunmuştur. Nişastalı Trabzon hurması pestilinde sadece ilk seyreltmede toplam bakteri sayısı 110 CFU/g olarak bulunup diğer seyreltmelerde tespit edilmezken; nişastasız Trabzon hurması pestilinde ise toplam bakteri sayısı tespit edilmemiştir.

Dursun ve Dalgıç (2018) tarafından yapılan çalışmada, Trabzon hurması pestili üretimi için hidrokolloid hazırlama ve kurutmayı içeren süreci karakterize etmek; nişasta miktarı (%3, %5 ve %7), ürün kalınlığı (1, 2 ve 3 mm) ve konvektif kurutma sıcaklığı (40, 50 ve 60°C) değişkenlerinin nem giderme, renk, doku profili ve duyusal özellikler üzerindeki etkilerini optimize etmek ve araştırmak için bir Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılmıştır. En uygun nişasta miktarının %4.73, kalınlığın 1.11 mm ve sıcaklığın 50.26°C olduğu tespit edilmiştir. Nişasta miktarının ve diğer faktörlerle etkileşiminin, pestil üretimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Kaymul (2021), yaptığı çalışmada Trabzon hurması ve farklı meyvelerden güneşte kurutma tekniği ile pestil kurutma işlemi gerçekleştirmiş olup son üründe yapılan analizlerde nem oranı, su aktivitesi, titrasyon asitliği, suda çözünür kuru madde, renk analizi değerleri elde etmiş ve farklı meyvelerden üretilen bu pestillerin besin değerlerini karşılaştırmıştır. Üretilen pestillerin endüstriyel olarak üretime uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Castillo vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hasatta atılan Trabzon hurmalarından kurutulmuş dilimler, cips, pestil, toz üretilmiş ve 100 katılımcıyla bir

tüketici çalışması gerçekleştirilmiştir. Tadım sonrasında Trabzon hurması cipsi, dilimi ve tozu katılımcılarca beğenilmiş, ancak pestiller daha az beğenilmiştir. Tüketiciler, dilimlerin en yoğun Trabzon hurması tadına ve sulu bir dokuya sahip olduğunu, tozun ise karamel tadı verdiğini belirtmişlerdir. Cipslerin diğer örneklerden daha çıtır olduğunu, pestillerin ise yapışkan ve tatsız olduklarını öne sürmüşlerdir.

Alam vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Trabzon hurması pestili üretiminde başlangıçta kalorisiz stevia tatlandırıcının hidrokolloidlerle (mısır nişastası, pektin ve guar zamkı) uyumluluğu sıcak hava kurutma yöntemiyle araştırılmıştır. Bu yöntemde guar zamkı üstün esneklik göstermiştir. Pestil formülasyonu belirlendikten sonra, kurutma sürecini optimize etmek için Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak 210 W mikrodalga gücü, 30 dk. süre ve 3.5 mm serme kalınlığında en uygun koşulların saptandığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile elde edilen ürünün, sıcak hava ile kurutulan ürüne kıyasla enerji bakımından daha verimli olduğu; duyusal analiz sonucunda da mikrodalga ile kurutulan ürünün, sıcak hava fırını pestil ürünlerine göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak stevia bazlı Trabzon hurması pestili üretmek amacıyla mikrodalga kurutma teknolojisinin kullanılması önerilmektedir.

Dursun Saydam (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada nişasta konsantrasyonu, ürün kalınlığı ve kurutma sıcaklığının, on beş farklı şekilde işlenmiş Trabzon hurması pestilinin tepsili kurutucuda kurutma süresi, etkin nem difüzyonu ve kurutma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmak için bilgisayar destekli karşılaştırma kullanılmıştır. Pestillerin kurutma davranışlarının en iyi tanımlayıcı matematiksel modeli, Page, Midilli olarak bulunmuştur. Su difüzyon katsayısını hesaplamak için Fick'in ikinci yasa modeli kullanılmış ve difüzyon mekanizması, ileri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı ve yanıt yüzey metodolojileri ile modellenmiştir. Pestil kalınlığı ve kurutma sıcaklığının en etkili parametreler olduğu; Trabzon hurması pestili üretimi için kurutma işleminin, en az 120 dakika boyunca azalan bir hız periyodunda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Öyken (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Trabzon hurması meyve pulpundan, başka bir katkı kullanmadan, sade Trabzon hurması pestili üretilmiş ve bu pestil kontrol olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte meyve pulpuna %5 oranında keten tohumu, karnıyarık otu tohumu ve chia tohumu eklenerek zenginleştirilmiş pestiller üretilmiş olup tüm pestillerin fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri incelenmiş ve bu değerler kontrol pestilinin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tohum eklenerek besinsel içeriği zenginleştirilen Trabzon hurması pestillerinin, mevsimsel kısıtlamalar olmaksızın tüketilebilecek fonksiyonel ve sağlığa yönelik fayda sağlayan atıştırmalıklar olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan literatür araştırmalarına bakıldığı zaman, Trabzon hurması pestili üretimine yönelik sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirildiği görülmüş ancak kırınım pencereli kurutma yönteminin Trabzon hurması pestili üretimi ve Trabzon hurmasından elde edilen alternatif ürünlerin üretiminde kullanımını konu alan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında hammadde olarak Trabzon hurmasının (*Diospyros kaki* L.) Hachiya çeşidine ait olgun meyveler kullanılmıştır. Bu meyveler Antalya meyve sebze halinden Ekim ayı sonunda temin edilmiştir. Ayrıca pestil yapımında hammadde olarak yerel marketlerden temin edilen buğday nişastası kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan kimyasal ve referans maddeler ise medikal firmalarından temin edilmiş ve ayrıca çalışmakta olduğum kurum olan Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün laboratuvar olanaklarından faydalanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Pestil formülasyonunun belirlenmesi

Literatürde benzer çalışmalar dikkate alınarak bazı ön denemeler gerçekleştirilmiş ve nihai pestil formülasyonu için %95 oranında Trabzon hurması püresi ve %5 oranında nişasta kullanımı kararlaştırılmıştır. Gölgede sergen kurutma, farklı sıcaklıklarda sıcak hava kurutma (70, 80 ve 88 °C) ve kırınım pencereli kurutma (70, 80, 88 °C), 2.5 mm, 3 mm, 3.5 mm ve 4 mm serme kalınlıklarında tek tek bütün kombinasyonlarda denenmiştir. 2.5 mm ve 3 mm serme kalınlığında serilen pestilin, kırınım pencereli kurutma cihazında yer alan Mylar banttan; sıcak hava ve gölgede kurutma sırasında da serme yüzeyi olarak tercih edilen camdan pestil formunda alınmasında güçlük çekilmiş olup üründe deformasyonlar meydana gelmiştir. 4 mm serme kalınlığında ise tüm kurutma yöntemlerinde kuruma süresi uzamıştır. Bu nedenle ideal serme kalınlığı olarak 3.5 mm kararlaştırılmıştır. Ayrıca bu ön denemelerde 3.5 mm serme kalınlığında pestil kurutma sırasında, son ürün nemi ≤ %15 olana kadar geçen süreler belirlenmiş ve gerçek üretimler sırasında bu süreler uygulanmıştır. Trabzon hurması püresi (%95) ve buğday nişastası (%5) karışımının (herle), 60°C'de serilebilir en yüksek kuru madde içeriği 24-25 °Briks olarak tespit edilmiştir. Bu çözünür kuru madde üzerindeki karışımlarda herlenin kurutma yüzeyine serme aparatı ile serilmesinde zorluklar yaşanmıştır.

3.2.2. Trabzon hurması püresinin hazırlanması

Olgun Trabzon hurması meyveleri yıkanıp temizlendikten ve sapları, çekirdekleri ve kabukları ayrıldıktan sonra öğütücü (blender) ile 3-4 dk. boyunca parçalanıp homojenize edilmek suretiyle ince püre haline getirilmiştir. Bu püre enzim inaktivasyonu amacıyla ivedilikle 85-90°C sıcaklığa kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş; sıcak olarak kavanozlara doldurulup kapatılmış ve soğutulmuştur. Bu meyve püresi, kısa süre içerisinde pestil formülasyonunda kullanılmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de konserve Trabzon hurması püresi hazırlık aşamalarına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 3.1. Trabzon hurması püresi hazırlama aşamaları



Şekil 3.2. Konserve Trabzon hurması püresi hazırlanması

3.2.3. Herle hazırlanması

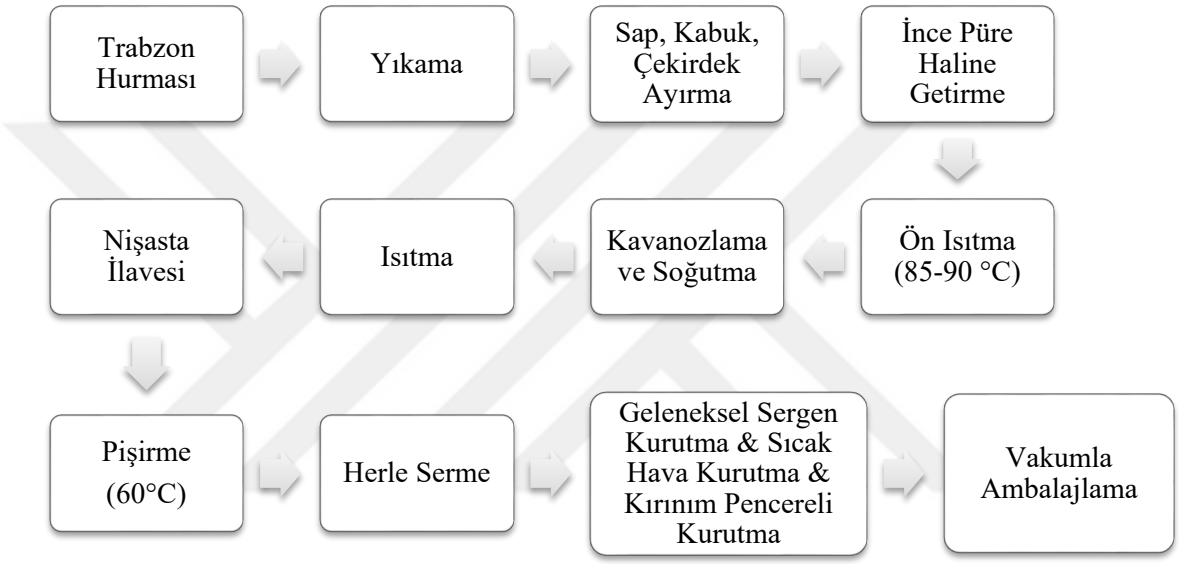
Meyve püresi, tekli elektrikli ocakta yaklaşık 60°C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra pürenin yaklaşık ¼,'ü ile buğday nişastası karıştırılmış ve daha sonra geride kalan ¾ oranındaki püreye eklenerek aynı sıcaklıkta pişirilmeye devam edilmiş ve nişastanın çirişlendirilmesi sağlanarak serilebilir kıvamda bir herle haline getirilmiştir. Karışım sıcaklığı dijital bir termometre ile takip edilmiş ve bu sıcaklığın elektrikli ocağın güç ayarı ile yaklaşık 60°C'de tutulmasına özen gösterilmiştir. Herle hazırlama sırasında gerçekleştirilen pişirme işlemine ait görsel Şekil 3. 3' de bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Herle hazırlama sırasında gerçekleştirilen pişirme işlemi

3.2.4. Kurutma

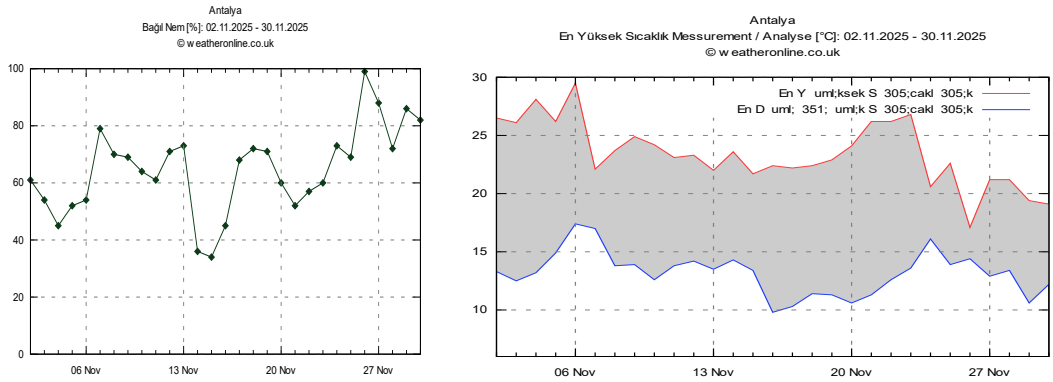
Tez çalışmasının hipotezini test etmek ve doğrulama amacıyla uygulanması planlanan yenilikçi kurutma yönteminin yanında geleneksel ve endüstriyel kurutma yöntemlerinin de karşılaştırmalı olarak uygulanması planlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan herleler geleneksel kurutmayı temsilen gölgede sergen kurutma, mevcut endüstriyel uygulamayı temsilen sıcak havada kurutma ve alternatif yenilikçi bir kurutma yöntemi olan kırınım pencereli kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Trabzon hurması pestili üretiminde kullanılan akış şeması Şekil 3.4'te yer almaktadır.



Şekil 3.4. Trabzon hurması pestili akış şeması

3.2.4.1. Gölgede sergen kurutma

Geleneksel kurutmayı temsil eden gölgede kurutma yöntemi, alternatif yenilikçi yöntemlerin avantajlarını tespit etmek amacıyla çalışılmıştır. Bu kurutma yönteminin uygulanması sırasında ortam koşulları etkili olduğu için, Antalya ili meteorolojik şartları (Şekil 3.5) göz önünde bulundurulduğunda nispeten nem oranının daha düşük olduğu 19-22 Kasım tarihleri arasında kurutma gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler sırasında doğal atmosfer koşullarında hava nem ve sıcaklığındaki dalgalanmalar kurutma hızını olumsuz etkilemiş hatta ürünlerde uzayan kurma sürecine paralele olarak küflenmeler başlamış olduğundan, bu koşullarında homojen kurutma sağlanabilmesi amacıyla odada klima çalıştırılarak hava nispi neminin mümkün olduğunca düşük ve homojen olması sağlanmış olup geleneksel kurutmayı temsil eden bu denemeler bu koşullarda tekrarlanarak kurutmalar hızlı ve küflenme olmadan gerçekleştirilmiştir.

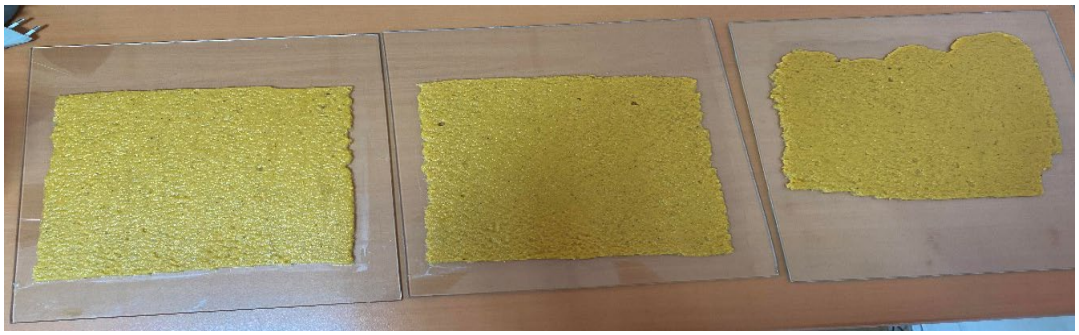


Şekil 3.5. Gölgede kurutmanın yapıldığı dönem Antalya ili meteorolojik verileri **a)** Bağıl nem; **b)** En yüksek ve en düşük sıcaklık (https://www.havaturkiye.com)

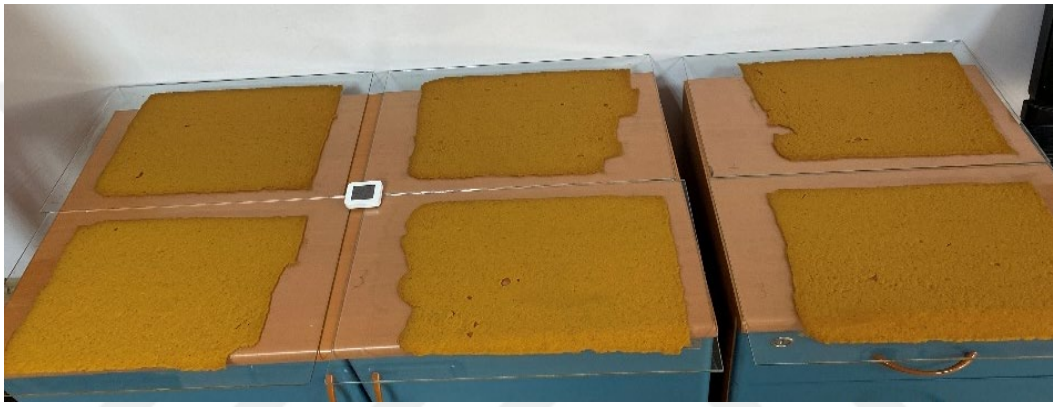
Daha önce konserve haline getirilmiş olan meyve püresi, buğday nişastası ile pişirilip herle haline getirildikten sonra düz zemin olması amacıyla pürüzsüz cam yüzeylere serme aparatıyla 3.5 mm serme kalınlığında serilmiştir. Serme aparatı görseli Şekil 3.6'da verilmiştir. İlk tekerrür esnasında kurutmanın yapıldığı klimalı ortamda nem oranı %40 dolaylarında seyrettiği için kurutma 24 saatte sona ermiş ancak ikinci ve üçüncü tekerrürler esnasında nem oranı bazı saatlerde %60 dolaylarına yükselmiş olduğundan bu kurutmalar 48 saatte tamamlanmıştır. Elde edilen ürünler, vakum cihazı ile vakum poşetlerinde (Polietilen) vakumlanmış olup analiz işlemlerine kadar buzdolabında +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Gölgede kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen kurutmaya ait görseller Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da ambalajlamada kullanılan cihaz ve ambalajlanan ürün görseli Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de yer almaktadır.



Şekil 3.6. Herle serme aparatı



Şekil 3.7. Gölgede sergen kurutma yöntemi için camlara serilen herle



Şekil 3.8. Gölgede kurutma sırasında alınan görüntüler



Şekil 3.9. Gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan Trabzon hurması pestili (son ürün)



Şekil 3.10. Trabzon hurması pestillerinin ambalajlanmasında kullanılan vakumlu paketleme cihazı



Şekil 3.11. Vakumlu ambalajlanmış Trabzon hurması pestili

3.2.4.2. Sıcak hava kurutma

Sıcak hava kurutma yöntemi ile Trabzon hurması pestili üretimi, 70, 80 ve 88°C sıcaklıklarda (hava sıcaklığı) ve 2m/s sabit hava hızında gerçekleştirilmiştir. Trabzon hurması püresi ve buğday nişastası ile elde edilmiş olan herle, 3.5 mm serme kalınlığında serme aparatı ile cam yüzeylerine serilmiş ve bu şekilde üç farklı sıcaklıkta üç tekerrürlü olarak üretim gerçekleştirilmiştir. Pestiller, 70°C sıcaklıkta 1.5 saatte, 80°C sıcaklıkta 1 saat 15 dakikada, 88°C sıcaklıkta ise 1 saat 10 dakikada hedef nem içeriğine kadar kurumuştur. Kuruyan bu pestiller, cam yüzeyden sıyırma aparatı sıyrılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu pestiller soğuduktan sonra 5×30 cm şeritler halinde kesilerek vakumlu ambalaj poşetlerinde (Polietilen) ambalajlanmıştır. Bu örnekler tez kapsamında planlanan analizler yapılıncaya kadar buzdolabında (4 ± 1°C) muhafaza edilmiştir. Sıcak hava kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen kurutma işleminin farklı aşamalarına ait görseller Şekil 3.12'de yer almaktadır.



