



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**İNFRARED SİSTEM DESTEKLİ VURGULU (PULSE)
TAŞKIN YATAK TASARIMININ
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ, ENERJİ TÜKETİMİ VE
ÇALIŞMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ**

Doktora Tezi

Tuğçe TÜRKOĞLU

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**INFRARED SİSTEM DESTEKLI VURGULU (PULSE)
TAŞKIN YATAK TASARIMININ
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ, ENERJİ TÜKETİMİ VE
ÇALIŞMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ**

Tuğçe TÜRKOĞLU

Danışman : Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2024

Tuğçe TÜRKOĞLU tarafından **Doktora** tezi olarak sunulan “**İnfrared Sistem Destekli Vurgulu (Pulse) Taşkın Yatak Tasarımının Gerçekleştirilmesi, Enerji Tüketimi ve Çalışma Koşullarının İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 29.01.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM.	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Figen ERTEKİN	
Üye	: Prof. Dr. Hayati OLGUN	
Üye	: Prof. Dr. Melike YILMAZER	
Üye	: Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**İnfrared Sistem Destekli Vurgulu (Pulse) Taşkın Yatak Tasarımının Gerçekleştirilmesi, Enerji Tüketimi ve Çalışma Koşullarının İncelenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

29/01 2024

İmzası

Tuğçe TÜRKOĞLU

ÖZET**İNFRARED SİSTEM DESTEKLİ VURGULU (PULSE) TAŞKIN YATAK TASARIMININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ, ENERJİ TÜKETİMİ VE ÇALIŞMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ**

TÜRKOĞLU, Tuğçe

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM

Ocak, 2024, 125 sayfa

Bu doktora tezinin amacı, infrared destekli vurgulu taşkın yatak kurutucu sisteminin tasarlanması, bu kurutucunun üretimi ve kurutucunun bezelye ve portakal kabuklarının kurutulmasında kullanılarak kurutucunun; kurutma verimi, enerji tüketimi ve son ürün kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesidir. Tasarlanan kurutucunun gıda kurutma işlemlerinde sıklıkla kullanılan konveksiyonla kurutma ve son zamanlarda uygulanmaya başlanan mikrodalga kurutma işlemlerine karşı olası avantajlarının verilerle ortaya konulmasıdır.

Bu çalışma kapsamında, taşkın yatak kurutucu sisteminin infrared (sarmal kabin formda) ve vurgu etkisi ile birleştirildiği modifiye bir tasarım geliştirilmiştir. Ayrıca, modifiye edilen taşkın yatak kurutucunun enerji tüketiminin belirli bir bölümü güneş pillerinden karşılanmış, böylece yeni bir kurutucu tasarımının yanında enerji tasarrufu açısından da verimli bir kurutucu sistemi geliştirilmiştir. Kurutma deneyleri, infrared destekli taşkın yatak kurutucuda üç farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C), hava akış hızlarında (1,0-1,5 ve 2,0 m/s) ve infrared güçlerinde (900-1200-1800W) gerçekleştirilmiştir. Konvektif kurutma, 1,5 m/s hava akışında ve üç farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C) gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma deneyleri ise üç farklı mikrodalga gücünde (90-160-350W) gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen en uygun koşullarda infrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminin, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında, son ürün kalitesi, özellikle su aktivitesi ve renk özellikleri açısından genel olarak diğer kurutuculardan üstün olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Taşkın yatak kurutma, güneş enerjisi, infrared kurutma, vurgu (pulse) etkisi, enerji tüketimi

ABSTRACT**DESIGN OF THE INFRARED SYSTEM ASSISTED-PULSED
SPOUTED BED DRYER AND THE INVESTIGATION OF THE
ENERGY EFFICIENCY AND THE WORKING CONDITIONS OF
THE DRYER**

TÜRKÖĞLU, Tuğçe

PhD in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM

January 2024, 125 pages

The aim of this doctoral thesis is to design an infrared-assisted floodplain dryer system, to produce this dryer and to use the dryer for drying peas and orange peels; The aim is to examine the impacts on drying efficiency, energy efficiency and final product quality. The possible advantages of the designed dryer over convection drying, which is frequently used in food drying processes, and microwave drying, which has been used recently, are revealed with data.

In this study, a modified design was used in which the spouted bed dryer system was combined with infrared (spiral cabin form) and highlight effect. In addition, a certain part of the energy consumption of the modified floodplain dryer was covered by solar cells, thus a new dryer design as well as an efficient dryer system in terms of energy saving was developed. The drying experiments were conducted in an infrared-assisted spouted bed drier at three different temperatures (50, 60, and 70 °C), air flow rates (1.0-1.5 and 2.0 m/s), and infrared powers (900-1200-1800W). Convective drying was performed for three different temperatures (50, 60, and 70 °C) at 1.5 m/s air flow. Microwave drying experiments were also conducted out with three different microwave powers (90-160-350W). It has been evaluated that the infrared assisted spouted bed drying method, under the most suitable conditions, is generally superior to other dryers in terms of final product quality, especially water activity and color properties, when compared to conventional and microwave drying methods.

Keywords: Spouted bed drying, solar energy, infrared drying, pulse effect, energy consumption.

ÖNSÖZ

Geleneksel akışkan yatak sistemlerinde partiküllerin düşük akışkanlaşma ve darbe etkisi oluşturmaları gibi başarısızlıklar, taşkın yatak sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Atıkların geri kazanımı, geri dönüşümü ve iyileştirilmesine büyük önem verilmektedir. Gıda endüstrisi, gıdanın üretimi, hazırlanması ve tüketimi nedeniyle önemli miktarda katı ve sıvı atık üretmektedir. Gıda işleme atıkları, yeni hammaddelere dönüştürülme, yüksek değerli yan ürünlere ve hatta diğer sektörler için hammaddelere dönüştürülme veya gıda veya hayvan yemi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

Bu tez kapsamında tasarlanan kurutucu ile iki farklı gıda grubunu temsil etmek üzere seçilen bezelye ve portakal kabuklarını kurutulması sağlanmıştır. Literatür çalışmalarına göre, gıda kurutmada taşkın yatak kurutma sisteminin kullanımı ve entegre sistem tasarımları son yıllarda yaygınlaştığı görülmektedir. Taşkın yatak kurutucuların diğer kurutma yöntem ve eklentiler ile birleştirildiği çalışmalara literatürde ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tasarlanan taşkın yatak kurutucuda kurutma sıcaklığı, hava hızı ve infrared gücünün bezelye ve portakal kabuklarının fiziksel, kimyasal, termal, morfolojik ve enerji tüketim özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak ve geliştirilen kurutucuya ait sonuçları konveksiyonel ve mikrodalga kurutma teknikleriyle karşılaştırmaktır. Ayrıca, bu tez çalışması ile atık geri dönüşümü ve enerji tasarrufu konularında sürdürülebilir yaklaşıma destek olunması hedeflenmektedir.

Bu projeye Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından, FGA-2021-23134 numaralı Genel Araştırma Projesi ile maddi kaynak sağlanmıştır. Ege Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, 100/2000 Yenilenebilir enerji kaynakları/teknolojileri alanında bursiyerlik yaptığım YÖK'na ve 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programında bursiyerlik yaptığım TÜBİTAK'na teşekkürü bir borç bilirim.

İZMİR
29/01//2024

Tuğçe TÜRKOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
2.1. Gıdaların Kurutulması	2
2.2. Taşkın Yatak ile Kurutma	3
2.3. Infrared (kızılötesi) Isıtma	8
2.4. Güneş enerjisinin ve güneş pillerinin gıda kurutma sistemlerinde kullanımı	11
2.5. Konveksiyonla Kurutma	13
2.6. Mikrodalga Yöntemi ile Kurutma	15
2.7. Literatürde taşkın yatak kurutucu ile yapılan çalışmalar	17
2.8. Bezelye ve Bezelye Kabuğunun Gıda Endüstrisindeki Önemi	19
2.9. Portakal ve Yan ürünlerinin Gıda Endüstrisindeki Önemi	20
2.10. Tez çalışmasının Yenilenebilir Enerji Teknolojilerine Katkısı	22
3. GEREÇ VE YÖNTEM	23
3.1. Gereç	23
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Kurutma Yöntemi	23
3.2.2. Analiz Yöntemleri	28
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Ön Deneme Sonuçları	34
4.1.1. Taze ve Donmuş-Çözünmüş Hammadde Kullanımına Dair Ön Deneme Sonuçları	34
4.1.2. Hammadde Boyut Değişiminin Enerji Tüketimi ve Kuruma Davranışı Üzerine Etkisi	40
4.2. Portakal Kabuklarının Kurutulması ile İlgili Sonuçlar	45
4.2.1. Portakal Kabuklarının Ön işlemlerinin gerçekleştirilmesi	45
4.2.2. Portakal Kabuklarının Kuruma Davranışı ve Enerji Tüketimi	45

