

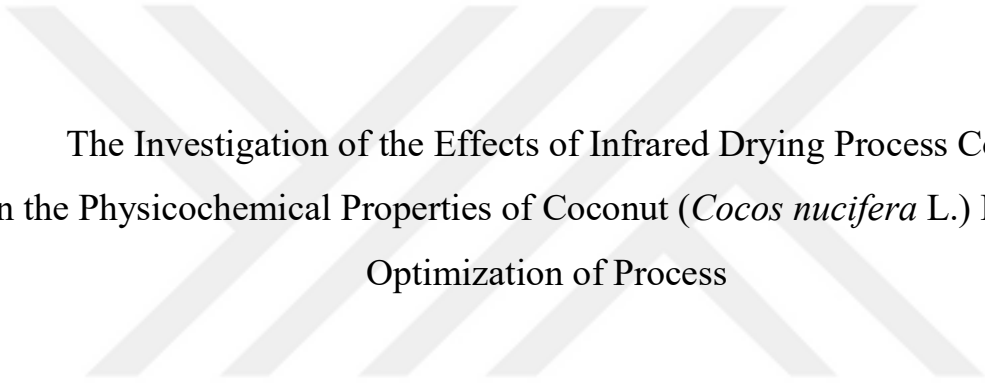
Kızılötesi Kurutma İşlem Koşullarının Hindistan Cevizi (*Cocos nucifera* L.) Meyvesinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve İşlem Optimizasyonu

Ceren BEKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2025



The Investigation of the Effects of Infrared Drying Process Conditions
on the Physicochemical Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Fruit and
Optimization of Process

Ceren BEKTAŞ

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Food Engineering

May 2025

Kızılötesi Kurutma İşlem Koşullarının Hindistan Cevizi (*Cocos nucifera* L.) Meyvesinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve İşlem Optimizasyonu

Ceren BEKTAŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

“ESOGÜ-BAP tarafından FYL-2024-3094 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.”

Mayıs 2025

ONAY

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Ceren BEKTAŞ**'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Kızılötesi Kurutma İşlem Koşullarının Hindistan Cevizi (*Cocos nucifera* L.) Meyvesinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve İşlem Optimizasyonu” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

Üye: Doç. Dr. Aysel GÜLBANDILAR

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Merve Sılanur YILMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Onur KETENOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kızılötesi Kurutma İşlem Koşullarının Hindistan Cevizi (*Cocos nucifera* L.) Meyvesinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve İşlem Optimizasyonu” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 22/05/2025

Ceren BEKTAŞ

İmza

ÖZET

Bu çalışmada, yenilikçi kurutma yöntemlerinden biri olan kızılötesi kurutma yöntemi kullanılarak Hindistan cevizi kurutulmuştur. Çalışmada lamba gücü (150, 200 ve 250 W), kurutma süresi (30, 135 ve 240 dk), lamba mesafesi (15, 20 ve 25 cm) ve numune kalınlığı (10, 15 ve 20 mm) olmak üzere farklı kurutma işlem parametreleri uygulanmıştır. Buna bağlı olarak deneysel çalışma yanıt yüzeyi metodunun merkezi kompozit tasarım deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Hindistan cevizi örneklerinde nem (%), su aktivitesi (a_w), pH, serbest asitlik (%), toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g), renk (L^* , a^* , b^*) ve FT-IR spektral analizleri yapılmıştır. Ayrıca taze Hindistan cevizinde toplam yağ miktarı ve gaz kromatografisi (GC) kullanılarak yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla 3 boyutlu grafikler çizilmiş, %95 güven aralığı seviyesinde varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiş ve matematiksel modelleme için R^2 değeri göz önünde bulundurularak uygun dereceli eşitlikler geliştirilmiştir. Kurutma denemelerinde en düşük nem miktarı (%1,80) ve su aktivitesi (0,283) değerleri; 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 15 cm lamba mesafesinde ve 10 mm numune kalınlığında gerçekleşen kurutma ile elde edilmiştir. Kurutulan örneklerin pH, serbest asitlik ve toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 5,77-6,47, %0,56-%1,35 ve 140,71-209,34 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir. Yüksek lamba gücü ve uzun kurutma süresiyle birlikte kurutulan Hindistan cevizlerinde önemli bir kalite kriteri olan L^* değeri (parlaklık) azalırken; b^* ve a^* değerlerinin arttığı ve renk değerlerinin lamba gücü ve kurutma süresi artışından olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Taze numunenin toplam yağ miktarı ortalama %45,16 olarak hesaplanmıştır. Yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde ise, taze Hindistan cevizi yağında ağırlıklı olarak orta zincirli yağ asitlerinin bulunduğu ve %49,78 oranında bulunan laurik asidin (C12:0) baskın yağ asidi olduğu belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, kızılötesi kurutma işleminin etkinliği, kurutma koşullarının Hindistan cevizi üzerindeki etkileri ve matematiksel yaklaşımın kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: kurutma, kızılötesi, Hindistan cevizi, fizikokimyasal özellikler, optimizasyon, matematiksel modelleme

SUMMARY

In this study, coconut was dried using infrared drying, one of the innovative drying methods. Different drying process parameters were applied, including lamp power (150, 200, and 250 W), drying time (30, 135, and 240 min), lamp distance (15, 20, and 25 cm), and sample thickness (10, 15, and 20 mm). Accordingly, the experimental study was conducted according to the central composite design of the response surface methodology. Moisture content (%), water activity (a_w), pH, free acidity (%), total phenolic content (mg GAE/g), colour (L^* , a^* , b^*) and FT-IR spectral analyses were performed on the coconut samples. Additionally, the total oil content and fatty acid composition of fresh coconut were determined using gas chromatography (GC). Three-dimensional graphs were drawn using the obtained results, analysis of variance (ANOVA) was performed at a 95% confidence interval and appropriate mathematical models were developed by using R^2 values. In the drying experiments, the lowest moisture content (1.80%) and water activity (0.283) values were obtained with drying at 250 W lamp power, 240 min drying time, 15 cm lamp distance, and 10 mm sample thickness. The pH, free acidity, and total phenolic contents of the dried samples were determined in the ranges of 5.77–6.47, 0.56–1.35%, and 140.71–209.34 mg GAE/g, respectively. In coconuts dried at higher lamp power and longer drying times, the L^* value (brightness), an important quality criterion, decreased, while the b^* and a^* values increased, and it was observed that the colour values were negatively affected by the increase in lamp power and drying time. The total oil content of the fresh sample was calculated as an average of 45.16%. Regarding the fatty acid composition, it was determined that medium-chain fatty acids were predominant in fresh coconut oil, with lauric acid (C12:0) being the dominant fatty acid at 49.78%. Based on the findings of this study, the effectiveness of infrared drying, the effects of drying conditions on coconut, and the applicability of the mathematical approach were demonstrated.

Keywords: drying, infrared, coconut, physicochemical properties, optimization, mathematical modelling

TEŞEKKÜR

Tez çalışması sürecinde bana yol gösteren, deneyimlerini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Onur KETENOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Yağ ekstraksiyonu analizinin yapılmasında desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Mehmet Demir KAYA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında laboratuvar ortamını kullanmama olanak sağlayan Aslan Susam ve Tahin Gıda Maddeleri San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye tezime katkılarından dolayı teşekkür ederim.

FYL-2024-3094 numaralı proje kapsamında çalışmayı destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması boyunca beni her zaman destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Hindistan Cevizi	4
2.2. Gıda Muhafaza Yöntemleri	5
2.3. Kurutma	5
2.4. Kızılötesi Kurutma	8
2.5. Kızılötesi Işınmıdan Yararlanılarak Gerçekleştirilen Kurutma Çalışmaları	10
2.6. Kızılötesi Kurutmanın Diğer Kurutma Yöntemleriyle Kombinasyonu	12
2.7. Hindistan Cevizinin Kurutulması ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Hindistan cevizinin temini ve hazırlanması	19
3.1.2. Kullanılan kimyasallar.....	19
3.2. Yöntem	19
3.2.1. Kızılötesi kurutma deneyinin yapılışı.....	19
3.2.2. Nem analizi.....	20
3.2.3. Su aktivitesi (a_w) analizi	21
3.2.4. pH analizi.....	21
3.2.5. Serbest asitlik analizi	21

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
3.2.6. Toplam fenolik madde analizi	21
3.2.7. Renk analizi	23
3.2.8. FT-IR analizi	23
3.2.9. Toplam yağ miktarı ve yağ asidi kompozisyonu analizi	24
3.2.10. Yanıt yüzeyi yöntemi ve deneme planı	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. Nem Analizi Bulguları.....	30
4.2. Su Aktivitesi (a_w) Analizi Bulguları	36
4.3. pH Analizi Bulguları	41
4.4. Serbest Asitlik Analizi Bulguları.....	47
4.5. Toplam Fenolik Madde Miktarı Analizi Bulguları.....	53
4.6. Renk Analizi Bulguları.....	59
4.6.1. L^* değeri.....	59
4.6.2. a^* değeri	65
4.6.3. b^* değeri	70
4.7. FTIR Analizi.....	76
4.8. Toplam Yağ Miktarı ve Yağ Asidi Kompozisyonu Analizi Bulguları.....	78
4.9. Optimizasyon Bulguları.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	82
EK AÇIKLAMALAR	95
Ek Açıklama-A: FT-IR Spektrumları.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu (Krishnamurthy vd., 2008)	8
3.1. Kızılötesi lamba ile kurutma düzeneği	20
3.2. Gallik asit kalibrasyon eğrisi	22
3.3. Portatif kolorimetre	23
3.4. FT-IR spektrometresi.....	24
3.5. Gaz kromatografi (GC) cihazı	26
4.1. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (süre- lamba gücü)	31
4.2. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü).....	32
4.3. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	32
4.4. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre).....	33
4.5. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	34
4.6. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	34
4.7. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü).....	37
4.8. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü).....	38
4.9. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	38
4.10. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre).....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	39
4.12. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	40
4.13. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)	43
4.14. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)	44
4.15. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)	44
4.16. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)	45
4.17. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	45
4.18. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	46
4.19. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)	49
4.20. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)	49
4.21. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)	50
4.22. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)	50
4.23. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.24. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi).....	51
4.25. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)	55
4.26. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)	55
4.27. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	56
4.28. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)	56
4.29. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre).....	57
4.30. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi).....	57
4.31. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü).....	61
4.32. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -lamba gücü).....	61
4.33. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	62
4.34. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -süre).....	62
4.35. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	63
4.36. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.37. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü).....	66
4.38. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -lamba gücü).....	67
4.39. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	67
4.40. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -süre).....	68
4.41. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	68
4.42. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	69
4.43. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü).....	72
4.44. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -lamba gücü).....	72
4.45. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü).....	73
4.46. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi -süre).....	73
4.47. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)	74
4.48. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)	74
4.49. Taze Hindistan cevizi ve 4 numaralı örneğe ait FT-IR spektrumu.....	77
4.50. Taze Hindistan cevizi ve 40 numaralı örneğe ait FT-IR spektrumu.....	77
4.51 Taze Hindistan cevizinin yağ asidi kompozisyonuna ait örnek kromatogram	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çalışmaya ilişkin deneme dizaynı tablosu	27
3.2. Optimizasyon çalışmasında ele alınan bağımlı değişkenlerin parametreleri.....	29
4.1 Kurutulan Hindistan cevizlerine ait nem analizi bulguları	30
4.2. Nem miktarı için varyans analizi (ANOVA).....	35
4.3. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait su aktivitesi (a_w) analizi bulguları	36
4.4. Su aktivitesi (a_w) değerleri varyans analizi (ANOVA)	41
4.5. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait pH analizi bulguları.....	42
4.6. pH değerleri için varyans analizi (ANOVA).....	47
4.7. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait serbest asitlik analizi bulguları.....	48
4.8. Serbest asitlik değerleri için varyans analizi (ANOVA)	52
4.9. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait toplam fenolik madde miktarı bulguları.....	53
4.10. Toplam fenolik madde miktarı için varyans analizi (ANOVA).....	58
4.11. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait L^* değeri bulguları	59
4.12. L^* değeri için varyans analizi (ANOVA).....	64
4.13. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait a^* değeri bulguları	65
4.14. a^* değeri için varyans analizi (ANOVA).....	70
4.15. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait b^* değeri bulguları	71
4.16. b^* değeri için varyans analizi (ANOVA).....	75
4.17. Taze Hindistan cevizi yağ asidi kompozisyonu	79
4.18. Optimizasyon çalışması bulguları	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

%	Yüzde
g	Gram
°C	Celcius
W	Watt
<	Küçüktür
>	Büyüktür
N	Normalite
NaOH	Sodyum Hidroksit
rpm	Dakikadaki devir sayısı
mL	Mililitre
dk	Dakika
m/s	Metre/saniye
a_w	Su aktivitesi
cm	Santimetre
mm	Milimetre
kPa	Kilopascal
W/m ²	Watt/metrekare

Kısaltmalar

Açıklama

IR	Kızılötesi
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
RSM	Yanıt yüzeyi yöntemi
GAE	Gallik asit eşdeğeri
BI	Beyazlık indeksi
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spektroskopisi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Arecaceae familyasının bir üyesi olan Hindistan cevizi (*Cocos nucifera* L.), tropikal ülkelerde, özellikle Asya'da yetiştirilen dünyanın en faydalı bitkilerinden biridir. Dünyada 90'dan fazla ülkede yetiştirilen Hindistan cevizinin, FAO 2021 verilerine göre dünyadaki en önemli üreticileri arasında ilk beşte Endonezya, Filipinler, Hindistan, Brezilya ve Sri Lanka yer almaktadır (FAO,2021). 4000 yıllık bir geçmişe sahip olan bu tarımsal ürün, tropikal bölgelerdeki milyonlarca insan için ana geçim kaynaklarından biridir (Killmann ve Fink, 1996). Bu bölgelerde hem Hindistan cevizi hem de Hindistan cevizinden elde edilen yağ, süt ve tozun birçok geleneksel gıdanın içinde kullanıldığı görülmektedir (Patil ve Benjakul, 2018).

Hindistan cevizinin köklerinden yapraklarına kadar her kısmından faydalanılır. Hindistan cevizi meyvesi genel olarak kabuk, iç sert meyve kabuğu, katı endosperm (beyaz etli kısım) ve sıvı endospermden (Hindistan cevizi suyu) oluşur. Meyvesi yenen bu bitki yapısında insan sağlığına yararlı olan birçok bileşen içermektedir. Hindistan cevizi karbonhidratlar, proteinler, yağlar, vitaminler ve mineraller açısından oldukça zengindir (Divya vd., 2023). Ayrıca yüksek düzeyde besleyici bir ürün ve önemli bir diyet lifi kaynağıdır (Seow ve Gwee, 1997).

Gıdalar içinde bulunan bileşenler nedeniyle bozulma eğilimine girebilirler. Bu bozulmalar ekonomik kayıplara, insan sağlığı bakımından olumsuz etkilere, besleyici ve duyuşal özelliklerin kayıplarına sebep olmaktadır. Gıdaların mikrobiyal, fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal (enzimatik reaksiyonlar, oksidatif değişimler vb.) yapılarındaki bozulmaları önleyebilmek, gıda güvenliğini sağlayabilmek ve gıdaların raf ömrünü uzatabilmek amaçlarıyla gıda muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca gıda muhafaza yöntemleri, işlem ve depolama süreçlerinde gıdaların renk, koku, tat gibi duyuşal niteliklerini ve besin değerlerini de korumayı amaçlar. Günümüzde gıdaları muhafaza etmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Gıdalara ısı uygulaması, soğutma, kurutma, konserveleme, tuzlama, tütsüleme ve radyasyon uygulamaları gibi gıda muhafaza yöntemleri uygulanmaktadır.

En eski gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma yöntemiyle gıdalarda bulunan suyun uzaklaştırılıp su aktivitesi değerinin belli seviyelere indirilmesi sırasında mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik reaksiyonların yavaşlatılması ya da durdurulması sağlanmaktadır (Kutlu vd., 2015; Altay, 2022). Kurutma işlemi, hava ile ürün arasında eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transferi olayı olarak tanımlanmaktadır (Kaya vd., 2015). Kurutularak daha konsantre hale gelen ürünlerin besin öğelerinin artması, elde edilen ürünlerin raf ömrünün uzun olması, ekonomik değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi, son ürün hacminin azalmasıyla depolama ve nakliyede kolaylık sağlaması kurutma işleminin tercih edilme nedenlerindedir (Günaydın, 2024).

Geleneksel olarak bilinen en eski kurutma yöntemlerinden olan güneşte kurutma yönteminde kurutma işlemi açık havada gerçekleşir. Güneşte kurutma yöntemi maliyet açısından çok avantajlı olsa da açıkta kurutulan ürünlerin mikrobiyal risk ve kontaminasyonlara açık olması, kurutma süresinin uzun olması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, istenilen nem dengesine ulaşılamaması ve ürünlerin homojen şekilde kurutulmaması gibi dezavantajlarından dolayı etkili bir kullanıma sahip olmamaktadır (Meci, 2024). Bu nedenle günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde yeni kurutma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır; sıcak hava ile kurutma (konvektif), dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, vakumlu kurutma, sprey kurutma, köpük kurutma, puf kurutma, ozmotik kurutma, elektrohidrodinamik kurutma ve hibrit kurutma yöntemleri örnek olarak verilebilir (Günaydın vd., 2022).

Kızılötesi (IR), elektromanyetik spektrumda mikrodalga ile görünür ışık bölgelerinin arasında yer alır. Kızılötesi ışınım, ısı enerjisini elektromanyetik dalgalar halinde iletir ve ısı enerjisi çevredeki havayı ısıtmadan doğrudan ürüne nüfuz eder. Gıda alanında, kurutma, pişirme, kızartma, kavurma, çözdürme, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi birçok proses için kızılötesi ısıtma kullanılmaktadır. Kızılötesi ısıtma yaygın olarak kurutma tekniği olarak kullanılmakta ve kurutma yöntemi olarak birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar, kurutma süresinin kısa olması, ısının kurutulacak ürüne direkt nüfuz etmesi, enerji gereksiniminin az olması, işlem basamaklarının kontrol edilebilir olması, yüksek kalitede son ürün elde edilmesi, işletme ve yatırım maliyetlerinin düşük olmasıdır. Kızılötesi kurutma yöntemi meyve, sebze, hububat ve baklagillerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Krishnamurthy vd., 2008; Özkoç, 2010; Tuncel ve Tuncel, 2016; Albayrak vd., 2021).

Bu tez çalışmasında gıdaların kurutulması amacıyla yaygın ve geleneksel yöntemlere alternatif olma potansiyeli taşıyan ve diğer yöntemlere kıyasla pek çok avantajı bünyesinde bulunduran kızılötesi kurutma yönteminin nem oranı yüksek ve genellikle fırınlarda kurutulan Hindistan cevizinde kullanım olanağının araştırılması ve kızılötesi kurutma işlem parametrelerinin kurutulmuş Hindistan cevizi özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, yenilikçi bir yöntem olan kızılötesi kurutma işlemine ait bağımsız değişkenler matematiksel olarak modellenmiş ve kaliteli son ürün elde etmek amacıyla işlem koşullarının optimizasyonu da gerçekleştirilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Hindistan Cevizi

Arecaceae familyasından olan Hindistan cevizi bilimsel adıyla *Cocos nucifera* L., tropikal iklimlerde yetişen bir ağaçtır ve anavatanı Asya'dır. Hindistan cevizi, dünyada 90'dan fazla ülkede yetiştirilmektedir. Dünyadaki en önemli üreticileri arasında Endonezya, Hindistan, Filipinler, Sri Lanka ve Tayland yer almaktadır; dünyadaki Hindistan cevizi üretiminin %90'lık kısmını bu ülkeler oluşturmaktadır (Patil ve Benjakul, 2018). Sahip olduğu farklı iklim koşullarından dolayı ülkemizde Hindistan cevizi yetiştirilmemektedir. Hindistan cevizi üretimi dünyada yaklaşık 13 milyon hektarlık tarım alanında yapılmaktadır ve yıllık yaklaşık 62,46 milyon ton Hindistan cevizi üretilmektedir (Yin vd., 2024).

Tropikal bölgelerdeki milyonlarca insan için ana gelir kaynağı olan Hindistan cevizinin, köklerinden yapraklarına kadar her kısmından faydalanılır. Gıda, kozmetik ve ilaç alanlarının yanı sıra mobilya, dekoratif malzemeler, yapı malzemesi ve yakıt gibi birçok farklı alanda kullanılmıştır. Bu nedenle Hindistan cevizi yaşam ağacı olarak da adlandırılır (Delmo, 2012).

Hindistan cevizi meyvesi yaklaşık olarak %35 kabuk, %12 iç sert meyve kabuğu, %28 katı endosperm (beyaz etli kısım) ve %25 sıvı endospermden (Hindistan cevizi suyu) oluşur. Gıda olarak beyaz etli kısmından (katı endosperm) ve suyundan (sıvı endosperm) yararlanılır (Patil ve Benjakul, 2018).

Hindistan cevizi karbonhidrat, protein ve yağ bakımından oldukça zengindir; Hindistan cevizinde %15,23 karbonhidrat, %3,33 protein ve %33,49 yağ bulunmaktadır. Kendine özgü besinsel kompozisyonu dolayısıyla insan sağlığı için yararlı bileşenler içerir. Yapısında birçok mineral içeren Hindistan cevizi sodyum ve potasyum bakımından zengin olmasının yanında kalsiyum, demir, bakır, fosfor, selenyum, çinko, magnezyum, manganez gibi elementleri de içermektedir. Ayrıca B grubu vitaminlerinin beraberinde C, E ve K vitaminlerini de içerir ve iyi bir diyet lifi kaynağıdır. Hindistan cevizi meyvesinde doymamış

yağların yanı sıra önemli düzeylerde doymuş yağlar da bulunmaktadır (Santoso vd. 1996; USDA, 2019; Divya vd., 2023).

2.2. Gıda Muhafaza Yöntemleri

Gıdalar elde edildikten sonra depolanıp tüketiciye ulaşana kadar ki geçen zamanda fiziksel, kimyasal, biyokimyasal reaksiyonlardan ve mikrobiyolojik gelişmelerden etkilenip bozulmaya başlarlar. Bu bozulmalar ekonomik kayıplara, insan sağlığı bakımından olumsuz etkilere, besleyici ve duyuşal özelliklerin kayıplarına sebebiyet verdiği için gıda muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Gıda muhafaza yöntemlerinde temel amacın bozulmaların engellenip, kontrol altına alınması olmasının yanında raf ömrünün uzatılması, gıda güvenliğinin sağlanması, besleyici ve duyuşal özelliklerin korunması da amaçlanmıştır.

Geçmişten günümüze kadar gıdaların muhafaza edilebilmesi için birçok geleneksel yöntem kullanılmıştır; ısı uygulaması, soğutma, kurutma, tuzlama ve tütsüleme kullanılan geleneksel yöntemlerdendir.

Zamanla gıda muhafaza yöntemlerine dair beklentiler çoğalmış ve günümüzde geleneksel yöntemlere alternatif olarak çeşitli teknolojilerden yararlanılmaya başlanılmıştır. Yeni muhafaza yöntemleri arasında fiziksel teknolojiler (yüksek hidrostatik basınç ve yüksek basınç homojenizasyonu), elektromanyetik teknolojiler (vurgulu elektrik alan, ohmik ısıtma, mikrodalga, radyo frekans ve UV ışınlama), akustik teknolojiler (ultrasonik) ve membran filtrasyon teknolojileri yer almaktadır (Barba vd., 2018). Kurutma, gıdaların muhafaza edilmesinde en ekonomik ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Günaydın vd., 2022).

2.3. Kurutma

Kurutma, gıdalarda bulunan su oranının azaltılarak su aktivitesinin belli seviyelere düşürülmesi esnasında mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik reaksiyonların yavaşlatılması ya da durdurulması olarak bilinmektedir (Kutlu vd., 2015; Altay, 2022). Kurutma yönteminin diğer birçok muhafaza yöntemine göre daha ucuz olması, daha az işçiliğe ve daha az ekipmana ihtiyaç duyulması gibi avantajları vardır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

Bunların yanı sıra kurutularak daha konsantre hale gelen ürünlerin besin öğelerinin artması, elde edilen ürünlerin raf ömrünün uzun olması, ekonomik değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi, son ürün hacminin azalmasıyla depolama ve nakliyede kolaylık sağlaması kurutma yönteminin tercih edilme nedenlerindedir (Günaydın, 2024).

Kurutma işlemi, hava ile ürün arasında eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transferi olayı olarak tanımlanmaktadır (Kaya vd., 2015). Isı transferi esnasında kurutma havasından ürünün yüzeyine ısı geçmesiyle gıda içine ısı iletimi sağlanır. Kütle transferi ise ürünün iç tabaklarından yüzeye doğru gelen nemin ürünün bulunduğu ortama yayılmasıyla devam eder (Köprüalan, 2019). Kurutma; ısınma, sabit hız ve azalan hız olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Kuruma işleminin başlangıcı olan ısınma aşamasında kurutulacak ürün kurutucu sıcaklığına ulaşmaya kadar ısınmaktadır. Ürünün ısınması kısa sürede gerçekleştiğinden bu aşamada nem içeriğinde önemli miktarda azalma meydana gelmez. Sabit hızla kuruma aşamasında, kurutulacak ürünün yüzeyinde ince bir su tabakası olduğu kabul edilir. Bu aşamada, ürünün içinden yüzeye aktarılan suyun hızı ile ürün yüzeyinden buharlaşan suyun hızı birbirine eşittir. Sabit hızla kuruma aşamasında, ürünün içinden yüzeye aktarılan su hızının yüzeydeki suyun buharlaşma hızından az olması halinde ürün yüzeyindeki ince su tabakası zamanla kaybolur. Böylelikle bu aşama burada tamamlanmış olur ve bu andaki neme 1. kritik nem seviyesi denir. 1. kritik nem seviyesiyle birlikte azalan hızla kuruma aşaması başlar. Azalan hızla kuruma aşaması, ürünün içinden yüzeye doğru olan nem transferinin sabitlenmesiyle yani denge nemine ulaşıldığında tamamlanır (Yağcıoğlu, 1999).

Kuruma hızı, kurutucu havanın hızı, kurutucu havanın sıcaklık ve nemi, kurutma ortamının basıncı, kurutulan ürünün yüzey alanı (parça büyüklüğü, şekli ve kalınlığı) ve ürünün bileşimi gibi faktörlerden etkilenir. Bu faktörler son ürün kalitesini de etkilemektedir.

Kurutma işlemi esnasında kurutulan gıda ürünlerinin kurutma şartlarına karşı hassas olmasından dolayı ürünlerde bazı fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Son ürünün besin değeri, renk, tat, aroma, şekil, gevreklik ve sertlik gibi kalite özellikleri kurutma şartlarından etkilenmektedir (Karaaslan, 2012). Bu özellikler tüketici açısından değerlendirildiğinde ürünün tercih edilebilirliğini önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Yüksek kalitede son ürün elde edebilmek için uygun kurutma yöntemi seçimi ve kurutma şartlarının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Kurutma yöntemleri doğal kurutma ve yapay kurutma olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal kurutma geleneksel yöntemler olan güneşte ve gölgede kurutma yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Doğal kurutma yöntemlerinin herhangi bir ek enerjiye ihtiyaç duymamaları ve maliyet açısından uygun olmaları gibi avantajlarının yanı sıra birçok dezavantajı da vardır. Kurutulan ürünlerin mikrobiyal risk ve kontaminasyonlara açık olması, kurutma süresinin uzun olması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, ürünün sinek, böcek, fare gibi zararlıların istilasına uğraması, ürünün eşit derece ve istenilen ölçüde kurumaması, istenilen nem dengesine ulaşılamaması, ürünün besin içeriğinde kayıplar oluşması ve stabil son ürün elde edilememesi gibi dezavantajlarından dolayı bu yöntemlerle etkili bir kurutma işlemi sağlanamamaktadır (Günaydın, 2022; Meci, 2024). Bu dezavantajlar nedeniyle çeşitli yapay kurutma yöntemleri geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır.

Yapay kurutma yöntemleriyle kurutma işlemi kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir ortam koşullarında gerçekleşir. Yapay kurutma yöntemleri geleneksel kurutma yöntemlerine göre birçok avantaja sahiptir; kurutma süresinin kısa olması, kurutulmuş üründe yüksek kalite ve standardizasyonun sağlanabilmesi, kurutulmuş ürünün besin içeriğindeki kayıpların en aza indirilmesi ve uygun koşullarda kurutma işleminin gerçekleştirilmesi yapay kurutma yöntemlerinin avantajlarından biridir. Bu avantajlarının yanı sıra ilk yatırım ve işletme maliyetinin yüksek olması ve enerji ihtiyacının fazlalığı gibi dezavantajlarından dolayı gelişen teknolojiyle birlikte yeni kurutma yöntemleri geliştirilmektedir (Demiray ve Tülek, 2008; Ayan, 2010).

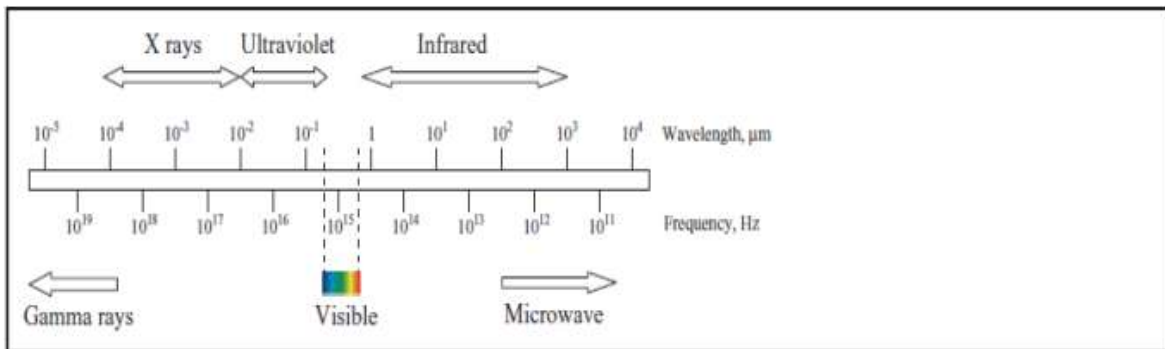
Gıdalardaki suyun uzaklaştırılması için gerekli olan ısı enerjisinin kurutucuya taşınma yöntemi, konveksiyon kurutma, kontakt kurutma ve radyasyonla kurutma olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşir. Günümüzde ısı enerjisinin kurutucuya taşınma yöntemlerine göre çeşitli kurutma sistemleri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Konveksiyon kurutmada gerekli ısı enerjisinin bir gaz tarafından yani sıcak hava yardımıyla kurutulacak ürüne taşınmasıyla ısı transferi sağlanır. Kurutulacak ürünün içinden, üzerinden ve arasından sıcak hava geçirilir. Bu yöntem sıcak havayla kurutma yöntemi olarak da adlandırılır. Akışkan yatak kurutucu, kabin kurutucu, tünel kurutucu ve püskürterek kurutucu gibi kurutma sistemlerinde bu yöntemden faydalanılmaktadır. Kontakt kurutmada

ısı enerjisi, kondüksiyonla yani kurutulacak ürün hareketsizken ya da hareket ederken temas ettiği sıcak yüzeyden ürüne taşınır. Bu yöntemin en yaygın olarak kullanılan örneği silindirik (valsli) kurutuculardır. Radyasyonla kurutmada ise, ürün içerisindeki suyun uzaklaştırılması için gerekli olan ısı herhangi bir taşıyıcıya gerek olmadan sistemdeki bir radyasyon kaynağıyla sağlanmaktadır. Bu yöntemle kurutmada, mikrodalga, kızılötesi ve dielektrik gibi elektromanyetik enerji çeşitlerinden faydalanılmaktadır (Ayan, 2010; Günerhan, 2012; Çetin, 2021).

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde gıdaları kurutabilmek amacıyla birçok yapay kurutma yöntemi kullanılmaktadır. Sıcak hava ile kurutma (konvektif), akışkan yataklı kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, vakumlu kurutma, sprey kurutma, köpük kurutma, puf kurutma, ozmotik kurutma ve elektrohidrokinamik kurutma örnek olarak verilebilir. Ayrıca bu yöntemler yalnız başına kullanılabildikleri gibi kombine halde hibrit kullanımları da mevcuttur.

2.4. Kızılötesi Kurutma

Kızılötesi (IR), elektromanyetik spektrumda mikrodalga ile görünür ışık bölgeleri arasında yer alan ve 0,75-1000 μm dalga boyu aralığına sahip elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanır. Kızılötesi radyasyon, yakın (0,75-2 μm), orta (2-4 μm) ve uzak (4-1000 μm) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Huang vd., 2021).



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu (Krishnamurthy vd., 2008)

Kızılötesi ışınım, ısı enerjisini elektromanyetik dalgalar halinde iletir. Kızılötesi ışınım gıda ürünlerine uygulandığında dalgalar yansır, absorplanır veya iletilir

(Krishnamurthy vd., 2008). Gıda alanında birçok proses için kızılötesi ışıınımdan faydalanılır. Kızılötesi ışıını yaygın olarak kurutma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulacak gıda ürünün üzerine yansıyan kızılötesi ışıımaların ısı enerjisine dönüştürülmesiyle fazla miktardaki suyun üründen uzaklaştırılması sağlanır (Günaydın vd., 2022).

Kızılötesi kurutma yönteminde gerekli olan ısı ortam havasını ısıtmadan direkt olarak ürünün yüzeyine nüfuz eder ve ürünün içine doğru iletilir. Kurutulacak ürünün yüzeyine yakın olan bölgeler daha fazla ısındığı için kızılötesi kurutma yöntemiyle ince tabaka halindeki ürünlerin kurutulması daha uygundur (Tanta, 2019).

Kızılötesi ışıınının gıda ürünü içerisindeki nüfuz derinliği kızılötesi ışıınının dalga boyuna bağlı olmasının yanı sıra kurutulacak gıda ürününün kimyasal bileşimi, fiziksel (su içeriği, yoğunluk vb.) ve fizikokimyasal (katı, sıvı, gaz hali gibi) özelliklerine göre de değişiklik göstermektedir (Arslan, 2012). Gıda ürünlerinin kızılötesi ışıınlarla işlenmesinde 2,5 μm 'den büyük dalga boyuna sahip olan kızılötesi ışıınların gıda ürünü tarafından daha iyi absorbe edildiği bilinmektedir (Tuncel ve Tuncel, 2016).

Kızılötesi kurutma yöntemi diğer kurutma yöntemlerine göre daha fazla avantaja sahip olmasından dolayı son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma işlemi için gerekli olan ısıının ortam havasını ısıtmadan direkt olarak ürüne nüfuz etmesi nedeniyle yüksek ısı transferi sağlanır (Skjöldebrand, 2001). Yüksek ısı transferi sağlamanın yanı sıra kısa kurutma süresi, işlem basamaklarının kontrol edilebilir olması, enerji gereksiniminin az olması, yüksek kalitede son ürün elde edilmesi, besin ve kalite kayıplarının azaltılması, basit bir ekipman yapısı ile kolay kurulumu, düşük yatırım maliyeti ve çevre dostu olması gibi avantajlara sahiptir (Chua ve Chuo, 2003; Nasıroğlu, 2007; Özkoç, 2010; Huang vd., 2021). Fakat, nüfuz gücünün sınırlı olmasından dolayı kalın tabakalı ürünlerde yeterli kurutma gerçekleştirilememesi ve her gıda ürününe uygun olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Tuncel ve Tuncel, 2016).

2.5. Kızılötesi Işınmadan Yararlanılarak Gerçekleştirilen Kurutma Çalışmaları

Kızılötesi kurutma yöntemi meyve, sebze, hububat ve baklagillerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Krisnamurthy vd., 2008). Gıda ürünlerinin kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulması ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur.

Akosman (2003) yaptığı çalışmada, farklı kurutma havası (60, 70, 80 ve 100 °C) sıcaklıklarında kızılötesi kurutucu ile kristal ve küp şeker örneklerini kurutmuş; sıcaklığın ve şekerin katı yapısının kurutma üzerine etkisini araştırmıştır. Kızılötesi enerjili kurutucuyla kurutulan kristal ve küp şeker örneklerinin içerdikleri nemin diğer kurutuculara göre daha kısa sürede uzaklaştığını tespit etmiştir.