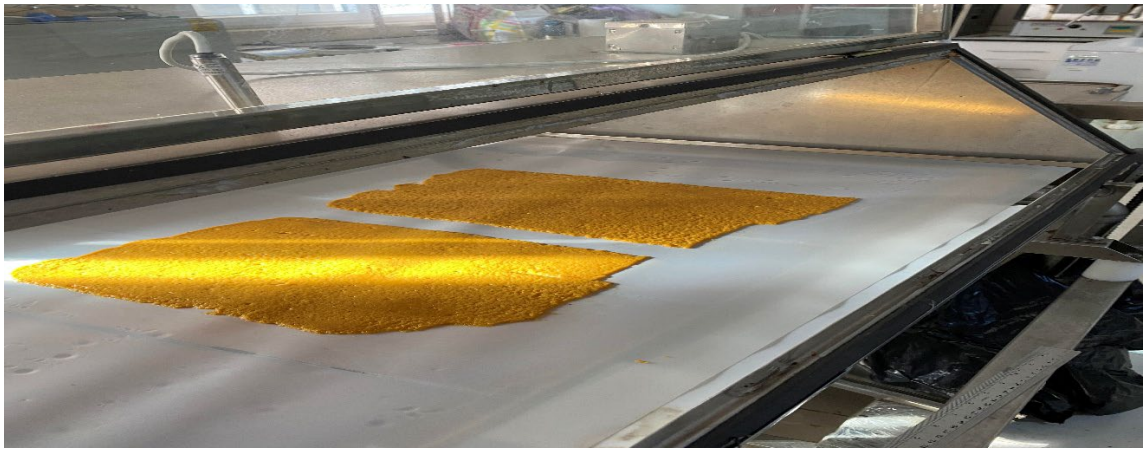
Şekil 3.12. Sıcak hava kurutma yöntemi ile pestil üretimi

3.2.4.3. Kırınım pencereli kurutma

Kırınım pencereli kurutma işlemi için 0.75 m² kurutma alanına sahip olan kurutma sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.13). Bu sistem, kurutma sırasında oluşan buharın uzaklaştırılması için ürün üzerine konumlandırılan bir aspiratör yardımıyla ürün yüzeyinden 1.2 m/s hızda hava çekecek şekilde çalıştırılmıştır. Hazırlanan herleler serme aparatı ile 3.5 mm serme kalınlığında Mylar film yüzeyine serilerek üç farklı sıcaklıkta (70, 80, 88 °C) üç tekerrürlü olarak kurutulmuştur. Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen kurutma işleminin görseli Şekil 3.14' de yer almaktadır. Pestillerin, kırınım pencereli kurutma cihazında hedef neme kadar kurumaları, 70°C sıcaklıkta 1 saat, 80°C sıcaklıkta 50 dakika, 88°C sıcaklıkta ise 40 dakika sürmüştür. Kurutulan pestiller, soğuduktan sonra 5×30 cm şeritler halinde vakum poşetlerine konularak vakumlanmış ve kalite testleri yapılıncaya kadar buzdolabında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.13. Kırınım pencereli kurutma cihazı



Şekil 3.14. Kırınım pencereli kurutma cihazında Trabzon hurması pestili üretimi

3.3. Analizler

3.3.1. Su aktivitesi

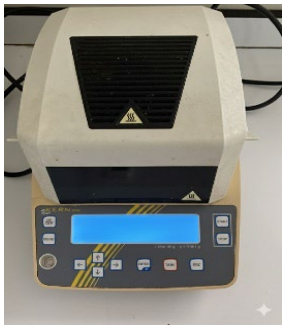
Örneklerin su aktivitesi değerleri, su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina Labswift-AW, İsviçre) kullanılarak 25ºC sıcaklıkta ölçülmüştür.



Şekil 3.15. Su aktivitesi ölçüm cihazı

3.3.2. Nem

Trabzon hurması pestillerinin nem içeriği 105 °C'de çalıştırılan bir nem tayin cihazı (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) ile sabit tartıma gelene kadar ölçülmüştür.



Şekil 3.16. Nem tayin cihazı

3.3.3. Suda çözünür kuru madde

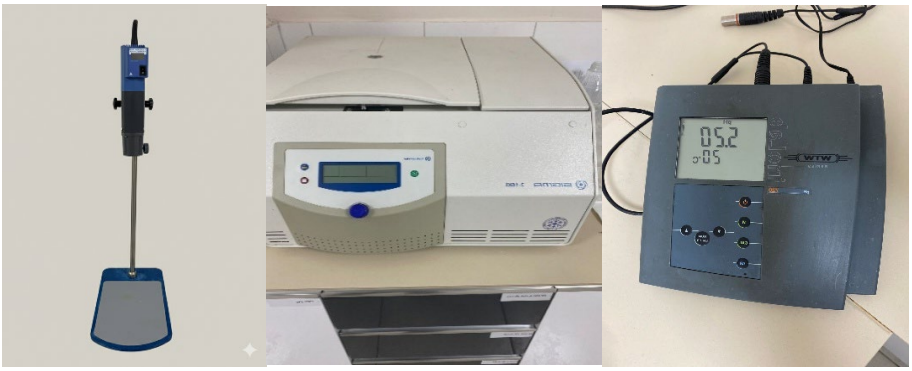
Isıl işlem uygulanan Trabzon hurması püresinin, serilen herlelerin ve taze meyve püresinin suda çözünür kuru madde miktarı, refraktometre (Atago, PAL-1 Pocket Serisi, Japonya) ile ölçülmüştür.



Şekil 3.17. Digital refraktometre cihazı

3.3.4. pH tayini

pH tayini Öyken (2025)'e göre bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Meyve püresi ve pestil örneklerinden falkon tüplere 5 g alınıp 25 mL saf su ilave edilmiş ve homojenizatörde (IKA T25 Digital Ultra-turrax, Almanya) 9000 rpm'de 20 s karıştırılmıştır. Bu işlem sonrası örnek içerikli tüpler santrifüj cihazında 6500 rpm'de 5 dk. (Sigma, 2-16KL, Osterode am Harz, Almanya) santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda üst faz cam behere alınmış ve pH metre (WTW Inolab pH 720, Weilheim, Almanya) probunun örnek içerisine direk daldırılmasıyla pH değerleri oda sıcaklığında ölçülmüştür. Şekil 3.18'de pH tayini sırasında kullanılan cihazların görseli yer almaktadır.



Şekil 3.18. Ultra-turrax, spektrofotometre ve pH metre

3.3.5. Renk analizi

Pestil örneklerinin renk analizi Konica-Minolta CR-400 (Osaka, Japonya) renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin L* (koyuluk/açıklık), a* (kırmızılık/ yeşillik), b* (sarılık/mavilik) parametreleri ölçülmüş, bu değerlerden ton açısı (Hue angle, Eşitlik 3.1) ve doygunluk (Chroma, Eşitlik 3.2) parametreleri aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$Ton\ açısı = \frac{180}{\pi} \times \arctan\frac{b*}{a*} \quad (3.1)$$

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



Şekil 3.19. Renk ölçüm cihazı ve pestilde renk ölçümü

Pestil ürünlerinde üretim koşulları, herlenin pişirilmesi ve ürünlerin kuruması sırasında maruz kaldıkları etmenler, ürünün renginde önemli farklılıklar yaratmaktadır. Renk değerlerinden L* değeri 0 ile 100 arasında bir değer alır. Değer 0'a yaklaştıkça koyuluğu ifade ederken 100'e yaklaştıkça açıklığı ifade etmektedir. a* değeri pozitif iken

kırmızılığı, negatif iken yeşilliği ifade etmektedir. b* değeri pozitifken sarılığı, negatifken ise maviliği simgeler. Pestil standartlarında renk değerlerinin yer alması zorunlu bulunmamaktadır (Ulusal Bayram 2018).

Hue açısı (renk ton açısı), renk dairesi olarak tanımlanmaktadır. Renk dairesinde, kırmızı, sarı, yeşil ve mavi gibi temel renkler belli açı değerlerinde yer almaktadır ve 0 derecede kırmızı renginin olduğu kabul edilmektedir. Diğer renkler bu noktadan ölçülmektedir. 0 derece açı değerinde kırmızı renk, 90 derecede sarı renk, 180 derecede yeşil renk ve 270 derecede mavi renk yer almaktadır (Mc Guire 1992).

3.3.6. Tekstür analizi

Tekstür profil analizi, TA.XT 2Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Surrey, Birleşik Krallık) cihazı kullanılarak 3 cm çapında ve 1.5 cm kalınlığında (pestilleri üst üste koymak suretiyle) dairesel olarak kesilen pestillerde gerçekleştirilmiştir. Bu analizde 5 cm çaplı silindir prob kullanılmıştır. Elde edilen iki sıkıştırmalı tekstür profil grafiği yardımıyla elastikiyet, sertlik, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri hesaplanmıştır.

Analiz koşulları, Boz (2012)'e göre değişiklikler yapılarak ön test hızı 1 mm/s, test hızı 0.20 mm/s, test sonrası hızı 5 mm/s, bekleme süresi 5 s, sıkıştırma oranı %30 ve tetikleme gücü 50 g olarak ayarlanmıştır. Cihazın yazılımı yardımıyla, tekstür profil analizi sonucu elde edilen kuvvet grafiği kullanılarak sertlik, çiğnenebilirlik, elastikiyet ve esneklik değerleri hesaplanmıştır.

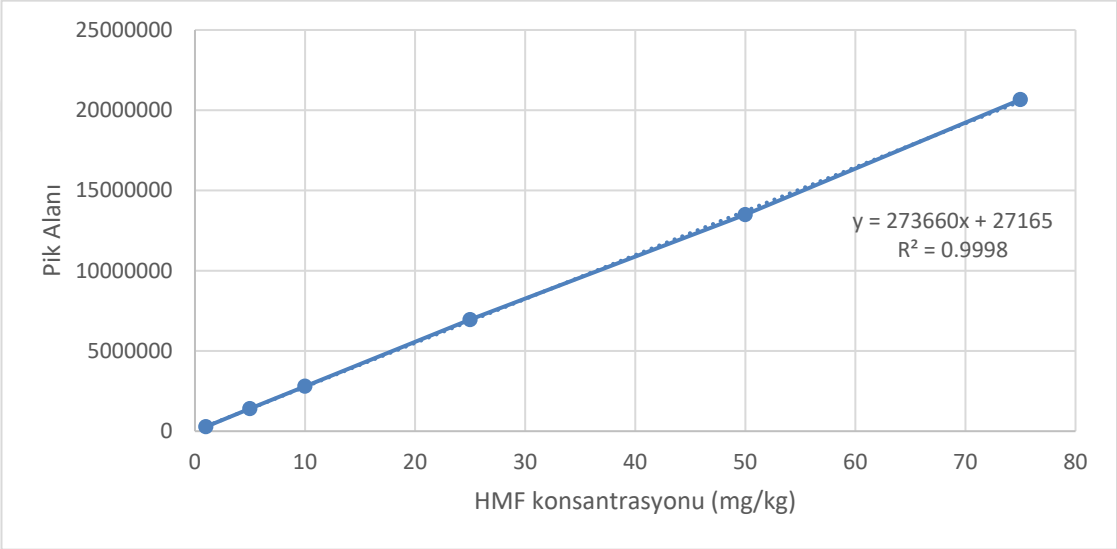
Sertlik, ilk sıkıştırma döngüsü sırasında harcanan maksimum pik kuvvettir. Elastikiyet ise pestilin ilk sıkıştırmanın sonu ile ikinci sıkıştırmanın başlangıcı arasında geçen zaman boyunca toparlandığı yükseklikle ilişkilidir ve ikinci sıkıştırmadaki mesafenin ilk sıkıştırmadaki mesafeye oranlanması ile hesaplanmaktadır. Çiğnenebilirlik, katı bir gıdayı çiğneyip yutmaya hazır hale getirmek için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir. Sertlik, elastikiyet ve yapışkanlığın çarpımıyla hesaplanmaktadır (Boz 2012).

Esneklik, materyalin hem hız hem de uygulanan farklı kuvvetlerdeki deformasyondan nasıl kurtulduğunun bir göstergesidir. İlk sıkıştırmanın maksimumdan dönme noktasındaki alanının, probun geri dönmeye başladığı ve tetik kuvvetine kadar ulaştığı noktanın alanının oranlanması ile hesaplanmaktadır (Bourne 1978).

3.3.7. HMF analizi

Trabzon hurması pestillerinin HMF değerleri Tontul (2017) tarafından kullanılan yönteme göre kromatografik olarak belirlenmiştir. Öncelikle 2 g örnek 20 mL saf su ile ultraturrax cihazında 30 s boyunca homojenize edilmiştir. Daha sonra karışım 5000 rpm 'de 6 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası berrak kısımdan 5 mL santrifüj tüpüne aktarılmış olup üzerlerine sırasıyla 1 mL Carrez I ve 1 mL Carrez II çözeltileri eklenmiştir. Carrez I çözeltisi, 150 g potasyum hekzasiyanoferrat (II) suda çözülüp 1000 mL'ye tamamlanmak suretiyle; Carrez II çözeltisi ise 300 g çinko sülfat heptahidrat suda

çözülüp yine 1000 mL'ye tamamlanmak suretiyle daha önceden hazırlanmıştır. Daha sonra 5000 rpm'de 6 dk. santrifüj edilen karışımın berrak kısmı 0.45 µm membran filtreden geçirildikten sonra HPLC cihazında (Shimadzu LC20 AD, Japonya) analiz edilmiştir. HPLC sistemi, LC-20AD pompa ünitesi, DGU-20A5 degaz ünitesi, CTO-20AC kolon fırını, SIL-20AD otomatik örnekleyici ve SPD-20M20A diode array detektörden meydana gelmektedir. HPLC şartları: Kolon: C18 (ters faz, 250*4.6 mm, 5 µm); Kolon fırın sıcaklığı: 32°C; Akış hızı: 0,5 mL /dk.; Mobil faz: Asetonitril/ Su (5/95; V/V); Analiz süresi: 20 dk.; Dedektör: Diode Array Dedektör (DAD), 280 nm; Enjeksiyon hacmi: 20 µl. Örneklerin HMF miktarı aynı koşullarda elde edilen belirli konsantrasyonlara ait standartların pik alanları kullanılarak oluşturulan standart eğri Şekil 3.20'e göre hesaplanmıştır. Sonuçlar mg / kg olarak verilmiştir.



Şekil 3.20. 5- Hidroksimetilfurfural kalibrasyon grafiği

3.3.8. Esmerleşme indeksi

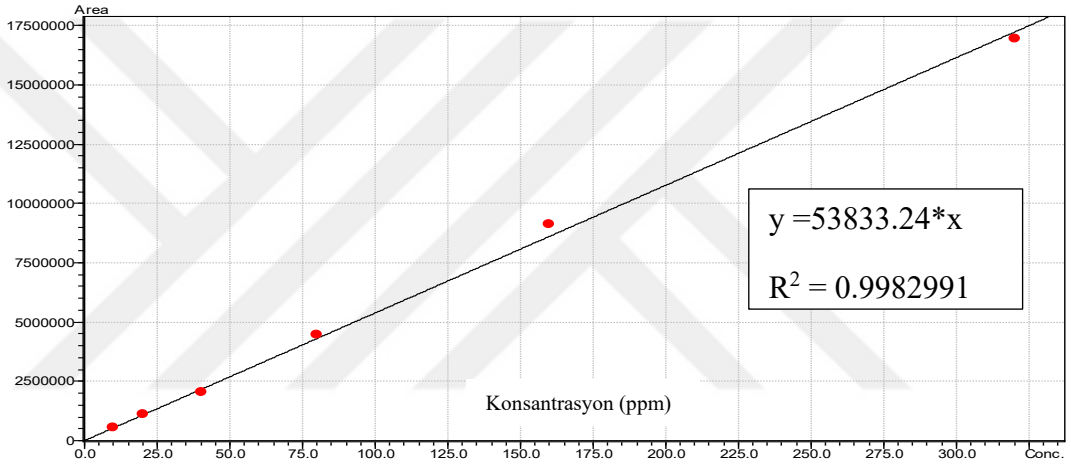
Trabzon hurması pestillerinin esmerleşme indeksi, Eşitlik (3.3) ve (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır (Choi vd. 2017; Wrolstad ve Smith 2017).

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

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

3.3.9. Askorbik asit tayini

Örneklerin L-Askorbik asit içerikleri ise Asami vd. (2003) tarafından kullanılan kromatografik metotla tespit edilmiştir. Bu amaçla 5 g örnek, 10 mL metafosforik asit çözeltisi (%3) ile ultra-turrax homojenizatörde homojenize edilmiş ve 6500 rpm'de 5 dk. santrifüj cihazında (Sigma, 2-16KL, Osterode am Harz, Almanya) santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası berrak kısım 0.45 µm membran filtreden geçirildikten sonra HPLC cihazında (Shimadzu LC-20AT, Japonya) analiz edilmiştir. HPLC şartları: Kolon sıcaklığı: 25 °C, Mobil faz: 25 Mm KH_2PO_4 (potasyum dihidrojen fosfat), pH: 3 (H_3PO_4 ortofosforik asit çözeltisi ile ayarlanmış), Akış hızı: 0.6 mL/dk., Dalga boyu:243 Nm, Analiz süresi: 15 dakika. Örneklerin askorbik asit miktarı aynı koşullarda elde edilen belirli konsantrasyonlara ait standartların pik alanları kullanılarak oluşturulan standart eğri (Şekil 3.21) yardımıyla hesaplanmış olup sonuçlar mg / 100 g KM olarak verilmiştir.