4.2.3 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Fiziksel-Kimyasal Özellik Sonuçları	50
4.2.4 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Toz Ürün Özelliği Sonuçları	59
4.2.5 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Fonksiyonel Özellik Sonuçları	69
4.3 Bezelye Kabuklarının Kurutulması ile İlgili Sonuçlar	71
4.3.1 Bezelye Kabuklarının Ön işlemlerinin gerçekleştirilmesi	71
4.3.2 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Kuruma Davranışı ve Enerji Tüketimi.....	72
4.3.3 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Fiziksel-Kimyasal Özellik Sonuçları	75
4.3.4 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Toz Ürün Özelliği Sonuçları	83
4.3.5 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Fonksiyonel Özellik Sonuçları	92
4.4 Optimum Koşullarda Vurgu Etkisinin İncelenmesi	93
4.4.1 Portakal Kabuğu Optimum Koşul Kurutma Deneme Sonuçları.....	93
4.4.2 Bezelye Kabuğu Optimum Koşul Kurutma Deneme Sonuçları	97
5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	103
TEŞEKKÜR.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Kuruma Hızı- Serbest Nem içeriği ilişkisi. AB: ilk ısınma süreci;B-C: sabit akı; C-D: ilk azalan akı süreci; D-E: ikinci azalan akı süreci (Rahman, 2007).....	3
Şekil 2. 2 Akış yönlendirici ile desteklemiş taşkın yatak kurutucu.....	4
Şekil 2. 3 Püskürtme (spouting) işleminin gelişimi. (a) Küçük boşluk oluşumu; (b) İç akışın geliştirilmesi; (c) Harici akışın başlangıcı	5
Şekil 2. 4 Vurgu (pulse) etkisinin taşkın yatak sistemine etkisi (a) sabit taşkın yatak sistemi; (b) vurgu etkili taşkın yatak sistemi (Akhavan et al., 2009).	7
Şekil 2. 5 İnfrared ışıınının elektromanyetik dalga spektrumu	8
Şekil 3. 1 İnfrared destekli vurgulu taşkın yatak kurutucu tasarımına ait kesit görüntüsü (a) ve ön görünüş (b)	24
Şekil 3.2 Bornova güneşlenme süresi verileri.....	25
Şekil 3.3 İzmir/Bornova PV tipi panel malzemesine göre- Alan-Üretililecek Enerji(kWh-yıl) değerleri.....	26
Şekil 3. 4 Tez çalışması akım şeması.....	27
Şekil 4. 1 Bezelye kabuklarının taze ve donmuş bezelye kabukları için nem oranı değişimi	35
Şekil 4. 2 Taze ve donmuş-çözünmüş bezelye kabuklarının mikrodalga kurutma sonucu nem oranı değişim değerleri.....	37
Şekil 4. 3 Portakal kabuklarının farklı mikrodalga güçlerinde kurutma (a) ve taze-donmuş çözünmüş halde kurutma renk değişimi	38
Şekil 4. 4 Farklı mikrodalga güçleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının renk değerleri.....	40
Şekil 4. 5 Portakal kabuklarının mikrodalga 360W (a), 540W (b) ve 720 W (c) güçlerinde kurutulması ile nem oranı değişimi	41
Şekil 4. 6 Portakal kabuklarının mikrodalga 360W (a), 540W (b) ve 720 W (c) güçlerinde kurutulması ile renk değişimi	44
Şekil 4. 7 Portakal Kabuklarına Uygulanan Ön İşlem Adımları	45
Şekil 4. 8 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda nem oranı değişimi	47

Şekil 4. 9 Portakal kabuklarının farklı yöntem ve koşullarda kurutulması sonucu toplam enerji tüketim miktarları	48
Şekil 4. 10 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda renk değişimi	53
Şekil 4. 11 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu kül içeriği (%) değişimi.....	57
Şekil 4. 12 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu protein içeriği (%) değişimi.....	58
Şekil 4. 13 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu toplam fenolik madde (mg GAE/ 100 g KM) değişimi	59
Şekil 4. 14 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değişimi.....	60
Şekil 4. 15 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu ıslanabilirlik ve çözünabilirlik süresi değişimi	61
Şekil 4. 16 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yapışkanlık (HR) ve akabilirlik (CI) değişimi.....	62
Şekil 4. 17 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu dağılılabilirlik ve çözünürlük değişimi.....	63
Şekil 4. 18 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu doğal kayma açısı değişimi.....	65
Şekil 4. 19 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu higroskopite değişimi.....	66

Şekil 4. 20 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu partikül yoğunluğu değişimi	67
Şekil 4. 21 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu porozite değişimi	68
Şekil 4. 22 Bezelye Kabuklarına Uygulanan Ön İşlem Adımları.....	72
Şekil 4. 23 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda nem oranı değişimi	73
Şekil 4. 24 Bezelye kabuklarının farklı yöntem ve koşullarda kurutulması sonucu toplam enerji tüketim miktarları.....	74
Şekil 4. 25 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda renk değişimi	78
Şekil 4. 26 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu kül içeriği (%) değişimi	80
Şekil 4. 27 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu protein içeriği (%) değişimi	81
Şekil 4. 28 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu toplam fenolik madde (mg GAE/ 100 g KM) değişimi	82
Şekil 4. 29 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değişimi	84
Şekil 4. 30 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yapışkanlık (HR) ve akabilirlik (CI) değişimi	85
Şekil 4. 31 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu ıslanabilirlik ve çözünabilirlik süresi değişimi.....	86

Şekil 4. 32 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu dağılıbilirlik ve çözünebilirlik değişimi	87
Şekil 4. 33 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu doğal kayma açısı değişimi.....	88
Şekil 4. 34 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu higroskopite değişimi.....	89
Şekil 4. 35 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu partikül yoğunluğu değişimi	90
Şekil 4. 36 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu porozite değişimi	91
Şekil 4. 37 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile kurutma sonucunda portakal kabuğunun nem oranı değişimi.....	93
Şekil 4. 38 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş portakal kabuğu SEM görüntüleri.....	96
Şekil 4. 39 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş portakal kabuğu tozu DSC termogramı	97
Şekil 4. 40 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile kurutma sonucunda bezelye kabuğunun nem oranı değişimi	98
Şekil 4. 41 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş bezelye kabuğu SEM görüntüleri	100
Şekil 4. 42 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş bezelye kabuğu tozu DSC termogramı	102

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1 Akışkan yatak ve Taşkın yatak kurutma sistemleri arasındaki önemli farklar (Epstein and Grace, 1997).	6
Tablo 2. 2. Bezelye Kabuğunun Kimyasal Kompozisyonu (Akdoğan, 2014)	20
Tablo 2. 3. Portakal Kabuğunun Kimyasal Kompozisyonu (USDA, 2023).....	22
Tablo 3.1 Toz ürünlerin akabilirlik (CI) ve yapışkanlık (HR) değerlerine göre gruplandırılması	29
Tablo 3. 2 Bezelye ve portakal kabuklarının infrared destekli taşkın yatak kurutma koşullarının optimizasyonu aşamasında izlenen Box- Behnken Deneme Dizaynı.....	32
Tablo 3. 3 Bezelye ve portakal kabuğu örnekleri için taşkın yatak kurutma işlem parametreleri.....	33
Tablo 4. 1 Mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş bezelye kabuklarının fiziksel özellikleri.....	35
Tablo 4. 2 Mikrodalga fırın kullanarak kurutulmuş bezelye kabuklarının enerji değerleri.....	36
Tablo 4. 3 Farklı mikrodalga güçleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının fiziksel özellikleri	38
Tablo 4. 4 Mikrodalga fırın kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının enerji değerleri.....	39
Tablo 4. 5 Farklı kurutma yöntemleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının fiziksel özellikleri	42
Tablo 4. 6 Farklı kurutma yöntemleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının enerji değerleri.....	43
Tablo 4. 7 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının enerji değerleri	48
Tablo 4. 8 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının nem içeriği ve su aktivite değerleri	51
Tablo 4. 9 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının ΔE , Hue açısı (H°), Kroma (C) ve Esmerleşme indeksi (BI) değerleri.....	55
Tablo 4. 10 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri.....	70

Tablo 4. 11 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının enerji değerleri.....	75
Tablo 4. 12 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının nem içeriği ve su aktivite değerleri	76
Tablo 4. 13 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının ΔE , Hue açısı (H°), Kroma (C) ve Esmerleşme indeksi (BI) değerleri	79
Tablo 4. 14 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri	92
Tablo 4. 15 Optimum koşulda kurutulan portakal kabuklarının enerji değerleri...	94
Tablo 4. 16 Optimum koşulda kurutulan portakal kabuklarının fiziksel-kimyasal, toz ürün ve fonksiyonel özellikler sonuçları.....	95
Tablo 4. 17 Optimum koşulda kurutulan bezelye kabuklarının enerji değerleri ...	98
Tablo 4. 18 Optimum koşulda kurutulan bezelye kabuklarının fiziksel-kimyasal, toz ürün ve fonksiyonel özellik sonuçları	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
L*	Renk analizi sonrası parlaklık değeri
a*	Renk analizi sonrası elde edilen sarılık değeri (CIELAB Sistemi)
b*	Renk analizi sonrası elde edilen kırmızılık değeri (CIELAB Sistemi)
aw	Su aktivitesi
C	Renk analizi sonrası elde edilen saflık değeri (Chroma/Kroma)
H°	Renk analizi sonrası elde edilen Hue açısı indeks değeri
BI	Renk analizi sonrası elde edilen esmerleşme indeks değeri
<u>Kısaltmalar</u>	
SMER	Spesifik nem ekstraksiyon oranı
MER	Nem ekstraksiyon oranı
SEC	Örneklerden birim zamanda suyu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı

1. GİRİŞ

Kurutma, gıdanın içerisindeki suyun uzaklaştırılması ilkesine dayanan ve halen önemini koruyan bir dayandırma yöntemidir. Doğal ortamda güneşte kurutmanın çeşitli sakıncalarına karşın teknolojinin ve seri üretimin yaygınlaşmasıyla birlikte gıdaların kurutulması için konveksiyonel kurutma, mikrodalga kurutma, dondurarak kurutma gibi birçok yöntem üzerine uygulama ve çalışmalar artmıştır. En düşük üretim maliyeti ile kalitesini en uzun süre koruyacak gıda üretmek gıda kurutmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu nedenle, kurutma proseslerinde son ürün kalitesini arttıracak ve enerji tüketimini düşürecek eklentiler veya yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemlere entegrasyonuna dair çalışmalar giderek artmaktadır. Gıda, kimya ve ilaç üretimlerinde yıllardır yaygın olarak kullanılan ve ilerleyen yıllarda teknolojik açıdan gelişerek daha değerli bir konuma gelecek olan kurutucuların, enerji tüketimini düşürecek yaklaşımların denenmesine, doğal kaynaklardan elde edilen kurutma ajanlarının kullanılmasına veya kurutma ajanına gerek kalmadan kurutma işleminin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan sistem tasarımlarının ve formülasyonlarının, araştırmacılar ve ticari firmalar tarafından geliştirilerek patent altına alınmasına dair çalışmalar hız kazanmaktadır. Ülkemizde de gıdaların kurutulması amacıyla kurutucu tasarımları yapılmaktadır ve birçok farklı konfigürasyonların üretilmesi ve gıdaların kuruma kinetiği ve son ürün kalitesi üzerine etkileri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Taşkın yatak terimi ilk olarak Mathur and Gishler tarafından Kanada Ulusal Araştırma Merkezi (National Research Council of Canada) çalışmaları kapsamında tanıtılmıştır (Mathur and Gishler, 1955). Geleneksel akışkan yatak sistemlerinde partiküllerin düşük akışkanlaşma ve darbe etkisi oluşturması gibi başarısızlıklar, taşkın yatak sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Gishler, 1983). Bu sayede geliştirilen taşkın yatak temelde, konik tabanlı silindirik kurutma haznesinden oluşan ve sisteme hava girişinin tek bir kanaldan sağlandığı bir tür akışkan yataktır (Mujumdar, 2000).

Atıkların geri kazanımı, geri dönüşümü ve iyileştirilmesine büyük önem verilmektedir. Bu özellikle atıkların, atık suların, kalıntıların ve yan ürünlerin çoğunlukla geri kazanılıp değerli, yüksek değerli ürünlere dönüştürülebildiği gıda

ve gıda işleme endüstrileri için geçerlidir. Gıda endüstrisi, gıdanın üretimi, hazırlanması ve tüketimi nedeniyle önemli miktarda katı ve sıvı atık üretmektedir. Gıda işleme atıkları, yeni hammaddelere dönüştürülme, yüksek değerli yan ürünlere ve hatta diğer sektörler için hammaddelere dönüştürülme veya gıda veya hayvan yemi olarak kullanılma kabiliyetine sahip olabilir (Laufenberg et al., 2003; de Barros Junior et al., 2003). Tez çalışması kapsamında tasarlanan kurutucu ile iki farklı gıda grubunu temsil etmek üzere seçilen bezelye ve portakal kabuklarının kurutulması sağlanacaktır.

Literatür çalışmalarına göre, gıda kurutmada taşkın yatak kurutma sisteminin kullanımı ve entegre sistem tasarımları son yıllarda yaygınlaştığı görülmektedir. Taşkın yatak kurutucuların diğer kurutma yöntem ve eklentiler ile birleştirildiği çalışmalara literatürde ihtiyaç bulunmaktadır.

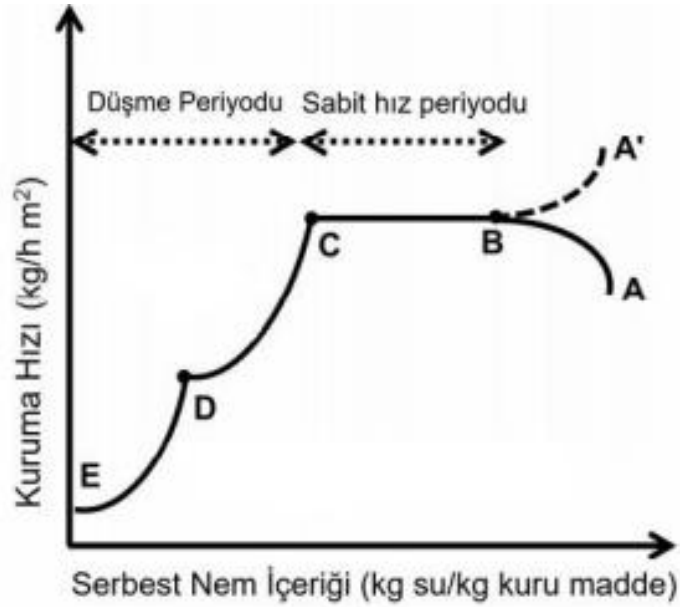
Bu çalışmanın amacı, tasarlanan taşkın yatak kurutucuda kurutma sıcaklığı, hava hızı ve infrared gücünün bezelye ve portakal kabuklarının fiziksel, kimyasal, termal, morfolojik ve enerji tüketim özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak ve geliştirilen kurutucuya ait sonuçları konveksiyonel ve mikrodalga kurutma teknikleriyle karşılaştırmaktır. Ayrıca, bu tez çalışması ile atık geri dönüşümü ve enerji tasarrufu konularında sürdürülebilir yaklaşıma destek olunması hedeflenmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Gıdaların Kurutulması

Kurutma, katı maddeden suyu uzaklaştırarak; kimyasal reaksiyonları inhibe etmek ve mikroorganizma gelişimini engellemek amacıyla gıdaların raf ömrünü uzatma işlemidir (Baysal ve ark., 2013). Gıda endüstrisinde kurutulmuş ürünlerin maksimum nem değerleri %3-4 arasında değişmektedir (Klinkesorn et al., 2006). Kurutmanın amacı; üründen ürüne değişiklik göstermekle birlikte temelde ürünün dayanırlığını ve raf ömrünü arttırmaktır.

Kuruma hızının serbest nem içeriği ile ilişkisine ait bölümler Şekil 2.1.'de ifade edilmiştir.

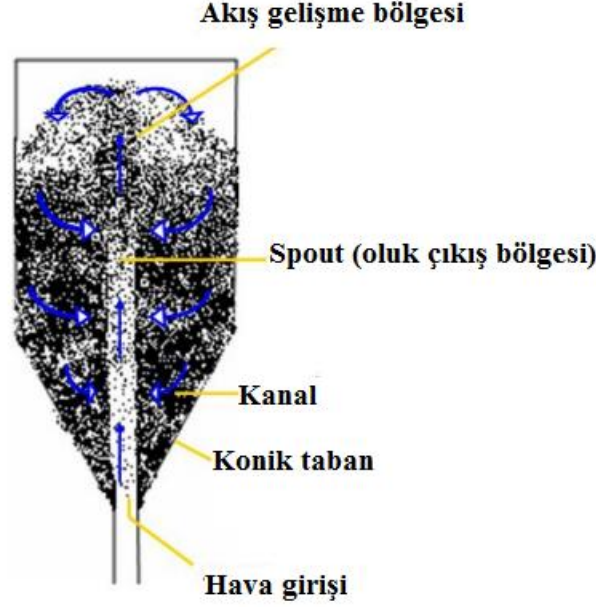


Şekil 2. 1 Kuruma Hızı- Serbest Nem içeriği ilişkisi. AB: ilk ısınma süreci;B-C: sabit akı; C-D: ilk azalan akı süreci; D-E: ikinci azalan akı süreci (Rahman, 2007).

Kurutulmuş ürünlerde rehidrasyon kapasitesinde azalmalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, kurutulacak gıdaya ve amaca uygun kurutucu sisteminin seçilmesi oldukça önemlidir.