Das vd. (2004), kızılötesi ışınımlı titreşimli bir kurutucuyla çeltik tanelerini kurutmuşlardır. Yaptıkları çalışmada farklı kızılötesi yoğunluk seviyeleri (5514, 4520, 3510, 2520 ve 1509 W/m²) ve ürün tabaka derinliği (3, 6, 12 ve 25 mm) kullanarak kurutma için gerekli olan özgül enerji tüketimi ve kurutulmuş çeltiğin renk, jelatinize tohum yüzdesi gibi kalite parametreleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Özgül enerji tüketim değerleri 14,7–73,4 MJ/kg-su arasında değişmiş olup radyasyon şiddeti arttıkça ve ürün kalınlığı azaldıkça özgül enerji tüketim değerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Kurutulan çeltiğin renk özelliklerinin de kızılötesi radyasyon yoğunluğu ve ürün tabaka derinliğinden etkilendiğini bu nedenle radyasyon şiddetinin artmasıyla daha koyu renkli örnekler elde edildiği ifade edilmiştir.

Nowak ve Lewicki (2004) bu çalışmada elma dilimlerini hem konveksiyon yoluyla hem de kızılötesi enerjiyle kurutup, kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma kinetiğinin örnek ile kızılötesi enerji arasındaki mesafeye ve kurutma havası hızına bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kızılötesi kurutma yönteminin eşdeğer koşullar altında konveksiyon yoluyla yapılan kurutmaya göre kurutma süresini %50'ye kadar azaltabileceği bildirilmiştir.

Boudhrioua vd. (2009) çalışmalarında, kızılötesi kurutucu ile taze zeytin yapraklarını kurutmuşlardır. Kızılötesi kurutma ile kurutulan zeytin yaprağı örneklerinin nem içeriğinin %85 oranında azaldığı saptanmıştır. Aynı zamanda zeytin yaprağının taze halindeki yeşilliğini koruduğunu ve yaprakların parlaklığının arttığını belirtmişlerdir.

Doymaz (2013) bu çalışmada farklı kızılötesi güç seviyelerinde (83, 125, 167 ve 209 W) havuç posası kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Kızılötesi güç seviyesinin artmasıyla kurutma hızının arttığını kurutma süresinin ise azaldığını bildirmiştir.

Aktaş vd. (2013), kızılötesi ışımlı bir kurutucu geliştirip ayva dilimlerini kurutmuşlardır. Ayva dilimlerinin kurutma işlemi farklı kurutma hava sıcaklıklarında (35 ve 40 °C) ve hava hızlarında (1,22, 1,83 ve 2,45 m/s) gerçekleştirilmiştir. Ayva dilimleri 3,89 g su/g kuru madde nem miktarından 0,16 g su/g kuru madde son nem miktarına kadar kurutulmuş ve kurutma süresi ortalama 315 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu sürenin diğer yöntemlere göre oldukça kısa olduğunu vurgulamışlardır.

Doymaz (2014), kültür mantarı dilimlerini farklı kızılötesi güç seviyelerinde (83, 125, 167 ve 209 W) kurutup, kızılötesi güç seviyesinin kurutma kinetiği üzerine etkisini araştırmıştır. Güç seviyesinin mantar dilimlerinin kurutma ve rehidrasyon özelliklerini etkilediğini gözlemlemiştir. Kızılötesi güç seviyesinin 83'ten 209 W'a yükselmesiyle kurutma süresinin 300 dakikadan 40 dakikaya düştüğünü saptamıştır.

Sadin vd. (2014) çalışmalarında, domates dilimlerini kızılötesi kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve dilim kalınlıklarında (3, 5 ve 7 mm) kurutmuşlardır. Kurutulan domates dilimleri arasında en düşük kurutma süresinin 80 °C sıcaklıkta ve 3 mm kalınlıktaki domates diliminde, en yüksek kuruma süresinin ise 60 °C sıcaklıkta ve 7 mm kalınlıktaki domates diliminde olduğu belirtilmiştir. Kurutma hızının, artan sıcaklık ve azalan örnek dilim kalınlığına bağlı olarak arttığı bu nedenle kurutma süresinin kısaldığı ifade edilmiştir.

Kocabıyık vd. (2015) yaptıkları çalışmada, domates dilimlerini 1830, 2385, 2640, 2880 ve 3165 W/m² kızılötesi radyasyon yoğunluklarında ve farklı hava hızlarında (1,0, 1,5 ve 2,0 m/s) kurutup son ürün kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kuruttukları domates dilimlerinde C vitamini ve β-karoten içeriğinde sırasıyla %2-51 ve %5-51 arasında değişen oranlarda azalma tespit edilirken likopen içeriğinde ise %50 ile 529 arasında değişen bir artış görülmüştür. Kızılötesi kurutucuyla kurutulan domates dilimlerinin besin özelliklerinin korunduğunu gözlemlemişlerdir.

Türker ve İşleroğlu (2017) kuşburnu pulpunun kızılötesi kurutucuda kurutulması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Farklı sıcaklık değerlerinde (50, 60, 70, 80 ve 90 °C) gerçekleştirdikleri denemeler sonucunda sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı saptanmıştır. 50 °C’de yapılan kurutma işlemi 510 dakika sürerken, 90 °C’de bu sürenin yaklaşık 4,5 kat azalarak 114 dakikaya kadar gerilediği bildirilmiştir.

Taşkın ve İzli (2017) çalışmalarında hurma örneklerinin farklı sıcaklık değerlerindeki (60, 70 ve 80 °C) kızılötesi kurutucu ile kurutulmasını incelemiştir. İncelemeler sonucunda 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda kurutulan örneklerin ortalama kurutma sürelerinin sırasıyla 310, 170 ve 110 dakika olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda hurma örneklerinin nem oranlarının azalmasıyla kurutma hızlarının da yavaşladığını vurgulamışlardır.

Küçük ve Doymaz (2019), kızılötesi kurutucu ile kurutulan kamkat dilimlerinin kurutma karakteristiklerini incelemiştir. 50, 62, 74 ve 88 W olmak üzere farklı kızılötesi güç seviyelerinde gerçekleştirilen kurutma işleminde kurutma süreleri sırasıyla yaklaşık 330, 240, 180 ve 150 dakika olarak tespit edilmiştir. Kurutma süresinin kızılötesi gücün artmasıyla kısaldığını gözlemlemiştir.

Kayran ve Doymaz (2019) bu çalışmada, 62, 74, 88, 104 ve 125 W kızılötesi güç seviyelerinde kayısı posasını kurutup, kurutma kinetiğini araştırmışlardır. Kayısı posasının kuruma özelliklerinin kızılötesi güçten büyük ölçüde etkilendiğini dolayısıyla kızılötesi gücün artmasıyla kuruma sürelerinin kısaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca artan kızılötesi güç seviyesiyle birlikte renk değerlerinin (L^* , a^* , b^* ve kroma) azaldığını da saptamışlardır.

2.6. Kızılötesi Kurutmanın Diğer Kurutma Yöntemleriyle Kombinasyonu

Hibrit kurutma yöntemleri, tek başına kullanılan kurutma yöntemlerinin sebep olduğu olumsuzlukları indirmek ve farklı kurutma yöntemlerinin avantajlarını birleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Her ne kadar kızılötesi kurutma gelecek vaat eden yeni bir teknoloji olsa da her gıda ürününün kurutulmasına uygun değildir. Bu nedenle kızılötesi kurutma ile konvektif (sıcak hava), mikrodalga, vakum ve dondurarak kurutma gibi yöntemlerin kombinasyonu yapılarak hibrit kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Kızılötesi

kurutma yöntemi diğer yöntemlerle kombine edildiğinde kurutma süresini kısaltması, enerji tasarrufu sağlaması ve yüksek kalitede son ürün elde edilmesi gibi bazı faydalar sağlaması nedeniyle gıda işlemede yaygın şekilde kullanım potansiyeline sahiptir.

Afzal vd. (1999) yaptıkları çalışmada hem konveksiyon yoluyla hem de uzak kızılötesi-konveksiyon kombine sistemiyle kuruttukları arpa numunelerinin kalite özelliklerini ve harcanan enerji miktarlarını incelemişlerdir. Uzak kızılötesi-konveksiyon kombine sisteminde 3 farklı sıcaklık (40, 55, 70 °C) ve 3 farklı kızılötesi güç seviyesi (0,167, 0,333, 0,500 W/cm²) kullanılmıştır. Konveksiyon yoluyla kurutmada ise 40, 55 ve 70 °C sıcaklık değerleri altında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Arpa numunelerinin uzak kızılötesi-konveksiyon kombine sistemiyle kurutulması sırasında gerekli toplam enerji miktarının 40, 55 ve 70 °C'deki konveksiyonel kurutmaya kıyasla sırasıyla %156, %238 ve %245 azaldığını tespit etmişlerdir. Arpanın 0,333 W/cm² kızılötesi güç seviyesinde kurutulmasını optimum koşul olarak belirleyip kızılötesi güç seviyesinin artmasıyla arpa kalitesinin düştüğü bildirilmiştir.

Mongpraneet vd. (2002), soğan dilimlerini vakum kurutma yöntemi ve kızılötesi-vakum kurutma kombinasyonu ile kurutmuşlardır. Kızılötesi-vakum kurutma kombinasyonunun, ürünlerdeki nem içeriğini hızlıca azalttığı görülmüştür. Ayrıca kızılötesi güç seviyesinin soğan dilimlerinin klorofil miktarı ve rehidrasyon oranı gibi kalite özellikleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Hebbar vd. (2004), sebzelerin kurutulması amacıyla kombine bir kızılötesi-sıcak hava kurutma sistemi geliştirip patates ve havuç örneklerini kurutarak bu sistemin performansını sıcak havayla kurutma ile karşılaştırmışlardır. Kombine kurutucuda kurutulan havuç ve patates örneklerinin sıcak havayla kurutmaya kıyasla kurutma süresinin %48, harcanan enerji miktarının da %63 azaldığını gözlemlemişlerdir. Pathare ve Sharma (2006), kızılötesi-sıcak hava kurutma yöntemiyle soğan dilimlerini kurutmaları sırasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Kumar vd. (2005) çalışmalarında, soğan dilimlerini sıcak hava, kızılötesi ve kızılötesi-sıcak hava kombine sistem ile kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığı, dilim kalınlığı, hava sıcaklığı ve hızı gibi işlem koşullarının soğan dilimlerinin kurutma karakteristikleri ve

kalite özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre kurutma süresinin kızılötesi kurutmaya %30, kızılötesi-sıcak hava kombine sistem ile %36 daha kısa olduğu görülmüştür. Aynı zamanda kızılötesi-sıcak hava kombine sistem ile kurutulan soğan dilimlerinin sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutulanlara göre daha iyi kalitede elde edildiği bildirilmiştir.

Sumnu vd. (2005) havuç dilimleri ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında mikrodalga, kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerini kullanarak kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Farklı yöntemlerle kurutulan havuç dilimlerinin kurutma süresini, rehidrasyon kapasitesini ve renk değerlerini incelemişlerdir. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan havuç dilimi örneklerinin, sıcak hava ile kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerle kıyaslanması sonucunda kurutma süresinde %98 oranında azalma olduğu, daha yüksek rehidrasyon kapasitesine, daha düşük L^* , daha yüksek a^* ve b^* değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir.

Tireki vd. (2006) çalışmalarında, kızılötesi-mikrodalga kurutma kombinasyonu ile ekmek içi örneklerini kurutmuşlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan ekmek içi örneklerinin kurutma süresinin yaklaşık %97-99 oranlarında azaldığı görülmüştür ve aynı zamanda kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan ekmek içi örneklerinin renk değerlerinin geleneksel fırında kurutulan örneklerin renk değerleriyle benzer olduğu ifade edilmiştir.

Nimmol vd. (2007) muz dilimleri ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında kızılötesi-vakum kurutma ve kızılötesi-düşük basınçlı buhar kurutma kombinasyonlu kurutucuları kullanarak kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kurutma sıcaklığı (70, 80 ve 90 °C) ve basınç (7 ve 10 kPa) gibi kurutma parametrelerinin kurutulmuş ürünün kalite özellikleri ve kurutma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kızılötesi-vakum kombinasyonlu kurutucuda kurutulan muz dilimlerinin kızılötesi-düşük basınçlı buhar kombinasyonu ile kurutmaya kıyasla daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Kalite özellikleri bakımından en iyi kurutma şartlarının 80 °C'de kızılötesi-düşük basınçlı buhar kombinasyonlu kurutucuda sağlandığı saptanmıştır.

Lin vd. (2007), kızılötesi destekli dondurarak kurutma yöntemi ile yam meyvesini kurutmuşlardır. Dondurarak kurutma yönteminin kızılötesi ışınımla desteklenmesiyle kurutma süresi ve renk farklılıklarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kurutma sıcaklığı ve dilim kalınlığının, kurutma süresi ve rehidrasyon kapasitesi üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Shih vd. (2008) çalışmalarında çilek örneklerine kızılötesi ve dondurarak kurutma yöntemlerini sırasıyla uygulayıp kurutulmuş ürünün kurutma kinetiğini ve kalite özelliklerini incelemişlerdir. Kızılötesi-dondurarak kurutma kombinasyonu ile kurutulan çileklerin sadece dondurarak kurutmaya göre daha yüksek gevrekliğe ve daha koyu kırmızı renge sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda kombine şekilde kurutulan örneklerin kurutma süresinin %42 düzeyinde azaldığı tespit edilmiştir.

Abdelmotaleb vd. (2009), sarımsak dilimlerini konvektif kurutma ve kızılötesi-konvektif kurutma kombinasyonu ile kurutmuşlardır. Sarımsak dilimlerinin kızılötesi-konvektif kombine sistemle ile kurutulmasıyla kurutma süresi ve enerji tüketiminin azaldığı ifade edilmiştir.

Kouchakzadeh ve Haghghi (2011) bu çalışmada antep fıstığı örneklerini kızılötesi-vakum kombinasyonlu kurutucu ile kurutmuşlardır. Kombine kurutucunun kurutma işlemini konveksiyonel kurutucuya göre ortalama olarak 8-10 kat daha hızlı gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Öztürk (2014), muz ve kivi örneklerini mikrodalga, kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ve konveksiyonel kurutma yöntemleriyle kurutmuştur. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutma işlemi konveksiyonel kurutma ile karşılaştırıldığında muz örneklerinde nem içeriği daha düşük ve yüksek kalitede kurutulmuş ürünler elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca muz örneklerinde yaklaşık %63 zaman tasarrufu sağlanırken kivi örneklerinde yaklaşık %57 zaman tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir.

Aydoğdu vd. (2015) yaptıkları çalışmada, sıcak hava ile kurutma ve kızılötesi-mikrodalga kombinasyonlu kurutmanın patlıcanların kurutma özellikleri ve kalite parametreleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonunun

sıcak hava ile kurutmaya göre daha kısa kurutma süresi sağladığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan patlıcanların sıcak hava ile kurutulanlara göre daha gözenekli bir yapıya sahip olmalarından dolayı daha düşük büzülme ve daha yüksek rehidrasyon oranına sahip oldukları bildirilmiştir.

Aidani vd. (2017) gerçekleştirdikleri çalışmada kivi meyvesini kızılötesi-vakum kombinasyonlu kurutucu kurutmuşlardır. Kurutma işlemi çeşitli kızılötesi güç seviyelerinde (200, 250 ve 300 W) ve basınçta (5, 10 ve 15 kPa) gerçekleştirilmiştir. Kızılötesi güç seviyesinin 200'den 300 W'a arttırılmasıyla ΔE değerlerinin sırasıyla 13,81'den 17,29'a yükseldiği ve böylelikle kızılötesi güç seviyesinin artmasıyla ΔE değeri üzerinde negatif bir etki gözlemlendiği sonucuna varılmıştır.

Salehi ve Kashaninejad (2018) kızılötesi-vakum kombinasyonlu kurutucuda limon dilimlerini kuruttukları çalışmalarında, kızılötesi güç seviyesinin ve vakum basıncının limon dilimlerinin kurutma süresini etkilediğini bildirmişlerdir.

Khampakool vd. (2019) yaptıkları çalışmada atıştırmalık muz cipsi üretebilmek için kızılötesi-dondurarak kurutma kombinasyonlu kurutucu kullanmışlardır. Kızılötesi-dondurarak kurutma kombinasyonu ile dondurarak kurutma karşılaştırıldığında kombine kurutucunun kurutma süresini 213 dakikaya kadar azaltarak %70'ten fazla zaman tasarrufu sağladığını gözlemlemişlerdir.

2.7. Hindistan Cevizinin Kurutulması ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda Hindistan cevizinin kurutulması ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Madamba (2003) farklı kalınlıklardaki Hindistan cevizi numunelerinin ozmotik ön işlem uygulanarak kurutulması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ozmotik ön işlem uygulaması sırasında üç farklı şeker çözeltisi konsantrasyonu (40, 50 ve 60 °Bx), iki farklı kurutma havası sıcaklığı (50 ve 70 °C) ve sabit hava hızı kullanmıştır. Hindistan cevizi levhalarının kurutulmasının çoğunlukla düşen hız döneminde gerçekleştiğini ve sıvı difüzyonunun süreci kontrol ettiğini belirtmiştir. Ayrıca ozmotik ön işlem uygulanarak

kurutulan örneklerin kurutma oranlarının şeker konsantrasyonu ve levha kalınlığından önemli ölçüde etkilediğini tespit etmiştir.

Niamnuy ve Devahastin (2005) çalışmalarında endüstriyel ölçekli yığın tipi akışkan yataklı bir kurutucu ile ince kıyılmış Hindistan cevizi parçalarını kurutmuşlardır. Giriş havası hızı ve giriş havası sıcaklığı gibi parametrelerin Hindistan cevizi örneklerinin kurutma kinetiği ve kalite özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kurutulmuş ürünün rengi en fazla giriş havası sıcaklığından etkilenirken yüzeydeki yağ miktarının ise en fazla giriş havası hızından etkilendiği tespit edilmiştir. Aynı çalışmada giriş havası hızının artmasıyla kurutma hızı ve yüzeydeki yağ miktarının da arttığı bildirilmiştir.

Madhiyanon vd. (2009), ince tabaka halinde doğranmış Hindistan cevizi örneklerinin akışkan yataklı bir kurutucuda deneysel olarak kurutulmasını incelemişlerdir. Deneyler 60 ile 120 °C arasında değişen farklı kurutma sıcaklıklarında ve 2,5 m/s sabit hava hızında gerçekleştirilmiş ve doğranmış Hindistan cevizi örneklerinin nem içeriği %105'ten %3'e kadar düşürülmüştür. Nem içeriği ve kurutma oranının kurutma sıcaklığına bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir.

Shingare ve Thorat (2012), Hindistan cevizi dilimlerinin (2 ve 4 mm) ince tabaka kurutma özelliklerini kızılötesi kurutucu kullanarak incelemişlerdir. Fakat gerçekleştirdikleri çalışmada optimizasyon ve kalite değerlendirmesi yapılmamıştır. İncelemeler sonucunda kurutma hızının kızılötesi güç seviyesinin artmasına ve dilim kalınlığının azalmasına bağlı olarak arttığı saptanmıştır.

Jongyingcharoen vd. (2019), konveksiyonel kurutucuda Hindistan cevizini kurutmuşlardır. Farklı kurutma sıcaklıklarında (50 ve 80 °C) ve dilim kalınlıklarında (5 ve 10 mm) gerçekleştirilen kurutma işleminde kurutma sürelerinin 70 ile 565 dakika aralığında değiştiği görülmüştür. Kurutma süresinin kurutulmuş Hindistan cevizinin beyazlık indeksi (WI) üzerinde etkili olduğu ve kurutma süresinin kısalmasıyla daha beyaz kurutulmuş Hindistan cevizi elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Saprong vd. (2022) bu çalışmada farklı sıcaklık değerleri (70, 80, 90 ve 100 °C) ve sabit hava hızı (2,0 m/s) kullanarak Hindistan cevizi çeşitlerini konveksiyonel bir kurutucuda

kurutmuşlardır. Sıcaklığın nem difüzyivitesinde %66,8-96,5 arasında değişime neden olduğu görülmüştür.

Sahari vd. (2025), kızılötesi kurutucu ile rendelenmiş Hindistan cevizi örneklerini kurutup kurutulmuş Hindistan cevizinin renk kalitesini etkilemeden kızılötesi kurutma verimliliğini incelemişlerdir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin ve spesifik enerji tüketiminin azaldığını fakat kurutulmuş ürünün renk değişiminin kurutma sıcaklığından olumsuz etkilendiğini bildirilmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Hindistan cevizinin temini ve hazırlanması

Çalışmada kullanılan Hindistan cevizleri yerel market ve pazarlardan temin edilmiştir. Denemelerden önce sert ve kahverengi dış kabukları kırılan Hindistan cevizlerinin beyaz iç kısımları sıyırılarak alınmıştır ve daha sonra granül haline gelinceye kadar bir öğütücü (SCM2934, Sinbo, Türkiye) yardımıyla boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur.

3.1.2. Kullanılan kimyasallar

- Saf su
- Etanol (Isolab, Almanya)
- Metanol (Supelco, Almanya)
- 0,1 N sodyum hidroksit çözeltisi (Kimyalab, Türkiye)
- Folin-Ciocalteu reaktifi (Supelco, Almanya)
- Fenolftalein (Isolab, Almanya)
- Sodyum karbonat (Merck, Darmstadt, Almanya)

Analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıkta kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kızılötesi kurutma deneyinin yapılışı

Kızılötesi kurutma işleminde 150, 200 ve 250 W güce sahip olmak üzere üç adet kızılötesi lamba kullanılmıştır. Kızılötesi lamba ile kurutma işlemine ilişkin diğer parametreler ön denemelerden elde edilen sonuçlara göre Bölüm 3.2.10'da anlatıldığı şekilde merkezi kompozit tasarım deneme dizaynına şu şekilde tanıtılmıştır:

- Kurutma süresi: 30-135-240 dk
- Kızılötesi lamba ile kurutulacak numune arası mesafe: 15-20-25 cm
- Numunenin kalınlığı: 10-15-20 mm



Şekil 3.1. Kızılötesi lamba ile kurutma düzeneği

Kurutma işlemi 2 tekerrürlü gerçekleştirilmiş ve merkezi kompozit tasarım deneme dizaynı kapsamında 62 adet kurutma yapılmıştır.

3.2.2. Nem analizi

Kurutma öncesinde ilk hammaddenin ve daha sonrasında kurutulmuş Hindistan cevizlerinin nem değerinin belirlenmesinde infrared ısıtıcılı hızlı nem tayini cihazı (MAC 50, Radwag, Polonya) kullanılmış ve nem değerleri yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

3.2.3. Su aktivitesi (a_w) analizi

Su aktivitesi analizi (a_w) WaterLab (Steroglass S.r.l., Perugia, İtalya) marka su aktivitesi tayin cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Kurutulan Hindistan cevizlerinden hassas terazide 1 g tartılarak cihazda su aktivitesi değeri denge bağıl nemine ulaştığında okunan değer kaydedilmiştir. Ölçüm işlemi 25 °C’de gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. pH analizi

pH analizi, masaüstü tipi pH metre (MI 151, Milwaukee Instruments Inc., A.B.D.) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Kurutulan Hindistan cevizlerinden behere uygun miktarda tartım alınıp 1:10 (w/v) oranında seyreltilerek manyetik karıştırıcıda (TM12, Thermomac) karıştırılmıştır ve daha sonra kalibre edilmiş pH metre ile pH değerleri ölçülmüştür.

3.2.5. Serbest asitlik analizi

Kurutulan Hindistan cevizlerinden erlene 1 g hassas terazide tartım alınmış ve 50 mL etanol eklenerek çözdürülmüştür. Üzerine 1-2 damla %0,1’lik fenolftalein çözeltisi damlatıldıktan sonra, büret içinde bulunan 0,1 N NaOH çözeltisiyle titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sarfiyatlar not edilerek Eşitlik 3.1’de verilen formüle göre laurik asit cinsinden serbest asitlik hesaplanmıştır.

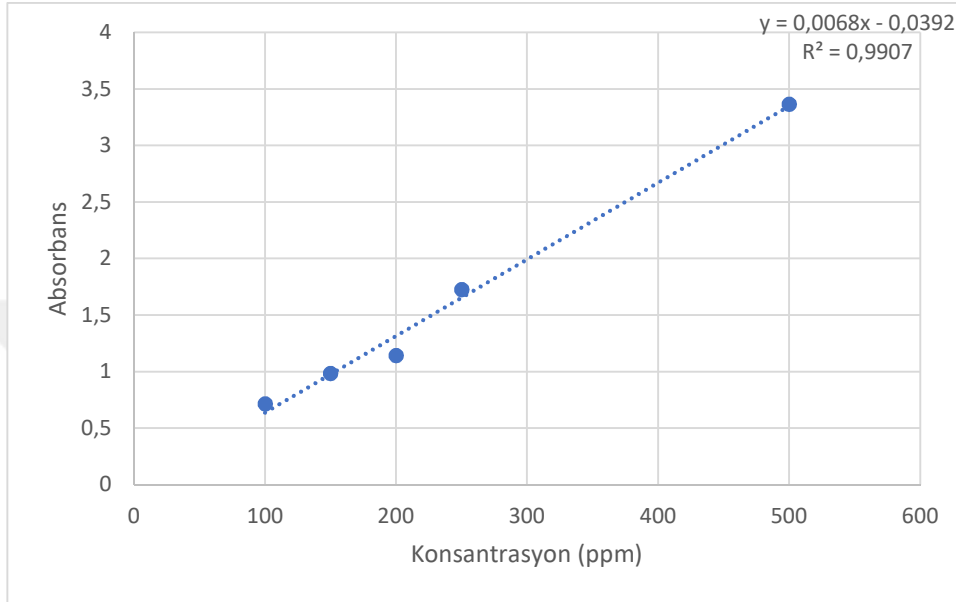
$$\% \text{ serbest asitlik} \left(\frac{g}{100g - ml} \right) = \frac{V * N * 20}{M} \quad (3.1)$$

Burada 'V' harcanan 0,1 N NaOH miktarı (mL); 'N' NaOH normalitesi; '20' laurik asit katsayısı ve 'M' örneğin g cinsinden ağırlığıdır.

3.2.6. Toplam fenolik madde analizi

Kurutulmuş Hindistan cevizlerindeki toplam fenolik madde analizi Folin-Ciocalteu yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için öncelikle 500 ppm gallik asit çözeltisi

metanol ile hazırlanmıştır. Bunu takiben bu çözeltilerden farklı konsantrasyonlardaki ara çözeltiler hazırlanarak spektrofotometrede (V-730, Jasco Inc., Easton, MD) 760 nm dalga boyunda absorbansları okunmuştur. Okunan bu absorbanslar konsantrasyona karşı grafiğe geçirilerek standart kalibrasyon kurvesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Gallik asit kalibrasyon eğrisi

Hazırlanan numunelerden 1 g tartılarak üzerlerine metanol:su (1:1, v/v) karışımı eklenmiş ve fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu sağlanmıştır. Ekstrakte edilen numuneler 7000 rpm dönüş hızında 5 dakika boyunca soğutmalı santrifüj cihazı (Z 326 K, Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya) ile santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası süpernatanttan 1 mL alınarak, sırasıyla 8,25 mL saf su, 0,50 mL Folin-Ciocalteu reaktifi ve 0,25 mL sodyum karbonat çözeltisi (%20'lik konsantrasyonda) eklenmiş ve 30 dakika karanlık ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda hazırlanan numuneler küvetlere alınarak metanol ile köre karşı kalibre edilen spektrofotometrede 760 nm dalga boyunda absorbansları okunmuş ve okunan absorbanslar kalibrasyon kurvesine yerleştirilerek toplam fenolik madde miktarı gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g) cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.7. Renk analizi

Kurutulmuş ve taze Hindistan cevizlerinin renk analizleri, portatif kolorimetre (NR100, 3nh Technology Co. Ltd., Çin) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar L^* , a^* , b^* renk skalası şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.3. Portatif kolorimetre

3.2.8. FT-IR analizi

Kurutma işleminin, Hindistan cevizindeki belirli fonksiyonel gruplar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla numunelerde Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) analizi yapılmıştır. Bu amaçla zayıflatılmış toplam yansıma (ATR)-FTIR spektrometresi (Alpha II, Bruker, A. B. D.) kullanılarak, numune ölçümünden önce cihazda background ayarı yapılmış ve her numuneden yeteri kadar miktar cihazın okuma gözüne yerleştirilerek $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında okuma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. FT-IR spektrometresi

3.2.9. Toplam yağ miktarı ve yağ asidi kompozisyonu analizi

Yağlı bir ürün olan Hindistan cevizinde kurutma öncesi numunede toplam yağ miktarı ve bu yağın içerdiği yağ asidi kompozisyonu analizi yapılmıştır. Toplam yağ miktarı için, belirli miktardaki numunede yağ içeriği Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Elde edilen yağlı çözümden çözücü, vakumlu etüv (WF-HTV25, Weightlab Instruments, Türkiye) yardımıyla uzaklaştırılmış ve daha sonra geriye kalan yağ miktarı yüzde cinsinden ifade edilmiştir.

Daha sonraki aşamada ise ekstrakte edilen yağın yağ asidi kompozisyonu gaz kromatografisi (GC) ile analiz edilmiştir. Öncelikle, uçucu formda olmayan yağ asitlerinin uçucu hale getirilmesi amacıyla ekstrakte edilen yağda bir türevlendirme yöntemi olan metil esterleştirme gerçekleştirilmiştir. Bunun için, bir santrifüj tüpüne analitik terazide 0,1 g yağ ($\pm 0,005$ g) tartılarak, üzerine yağın çözünmesini sağlamak üzere 10 mL hekzan eklenmiş ve iyice karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma, 0,5 mL 2 N konsantrasyonda metanollü potasyum hidroksit (met-KOH) eklenmiş, karıştırılmış ve karanlık bir ortamda bir saat kadar bekletilerek faz ayrımı gerçekleşmesi sağlanmıştır. Böylece karışımın üst fazında oluşturulmuş olan metil esterler kapaklı GC viallerine alınarak aşağıda belirtilen cihaz parametrelerinde enjeksiyonu yapılmış ve analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde

edilen kromatogramlardaki pikler ile daha önceden aynı cihaz koşullarında enjekte edilmiş olan 37 adet yağ asidi metil esteri karışımından (37-FAME Mix) elde edilen kromatogramdaki piklerdeki geliş zamanları (retention time) karşılaştırılarak bileşen tanımlaması yapılmıştır. Yağ asitlerinin miktarları ise karışımdaki toplam yağ asidi miktarının %'si olarak analiz edilmiştir. Analiz için kullanılan GC sistemi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Numunelerin yağ asidi kompozisyonu analizinde kullanılan gaz kromatografi cihaz parametreleri şu şekildedir:

- Kolon: InertCap 5MS/Sil (30 m × 0,25 mm I.D. × 0,25 µm film kalınlığı)
- Enjeksiyon hacmi: 1 µL
- Split/splitless: Split (1:40)
- Kolon akış hızı: 1 mL/dk
- Enjeksiyon bloğu sıcaklığı: 280 °C
- Kolon fırını sıcaklığı: Sıcaklık programı mevcut (80 °C-3dk sabit, 6 °C/dk hızla 300 °C'ye artış, bu sıcaklıkta 10 dk bekleme)
- Dedektör: Alev iyonlaştırılmalı dedektör (FID); 300 °C
- Taşıyıcı gaz: Azot
- Metot süresi: 49,67 dk



Şekil 3.5. Gaz kromatografi (GC) cihazı

3.2.10. Yanıt yüzeyi yöntemi ve deneme planı

Bu tez çalışmasının deneme planı, yanıt yüzey yöntemine (RSM- response surface methodology) ait bir deneme dizaynı olan merkezi kompozit deneme dizaynına (central composite design) bağlı face-centered planı kullanılarak oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenler olarak; kızılötesi lamba gücü (x_1), kurutma süresi (x_2), kızılötesi lamba ile numune tabanı arası mesafe (x_3) ve numune kalınlığı (x_4) seçilmiş olup, bu bağımsız değişkenlerin mevcut olan 3 seviyesi aşağıdaki şekilde seçilmiştir:

x_1 : 150, 200, 250 (Watt)

x_2 : 30, 135, 240 (dk)

x_3 : 15, 20, 25 (cm)

x_4 : 10, 15, 20 (mm)

Tüm denemeler 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş olup, toplamda 62 deneme yürütülmüştür. Dizaynın merkez noktasında yürütülen deneme sayısı 14'tür.

Analizlerden elde edilen veriler Design Expert paket programı (v13.0.5.0, Stat-Ease Inc., A.B.D.) kullanılarak analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda uyum eksikliği önemli çıkan modeller, Design Expert tarafından R^2 değerine göre modifiye edilerek yeniden oluşturulmuştur. Varyans analizlerinde ve farklı derecelerde oluşturulan matematiksel modellerde faktörler kodlanmış olarak analiz edilmiştir. Kurutulan numuneler arasındaki ortalamaların farklı olup olmadığını belirlemek için ise yine %95 güven aralığında Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Bağımsız değişkenlerin ikili olarak bağımlı değişken üzerindeki ortak etkilerinin görsel olarak gösteriminde ise Statistica paket programı (Statistica v10, Statsoft Inc., Tulsa, OK) kullanılarak üç boyutlu yüzey grafiklerden yararlanılmıştır. Denemeye ilişkin dizayn tablosu Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışmaya ilişkin deneme dizaynı tablosu

Deneme No.	Kodlanmamış Parametreler				Kodlanmış Parametreler			
	Lamba gücü (W)	Süre (dk)	Lamba mesafesi (cm)	Örnek kalınlığı (mm)	Lamba gücü (W)	Süre (dk)	Lamba mesafesi (cm)	Örnek kalınlığı (mm)
	(x_1)	(x_2)	(x_3)	(x_4)	(x_1)	(x_2)	(x_3)	(x_4)
1	150	30	15	10	-1	-1	-1	-1
2	250	30	15	10	1	-1	-1	-1
3	150	240	15	10	-1	1	-1	-1
4	250	240	15	10	1	1	-1	-1
5	150	30	25	10	-1	-1	1	-1
6	250	30	25	10	1	-1	1	-1
7	150	240	25	10	-1	1	1	-1
8	250	240	25	10	1	1	1	-1
9	150	30	15	20	-1	-1	-1	1
10	250	30	15	20	1	-1	-1	1
11	150	240	15	20	-1	1	-1	1
12	250	240	15	20	1	1	-1	1
13	150	30	25	20	-1	-1	1	1
14	250	30	25	20	1	-1	1	1
15	150	240	25	20	-1	1	1	1
16	250	240	25	20	1	1	1	1
17	150	135	20	15	-1	0	0	0
18	250	135	20	15	1	0	0	0
19	200	30	20	15	0	-1	0	0
20	200	240	20	15	0	1	0	0
21	200	135	15	15	0	0	-1	0
22	200	135	25	15	0	0	1	0
23	200	135	20	10	0	0	0	-1
24	200	135	20	20	0	0	0	1

25	200	135	20	15	0	0	0	0
26	200	135	20	15	0	0	0	0
27	200	135	20	15	0	0	0	0
28	200	135	20	15	0	0	0	0
29	200	135	20	15	0	0	0	0
30	200	135	20	15	0	0	0	0
31	200	135	20	15	0	0	0	0
32	150	30	15	10	-1	-1	-1	-1
33	250	30	15	10	1	-1	-1	-1
34	150	240	15	10	-1	1	-1	-1
35	250	240	15	10	1	1	-1	-1
36	150	30	25	10	-1	-1	1	-1
37	250	30	25	10	1	-1	1	-1
38	150	240	25	10	-1	1	1	-1
39	250	240	25	10	1	1	1	-1
40	150	30	15	20	-1	-1	-1	1
41	250	30	15	20	1	-1	-1	1
42	150	240	15	20	-1	1	-1	1
43	250	240	15	20	1	1	-1	1
44	150	30	25	20	-1	-1	1	1
45	250	30	25	20	1	-1	1	1
46	150	240	25	20	-1	1	1	1
47	250	240	25	20	1	1	1	1
48	150	135	20	15	-1	0	0	0
49	250	135	20	15	1	0	0	0
50	200	30	20	15	0	-1	0	0
51	200	240	20	15	0	1	0	0
52	200	135	15	15	0	0	-1	0
53	200	135	25	15	0	0	1	0
54	200	135	20	10	0	0	0	-1
55	200	135	20	20	0	0	0	1
56	200	135	20	15	0	0	0	0
57	200	135	20	15	0	0	0	0
58	200	135	20	15	0	0	0	0
59	200	135	20	15	0	0	0	0
60	200	135	20	15	0	0	0	0
61	200	135	20	15	0	0	0	0
62	200	135	20	15	0	0	0	0

Optimizasyon kısmında ise, Design Expert paket programı yardımıyla çok amaçlı optimizasyon (Multi-Objective Optimization) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla minimize ya da maksimize edilecek olan bağımlı değişkenlerin oluşturduğu matematiksel fonksiyonlar sahip oldukları önem derecesine göre birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, toplam fenolik değeri maksimuma ulaşacak bağımlı değişken, nem ve su aktivitesi ise minimuma ulaşacak bağımlı değişken olarak seçilmiştir.