Şekil 3.21. Askorbik asit kalibrasyon grafiği

3.3.10. Ekstraksiyon

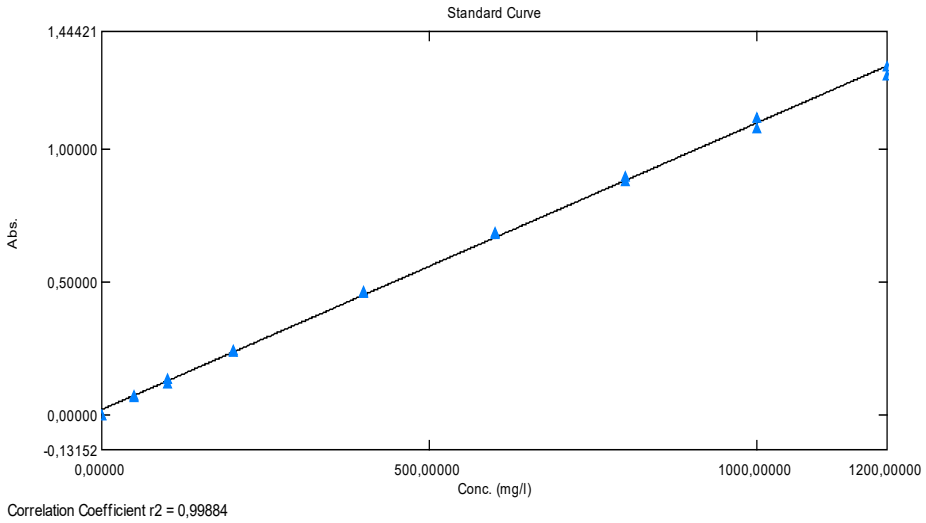
Toplam fenolik madde miktarı ile antioksidan aktivite analizlerinde kullanılmak üzere Trabzon hurması pestili ve meyve püresi örneklerinden 50 mL'lik falkon tüplere 5 g alınmış ve üzerlerine 20 mL %80'lik metanol çözeltisi eklenmiştir. Karışımlar orbital çalkalayıcıda (Heidolph Unimax 2010, Schwabach, Almanya) oda sıcaklığında 180 rpm'de 2 saat boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Süre bitiminde 3500 rpm'de 10 dakika 20°C'de santrifüj yapılmış (Sigma, 2-16KL, Osterode am Harz, Almanya) ve santrifüj tüplerinin üstünde kalan berrak kısımları toplanmıştır. Elde edilen ekstraktlar, analiz işlemlerine kadar -18°C'de muhafaza edilmiştir (Vitali vd. 2009). Şekil 3. 22'de ekstraksiyona ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 3.22. Ekstraksiyon basamakları

3.3.11. Toplam fenolik madde miktarı

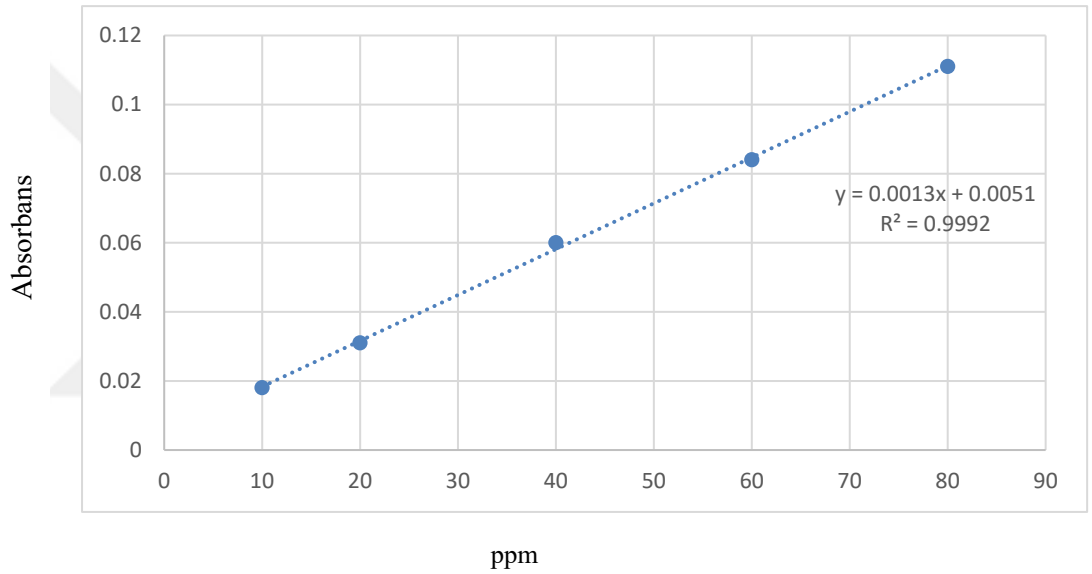
Toplam fenolik madde içeriği Folin-Ciocalteu çözeltisi kullanılarak belirlenmiştir (Spanos ve Wrolstad 1990). Bu amaçla cam tüpler içerisine 100 µL örnek ekstraktı alınmış olup üzerine ilk olarak 900 µL saf su, daha sonra 5 mL 0.2 N Folin-Ciocalteau çözeltisi ve en son 4 mL %7.5'lik Na_2CO_3 (sodyum karbonat) çözeltisi eklenmiştir. Tüpler vorteks karıştırıcıda (WiseMix VM-10, Güney Kore) karıştırılarak, 25°C'de karanlıkta 90 dakika bekletilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı, karışımların absorbans değerlerinin spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800 240 V, Japonya) 765 nm dalga boyunda okunmasıyla tespit edilmiştir. Sonuçlar mg GAE (gallik asit eşdeğeri) /100 g kuru madde cinsinden hesaplanmıştır**.** Şekil 3.23'te gallik asit kalibrasyon eğrisi yer almaktadır.



Şekil 3.23. Gallik asit kalibrasyon grafiği

3.3.12. Antioksidan aktivite tayini

DPPH (2.2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalinin inhibisyonuna dayalı antioksidan aktivite, Fernández-León vd. (2013) tarafından uygulanan metota göre tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı analizi için hazırlanan ekstraktlar antioksidan aktivite tayini için de kullanılmıştır. Bu amaçla uygun oranda seyreltilmiş 200 µL örnek ekstraktının üzerine taze hazırlanmış 3800 µl 6.10^{-5} Molar DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dk. bekletildikten sonra 516 nm dalga boyunda okunmuş olup DPPH çözeltisinin bekleme süresinin başlangıcında saf metanole karşı 516 nm dalga boyunda gerçekleştirilen okumasına göre farkları alınmıştır. Örneklerin antioksidan aktivite değerleri bu absorbans farkları kullanılarak, farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış troloks ile elde edilen eğriye göre hesaplanmış olup sonuçlar mg troloks eşdeğeri/100 g kuru madde cinsinden verilmiştir. Şekil 3. 24'te troloks kalibrasyon grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.24. Troloks kalibrasyon grafiği

3.3.13. Toplam karotenoid miktarı tayini

Toplam karotenoid miktarı Wang vd. (2008)' e göre analiz edilmiştir. Bu amaçla 2.5 g Trabzon hurması pestili ve taze meyve püresi örneği üzerine 25 mL hekzan-aseton-etanol (v/v;50:25:25) karışımı eklenip tüpler vorteks karıştırıcıda (WiseMix VM-10, Güney Kore) 40 s boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışımlar orbital çalkalayıcıda (Heidolph Unimax 2010, Schwabach, Almanya) oda sıcaklığında 180 rpm'de 60 dakika boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Karışım 4°C'de 6500 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiş, daha sonra berrak kısım alınarak ekstraksiyon çözeltisiyle 25 mL'ye tamamlanmıştır. Ekstraktların absorbansları spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800 240 V, Japonya) 450 nm dalga boyunda ölçülmüş olup sonuçlar aşağıda verilen denklem (3.3) kullanılarak *β*-karoten cinsinden mg/100 g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam karotenoid miktarı } \left(\frac{\text{mg } \beta\text{−karoten}}{\text{100 g kuru madde}}\right) = \left(\frac{\text{Absorbans x Sf x 10}}{\text{E ½}}\right) \text{ x 100} \qquad (3.3)$$

Burada;

$E^{1/2}$: Ekstinksiyon katsayısı: 2505;

Sf : Seyreltme faktörü.

3.3.14. Duyusal analiz

Trabzon hurması pestil örneklerinde duyusal analiz, 9'lu hedonik skalaya göre puanlama yapılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Pestiller "parlaklık", "tat/aroma", "renk", "sertlik", "çiğnenebilirlik" ve "genel beğeni" özellikleri açısından değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Puanlama testi ile pestillerin beğeni farklılıklarının ve bu farklılıkların önem derecesinin tespit edilmesi hedeflenmiştir (Tokbaş 2009). Bu çalışma için oluşturulan 10 kişilik panelist ekibi, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde çalışan, duyusal analiz teknikleri hakkında yarı eğitilmiş personelden seçilmiştir. Üretilen pestil örnekleri oda sıcaklığında beyaz plastik tabaklarda sunulmuştur. Panelistler için, duyusal analiz tadımı sırasında tadı nötrlemek için oda sıcaklığında su ve tuzsuz galeta temin edilmiştir. Çizelge 3.1'de duyusal analiz formu bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Duyusal analiz formu

ÜRÜN: Trabzon Hurması Pestili

Size verilen kodlanmış pestil örneklerini kalite kriterlerinden parlaklık, renk, tat/aroma, sertlik, çiğnenebilirlik ve genel beğeni açısından ayrı ayrı 9 puan üzerinden değerlendiriniz.

ÖRNEK NO	Parlaklık	Renk	Tat/Aroma	Sertlik	Çiğnenebilirlik	Genel beğeni
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

9: çok fazla beğendim
8: çok beğendim
7: orta derecede beğendim
6: az beğendim
5: ne beğendim ne beğenmedim
4: biraz beğenmedim
3: orta derecede beğenmedim
2: çok beğenmedim
1: hiç beğenmedim

3.3.15. Kurutma kinetiği ve modelleme

Gıdaların kuruma davranışları, ince tabaka kurutma modelleri aracılığıyla analiz edilmektedir (Gupta ve Alam 2014). Çizelge 3.2'de bu tez kapsamında kullanılan matematiksel eşitlikler yer almaktadır. Tez kapsamındaki kırınım pencereli kurutma uygulamaları sırasında her beş dakikada bir alınan örneklerin nem oranları belirlenerek bu değerler üzerinden kurutma kinetiği eğrileri oluşturulmuştur. Verilerin modellere uyumluluğu test edilmiş ve bu modeller üzerinden kırınım pencereli kurutma sisteminde Trabzon hurması pestili kurutulmasına ait en uyumlu model belirlenmiştir (Menges ve Ertekin 2006). Kinetik çalışması için kırınım pencereli kurutma sisteminde beş dakikada bir iki paralelli olacak şekilde alınan örneklerin görseli Şekil 3.25'te yer almaktadır.



Şekil 3.25. Kinetik çalışması için kırınım pencereli kurutma sisteminde 5 dakikada bir iki paralelli örnek alma

Çizelge 3.2. Nem oranı (MR) değerlerine uygulanan matematiksel modelleme eşitlikleri

Model no	Model adı	Model
1	Newton	MR = exp(-kt)
2	Henderson ve Pabis	MR = a exp(-kt)
3	Logarithmic	MR = a exp(-kt) + c
4	Two Term	MR = a exp(-kt) + b exp($-k_1t$)
5	Modified Two Term I	MR = a exp(kt) + (1- a) exp($-k_1t$)
6	Modified Two Term III	MR = a exp(-kt) + a exp($-k_1t$)
7	Modified Two Term V	MR = a exp(-kt) + (1- a) exp($-k_1t$)
8	Two Term Exponential	MR = a exp(-kt) + (1- a) exp(_kat)
9	Diffusion Approximation	MR = a exp(-kt) + (1- a) exp(-kbt)
10	Verma	MR = a exp(-kt) + (1- a) exp(-gt)
11	Modified Henderson ve Pabis I	MR = a exp(-kt) + b exp($-k_1t$) + c exp($-k_2t$)
12	Modified Henderson ve Pabis II	MR = a exp(-ktn) + b exp(-gt) + c exp(-ht)
13	Jena Das	MR = a exp(-kt + b$\sqrt{t}$) + c
14	Noomhorm ve Verma	MR = a exp(-kt) + b exp(-gt) + c
15	Hasibuan ve Daud	MR = 1-at^n exp(-kt^m)
16	Henderson ve Henderson I	MR = c [exp(-kt) + 1/9 exp(-9kt)]
17	Henderson ve Henderson II	MR = c exp(-kt) + 1/9 exp(-9kt)
18	Asymptotic	MR = a_0 + a exp(-kt)

k: kurutma sabiti; t: zaman; a, b, c, g, h, m ve n: model katsayıları (Ertekin ve Fırat 2017; Alibas vd. 2020)

$$MR = \frac{Mt-Me}{Mo-Me} \quad (3.4)$$

Eşitlikte MR, Trabzon hurması pestilinin nem oranını, M_t Trabzon hurması pestilinin belirli bir zamandaki nem muhtevasını (g.su / g. kuru madde), M_e, denge anındaki nem muhtevasını, M_0, başlangıçtaki nem muhtevasını belirtmektedir.

Deneysel verilerin kurutma modelleri ile uyumunu tespit etmek amacıyla R^2 (korelasyon katsayısı), R^2 düzeltilmiş, RMSE (tahmini standart hata) ve X^2 (ki-kare) değerleri kullanılmıştır (Nguyen vd. 2019; Polat Yemiş 2022). En uyumlu model olarak, R^2 değeri 1' e en yakın olan, X^2 ve RMSE değerleri ise 0'a en yakın olan model belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MRtahmini - MR\ deneysel)^2\right)^{½} \quad (3.5)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MRdeneysel,i-MRtahmini,i)^2}{N-n} \quad (3.6)$$

$MR_{deneysel,i}$: i. deneysel nem oranı
$MR_{tahmini,i}$: i. tahmin edilen nem oranı
N : gözlemlenen deneysel veri adedi,
n : modeldeki bağımsız değişken sayısıdır.

3.3.15.1. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması

Trabzon hurması pestil örneklerinde efektif nem difüzyonunun belirlenmesinde Fick' in ikinci kanunundan faydalanılmıştır. Sonsuz levha için Fick' in kanunu aşağıdaki eşitlikte yer almaktadır.

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2n+1}\exp\left(-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte D_{eff}, etkin difüzyon katsayısını (m^2/s); t, süreyi (s); L, dilim yarı kalınlığını (m) ifade etmektedir. Efektif difüzyon katsayısı için yukarıda yer alan eşitlik düzenlenerek aşağıda ifade elde edilmiştir (Maskan 2000).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (3.8)$$

3.3.16. İstatistiksel analiz

Tez çalışması kapsamında yapılan Trabzon hurması pestili kurutma üretimleri üç tekerrürlü, analizler ise iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının istatiksel değerlendirmeleri SAS 9.0 (Statistical Analysis System) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Üretilen pestillerin ve taze Trabzon hurması püresinin analiz sonuçlarına Varyans Analizi uygulanmış ve önemli bulunan farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir. Sonuçlar ortalama± standart sapma (ort ± std) olarak verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Trabzon Hurması Kabuksuz Meyve Püresinin Bazı Fizikokimyasal Özellikleri

Tez çalışmasında Hachiya çeşidi Trabzon hurmalarının püresinin fizikokimyasal özellik analiz edilmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Trabzon hurması meyve pürelerinin bazı fizikokimyasal özellikleri

Özellik	Değer
Su aktivitesi	0.94±0.01
SÇKM (°Briks)	22.35±0.05
Toplam kuru madde (%)	24.00±0.00
pH	5.58±0.09
Renk değerleri	
L*	32.42±0.47
a*	3.08±0.35
b*	23.12±0.51
C	23.33±0.55
h°	82.43±0.72
Askorbik asit (mg/100g KM)	2.45±0.06
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g KM)	158.04±2.97
Antioksidan aktivite (mg TE/100 g KM)	899.17±18.25
Toplam karotenoid miktarı (mg/100 g KM)	24.13±1.36

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6).

Kaya vd. (2015) yaptıkları bir çalışmada buruk olmayan Trabzon hurması türünün su aktivitesi değerini 0.97 olarak tespit etmişlerdir. Yıldız Akbulut (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çeşit bilgisi sunulmayan bir Trabzon hurmasının su aktivitesi değeri 0.92 olarak bulunmuştur. Bu araştırmada tespit edilen 0.94 değerinin literatür verileri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Tabekha vd. (2007) yaptıkları çalışmada Hachiya çeşidine ait suda çözünür kuru madde değerini 21.87 °Briks olarak tespit etmiştir. Özdemir vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Hachiya çeşidinden Trabzon hurmasının soğukta depolama sırasında meyve suyu pH değeri, titre edilebilir asitlik miktarları, suda çözünür kuru madde ile şekerlerde meydana gelen değişimler araştırılmış olup kontrol örneğinin suda çözünür kuru madde değeri 22.40 °Briks olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan

meyvenin suda çözünür kuru madde değeri 22.35 °Briks olarak bulunmuştur. Tez çalışması kapsamında elde edilen taze meyve püresinin suda çözünür kuru madde değeri ile literatür verileri uyumlu bulunmuştur.

Literatür araştırmalarında Hachiya çeşidinden Trabzon hurması kuru maddesinin (%21.65), Costata çeşidinden Trabzon hurmasının kuru maddesine (%29.95) göre daha düşük olması dolayısıyla, Costata meyvesinin dokusunun Hachiya meyvesinin dokusundan daha sert olabileceği değerlendirilmiştir (Tabekha 2007). Bu çalışmada kullanılan Hachiya çeşidinden elde edilen kabuksuz meyve püresinin kuru maddesi %24 olarak tespit edilmiş olup literatür veriyle uyumlu bulunmuştur.

Tosya vd. (2024) yaptıkları çalışmada Hachiya çeşidinin pH değerini 5.51; Koyuncu vd. (2005) gerçekleştirdikleri çalışmada Hachiya çeşidinin pH değerini 5.74 olarak belirlemiş olup bu değerler tez çalışmasında elde edilen verilerle uyumludur.

Kaya vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Trabzon hurması bazlı karışık meyveli marmelat üretilmiş ve bu marmelatın üretiminde kullanılan meyve pulpunun renk değerlerinden L* değeri 45.30, a*değeri 6.05, b*değeri ise 24.99 olarak tespit edilmiş; Parseker Yönel (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Trabzon hurması nektarı üretiminde kullanılan meyvenin renk değerlerinden L*değeri 45.50, a*değeri 17.5, b*değeri 23.30 olarak tespit edilmiştir. Araştırma bulgularının literatür verilerinden farklı bulunmasının, çeşit farkından ve hasat olgunluklarının farklı olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ancak parlaklık değeri bütün çalışmalarda en yüksek, a* kırmızılık değeri en düşük çıkmıştır. Zhou vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada meyve et rengi kroma ve hue açısı değerlerinin buruk çeşitlerde sırasıyla 25.67-51.46 ve 44.13-78.38 arasında değiştiği bildirilmiştir. Literatür verisi ile kıyaslandığında tez kapsamında elde edilen sonuçların yakın değerler olduğu tespit edilmiştir.

Yener (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Hachiya çeşidinden Trabzon hurması meyvesinin farklı koşullar altında muhafazası süresince değişen bazı fizikokimyasal özellikleri kıyaslanmıştır. Sıfırıncı günde normal atmosferde muhafaza edilen Hachiya çeşidinin askorbik asit miktarı, 6.14 mg/100 g olarak tespit edilirken 30. günde 2.66 mg/100 g'a, 60. günde 0.88'e düştüğü tespit edilmiştir. Parseker Yönel (2009) tarafından yapılan çalışmada, Trabzon hurmalarının askorbik asit miktarı 6.49 mg / 100 g olarak tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında Hachiya çeşidinden meyveler ince püre haline getirilip vakumlanarak dondurulmuş ve bu taze meyve püresinin askorbik asit değeri analiz edilinceye kadar yaklaşık iki ay süre geçmiştir. Askorbik asit değeri 2.45 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. İki aylık süreç sonunda elde edilen değer, literatür verisine göre yüksek çıkmış olup pürenin vakumlanarak dondurulması sebebiyle değerinin nispeten korunduğu değerlendirilmiştir. Diğer yandan çalışma materyali olarak kullanılan Trabzon hurmalarının askorbik asit içeriklerinin literatür bulgularıyla kıyaslandığında daha düşük bulunmasının sebebinin, hasat dönemine ve çeşit özelliğine bağlı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda meyve içeriği dondurulmadan önce blenderda ince püre haline getirilmesi sebebiyle değerin düşmüş olabileceği değerlendirilmektedir.