2.2. Taşkın Yatak ile Kurutma

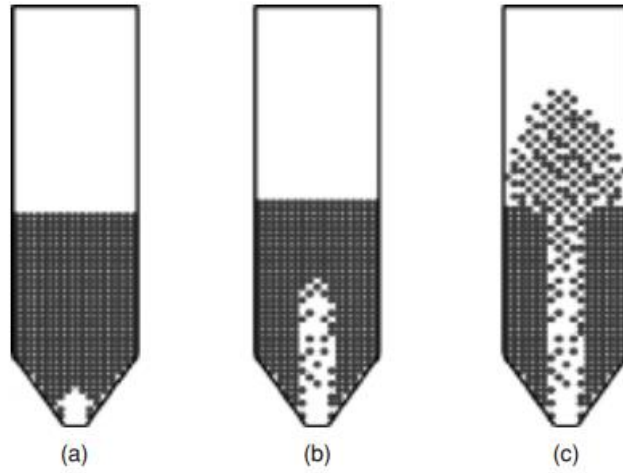
Taşkın yatak terimi ilk olarak Mathur and Gishler tarafından Kanada Ulusal Araştırma Merkezi (National Research Council of Canada) çalışmaları kapsamında tanıtılmıştır (Mathur and Gishler,1955). Geleneksel akışkan yatak sistemlerinde partiküllerin düşük akışkanlaşma ve darbe etkisi oluşturması gibi başarısızlıklar, taşkın yatak sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Gishler, 1983). Bu sayede geliştirilen taşkın yatak temelde, konik tabanlı silindirik kurutma haznesinden oluşan ve sisteme hava girişinin tek bir kanaldan sağlandığı bir tür akışkan yataktır (Mujumdar, 2000). İlk olarak buğday tanelerinin kurutulmasında kullanılan taşkın yatak, daha sonra diğer termal, mekanik ve kimyasal işlemlerde uygulanmıştır. Çok çeşitli kaba partiküllerin kurutulması ve kaplanması, granülasyon, karıştırma, ısıtma, soğutma, öğütme, yakma, gazlaştırma gibi işlemlerde taşkın yatak sistemleri kullanılmaktadır (Jumah and Raghavan, 2001).



Şekil 2. 2 Akış yönlendirici ile desteklemiş taşkın yatak kurutucu

Şekil 2.2.'de klasik konik tabanlı silindirik hazneli bir taşkın yatak kurutucuda nispeten iri tanecikli yapıya sahip bir katı kitlesinin kurutucu içerisindeki davranışları gösterilmiştir. Taşkın yatak kurutma sistemlerinde ısıtılan gaz hava giriş kanalından sisteme dikey olarak verilmektedir. Kanaldan giriş yapan hava hızı yeterince yüksekse, kurutma haznesindeki katı partiküllerin akışının içi boş bir merkezden hızla yükselmesine neden olur ve böylece sistemde katı partiküllerin hareketi sağlanmış olur. Havanın etkisiyle yükselen partiküller, kurutma haznesinin içerisinde belirli bir noktaya kadar yükseldikten sonra gevşek bir şekilde paketlenmiş olarak yavaşça aşağıya ve bir dereceye kadar içeriye doğru düşüş hareketi gösterirler (Mathur and Epstein, 1974; Fayed and Otten, 1997).

Taşkın yatak kurutucu sistemlerinde, çekirdek olarak ifade edilen bir hava girişı, bunu takip eden halka şekline benzetilen kanalla devam eder. Sistemdeki bu kanala beslenen hava ile sürüklenen katılar yağmur şeklinde tasvir edilen yükselme ve geri düşme hareketleri ile kurutucu hazne içerisinde turunu tamamlamaktadır. Bu sistemlerin özellikle çekirdek bölgesi ve yakınında oluşacak ölü bölgeleri en aza indirmek için konik tabanlı sistemlerin tasarlanması, farklı boyut ve geometrilerde akış yönlendiricilerin kullanılması literatürde yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2. 3 Püskürtme (spouting) işleminin gelişimi. (a) Küçük boşluk oluşumu; (b) İç akışın geliştirilmesi; (c) Harici akışın başlangıcı

Parçacıklarla dolu bir yatakta, yukarı doğru akan bir hava akımının düz veya konik bir tabandaki bir nozul veya açıklıktan kolon sürüklenme kuvveti oluşturmaya dair parçacıkların akış aşamaları Şekil 2.3'te adım adım gösterilmiştir. Şekil 2.3 (a) 'da gösterildiği gibi ilk olarak parçacıkların açıklıktan ayrılması kalıcı bir nozul-partikül çapı oranına ulaşılması ile mümkün olmaktadır. Hava akış hızında daha fazla artış ile akış jeti genişletir ve bir “iç çıkış” Şekil 2.3 (b) 'de olduğu gibi kurulur. Sonunda, iç akış durumu üst kısımdan kırılır ve Şekil 2.3 (c) 'de olduğu gibi harici bir musluğun veya çeşmenin oluşumuna yol açan harici akış başlangıcı sağlanır. Bu süreç, sırasında sistem içerisinde tepe basınç düşüşü yaşanmaktadır. Tepe basınç düşüşü, taşkın yatak sistemlerinde farklı geometriler (konik, silindirik, düz-konik kombine geometri) ve parçacığın türüne (katı ve sıvı, püre vb. hammadde veya gıda) göre önemli düzeyde değişim göstermektedir ve işlenen hammaddenin kuruma davranışı ve son ürün kalitesi üzerinde etki göstermektedir. Kurutucunun tasarım geometrisine bağlı olarak basınç düşüşünü ifade eden korelasyonlar konik taşkın yataklar için Gelperin et al. (1961) ile başlamıştır ve günümüzde farklı tasarımlar için bu korelasyon çalışmaları devam etmektedir.

Temelde akışkan yatakların bir türü olarak ifade edilen taşkın yatak kurutma sistemleri detaylı incelendiğinde, işlenen hammaddenin ortalama parçacık boyutu, tasarım özellikleri, kurutma havasının ve partiküllerin sistem içinde hareket rejimi gibi önemli parametre ve koşullar açısından akışkan yatak kurutma sistemlerinden

ayrılmaktadır. Tablo 2.1’de akışkan yatak ve taşkın yatak sistemleri arasındaki önemli farklar gösterilmiştir.

Tablo 2. 1 Akışkan yatak ve Taşkın yatak kurutma sistemleri arasındaki önemli farklar (Epstein and Grace, 1997).

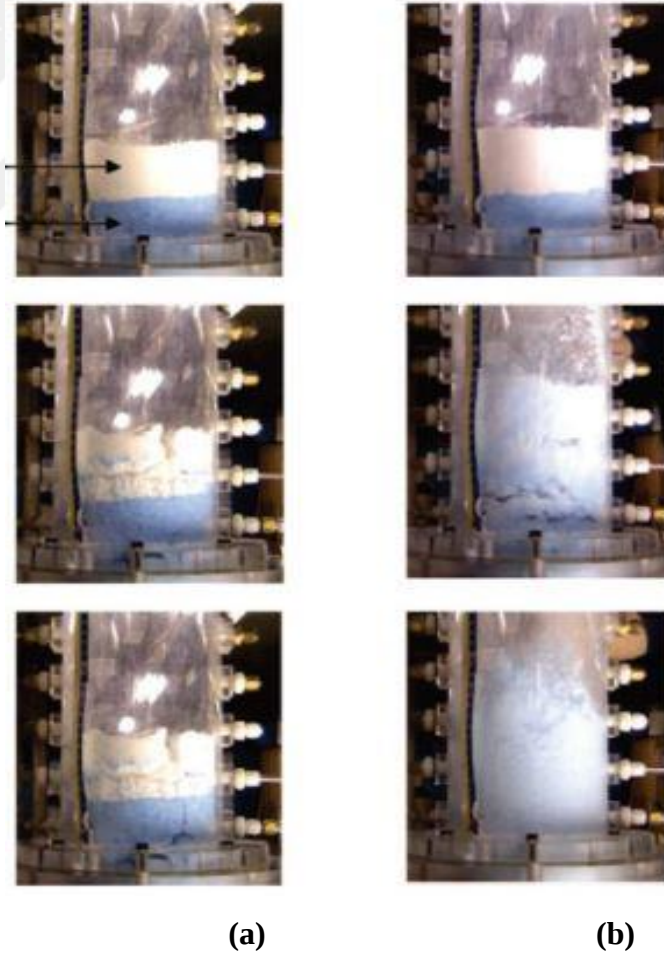
Özellik	Akışkan Yatak	Taşkın Yatak
Ortalama parçacık boyutu	~0.03–3 mm; Genellikle <1 mm	~0.6–6 mm; Genellikle >1 mm
Partikül boyutu dağılımı	Geniş aralıkta değişen boyutlarda	Genellikle yakın boyut dağılımı
Basınç düşüşü/ Yatak yüksekliği	Partikül ağırlığını destekleme için gerekli orana genellikle 96-100%	Partikül ağırlığının genellikle ~75%’inden az
Kurutma haznesi geometrisi	Genellikle silindirik hazneler	Silindirik üst bölümün olduğu ve olmadığı durumları içeren konik tabanlı hazneler
Havanın sistem içerisinde hareketi (Kurutma amacıyla kullanılan sıcak hava)	Akışa ve özgül geometriye bağlı daha düzensiz rejim	Hava giriş kısmı hariç haznenin üst kısmında seyreden yoğun faz şeklinde akış
Partikül hareketi	Karmaşık akış rejimleri ve parçacık hareketi; çevreleyen bölge gaz giriş delikleri genellikle az miktarda akışkanlaştırılmış parçacık-parçacık teması oluşturur	Sistem içerisinde düzenli akış şeklinde, yavaşça aşağı doğru hazne kanalında paketlenmiş partikül halinde akış ve önemli miktarda parçacık– parçacık teması oluşturur
Kurutma haznesi iç tasarım elemanları	Yaygın olarak kullanılır	Isı transfer bobinleri, draft tüpleri ve Wurster kaplama elemanları hariç nadirdir