Optimizasyon çalışmasında ele alınan bağımlı değişkenlerin parametreleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Optimizasyon çalışmasında ele alınan bağımlı değişkenlerin parametreleri

	<i>Nem miktarı (%)</i>	<i>Su aktivitesi</i>	<i>Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)</i>
Alt sınır	-	-	140,71
Hedef değer	1,8	0,283	209,34
Üst sınır	50	0,988	-
Önem derecesi	+++	+++	++++
Başlangıç noktası			
• x1 (Lamba gücü, W)		150	
• x2 (Süre, dk)		30	
• x3 (Lamba mesafesi, cm)		15	
• x4 (Numune kalınlığı, mm)		10	

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında farklı kızılötesi kurutma işlem koşullarında kurutulan Hindistan cevizlerinin analiz bulguları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.1. Nem Analizi Bulguları

Gıdalardaki nem miktarı, ürünün içinde bulunan toplam su oranını ifade eder. Nem analizi, kurutulmuş ürünlerde kurutma işleminin etkinliğinin değerlendirilmesi, mikrobiyal bozulma riski, ürünün raf ömrü ve kalite özellikleri bakımından önem taşımaktadır (Tütüncü ve Erbaş, 2016).

Bu çalışmada farklı koşullarda kurutulan Hindistan cevizlerinin nem miktarları incelenmiştir. Denemelerde kullanılan taze Hindistan cevizlerinin ortalama nem miktarı %49,28 olarak belirlenmiştir. Kurutma denemelerinde en düşük nem miktarı olan; %1,80±1,08 değeri 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutma ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.1 Kurutulan Hindistan cevizlerine ait nem analizi bulguları

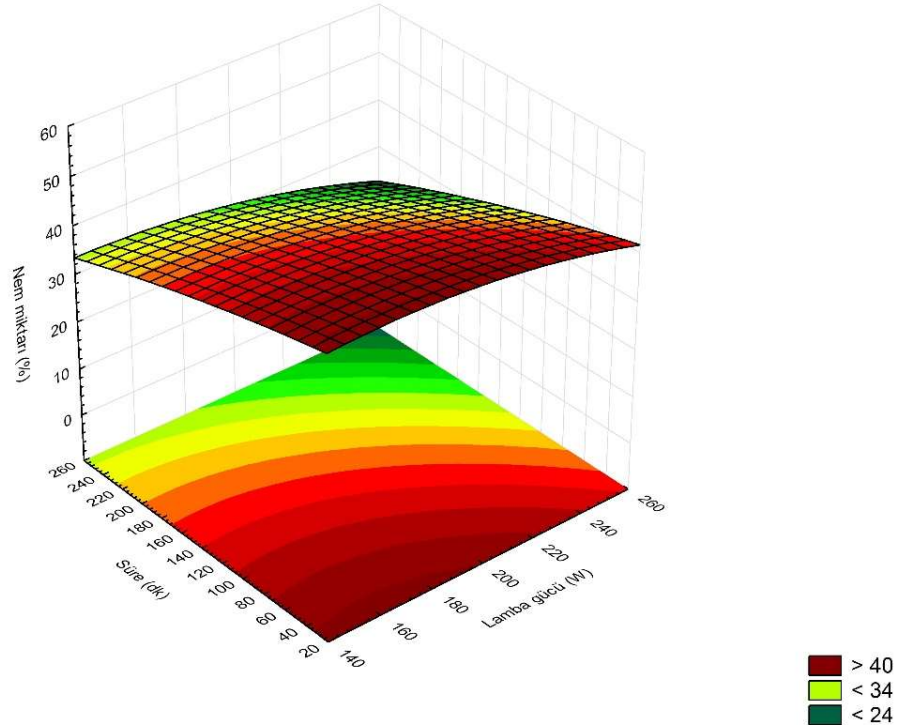
No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	Nem miktarı (%)
1	150	30	15	10	49,50 ^A ±2,26
2	250	30	15	10	37,59 ^{BCDEF} ±8,58
3	150	240	15	10	17,43 ^G ±10,05
4	250	240	15	10	1,80 ^H ±1,08
5	150	30	25	10	44,12 ^{ABCD} ±5,09
6	250	30	25	10	42,06 ^{ABCDE} ±1,19
7	150	240	25	10	35,13 ^{CDEF} ±7,89
8	250	240	25	10	26,64 ^{FG} ±1,23
9	150	30	15	20	48,70 ^{AB} ±2,12
10	250	30	15	20	44,05 ^{ABCD} ±4,08
11	150	240	15	20	44,31 ^{ABCD} ±0,95
12	250	240	15	20	39,16 ^{ABCDE} ±8,44
13	150	30	25	20	50,00 ^A ±0,17
14	250	30	25	20	45,91 ^{ABC} ±1,45
15	150	240	25	20	43,48 ^{ABCD} ±7,20
16	250	240	25	20	38,89 ^{ABCDE} ±0,84
17	150	135	20	15	43,19 ^{ABCD} ±2,78
18	250	135	20	15	33,73 ^{DEF} ±1,03
19	200	30	20	15	48,76 ^{AB} ±3,45
20	200	240	20	15	30,50 ^{EF} ±6,30

21	200	135	15	15	38,73 ^{ABCDE} ±0,07
22	200	135	25	15	46,47 ^{ABC} ±6,69
23	200	135	20	10	35,68 ^{CDEF} ±7,80
24	200	135	20	20	40,07 ^{ABCDE} ±2,07
25	200	135	20	15	41,18 ^{ABCDE} ±4,69

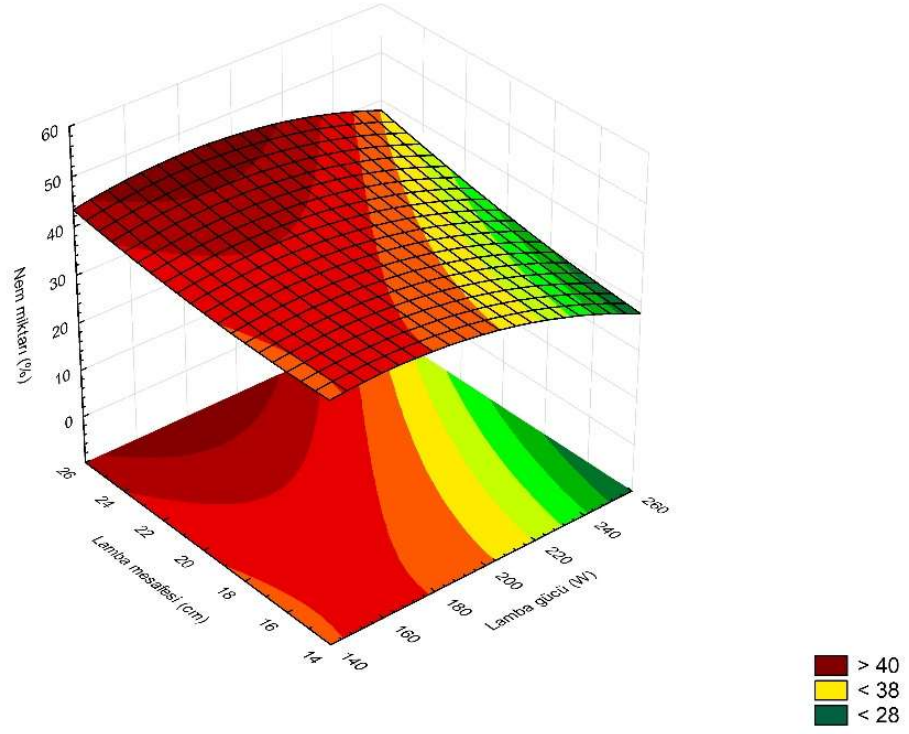
Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p>0,05$).

Şekil 4.1’deki grafikte lamba gücüne paralel olarak kurutma süresinin de artmasıyla örneklerin nem miktarları azalmıştır. Şekil 4.2’de lamba mesafesinin Şekil 4.3’te ise numune kalınlığının azalmasıyla ve her iki grafikte de lamba gücünün artmasıyla nem miktarının azaldığı görülmektedir.

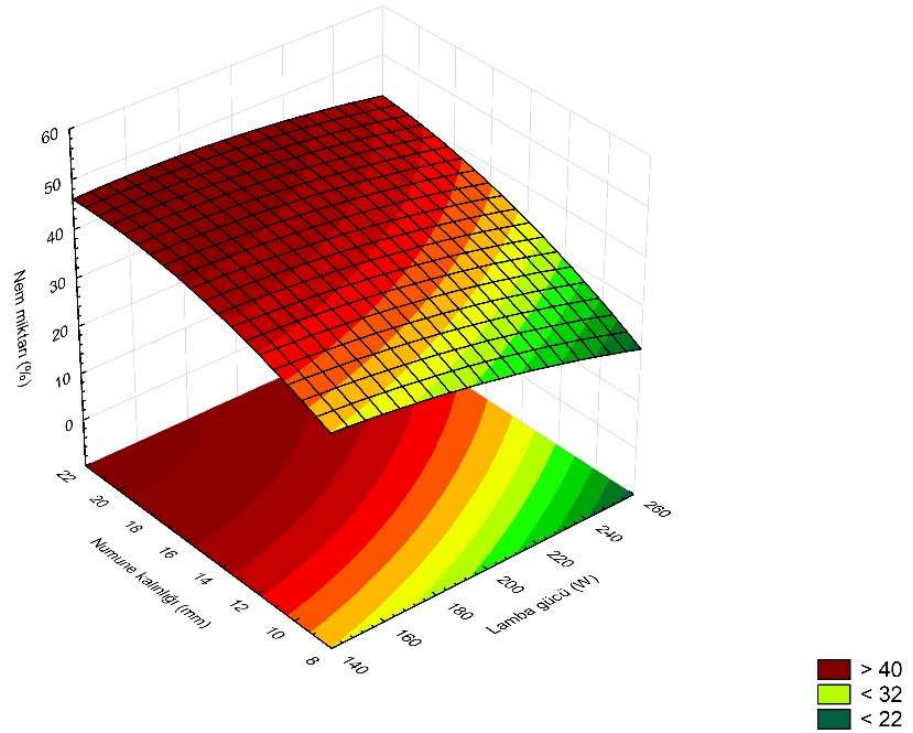
Doymaz (2012) tarafından yapılan bir çalışmada farklı kızılötesi güç seviyelerinde ve numune kalınlıklarında tatlı patates dilimleri kurutulmuş ve kızılötesi güç seviyesinin nem miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve artan kızılötesi güç seviyesiyle kurutma süresinin büyük ölçüde azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca numune kalınlığının artmasıyla nem miktarının örnekten uzaklaşması süresinin de arttığı bildirilmiştir.



Şekil 4.1. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)



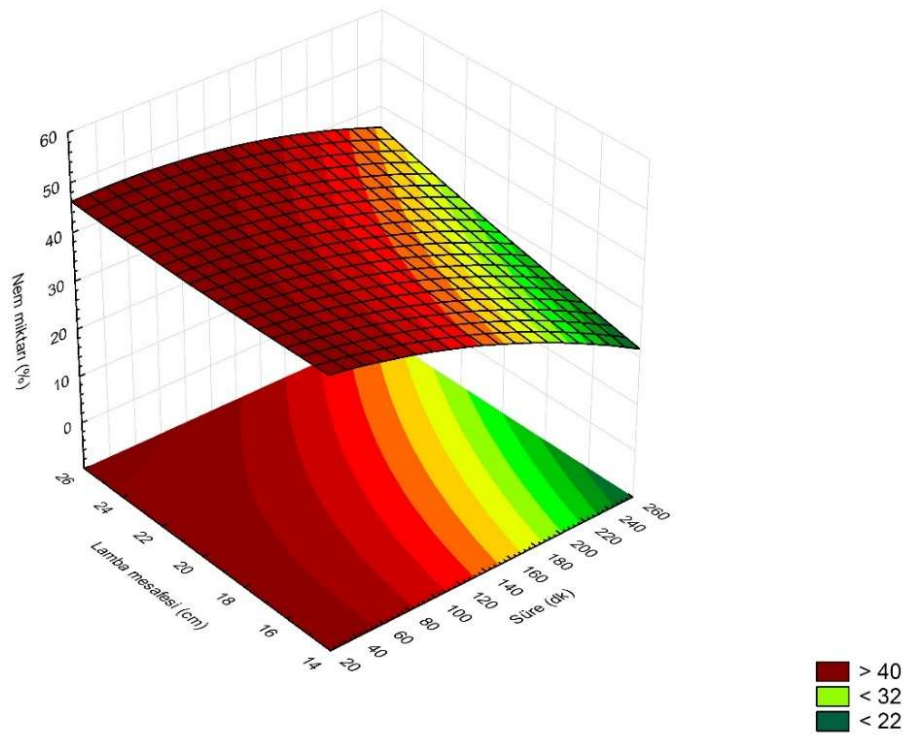
Şekil 4.2. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)



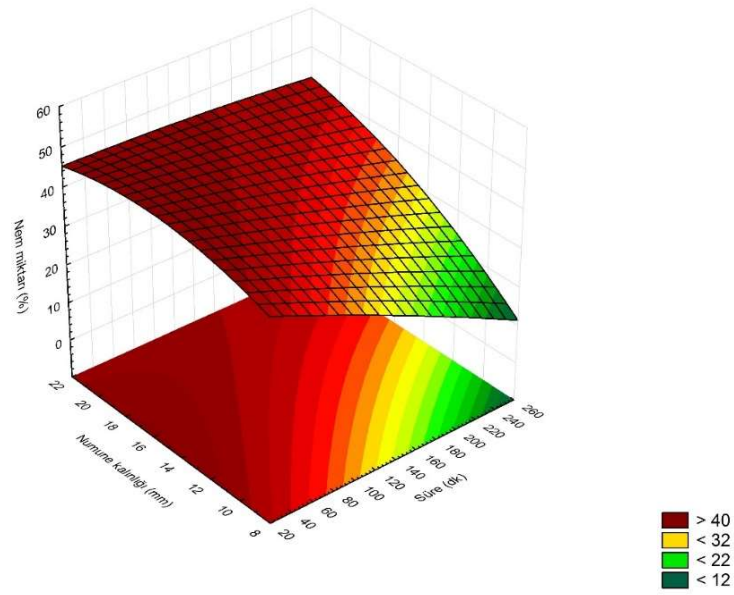
Şekil 4.3. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Farklı kurutma sürelerinde (30, 135 ve 240 dk) kurutulan Hindistan cevizlerinin nem miktarlarının lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan kurutma süresi ile birlikte örneklerin nem miktarlarının azaldığı ve kurutma süresinin nem miktarı değişimi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Hindistan cevizinin farklı sıcaklık (50-80 °C) ve numune kalınlıklarında (5-10 mm) kurutulduğu bir çalışmada sıcaklığın artması ve numune kalınlığının azalmasıyla istenen nem düzeyine daha kısa süre ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Jongyingcharoen vd., 2019).

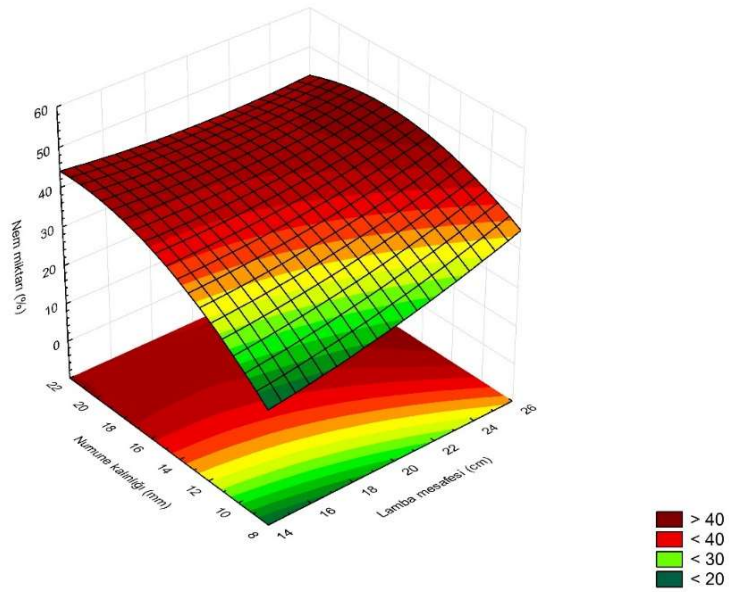


Şekil 4.4. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.5. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.6'daki grafikte sabit tutulan bir lamba mesafesinde numune kalınlığının incilmesiyle kızılötesi ışınların daha iyi nüfuz ettiği ve böylelikle örneklerin nem miktarlarının da azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.6. Kurutulmuş Hindistan cevizinin nem miktarına (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin nem miktarı değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.1’de gösterildiği gibidir:

$$\text{Nem miktarı (\%)} = +40,79 - 3,67A - 7,41B + 2,86C + 5,81D - 0,6968AB + 1,13AC + 1,23AD + 2,45BC + 4,34BD - 2,47CD - 1,88A^2 - 0,7128B^2 + 2,26C^2 - 2,46D^2 \quad (4.1)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Farklı koşullarda kızılötesi lambalarla kurutulan Hindistan cevizlerinin nem miktarı değerlerine ilişkin varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, lamba gücü, süre, lamba mesafesi ve numune kalınlığı parametrelerinin bireysel etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Süre (dk)*lamba mesafesi (cm), süre (dk)*numune kalınlığı (mm) ve lamba mesafesi (cm)*numune kalınlığı (mm) etkileşimleri istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0,05$), diğer interaksiyonların örneklerin nem miktarları üzerine etkisi önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Oluşturulan model verilerin temsilinde istatistik olarak anlamlı bulunurken, uyum eksikliğinin istatistik olarak önemsiz çıkması sonucunda veriler ile model arasında bir uyumsuzluk olmadığı sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.2. Nem miktarı için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:	İkinci derece				
	SS	df	MS	F	p
Model	5213,70	14	372,41	13,55	< 0.0001
A-Lamba gücü	484,34	1	484,34	17,62	0,0001
B-Süre	1976,44	1	1976,44	71,90	< 0.0001
C-Lamba mesafesi	293,93	1	293,93	10,69	0,0020
D-Numune kalınlığı	1215,85	1	1215,85	44,23	< 0.0001
AB	15,54	1	15,54	0,5652	0,4559
AC	41,05	1	41,05	1,49	0,2278
AD	48,10	1	48,10	1,75	0,1923
BC	191,90	1	191,90	6,98	0,0112
BD	602,96	1	602,96	21,94	< 0.0001
CD	195,64	1	195,64	7,12	0,0104
A ²	18,43	1	18,43	0,6704	0,4170
B ²	2,64	1	2,64	0,0959	0,7581

C ²	26,52	1	26,52	0,9648	0,3310
D ²	31,50	1	31,50	1,15	0,2899
Ölçüm Hatası	1291,92	47	27,49		
Uyum Eksikliği	415,48	10	41,55	1,75	0,1049
Saf Hata	876,44	37	23,69		
Toplam	6505,61	61			

R²	0,8014
Adjusted R²	0,7423

4.2. Su Aktivitesi (a_w) Analizi Bulguları

Su aktivitesi, gıdaların içerdiği mikroorganizmalar tarafından kullanılabilen serbest su miktarını ifade eden bir terimdir. Gıdaların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan değişimlerinin belirlenmesinde kritik bir parametre olan su aktivitesi (a_w), kurutma işlemi sırasında suyun ortamdan uzaklaştırılmasıyla azalmaktadır (Kılıç ve Evranuz, 2006; Arancıoğlu, 2020).

Bu tez çalışması kapsamında farklı koşullarda kurutulmuş Hindistan cevizlerinin su aktiviteleri (a_w) ölçülmüştür. Taze Hindistan cevizinin ortalama su aktivitesi 0,934 olarak belirlenmiştir. Nem miktarı analizinde olduğu gibi su aktivitesi analizinde de en düşük değerin (0,283±0,022); 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutmaya ait olduğu bulunmuştur.

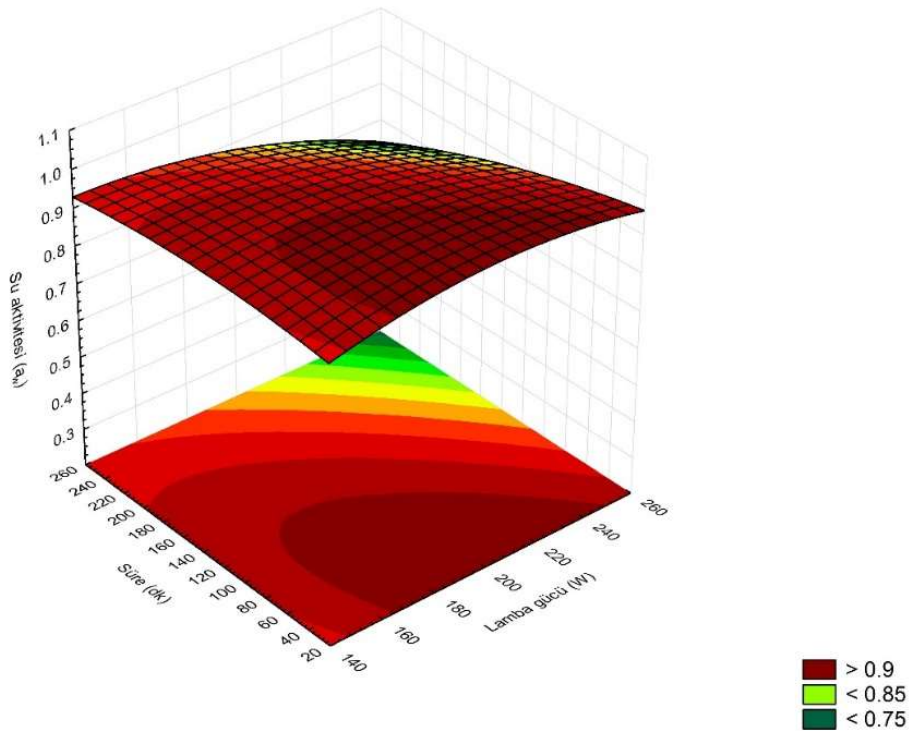
Çizelge 4.3. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait su aktivitesi (a_w) analizi bulguları

No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x ₁ (W)	x ₂ (dk)	x ₃ (cm)	x ₄ (mm)	Su aktivitesi (a _w)
1	150	30	15	10	0,985 ^A ±0,016
2	250	30	15	10	0,961 ^A ±0,036
3	150	240	15	10	0,872 ^B ±0,151
4	250	240	15	10	0,283 ^C ±0,022
5	150	30	25	10	0,956 ^A ±0,015
6	250	30	25	10	0,955 ^A ±0,024
7	150	240	25	10	0,954 ^A ±0,019
8	250	240	25	10	0,916 ^{AB} ±0,015
9	150	30	15	20	0,971 ^A ±0,031
10	250	30	15	20	0,973 ^A ±0,018
11	150	240	15	20	0,968 ^A ±0,035
12	250	240	15	20	0,970 ^A ±0,033
13	150	30	25	20	0,946 ^A ±0,022

14	250	30	25	20	0,988 ^A ±0,007
15	150	240	25	20	0,938 ^{AB} ±0,031
16	250	240	25	20	0,959 ^A ±0,010
17	150	135	20	15	0,957 ^A ±0,024
18	250	135	20	15	0,954 ^A ±0,006
19	200	30	20	15	0,976 ^A ±0,001
20	200	240	20	15	0,966 ^A ±0,002
21	200	135	15	15	0,975 ^A ±0,006
22	200	135	25	15	0,968 ^A ±0,012
23	200	135	20	10	0,967 ^A ±0,002
24	200	135	20	20	0,956 ^A ±0,023
25	200	135	20	15	0,963 ^A ±0,016

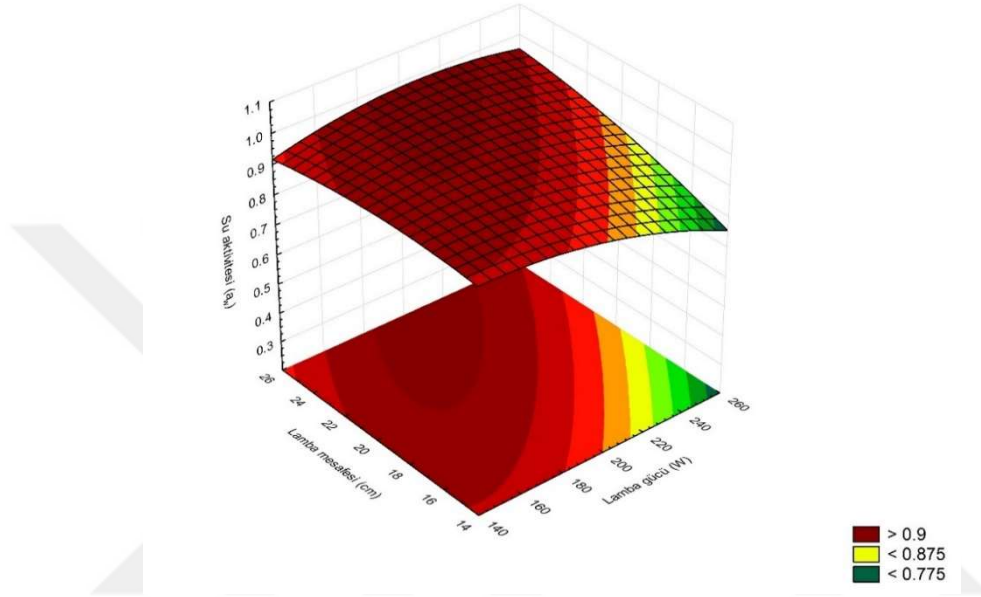
Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p>0,05$).

Hindistan cevizinin kuruması sırasında su aktivitesinin kurutma süresi ve lamba gücüyle değişimi Şekil 4.7’de görülmektedir. Kurutma süresi ve lamba gücünün artmasıyla birlikte Hindistan cevizinin nem miktarının azaldığı ve buna bağlı olarak su aktivitesinin de azaldığı tespit edilmiştir. Wu ve arkadaşları (2019) çalışmalarında *Cordyceps militaris* türü mantarları farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60 ve 70 °C) kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Sıcaklık seviyesi arttıkça kurutma süresinin ve su aktivitesi değerlerinin azaldığı bildirilmiştir.

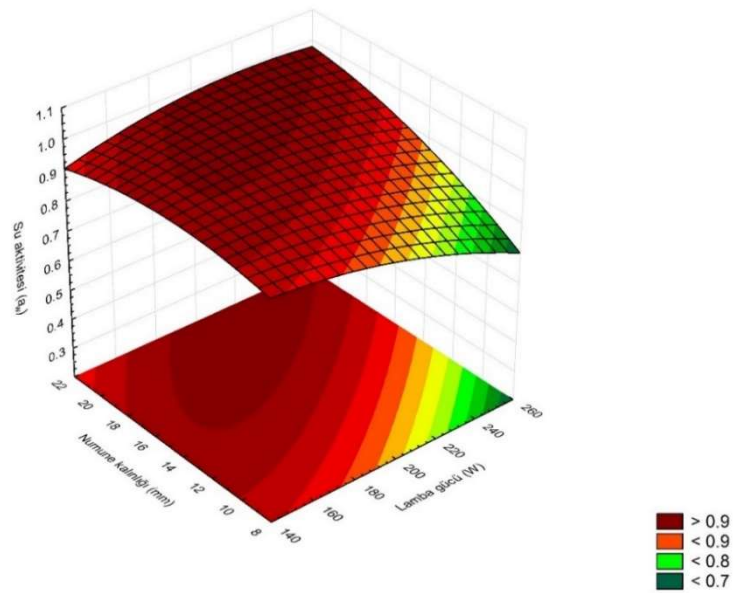


Şekil 4.7. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

Farklı güç seviyelerinde (150, 200 ve 250 W) kurutulmuş Hindistan cevizlerinin su aktivitelerinin lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Uygulanan kızılötesi güç seviyesinin artmasına bağlı olarak sıcaklığın yükselmesi, lamba mesafesinin ve numune kalınlığının ise azalması sonucunda örneklerdeki su miktarı azalmış ve böylelikle su aktivitesinde azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

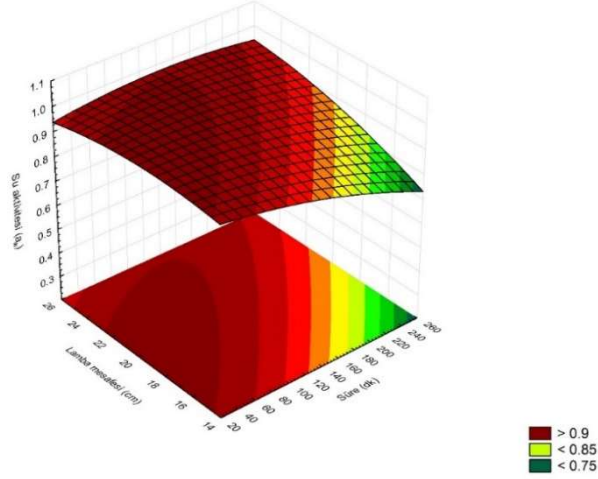


Şekil 4.8. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)



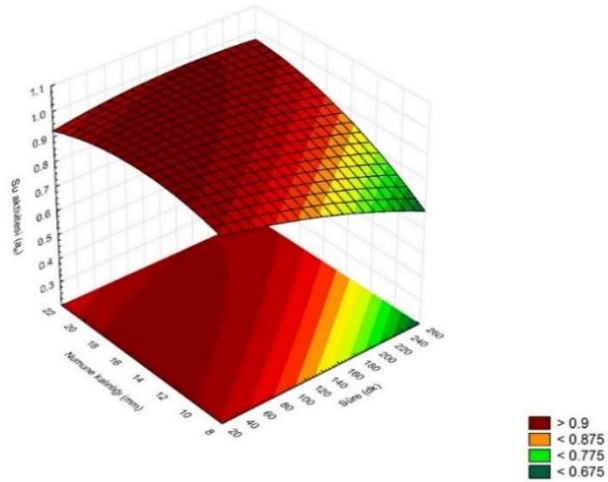
Şekil 4.9. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Şekil 4.10’da su aktivitesinin, kurutma süresi ve lamba mesafesi ile değişimi incelendiğinde lamba mesafesinin sabit tutulup kurutma süresinin artırılmasıyla kurutulan Hindistan cevizinin su aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir.



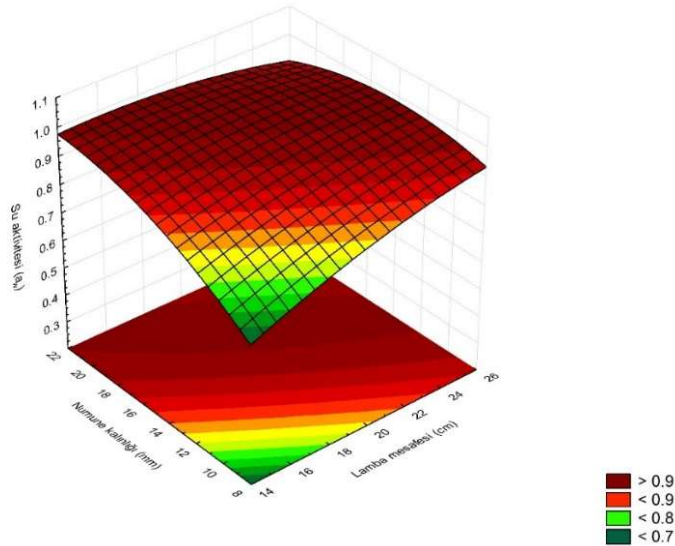
Şekil 4.10. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)

Şekil 4.11’deki grafik incelendiğinde numune kalınlığı arttıkça kızılötesi ışınların nüfuz gücünün azaldığı ve bu nedenle örneklerin daha az nem kaybına uğradığı görülmüştür. Bu durum, su aktivitesi değerinin daha ince numune kalınlıklarına göre daha yüksek olmasına neden olmuştur. Kurutma süresinin artması ve numune kalınlığının azalmasıyla su aktivitesi de azalmaya başlamıştır.



Şekil 4.11. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.12'deki grafikte su aktivitesinin, numune kalınlığı ve lamba mesafesi ile değişimi incelendiğinde numune kalınlığına paralel olarak lamba mesafesinin de azalmasıyla örneklerin su aktivitesi de azalmıştır.



Şekil 4.12. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a_w değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin su aktivitesi (a_w) değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.2'de gösterildiği gibidir:

$$a_w \text{ değeri} = +0,9701 - 0,0325A - 0,0493B + 0,0346C + 0,0456D - 0,0388AB + 0,0396A \\ C + 0,0449AD + 0,0450BC + 0,0493BD - 0,0457CD - 0,0234A^2 - 0,0081B^2 - 0,0075C^2 - \\ 0,0177D^2 \quad (4.2)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Farklı kurutma koşulları ile kurutulan Hindistan cevizlerinin su aktiviteleri üzerine uygulanan parametrelerin (lamba gücü, süre, numune kalınlığı ve lamba mesafesi) hangi önem düzeyinde etkili olduğunu gözlemleyebilmek için varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre uygulanan farklı kurutma parametrelerinin kurutulan Hindistan cevizlerinin su aktivitesi üzerinde hem bireysel hem de interaksiyon etkilerinin istatistik açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Her ne kadar oluşturulan model istatistik olarak anlamlı bulunsa da uyum

eksikliğinin de önemli çıkmasıyla modele yeni terimlerin eklenmesi veya var olan terimlerin çıkarılmasının uygun olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 4.4. Su aktivitesi (a_w) değerleri varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:	İkinci derece				
	Kaynak	SS	df	MS	F
Model	0,6547	14	0,0468	7,55	< 0.0001
A-Lamba gücü	0,0381	1	0,0381	6,16	0,0167
B-Süre	0,0873	1	0,0873	14,10	0,0005
C-Lamba mesafesi	0,0431	1	0,0431	6,97	0,0112
D-Numune kalınlığı	0,0747	1	0,0747	12,07	0,0011
AB	0,0482	1	0,0482	7,78	0,0076
AC	0,0502	1	0,0502	8,10	0,0065
AD	0,0644	1	0,0644	10,40	0,0023
BC	0,0647	1	0,0647	10,45	0,0022
BD	0,0776	1	0,0776	12,54	0,0009
CD	0,0667	1	0,0667	10,78	0,0019
A ²	0,0028	1	0,0028	0,4592	0,5013
B ²	0,0003	1	0,0003	0,0551	0,8155
C ²	0,0003	1	0,0003	0,0466	0,8301
D ²	0,0016	1	0,0016	0,2635	0,6101
Ölçüm Hatası	0,2910	47	0,0062		
Uyum Eksikliği	0,2550	10	0,0255	26,17	< 0.0001
Saf Hata	0,0360	37	0,0010		
Toplam	0,9458	61			

R²	0,6923
Adjusted R²	0,6006

4.3. pH Analizi Bulguları

Gıdalarda pH analizi; mikrobiyolojik ve biyokimyasal reaksiyonların kontrol altına alınması, asitlik düzeyine bağlı kalite özelliklerinin korunması ve kurutma gibi işlemlerin ürün üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilir (Aksoy, 2021).