Baltacıoğlu ve Artık (2013) tarafından yapılan bir çalışmada farklı Trabzon hurması çeşitlerinin hasat sonrası kimyasal içeriklerinde gerçekleşen değişiklikler tespit

edilmiştir. Hachiya çeşidinden meyvenin başlangıçta elde edilen toplam fenolik madde miktarı 379.2 mg/kg taze ağırlık olarak bulunmuş olup tez çalışmasında elde edilen değerde gerekli birim çevirmeleri yapıldığında 379.31 mg/kg taze ağırlık değeriyle birebir eşleşmiş bulunmaktadır. Kılıç vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada Hachiya çeşidinden Trabzon hurmasının toplam fenolik madde miktarı 26.90 olarak tespit edilmiş olup tez çalışmasında elde edilen değer yaş meyve cinsine çevrildiğinde 37.92 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur ve literatür verisiyle uyumludur. Tosya vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Hachiya çeşidinden Trabzon hurmasının toplam fenolik madde miktarı 250.22 mg/ kg kuru madde cinsinden verilmiş olup tez çalışmasında kullanılan taze pürenin değeri mg/kg KM'ye çevrildiğinde literatür verisine göre yüksek bulunmuştur. Yılmaz vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada kurutulmuş Trabzon hurmalarının depolanmaları sırasında ön uygulamaların ve modifiye atmosfer uygulamalarının kurutulmuş ürünün kalitesine etkileri araştırılmış olup kontrol grubu Trabzon hurmalarının toplam fenolik madde miktarı 90.37 mg/100 g KM olarak tespit edilmiştir. Bu iki çalışma ile kıyaslandığında tez çalışmasında kullanılan taze meyvenin toplam fenolik madde miktarının daha yüksek olduğu ve farklılıkların olgunluk durumu, bitki yetişme şartları vb. faktörlerden etkilendiği değerlendirilmektedir.

Fu vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada Trabzon hurması dahil 62 adet meyvenin toplam fenolik madde miktarlarını ve antioksidan aktivitelerini analiz etmişlerdir. Trabzon hurmasının antioksidan aktivite değeri 9.38 µmol Trolox/g yaş meyve ağırlığı cinsinden sonuçlanmış olup tez çalışmasında kullanılan taze Trabzon hurmasının antioksidan aktivite değeri aynı birime çevrildiğinde 8.62 µmol Trolox/g yaş meyve ağırlığı olarak bulunmuştur. Sonucun literatür verisiyle uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Zhou vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı türden Trabzon hurmasının meyve eti toplam karotenoid miktarları 194.61 µg/100g yaş meyve ağırlığı ile 1.566,30 µg/100g yaş meyve ağırlığı aralığında tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan Hachiya çeşidinden Trabzon hurmasının toplam karotenoid miktarı birimi µg/100g yaş meyve olarak çevrildiğinde 5790 µg/100g yaş meyve olarak bulunmuş olup literatür verilerinin çok üstünde tespit edilmiştir. Literatür çalışmasında Hachiya çeşidi mevcut olmadığından çeşit farkından dolayı böyle bir farklılık oluştuğu değerlendirilmektedir.

4.2. Farklı Kurutma Yöntemleriyle Kurutulmuş Trabzon Hurması Pestilinin Kalite Özellikleri

4.2.1. Su aktivitesi

Su aktivitesi, gıda ürünleri bakımından önemli bir kalite unsuru olan fizikokimyasal özelliktir. Su aktivitesinin, gıdalarda mikrobiyal üreme, lipit oksidasyonu, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar, tekstürel değişim, aroma ve tat değişimi gibi birçok olayla ilişkisi vardır (Sablani ve Rahman 2008). Gıdalarda 0.6 a_w değerinin altındaki su aktivitelerinde genel olarak mikrobiyal gelişim gerçekleşmemektedir (Troller

1980). Patojen bakteriler, 0.85 su aktivitesi altında; birçok maya ve küf ise 0.62 su aktivitesi değeri altında gelişme olanağı bulamamaktadır (Rahman 2007).

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Üretilen Trabzon hurması pestillerinin su aktivitesi değerlerinin 0.6'nın altında olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla üretilen pestillerin mikrobiyal açıdan stabil oldukları değerlendirilmiştir. En yüksek su aktivitesi değeri 70°C'de sıcak hava kurutma ile üretilen pestillerde tespit edilmiş olup 80°C'de sıcak hava kurutma ile üretilen pestillerin su aktivitesi değerleri ile aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır($p>0.05$). En düşük su aktivitesi değeri ise gölgede sergen kurutma yönteminde tespit edilmiştir. 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi, 80°C'de kırınım pencereli kurutma ve 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil örneklerinin su aktivitesi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

Çizelge 4.2. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Su Aktivitesi (a_W)
GK	0.40 ± 0.06^{d}
SHK70°C	0.57 ± 0.03^{b}
SHK80°C	0.56 ± 0.05^{b}
SHK88°C	0.53 ± 0.01^{cb}
KPK70°C	0.45 ± 0.07^{cd}
KPK80°C	0.51 ± 0.07^{cb}
KPK88°C	0.51 ± 0.09^{cb}
Taze meyve püresi	0.94 ± 0.01^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Öyken (2025) tarafından yapılan çalışmada tepsili kurutucuda sade ve farklı tohumlarla zenginleştirilmiş Trabzon hurması pestillerinin su aktivitesi analiz yapılmıştır. Sade pestilin değeri 0.48 aw, tohumlarla zenginleştirilmiş pestillerin su aktivitesi değerleri ise 0.51-0.52 aralığında sonuçlanmıştır. Kaymul (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan güneşte kurutulan Trabzon hurması pestillerinin su aktivitesi değeri 0.462 olarak tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen pestillerin su aktivitesi değerleri 0.40-0.57 aralığında çıkmış olup literatür verileriyle uyumludur.

4.2.2. Nem

Lipid oksidasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme, şeker kristalizasyonu gibi bazı kimyasal tepkimeler ve mikrobiyal gelişimlerin, meyve nem oranının %15'in altına düştüğü zaman söz konusu olmadığı bildirilmektedir (Maskan 2002). TSE (Türk Standartları Enstitüsü) Üzüm Pestili Standardı'nda (TS 12680) üzüm pestili rutubet muhtevası sınırı %15 olarak belirlenmiştir (Anonim 2020). Yine TSE'nin Dut Pestili Standardı'nda (TS 12677) rutubet içeriği en çok %18 (m/m) olarak belirlenmiştir (Anonim 2000).

Farklı meyvelerden yapılmış pestiller üzerinde Ekşi ve Artık (1984) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, dut pestilinin nem değeri %14.30, erik pestilinin nem değeri %19.50, kayısı pestilinin nem değeri %17.30, üzüm pestilinin ise %11.30 olarak tespit edilmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin nem değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin nem değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Nem Oranı (%)
GK	5.19 ± 0.36^{b}
SHK70°C	11.47 ± 1.22^{a}
SHK80°C	11.27 ± 1.86^{a}
SHK88°C	10.80 ± 1.75^{a}
KPK70°C	10.89 ± 1.40^{a}
KPK80°C	10.43 ± 2.18^{a}
KPK88°C	10.87 ± 1.10^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) ($N=6$). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Üretimler sırasında pestil nem oranlarının %15 in altına düşürülmesi hedeflenmiştir. Üretilen pestillerin nem değerlerine bakıldığında en düşük nem oranı gölgede kurutma yönteminde tespit edilmiştir. Gölgede kurutma yöntemi ile kurutma esnasında ise kurutma koşullarının kontrol edilebilirlik düzeyi diğer yöntemlere göre düşük olduğundan ürünlerin fazla kuruduğu tespit edilmiştir.

Yedi uygulamadan gölgede kurutma uygulaması hariç diğer kurutma yöntemleri sonucunda ortaya çıkan nem değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir($p>0.05$).

Alam vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, mikrodalga kurutma ve sıcak hava kurutma yöntemleri ile Trabzon hurması pestili üretilmiş olup sıcak havada üretilen pestillerin nem değeri istatistiksel olarak %14.11, mikrodalgada üretilen

pestillerin nem değeri %15.22 olarak tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan pestillerin nem aralığı %10.8-11.47 olarak tespit edilmiş olup bütün uygulamalar bazında pestillerin nem değerleri %5.19- %11.47 aralığında tespit edilmiştir.

Kaymul (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada güneşte kurutulan Trabzon hurması pestillerinin nem oranı %13, Farmosa eriği pestili nem oranı %17.5, Kırkağaç kavunu pestili nem oranı %13, Sultani çekirdeksiz üzüm pestili nem oranı %16 ve Cardinal üzümü pestili nem oranı %16 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında elde edilen Trabzon hurması pestillerinin nem değerleri %15'in altında olup çeşitli meyvelerin pestil standartlarıyla ve literatür verileriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Suda çözünür kuru madde

Yedi farklı yöntemle üretilen Trabzon hurması pestillerinin üretimleri sırasında kullanılan ısıl işlem uygulanmış Trabzon hurması pürelerinin ve serilen herlelerin suda çözünür kuru madde (°Briks) içeriğine ait ortalama±standart sapma sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Isıl işlem görmüş Trabzon hurması pürelerinin ve serilen herlelerin suda çözünür kuru madde (°Briks) değerleri

Püre	Herle
22.75±0.13	24.32±0.19

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Gökçe (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tepsili kurutucuda Trabzon hurması pestili üretimi için kullanılan meyvelerin °Briks değeri 20, herlenin °Briks değeri ise 30 olarak tespit edilmiştir. Herlenin hazırlanmasında bu tez çalışmasında olduğu gibi sadece nişasta ve meyve kullanılmıştır. Çalışmada meyve blenderdan geçirilip süzüldüğünde meyve suyu elde edildiğinden bahsedilmiştir. Hazırlanan herleler bir blok yardımıyla bez üzerine serilerek kurutulup pestile dönüştürülmüştür. Dursun Saydam (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Trabzon hurması pestili üretmek için hammadde olarak saf su, meyve ve nişasta kullanılmış olup 30 °Briks olarak hazırlanan herle, tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Herle seriminde dairesel şekilli kalıplama aparatı kullanılmıştır. Literatürde serilen herlelerin suda çözünür kuru madde içeriğinin genel olarak 30 °Briks civarında olduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise enzim inaktivasyonu amaçlı ısıl işlem görmüş Trabzon hurması püresi ve buğday nişastası kullanılmış, harici bir katkılama yapılmamıştır. Ön denemeler sırasında 30 °Briks değerinde herle hazırlama sırasında tencereye yapışma ve yanma gibi problemlerle karşılaşılmıştır. Bununla birlikte herleler serme aparatına yapışmış, serilen yüzeylerde homojen herle yüksekliği sağlanamamıştır. Bu sebeplerle herlelerin °Briks değeri

homojen serilebildiği en yüksek suda çözünür kuru madde (24-25 °Briks) içeriğinde hazırlanmıştır.

4.2.4. pH

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin pH değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin pH değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	pH
GK	5.00 ± 0.02^{b}
SHK70°C	4.95 ± 0.01^{c}
SHK80°C	4.93 ± 0.02^{c}
SHK88°C	4.92 ± 0.03^{dc}
KPK70°C	4.91 ± 0.03^{dc}
KPK80°C	4.87 ± 0.02^{de}
KPK88°C	4.85 ± 0.02^{e}
Taze meyve püresi	5.58 ± 0.09^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

En yüksek pH değeri gölgede kurutma uygulaması ile üretilen pestillerde; en düşük değer ise 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir. 70°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ve 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin pH değerleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamaktadır($p>0.05$). Yine 88°C'de sıcak hava kurutma ve 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemleri ile üretilmiş olan pestil örneklerinin pH değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir($p>0.05$).

Mohamed vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga kurutucuda mango katkılı Trabzon hurması pestili üretilmiş olup bu pestillerin pH değeri 4.11-4.16 aralığında tespit edilmiştir. Kaymul (2021) tarafından güneşte kurutularak üretilen Trabzon hurması pestillerinin pH değeri ise 4.48 olarak belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında da farklı yöntemlerle üretilen Trabzon hurması pestillerinin pH değerleri 4.85-5.00 aralığında belirlenmiş olup bu değerler literatür verileriyle uyumlu bulunmuştur.

4.2.5. Renk

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin renk değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	L*	a*	b*	Chroma(C)	Hue (h^o)
GK	37.71 ± 1.49^{bc}	8.54 ± 0.60^{a}	25.37 ± 1.10^{bc}	26.77 ± 1.16^{ba}	71.40 ± 0.99^{c}
SHK70°C	39.20 ± 2.18^{ba}	7.62 ± 1.36^{bc}	27.56 ± 2.29^{a}	28.60 ± 2.57^{a}	74.64 ± 1.39^{b}
SHK80°C	40.43 ± 1.35^{a}	7.67 ± 0.37^{bc}	27.74 ± 1.19^{a}	28.78 ± 1.18^{a}	74.54 ± 0.82^{b}
SHK88°C	40.02 ± 1.14^{a}	7.60 ± 0.64^{bc}	27.19 ± 2.16^{ba}	28.23 ± 2.20^{ba}	74.36 ± 0.97^{b}
KPK70°C	39.71 ± 1.43^{a}	8.19 ± 0.63^{ba}	27.50 ± 1.54^{a}	28.70 ± 1.51^{a}	73.39 ± 1.36^{b}
KPK80°C	37.70 ± 1.68^{bc}	7.09 ± 0.61^{dc}	25.52 ± 1.56^{bc}	26.49 ± 1.44^{bc}	74.43 ± 1.76^{b}
KPK88°C	37.30 ± 1.59^{c}	6.45 ± 0.19^{d}	23.79 ± 1.42^{dc}	24.65 ± 1.40^{dc}	74.81 ± 0.73^{b}
Taze meyve püresi	32.42 ± 0.47^{d}	3.08 ± 0.35^{e}	23.12 ± 0.51^{d}	23.33 ± 0.55^{d}	82.43 ± 0.72^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Farklı yöntemlerle kurutulan Trabzon hurması pestillerinin renk değerleri incelendiğinde, 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan pestillerin L* değerinin en yüksek olduğu, bu ürünlerin renginin daha parlak ve açık olduğu; 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ve 70°C 'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin L* değerleri ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Ayrıca L* değeri sıfıra yaklaştıkça koyuluk artıp parlaklık azaldığından en koyu renge sahip pestillerin 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemiyle üretilenler olduğu, en açık renkli pestillerin ise 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilebildiği tespit edilmiştir. Genel olarak yöntemlerin değerleri kıyaslandığında sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan pestillerin L*değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Pestiller arasında en yüksek a* değeri, gölgede kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde; en düşük a* değeri ise 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir. 70°C'de sıcak hava kurutma, 80°C'de sıcak hava kurutma ve 88 °C'de sıcak hava kurutma yöntemleri arasında a*değeri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir($p>0.05$).

b* değerlerine bakıldığında en yüksek değer 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan pestillerde, en düşük değer ise 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir. 70°C'de ve 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemleri ve 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin b* değerleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamaktadır($p>0.05$). Yine gölgede kurutma ve 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemleri ile üretilen pestillerin b* değerleri arasında istatistiki anlamda bir farklılık bulunmamaktadır($p>0.05$).

Pestiller arasında en yüksek C değeri 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilende, en düşük C değeri ise 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir. Gölgede kurutma ve 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemleri arasında bu değer bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$). Aynı zamanda 70°C'de ve 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemleri ve 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin C değerleri arasında da istatistiksel anlamda önemli bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Pestillerin h^o değerleri 88°C'de kırınım pencereli kurutma yönteminde elde edilenlerde en yüksek, gölgede kurutma yöntemi ile elde edilenlerde en düşük olarak tespit edilmiştir. Gölgede kurutma hariç istatistiksel olarak diğer 6 uygulama arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin L*, a*, b*, C ve h^o değerleri sıcak hava kurutma yöntemiyle üretilen pestillere göre daha düşük olarak belirlenirken; sıcak hava kurutma yönteminin L*, b*, C ve h^o değerleri gölgede kurutma yöntemine göre artmış, a* azalmıştır.

4.2.6. Tekstür

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin tekstür profil analiz verilerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin tekstür profil analizi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Sertlik (N)	Elastikiyet (Birimsiz)	Çiğnenebilirlik (N·mm)	Esneklik (Birimsiz)
GK	107.44±22.88^{a}	0.64±0.01^{b}	54.63±12.61^{a}	0.40±0.03^{a}
SHK70°C	79.30±28.51^{a}	0.72±0.07^{a}	48.03±22.51^{a}	0.41±0.07^{a}
SHK80°C	73.35±16.71^{a}	0.70±0.09^{ba}	39.37±7.94^{a}	0.38±0.04^{a}
SHK88°C	72.79±15.98^{a}	0.68±0.08^{ba}	47.50±26.93^{a}	0.39±0.05^{a}
KPK70°C	93.74±50.84^{a}	0.71±0.05^{ba}	54.57±34.16^{a}	0.42±0.05^{a}
KPK80°C	78.81±37.48^{a}	0.74±0.05^{a}	48.37±23.88^{a}	0.45±0.02^{a}
KPK88°C	73.29±19.83^{a}	0.76±0.04^{a}	46.27±13.71^{a}	0.48±0.02^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Tez çalışması kapsamında farklı yöntemlerle kurutulan pestillerin yapısal özelliklerinden biri olan sertlik değerleri incelendiğinde en sert ürünün gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan pestil olduğu; en yumuşak pestilin ise 88 °C'de sıcak hava ile kurutularak üretilen pestil olduğu saptanmıştır. Gölgede kurutma yönteminden sonra sertlik açısından kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulan pestiller gelmektedir. En yumuşak olanlar ise sıcak hava ile kurutulanlar olmuştur. Uygulamalar arasında sertlik bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$). Verilerin

değişimleri istatistiksel olarak önemli bulunmamakla birlikte genel olarak kurutma sıcaklığı arttıkça ve uygulama süresi kısaldığından pestillerin sertlik değerlerinde azalma olduğu fark edilmiştir. Bu azalma en çok kırınım pencereli kurutma yönteminde görülmektedir.

Elastikiyet açısından uygulamalar kıyaslandığında en elastik pestillerin, 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulanlar olmuştur. En az elastik olan pestil ise gölgede kurutma yöntemi ile kurutulan olmuştur. 70°C'de sıcak hava kurutma ve 80, 88 °C'de kırınım pencereli kurutma yöntemleri arasında istatistiksel anlamda fark yoktur($p>0.05$). Aynı zamanda 80, 88°C'de sıcak hava kurutma ve 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemleri ile kurutulan pestillerin elastikiyetleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır($p>0.05$). Kırınım pencereli kurutma sırasında sıcaklık arttıkça elastikiyet artmıştır.

Çiğnenebilirlik bakımından inceleme yapıldığında en çiğnenebilir gölgede kurutulan pestiller olurken, en az çiğnenebilir olan pestillerin 80°C'de sıcak havada kurutulan pestiller olduğu saptanmıştır. Ancak pestillerin çiğnenebilirlik değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestiller, sıcak havada üretilen pestillere göre daha yüksek değerlere sahiptir.

Esneklik açısından da uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Elastikiyet değerlerinde olduğu gibi pestillerin kurutma sıcaklığının artmasına bağlı olarak esneklik değerlerinin de arttığı ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak elastikiyet, esneklik ve çiğnenebilirlik bakımından kırınım pencereli kurutma yöntemi daha olumlu sonuçlar vermiştir.