2.2.1 Vurgu (pulse) etkisi

Taşkın yatak sistemlerinde, hava girişinden kurutma haznesine giren havanın kurutulacak hammadde partikülleri ile eşit olmayan teması, sistem

içerisindeki hammadde bünyesinde istenmeyen kimyasal reaksiyonlara ve homojen olmayan kuruma davranışına neden olabilmektedir. Kurutma havasının akışının vurgu etkisi ile değişken uygulanmasının sistem içerisindeki partikül rejiminin korunmasında ve kurutma işleminin hammadde yığını içerisinde homojen olarak gerçekleştirilmesinde önemli bir etki sağlamaktadır.

Vurgu (pulse) veya darbe etkisi temel olarak taşkın yataklar sistemlerinde hava hızının periyodik olarak değiştirilmesine dayanmaktadır. Kurutma amacıyla kullanılacak havanın kurutma haznesine girişini başlatmak ve daha sonra hava akışını kesmek ile havayı dönüşümlü olarak yüksek bir hızda sokmanın genel etkisi, kurutma haznesi girişinde sürtünme sürüklemesi ile ayrılan parçacıkların, hava dağıtım bölgesindeki boşlukları azaltılmasını sağlamaktır (Mathur and Epstein, 1974). Vurgu etkisinin hava akış rejimi ve kurutulacak hammadde üzerinde etkilerini içeren bir görsel Şekil 2.4'te görüldüğü gibidir.



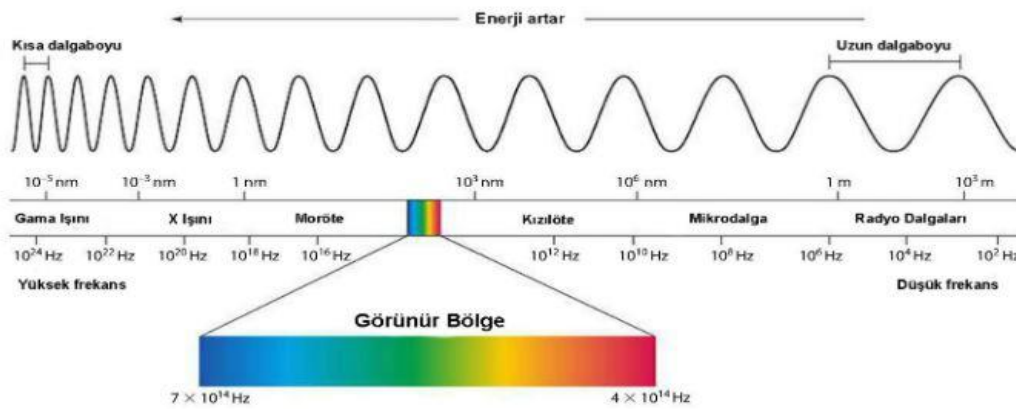
Şekil 2. 4 Vurgu (pulse) etkisinin taşkın yatak sistemine etkisi (a) sabit taşkın yatak sistemi; (b) vurgu etkili taşkın yatak sistemi (Akhavan et al., 2009).

Şekil 2.4 incelendiğinde, vurgu etkisi ile taşkın yatak içerisinde akışın değişken olarak sisteme verilmesinin, sistem içerisindeki partikül yığınının daha homojen olarak karışmasını sağladığı görülmektedir. Böylece sistem içerisinde hava ile partiküllerin eşit düzeyde teması sağlanmaktadır. Vurgu etkisinin taşkın yatak sistemlerinde kullanımı ile;

- Nanopartiküller dahil olmak üzere ince ve yapışkan partiküllerin akışkanlaştırılmasına yardımcı olmak,
- İstenmeyen agromerat oluşumunun engellenmesi,
- Homojen davranışın sağlanması,
- Düzgün kabarcık oluşumu,
- Daha düşük minimum akışkanlaşma hızının sağlanması gibi avantajlar elde edilebilmektedir (Saidi et al., 2019).

2.3 Infrared (kızılötesi) Isıtma

Kızılötesi (IR) radyasyon, gıdaları ısıtmanın en eski yollarından biridir. IR ısıtma sistemleri ile gıda ürünlerinin yoğun güneş ışığına maruz kalarak su aktivitesinin azaltılması ve minimum ambalaj gereksinimi ile daha uzun süre depolanması amaçlanmıştır. IR kurutmanın konvektif kurutmaya göre bazı avantajları olduğu bilinmektedir. Konvektif kurutma ile kıyaslandığında, infrared kurutmada ısı transfer katsayıları yüksek, işlem süresi kısa ve enerji tüketim maliyeti düşüktür. İnfrared ışınımının elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 2.5'te görülmektedir.



Şekil 2. 5 İnfrared ışınımının elektromanyetik dalga spektrumu

Hava IR radyasyonuna karşı şeffaf olduğu için, işlem ortam hava sıcaklığında yapılabilir. Ekipman, proses parametreleri üzerinde yüksek derecede kontrol ile kompakt ve otomatik hale getirilebilir (Nowak and Lewicki, 2004). Mikrodalgalar ve radyo frekansları gibi diğer elektromanyetik dalgalara benzer şekilde, IR ışınları benzersiz radyasyon özelliklerine sahiptir. IR ısıtıcıyı tasarlamak için veya tasarıma eklemek için kritik noktalar radyasyon yönü spektral dağılımı ve enerji yoğunluğudur. IR radyasyonunun spektral bölgesi ve ısıtma elemanlarının yüzey sıcaklığı, uygun optik filtreler kullanılarak kontrol edilebilir.

Jun and Irudayaraj'a (2004) göre gıda maddelerinin radyasyon özellikleri azalan su içeriğine göre değişir; sonuç olarak yansıtıcılığı artar ve emicilik azalır. Gıda alanında IR sistemlerin uygun şekilde kullanımı açısından, IR ve gıda ürünleriyle ilgili yukarıdaki optik-termal fenomenleri tam olarak anlamak IR sistemler ile analiz sonucu elde etmek ve kurutma gibi temel işlemlerde uygulanabilirliği açısından çok önemlidir. İnfrared ışınımının sınıflandırmasında dalga boyuna göre 3 farklı kategoride inceleme yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla, 0.74-1.4 μm aralığı yakın infrared (NIR) olarak sınıflandırılmaktadır ve kısa dalga boylu- yüksek şiddetli ısıtıcı sistemleri bu grup altında incelenmektedir. 1.4-3 μm dalga boyuna sahip infrared ışınları ise orta dalga boylu (MIR) orta şiddetli ısıtıcılar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu grup altında, genellikle kontrolü kolay olan düz tip ısıtıcılar, kuartz tüp ısıtıcılar ve seramik tipte ısıtıcılar yer almaktadır. Son olarak dalga boyu 3 μm 'nin üzerindeki grup ise uzak dalga boylu (FIR)- düşük şiddetli ısıtıcılar olarak adlandırılmaktadır. Bu tip ısıtıcılar, taşınım ve düşük şiddetli ışınım kombinasyonu gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Gıda uygulamaları incelendiğinde uzak dalga boylu infrared ışınım sistemlerinin standart fırınların verimlerini arttırmak için ince katmanların ısıtılması amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Baysal ve ark., 2011).

IR enerjisi kurutma için en eski enerji kaynağıdır ve en eski kurutma yöntemi olan güneşten yayılan enerji alanını kullanır (Ranjan et al., 2002; Fasina and Tyler, 2001). Gıda ürünlerinin ana bileşenleri 2.5 μm 'den daha büyük dalga boylarında temel emme bantlarına sahip olduğundan, IR prosesleri gıda ürünlerinin kurutulmasında uygulanabilmektedir (Sandu, 1986; Sakai and Hanzawa, 1994).