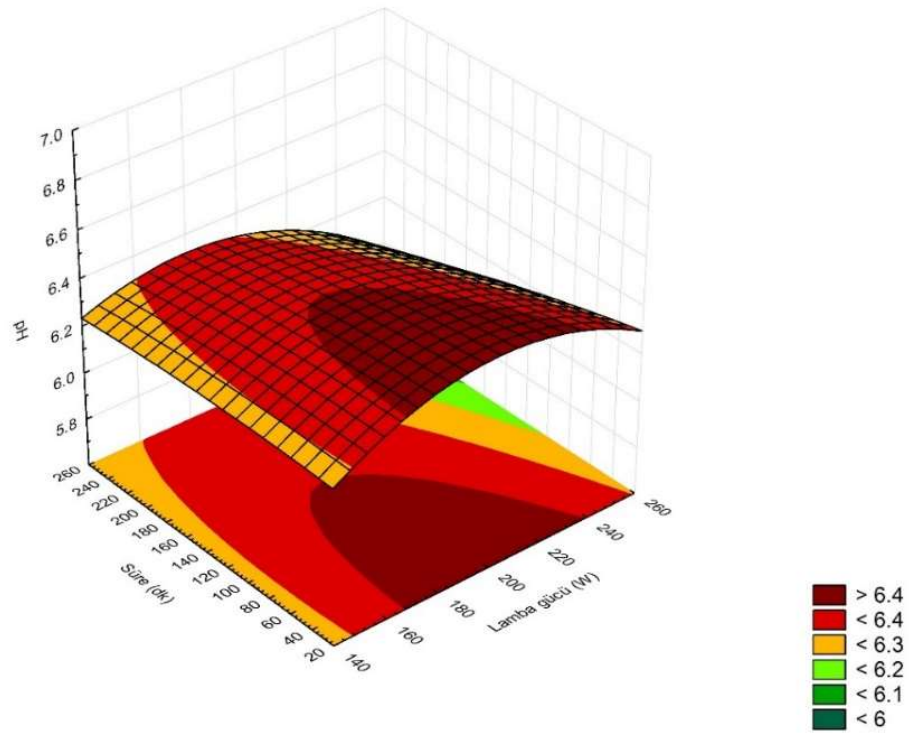
Çalışmada kurutma öncesi Hindistan cevizinin ortalama pH değeri 6,33 olarak belirlenmiştir. Kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin ortalama pH değerleri ise $5,77 \pm 0,04$ ile $6,47 \pm 0,04$ arasında değişmiştir. Bu durumda, kurutma öncesi ve kurutma sonrasında Hindistan cevizinin asit-baz dengesinin korunduğu ifade edilebilir.

Çizelge 4.5. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait pH analizi bulguları

No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	
1	150	30	15	10	6,37 ^{AB} ±0,02
2	250	30	15	10	6,38 ^A ±0,07
3	150	240	15	10	6,20 ^{AB} ±0,06
4	250	240	15	10	5,77 ^C ±0,04
5	150	30	25	10	6,30 ^{AB} ±0,01
6	250	30	25	10	6,42 ^A ±0,01
7	150	240	25	10	6,30 ^{AB} ±0,14
8	250	240	25	10	6,20 ^{AB} ±0,08
9	150	30	15	20	6,30 ^{AB} ±0,03
10	250	30	15	20	6,23 ^{AB} ±0,14
11	150	240	15	20	6,28 ^{AB} ±0,05
12	250	240	15	20	6,05 ^B ±0,01
13	150	30	25	20	6,29 ^{AB} ±0,30
14	250	30	25	20	6,37 ^{AB} ±0,15
15	150	240	25	20	6,30 ^{AB} ±0,20
16	250	240	25	20	6,32 ^{AB} ±0,20
17	150	135	20	15	6,39 ^A ±0,08
18	250	135	20	15	6,21 ^{AB} ±0,03
19	200	30	20	15	6,47 ^A ±0,04
20	200	240	20	15	6,38 ^A ±0,06
21	200	135	15	15	6,30 ^{AB} ±0,30
22	200	135	25	15	6,42 ^A ±0,08
23	200	135	20	10	6,33 ^{AB} ±0,06
24	200	135	20	20	6,45 ^A ±0,01
25	200	135	20	15	6,42 ^A ±0,15

Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p > 0,05$).

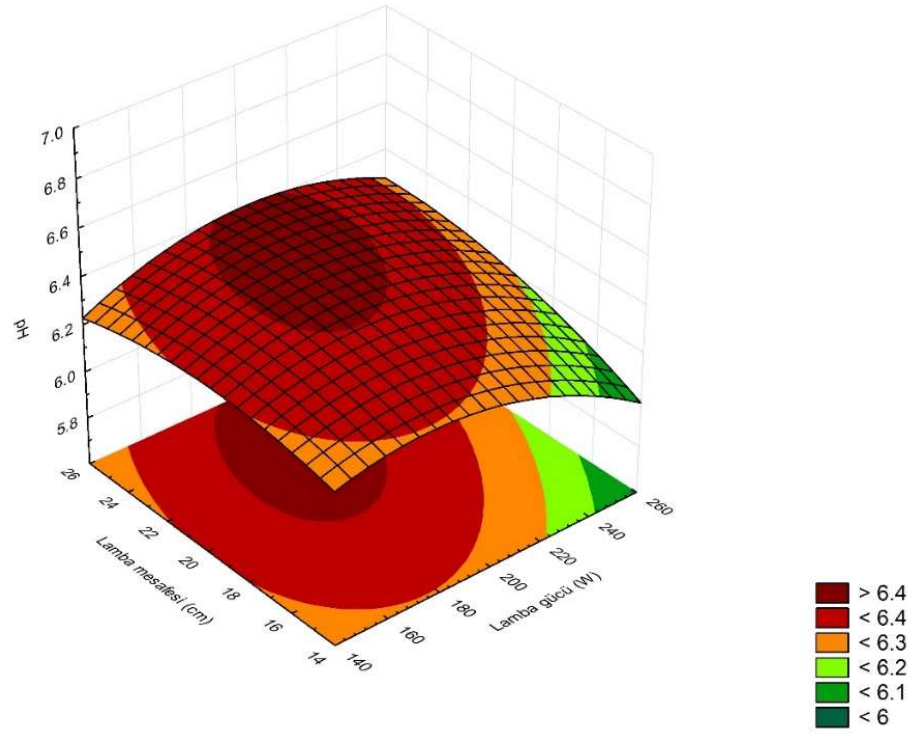
Şekil 4.13'te kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin pH değerlerinin kurutma süresi ve lamba gücüyle değişimi incelendiğinde, sabit bir lamba gücü ve artan süre ile pH değerinin düştüğü gözlenmiştir. Sabit bir kurutma süresinde ise, lamba gücünün 150 W'tan 250 W'a doğru artışıyla pH değeri önce yükselmiş daha sonra ise bir azalma eğilimine girmiştir.



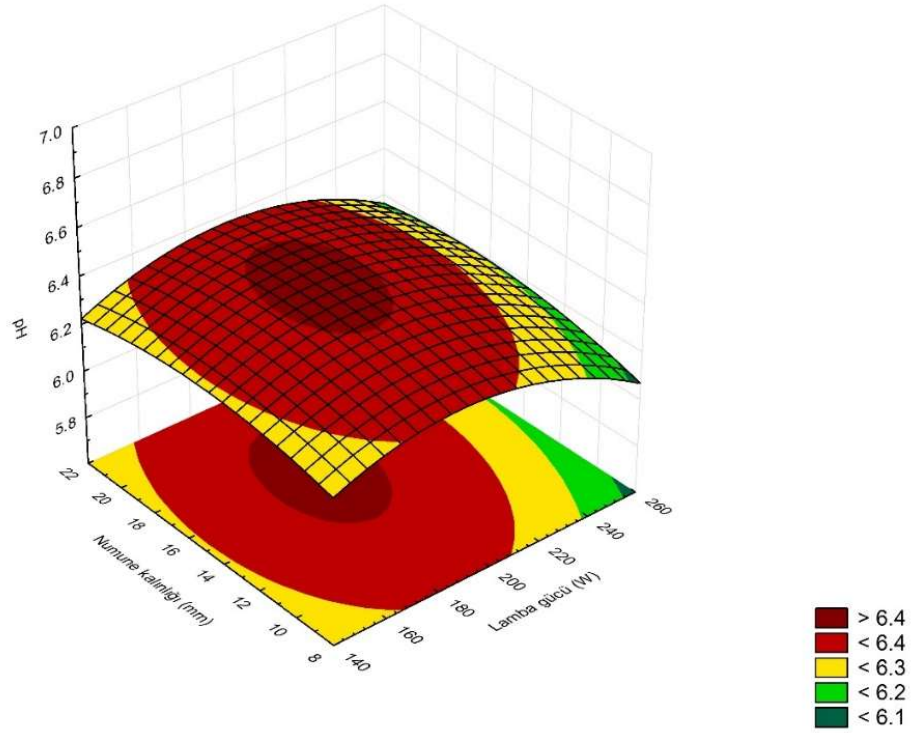
Şekil 4.13. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

Farklı güç seviyelerinde (150, 200 ve 250 W) kurutulmuş Hindistan cevizlerinin pH değerlerinin lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir. İncelenen grafikler doğrultusunda lamba mesafesi ve numune kalınlığının, lamba gücüne kıyasla pH değerlerini fazla etkilemediği bulunmuştur. Ayrıca artan lamba gücüne bağlı olarak sıcaklık seviyesinin de artmasıyla örneklerin pH değerlerinde azalma gözlenmiştir.

Avrupa turna yemişinin farklı kızılötesi sıcaklık değerlerinde (60, 70 ve 80 °C) ve mikrodalga güç seviyelerinde (120 ve 350 W) kurutulduğu bir çalışmada 60 °C'de kızılötesi ile kurutulan örneklerin taze örneklerden daha yüksek pH değerine sahip olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda kızılötesi kurutma yönteminin mikrodalgayla kurutma yöntemine göre örneklerin pH değerini daha stabil tuttuğu sonucuna varılmıştır (Taşkın vd., 2019).

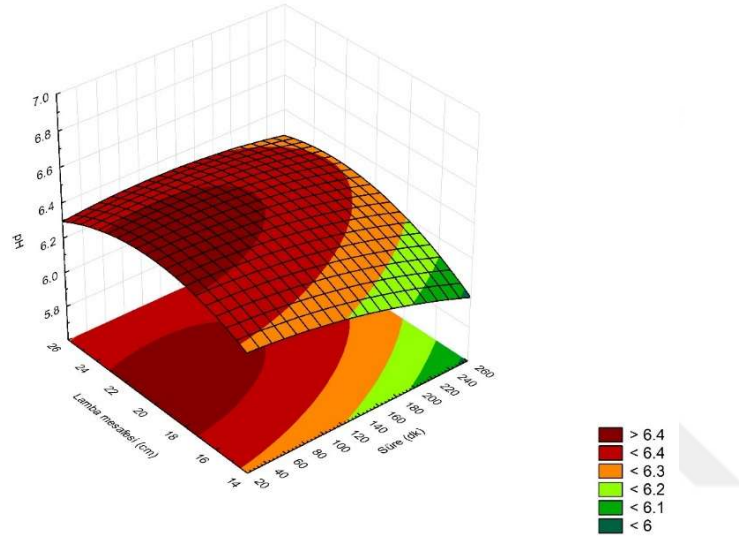


Şekil 4.14. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

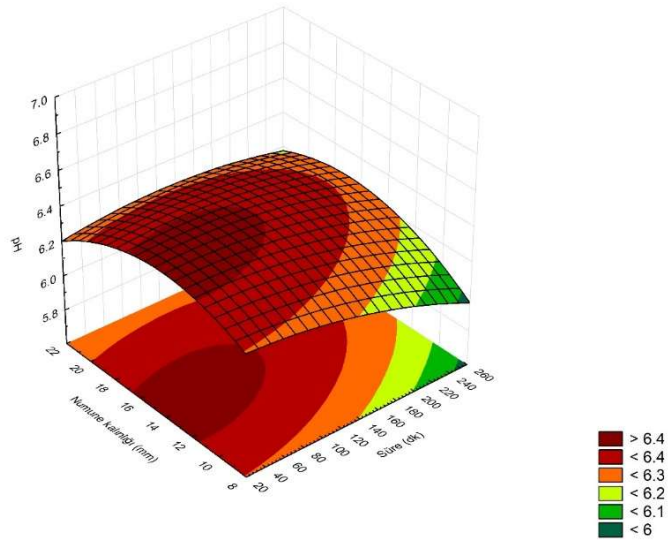


Şekil 4.15. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

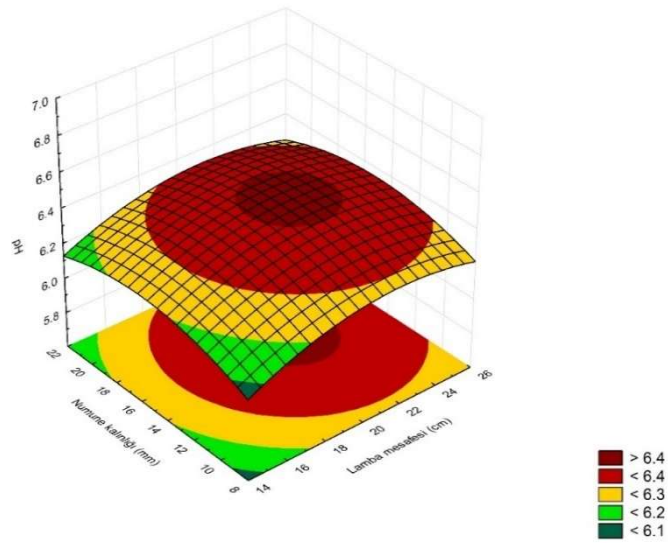
Şekil 4.16’da sabit tutulan bir lamba mesafesinde, Şekil 4.17’de ise sabit tutulan bir numune kalınlığında kurutma süresinin pH değerleri üzerine etkileri görülmektedir. Her iki grafikte de kurutma süresinin artmasıyla pH değerlerinde azalma dolayısıyla asitlik seviyelerinde artış gözlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde sabit tutulan bir numune kalınlığında lamba mesafesinin artırılmasıyla pH değerlerinde artış görülmüş, sabit mesafede ise kalınlık artışına bağlı olarak pH değerlerinde önce bir artış sonra azalma görülmüştür.



Şekil 4.16. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.17. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)



Şekil 4.18. Kurutulmuş Hindistan cevizinin pH değerlerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin pH değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.3'te gösterildiği gibidir:

$$\begin{aligned} \text{pH değeri} = & +6,41-0,0428A-0,0736B+0,0575C+0,0183D-0,0550AB+0,0519AC \\ & +0,0125AD+0,0469BC+0,0475BD-0,0056CD-0,1069A^2+0,0156B^2-0,0494C^2- \\ & 0,0219D^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Farklı koşullarda kurutularak elde edilen Hindistan cevizlerinin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçlarının verildiği Çizelge 4.6 incelendiğinde, lamba gücü ($p=0,0477$), kurutma süresi ($p=0,0010$) ve lamba mesafesi ($p=0,0088$) parametrelerinin pH değeri üzerindeki bireysel etkileri önemli bulunurken, numune kalınlığının etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p=0,3880$). İnteraksiyonlar incelendiğinde ise, lamba gücü*numune kalınlığı ve lamba mesafesi*numune kalınlığı etkileşimleri istatistik açıdan anlamlı bulunurken, diğer etkileşimlerin pH değeri üzerine etkilerinin istatistik olarak önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Modele ilişkin p değeri incelendiğinde, model anlamlı bulunmuş ve uyum eksikliği ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Buna göre pH verilerinin temsilinde bu modelin kullanımı uygun görülmektedir.

Çizelge 4.6. pH değerleri için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:		İkinci derece			
Kaynak	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Model	1,08	14	0,0769	4,82	< 0.0001
A-Lamba gücü	0,0659	1	0,0659	4,13	0,0477
B-Süre	0,1951	1	0,1951	12,24	0,0010
C-Lamba mesafesi	0,1190	1	0,1190	7,47	0,0088
D-Numune kalınlığı	0,0121	1	0,0121	0,7594	0,3880
AB	0,0968	1	0,0968	6,08	0,0174
AC	0,0861	1	0,0861	5,40	0,0245
AD	0,0050	1	0,0050	0,3138	0,5780
BC	0,0703	1	0,0703	4,41	0,0411
BD	0,0722	1	0,0722	4,53	0,0386
CD	0,0010	1	0,0010	0,0635	0,8021
A ²	0,0594	1	0,0594	3,73	0,0596
B ²	0,0013	1	0,0013	0,0788	0,7802
C ²	0,0127	1	0,0127	0,7964	0,3767
D ²	0,0025	1	0,0025	0,1569	0,6938
Ölçüm Hatası	0,7489	47	0,0159		
Uyum Eksikliği	0,0828	10	0,0083	0,4600	0,9049
Saf Hata	0,6661	37	0,0180		
Toplam	1,82	61			

R²	0,5896
Adjusted R²	0,4674

4.4. Serbest Asitlik Analizi Bulguları

Serbest asitlik analizi, gıdaların içerdiği toplam asit miktarını belirleyerek genel asitlik düzeyi hakkında bilgi sağlar. Bu analiz, mikrobiyal stabilitenin sağlanması, kalite özelliklerinin kontrolü ve uygulanan işlemlerin etkilerinin değerlendirilmesi bakımından önemlidir (Bayrambaş, 2015).

Bu tez çalışması kapsamında Hindistan cevzinde yapılan serbest asitlik analizinin bulguları % laurik asit cinsinden verilmiştir. Taze Hindistan cevzinin ortalama serbest

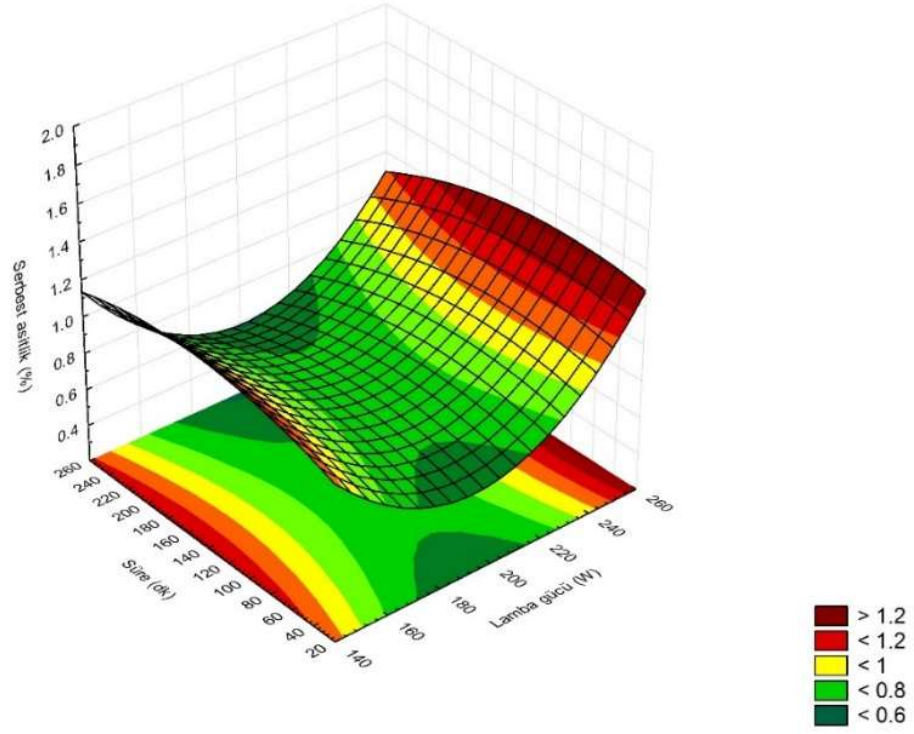
asitliği %0,78 olarak belirlenmiştir. Kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinde ise serbest asitlik değerleri %0,56±0,19 ile %1,35±0,67 arasında değişmiştir.

Çizelge 4.7. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait serbest asitlik analizi bulguları

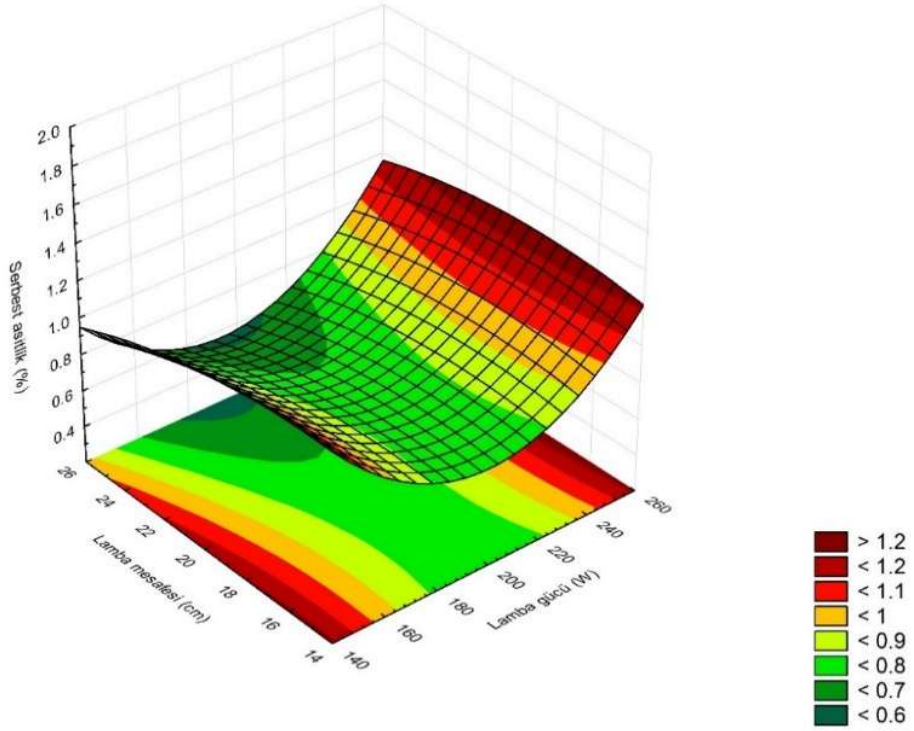
No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	Serbest asitlik (%)
1	150	30	15	10	0,94 ^{ABCD} ±0,06
2	250	30	15	10	1,27 ^{ABC} ±0,16
3	150	240	15	10	1,05 ^{ABCD} ±0,21
4	250	240	15	10	1,01 ^{ABCD} ±0,16
5	150	30	25	10	0,61 ^D ±0,00
6	250	30	25	10	1,03 ^{ABCD} ±0,56
7	150	240	25	10	0,89 ^{ABCD} ±0,27
8	250	240	25	10	0,97 ^{ABCD} ±0,09
9	150	30	15	20	1,33 ^{AB} ±0,45
10	250	30	15	20	1,02 ^{ABCD} ±0,30
11	150	240	15	20	1,09 ^{ABCD} ±0,34
12	250	240	15	20	0,99 ^{ABCD} ±0,16
13	150	30	25	20	0,84 ^{ABCD} ±0,28
14	250	30	25	20	1,00 ^{ABCD} ±0,13
15	150	240	25	20	1,10 ^{ABCD} ±0,13
16	250	240	25	20	0,93 ^{ABCD} ±0,53
17	150	135	20	15	0,94 ^{ABCD} ±0,56
18	250	135	20	15	1,35 ^A ±0,67
19	200	30	20	15	0,80 ^{ABCD} ±0,06
20	200	240	20	15	0,56 ^D ±0,19
21	200	135	15	15	0,69 ^{BCD} ±0,01
22	200	135	25	15	0,80 ^{ABCD} ±0,28
23	200	135	20	10	0,65 ^{CD} ±0,30
24	200	135	20	20	0,70 ^{BCD} ±0,09
25	200	135	20	15	0,74 ^{ABCD} ±0,14

Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p>0,05$).

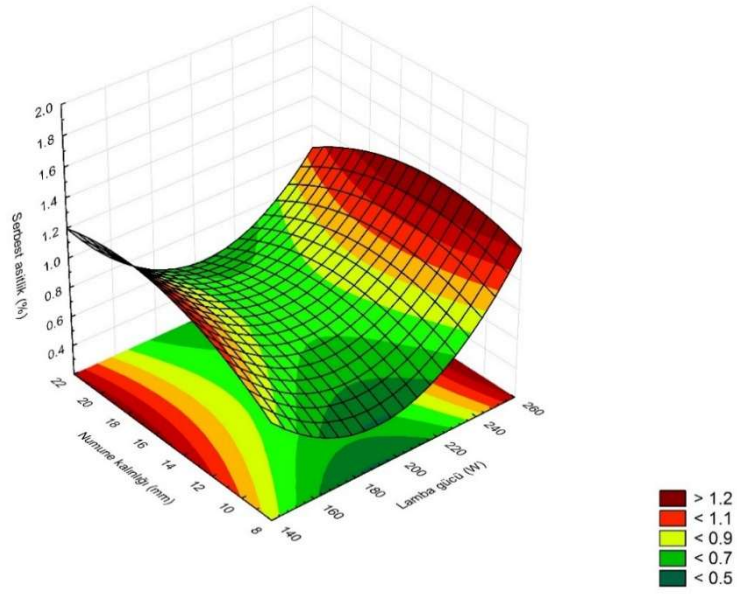
Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'deki grafikler incelendiğinde serbest asitlik değerlerinin lamba gücünün artması ve azalmasına bağlı olarak sıcaklık değişiminden etkilendiği tespit edilmiştir. Aynı grafiklerde sırasıyla kurutma süresi, lamba mesafesi ve numune kalınlığının sabit lamba gücünde örneklerin serbest asitlik değerleri üzerinde fazla etkili olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.19. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

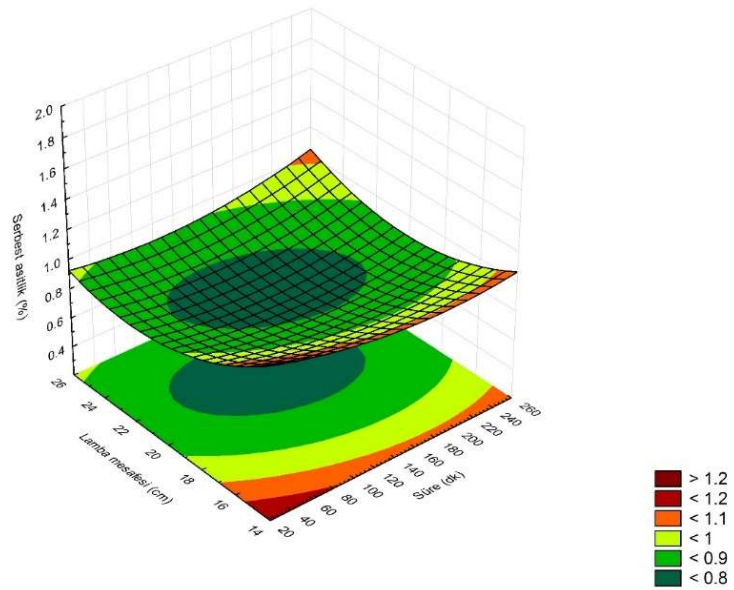


Şekil 4.20. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

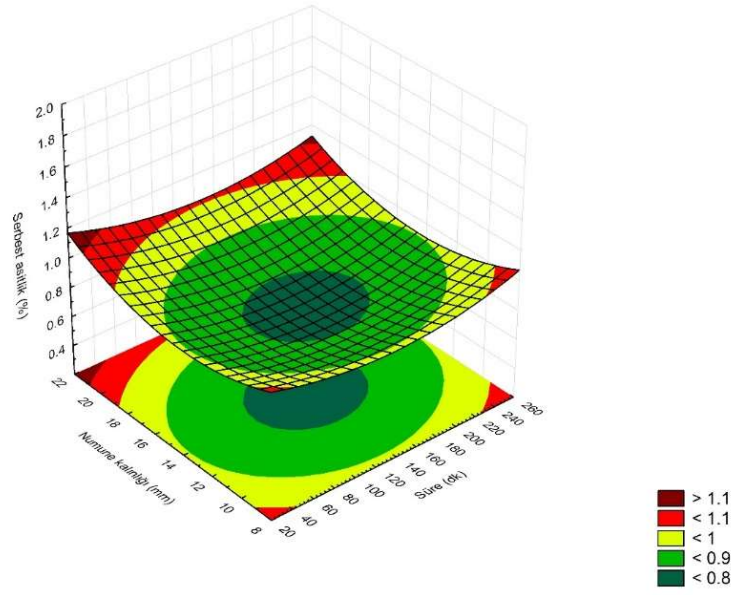


Şekil 4.21. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Farklı kurutma sürelerinde (30, 135 ve 240 dk) kurutulmuş Hindistan cevizlerinin serbest asitlik değerlerinin lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir. Her iki grafik de incelendiğinde, orta düzeydeki süre, lamba mesafesi ve numune kalınlıklarında en düşük serbest asitlik değerleri elde edilmişken, uç noktalarda asitliğin yükseldiği görülmektedir.

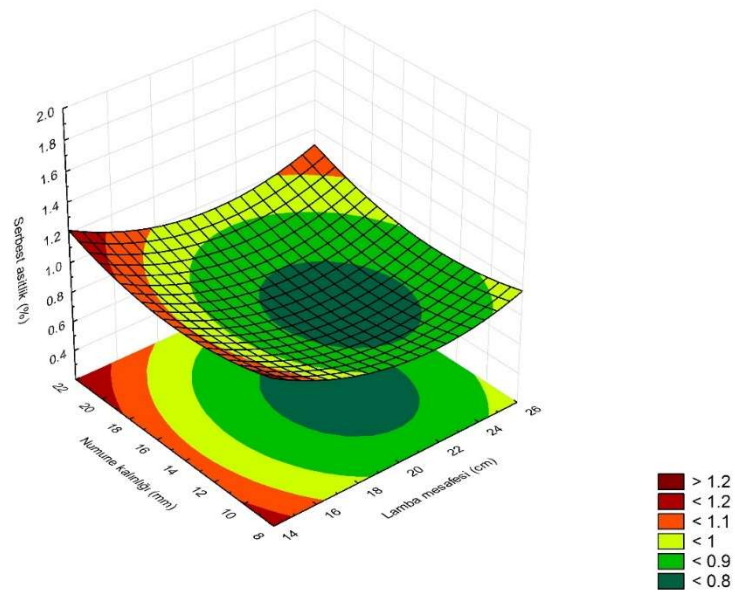


Şekil 4.22. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.23. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.24'te serbest asitlik değerinin, numune kalınlığı ve lamba mesafesi ile değişimi incelendiğinde numune kalınlığının sabit tutulup lamba mesafesinin artırılmasıyla kurutulmuş Hindistan cevizlerinin serbest asitlik değerleri azalmıştır. Lamba mesafesi 14-16 cm düzeylerinde iken, sabit bir mesafede artan numune kalınlığı ile serbest asitlikte önce bir azalma sonra yeniden artış gözlenmiştir.



Şekil 4.24. Kurutulmuş Hindistan cevizinin serbest asitlik değerlerine (%) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin serbest asitlik değerlerinin (%) kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.4'te gösterildiği gibidir:

$$\begin{aligned} \text{Serbest asitlik (\%)} = & +0,7417+0,0428A-0,0147B-0,0686C+0,0319D-0,0513AB+ \\ & 0,0375AC-0,0756AD+0,0513BC-0,0094BD+0,0131CD+0,3971A^2-0,0654B^2- \\ & 0,0004C^2-0,0704D^2 \end{aligned} \quad (4.4)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Kurutulan Hindistan cevizi örneklerinin serbest asitlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8'de sunulmuştur. Hindistan cevizinin kurutulmasında farklı lamba gücü, kurutma süresi, lamba mesafesi, numune kalınlığı ve bu varyasyon kaynaklarının interaksiyonlarında gözlenen ortalama serbest asitlik değerleri arasındaki farkın istatistikî açıdan önemli olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$). Oluşturulan modelin verilerin temsilinde kullanılmasının istatistik olarak anlamlı olacağı sonucuna varılırken, uyum eksikliğinin de önemsiz çıkması sonucunda bu verilerin temsilinde bu modelin kullanımı sonucunda herhangi bir uyumsuzluk gözlenmeyeceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. Serbest asitlik değerleri için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:	İkinci derece				
	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Model	2,11	14	0,1505	2,43	0,0116
A-Lamba gücü	0,0659	1	0,0659	1,06	0,3074
B-Süre	0,0078	1	0,0078	0,1261	0,7241
C-Lamba mesafesi	0,1695	1	0,1695	2,74	0,1046
D-Numune kalınlığı	0,0367	1	0,0367	0,5939	0,4448
AB	0,0841	1	0,0841	1,36	0,2496
AC	0,0450	1	0,0450	0,7274	0,3980
AD	0,1830	1	0,1830	2,96	0,0920
BC	0,0840	1	0,0840	1,36	0,2496
BD	0,0028	1	0,0028	0,0455	0,8321
CD	0,0055	1	0,0055	0,0891	0,7666
A ²	0,8185	1	0,8185	13,23	0,0007
B ²	0,0222	1	0,0222	0,3588	0,5521
C ²	8,030E-07	1	8,030E-07	0,0000	0,9971

D ²	0,0257	1	0,0257	0,4158	0,5222
Ölçüm Hatası	2,91	47	0,0619		
Uyum Eksikliği	0,3612	10	0,0361	0,5249	0,8614
Saf Hata	2,55	37	0,0688		
Toplam	5,01	61			

R²	0,4202
Adjusted R²	0,2476

4.5. Toplam Fenolik Madde Miktarı Analizi Bulguları

Fenolik bileşikler, bitkilerin yapısında yaygın olarak bulunan, antioksidatif ve antimikrobiyal etkilere sahip, tat, aroma ve renk gibi duyuşsal özelliklerin oluşumuna katkı sağlayan bileşiklerdir. Bu bileşikler, ürünün kalitesi, fonksiyonel özellikleri ve insan sağlığı üzerindeki yararlarının belirlenmesinde önemli rol oynarlar (Nizamlıoğlu ve Nas, 2010).

Tez çalışması kapsamında taze Hindistan cevizinin ortalama toplam fenolik madde miktarı 173,56 mg GAE/g olarak belirlenirken farklı koşullarda kurutulan Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarları 140,71±29,15 ile 209,34±0,21 mg GAE/g arasında değişmiştir. En yüksek toplam fenolik madde miktarı 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutma denemesinde ölçülmüştür.

Çizelge 4.9. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait toplam fenolik madde miktarı bulguları

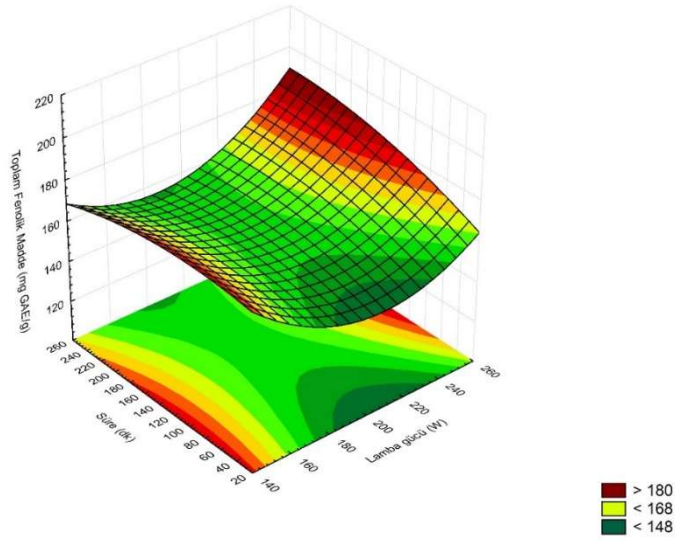
No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)
1	150	30	15	10	182,43 ^{AB} ±17,99
2	250	30	15	10	161,99 ^B ±0,94
3	150	240	15	10	173,90 ^{AB} ±2,39
4	250	240	15	10	209,34 ^A ±0,21
5	150	30	25	10	165,99 ^{AB} ±0,36
6	250	30	25	10	155,34 ^B ±22,18
7	150	240	25	10	148,41 ^B ±45,30
8	250	240	25	10	179,38 ^{AB} ±3,69
9	150	30	15	20	177,65 ^{AB} ±4,78
10	250	30	15	20	173,82 ^{AB} ±0,42
11	150	240	15	20	185,17 ^{AB} ±20,00
12	250	240	15	20	172,02 ^{AB} ±2,76
13	150	30	25	20	161,73 ^B ±27,09

14	250	30	25	20	151,84 ^B ±22,57
15	150	240	25	20	162,38 ^B ±20,07
16	250	240	25	20	164,58 ^B ±14,32
17	150	135	20	15	157,87 ^B ±24,85
18	250	135	20	15	171,03 ^{AB} ±1,46
19	200	30	20	15	140,71 ^B ±29,15
20	200	240	20	15	147,70 ^B ±37,57
21	200	135	15	15	165,07 ^B ±14,04
22	200	135	25	15	163,57 ^B ±8,58
23	200	135	20	10	151,83 ^B ±1,65
24	200	135	20	20	172,25 ^{AB} ±7,00
25	200	135	20	15	157,57 ^B ±17,24

Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p>0,05$).