Gökçe (2015) tarafından tepsili kurutucuda farklı parametre kombinasyonlarında üretilen Trabzon hurması pestillerinin sertlik değerleri 13.78-637.21 arasında, elastikiyet değerleri 0.01-0.58 arasında bulunmuştur. Öyken (2025) tarafından üretilen sade ve tohumla zenginleştirilmiş Trabzon hurması pestillerinin elastikiyet değerleri 0.90-0.93 arasında, çiğnenebilirlik değerleri 17.44-28.65 arasında, esneklik değerleri de 0.50-0.58 arasında tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen değerler literatür değerleriyle benzer bulunmuştur.

4.2.7. HMF

Pestillerde toksik özellikler gösteren ve insan sağlığını olumsuz etkileyen HMF (Sapano 2006), ısıl işlem görmüş ürünlerde, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının sonucu olarak ortaya çıkmakta, gıdaların besin değerinde azalmaya, ürünlerde renk ve tat değişimlerine yol açmaktadır (Tontul ve Topuz 2017). Kanserojen etkisi nedeniyle üründe bu bileşiğin miktarı resmi otoritelerce sınırlandırılmaktadır (Koç ve Yolcı Ömeroğlu 2019). Örneğin TSE (Türk Standartları Enstitüsü) Üzüm Pestili Standardı'nda (TS 12680) HMF içeriği en çok 50 mg/kg olarak belirlenmiştir (Anonim

2020). Aynı şekilde Dut Pestili Standardı'nda (TS 12677) HMF içeriği en çok 50 mg/kg olarak belirlenmiştir (Anonim 2000).

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin HMF değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin HMF değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	HMF miktarı(mg/kg)
GK	1.20 ± 0.18^{e}
SHK70°C	5.25 ± 0.17^{c}
SHK80°C	6.41 ± 0.34^{a}
SHK88°C	6.00 ± 0.27^{b}
KPK70°C	5.99 ± 0.29^{b}
KPK80°C	6.10 ± 0.14^{b}
KPK88°C	4.76 ± 0.30^{d}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük HMF değeri gölgede sergen kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde; en yüksek HMF değeri ise 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde belirlenmiş, ancak belirlenen bu HMF değerlerinin tümü yasal sınırların çok altında kalmıştır.

88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ve 70, 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin HMF değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$).

Gölgede kurutma yönteminden sonra en düşük HMF değeri 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir.

70 ve 80°C sıcaklıklarda uygulanan sıcak hava ile kurutma yöntemi ve kırınım pencereli kurutma yöntemlerinde pestillerin HMF değerleri arasında belirgin farklılıklar bulunmazken, 88°C'de sıcak hava ve kırınım pencereli kurutma yöntemleri arasında HMF değerleri bakımından farklılığın arttığı, kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen üründe HMF içeriğinin düştüğü görülmüştür.

Literatürde ürünlerin HMF içeriğinin, pH değeri ile ilişkili olduğu; asitlik arttığı zaman HMF değerinin yükseldiği, pH yükselirse de HMF değerinin azaldığı belirtilmiştir (Batu vd. 2014). Tez çalışması kapsamında gölgede kurutma yöntemi ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin pH değeri en yüksek bulunmuş olup en düşük HMF değeri de yine bu uygulama sonucunda elde edilmiştir. Bu sonuç ile pH değerinin bağlantılı olduğu değerlendirilmektedir.

Literatürde yer alan sınırlı sayıdaki Trabzon hurması pestili çalışmasında HMF değerlendirmesi yapılmadığı görülmüştür. Seymen (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kabin kurutucuda üretilen balkabağı pestili HMF değeri 30.96 mg/kg olarak

tespit edilmiştir. Yalçın (2019) tarafından yapılan çalışmada geleneksel yöntemlerle üretilen dut pestillerinin HMF değeri 1.78-27.36 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen HMF değerlerinin literatür verilerine nazaran daha güvenli aralıkta kaldığı dikkat çekmiştir.

4.2.8. Esmerleşme indeksi

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin esmerleşme indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Esmerleşme İndeksi
GK	22.94 ± 1.48^{a}
SHK70°C	21.00 ± 2.02^{b}
SHK80°C	20.57 ± 0.83^{bc}
SHK88°C	20.49 ± 1.11^{bc}
KPK70°C	21.77 ± 1.23^{ba}
KPK80°C	20.38 ± 1.56^{bc}
KPK88°C	18.88 ± 0.33^{c}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük esmerleşme indeksi ile sonuçlanan kurutma uygulaması 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi; en yüksek esmerleşme indeksi ile sonuçlanan kurutma uygulaması ise gölgede kurutma yöntemi olmuştur.

80, 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ve 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin esmerleşme indeksleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır($p>0.05$).

Sonuç olarak genele bakıldığında istatistiksel olarak kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin, sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillere göre daha az esmerleştiği; sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin de gölgede kurutma yöntemi ile üretilen pestillere göre daha az esmerleştiği sonucu çıkarılmaktadır.

Tontul ve Topuz (2017) tarafından yapılan bir çalışmada nar pestillerinin esmerleşme indeks değerleri 8.90-28.05 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Rodriques vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada salatalık kabuğu pestili ve chayote kabuğu pestili üretilmiş olup bu ürünlerin esmerleşme indeksi renk değerleri üzerinden hesaplanmış ve sonuçların 73.29- 89.30 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Puente vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada altınçilek meyvesi püresi farklı yöntemlerle kurutulmuş olup esmerleşme indeksleri renk değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Dondurarak kurutma, sıcak hava kurutma ve kırınım pencereli kurutma ve infrared kurutma yöntemleri sonucu elde edilen değerler sırasıyla 16.81, 13.08, 12.15 ve 11.06 olarak bulunmuştur. Tez çalışması kapsamında elde edilen esmerleşme endeksi değerleri benzer meyvelerin pestile işlendiği literatürle verileriyle uyumlu bulunmuştur.

4.2.9. Askorbik asit

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin askorbik asit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin askorbik asit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Askorbik asit miktarı (mg/100g KM)
GK	2.22 ± 0.13^{c}
SHK70°C	2.40 ± 0.03^{ba}
SHK80°C	2.16 ± 0.13^{c}
SHK88°C	2.10 ± 0.19^{c}
KPK70°C	2.41 ± 0.04^{ba}
KPK80°C	2.36 ± 0.03^{ba}
KPK88°C	2.37 ± 0.09^{ba}
Taze meyve püresi	2.45 ± 0.06^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük askorbik asit miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi; en yüksek askorbik asit miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması ise 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi olmuştur.

70°C'de sıcak hava ve 70, 80, 88°C'lerde kırınım pencereli kurutma yöntemleri ile üretilen pestillerin askorbik asit miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$). 70°C'de sıcak hava uygulamasında sıcaklık, aynı kategorideki yöntemin diğer sıcaklıklarına göre düşük olduğundan askorbik asit miktarı fazla miktarda düşmemiş olup taze meyve püresinin değerine yakındır.

Aynı zamanda gölgede kurutma, 80 ve 88°C'de sıcak hava kurutma uygulamaları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Sonuç olarak genele bakıldığında, üç sıcaklık değerinde de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin askorbik asit miktarının, taze meyve püresinin askorbik asit miktarına yakın değerler olarak çıktığı tespit edilmiştir.

Gökçe (2015) tarafından yapılan çalışmada tepsili kurutucuda farklı parametrelerde kurutulan Trabzon hurması pestillerinin askorbik asit değerleri 2.15-6.27 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Öyken (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tepsili kurutucuda kurutulan sade ve farklı tohumlarla zenginleştirilmiş Trabzon hurması pestili örneklerinin askorbik asit değerleri 0.09 - 0.17 mg/100 g KM aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Tez çalışması sonucu elde edilen askorbik asit sonuçlarının literatür verileriyle uyumlu olduğu, bazı çalışmalardaki verilerden de nispeten daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

4.2.10. Toplam fenolik madde miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	**Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE / 100 g KM)**
GK	51.41 ± 4.21^{f}
SHK70°C	81.82 ± 5.67^{e}
SHK80°C	80.22 ± 4.62^{e}
SHK88°C	84.01 ± 4.09^{e}
KPK70°C	109.31 ± 3.79^{c}
KPK80°C	104.42 ± 3.45^{d}
KPK88°C	190.99 ± 2.61^{a}
Taze meyve püresi	158.04 ± 2.97^{b}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) ($N=6$). GK: Gölgede kurutma; SHK: Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük toplam fenolik madde miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması gölgede sergen kurutma iken; en yüksek toplam fenolik madde miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi olmuştur. Sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin toplam fenolik madde miktarları, gölgede kurutma yöntemine göre yüksek ancak kırınım pencereli kurutma yöntemine nazaran düşük bulunmuştur.

88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin toplam fenolik madde miktarının 70 ve 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilenlere göre çok az daha yüksek olduğu tespit edilmiş ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Kırınım pencereli kurutma uygulaması ile üretilen pestillerin toplam fenolik madde miktarları kendi içlerinde kıyaslandığında en yüksek değer 88°C'de tespit edilmiştir. Sıcak hava ve kırınım pencereli kurutma yöntemlerinin ikisinde de sıcaklık artışı ile paralel olarak toplam fenolik madde miktarının da arttığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak kırınım pencereli kurutma yöntemi ile pestil üretiminde kullanılan üç sıcaklıkta da tespit edilen toplam fenolik madde miktarları, sıcak hava kurutma ve gölgede kurutma yöntemleri ile üretilen pestillerin değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Öyken (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tepsili kurutucuda kurutulan Trabzon hurması pestillerinden sade pestilin toplam fenolik madde miktarı, 130 mg/ 100 g KM, tohumla zenginleştirilmiş çeşitli Trabzon hurması pestillerinin değeri ise 156-276 mg/ 100 g KM olarak tespit edilmiştir. Tez çalışmasında elde edilen değerler, kuru madde cinsinden 51.41-190.99 mg GAE/ 100 g KM arasında değişmekte olup bu verilerin literatür bulgularıyla uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Suna ve Özkan-Karabacak (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada mikrodalga, vakumda ve sıcak havada dut pestili kurutulmuş olup pestillerin toplam fenolik madde miktarları 134.98-209.14 mg GAE/ 100 g KM olarak belirlenmiştir.

Săpoi vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada kiraz eriği (Myrobalan) pestilleri sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulmuş olup elde edilen ürünün toplam fenolik madde miktarıları ortalaması 135.64 mg GAE/100 g pestil olarak belirlenmiştir. Tez çalışmasında değerler 43.01-168.11 mg GAE/100 g pestil aralığında tespit edilmiş olup değerlerin literatür verileriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.2.11. Antioksidan aktivite

Antioksidan aktivite bakımından zengin gıdaların tüketimi sağlığa fayda sağlamaktadır. Bu tarz gıdalar fazla tüketildiği zaman, hastalıkların görülme sıklığı azalmaktadır. Antioksidan kapasiteye sahip bazı mikro besinler ve ikincil metabolitler fenolik bileşikler, suda ve yağda çözünen vitaminler, karotenoidler ve fitokimyasallardır. Trabzon hurması, C vitamini gibi suda çözünen vitaminler, başta tanenler olmak üzere fenolik bileşikler, karotenoidler bakımından zengin olması sebebiyle antioksidan kapasitesi yüksek bir meyvedir (Kondo vd. 2004).

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Antioksidan aktivite (mg TE/100 g KM)
GK	817.55±51.28^{g}
SHK70°C	983.00±38.07^{e}
SHK80°C	986.24±24.10^{ed}
SHK88°C	1035.95±65.33^{d}
KPK70°C	1361.29±61.93^{b}
KPK80°C	1147.08±18.24^{c}
KPK88°C	1554.47±34.55^{a}
Taze meyve püresi	899.17±18.25^{f}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK: Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük antioksidan aktivite değeri ile sonuçlanan kurutma uygulaması gölgede sergen kurutma iken; en yüksek antioksidan aktivite değeri ile sonuçlanan kurutma uygulaması 88°C'de kırınım pencereli kurutma uygulamasıdır.

Sıcak hava kurutma yönteminde uygulanan üç sıcaklık değeri, kendi içlerinde kıyaslandığında en yüksek antioksidan aktivite değeri 88°C'de gerçekleşmiştir.

Kırınım pencereli kurutma yönteminde uygulanan üç uygulama kendi içlerinde kıyaslandığında en yüksek antioksidan aktivite değeri 88°C'de gerçekleşmiştir. Bu iki sonuca göre sıcaklık arttıkça antioksidan aktivite değerinin artmakta olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Gölgede kurutma uygulaması hariç diğer uygulamalarda antioksidan aktivite değeri, taze meyve püresinin antioksidan aktivite değerine göre yükselmiştir.

Sonuç olarak kırınım pencereli kurutma yöntemi ile pestil üretiminde kullanılan üç sıcaklıkta da belirlenen antioksidan aktivite değerleri, sıcak hava kurutma ve gölgede kurutma yöntemleri ile üretilen pestillerin değerlerine göre daha yüksek olup bu ürünler antioksidan aktivite bakımından üstünlük göstermiştir.

Kamiloğlu ve Çapanoğlu (2014) tarafından yapılan çalışmada erik pestilinin antioksidan aktivite değeri 754.85 mg TE/100 g KM olarak belirlenmiştir. Tontul and Topuz (2017) tarafından yapılan çalışmada nar pestili antioksidan aktivite değerleri 1240-2000 mg TE/100 g KM olarak tespit edilmiştir. Tez çalışmasında elde edilen değerler literatür verileriyle uyumludur.

4.2.12. Toplam karotenoid miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam karotenoid miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.13' de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestilleri ve taze meyve püresinin toplam karotenoid miktarlarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Toplam Karotenoid Miktarı (mg ß karoten/100 g KM)
GK	0.68 ± 0.01^{b}
SHK70°C	0.71 ± 0.02^{b}
SHK80°C	0.73 ± 0.06^{b}
SHK88°C	0.90 ± 0.02^{b}
KPK70°C	0.91 ± 0.05^{b}
KPK80°C	0.95 ± 0.05^{b}
KPK88°C	0.94 ± 0.03^{b}
Taze meyve püresi	24.13 ± 1.36^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK: Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Pestil örneklerinde en düşük toplam karotenoid miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması gölgede sergen kurutma iken; en yüksek toplam karotenoid miktarı ile sonuçlanan kurutma uygulaması, 80°C'de kırınım pencereli kurutma uygulamasıdır.

Taze meyve püresi ve 7 farklı kurutma yöntemi ile üretilmiş Trabzon hurması pestillerinin toplam karotenoid miktarları arasında çok fazla fark oluşmuştur. Genel olarak meyve püresinin kuru madde bazlı karotenoid miktarına nazaran kurutulan pestillerde belirlenen çok düşük karotenoid miktarları, uygulanan kurutma proseslerinin tümünün oldukça yüksek düzeyde karotenoid kaybına yol açtığını göstermiştir. Kurutmalar kendi içinde karşılaştırıldığında, sıcaklık ve ortam koşullarının da toplam karotenoid miktarındaki değişimlerle ilişkili olduğunu göstermiştir.

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin toplam karotenoid miktarları, sıcak hava kurutma uygulaması ile üretilen pestillerin değerlerinden; sıcak hava kurutma uygulaması ile üretilen pestillerin değerleri de gölgede kurutma uygulaması ile üretilen pestillerin değerlerinden görece fazla çıkmıştır. Bu açıdan kırınım pencereli kurutma yöntemi, diğer yöntemlere göre miktarsal üstünlük göstermiştir. Ancak uygulamalar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Mohamed (2018) tarafından yapılan çalışmada mango katkılı Trabzon hurması mikrodalga kurutucuda üretilmiş olup pestillerin toplam karotenoid değerleri nişastasız

üretilenlerde 0.414 mg/100 g KM, nişasta ile üretilenlerde 0.554 mg/100 g KM olarak tespit edilmiştir. Öyken (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada üretilen sade ve tohumlarla zenginleştirilmiş farklı Trabzon hurması pestillerinin toplam karotenoid miktarları 0.21-0.33 mg/100g KM olarak tespit edilmiştir. Literatür verileri incelendiğinde tez kapsamında elde edilen karotenoid değerleri ile uyumlu oldukları tespit edilmiştir.

4.2.13. Duyusal analiz

Farklı kurutma yöntemleriyle üretilen Trabzon hurması pestillerinin duyusal analizi parlaklık, renk, tat/aroma, sertlik, çiğnenebilirlik ve genel beğeni parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre genel beğeni bakımından istatistiksel anlamda örnekler arasında fark bulunmazken; en çok tercih edilen örnek, 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olmuştur. Şekil 4.1'de panelistlere duyusal analiz için sunulan örnek tabak yer almaktadır.



Şekil 4.1. Duyusal analiz sırasında panelistlere sunulan örnek bir tabak görüntüsü

Çizelge 4.14. Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin duyusal analizlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Uygulama	Parlaklık	Renk	Tat/Aroma	Sertlik	Çiğnenebilirlik	Genel Beğeni
GK	5.30±2.83^{b}	7.10±2.08^{ba}	4.90±2.33^{a}	5.80±2.62^{a}	6.50±2.37^{ba}	6.10±1.91^{a}
SHK70°C	5.80±1.87^{b}	6.50±1.18^{b}	5.90±1.52^{a}	6.10±1.85^{a}	7.10±1.66^{a}	5.90±1.85^{a}
SHK80°C	5.20±2.25^{b}	6.40±1.51^{b}	5.70±1.83^{a}	6.20±2.04^{a}	7.00±2.00^{a}	6.30±1.57^{a}
SHK88°C	5.70±2.06^{b}	6.40±1.58^{b}	6.30±1.57^{a}	6.50±0.71^{a}	6.60±0.70^{ba}	6.20±1.55^{a}
KPK70°C	5.80±2.04^{b}	5.80±1.55^{b}	5.00±1.56^{a}	5.80±2.53^{a}	5.20±1.81^{b}	5.70±1.89^{a}
KPK80°C	5.80±1.81^{b}	6.20±1.48^{b}	5.60±1.78^{a}	5.20±1.81^{a}	5.10±1.85^{b}	5.80±1.81^{a}
KPK88°C	8.40±0.84^{a}	8.10±0.57^{a}	5.90±1.85^{a}	5.80±1.75^{a}	5.70±1.64^{ba}	6.60±2.12^{a}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üstel küçük harfler, uygulama ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklılık olduğunu ifade eder ($P<0.05$) (N=6). GK: Gölgede kurutma; SHK: Sıcak hava kurutma; KPK: Kırınım pencereli kurutma

Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen Trabzon hurması pestillerinin duyusal analizlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Pestil örnekleri parlaklık bakımdan kıyaslandığında panelistler tarafından en parlak bulunan örneğin 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olduğu; en mat bulunanın ise 80°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestil olduğu tespit edilmiştir. İstatiksel olarak değerlendirildiği zaman 88°C'de kırınım pencereli kurutma dışındaki uygulamalar sonucu elde edilen pestil örneklerinin parlaklıkları arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Pestil örnekleri renk açısından incelendiğinde, panelistler tarafından rengi en iyi bulunan örneğin yine 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olduğu; rengi en az beğenilen örneğin ise 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde 70,80,88 °C'de sıcak hava kurutma ve 70, 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemleri arasında renk bakımından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır($p>0.05$).