IR radyasyon ısı transferi, kurutma için uygun hale getiren aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Konveksiyon durumunda olduğu gibi ısı akısı için gaz direnci yoktur; enerji, optik yasalarına göre doğrudan ürüne aktarılır.
- İletim ile kurutmada olduğu gibi gıda ile doğrudan temas gerekmez.
- IR radyasyon, görünür radyasyona benzer (ışık) ve etkisinin artırılması için pişirme fırınlarının içindeki yansımalar gibi basit modifikasyonlarla, istenen etkiyi elde etmek mümkündür.
- Kompakt ısıtıcılarla çok yüksek ısı transfer oranları elde edilebilir.
- Hızlı tepki süreleri (düşük termal atalet) kolay ve hızlı proses kontrolü sağlar.
- Fosil yakıtlara kıyasla çevreyi kirletmeyen bir teknolojidir ve fosil yakıtların yenilenemez enerji grubunda olması da dezavantaj oluşturmaktadır.

Literatürde gıda ürünlerinin IR kurutma uygulamaları hakkında pek çok çalışma bulunmaktadır (Wang and Sheng, 2004). Daha kısa kuruma sürelerine ve daha yüksek kuruma hızlarına yol açan daha yüksek ısı transferi ve ısı akısı oranları IR kurutma işlemlerinin ek avantajlarıdır (Sandu, 1986; Afzal and Abe, 1997). Fu and Lien (1998)'in yaptığı bir çalışmada FIR kurutma sistemi kullanarak operasyonel değişkenlerin susuz karideslerin kurutma hızı ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Afzal and Abe (1998) yaptıkları çalışmada IR ısıtmanın patateslerin kurutulması üzerindeki etkisini araştırmıştır. Das et al. (2003) çeltik pirincinin kurutulmasına ve haşlanmasına kızılötesi ısıtma uygulamıştır ve titreşim destekli bir proses için optimum proses parametreleri belirlemişlerdir. Hidaka et al. (2004) tahıllar için FIR radyasyon kurutması geliştirmişlerdir. Hava kurutma sistemine kıyasla enerji verimliliğini ve tasarrufunu arttıran sonuçlar elde etmişlerdir. Hebbbar et al. (2004), radyasyon ısıtması için MIR ısıtıcıların kullanıldığı sebzeler için kombine bir IR ve sıcak hava kurutucusu geliştirmiştir. Kombine mod, sıcak hava kurumasına kıyasla daha az enerji (% 63) tüketirken kızartma süresini % 48 oranında azaltmıştır. Gabel et al. (2006)'nın yaptığı diğer bir çalışmada ise soğanların dehidrasyonu için katalitik IR kurutmasını kullanarak daha yüksek kurutma hızlarını ve daha kısa kuruma sürelerini göstermişlerdir. Meeso et al. (2008) çeltik pirinç kurumasına farklı FIR radyasyon stratejilerini başarılı bir şekilde uygulamıştır. Shi et al. (2008) bir kızılötesi radyasyon işlemi sırasında kullanılan meyvelerin boyutlarının ve sodyum hidroksit ön işleminin

yaban mersininin kurutma özellikleri üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. IR ısıtmanın dondurarak kurutma işlemleriyle kombine kullanımının da işlem sürelerini azalttığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Krishnamurthy et al., 2008). Literatürde bildirilen tüm bu çalışmalar IR kurutma işlemlerinin kurutulmuş ürünlerin son ürün kalitesini ve rehidrasyon özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir.

IR kurutma ve kombinasyonlar ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasına bir alternatif olarak görülebilir. Son ürün kalitesi açısından incelendiğinde ise, bu yöntemin IR ve sıcak hava kurutmasının ayrı kullanımından daha üstün olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, çeşitli gıda ve tarım ürünleri için kombine kurutma sistemlerinin enerji ve çalışma maliyeti konvektif kurutma sistemlerinden daha düşük olarak belirlenmiştir. IR kurutma sistemlerinin, vakum kurutma, dondurarak kurutma gibi sistemlerle bir arada kullanıldığı çalışmalar ve özellikle bu sistemlerin pişirme, kavurma, kuru haşlama gibi işlemlerde verimli sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir.

2.4 Güneş enerjisinin ve güneş pillerinin gıda kurutma sistemlerinde kullanımı

Eski çağlardan beri güneşte kurutma, tarım ürünlerinin nem içeriğini azaltmanın basit ve iyi bilinen tekniklerinden biridir. İhmal edilebilir maliyeti ve enerji ihtiyacı ile kullanıldığı sistemlerde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kurutma sırasında ürünler kir, toz, hayvanlar, böcekler ve mikrobiyal kontaminasyonla kirlenebilir ve bu yöntemin yağmur veya fırtına gibi çevresel koşullara karşı da koruması yoktur (Şahin ve ark., 2013). Sonuç olarak, kurutulmuş ürünlerdeki gıda kalitesi kaybının ekonomik değeri ve ticaret potansiyeli üzerinde olumsuz etkileri olabilir. Malzemelerin kalitesinin düşmesini önlemek için çeşitli tipte kurutma yöntemleri oluşturulmuştur. Konvansiyonel kurutucuların yüksek enerji maliyetleri nedeniyle ekonomik olmadığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Ceylan ve ark., 2013). Bu nedenle yeni tasarlanan kurutma sistemlerinin tasarımında maksimum kurutma verimliliğinde minimum enerji tüketimine sahip endüstriyel kurutma amaçlanmaktadır. Bu nedenle güneşte kurutma hem düşük maliyetli kurutma sağlayan hem de fosil yakıt kullanımını azaltan uygun bir seçim olarak gündeme gelmektedir.

Güneş kurutma teknolojisi basit ve iç sektöre kolayca adapte edilebilen sistemlerdir (Mohajer et al., 2013). Serbest ve yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanabilmek için bu bakış açısıyla, son yıllarda, tarım ürünlerinin korunmasına yönelik farklı tasarım ve yöntemleri içeren kurutucu tasarımları geliştirilmiştir (Jadhav et al., 2010). Kurutma amacıyla güneş enerjisinin kullanım yöntemlerine bakıldığında, hammaddelerin direkt ve indirekt olarak güneş enerjisine maruz bırakıldığı sistemlerin yanında güneş pilleri (fotovoltaik paneller, (PV)) ile desteklenen kurutucuların tasarıma dair çalışmalar da artmaktadır.

Güneş pilleri ile desteklenen kurutucular hakkında Adelajaa et al. (2009)'nın yaptığı bir çalışmada güneş PV modülü tarafından beslenen bir emme fanının entegrasyonu kullanılarak sebze kurutulması ile ilgili denemeler yapılmıştır. Tasarlanan kurutucu, sebze kurutmak için optimum sıcaklığa uygun olan 58°C kurutma odası sıcaklığına sahip bir kurutucuda kurutulmuştur. Bu sistemde toplayıcı verimliliği% 83.2 olarak belirlenmiştir.

Nwosu et al. (2012)'nin yaptığı başka bir çalışmada, güneş pilleri ile desteklenmiş bir kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel performans değerlendirmesini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, olumsuz hava koşullarında bile ünitenin iyi kalitede kuru ürün üretebileceğini göstermektedir.

Ceylan ve ark. (2013)'nin yaptığı başka bir çalışmada, güneş pilleri ile desteklenen yeni tip bir güneş kurutucusu tasarlamıştır, üretimi yapılmıştır ve domates kurutulmasında kullanılmıştır. Güneş panelleri, fanı çalıştırmak ve pilleri gün boyunca şarj etmek için kullanılmıştır. Bu şarj edilmiş piller, gece boyunca halojen lambaların çalışmasını sağlamış ve bu halojen lambalar, kurutma havası destekli fotovoltaik hücreleri ısıtmak için kullanılmıştır. Güneş radyasyonu yaz döneminde arttığından güneş kurutma makinesi verimliliği yaz sezonunda test edilmiştir. PV hücreleri kullanılarak gereken güç sağlandığından kurutucuya “yeşil güneş kurutucusu” adı verilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise güneş panelleri ile çalışan zorlamalı konveksiyon güneş kurutucusu tasarlamıştır ve Hindistan'ın NEH bölgesi koşullarında denemeler yapılmıştır. Kurutucu, parti başına 6 kg biber kapasitesine sahiptir. Kurutucu sisteminde ortalama hava sıcaklığının, ortam sıcaklığından daha yüksek değere sahip olan 40 °C'ye kadar çıkabildiği belirlenmiştir. PV ile çalışan bir zorlamalı konveksiyon güneş kurutucuda biber kurutma işlemi, nem içeriğini yaklaşık%

80.2'den (ıslak bazda) 32 saat içinde nihai nem içeriği olarak belirlenen % 10.0'a düşürebildiği tespit edilmiştir (Seveda, 2013).