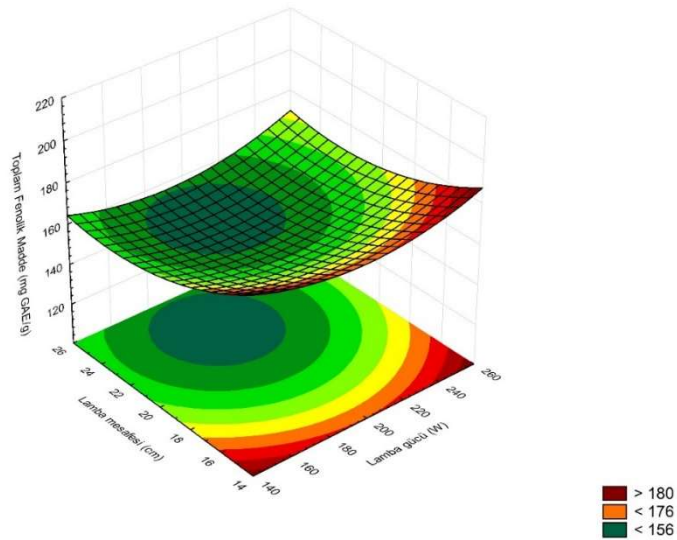
Şekil 4.25'te kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin toplam fenolik madde miktarlarının kurutma süresi ve lamba gücüne bağlı değişimi incelendiğinde sabit tutulan bir kurutma süresinde lamba gücünün artırılması ile fenolik madde miktarında önce bir azalma, daha sonra ise yeniden artış gözlenmiştir. Sabit lamba gücünde ise, sürenin önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Fenolik bileşenlerin doğası ve duyarlılığına bağlı olarak, kurutma işlemleri sırasında fenolik konsantrasyonunda artış veya azalma meydana gelebilir. Mango posasının farklı koşullar altında kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulduğu bir çalışmada artan sıcaklıkla birlikte örneklerin fenolik bileşiklerinin daha iyi tutunabileceği sonucuna varılmıştır (Nguyen vd., 2024). Bir diğer çalışmada da *Gymnema sylvestre* yaprakları farklı sıcaklık (125, 150, 175 ve 200 °C) ve kurutma sürelerinde (5, 10, 15 ve 20 dakika) kızılötesi kurutucu ile kurutulmuştur. Çalışmada 200 °C sıcaklıkta ve 8,4 dakika kurutma süresinde yapılan kurutma işleminin toplam fenolik madde miktarını artırdığı fakat daha yüksek sıcaklık ve sürelerde toplam fenolik madde miktarının azaldığı belirtilmiştir (Abhram vd., 2023). Patlıcan dilimlerinin farklı kızılötesi güç seviyesi (1000, 1500 ve 2000 W), hava hızı (0,5, 1,25 ve 2 m/s) ve numune kalınlığında (3, 5 ve 7 mm) kurutulduğu bir çalışmada, kızılötesi güç seviyesinin artmasıyla toplam fenolik madde miktarının önce arttığı, fakat 2000 W gibi yüksek kızılötesi güç seviyelerinde azaldığı tespit edilmiştir (Jafari vd., 2020). Bu durum, artan sıcaklığın etkisiyle fenolik bileşiklerin yapısının bozulabileceğini de göstermektedir. Aynı zamanda, fenolik bileşenlerin proteinler gibi farklı gıda bileşenlerine tutunması veya sıkı bağlanması gibi durumlarda, yüksek sıcaklık uygulamasıyla bu bileşenlerin parçalanarak fenolik bileşenlerin serbest hale geçmesi söz konusu olabilir. Bu durum da fenolik miktarının artışına yol açabilir. Bu tez çalışmasında literatürle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

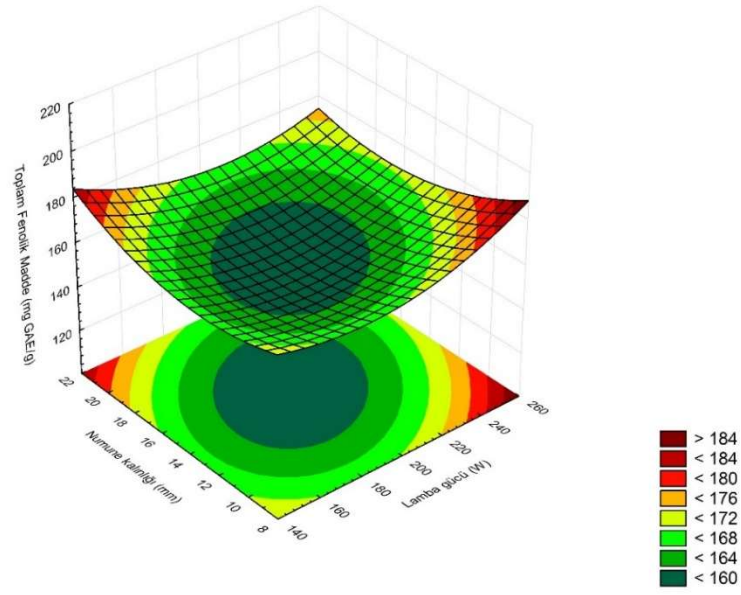


Şekil 4.25. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

Şekil 4.26'daki grafikte lamba mesafesi ve lamba gücünün kurutulan Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kurutma işlemleri sırasında lamba mesafesinin artmasına ters orantılı olarak toplam fenolik madde miktarında azalma gözlenmiştir. Bu grafiğe göre, en yüksek fenolik madde içeriği en yakın mesafedeki kızılötesi lamba konumundan elde edilmiştir. Şekil 4.27 incelendiğinde, fenolik madde miktarının orta düzeydeki numune kalınlığı ve lamba gücü seviyelerinde en düşük miktarda tespit edildiği söylenebilir.

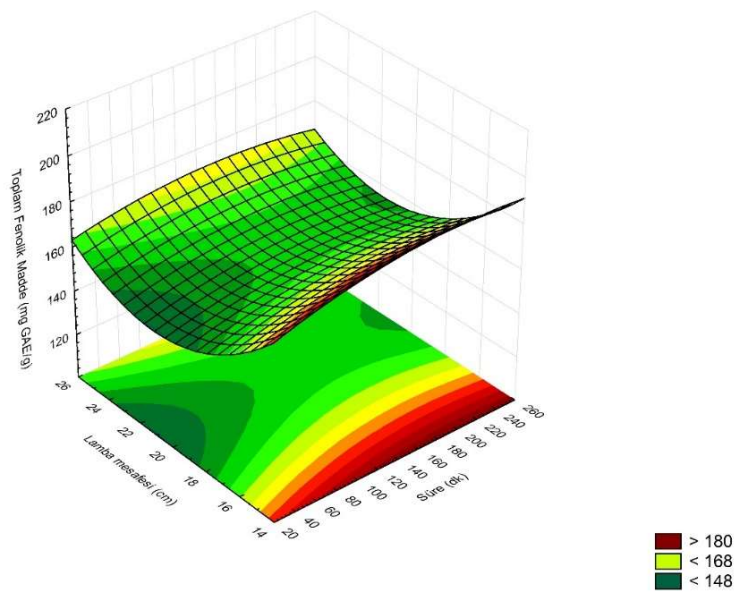


Şekil 4.26. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

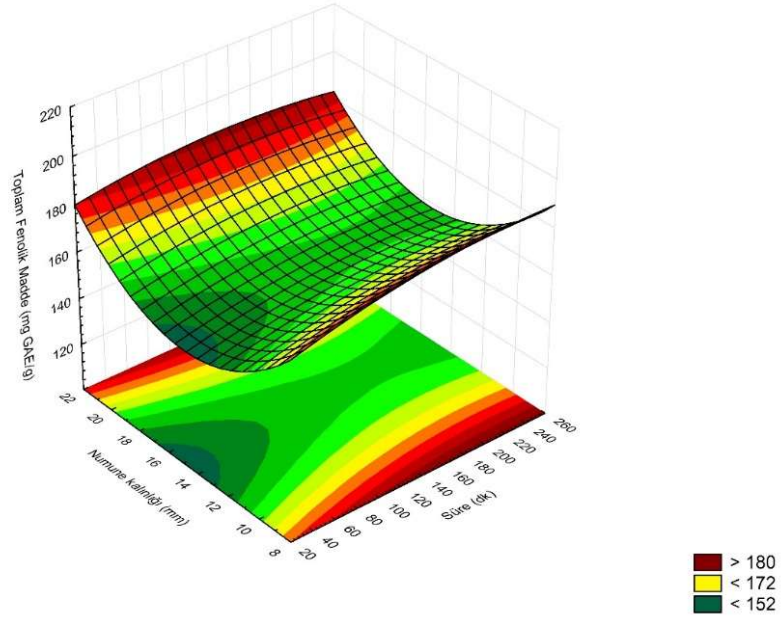


Şekil 4.27. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Farklı kurutma sürelerinde (30, 135 ve 240 dk) kurutulmuş Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarlarının lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da gösterilmiştir. İncelenen grafikler sonucunda kurutulmuş örneklerin toplam fenolik miktarlarının artan lamba mesafesi ve numune kalınlığıyla değişime uğradığı fakat kurutma süresinden çok etkilenmediği gözlenmiştir.

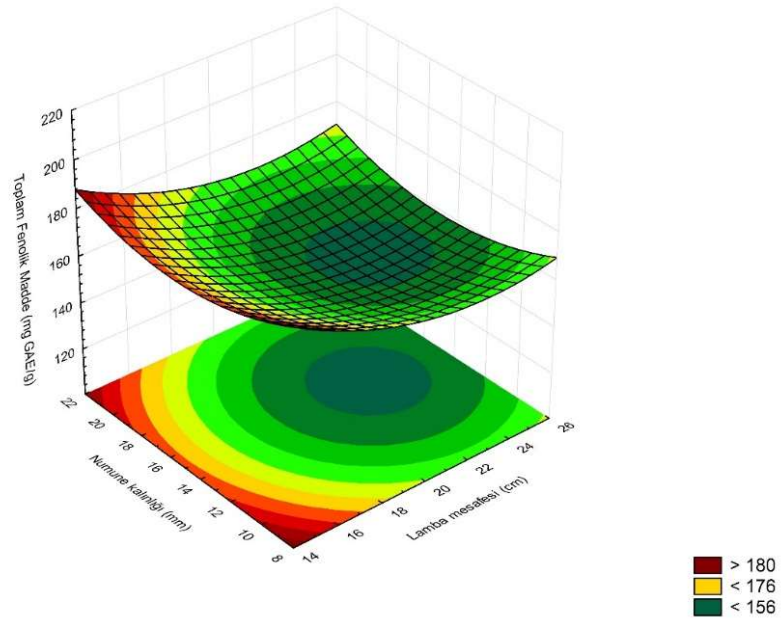


Şekil 4.28. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.29. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.30’da ise numune kalınlığı ve lamba mesafesi parametrelerinin kurutulan Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarları üzerindeki etkisi verilmiştir. Sabit tutulan bir numune kalınlığında lamba mesafesinin artırılmasıyla toplam fenolik madde miktarı azalmıştır.



Şekil 4.30. Kurutulmuş Hindistan cevizinin toplam fenolik madde miktarına (mg GAE/g) ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarlarının (mg GAE/g) kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.5'te gösterildiği gibidir:

$$\begin{aligned} \text{Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)} = & +156,54+1,32A+3,97B-8,23C-0,3 \\ & 969D+6,27AB+0,9130AC-3,75AD-1,54BC-1,63BD+0,6495CD+9,12A^2-11,13 \\ & B^2+8,99C^2+6,71D^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Kurutulan Hindistan cevizlerinin toplam fenolik madde miktarlarının lamba gücü, kurutma süresi, lamba mesafesi, numune kalınlığı gibi farklı varyasyon kaynaklarından istatistiki açıdan hangi önem düzeyinde etkilendiğini gözlemlemek için yapılan varyans analizi Çizelge 4.10'da verilmiştir. Lamba mesafesinin bireysel etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p=0,0074$), diğer parametrelerin bireysel etkileri ve bu varyasyon kaynaklarının interaksiyonlarında gözlenen ortalama toplam fenolik madde miktarları arasındaki farkın istatistiki açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Oluşturulan modelin kullanımı istatistik açıdan anlamlı bulunurken ($p=0,0480$), uyum eksikliğinin etkisi ise istatistik açıdan önemsiz bulunmuştur. Dolayısıyla, modelin kullanımı toplam fenolik madde miktarını temsil etmek için uygundur.

Çizelge 4.10. Toplam fenolik madde miktarı için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:	İkinci derece				
	SS	df	MS	F	p
Model	8391,22	14	599,37	1,92	0,0480
A-Lamba gücü	63,06	1	63,06	0,2023	0,6549
B-Süre	566,00	1	566,00	1,82	0,1843
C-Lamba mesafesi	2439,50	1	2439,50	7,83	0,0074
D-Numune kalınlığı	5,67	1	5,67	0,0182	0,8933
AB	1256,75	1	1256,75	4,03	0,0504
AC	26,67	1	26,67	0,0856	0,7712
AD	449,63	1	449,63	1,44	0,2358
BC	76,30	1	76,30	0,2448	0,6231
BD	85,49	1	85,49	0,2743	0,6030

CD	13,50	1	13,50	0,0433	0,8360
A ²	431,35	1	431,35	1,38	0,2454
B ²	642,82	1	642,82	2,06	0,1576
C ²	419,26	1	419,26	1,35	0,2520
D ²	233,57	1	233,57	0,7493	0,3911
Ölçüm Hatası	14650,59	47	311,71		
Uyum Eksikliği	2412,48	10	241,25	0,7294	0,6922
Saf Hata	12238,11	37	330,76		
Toplam	23041,81	61			

R²	0,3642
Adjusted R²	0,1748

4.6. Renk Analizi Bulguları

Merkezi kompozit tasarım planı kullanılarak tasarlanan deneme dizaynındaki parametreler ile kurutulan Hindistan cevizi örneklerinin uygulanan kurutma koşullarına bağlı renk değişimleri, CIE sistemine göre L^* (beyazlık, parlaklık/siyahlık), a^* (kırmızılık/yeşillik), b^* (sarılık /mavilik) değerleri açısından belirlenmiştir.

4.6.1. L^* değeri

Taze Hindistan cevizinin ortalama L^* değeri 54,99 olarak bulunmuştur. En düşük L^* değeri ortalama $39,24 \pm 3,44$ ile 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutma işleminde ölçülmüştür. Bu durum, numunenin yoğun ısı enerjisi altında kararmaya uğradığını göstermektedir.

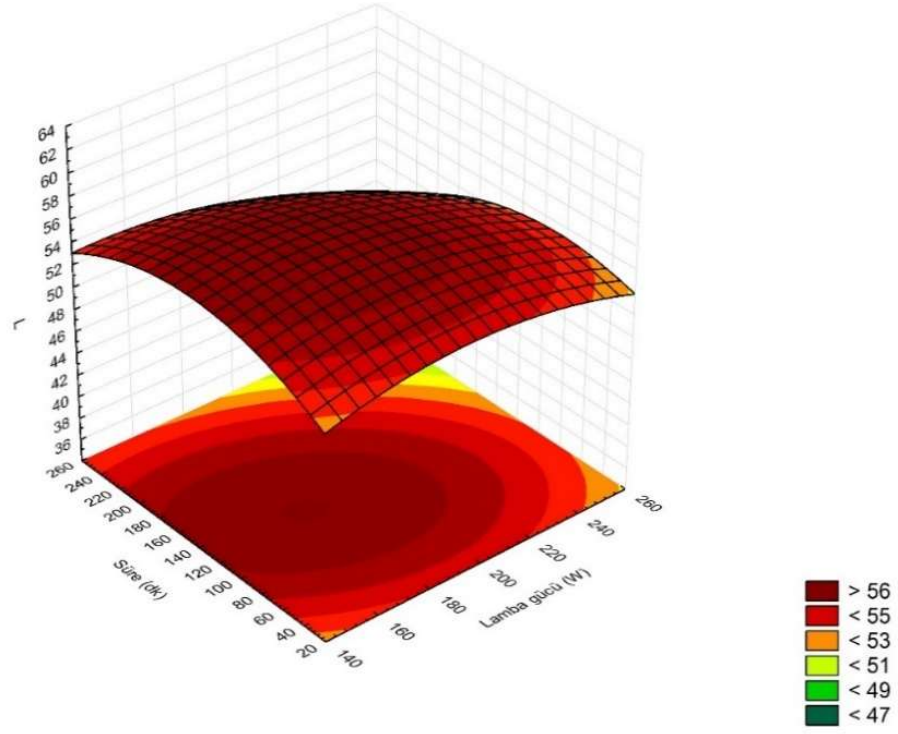
Çizelge 4.11. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait L^* değeri bulguları

No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	L^*
1	150	30	15	10	51,68 ^{CDE} ±2,47
2	250	30	15	10	50,25 ^{DE} ±1,84
3	150	240	15	10	54,90 ^{ABCDE} ±1,03
4	250	240	15	10	39,24 ^F ±3,44
5	150	30	25	10	53,04 ^{ABCDE} ±0,81
6	250	30	25	10	53,22 ^{ABCDE} ±3,67

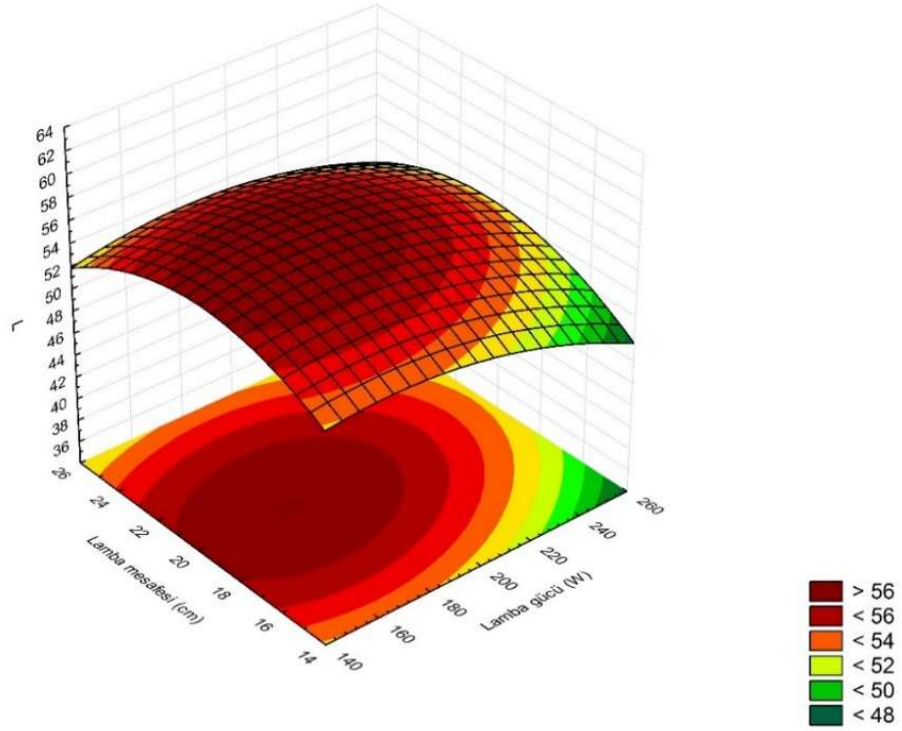
7	150	240	25	10	52,11 ^{CDE} ±1,89
8	250	240	25	10	50,26 ^{DE} ±7,60
9	150	30	15	20	53,69 ^{ABCDE} ±1,52
10	250	30	15	20	56,60 ^{ABC} ±1,61
11	150	240	15	20	55,10 ^{ABCDE} ±0,23
12	250	240	15	20	53,10 ^{ABCDE} ±1,03
13	150	30	25	20	53,70 ^{ABCDE} ±3,73
14	250	30	25	20	49,68 ^E ±0,01
15	150	240	25	20	54,81 ^{ABCDE} ±0,83
16	250	240	25	20	53,29 ^{ABCDE} ±3,83
17	150	135	20	15	58,71 ^A ±1,29
18	250	135	20	15	54,87 ^{ABCDE} ±0,92
19	200	30	20	15	58,73 ^A ±1,53
20	200	240	20	15	52,36 ^{BCDE} ±1,62
21	200	135	15	15	55,94 ^{ABCD} ±5,63
22	200	135	25	15	55,25 ^{ABCDE} ±2,07
23	200	135	20	10	57,76 ^{ABC} ±2,54
24	200	135	20	20	58,32 ^{AB} ±0,90
25	200	135	20	15	56,10 ^{ABCD} ±2,03

Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p > 0,05$).

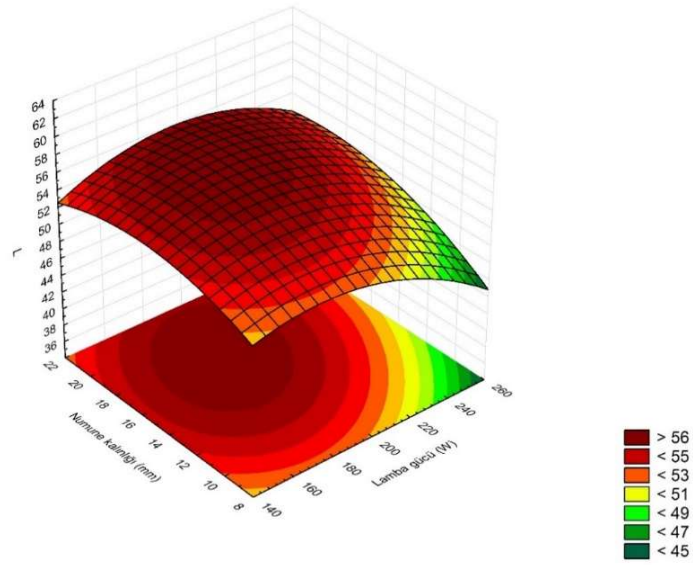
Farklı koşullarda kızılötesi uygulaması ile kurutulan Hindistan cevizi örneklerinin L^* değerlerinin kurutma süresine ve lamba gücüne göre değişimi Şekil 4.31’de verilmiştir. Grafikte lamba gücüne paralel olarak kurutma süresinin de artmasıyla örneklerin parlaklığında azalma gözlenmiştir. Şekil 4.32’de lamba mesafesi, Şekil 4.33’te ise numune kalınlığının azaltılmasıyla yüksek kızılötesi lamba gücü seviyelerinde örneklerin parlaklık değerleri azalmıştır. İncelenen grafiklerden elde edilen sonuçlara göre lamba gücüne bağlı sıcaklık değişiminin L^* değerleri üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Yapılan bir çalışmada, farklı kızılötesi güç seviyeleri ve dilim kalınlıklarında kurutulan muz dilimlerinin kızılötesi güç seviyesindeki artışa paralel olarak L^* değerlerinde azalma olduğu görülmüş ve böylelikle artan güç seviyesiyle kurutulan ürünün renginin koyulaştığı gözlemlenmiştir (Atmaca ve Büyükcan, 2022).



Şekil 4.31. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

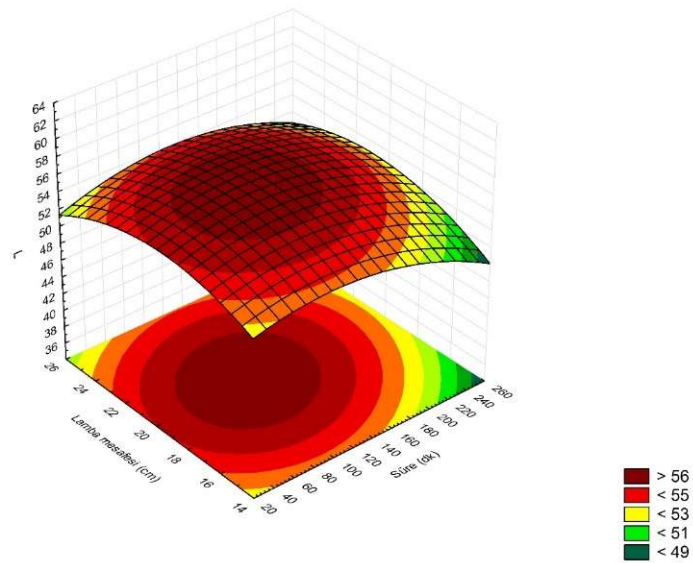


Şekil 4.32. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

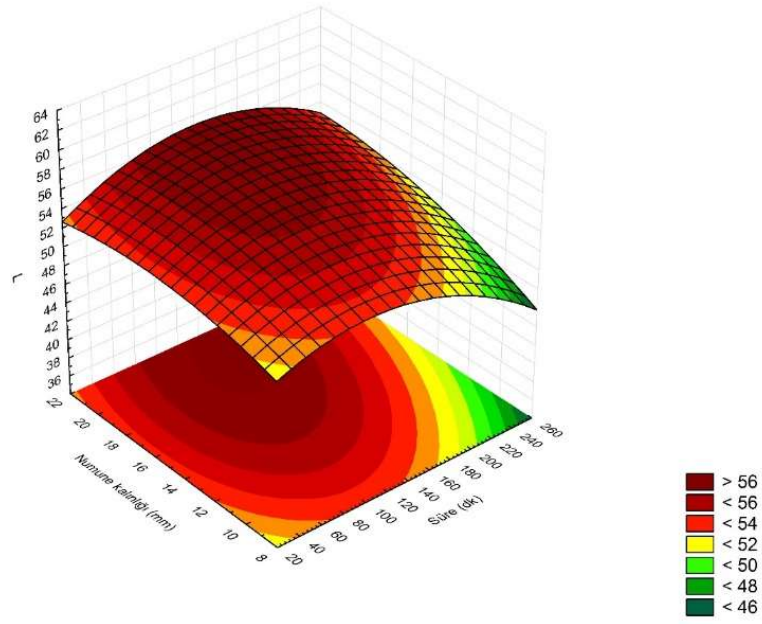


Şekil 4.33. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Farklı kurutma sürelerinde (30, 135 ve 240 dk) kurutulan Hindistan cevizlerinin L^* değerlerinin lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Kısa süreli kurutma işlemlerinde L^* değeri yüksek yani rengi beyaza daha yakın kurutulmuş Hindistan cevizi elde edildiği tespit edilmiştir. Kurutma süresinin artmasına ters orantılı olarak lamba mesafesi ve numune kalınlığının azalmasıyla örneklerin L^* değerlerinin azaldığı, yani koyulaşma ve kararma oluştuğu saptanmıştır.

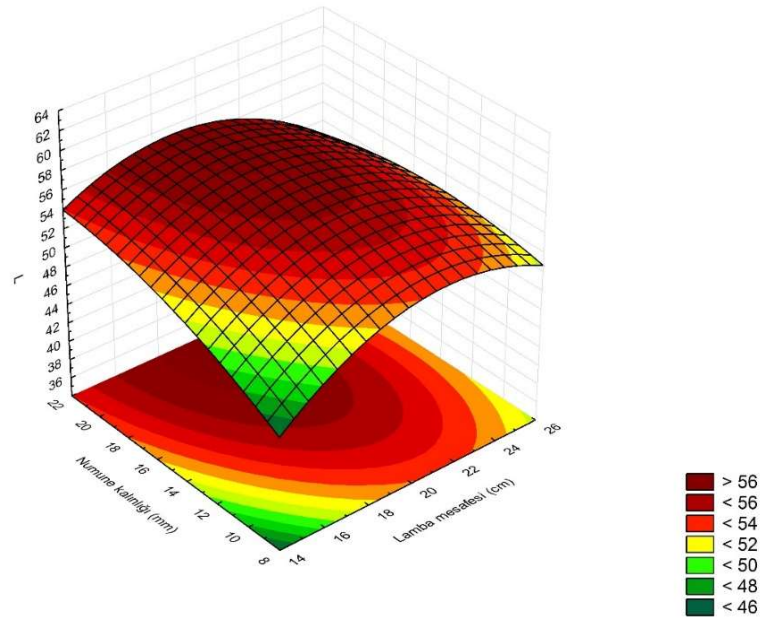


Şekil 4.34. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.35. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Kurutulmuş Hindistan cevizlerinin L^* değerlerinin numune kalınlığı ve lamba mesafesine göre değişimi Şekil 4.36'da görülmektedir. Numune kalınlığı ve lamba mesafesinin azalmasıyla beklendiği üzere örneklerin parlaklığı da yoğunlaşan ısı enerjisiyle koyulaşma ve kararmaya bağlı olarak azalmıştır.



Şekil 4.36. Kurutulmuş Hindistan cevizinin L^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin L^* değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.6'da gösterildiği gibidir:

$$L^* \text{ değeri} = +56,83 - 1,51A - 3,19B + 0,2689C + 1,44D - 1,17AB + 0,5603AC + 0,8828AD + 0,6678BC + 0,8941BD - 1,22CD - 0,7133A^2 - 1,96B^2 - 1,91C^2 + 1,23ABC + 0,8659ABD - 1,37ACD + 2,62A^2B \quad (4.6)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Kurutulan Hindistan cevizlerinin L^* değerleri için yapılan varyans analizinin sonuçları Çizelge 4.12'de belirtilmiştir. Varyans analizi sonucunda, lamba gücü, kurutma süresi ve numune kalınlığı parametrelerinin bireysel etkilerinin L^* değerleri ortalamaları arasındaki farka istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunduğu ($p < 0,05$) tespit edilmiştir. Lamba mesafesinin bireysel etkisi ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. İnteraksiyon etkileri incelendiğinde ise, lamba gücü*lamba mesafesi ve kurutma süresi*lamba mesafesi interaksiyonlarının L^* değerleri ortalamaları arasındaki farka gösterdiği etkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı ($p > 0,05$) tespit edilmiştir. Oluşturulan modele ait p değeri 0,05 değerinden küçük çıkmış, dolayısıyla modelin kullanımının anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Uyum eksikliğinin önemsiz çıkması ise, bu modelin L^* değerleri için kullanımı sonucunda herhangi bir uyumsuzluk görülmeceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.12. L^* değeri için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model: İndirgenmiş kübik (üçüncü derece)					
Kaynak	SS	df	MS	F	p
Model	772,72	17	45,45	7,45	< 0.0001
A-Lamba gücü	82,33	1	82,33	13,49	0,0006
B-Süre	40,64	1	40,64	6,66	0,0133
C-Lamba mesafesi	2,60	1	2,60	0,4264	0,5172
D-Numune kalınlığı	74,16	1	74,16	12,15	0,0011
AB	43,59	1	43,59	7,14	0,0105
AC	10,05	1	10,05	1,65	0,2063
AD	24,94	1	24,94	4,09	0,0494
BC	14,27	1	14,27	2,34	0,1334
BD	25,58	1	25,58	4,19	0,0467

CD	47,80	1	47,80	7,83	0,0076
A ²	2,90	1	2,90	0,4746	0,4945
B ²	21,84	1	21,84	3,58	0,0652
C ²	20,74	1	20,74	3,40	0,0721
ABC	48,09	1	48,09	7,88	0,0074
ABD	24,00	1	24,00	3,93	0,0537
ACD	59,76	1	59,76	9,79	0,0031
A ² B	24,45	1	24,45	4,00	0,0516
Ölçüm Hatası	268,59	44	6,10		
Uyum Eksikliği	31,31	7	4,47	0,6975	0,6738
Saf Hata	237,28	37	6,41		
Toplam	1041,31	61			

R²	0,7421
Adjusted R²	0,6424

4.6.2. *a** değeri

Taze Hindistan cevizinin ortalama *a** değeri -3,85 olarak bulunurken, kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin *a** değerleri -4,30±0,16 ile 1,83±0,60 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek *a** değeri 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutma işleminden elde edilmiştir. Bu durum, numunedeki kırmızılık değerinin diğer numunelere göre en yüksek olduğunu, yani kurutma sırasındaki ısıl işleminden en çok etkilendiği ve kızardığını göstermektedir.

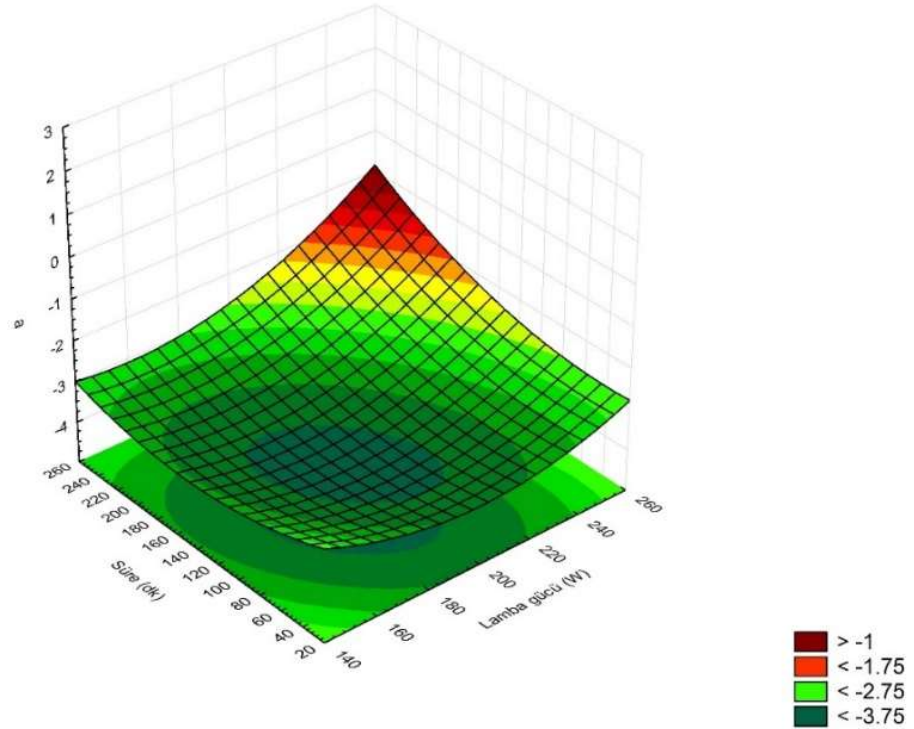
Çizelge 4.13. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait *a** değeri bulguları

No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	<i>x</i> ₁ (W)	<i>x</i> ₂ (dk)	<i>x</i> ₃ (cm)	<i>x</i> ₄ (mm)	<i>a</i> *
1	150	30	15	10	-2,68 ^{BC} ±0,32
2	250	30	15	10	-2,64 ^B ±0,35
3	150	240	15	10	-2,71 ^{BC} ±0,13
4	250	240	15	10	1,83 ^A ±0,60
5	150	30	25	10	-3,28 ^{BCDEF} ±0,33
6	250	30	25	10	-3,14 ^{BCDE} ±0,61
7	150	240	25	10	-2,90 ^{BCD} ±0,01
8	250	240	25	10	-2,64 ^B ±1,03
9	150	30	15	20	-3,10 ^{BCDE} ±0,22
10	250	30	15	20	-3,49 ^{BCDEFG} ±0,30
11	150	240	15	20	-3,61 ^{CDEFG} ±0,48

12	250	240	15	20	-2,60 ^B ±0,11
13	150	30	25	20	-3,10 ^{BCDE} ±0,18
14	250	30	25	20	-2,65 ^B ±0,34
15	150	240	25	20	-3,73 ^{DEFG} ±0,37
16	250	240	25	20	-2,89 ^{BCD} ±0,75
17	150	135	20	15	-3,87 ^{EFG} ±0,30
18	250	135	20	15	-3,16 ^{BCDE} ±0,16
19	200	30	20	15	-4,10 ^{FG} ±0,30
20	200	240	20	15	-3,16 ^{BCDE} ±0,11
21	200	135	15	15	-3,53 ^{BCDEFG} ±0,77
22	200	135	25	15	-3,44 ^{BCDEFG} ±0,38
23	200	135	20	10	-3,79 ^{DEFG} ±0,31
24	200	135	20	20	-4,30 ^G ±0,16
25	200	135	20	15	-3,67 ^{DEFG} ±0,29

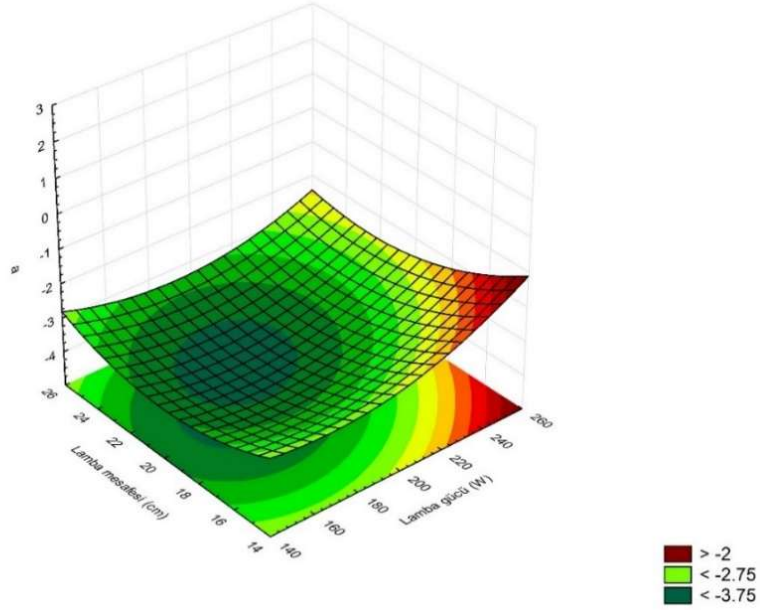
Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p>0,05$).