Tat/aroma bakımından pestiller panelistlerce değerlendirildiğinde en beğenilen 88°C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestil olurken; en az tercih edilen ise gölgede kurutma yöntemi ile üretilen pestil olmuştur. İstatistiki anlamda pestil örnekleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır($p>0.05$).

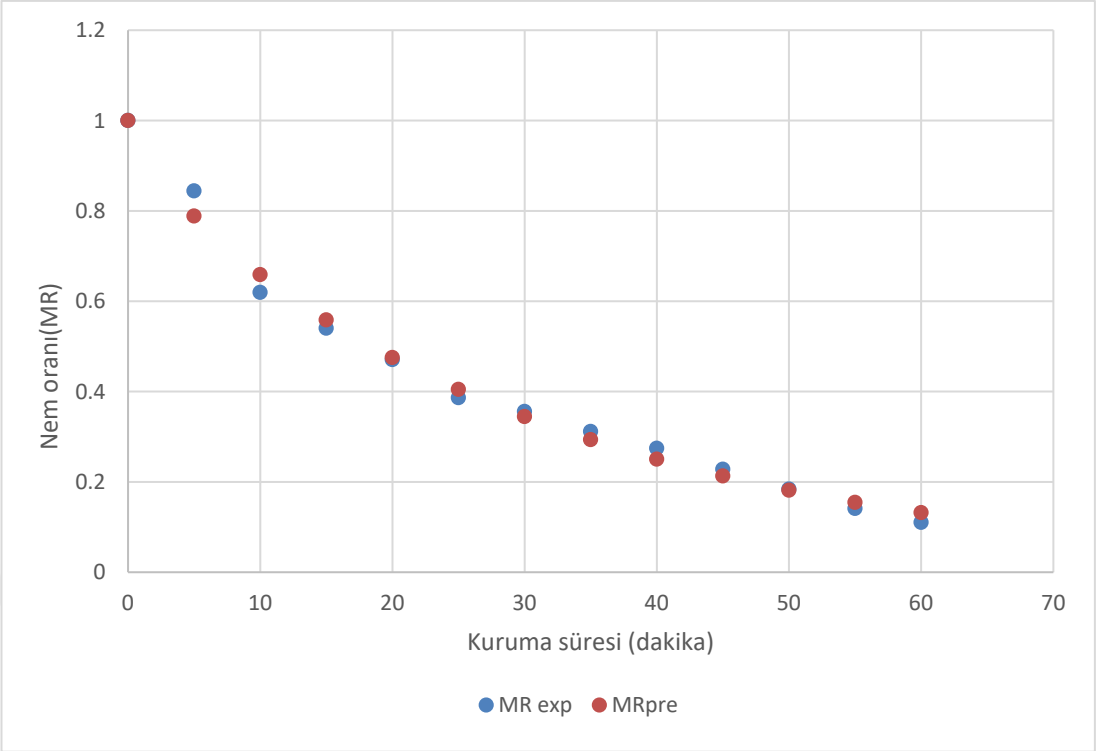
Pestil örnekleri panelistler tarafından sertlik bakımından değerlendirildiğinde, 88 °C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestilin en sert olduğu; 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile kurutulan pestilin ise en yumuşak olduğu sonucuna varılmaktadır. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde ise uygulamalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$).

Çiğnenebilirlik açısından pestiller panelistlerce değerlendirildiğinde, 70 °C'de sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestil en çiğnenebilir bulunmuş en az çiğnenebilir olan ise 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olmuştur. 70 ve 80°C'de sıcak hava kurutma arasında; 70 ve 80°C'de kırınım pencereli kurutma arasında; gölgede kurutma ve 88°C'de sıcak hava ve kırınım pencereli kurutma arasında çiğnenebilirlik bakımından istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$).

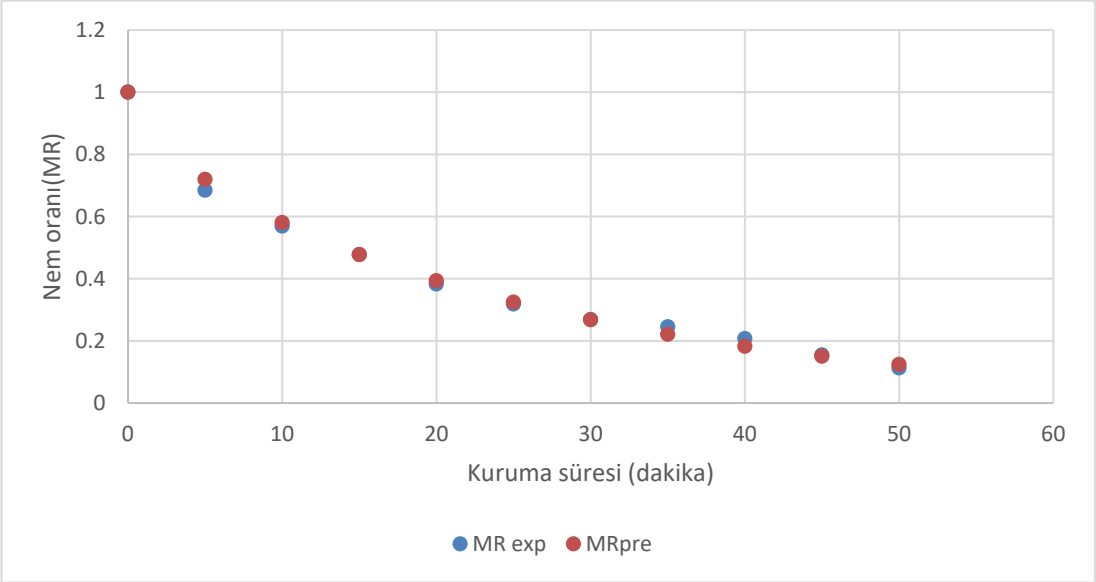
Bütün uygulamalar duyusal olarak altı farklı parametre üzerinden birlikte değerlendirildiğinde, 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin diğerlerine nazaran beğenisinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

4.2.14. Kurutma kinetiği ve modelleme

Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile 3.5 mm serme kalınlığı, 70°C sirkülasyon suyu sıcaklığı kullanılarak kurutulan Trabzon hurması herlesinin, kuruma zamanına bağlı nem oranı değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.

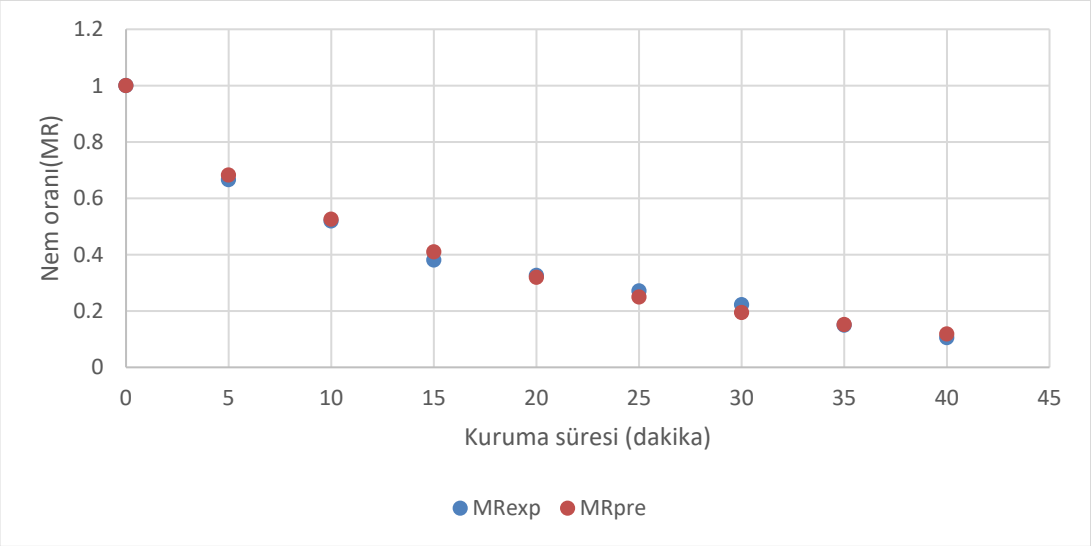


Şekil 4.2. Kırınım pencereli kurutma cihazında 70°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi



Şekil 4.3. Kırınım pencereli kurutma cihazında 80°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi

Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile 3.5 mm serme kalınlığı, 80°C sirkülasyon suyu sıcaklığı kullanılarak kurutulan Trabzon hurması herlesinin, kuruma zamanına bağlı nem oranı değişimi Şekil 4.3'te yer almaktadır.



Şekil 4.4. Kırınım pencereli kurutma cihazında 88°C'de kurutulan Trabzon hurması pestilinin zamana bağlı nem oranı değişimi

Kırınım pencereli kurutma yöntemi ile 3.5 mm serme kalınlığı, 88°C sirkülasyon suyu sıcaklığı kullanılarak kurutulan Trabzon hurması herlesinin, kuruma zamanına bağlı nem oranı değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.

Üç sıcaklık değerindeki kurutmalar sırasında, kurumakta olan Trabzon hurması püresinden beşer dakika aralıklarla örnekler alınmış olup bu örneklerin nem oranları belirlenmiştir. Bu değerlerden zamana bağlı nem oranı grafikleri elde edilmiş ve ürünlerin kuruma davranışları tespit edilmiştir. Bu zamana göre değişen nem oranı değerlerinin, Çizelge 3.2'de verilmiş olan 18 adet matematiksel modele uygunluğu denenerek; Trabzon hurması pestilinin 70, 80, 88°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kırınım pencereli kurutma cihazında kurutulmasına özgü en uygun kurutma modeli belirlenmiştir (Çizelge 4.15; Çizelge 4.16; Çizelge 4.17).

Matematiksel modellerin uygunluğu düzeltilmiş R^2, ki-kare (X^2) ve tahmini standart hata (RMSE) değerleri kullanılarak test edilmiştir. En uygun model olarak, en yüksek düzeltilmiş R^2 ile en düşük X^2 ve RMSE değerlerine sahip model belirlenmiştir.

Çizelge 4.15'e göre 70°C'de kırınım pencereli kurutma sistemi için değerlendirilen modeller arasında Two Term Exponential ve Diffusion Approximation modellerinin düzeltilmiş R^2 ve R^2 değerleri yüksek bulunmuş olup en düşük RMSE değeri de Diffusion Approximation modelinde tespit edilmiştir. Buna göre kurutma davranışını en iyi yansıtan modelin Diffusion Approximation modeli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. 70°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu

Model Adı	RMSE	X^2	R^2	$R^2_{düzeltilmiş}$
Newton	0.030888	0.001034	0.988702	0.984936
Henderson ve Pabis	0.183261	0.039690	0.939434	0.919245
Logarithmic	0.174401	0.039540	0.950099	0.933466
Two Term	0.052893	0.004041	0.972577	0.963436
Modified Two Term I	0.050128	0.003267	0.971839	0.962452
Modified Two Term III	0.073988	0.007116	0.986407	0.981876
Modified Two Term V	0.043243	0.002431	0.981661	0.975548
Two Term Exponential	0.023631	0.000660	0.991847	0.989130
Diffusion Approximation	0.023600	0.000724	0.991839	0.989119
Verma	0.043243	0.002431	0.981661	0.975548
Modified Henderson ve Pabis I	0.052991	0.005215	0.972855	0.963807
Modified Henderson ve Pabis II	0.084606	0.015510	0.927935	0.903913
Jena Das	0.211543	0.064640	0.938198	0.917598
Noomhorm ve Verma	0.051930	0.004382	0.971399	0.961866
Hasibuan ve Daud	0.030974	0.001386	0.986017	0.981356
Henderson ve Henderson I	0.193321	0.044168	0.966130	0.954839
Henderson ve Henderson II	0.207500	0.050885	0.965149	0.953532
Asymptotic	0.174401	0.039540	0.950099	0.933466

Çizelge 4.16'ya göre 80°C'de kırınım pencereli kurutma sistemi için değerlendirilen modeller arasında Two Term Exponential ve Diffusion Approximation modellerinin düzeltilmiş R^2 ve R^2 değerleri yüksek bulunmuş olup en düşük $\chi 2$ ve RMSE değeri Diffusion Approximation modelinde tespit edilmiştir. Buna göre kurutma davranışını en iyi yansıtan modelin Diffusion Approximation modeli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. 80°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu

Model Adı	RMSE	X^2	R^2	$R^2_{düzeltilmiş}$
Newton	0.045060	0.002233	0.983495	0.976422
Henderson ve Pabis	0.178147	0.038789	0.917149	0.881641
Logarithmic	0.168238	0.038918	0.931041	0.901487
Two Term	0.047580	0.003558	0.978315	0.969022
Modified Two Term I	0.041228	0.002337	0.975582	0.965117
Modified Two Term III	0.072768	0.007281	0.989825	0.985464

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.16'nın devamı.

Modified Two Term V	0.035367	0.001720	0.982296	0.974709
Two Term Exponential	0.025388	0.000788	0.993641	0.990916
Diffusion Approximation	0.016049	0.000354	0.996812	0.995445
Verma	0.035367	0.001720	0.982296	0.974709
Modified Henderson ve Pabis I	0.047002	0.004860	0.978652	0.969503
Modified Henderson ve Pabis II	0.072975	0.014645	0.949060	0.927230
Noomhorm ve Verma	0.045387	0.003777	0.977675	0.968108
Hasibuan ve Daud	0.043110	0.002920	0.984345	0.977636
Henderson ve Henderson I	0.186652	0.042581	0.949891	0.928416
Henderson ve Henderson II	0.201181	0.049468	0.948666	0.926665
Asymptotic	0.168238	0.038918	0.931041	0.901487

Çizelge 4.17. 88°C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin kurumasının farklı kurutma modellerine uygunluğu

Model Adı	**RMSE**	X^2	R^2	$R^2_{düzeltilmiş}$
Newton	0.039140	0.001723	0.986548	0.978476
Logarithmic	0.172054	0.044404	0.937686	0.900298
Two Term	0.051252	0.004728	0.981307	0.970091
Modified Two Term I	0.034137	0.001748	0.984757	0.975612
Modified Two Term III	0.078289	0.009194	0.991314	0.986102
Modified Two Term V	0.030688	0.001413	0.987644	0.980230
Two Term Exponential	0.022033	0.000624	0.994602	0.991363
Diffusion Approximation	0.016990	0.000434	0.996282	0.994052
Verma	0.030688	0.001413	0.987644	0.980230
Modified Henderson ve Pabis I	0.050433	0.007631	0.980935	0.969496
Modified Henderson ve Pabis II	0.077168	0.026797	0.951350	0.922159
Noomhorm ve Verma	0.046694	0.004906	0.981379	0.970207
Hasibuan ve Daud	0.050927	0.004668	0.979191	0.966705
Henderson ve Henderson I	0.192889	0.047837	0.956076	0.929722
Henderson ve Henderson II	0.210956	0.057217	0.955688	0.929101
Asymptotic	0.172054	0.044404	0.937686	0.900298

Çizelge 4.17'ye göre 88°C'de kırınım pencereli kurutma sistemi için değerlendirilen modeller arasında Two Term Exponential ve Diffusion Approximation modellerinin düzeltilmiş R^2 ve R^2 değerleri yüksek bulunmuş olup en düşük $\chi 2$ ve RMSE değeri Diffusion Approximation modelinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de yer alan değerlere göre 3 farklı koşulda üretilen pestillerin kurutulmasını en iyi ifade eden modelin Diffusion Approximation modeli olduğu belirlenmiştir.

70, 80 ve 88 °C'de kırınım pencereli kurutma işlemleri sırasında Trabzon hurması pestilinin kurutulmasını en iyi modelleyen Diffusion Approximation modellerinin katsayıları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Çizelge 4.17 incelendiğinde, sıcaklık arttıkça k katsayısının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.18. Farklı şartlarda kurutulmuş pestillere ait Diffusion Approximation model katsayıları

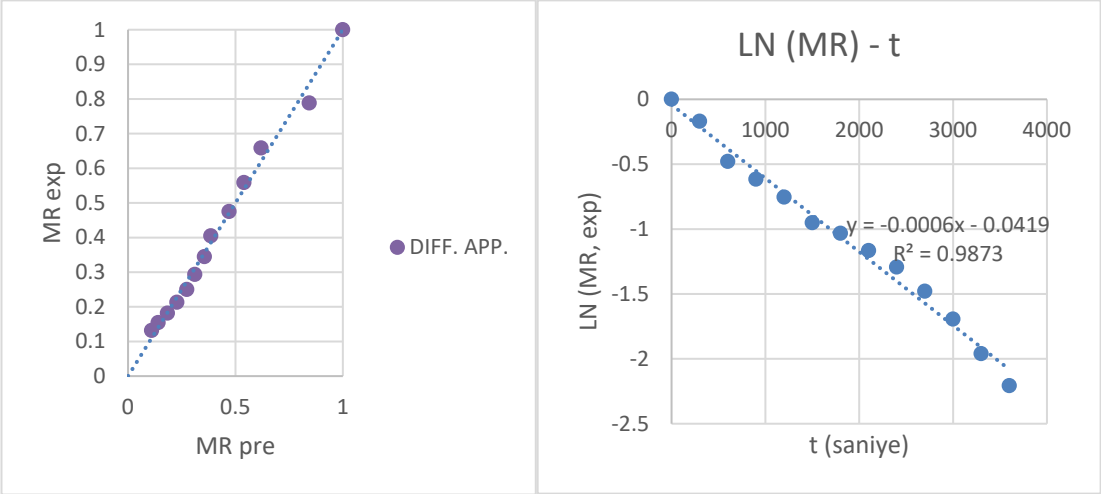
Uygulama	k	a	b
KPK 70°C	0.3193	0.0978	0.1005
KPK 80°C	0.4134	0.1511	0.0930
KPK 88°C	0.5219	0.1381	0.0950

KPK: Kırınım pencereli kurutma k: kurutma sabiti; a, b: model katsayıları

4.2.14.1. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması

MR değerlerinin doğal logaritmalarının zamana karşı grafik edilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi (K) Eşitlik 4.1'e eşittir. Bu eşitlik efektif difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır (Yılmaz vd. 2015).

$$K = \frac{\Pi^2 Deff}{4L^2} \quad (4.1)$$



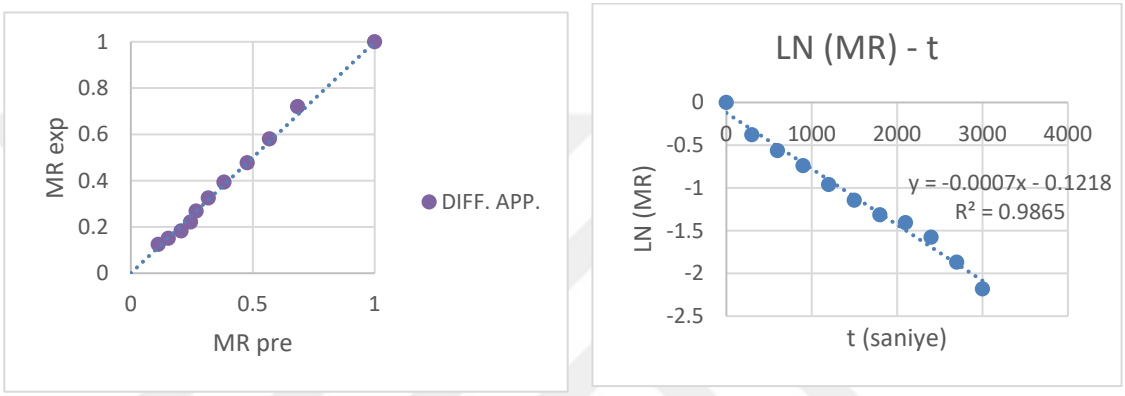
Şekil 4.5. 70 C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği

Bu eşitliğin dönüştürülmüş halleri Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3 'de yer almaktadır.

$$Eğim = -\frac{\Pi^2 Deff}{4L^2} \quad (4.2)$$

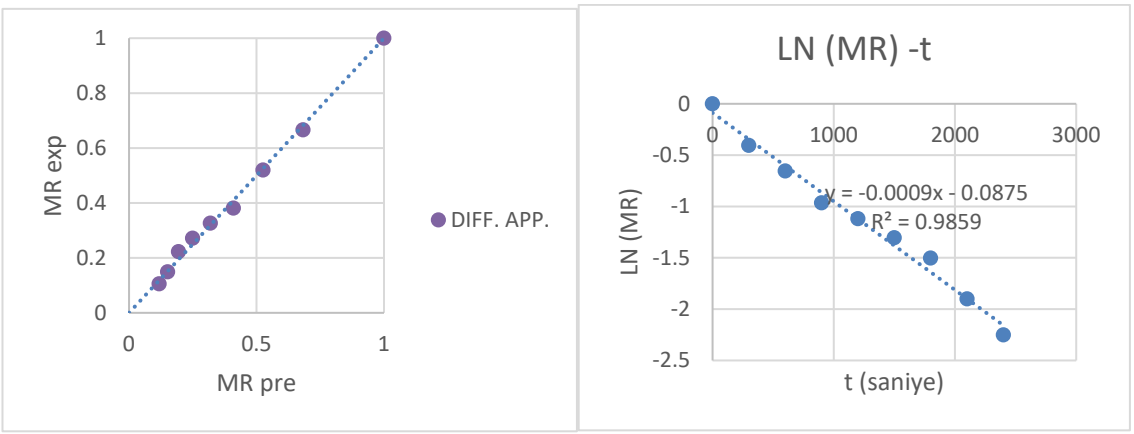
$$Deff = -\frac{4L^2}{\Pi^2} \times eğim \quad (4.3)$$

Bu eşitliklere ve grafiğe göre yapılan hesaplama sonucu 70 °C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin Diffusion Approximation modeline göre efektif difüzyon katsayısı $7.08*10^{-10}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. 80 C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği

Bu eşitliklere ve grafiğe göre yapılan hesaplama sonucu 80 °C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin Diffusion Approximation modeline göre efektif difüzyon katsayısı $8.07*10^{-10}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. 88 °C'de kırınım pencereli kurutma yönteminin Diffusion Approximation modeline göre MR değerlerinin ve logaritmalarının zamana bağlı değişim grafiği

Bu eşitliklere ve grafiğe göre yapılan hesaplama sonucu 88 °C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerin Diffusion Approximation modeline göre efektif difüzyon katsayısı $10.68*10^{-10}$ olarak tespit edilmiştir.

Pestillerin efektif difüzyon katsayıları kırınım pencereli kurutma sisteminde 70, 80, 88 °C'lerde sırasıyla $7.08*10^{-10}$, $8.07*10^{-10}$, $10.68*10^{-10}$ m^2/s olarak belirlenmiş olup efektif difüzyon katsayısının sirkülasyon suyu sıcaklığı arttıkça arttığı tespit edilmiştir.

Gupta ve Alam (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada farklı sıcaklıklarda kurutulan üzüm pestillerinin efektif difüzyon katsayıları $3.96*10^{-10}$-$6.45*10^{-10}$ m^2/s aralığında tespit edilmiştir. Mahjoorian vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada gıda ürünlerinin efektif difüzyon katsayılarının 10^{-8} ile 10^{-12} arasında değişebileceği bildirilmiştir. Demiray ve Tülek (2017), 55-75°C'de sıcak hava kurutucuda Trabzon hurması kurutmuşlar ve efektif difüzyon katsayılarını $7.755*10^{-10}$ ve $10.395*10^{-10}$ arasında tespit etmişlerdir. Tez çalışması kapsamında elde edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri literatür verileriyle uyumlu bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, Trabzon hurması pestili gölgede kurutma, 70, 80, 88 °C'de sıcak hava kurutma, 70, 80, 88 °C'de kırınım pencereli kurutma ve gölgede kurutma olmak üzere yedi farklı kurutma yöntemi ile kurutulmuş ve elde edilen ürünlerin fizikokimyasal özellikleri kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kırınım pencereli kurutma yöntemi, Trabzon hurması pestili kurutmak için ilk defa denenmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen kurutmalarda Trabzon hurması pestili herlesinin kuruma süresi, kırınım pencereli kurutma sistemi için 70°C'de 60 dakika, 80°C'de 50 dakika ve 88°C'de 40 dakika iken, sıcak hava kurutma yönteminde 70°C'de 90 dakika, 80°C'de 75 dakika ve 88°C'de 70 dakika; geleneksel kurutma yönteminde ise 24 saat ile 48 saat arasında hava koşullarına göre değişen süreler tespit edilmiştir. Kurutma sürelerine bakıldığı zaman, kırınım pencereli kurutma yönteminde kuruma süresi büyük ölçüde azalmaktadır.

Üretilen Trabzon hurması pestillerinin nem değerlerinin, yedi farklı uygulamadan gölgede kurutma uygulaması hariç diğer kurutma yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Gölgede kurutma sırasında ise kontrol edilebilirlik düşük olduğu için ürünlerin fazla kuruduğu, nem oranlarının çok düşük seviyelere indiği belirlenmiştir.

Örneklerin pH değerlerine bakıldığında en yüksek değerler gölgede kurutmada, daha sonra sıcak hava ile üretilen pestillerde, en düşük değerler ise kırınım pencereli kurutma sistemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiş olup uygulamalar sırasında sıcaklık arttıkça pH düşmüştür.

Trabzon hurması pestillerinin renk değerleri incelendiğinde, en yüksek L* değerinin sıcak hava kurutma yöntemi ile elde edilen ürünlere ait olduğu, en yüksek a* değerinin gölgede kurutma yöntemi ile üretilen pestillere ait olduğu, en yüksek b* ve C değerlerinin ise genel olarak sıcak hava kurutma yöntemi ile üretilen pestillere ait olduğu tespit edilmiştir. Gölgede kurutma yönteminin hue açısı en düşük bulunmuş olup diğer uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

Üretilen pestiller tekstürel açıdan değerlendirildiğinde elastikiyet, esneklik ve çiğnenebilirlik bakımından kırınım pencereli kurutma yöntemi daha olumlu sonuçlar vermiş görünmekle birlikte bu parametreler ve sertlik parametresi bakımından genel olarak örnekler arasında istatistiksel önemli bir farklılık tespit edilmemiştir.

Üç yöntemle ve uygulanan tüm sıcaklıklarda elde edilen pestillerin HMF içeriği, standart limitlerinin çok altında belirlenmiş olup bu bakımdan en olumlu sonuç gölgede kurutma yönteminde, daha sonra kırınım pencereli kurutma ve sonuncu olarak ise sıcak hava yönteminde ortaya çıkmıştır.

Renk değerleri üzerinden hesaplanan esmerleşme indeksi değerleri arasında en yüksek değer gölgede kurutma yönteminde tespit edilirken, en düşük değerler kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestillerde ortaya çıkmıştır.

En yüksek askorbik asit, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde miktarı ve toplam karotenoid miktarı kırınım pencereli kurutma sistemi ile üretilen pestillerde tespit edilmiştir.

Üretilen pestiller duyusal açıdan değerlendirildiği zaman, en beğenilen ürün 88 °C'de kırınım pencereli kurutma yöntemi ile üretilen pestil olmuştur.

70, 80 ve 88 °C'de kırınım pencereli kurutma sisteminde üretilen pestillerin kurutulmasını en iyi ifade eden matematiksel modelin Diffusion Approximation modeli olduğu belirlenmiştir.

Pestillerin efektif difüzyon katsayıları kırınım pencereli kurutma sisteminde 70, 80, 88 °C'lerde sırasıyla $7.08*10^{-10}$, $8.07*10^{-10}$, $10.68*10^{-10}$ m^2/s olarak belirlenmiş olup efektif difüzyon katsayısının sirkülasyon suyu sıcaklığı arttıkça arttığı tespit edilmiştir.

Genel olarak bakıldığı zaman kırınım pencereli kurutma sistemi ile Trabzon hurması pestili üretiminin, biyoaktif bileşenleri koruma, esmerleşmenin engellenmesi, düşük HMF değeri eldesi gibi sonuçlarına bakıldığında avantajlı ve uygulanabilir bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bu sistemde kurutulan ürünler, gölgede ve sıcak hava ile kurutulan ürünlere göre daha kısa sürede kurumakta olup sistemde kullanılan su da kendi içinde sirkülasyon halinde olduğundan diğer kurutma uygulamalarına göre enerji maliyetleri daha az olmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Akgün, M., Kara, Ş. M. 2023. Fesleğen (Ocimum basilicum L.)'de Zamana Bağlı Kütle Kayıpları Üzerine Kurutma Metotlarının Etkisi. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences / Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, *38*(3), 657–666.

Alam, M. H., Ahmad, M. H., Imran, M., Rehman, M. U., Khan, M. I., Khan, M. K., Khalid, W., Alharbi, S. A., Aljawdah, H. M., & Madilo, F. K. 2025. Production of Stevia-Based Persimmon Fruit Leather by Microwave Oven and Its Optimization With Response Surface Methodolog. *Food science & nutrition*, *13*(2), e70036.

Alaei, B., Dibagar, N., Chayjan, R. A., Kaveh, M., Taghinezhad, E. 2018. The effect of short and medium infrared radiation on some drying and quality characteristics of quince slices under vacuum condition. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 10*(4), 371–381.

Alibas, I., Ziya, M. P., Yılmaz, A., Aşık, B.B. 2020. Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (Mallus communis L. var. "Granny Smith") used in herbal tea production. Journal of Food Processing and Preservation, 44(2).

Anonim 1. 2000. TS 12677, Dut Pestili Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim 2. http://www.havaturkiye.com [Son erişim tarihi: 20.12.2025].

Anonim 3. 2020. TS 12680, Üzüm Pestili Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Babu, A. K., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., Velraj, R. 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90*, 536–556.

Baltacıoğlu, H., Artık, N. 2013. Study of postharvest changes in the chemical composition of persimmon by HPLC. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Vol.37 No. 5, 568-574.

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.

Bonazzi, C., Dumoulin, E. 2011. Quality changes in food materials as influenced by drying processes. Modern Drying Technology, 3: Product Quality and Formulation, First Edition. Edited by Tsotsas E., Mujumdar, A.S. Wiley-VCH Verlag GmbH&C.

Bourne, M.C. 1978. Texture Profile Analysis. Food Technology, 32, 62-66, 72.

Boz, H. 2012. Dut Pestilinin Kimyasal, Dokusal ve Duyusal Özelliklerine Buğday Unu, Sakkaroz Şurubu, Glikoz Şurubu ve Pişirme Süresinin Etkileri. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum. 175 s.

Bölek, S., Obuz, E. 2014. Quality characters of Trabzon persimmon dried at several temperatures and pretreated by different methods. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38: 242-249.

Castillo, M., Pons-Gómez, A., Albert-Sidro, C., Delpozo, B., & Besada, C. 2023. Acceptance, Sensory Characterization and Consumption Contexts for Dehydrated Persimmon Slices, Chips, Leathers and Powder: A Consumer Study. *Foods*, *12*(10), 1966.

Cemeroğlu B, Özkan M. 2004. Kurutma teknolojisi, meyve sebze işleme teknolojisi, 2.cilt. Bizim Büro Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2: 479-613.

Choi. S. M., Lee. D.-J., Kim. J.Y., Lim. S.T. 2017. Volatile composition and sensory characteristics of onion powders prepared by convective drying. *Food chemistry*. 231: 386-392.

Chowdhury, M.M.I., Bala, B.K., Haque, M.A. 2010. Mathematical modeling of thin-layer drying of jackfruit leather. *Journal of Food Processing and Preservation,* 35(6), 797-805.

Chung, H.S., Kim, D.H., Kim, H.S., Lee, Y.G., Seong, J.H., Youn, K.S. and Moon, K.D. 2017. Quality comparison of dried slices processed from whole persimmons treated with different deastringency methods. Food science and biotechnology, 26(2), pp.401-407.

Clarke, P. 2004. Refractance window™- "Down under". In Drying–procedings of the 14th international drying symposium (IDS 2004) (pp. 22–25). Sao Paulo: Brazil.

Çağındı, Ö., Otles, S. 2005. Comparison of Some Properties on the Different Types of Pestil: a Traditional Product in Turkey, International Journal of Food Science an Technology, 40, 897-9.

Çelen, S. 2019. Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of Trabzon persimmon. Foods. 8(2): 84.

Çelik A, Erçişli S. 2008. "Persimmon cv. Hachiya (*Diospyros kaki Thunb*.) Fruit: Some Physical, Chemical and Nutritional Properties" International Journal Of Food Sciences And Nutrition, 59 (7-8), 599-606.

Demiray, E., Tülek, Y. 2017. The effect of pretreatments on air drying characteristics ofpersimmons*. Heat and Mass Transfer,* 53, 99−106.

Doseděl, M., Jirkovský, E., Macáková, K., Krčmová, L., Javorská, L., Pourová, J. et al. 2021. Vitamin C—Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination. Nutrients, 13 (2), 615.

Dursun, D., Dalgıç, A.C. 2018. Production and preference mapping of persimmon fruit leather: An optimization study by Box–Behnken. Journal of Food Process Engineering, 41(8), e12899.

Dursun Saydam, D. 2025. Convective Drying Behavior and Mass Diffusivity Modeling of Persimmon Fruit Leather with Comparative Computer Methodologies. Akademik Gıda, 23(1), 28-36.

Ekşi A., Artık, N. 1984. Pestil işleme tekniği ve kimyasal bileşimi. *Gıda, 9*(5), 263.

Ertekin, C., Fırat, M. Z. 2017. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(4), 701–717.

FAO. 2023. Food and Agriculture Organization, FAOSTAT, (https://www.fao.org/faostat/en/#data), (Erişim tarihi: 20.10.2023)

Fernández-León, M. F., Fernández-León, A. M., Lozano, M., Ayuso, M. C., Amodio, M. L., Colelli, G., González-Gómez, D. 2013. Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon'stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*, *31*(2), 302-313.

Flores, N.C. Davies, C. 2016. *Master Food Preservers Curriculum*. Las Cruces, NM; Cooperative Extension Service, New Mexico State University.

Fu, Li. 2011. Xu, B.T.; Xu, X.R.; Gan, R.Y.; Zhang, Y.; Xia, E.Q.; Li, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chem*, *129*, 345–350.

Gebeyehu, S. K., Asemu, A. M., Haile, A. S., & Kassa, M. G. 2025. Influence of temperature and mango pulp thickness on the performance of batch window refractance dryer. *Applied Food Research*, *5*(1).

Gökçe, E. 2015. The Effects of Different Drying Parameters on the Persimmon Pestil Quality. M.Sc. Thesis, University of Gaziantep Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gaziantep, Turkey.75 p.

González, C. M., Hernando, I., Moraga, G. 2021b. In vitro and in vivo digestion of persimmon and derived products: A review. *Foods, 10*(12), 3083.

Gupta, K., Alam, M.S. 2014. Modeling of thin layer drying kinetics of grape juice concentrate and quality assessment of developed grape leather, *E-j. – CIGR,* 16(2): 196-207.

Kamiloglu, S., Capanoglu, E. 2014**.** In vitro gastrointestinal digestion of polyphenols from different molasses (pekmez) and leather (pestil) varieties. Int. J. Food Sci. Technol., 49, 1027‑1039.

Kalse, S., Jain, S., Swami, S. *et al.*2025 A Comprehensive Review of Mechanisms, Heat Transfer Dynamics and the Hybrid Approach of Refractance Window™ Drying. *Food Eng Rev* 17, 319–343.

Kara, O. O., Küçüköner, E. 2019. Geleneksel bir meyve çerezi: Pestil. *Akademik Gıda, 260-268*.

Karaaslan, S. 2012. Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 7* (2), 123–129.

Karhan M, Artık N, Özdemir F. 2003. "Trabzon Hurmasının (*Diospyros kaki L.*) Olgunlaşma Süresinde HPLC ile Belirlenen Majör Fenolik Bileşik, Majör Karotenoid Bileşik ve L- Askorbik Asit Kompozisyonunun Değişimi" Gıda, 28 (4).

Kasse, S., Asrat, U. 2025. Effect of freeze drying and batch type window refractance drying on the quality characteristics of mango leather. *Cogent Food & Agriculture*, *11*(1).

Kaya, A., Kamer, M.S., Şahin, H.E., 2015. Trabzon Hurmasının (Dıospyros Kakı L.) Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi. Gıda 40 (1): 15-21.

Kaya, C., Esin Yücel, E., Bayram, M., Meşe, C., Aybakan, E., Gökgöz, G., Sözer, T.T. 2016. Trabzon Hurması (Diospyros kaki L.) Bazlı Karışık Meyveli Geleneksel Marmelat Üretimi Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 47(2), 107-112.

Kaymul, M., 2021. "Bazı meyvelerin pestile işlenmesi ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 74 s.

Kaynaş, K., Kuzucu, F. C. 2004. Farklı Zamanlarda Hasat Edilen Trabzonhurması (Diospyros kaki L.) Meyvelerinin Fizyolojik ve Kimyasal Yapılarında Meydana Gelen Değişmeler. Bahçe 33 (1-2): 17 – 25.

Khatoon, N., Ali, S., Liu, N., Muzammil, H. S. 2021. Preparation and quality assessment of fruit yoghurt with persimmon (*Diospyros kaki*). *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life Environmental Sciences, 58*(1), 111-128.

Kluge, R. A.; Tessmer, M. A. Caqui. 2018. Diospyros Kaki; Exotic Fruits; University of São Paulo/ESALQ: São Paulo; pp 113–119.

Koc¸ E, Yolcı Ömeroğlu, P. 2019. Geleneksel Anjelika (Melek Otu) Rec¸elinin Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri. Akad Gıda.17(4):485-96.

Kondo, S., Yoshikawa, H., Katayama, R. 2004. Antioxidant activity in astringent and non-astringent persimmons, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 79(3), 390-394.

Kour, M., Mitra, J., Datta, A.K. 2023. Principal component analysis of hedonic and fuzzy approach sensory evaluation for compositional optimization of Refractance-Window dried jackfruit leather. *Food Measure* 17, 4318–4331.

Koyuncu, M. A., Savran, E., Dilmaçünal, T., … Kepenek, K. 2005. Bazı Trabzon Hurması Çeşitlerinin Soğukta Depolanması. Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture, 18(1), 15-23.

Kumar, M., Madhumita, M., Prabhakar, P. K., Basu, S. 2024. Refractance window drying of food and biological materials: Status on mechanisms, diffusion modelling and hybrid drying approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(11), 3458–3481.

Kuzucu, F.C., 2003. Çanakkale- Lapseki Koşullarında Yetiştirilen Trabzon Hurmalarında Meyve Gelişimi, Olgunlaşma ve Depolama Karakteristikleri Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ, 171 s.

Kyazimova, I. A., Kasumova, A. A., Nabiev, A. A. 2018. Production of blended juice from pumpkin, quince, persimmon. Vestnik of the Russian Agricultural Science, 2, 59–62.