2.5 Konveksiyonla Kurutma

Konveksiyonla kurutma, en yaygın kurutma yöntemlerinden biridir. Herhangi bir konveksiyonla kurutma prosesinde, özellikle besin takviyesi olarak uygulamada, biyoaktif bileşiklerin mümkün olduğu kadar korunmasını sağlamak amacıyla kurutma koşullarının optimize edilmesi önemlidir. Scalcon ve ark. (2018), jelatin işlemeden elde edilen sindirilmiş çamurun kurutulması için 80°C, 110°C ve 140°C'de ve 0,5 kg/dakika kütle akış hızında konveksiyonla kurutmayı incelemiştir. Çamurun görünür yoğunluğunun ve gözenekliliğinin kuruma hızlarına ve kritik nem içeriğine göre değiştiği sonucuna varmıştır. Bu çalışma ayrıca, azalan kalınlık, hacim boyutları ve değişen yüzey morfolojisi ile kanıtlanan kuruma sırasındaki büzülme de doğrulamaktadır. Ancak kurutulmuş çamurun gözenek içeriği kurutma sıcaklığından bağımsızdır. Konveksiyonla kurutma yöntemi aynı zamanda zeytin atık küspesi (Pasten et al., 2019) ve çekirdeksiz zeytin posası (Sinrod ve diğerleri, 2019) gibi zeytinyağı işlemenin çeşitli yan ürünlerini kurutmak için de kullanılmıştır. Ahmad-Qasem ve ark. (2014), konveksiyonla kurutma ve dondurarak kurutmanın zeytin yaprağı ekstraktındaki biyoaktif polifenollerin biyo-erişilebilirliği üzerindeki etkisini araştırmış ve konveksiyonla kurutma ve dondurarak kurutma kullanılarak kurutulan numunelerdeki biyo-erişilebilirliğin karşılaştırılabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Bu arada, Uribe et al. (2013) zeytin atık keki üzerinde çalışmışlar ve zeytin atık kekinin antioksidan aktivitesinin özellikle 90°C'de sıcak hava ile kurutma (hot air drying, HAD) sıcaklıklarının artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. Aynı zamanda zeytin atık küspesinin 50°C–90°C'de kurutulmasından sonra E Vitamini içeriği artmıştır. Ayrıca Pasten et al. (2019), yağ asidi türlerinin bolluğunun kurutma sıcaklığına göre değiştiğini göstermiştir. Düşük kurutma sıcaklıkları (40°C-50°C), toplam yağ asitlerinin %63.9'una kadar olan yüksek oleik asit içeriğine sahip atık keki vermiştir. 60°C'deki HAD, taze zeytin atık kekiyle karşılaştırıldığında 12,7 kat daha yüksek olan linolenik asit bolluğunu destekler. Bununla birlikte, 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklar, yeterli sayıda biyoaktif bileşiğin korunmasına rağmen, atık kekteki palmitik ve oleik asitlerin miktarını azaltır. Bu nedenle, zeytin atık kekinin

nutrasötikler, gıda takviyeleri ve kozmetik uygulamalarda kullanımını en üst düzeye çıkarmak için optimum kurutma sıcaklığının kullanılması önemlidir.

HAD sırasındaki yüksek kurutma sıcaklığı, kurutulmuş gıda atıklarının kimyasal özelliklerini etkiler. Yüksek sıcaklıktaki HAD, kahve posası ve çekirdeksiz zeytin posası gibi bazı gıda atığı örnekleri için fenoliklerde bir azalmaya neden olurken (Ciccoritti et al, 2021; Kieu Tran et al, 2020) kakao kabuğu gibi diğer bazı gıda atıklarının fenoliklerini artırabilir (Valadez Carmona et al., 2017). Kahve posasının 110°C'de 3,5 saat kurutulması sırasında artan HAD sıcaklığı ve hava sirkülasyonu, oksijene ve yüksek sıcaklığa maruz kalmasına neden olarak kurutulmuş ürünlerdeki bazı fenolik bileşiklerin oksidasyonuna neden olmuştur (Kieu Tran et al., 2020). Buğday çekirdeğinin kurutulması alkilresorsinollerin yüksek ekstrakte edilebilirliğine ve toplam çözünür fenoliklerin azalmasına neden olurken, daha yüksek sıcaklıkta (130°C), uzun zincirlerde artış ve kısa zincirlerde azalma gözlemlendi (Ciccoritti et al., 2021). Fenoliklerin azalması antioksidan aktivitenin azalmasına katkıda bulunur. Diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında HAD ürünlerinin antioksidan aktiviteleri arasındaki farklara dikkat çekmek de ilginçtir. Örneğin HAD, papaya dokusundan elde edilen mikrodalgada kurutulmuş ürünlere kıyasla daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip ürünlerle sonuçlanır (Nieto-Calvache et al., 2019). Buna ek olarak antioksidan özellikler, mango kabuklarından elde edilen dondurularak kurutulmuş ürünlere kıyasla daha düşüktür (Sridhar and Charles, 2020).

Yüksek kurutma sıcaklıkları aynı zamanda lifli gıda atığı numunelerinde kırılma veya çatlaklara da neden olur. Saman ve kırık buğday taneleri, ekmek, hurma ağacı, üzüm, nar, patates ve soya fasulyesi küspesinden oluşan paletlenmiş karışık atıkların HAD işlemi sırasında, orta sıcaklıkta (75°C) bile kurutulan numunelerde çatlaklar gözlemlenmiştir (Shih et al. 2012). Çekirdeksiz zeytin pirinasının kurutulması durumunda HAD, tamburlu kurutma ve dondurarak kurutmaya kıyasla zeytin pirinasında en fazla termal hasara neden olmuştur (Sinrod et al, 2019). Bu arada, üzüm çekirdeğinin benzer sistemde kurutulduğu başka bir çalışmada, sıcaklığın kurutulmuş tohumların renk ve yağ tutma kapasitesi dışında fizikokimyasal özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir (Sridhar and Charles, 2020).

2.6 Mikrodalga Yöntemi ile Kurutma

Son yıllarda mikrodalga kurutma, hızlı ve uygun maliyetli ısıtma işlemi, enerji verimliliği ve son ürün kalitesi nedeniyle en verimli kurutma yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Mikrodalga kurutma, dipol dönüşü ve iyonik polarizasyon nedeniyle ürün içindeki doğrudan enerji emilimine atfedilen hızlı kuruma sağladığı için alternatif bir konvektif sıcak havayla kurutma olarak önerilmektedir (Nagel et al., 2017). Mikrodalga kurutma, düşük sıcaklıkta aktivasyon enerjisini azaltarak kurutma hızını hızlandırır ve farklı kurutma aşamalarında bunun tersi de geçerlidir (Liu et al., 2016). Mikrodalga kurutmanın çeşitleri vardır; örneğin, mikrodalga kurutma, mikrodalga destekli dondurarak kurutma (microwave freeze drying, MFD), mikrodalga destekli konvektif kurutma (microwave convective drying, MCD), mikrodalga destekli vakumlu kurutma (microwave vacuum drying, MVD), mikrodalga destekli püskürtmeli yataklı kurutma (MWSBD) ve darbe püskürtmeli mikrodalga destekli vakumlu kurutma (pulse microwave vacuum drying, PSMVD). Temel olarak MVD, dahili hızlı ısıtma için ısı kaynağı olarak mikrodalgalarla vakumlu kurutma tekniğine dayanmaktadır. MVD, mikrodalga kurutmaya göre daha az enerji kullanır ve MVD tarafından kurutulan ürünün kalitesi, dondurarak kurutmaya karşılaştırılabilir ve vakumlu kurutmadan çok daha üstündür (Lin et al., 2021). Bu arada, PSMVD'de, malzemelerin mikrodalga kurutuculara hava püskürtülmesi yoluyla MVD'ye göre daha düzgün bir ısıtma elde edilir. MFD, gıda atıklarının kurutulması sırasında yüksek kalitede ürün üretebilir ve işletme maliyetlerini azaltabilir. Ancak yüksek su içeriğine sahip malzemelerin MFD kullanılarak kurutulması, düşük dielektrik sabiti ve donmuş suyun kayıp faktörü nedeniyle etkisizdir (Ran et al., 2019). Mikrodalga kurutma genel olarak gıda atıklarının toplam fenolik bileşiklerini (TPC) HAD'dan daha iyi korumuştur. Ancak mikrodalgada kurutma, betasiyanin ve betaksantin içeriği gibi diğer bazı kimyasal özelliklerde azalmaya neden olabilir (Chew and King, 2019). Mikrodalga kurutma ile besin özelliklerinin korunması da tatmin edicidir ve bazen dondurarak kurutma yöntemi kadar iyidir (Valadez-Carmona et al., 2017). Şahin ve ark. (2018) zeytin yapraklarındaki fenolik bileşiklerin depolama sırasında korunmasında HAD ile karşılaştırıldığında mikrodalga kurutmanın daha uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun nedeni, sıcak havayla kurutma sırasında zeytin

yaprağının yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasının fenolik bileşiklerde önemli bir kayba neden olmasıdır (Valadez Carmona et al., 2017).