Şekil 4.37'deki grafikte kurutulmuş Hindistan cevizinin örneklerinin a^* değerlerinin kurutma süresi ve lamba gücüne göre değişimi incelendiğinde artırılan lamba gücüyle birlikte kurutma süresinin de arttırılmasıyla örneklerin a^* değerleri de artmış, giderek daha kırmızı-kahverengi numuneler elde edilmiştir. Farklı kızılötesi güç seviyelerinde (62, 74, 88 ve 104 W) bamyaya örneklerinin kurutulduğu bir çalışmada, kızılötesi güç seviyesi arttıkça doğrusal olarak a^* değerinin de arttığı bildirilmiştir (Tanta, 2019).

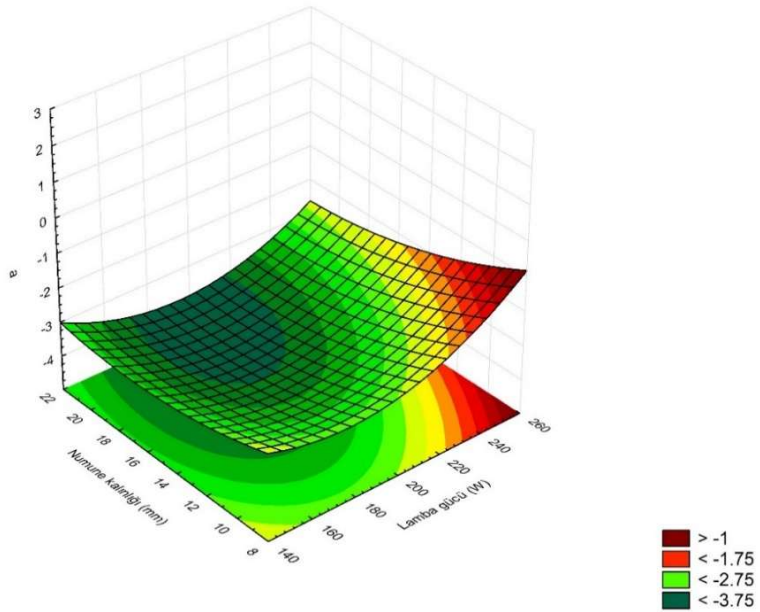


Şekil 4.37. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

Farklı kızılötesi lamba güçlerinde (150, 200 ve 250 W) kurutulmuş Hindistan cevizlerinin a^* değerlerinin lamba mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da belirtilmiştir. İncelenen grafiklerde lamba gücünün artmasıyla, lamba mesafesi ve numune kalınlığının ise azalmasıyla a^* değerlerinin arttığı görülmüştür.

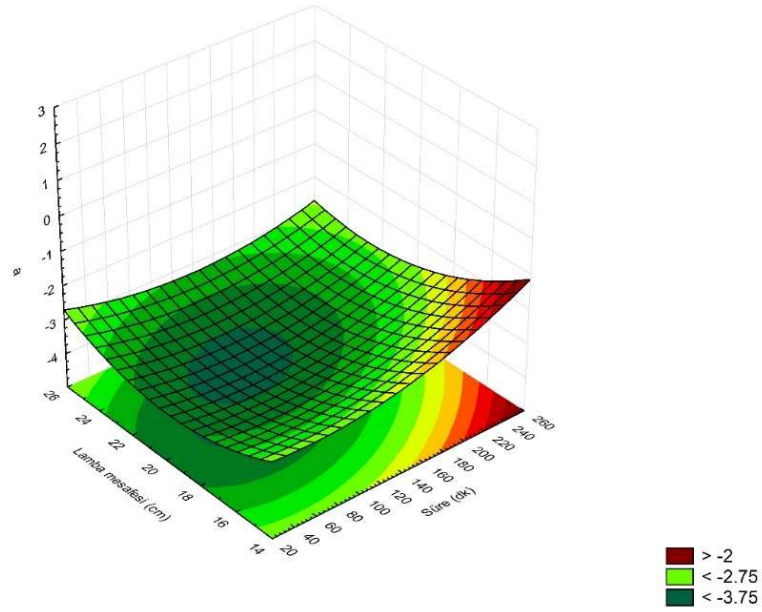


Şekil 4.38. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

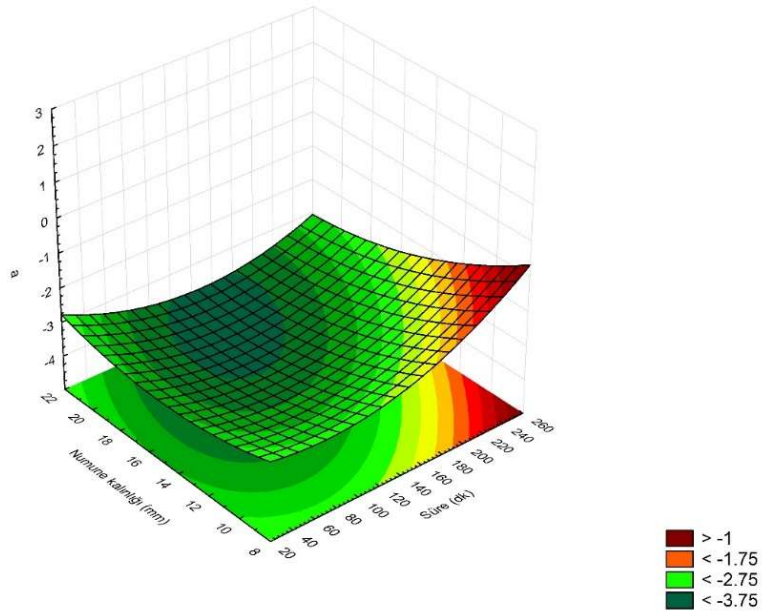


Şekil 4.39. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'deki grafiklerde farklı kurutma sürelerinde kurutulmuş örneklerin a^* değerlerinin lambda mesafesi ve numune kalınlığı ile değişimi incelendiğinde artan kurutma süresi ile a^* değerinin arttığı ve dolayısıyla kurutma süresinin a^* değeri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir.

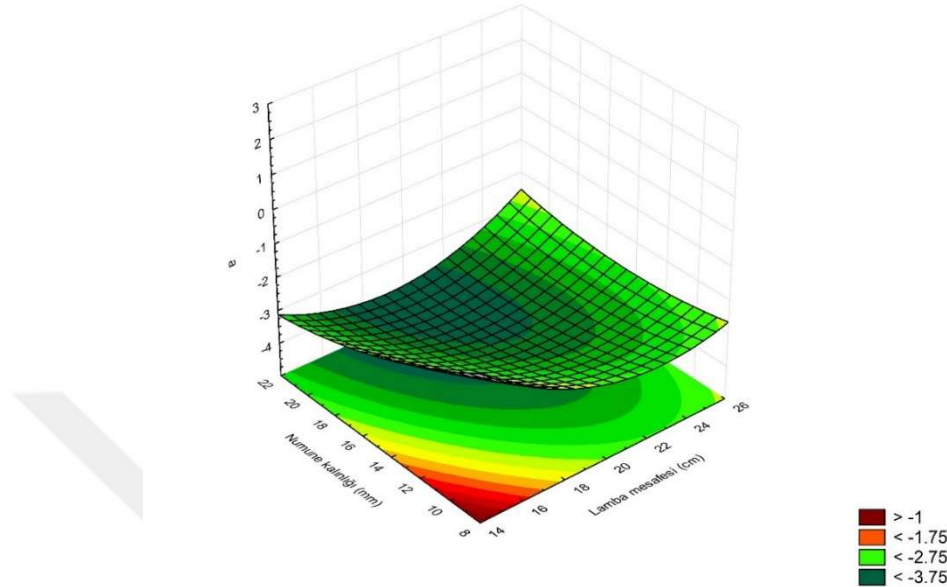


Şekil 4.40. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (lambda mesafesi-süre)



Şekil 4.41. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.42 incelendiğinde numune kalınlığı ve lamba mesafesi arttıkça örneklerin a^* değerlerinin azaldığı böylelikle elde edilen örneklerin kırmızılığının azaldığı saptanmıştır.



Şekil 4.42. Kurutulmuş Hindistan cevizinin a^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin a^* değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.7’de gösterildiği gibidir:

$$a^* \text{ değeri} = -3,79 + 0,4214A + 0,3203B - 0,2919C - 0,4178D + 0,4000AB - 0,2187AC - 0,1906AD - 0,2994BC - 0,3638BD + 0,3863CD + 0,4208A^2 + 0,3058B^2 + 0,4508C^2 - 0,1117D^2 \quad (4.7)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Kurutulan Hindistan cevizlerinin a^* değerleri için yapılan varyans analizinin sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda kırmızılık/yeşilliği ifade eden a^* değeri için lamba gücü (W)*numune kalınlığı (mm) etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmazken ($p=0,0751$), diğer kurutma koşullarının örneklerin a^* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca kurutma parametrelerinin de tek başlarına bireysel etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Her ne kadar oluşturulan model a^* değeri için

istatistiksel olarak önemli bulunsa da uyum eksikliğinin de önemli çıkması bu modele ait terimlere daha fazla terim eklenmesi ve/veya uyumsuzluğa sebep olan terimlerin çıkarılması gerektiği anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.14. a^* değeri için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model:	İkinci derece				
Kaynak	SS	df	MS	F	p
Model	53,67	14	3,83	10,92	< 0.0001
A-Lamba gücü	6,39	1	6,39	18,22	< 0.0001
B-Süre	3,69	1	3,69	10,52	0,0022
C-Lamba mesafesi	3,07	1	3,07	8,74	0,0048
D-Numune kalınlığı	6,28	1	6,28	17,91	0,0001
AB	5,12	1	5,12	14,59	0,0004
AC	1,53	1	1,53	4,36	0,0422
AD	1,16	1	1,16	3,31	0,0751
BC	2,87	1	2,87	8,17	0,0063
BD	4,23	1	4,23	12,07	0,0011
CD	4,77	1	4,77	13,60	0,0006
A ²	0,9190	1	0,9190	2,62	0,1123
B ²	0,4853	1	0,4853	1,38	0,2455
C ²	1,05	1	1,05	3,01	0,0895
D ²	0,0648	1	0,0648	0,1846	0,6694
Ölçüm Hatası	16,49	47	0,3509		
Uyum Eksikliği	10,93	10	1,09	7,27	< 0.0001
Saf Hata	5,56	37	0,1503		
Toplam	70,17	61			

R²	0,7649
Adjusted R²	0,6949

4.6.3. b^* değeri

Taze Hindistan cevizinin ortalama b^* değeri 3,96 olarak bulunurken, kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin b^* değerleri $3,39 \pm 0,04$ ile $13,20 \pm 1,12$ arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek b^* değeri 250 W lamba gücünde, 240 dk kurutma süresinde, 10 mm

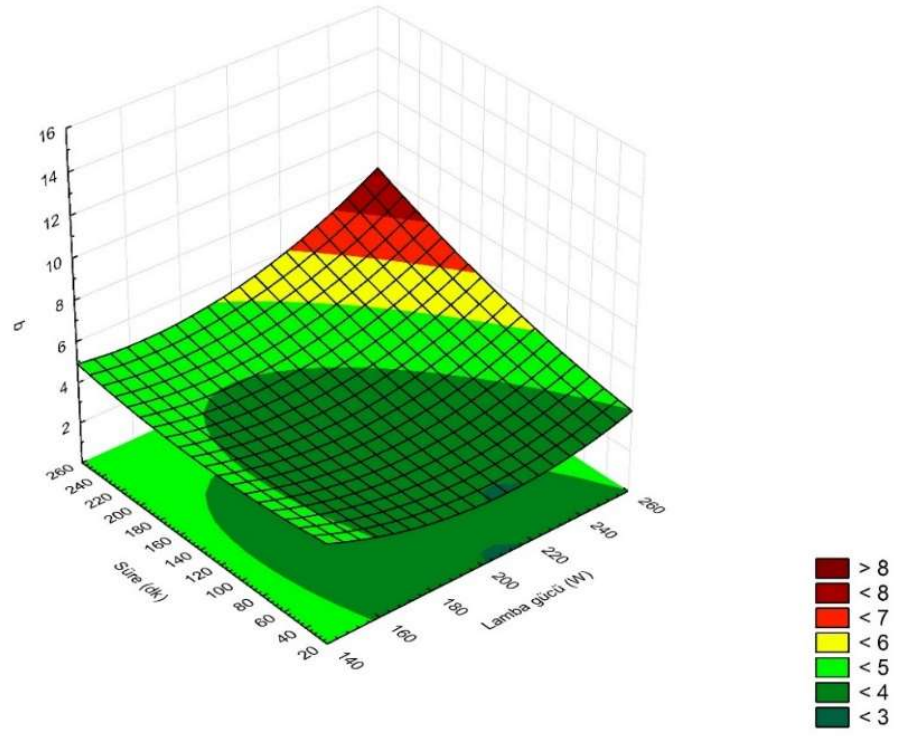
numune kalınlığında ve 15 cm lamba mesafesinde gerçekleşen kurutma işleminde ölçülmüştür.

Çizelge 4.15. Kurutulan Hindistan cevizlerine ait b^* değeri bulguları

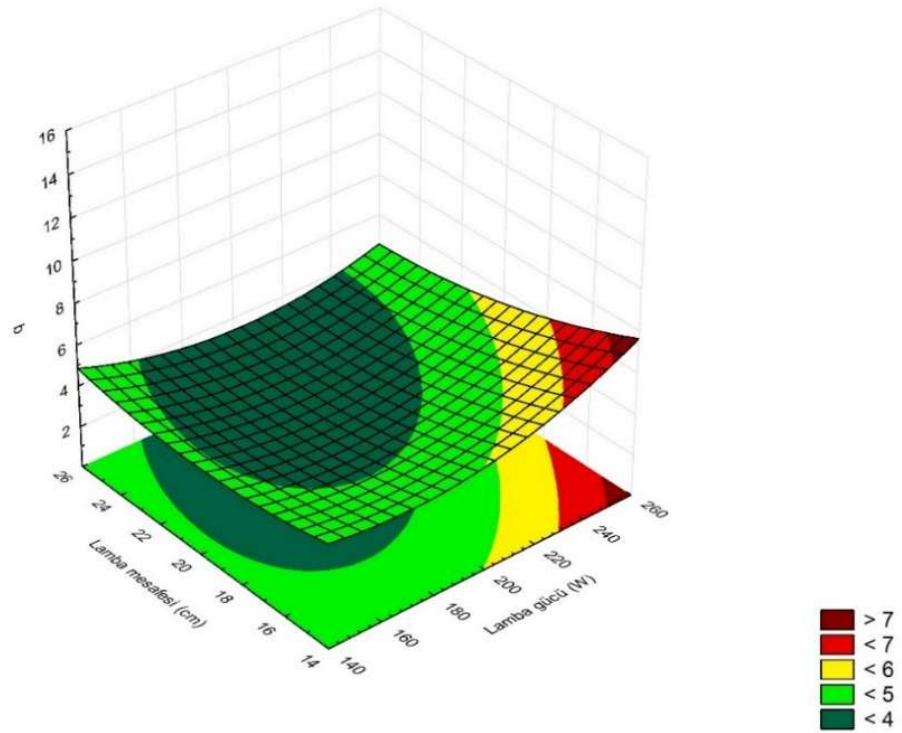
No.	İşlem Koşulları				Analiz Bulguları
	x_1 (W)	x_2 (dk)	x_3 (cm)	x_4 (mm)	b^*
1	150	30	15	10	3,81 ^{EF} ±0,40
2	250	30	15	10	3,61 ^{EF} ±0,45
3	150	240	15	10	6,26 ^B ±0,39
4	250	240	15	10	13,20 ^A ±1,12
5	150	30	25	10	4,89 ^{CDE} ±0,98
6	250	30	25	10	3,54 ^{EF} ±0,08
7	150	240	25	10	4,44 ^{DEF} ±1,58
8	250	240	25	10	4,43 ^{DEF} ±0,40
9	150	30	15	20	4,53 ^{DEF} ±1,28
10	250	30	15	20	3,92 ^{EF} ±0,69
11	150	240	15	20	4,10 ^{DEF} ±0,91
12	250	240	15	20	5,81 ^{BC} ±1,05
13	150	30	25	20	3,51 ^F ±0,48
14	250	30	25	20	3,39 ^F ±0,04
15	150	240	25	20	4,13 ^{DEF} ±0,20
16	250	240	25	20	5,26 ^{BCD} ±0,38
17	150	135	20	15	3,59 ^{EF} ±0,45
18	250	135	20	15	4,73 ^{CDEF} ±0,05
19	200	30	20	15	3,66 ^{EF} ±0,64
20	200	240	20	15	3,53 ^F ±0,06
21	200	135	15	15	4,02 ^{DEF} ±0,09
22	200	135	25	15	3,48 ^F ±0,12
23	200	135	20	10	3,48 ^F ±0,09
24	200	135	20	20	3,43 ^F ±0,10
25	200	135	20	15	3,58 ^{EF} ±0,27

Aynı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsizdir ($p > 0,05$).

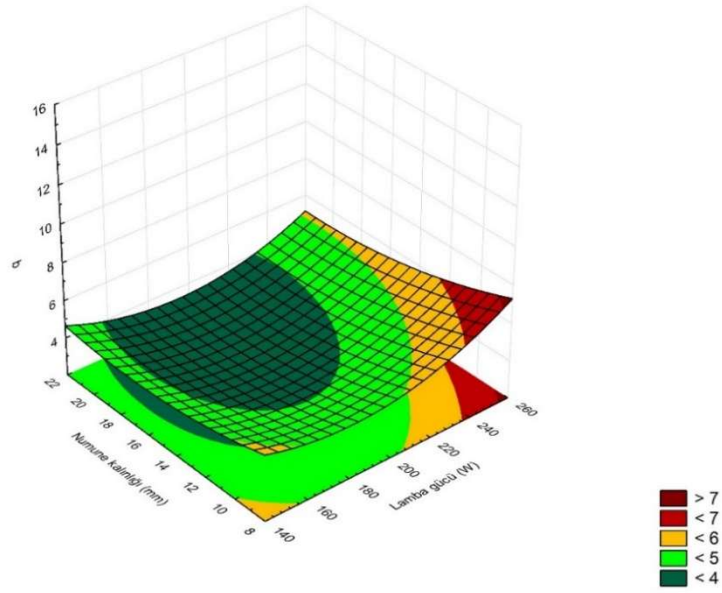
Kurutulan örneklerin b^* değerlerinin kurutma süresi ve lamba gücüyle değişiminin gösterildiği Şekil 4.43'te, kurutma süresi ve lamba gücünün artmasıyla uzun süreli sıcaklık uygulanan örneklerde b^* değerinin ifade ettiği sarılığın da gittikçe arttığı görülmektedir. Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'teki grafiklerde de kızılötesi lamba gücünün artmasıyla örneklerin b^* değerleri artmıştır.



Şekil 4.43. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (süre-lamba gücü)

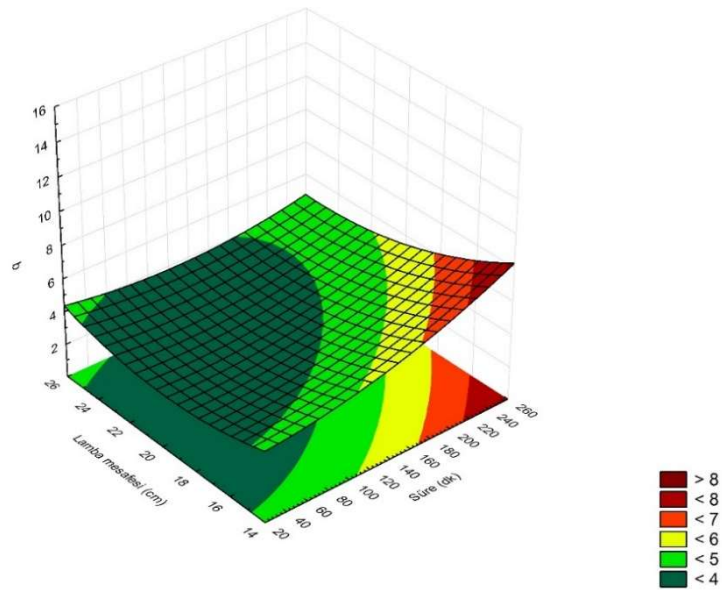


Şekil 4.44. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-lamba gücü)

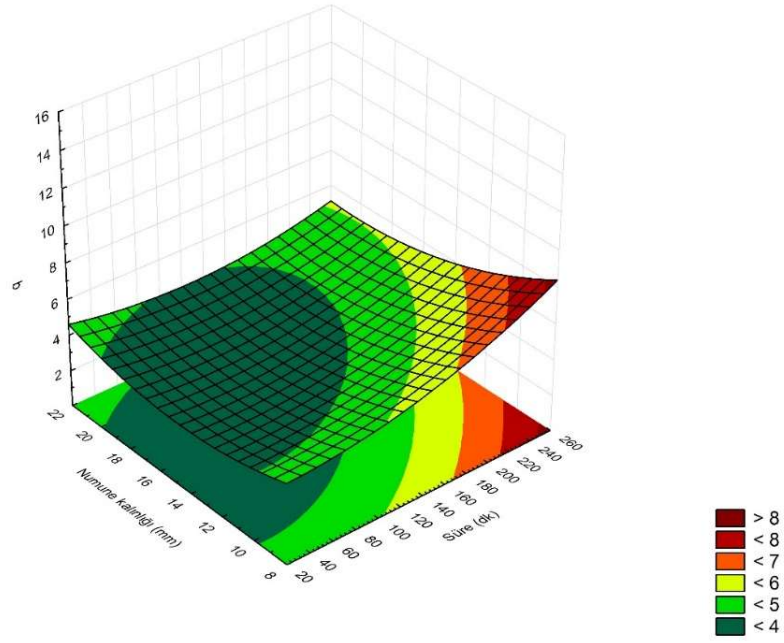


Şekil 4.45. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba gücü)

Şekil 4.46'da lamba mesafesinin Şekil 4.47'de ise numune kalınlığının azalmasıyla ve her iki grafikte de kurutma süresinin artmasıyla kurumaya başlayan örneklerin nem miktarının azaldığı ve sarılığın arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, daha fazla kuruma gerçekleşen numunelerde giderek artan bağıl konsantrasyonlardaki karotenoidlerin varlığı ile açıklanabilir.

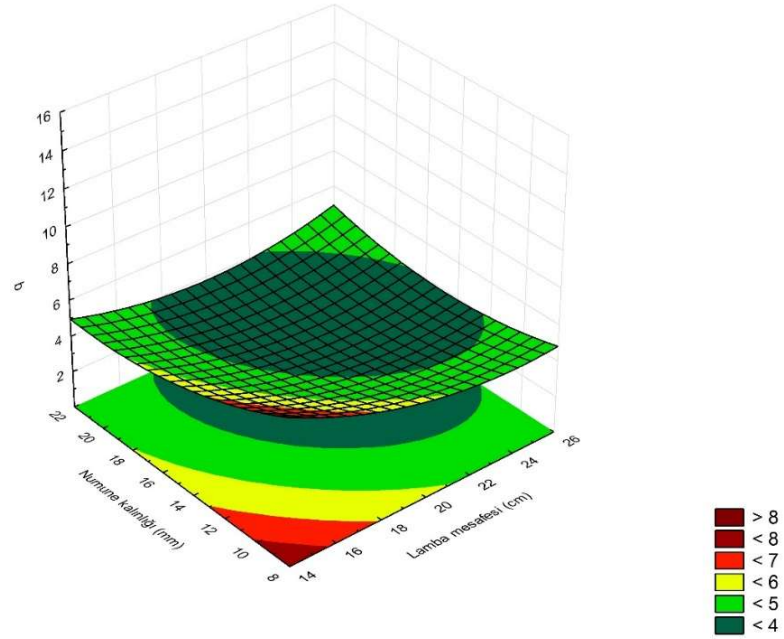


Şekil 4.46. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (lamba mesafesi-süre)



Şekil 4.47. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-süre)

Şekil 4.48’de gösterildiği üzere numune kalınlığı ve lamba mesafesi parametreleri arttıkça örneklerde giderek daha az gerçekleşen kurumaya bağlı olarak b^* değerleri azalmıştır.



Şekil 4.48. Kurutulmuş Hindistan cevizinin b^* değerine ait üç boyutlu grafik (numune kalınlığı-lamba mesafesi)

Kurutulan Hindistan cevizlerinin b^* değerlerinin kodlanmış faktörler kullanılarak modellenmesiyle elde edilen eşitlik, Eşitlik 4.8'de gösterildiği gibidir:

$$b^* \text{ değeri} = +3,49+0,4828A-0,0650B-0,2700C-0,0225D+0,7566AB-0,5091AC-0,2078AD-0,6641BC-0,5291BD+0,4728CD+0,7984A^2+0,2309B^2+0,3859C^2-0,4247ABC-0,3109ABD+0,4972ACD+0,7922BCD-0,4609B^2C-0,5684B^2D+1,09BC^2 \quad (4.8)$$

A: Lamba gücü, B: Süre, C: Lamba mesafesi, D: Numune kalınlığı

Çizelge 4.16'da kurutulan Hindistan cevizlerinin b^* değerleri için yapılan varyans analizinin sonuçları verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, süre (dk), lamba mesafesi (cm) ve numune kalınlığı (mm) parametrelerinin örneklerin b^* değerleri üzerine bireysel etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmazken ($p>0,05$), lamba gücünün etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,05$). İnteraksiyonlarda ise, yalnızca lamba gücü (W)*numune kalınlığı (mm) etkileşiminde ortalamalar arasında gözlenen farklılıklar istatistik olarak önemsiz, diğer etkileşimler önemlidir. Modele ilişkin p değerinin 0,05'ten küçük bulunması sonucunda, bu modelin kullanımının b^* değerlerinin temsilinde uygun olacağı tespit edilmiştir. Uyum eksikliğinin de istatistik olarak önemsiz çıkmasıyla, bu model ile deneysel veriler arasında model kullanımına bağlı olarak herhangi bir uyumsuzluk olmadığı sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.16. b^* değeri için varyans analizi (ANOVA)

Oluşturulan model: İndirgenmiş kübik (üçüncü derece)					
Kaynak	SS	df	MS	F	p
Model	191,14	20	9,56	26,42	< 0.0001
A-Lamba gücü	8,39	1	8,39	23,20	< 0.0001
B-Süre	0,0169	1	0,0169	0,0467	0,8299
C-Lamba mesafesi	0,2916	1	0,2916	0,8062	0,3745
D-Numune kalınlığı	0,0020	1	0,0020	0,0056	0,9407
AB	18,32	1	18,32	50,64	< 0.0001
AC	8,29	1	8,29	22,93	< 0.0001
AD	1,38	1	1,38	3,82	0,0575
BC	14,11	1	14,11	39,02	< 0.0001
BD	8,96	1	8,96	24,76	< 0.0001

CD	7,15	1	7,15	19,78	< 0.0001
A ²	3,63	1	3,63	10,04	0,0029
B ²	0,3035	1	0,3035	0,8391	0,3650
C ²	0,8478	1	0,8478	2,34	0,1334
ABC	5,77	1	5,77	15,96	0,0003
ABD	3,09	1	3,09	8,55	0,0056
ACD	7,91	1	7,91	21,87	< 0.0001
BCD	20,08	1	20,08	55,52	< 0.0001
B ² C	0,7554	1	0,7554	2,09	0,1560
B ² D	1,15	1	1,15	3,18	0,0821
BC ²	4,21	1	4,21	11,65	0,0015
Ölçüm Hatası	14,83	41	0,3617		
Uyum Eksikliği	3,08	4	0,7688	2,42	0,0656
Saf Hata	11,75	37	0,3177		
Toplam	205,97	61			

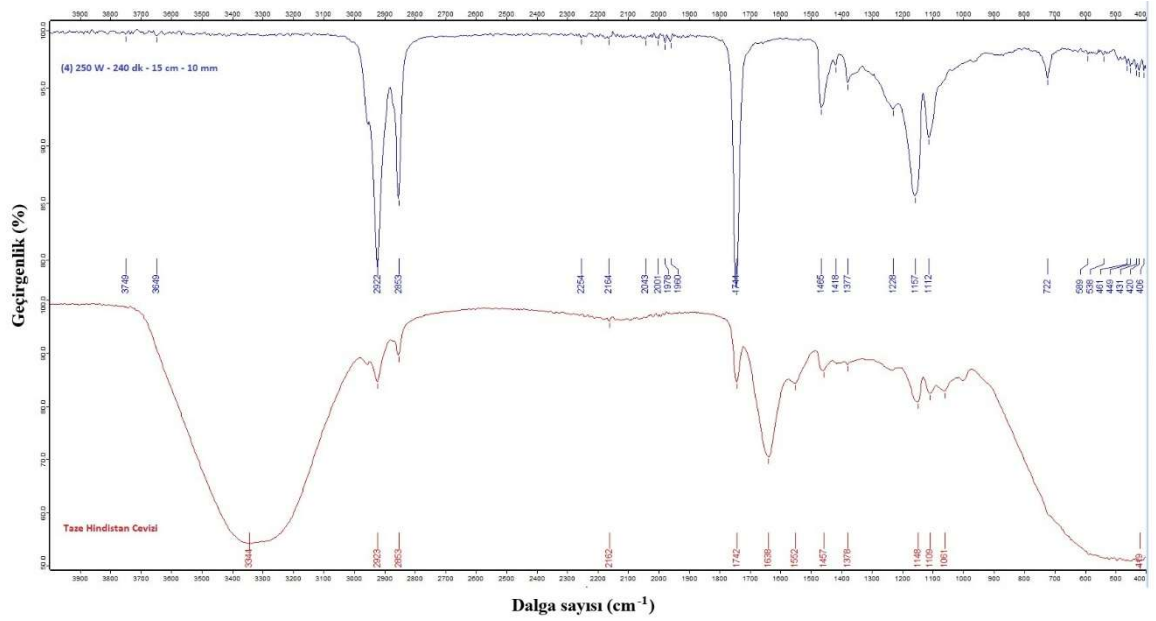
R²	0,9280
Adjusted R²	0,8929

4.7. FTIR Analizi

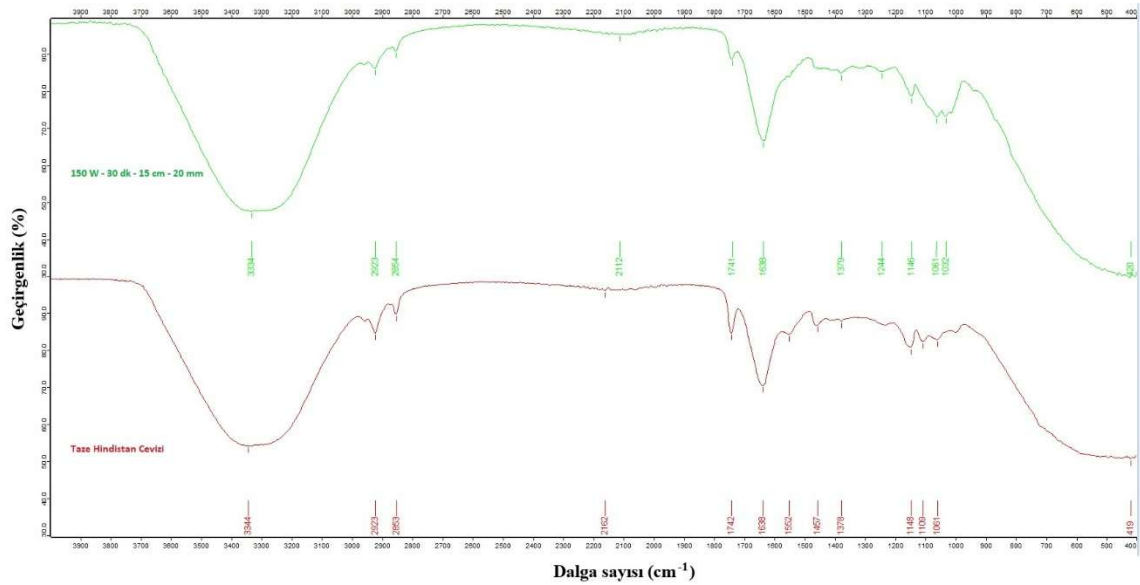
FTIR spektroskopisi, organik ve inorganik bileşenlerin karakterize edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir ve elektromanyetik spektrumdaki, temel titreşim, gerilme-dönme modları moleküllerin kimyasal profillerindeki değişiklikler hakkında bilgi verir (İçyer ve Durak, 2019; Çağlar vd., 2019).

Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de sırasıyla 4 ve 40 numaralı numunelerin FT-IR spektrumuna ait çakışık görüntüleri yer almaktadır. Kurutulan örnek taze Hindistan cevizine göre daha fazla yansıma göstermiştir ve böylelikle kurutma yoğunluğunun artmasıyla yansıma yoğunluğunun değiştiği görülmüştür. Tipik bir FTIR spektrumunda, 3000-3500 cm⁻¹ dalga sayısındaki geçirgenliğin numunedeki su ve diğer -OH bazlı moleküllerden ileri geldiği bilinmektedir. Şekil 4.49 incelendiğinde, taze Hindistan cevizinin daha fazla su içermesi nedeniyle 4 numaralı kurutulmuş örneğe göre bu dalga sayısında daha büyük pik verdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 2000-2500 cm⁻¹ dalga sayısındaki etkileşimlerin C≡C ve C≡N atomları içeren gruplar arasında gerçekleştiği bilinmekle

birlikte, daha fazla kuruma gerçekleşen numunede bu etkileşimin daha yoğun olduğu gözlenmiştir. Çift bağ bölgesindeki $1600-1800\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bant ester karbonil gruplarına ait -C=O gerilme titreşimlerine karşılık gelir. İncelenen spektrumlar arasında bu bölgedeki pike ait en bariz geçirgenliğin, en çok kurumunun gerçekleştiği koşul olan 4 numaralı örnekte saptandığı söylenebilir. Tüm numunelerin FT-IR spektrumları Ekler kısmında sunulmaktadır.