Mahanti, N. K., Chakraborty, S. K., Sudhakar, A., Verma, D. K., Shanka, S., Thakur, M., … Srivastav, P. P. 2021. Refractance window TM-drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: a comprehensive review of trends and technological developments. Future Foods, 3, 100024.

Mahjoorian, A., Mokhtarian, M., Fayyaz, N., Rahmati, F., Sayyadi, S., Ariaii, P. 2017. Modeling of drying kiwi slices and its sensory evaluation. *Food Science and Nutrition,* 5(3), 466−473.

Marchand, L., Murphy, S. P., Hankin, J. H., Wilkens, L. R., Kolonel, L. N. 2000. Intake of flavonoids and lung cancer. Journal of the National Cancer Institute, 92(2), 154-160.

Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44(2): 71-78.

Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). Journal of Food Engineering, 54(1), 81-88.

Matheus, JRV., Andrade, CJ., Miyahira, RF. & Fai, AEC. 2020. Chemical properties, bioactive compounds and potential use in the development of new products–A review. Food Reviews International, Food Reviews International, 1-18.

Matheus, J. R. V., Andrade, C. J. de, Miyahira, R. F., Fai, A. E. C. 2022. Persimmon (*Diospyros Kaki* L.): Chemical Properties, Bioactive Compounds and Potential Use in the Development of New Products – A Review. *Food Reviews International*, *38*(4), 384–401.

Mc Guire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience, 27*(12), 1254-1255.

Menges, H. O., Ertekin, C. 2006. Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples. Journal of Food Engineering, 77(1), 119e125.

Mohamed, A., Ragab, M.E., Siliha, H., Haridy, L. 2018. Physicochemical, Microbiological and Sensory Characteristics of Persimmon Fruit Leather. *Zagazig Journal of Agricultural Research*.

Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Darvishi, H. 2016. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in the microwave-convective dryer. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15(2): 179-187.

Moyis, A.L. 1981. Drying of apple puree. Journal of Food Science, 46, 939–942.

Nansereko, S., Muyonga, J., Byaruhanga, Y. B. 2021. Optimization of drying conditions for jackfruit pulp using refractance window drying technology. Food Science & Nutrition,

Nindo, C. I. and J. Tang. 2007. Refractance window dehydration technology: A novel contact drying method. *Drying Technology* 25 (1):37–48.

Nguyen, T. V. L., Nguyen, M. D., Nguyen, D. C., Bach, L. G., Lam, T. D. 2019. Model for Thin Layer Drying of Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) by Hot Air. *Processes*. 7, 21-32.

Onur, S. 1985. Trabzon hurması. Derim 2(2): 38-42.

Onur, S. 1990. Trabzon hurması. Derim, 7: 4-47.

Öyken, İ. 2025. Çeşitli tohumlarla zenginleştirilmiş Trabzon hurması pestilinin bazı fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 114 s.

Özdemir, A. E., Demirkeser, Ö., Kılıç, D., Karaşahin, Z., Çelik, F. 2024. Mumlama Yapılan 'Hachiya' Trabzon Hurması Çeşidinin Soğuk Muhafaza Sırasında Meyve Kalitesindeki Değişimler. *Alatarım,* 23(2), 62-75.

Polat Yemiş, G. 2022. Vanilin ve Nisinin Listeria Monocytogenes Üzerine İnhibisyon Etkisinin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Belirlenmesi. *Gıda*, *47*(4), 679-689.

Puente, L., A. Vega-Galvez, K. S. Ah-Hen, Rodríguez, A., Pasten, A., Poblete, J. Pardo-Orellana, C., Muñoz, M. 2020. "Refractance Window Drying of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) Pulp: A Comparison of Quality Characteristics With Respect to Other Drying Techniques." *LWT* 131: 109772.

Raghavi, L.M., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C. 2018. Refractance window drying of foods: a review. J Food Eng 222:267–275.

Rahman, M. S. 2007. Food preservation: overview. In: Rahman.M.S. (Ed.). Handbook of Food Preservation. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp. 3-18.

Rajoriya, D., Bhavya, M.L., Hebbar, H.U. 2021. Impact of process parameters on drying behaviour, mass transfer and quality profile of refractance window dried banana puree. LWT 145, 111330.

Rodrigues, G.M., Garcia, V.A.S., Vanin, F.M., Carvalho, R.A. 2025. Chayote and cucumber peels as raw material for edible leathers (pestils): valorization of vegetable residues. LWT- Food Science and Technology, 232.

Ruiz, N.A.Q., Demarchi, S.M., Massolo, J.F., Rodoni, L.M., Giner, S.A. 2012. Evaluation of quality during storage of apple leather. Food Science and Technology, 47(2), 485-492.

Sablani, S.S., Rahman, M.S. 2008. Fundamentals of Food Dehydration. Food Drying Science and Technology. Edited by Hui, Y.H., Clary, C., Farid, M.M., Fasina, O.O., Noomhorm, A., Welti-Chanes, J. DEStech Publications, Inc. 439 North Duke St., 1st Floor Lancaster, Pennsylvania 17601 U.S.A., 792p.

Sampaio, R.M., Neto, J.P.M., Perez, V.H., Marcos, S.K., Boizan, M.A. and Da Silva, L.R., 2017. Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (Diospyros kaki cv. Fuyu). Journal of Food Processing and Preservation, 41(1), p.e12789.

Săpoi, C.P., Corbu, A.R., Ceclu, L., Nour, V. 2025. Physicochemical, Phytochemical and Sensory Properties of Myrobalan (Prunus cerasifera L.) Fruit Leather: Effects of Sugar Concentration and Enrichment with Blackcurrant and Bilberry Pomace Powders. Foods, 14, 3457.

Sharma, G. P., Prasad, S. 2001. Drying of garlic (Allium sativum) cloves by microwave-hot air combination. Journal of Food Engineering, 50(2001): 99-105.

Singh, P., Prasad, S. 2023. A review on iron, zinc and calcium biological significance and factors affecting their absorption and bioavailability. Journal of Food Composition and Analysis, 123, 105529.

Spano, N., Casula, L., Panzanelli, A., Pilo, MI., Piu, PC, Scanu, R., Tapparo, A., Sanna, G. A. 2006. RP-HPLC determination of 5-hydroxymethylfurfural in honey- The case of strawberry tree honey. Talanta Vol: 68 Issue: 4 Pages: 1390-1395.

Spanos, G., Wrolstad, R.E. 1990. Phenolics of apple. pear and white grape juices and their changes with processing and storage. J Agric Food Chem, 40: 1478–1487.

Suna, S, Özkan Karabacak, A. 2019. Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. J Food Process Preserv 43(8):1–9.

Tabekha, M., Domah, M., El-Boraeey, N., Hamed, H., & Metwally, S. 2007. Physico-chemical and Technological Studies on Persimmon Fruits: 1- Physico-chemical Studies on Persimmon Fruits. *Journal of Food and Dairy Sciences*, *32*(4), 2691-2697.

Troller, J.A. 1980. Influence of water activity on microorganisms in foods. Food Technology, 34, 76- 80.

Tokbaş, H. 2009. Jam and marmalade processıng of black mulberry (Morus nigra L.) and antioxidant properties of the products.Master Thesis, Gaziosmanpaşa University, Tokat.

Tontul, I., Topuz, A. 2017. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). LWT-Food Sci. Technol. 80, 294e303.

Tontul. İ. 2017. Kırınım pencereli (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, Topuz A. 2017. Production of pomegranate fruit leather (pestil) using different hydrocolloid mixtures: An optimization study by mixture design. *J Food Process Eng*.; 41: e12657.

Tontul, I., Topuz, A. 2019. Storage stability of bioactive compounds of pomegranate leather (pestil) produced by refractance window drying. Journal of Food Process Engineering, vol.42, no.2.

Tosya, F., Bölek, S., Göksu, F., Göktaş, M. A., Özlü, Z., Şen, A., İnce, E., Aktepe Tangu, N. 2024. Farklı Kurutma Tekniklerinin Dört Farklı Trabzon Hurması Çeşidinin Kalite Parametreleri Üzerine Etkilerinin Karşılaştırılması. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 11(1), 19-25.

Tuzcu, Ö., Yıldırım, B. 2000. Trabzon Hurması (Diospyros kaki L) ve Yetiştiriciliği. TÜBİTAK TARP Yayınları, Adana.

Tülek, Y., Demiray, E. 2014. Sıcak hava kurutma yönteminde farklı sıcaklık ve ön işlemlerin Trabzon hurmasının renk ve kuruma karakteristiklerine etkisi. *Tarım Bilgileri Dergisi, 20,* 27-37.

Ulusal Bayram, H. 2018. Geleneksel Gümüşhane Pestil ve Kömesinin Üretim Yöntemlerinin ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 92s.

Vitali, D., Dragojević, I. V., Šebečić, B. 2009. Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. Food chemistry, 114(4), 1462-1469.

Wang, Y.C., Chuang, Y.C., Hsu, H.W. 2008. The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. Food Chem, 106: 277–284.

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

Yamada, M., Taira, S., Ohtsuki, M., Sato, A., Iwanami, H., Yukushiji, H., Wang, R., Yang, Y., Li, G. 2002. Varietal differences in the ease of astringency removal by carbon dioxide gas and ethanol vapor treatments among oriental astringent persimmons of Japanese and Chinese origin. Scientia Hortic. 94, 63-72.

Yener, T. 2013. Hasat sonrası farklı uygulamaların Trabzon hurması (Diospyros kaki L.) muhafazasına etkisi. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 134 s.

Yıldız Akbulut, E. 2021. Farklı koşullarda kurutulan trabzon hurması (Diospyros kaki) ve kivinin (actinidia deliciosa) bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalite parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 66 s.

Yılmaz, F.M., Yüksekkaya, S., Vardın, H. and Karaaslanyılmaz, M. 2015. The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruitleather (pestil). *J Saudi Soc Agric Sci*.

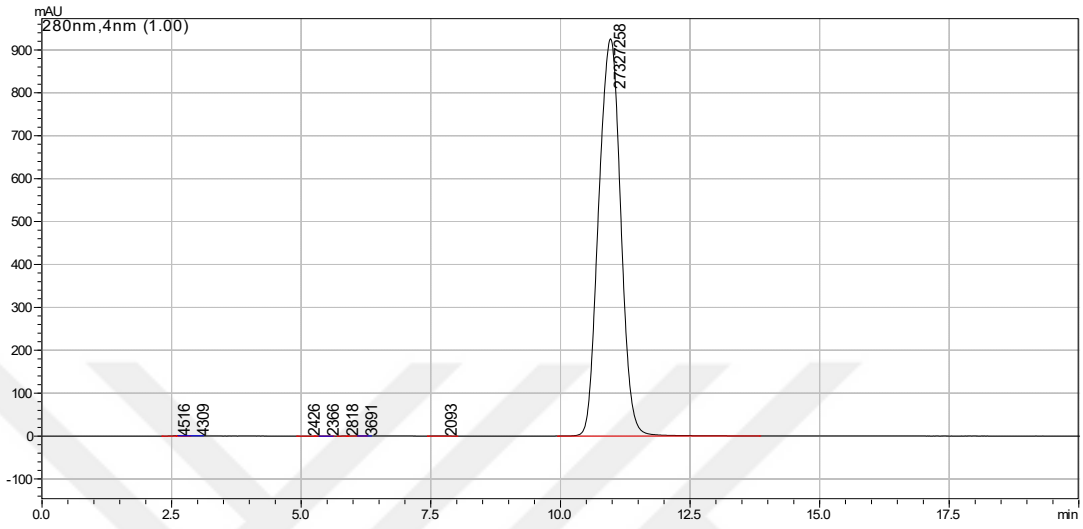
Yılmaz, E. & Şen, F. 2025. Determination of the effects of different pretreatments and modified atmosphere packaging on the storage of dried persimmon. Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences, 7(1), 113-126.

Yönel, S. P. 2009. Farklı turunçgil meyve suyu konsantreleri katkısı ile hazırlanan Trabzon hurması nektarı üretiminin optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 59 s.

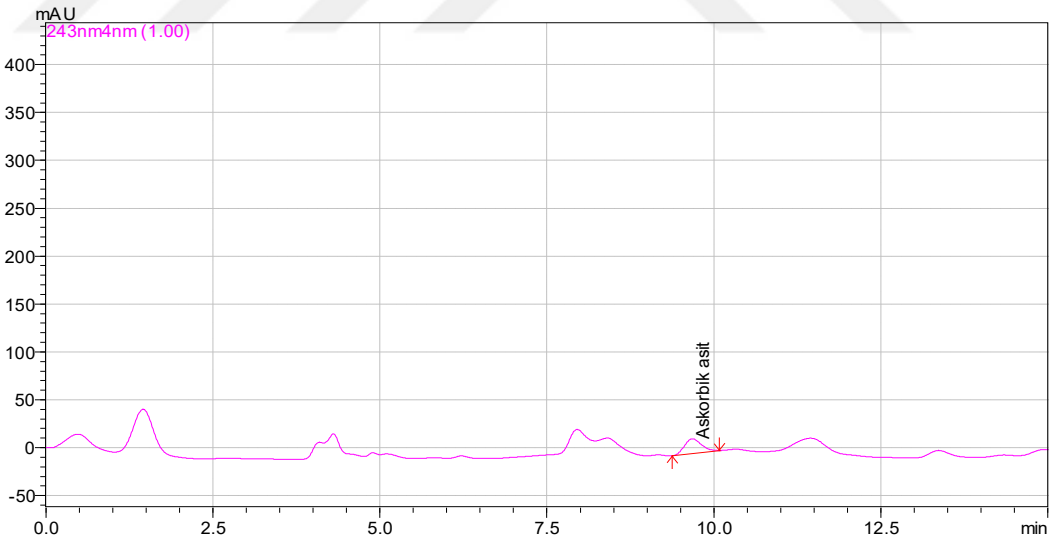
Zhou, C.H., Zhao, D.Q., Sheng, Y.L., Tao, J. and Yang, Y., 2011. Carotenoids in fruits of different persimmon cultivars. Molecules, 16(1): 624-636.

7. EKLER

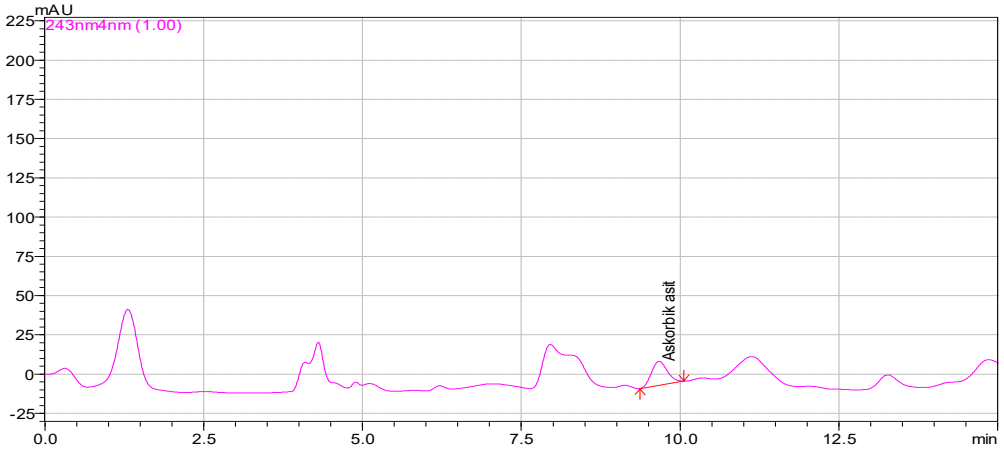
EK- 1: HMF standart maddesinin 280 nm dalga boyundaki kromatogram



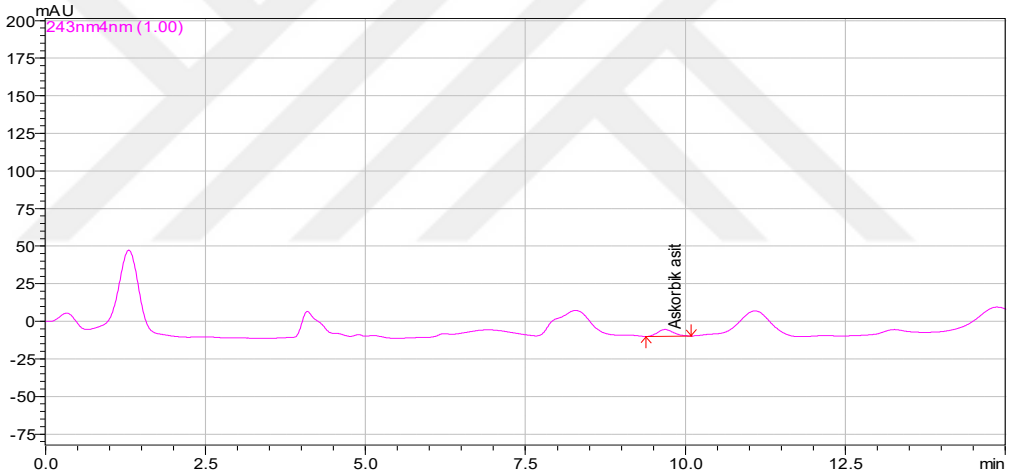
EK- 2 : Sıcak hava kurutma örneğine ait askorbik asit analiz kromatogramı



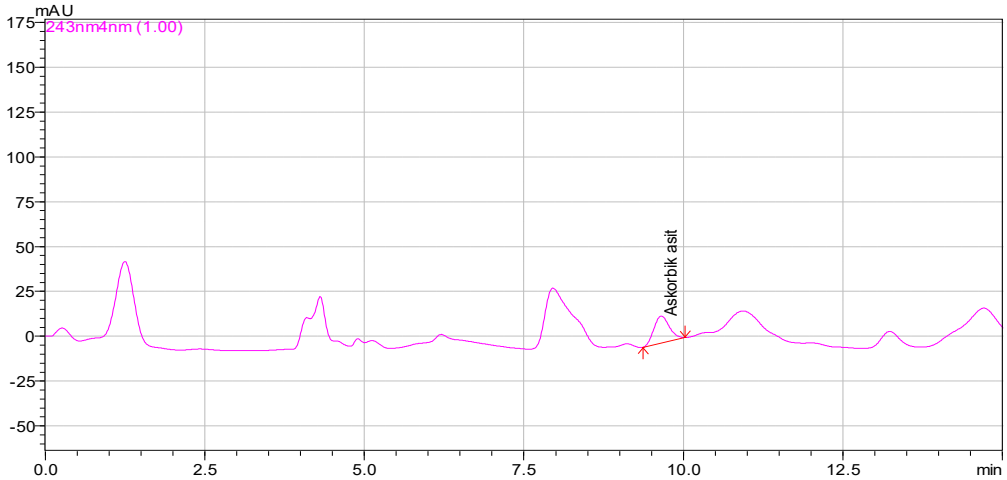
EK- 3 : Kırınım pencereli kurutma örneğinin askorbik asit analiz kromatogramı



EK- 4 : Gölgede kurutma örneğinin askorbik asit analiz kromatogramı



EK- 5 : Taze Trabzon hurması püresinin askorbik asit analiz kromatogramı



ÖZGEÇMİŞ

Elçin KUŞ GÜMÜŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022-2026	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2005-2010	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırmacı 2021-Devam Ediyor	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü
Kontrol Görevlisi (Gıda Denetçisi) 2011-2021	Ödemiş İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü/İzmir Konak İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü/İzmir Serik İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü/Antalya