Şekil 4.49. Taze Hindistan cevizi ve 4 numaralı örneğe ait FT-IR spektrumu

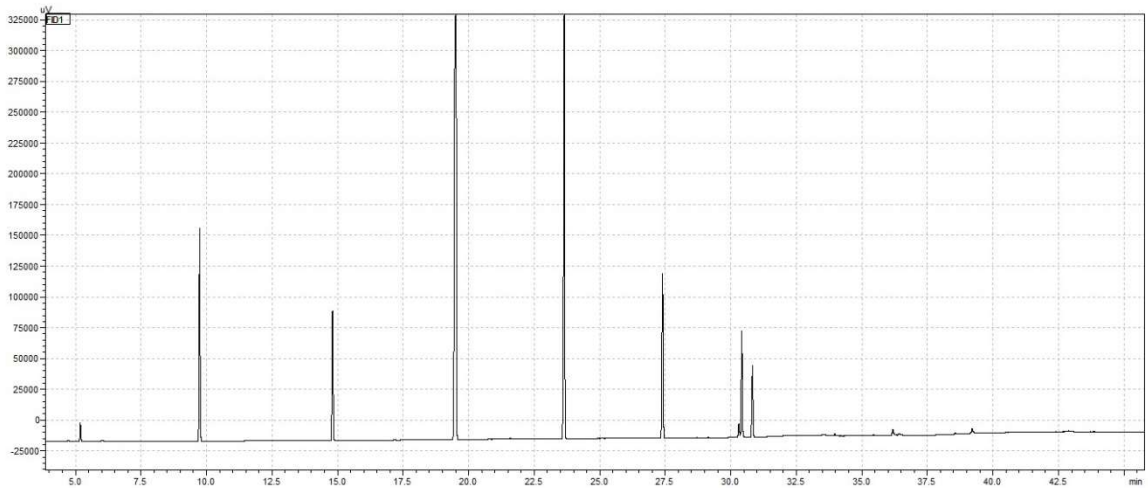


Şekil 4.50. Taze Hindistan cevizi ve 40 numaralı örneğe ait FT-IR spektrumu

4.8. Toplam Yağ Miktarı ve Yağ Asidi Kompozisyonu Analizi Bulguları

Tez çalışması kapsamında taze Hindistan cevizinde toplam yağ miktarı ve yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir. Taze Hindistan cevizinin toplam yağ miktarı %45,02 (% a/a, yaş baz) ve %45,30 (% a/a, kuru baz) olarak saptanmış olmakla birlikte ortalama %45,16±0,2 olarak hesaplanmıştır.

Hindistan cevizi yağının yaklaşık %90'ını doymuş yağ asitlerinden oluşur; orta zincirli yağ asitleri bakımından oldukça zengindir (Che Man ve Marina, 2006; Burnett vd., 2011). Yapılan analizler sonucunda Hindistan cevizi yağının yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde taze Hindistan cevizi yağında ağırlıklı olarak orta zincirli yağ asitlerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda baskın yağ asidi olarak %49,78 oran ile laurik asit (C12:0) belirlenmiş olup, bunu %19,95 ile miristik asit (C14:0) izlemiştir (Şekil 4.51). Elde edilen bu değerler Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği'ndeki Hindistan cevizi yağı değerleri ile örtüşmektedir (TGK, 2012). Hindistan cevizi yağının yağ asidi kompozisyonu Çizelge 4.17'de sunulmaktadır.



Şekil 4.51 Taze Hindistan cevizinin yağ asidi kompozisyonuna ait örnek kromatogram

Çizelge 4.17. Taze Hindistan cevizi yağ asidi kompozisyonu

Yağ Asidi	Bağıl Miktar (%)
C6:0 (<i>Kaproik asit</i>)	0,59
C8:0 (<i>Kaprilik asit</i>)	8,30
C10:0 (<i>Kaprik asit</i>)	5,52
C12:0 (<i>Laurik asit</i>)	49,78
C14:0 (<i>Miristik asit</i>)	19,95
C16:0 (<i>Palmitik asit</i>)	7,21
C17:1 (<i>Heptadekenoik asit</i>)	0,01
C17:0 (<i>Heptadekanoik asit</i>)	0,01
C18:2 (<i>Linoleik asit</i>)	0,62
C18:1 (<i>Oleik asit</i>)	4,65
C18:0 (<i>Stearik asit</i>)	3,25
C20:0 (<i>Araşidik asit</i>)	0,08
C22:0 (<i>Behenik asit</i>)	0,02
C24:0 (<i>Lignoserik asit</i>)	0,03
Toplam= %100	

4.9. Optimizasyon Bulguları

Kurutmalardan elde edilen veriler çok amaçlı optimizasyona tabi tutulmuş ve optimum işlem koşulları, tahmin edilen bağımlı değişkenlerin değerleri ve arzu edilebilirlik değerleri Çizelge 4.18’de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Optimizasyon çalışması bulguları

Optimum Koşul Parametresi	Değer	
Lamba gücü (W)	250	
Süre (dk)	240	
Lamba mesafesi (cm)	15	
Örnek kalınlığı (mm)	10	
<i>Tahmin edilen bağımlı değişkenler</i>		
Nem miktarı (%)	5,9273	↓
a_w	0,4883	↓
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)	189,501	↑
<i>Arzu edilebilirlik (desirability)</i>	0,766	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada Hindistan cevizi farklı kurutma işlem parametreleri kullanılarak kızılötesi kurutma teknolojisiyle kurutulmuştur. Merkezi kompozit tasarım deneme desenine göre tasarlanan kızılötesi kurutma deney setinde lamba gücü (150, 200 ve 250 W), kurutma süresi (30, 135 ve 240 dk), lamba mesafesi (15, 20 ve 25 cm) ve numune kalınlığı (10, 15 ve 20 mm) olmak üzere farklı kurutma işlem parametreleri uygulanmıştır. Kızılötesi teknolojisiyle kurutulan Hindistan cevizlerinin fizikokimyasal özellikleri, kızılötesi kurutmanın işlem etkinliği ve matematiksel modellemenin kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca taze Hindistan cevizinde toplam yağ miktarı ve gaz kromatografisi (GC) kullanılarak yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir.

- Deneme tasarımına göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük nem miktarı (%1,80) ve su aktivitesi (0,283) değerlerinin; 250 W lamba gücü, 240 dk kurutma süresi, 15 cm lamba mesafesi ve 10 mm numune kalınlığı parametreleri ile kurutulan Hindistan cevizi örneklerine ait olduğu görülmüştür. Kızılötesi kurutma işlemi sırasında lamba gücü ve kurutma süresinin artmasına ek olarak lamba mesafesi ve numune kalınlığının azalmasıyla Hindistan cevizi örneklerinin nem miktarlarının azaldığı saptanmış ve çizilen üç boyutlu grafikler ile gösterilmiştir. Nem miktarı değerlerinde olduğu gibi su aktivitesi değerlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- Kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin pH değerleri 5,77 ile 6,47 aralığında ve birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Lamba gücü, kurutma süresi ve lamba mesafesi parametrelerinin pH değeri üzerindeki bireysel etkileri önemli bulunurken ($p < 0,05$), numune kalınlığının etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Kızılötesi kurutma yöntemiyle pH değerlerinin stabil kalabileceği sonucuna varılmıştır.
- Taze Hindistan cevizinin ortalama serbest asitliği %0,78 olarak belirlenirken, kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin serbest asitlik değerleri %0,56 ile %1,35 arasında değişmiştir. İşlem koşullarının ortalama serbest asitlik değerleri (%) üzerine bireysel etkileri istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$).

- Kurutulmuş Hindistan cevizi örneklerinin toplam fenolik madde miktarlarına ait üç boyutlu grafikler incelendiğinde, fenolik bileşenlerin doğası ve duyarlılığına bağlı olarak, kurutma işlemleri sırasında fenolik konsantrasyonunda artış veya azalma meydana gelebileceği görülmüştür. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde ise, lamba mesafesinin bireysel etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p=0,0074$), diğer parametrelerin bireysel etkileri ile kurutma koşullarının toplam fenolik madde miktarı üzerine etkileri istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).
- Kızılötesi kurutma işlemi sırasında yüksek lamba gücü ve uzun kurutma süresiyle kurutulan Hindistan cevizlerinde önemli bir kalite kriteri olan L^* değeri (parlaklık) azalırken; b^* ve a^* değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar üç boyutlu grafikler ile gösterilmiş ve renk değerlerinin lamba gücü ve kurutma süresi artışından olumsuz etkilenebileceği sonucuna varılmıştır.
- Taze numunenin toplam yağ miktarı ortalama $\%45,16\pm 0,2$ olarak hesaplanmıştır. Yağ asidi dağılımı incelendiğinde ise, orta zincirli yağ asitlerinden laurik asit (C12:0) baskın yağ asidi olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, farklı kurutma işlem parametrelerinin kızılötesi kurutma özelliklerini etkilediği, Hindistan cevizi kızılötesi kurutma işleminde matematiksel yaklaşımın kullanılabilirliği ve kızılötesi kurutma tekniğinden gıda kurutma işleminde faydalanılabileceği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdelmotaleb, A., El-Kholy, M. M., Abou-El-Hana, N. H., & Younis, M. A. (2009). Thin layer drying of garlic slices using convection and combined (convection–infrared) heating modes. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 26(1), 251–281. <https://doi.org/10.21608/mjae.2009.109883>
- Abhram, G., Briyangari, A., & Eeswaran, R. (2023). Drying of *Gymnema sylvestre* using far-infrared radiation: Antioxidant activity and optimization of drying conditions. *AgriEngineering*, 5(1), 611–622. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010038>
- Afzal, T. M., Abe, T., & Hikida, Y. (1999). Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00117-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00117-X)
- Aidani, E., Hadadkhodaparast, M., & Kashaninejad, M. (2017). Experimental and modeling investigation of mass transfer during combined infrared-vacuum drying of Hayward kiwifruits. *Food Science & Nutrition*, 5(3), 596–601. <https://doi.org/10.1002/fsn3.435>
- Akosman, C. (2003). K p  ekerin infrared enerjisi ile kurutulması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(4), 561–568.
- Aksoy, A. (2021). Gıdalarda pH ölümünün  nemi. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 193–216. <https://doi.org/10.46373/hafebid.978917>
- Akta , M., İlba , M., Yalçın, A., &  ahin, M. (2013). Kızılötesi ı ınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 767–775.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Albayrak, B. B., Tuncel, N. B., & Kocabıyık, H. (2021). Bazı İstant Gıdaların Üretiminde Kızılötesi Kurutmanın Etkisi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(1), 100–113. <https://doi.org/10.28979/jarnas.890536>
- Altay, K. (2022). Mikrodalga destekli köpük kurutma yöntemiyle kurutulan ejder meyvesi tozlarının kuruma kinetiği ve ürün özelliklerinin araştırılması. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(9), 1627–1637. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i9.1627-1637.5089>
- Arancıoğlu, İ.Ö. (2020). Gıda muhafaza yöntemleri. *Gıda Mühendisliğine Giriş* (1.baskı, ss. 161–175). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Arslan, N. (2012). *İnfrared kurutma yönteminin kurutulmuş mantı kalitesi üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Atmaca, M., & Büyükcan, M. B. (2022). Kurutulmuş muz dilimlerinin bazı fiziksel ve yapısal kalite karakteristiklerinin belirlenmesi. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 10(1), 29–36. <https://doi.org/10.33202/comuagri.1036784>
- Ayan, H. (2010). *Güneşte ve yapay kurutucuda kurutulmuş domates (Lycopersicum esculentum) üretimi ve proses sırasındaki değişimlerin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Aydoğdu, A., Sumnu, S. G., & Şahin, S. (2015). Effects of microwave-infrared combination drying on quality of eggplants. *Food and Bioprocess Technology*, 8(6), 1198–1210. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1484-1>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Barba, F. J., Ahrné, L., Xanthakis, E., Landerslev, M. G., & Orlie, V. (2018). Innovative technologies for food preservation. In F. J. Barba, A. S. Sant'Ana, V. Orlie, & M. Koubaa (Eds.), *Innovative technologies for food preservation: Inactivation of spoilage and pathogenic microorganisms* (pp. 25–51). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811031-7.00002-9>
- Bayrambaş, K. (2015). *Gıdalarda asitlik tayini* [PDF dosyası]. <https://kadirbayrambas.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/salc3a7ada-ph-ve-titrasyon-asitlic49fi.pdf> Erişim tarihi: 29 Haziran 2025
- Boudhrioua, N., Bahloul, N., Ben Slimen, I., & Kechaou, N. (2009). Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 412–419. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.08.001>
- Burnett, C. L., Bergfeld, W. F., Belsito, D. V., Klaassen, C. D., Marks Jr., J. G., Shank, R. C., Slaga, T. J., Snyder, P. W., & Andersen, F. A. (2011). Final report on the safety assessment of *Cocos nucifera* (coconut) oil and related ingredients. *International Journal of Toxicology*, 30(3_suppl), 5S–16S. <https://doi.org/10.1177/1091581811400636>
- Che Man, Y. B., & Marina, A. M. (2006). Medium chain triacylglycerol. In F. Shahidi (Ed.), *Nutraceutical and Specialty Lipids and Their Co-Products* (pp. 27–56). Taylor & Francis.
- Chua, K. J., & Chou, S. K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.003>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Çağlar, M. Y., Demirci, M., Şahiner, A., Çakır, B., & Çağlar, A. F. (2019). Gıda analizlerinde kullanılan spektroskopik teknikler. *Akademik Gıda*, 17(1), 121–130. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.544975>
- Çetin, N. (2021). *Elma çeşitlerinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin etkisinin belirlenmesi ve yapay zekâ algoritmalarıyla karşılaştırılması* (Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Erbay, B., & Küçüköner, E. (2008). Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21–23 Mayıs 2008, Erzurum, 1045–1048.
- Das, I., Das, S. K., & Bal, S. (2004). Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. *Journal of Food Engineering*, 62(1), 9–14. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00164-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00164-X)
- Delmo, C. (2012). The Philippines' money-making tree. *Far Eastern Agriculture*. <https://fareasternagriculture.com/crops/agriculture/the-philippines-money-making-tree>
- Demiray, E., & Tülek, Y. (2008). Domates kurutma teknolojisi ve kurutma işleminin domatesteki bazı antioksidan bileşiklere etkisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3), 9–20.
- Divya, A., Kumar, R., & Sharma, P. (2023). A concise review on oil extraction methods, nutritional and therapeutic role of coconut products. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1234–1245. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05857-2>
- Doymaz, İ. (2012). Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 760–766. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0217-8>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Doymaz, İ. (2013). Determination of infrared drying characteristics and modelling of drying behaviour of carrot pomace. *Journal of Agricultural Sciences*, 19(1), 44-53. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001227
- Doymaz, İ. (2014). Infrared drying of button mushroom slices. *Food Science and Biotechnology*, 23(3), 723–729. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0098-0>
- FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT Statistical Database: Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Erişim tarihi: 20 Mayıs 2025
- Günaydın, S., Sağlam, C., & Çetin, N. (2022). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5(1), 30–45. <https://doi.org/10.55257/ethabd.1096697>
- Günaydın, S. (2024). *Farklı kurutma yöntemlerinin gilaburu (Viburnum opulus L.) meyvesinin kurutma karakteristiklerine ve biyokimyasal içeriğine etkisinin belirlenmesi ve kurutulmuş ürünlerin görüntü işleme ve makine öğrenmesi ile sınıflandırılması* (Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Günerhan, H. (2012). Endüstriyel kurutma sistemleri. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 36(13), 1–10.
- Hebbat, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.020>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Huang, D., Yang, P., Tang, X., Luo, L., & Sunden, B. (2021). Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 765-777. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>
- İçyer, N. C., & Durak, M. Z. (2019). Bitkisel yağlarda taşıyış belirleme metotları: Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 138–149.
- Jafari, S. M., Movagharnejad, K., & Sadeghi, M. (2020). Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology. *Food Chemistry*, 319, 126579. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126579>
- Jongyingcharoen, J. S., Wutthigarn, P., & Assawarachan, R. (2019). Hot air drying of coconut residue: Shelf life, drying characteristics, and product quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 346, 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/346/1/012063>
- Karaaslan, S. (2012). Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 123-129.
- Kaya, A., Kamer, M. S., & Şahin, H. E. (2015). Trabzon hurmasının (*Diospyros kaki* L.) kuruma davranışının deneysel incelenmesi. *Gıda*, 40(1), 9–14.
- Kayran, S., & Doymaz, İ. (2019). Infrared drying of apricot pomace. *Latin American Applied Research*, 49(4), 213–218. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2019.199>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Khampakool, A., Soisungwan, S., & Park, S. H. (2019). Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. *LWT – Food Science and Technology*, 99, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.081>
- Kılıç, M., & Evranuz, E. Ö. (2006). Gıdalarda camsılığa geçiş ve kalite ilişkisi. *GIDA*, 31(5), 253–257.
- Killmann, W., & Fink, D. (1996). *Coconut palm stem processing: Technical handbook* (10 pp.). Department of Furniture and Wooden Products, Germany.
- Kocabıyık, H., Yılmaz, N., Tuncel, N. B., Sümer, S. K., & Büyükcan, M. B. (2015). Drying, energy, and some physical and nutritional quality properties of tomatoes dried with short-infrared radiation. *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), 516-525. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1418-3>
- Kouchakzadeh, A., & Haghghi, K. (2011). Modeling of vacuum-infrared drying of pistachios. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(3), 1–6. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1878>
- Köprüalan, Ö. (2019). *Puf kurutma yöntemi ile protein içeriği yüksek atıştırmalık beyaz peynir üretimi: Uygun ön işlem koşullarının belirlenmesi, puf kurutma işlem koşullarının optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Jun, S., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Infrared heating in food processing: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 2–13. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Kumar, D. G. P., Hebbar, H. U., Sukumar, D., & Ramesh, M. N. (2005). Infrared and hot-air drying of onions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(2), 132-150. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2005.00019.x>
- Kutlu, N., İşçi, A., & Şakıyan Demirkol, Ö. (2015). Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *GIDA*, 40(1), 39–46. <https://doi.org/10.15237/gida.GD14031>
- Küçük, İ., & Doymaz, İ. (2019). Experimental and modeling investigation of mass transfer during infrared drying of kumquat slices. *Adiyaman University Journal of Science*, 9(1), 48-65. <https://doi.org/10.13002/jafag4395>
- Lin, Y.-P., Lee, T.-Y., Tsen, J.-H., & King, V. A.-E. (2007). Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1295–1301. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.018>
- Madamba, P. S. (2003). Thin layer drying models for osmotically pre-dried young coconut. *Drying Technology*, 21(9), 1759–1780. <https://doi.org/10.1081/DRT-120025507>
- Madhiyanon, T., Phila, A., & Soponronnarit, S. (2009). Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut. *Applied Thermal Engineering*, 29(14–15), 2849–2854. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.02.003>
- Meci, E. (2024). *Mikroalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan cennet hurmasının kurutma kinetiği ve toz ürünün kalite özellikleri* (Yüksek lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Mongpraneet, S., Abe, T., & Tsurusaki, T. (2002). Accelerated drying of Welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 147-156. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00058-4)

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Nasıroğlu, Ş. (2007). *Kırmızı biber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared kurutma tekniğinin kullanılması* (Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Niamnuy, C., & Devahastin, S. (2005). Drying kinetics and quality of coconut dried in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.021>
- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T., & Soponronnarit, S. (2007). Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 81(3), 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.022>
- Nizamlioğlu, N. M., & Nas, S. (2010). The phenolic compounds in vegetables and fruit: Structures and their importance. *Electronic Journal of Food Technology*, 5(1), 20–35.
- Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353–360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.003>
- Nguyen, P.-B.-D., Nguyen, T.-V.-L., & Nguyen, T.-T.-D. (2024). Effect of infrared drying on the drying kinetics and the quality of mango (*Mangifera indica*) powder. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(1), 69–81. <https://doi.org/10.31883/pjfn/182962>
- Özkoç, S. Ö. . (2010). Kızılötesi ve Kızılötesi-Kombinasyon Isıtma Teknolojilerinin Gıda İşleme Uygulamalarında Kullanımı. *Gıda*, 35(3), 211-218.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Öztürk, S. (2014). *Muz ve kivi'nin dielektrik özelliklerinin mikrodalga ve kızılötesi mikrodalga kombinasyonu ile kurutma karakteristikleri üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Patil, U., & Benjakul, S. (2018). Coconut milk and coconut oil: Their manufacture associated with protein functionality. *Journal of Food Science*, 83(8), 2019–2027. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14223>
- Sadin, R., Chegini, G.-R., & Sadin, H. (2014). The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer. *Heat and Mass Transfer*, 50(4), 501-507. <https://doi.org/10.1007/s00231-013-1255-3>
- Sahari, Y., Anuar, M. S., Mohd Nor, M. Z., & Abdul Ghani, N. H. (2025). Enhancing the efficiency of infrared drying of desiccated coconut through process optimization and validation. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 33(S1), 1–22. <https://doi.org/10.47836/pjst.33.S1.01>
- Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2018). Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 516–523. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.006>
- Santoso, U., Kubo, K., Ota, T., Tadokoro, T., & Maekawa, A. (1996). Nutrient composition of kopyor coconuts (*Cocos nucifera* L.). *Food Chemistry*, 57(2), 299-304. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(96\)00003-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(96)00003-4)

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Sarpong, F., Dwumfour, F., Rashid, M. T., & Aly, T. (2022). Modelling the kinetics, thermodynamic and physical properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) during convective drying. *Ghana Journal of Science*, 63(1), 64–78. <https://doi.org/10.4314/gjs.v63i1.6>
- Seow, C. C., & Gwee, C. N. (1997). Coconut milk: Chemistry and technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 32(3), 189–201. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00400.x>
- Shih, C., Pan, Z., McHugh, T. H., Wood, D., & Hirschberg, E. (2008). Sequential infrared radiation and freeze-drying method for producing crispy strawberries. *Transactions of the ASABE*, 51(1), 205–216. <https://doi.org/10.13031/2013.24205>
- Shingare, S. P., & Thorat, B. N. (2012). Dehydration of coconut using an infrared dryer. *International Journal of Biotechnology, Chemical & Environmental Engineering*, 1(3), 56–63.
- Skjöldebrand, C., (2001). Infrared heating. In P. Richardson (Ed.), *Thermal Technologies in Food Processing* (pp. 208-228). CRC Press.
- Sumnu, G., Turabi, E., & Oztop, M. H. (2005). Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens. *LWT – Food Science and Technology*, 38(5), 549-553. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.006>
- Taşkın, O., & İzli, N. (2017). Kızılötesi kurutucu ile hurmanın kurutulması ve matematiksel modellenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(Ek Sayı), 10-15. <https://doi.org/10.13002/jafag4395>

KAYNAKLAR DİZİNİ

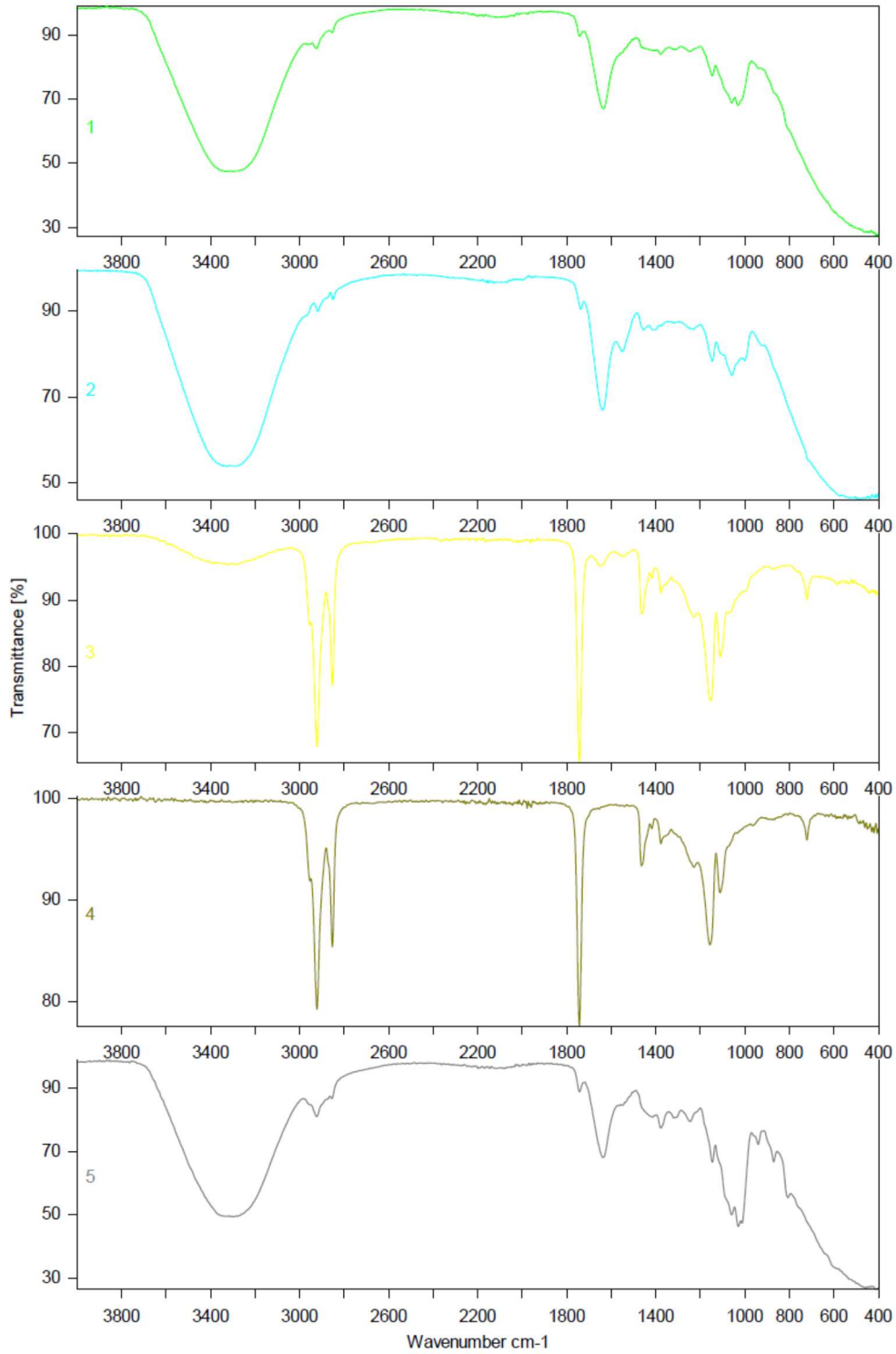
- Taşkın, O., İzli, N., & İzli, G. (2019). Rehydration, pH, brix, titrable acidity and color variations of infrared and microwave dried European Cranberrybush. *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 24(4), 176–180. <https://doi.org/10.17877/DE290R-43143>
- Tanta, S. (2019). *Bamyanın kurutma ve su alma özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- TGK. (2012). *Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği (Tebliğ No: 2012/29)*. Resmî Gazete (Sayı: 28262, Tarih: 12 Nisan 2012). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/04/20120412-7.htm> Erişim tarihi: 17 Mayıs 2025
- Tireki, S., Sumnu, G., & Esin, A. (2006). Production of bread crumbs by infrared-assisted microwave drying. *European Food Research and Technology*, 222(1–2), 8–14. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0109-8>
- Tuncel, N. Y., & Tuncel, N. B. (2016). Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı. *Akademik Gıda*, 14(2), 196-203.
- Türker, İ., & İşleroğlu, H. (2017). Kuşburnu pulpunun kızılötesi ışınım ile ince tabaka kurutulması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 118-128. <https://doi.org/10.13002/jafag4179>
- Tütüncü, M. A., & Erbaş, M. (2016). *Gıda mikrobiyolojisi* (1. baskı). Sidas Yayıncılık.
- USDA. (2019). United States Department of Agriculture. *FoodData Central: Nuts, coconut meat, raw*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170169/nutrients>

KAYNAKLAR DİZİNİ

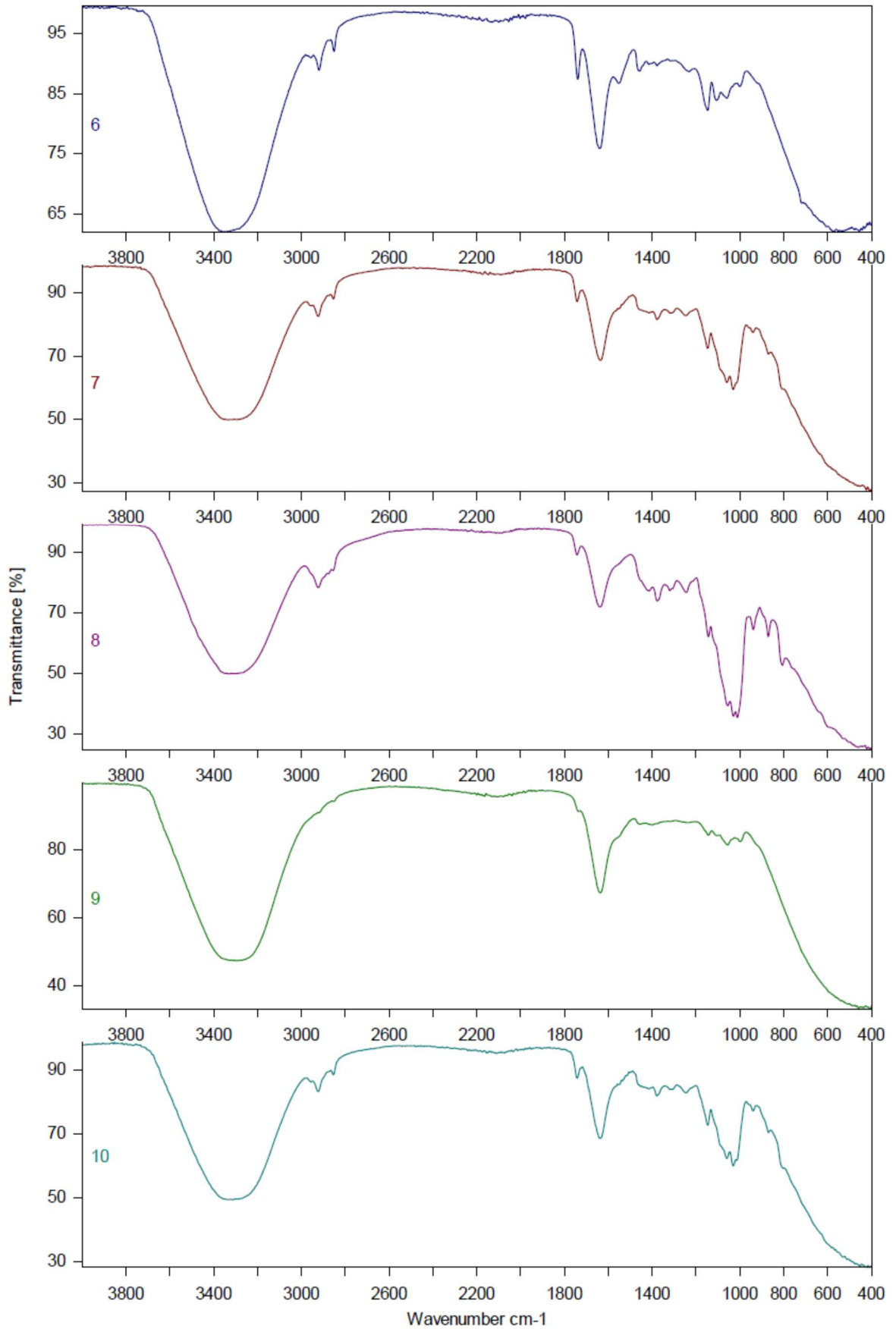
- Wu, X.-F., Zhang, M., & Li, Z. (2019). Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. *LWT - Food Science and Technology*, 111, 790–798. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.108>
- Yağcıoğlu, A. (1999). *Tarım ürünleri kurutma tekniği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536.
- Yin, P., Ramesh, S. V., & Pandiselvam, R. (2024). Valorization of coconut (*Cocos nucifera* L.) testa as a biocolourant. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1382214. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1382214>

EK AÇIKLAMALAR

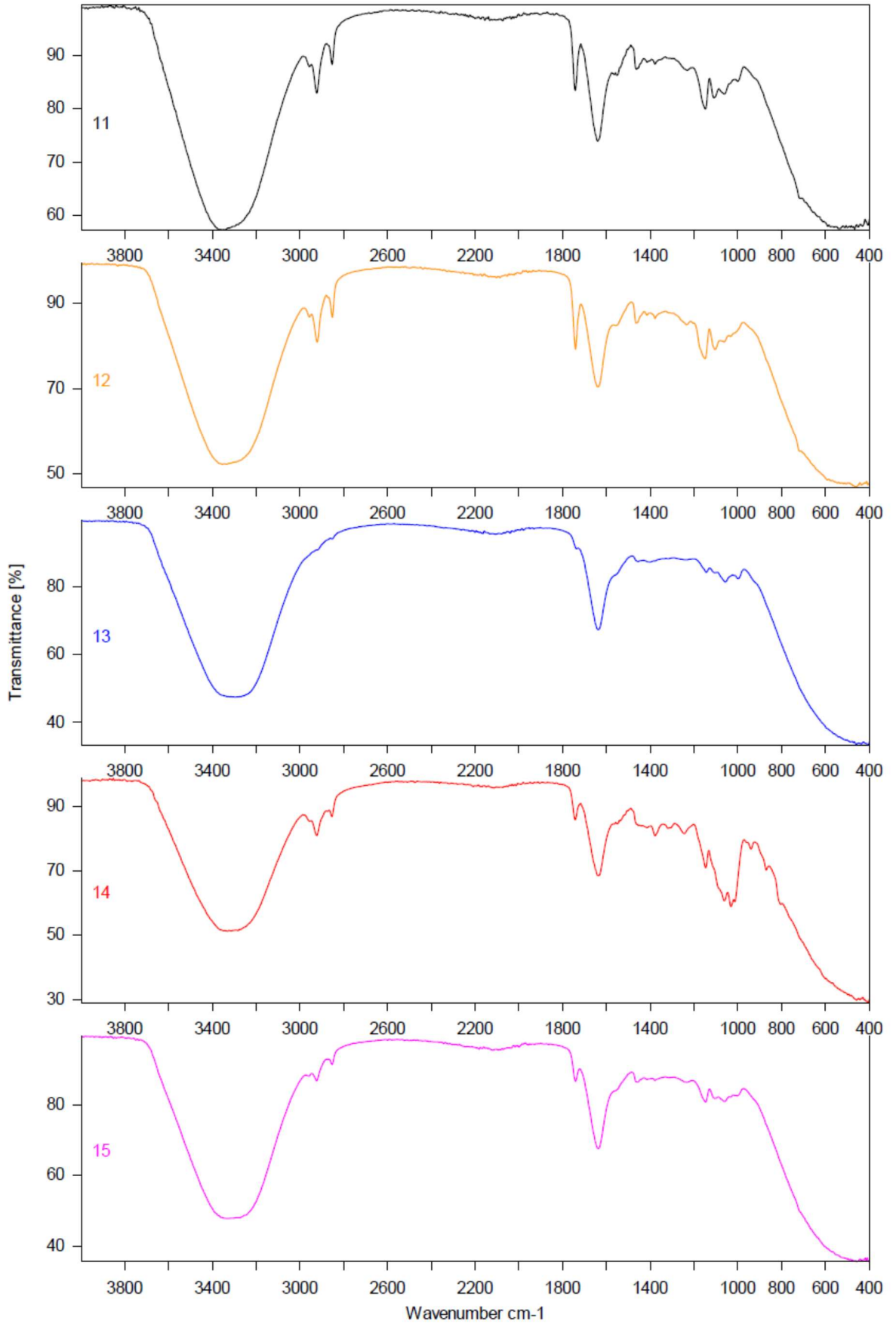
Ek Açıklama-A: FT-IR Spektrumları



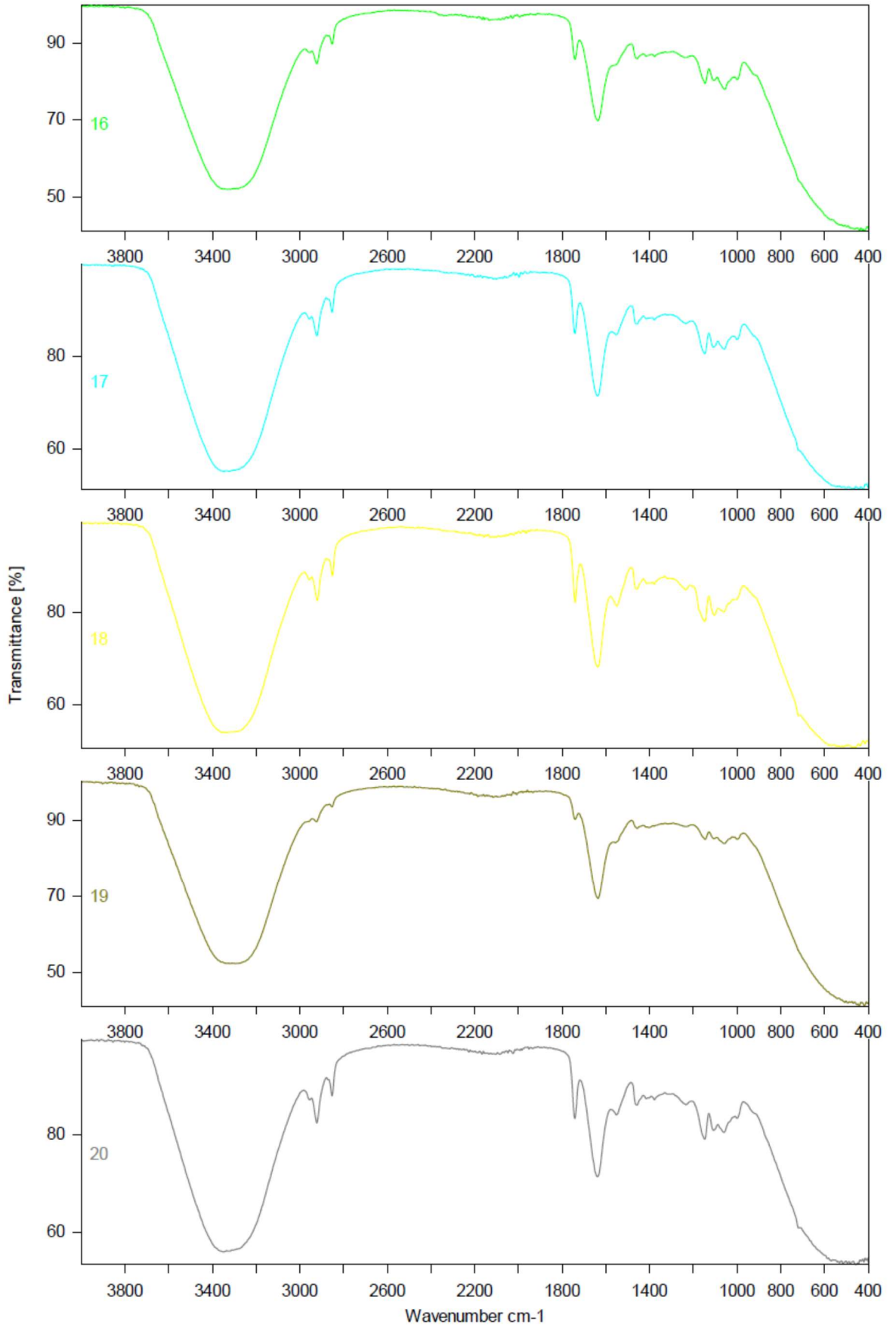
Şekil A.1. 1-5 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



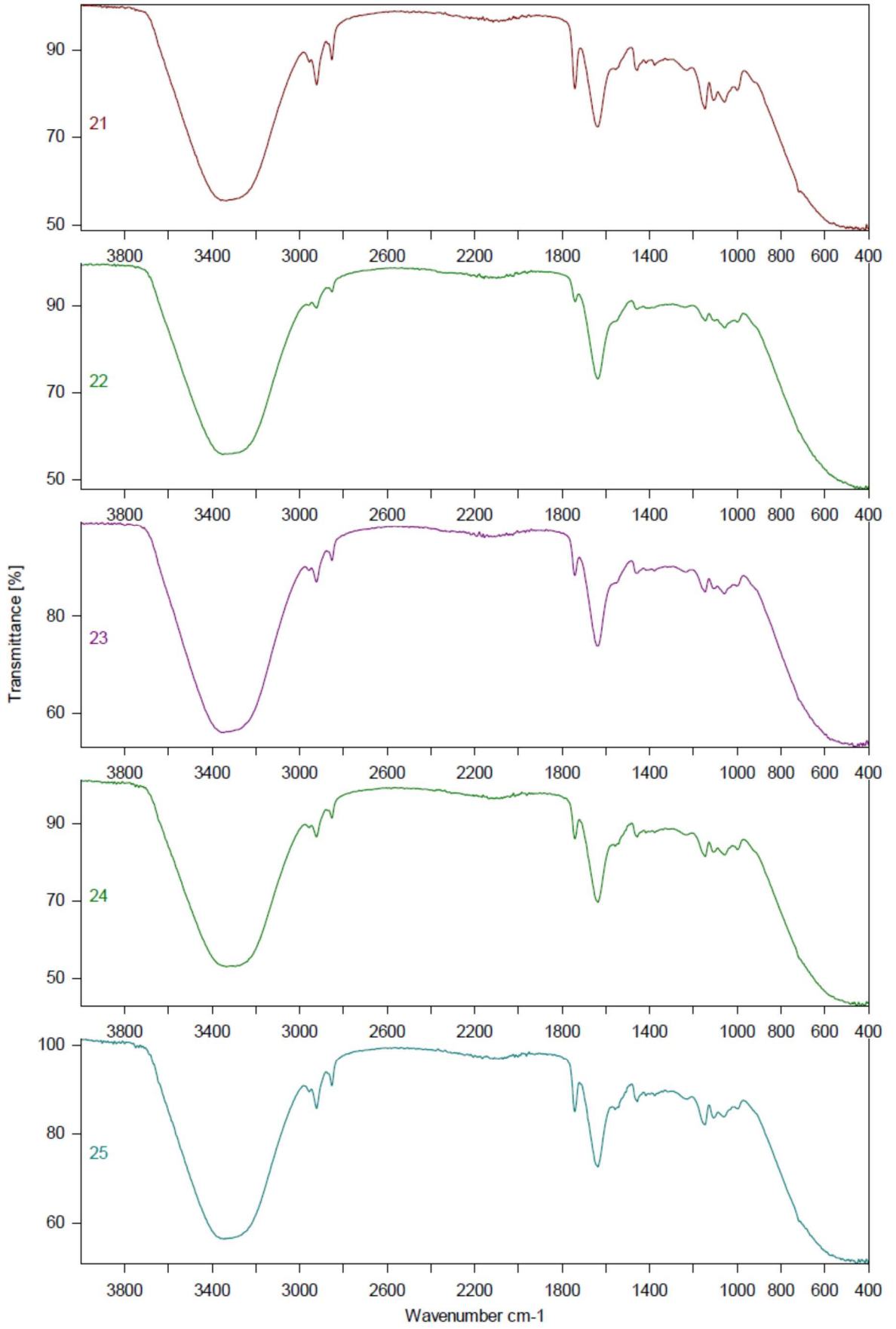
Şekil A.2. 6-10 Numaralı Örneklerle Ait FT-IR Spektrumları



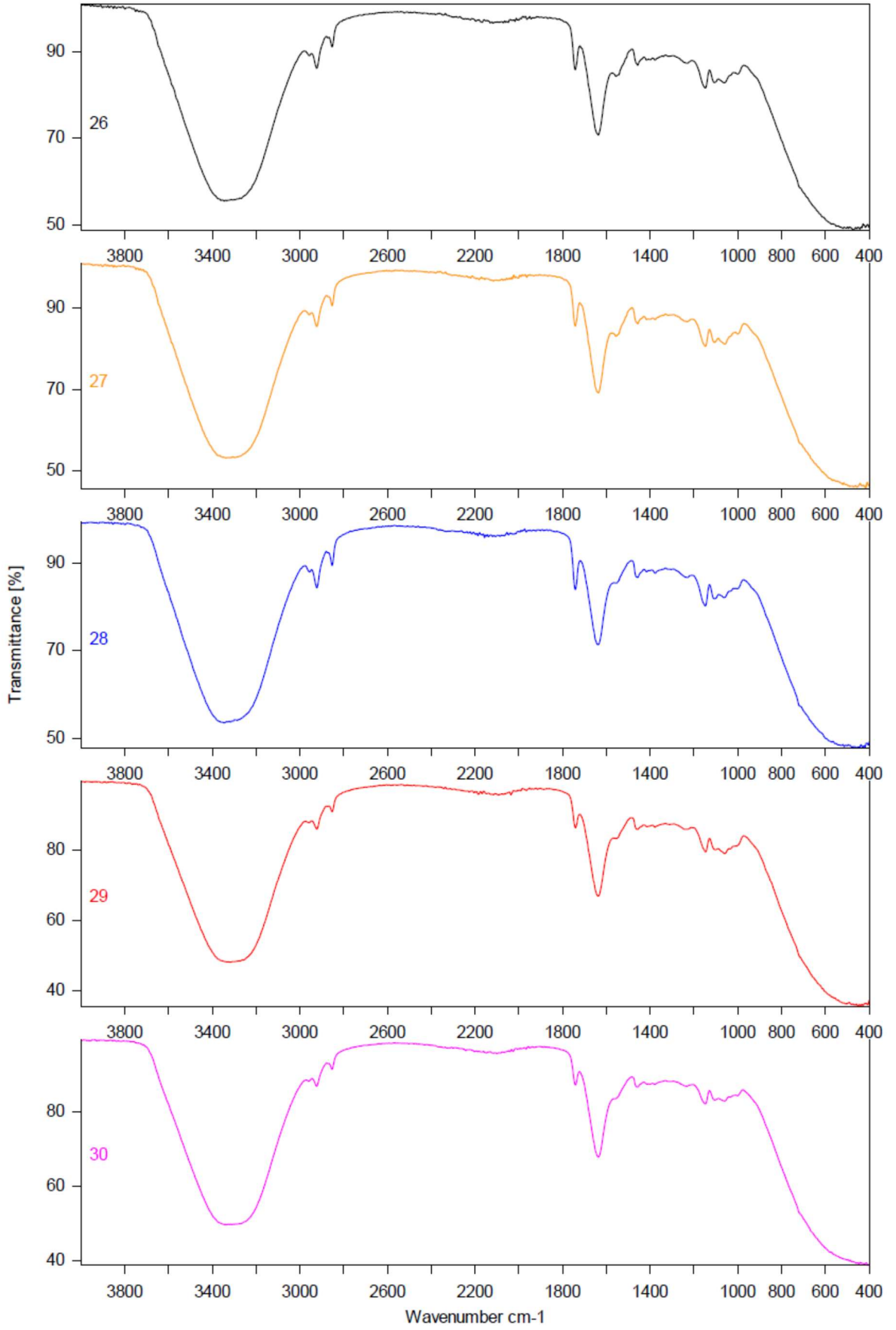
Şekil A.3. 11-15 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



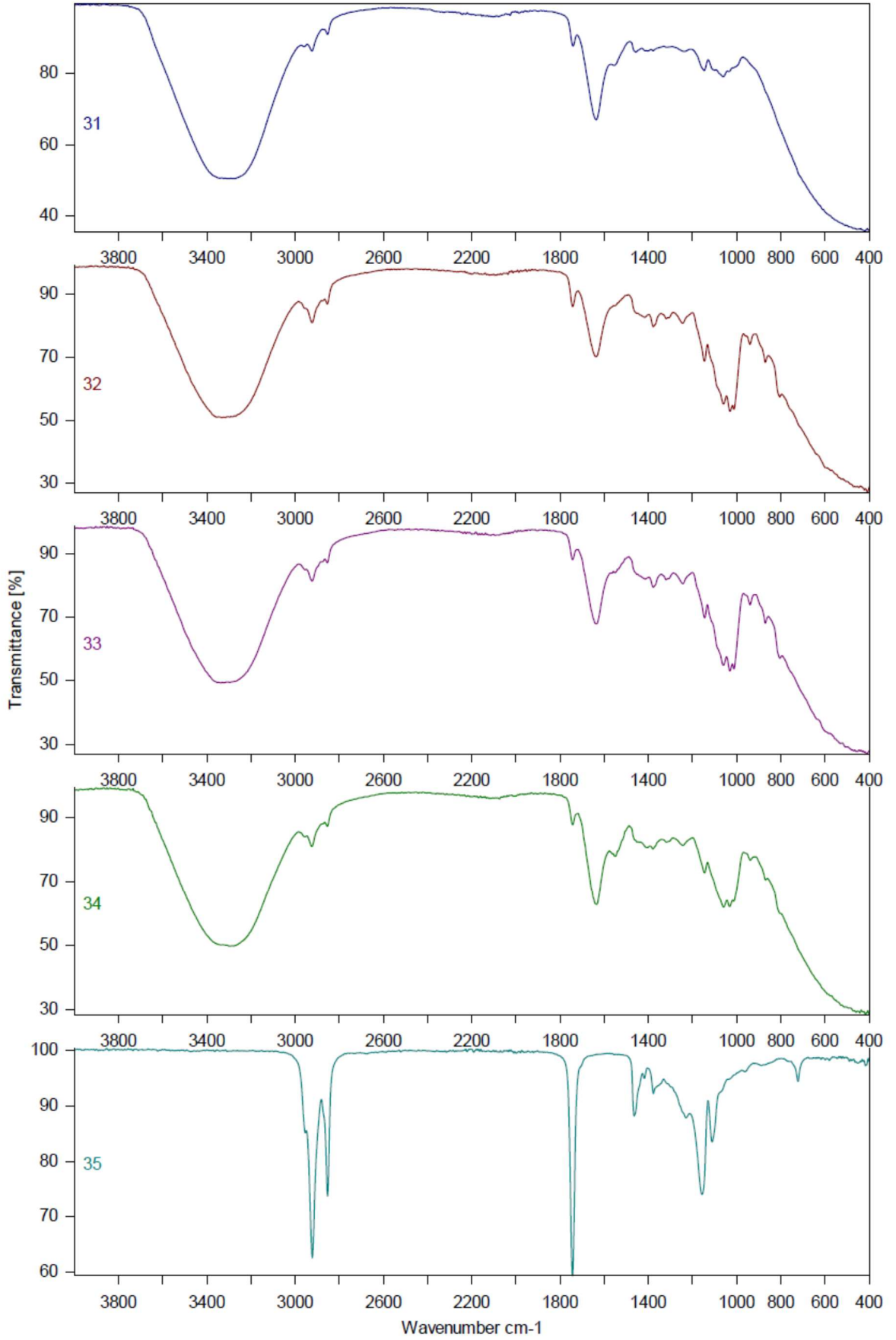
Şekil A.4. 16-20 Numaralı Örneklerle Ait FT-IR Spektrumları



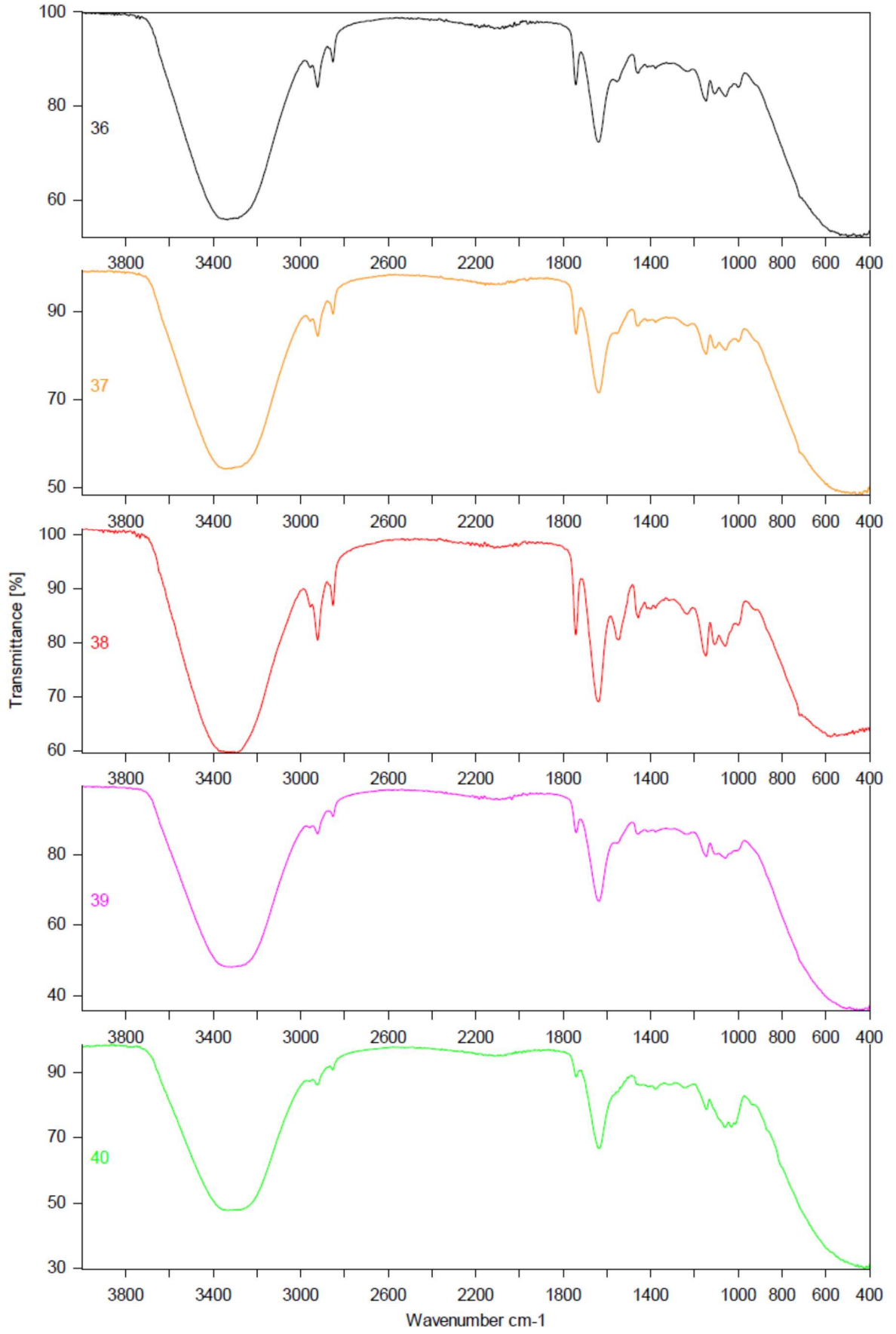
Şekil A.5. 21-25 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



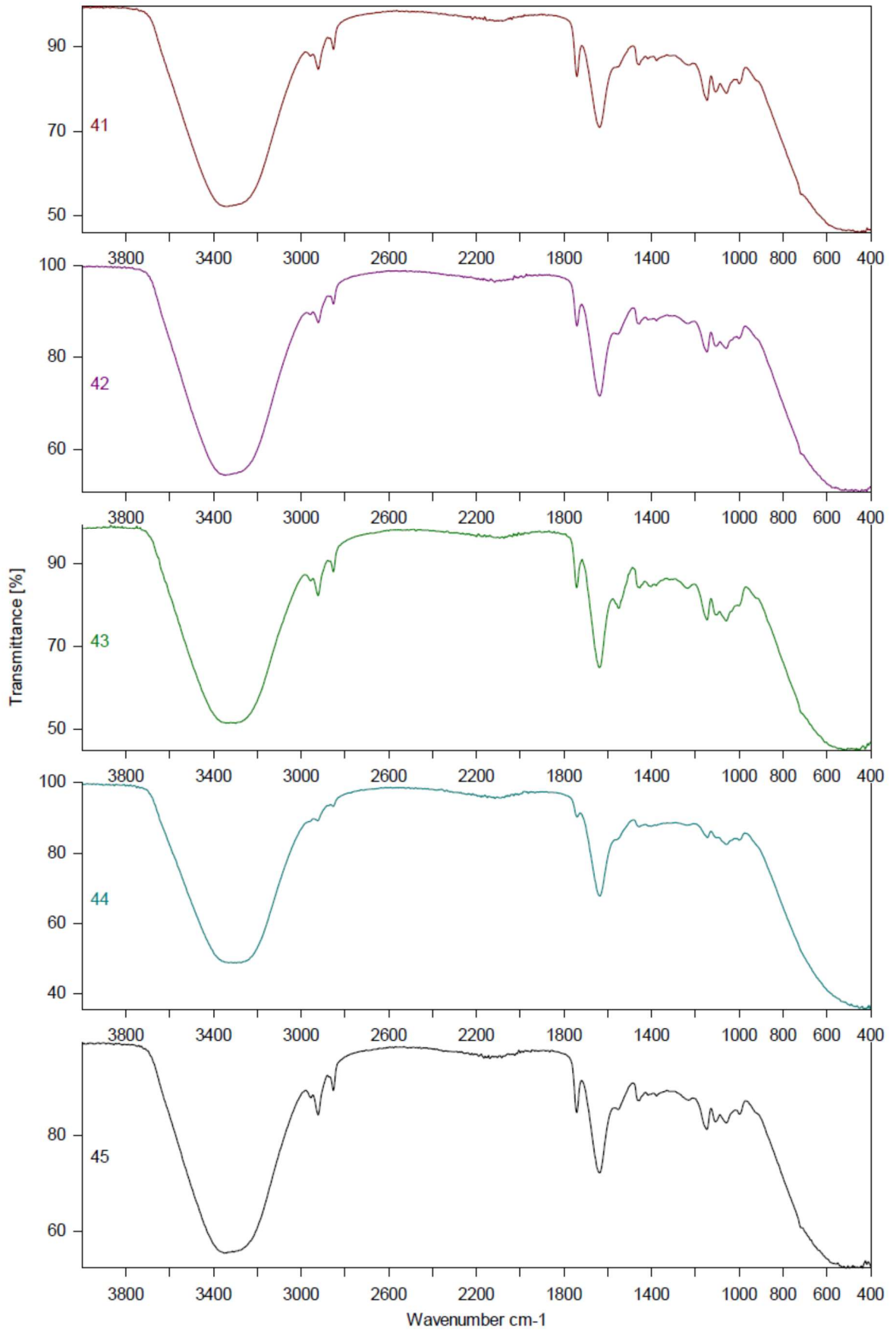
Şekil A.6. 26-30 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



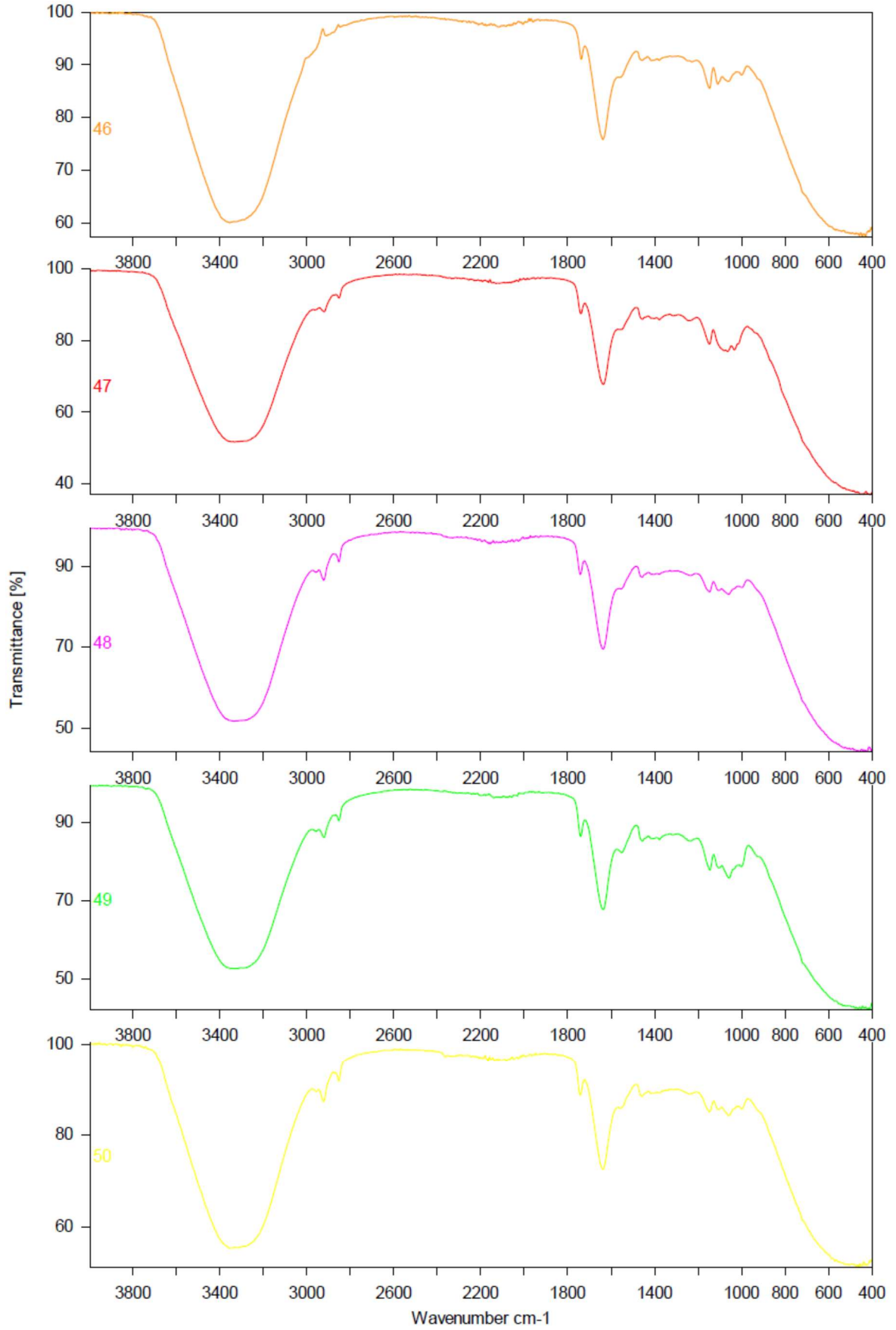
Şekil A.7. 31-35 Numaralı Örneklerle Ait FT-IR Spektrumları



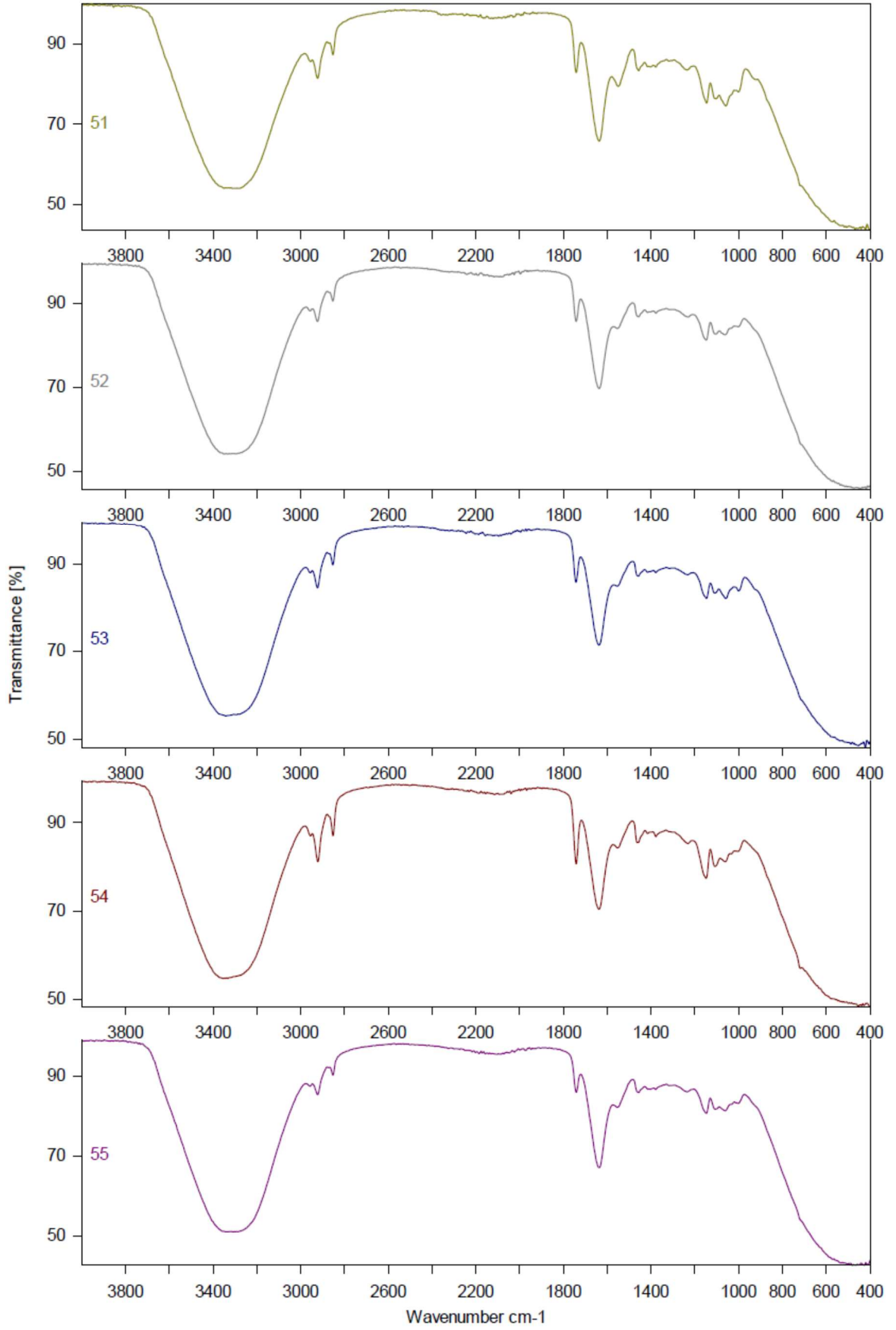
Şekil A.8. 36-40 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



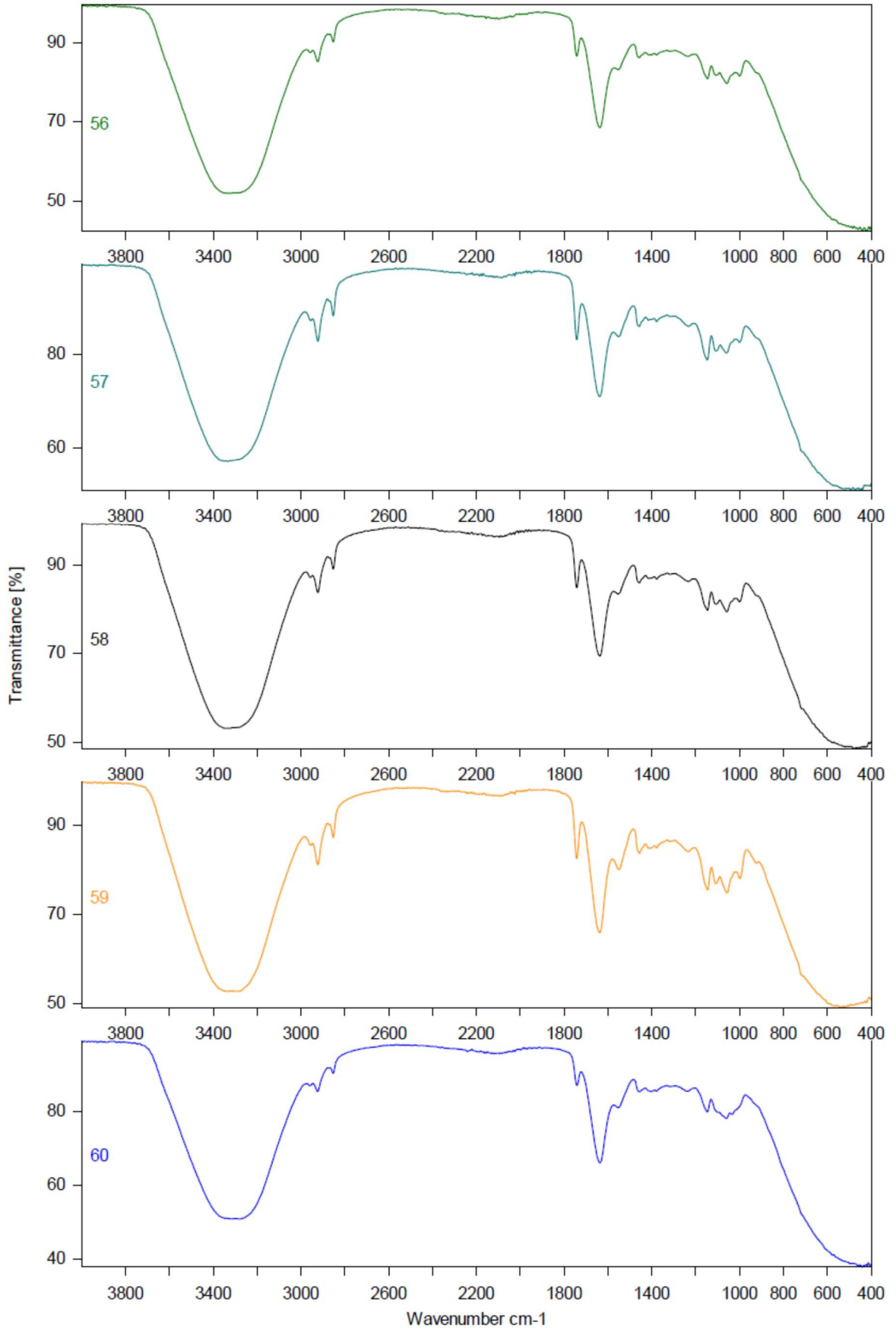
Şekil A.9. 41-45 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



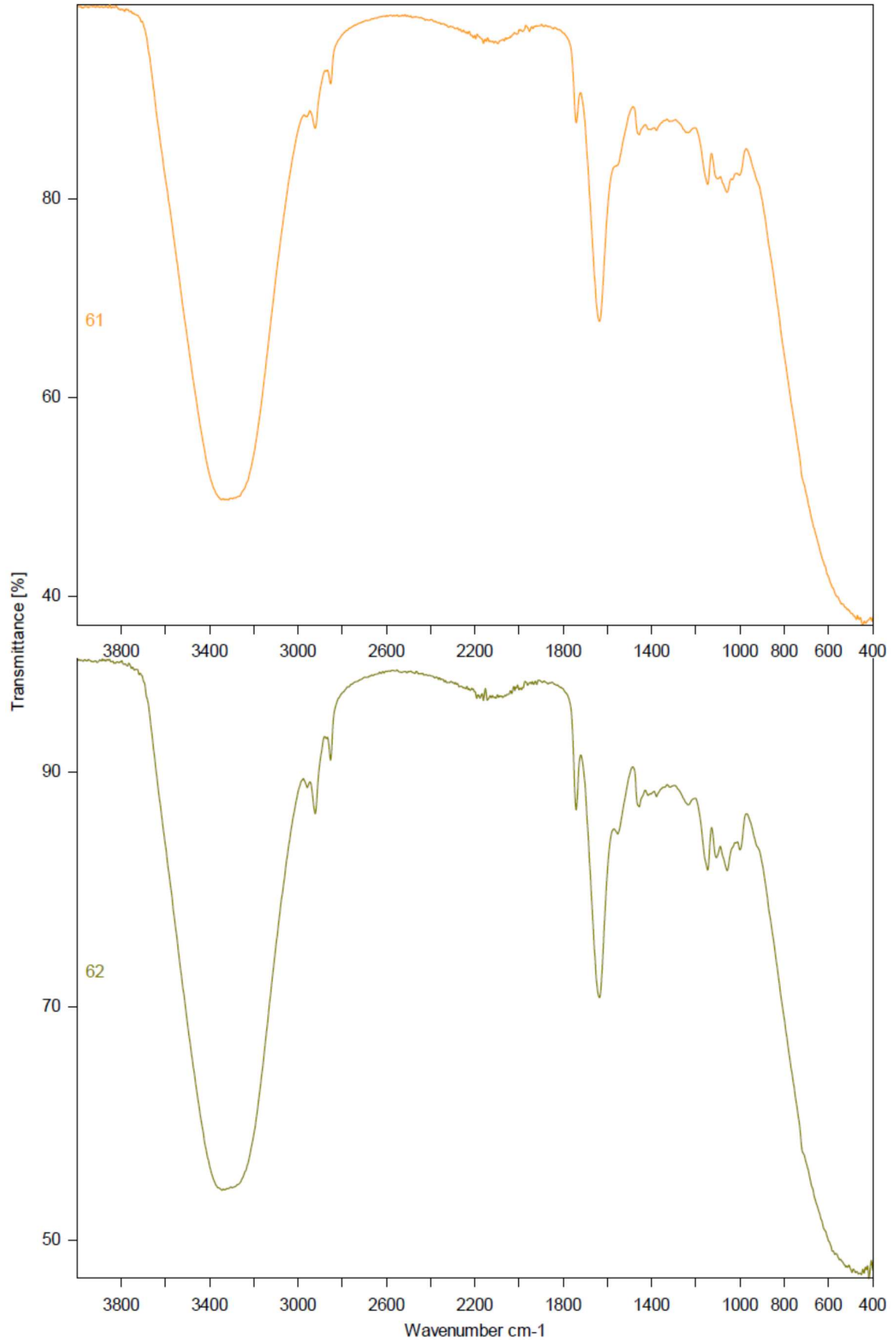
Şekil A.10. 46-50 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



Şekil A.11. 51-55 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



Şekil A.12. 56-60 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları



Şekil A.13. 61-62 Numaralı Örneklere Ait FT-IR Spektrumları