Kakao kabuğunun kurutulmasında, mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak HAD ile karşılaştırıldığında daha yüksek düzeyde oleuropein elde edildiği tespit edilmiştir (Valadez-Carmona et al., 2017), Ayrıca mikrodalga kurutmayla daha fazla antioksidan bileşik ve inaktif polifenol oksidaz açığa çıkmıştır. Buna karşılık, başka bir çalışma HAD ile kurutulmuş papaya kabuğunun ve posasının, mikrodalgada kurutulmuş olanlara göre önemli ölçüde daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu bulmuştur (Nieto-Calvache et al., 2019). Chew and King (2019), pita kabuklarının kurutulması için mikrodalga kurutma (75, 225, 375, 525 ve 750 W) ile HAD (koşul: 100°C, 4 saat) arasındaki karşılaştırmayı incelemiştir. Sonuçlar, mikrodalgada kurutulmuş pitaya kabuklarının daha yüksek toplam fenolik bileşiklere (TPC), taze kabuklarla karşılaştırılabilir antioksidan aktiviteye ve HAD ile kurutulmuş kabuklara göre daha yüksek rehidrasyon yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak mikrodalgada kurutma sonrasında pitaya kabuğunda betasiyanin ve betaksantin miktarında azalma gözlenmiştir (Chew and King, 2019). Papaya kabuğu ve posası için sonuçlar, mikrodalga kurutmanın üronik asitleri sıcak hava konveksiyon kurutmasından daha iyi koruduğunu göstermiştir (Sogi et al., 2013).

Mikrodalga kurutma aynı zamanda kurutulmuş gıda atıklarının fiziksel yapısının korunması için de uygun bir yöntemdir. Mikrodalga kurutma, yoğun bir matris içinde pürüzsüz, yuvarlak yapılara sahip kurutulmuş okara unu üretmiştir. Mikrodalga kurutma aynı zamanda kakao kabuğunun mikro yapısını HAD ile karşılaştırıldığında daha iyi korumuştur (Valadez-Carmona et al., 2017). Ek olarak, mikrodalgada kurutulan papaya posası, HAD kullanılarak kurutulan papaya posası ile karşılaştırıldığında daha iyi hidrasyon özellikleri göstermiştir (Nieto-Calvache et al., 2019). Genel olarak, daha yüksek giriş gücü ve daha küçük parçacık boyutu veya ince katmanlı numuneler, gıda atıklarının kuruma süresinin daha kısa olmasına neden olur. Choi et al. (2015), atıktan yakıt üretim uygulaması amacıyla gıda atığı-talaş karışımının kurutulmasını incelemiştir. Gıda atığı-talaş karışımını standart nem içeriğine (<10%) ulaştırmak için gereken sürenin 1.000 W'ta 15 dakika olduğunu bulmuşlardır. Papaya yan ürününün mikrodalgada kurutulması üzerine yapılan çalışmalar, mikrodalgada kurutmanın üronik asit içeriğini korurken işlem süresini kısalttığını ortaya çıkarmıştır (Nieto-Calvache et al., 2019). Manzoor et al.

(2019), papaya kabuğunun ince katmanlı mikrodalga kurutmasının 46.621 W/g aktivasyon enerjisi değeri verdiğini ve artan giriş gücüyle kuruma süresinin azaldığını bulmuşlardır: 250 W (17 dakika), 440 W (10 dakika) ve 600 W (8 dakika). Buna karşılık, bira fabrikasının harcanmış tahılının (BSG) ince katmanlarını 250 W'de MVD yoluyla kurutmak için daha uzun süreye ihtiyaç duyuldu ve böylece kurutulmuş BSG cipsleri 48 dakikada üretilmiştir (Pratap Singh et al., 2020).

2.7 Literatürde taşkın yatak kurutucu ile yapılan çalışmalar

Taşkın yatak kurutucular, özellikle buğday, mısır, yulaf ve tahıl tohumları gibi granül yapıya sahip gıda ürünlerinin kurutulması için kullanılmıştır (Zahed and Epstein, 1993; Chua and Chou, 2003). Buğdayın kurutulması için Zahed and Epstein (1992) taşkın yatak kullanımını düşünmüşlerdir. Bununla birlikte, daha önceki taşkın yatak çalışmalarından farklı olarak, tahıl yüzeyinde nem içeriğinin sabit olmadığı varsayılmıştır. Çalışmada, tane sıcaklığı ve nem içeriğinin zamanla değişiminin sayısal analizi araştırılmıştır.

Jumah, et al. (1996), taşkın yatak kurutucu sistemini kullanılarak mısırın kurutulması için başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmada, mısırın yavaş kuruma özelliğini ortadan kaldırmak ve daha düşük enerji tüketimine sahip yüksek kaliteli ürünler elde etmek için aralıklı kurutma uygulanmıştır.

Nindo et al. (2003) konveksiyonla kurutma (tepsili kurutucu ile), taşkın yatak kurutucu sistemi ile dondurarak kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kuşkonmaz denemeleri gerçekleştirmiştir. Taşkın yatak kurutma sistemini tepsili kurutucu ile kurutma ile karşılaştırılmıştır, aynı sıcaklıklarda taşkın yatak kurutucu ile kurutma süresinin önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

Madhiyanon et al. (2001).’nın yaptığı bir çalışmada, taşkın yatak kurutma sistemi, akışkan yatak kurutma sistemi ile karşılaştırılmıştır. Taşkın yatak kurutucu ile daha yüksek kuru pirinç verimi elde edilmiş ve bu yöntemle kurutulan pirinçlerin beyazlık açısından akışkan yatak kurutucularda kurutulan pirinçlere göre daha iyi beyazlık özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Granül haline getirilmiş parçacıklar dışında, karides gibi diğer yiyeceklerin de taşkın yatak kurutucu sistemleri ile kurutulduğu çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bu amaçla Niamnuy et al. (2007) koni açısı ile klasik yataklardan farklı

olan bir taşkın yatak tasarlamıştır. Taşkın yatak kurutma sisteminin, içerisindeki hava dinamiği nedeniyle kurutma sırasında karidesin başını, kabuğunu ve kuyruğunu çıkarma avantajını sağladığı tespit edilmiştir. Karidesin kurutma işlemi, geleneksel kurutma yöntemi ile kıyaslandığında daha kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

Literatürde yukarıda bahsedilen çalışmalara ek olarak, kurutma verimliliğini arttırmak için taşkın yatak kurutma sistemlerinin mikrodalga kurutma, infrared kurutma ve dondurarak kurutma gibi diğer kurutma yöntemleri ile kombine edildiği çalışmalar bulunmaktadır (Feng and Tang, 1999; Kahyaoğlu et al., 2010; Jumah and Raghavan, 2001).

Wang et al. (2013), mikrodalga destekli vurgulu taşkın yatak kullanarak (kombine sistem) tuzsuz ördek yumurta beyazı tozu elde etmişlerdir. Bu yöntemi kıyaslamak için aynı örneklerin dondurarak kurutulması ile elde edilen tozlar da incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kombine sistem ile kurutulan yumurta beyazı tozlarının dondurarak kurutucu ile kurutulan tozlara göre daha çekici renk özelliğine (daha yüksek L^* , daha düşük b^*), daha görünür yoğunluğa ve daha kısa kuruma sürelerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Manshadi et al. (2019)'nın yaptığı başka bir çalışmada keten tohumunun taşkın yatak ve infrared ile desteklenmiş taşkın yatak kurutucu sistemlerinde kurutulmasını incelemişlerdir. Bu sayede, kurutma yöntem ve koşullarının keten tohumu yağının kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Klasik taşkın yatak ve infrared destekli taşkın yatak kurutucuda 40, 60 ve 80°C sıcaklıklarında denemeler gerçekleştirilmiştir. İnfrared varlığında klasik taşkın yatak kurutucuya göre kuruma hızının arttığı belirlenmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan keten tohumlarının linoleik asit içeriği dışında keten tohumunun yağ asidi içeriğini önemli ölçüde değiştirmedeği görülmüştür.

Tablo 2.2 Literatürde taşkın yatak kurutma ve kombine kurutma ile ilgili yapılan çalışmalar

Ham madde	Yöntem	Sonuç	Referans
Haşlanmış Buğday	Mikrodalga destekli taşkın yatak kurutma	Taşkın yatak kurutucu ile kurutulan buğdaylar, klasik taşkın yatak kurutma sistemi ile karşılaştırılmış ve verimliliğini değerlendirmek için farklı mikrodalga güçleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, mikrodalga gücünün artmasının buğdayların mikroyapısının açılmasına (puffing effect) neden olduğu ve bulgur üretimi için en uygun kurutma koşulunun 50°C ve 288W olduğu belirtilmiştir.	Kahyaoglu ve ark. (2010)
Elma Küpleri	Mikrodalga destekli vurgulu taşkın yatak kurutma	Bu çalışmada kurutucu sisteminin elma küplerinin dielektrik özellikleri ve kalite özellikleri (nem içeriği, porozite, mikroyapı, doku, renk ve lezzet) üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kurutma denemelerinin ilk 45 dakikalık bölümünde, dielektrik özellikler suyun buzdan sıvıya kısmi dönüşümü nedeniyle arttığı ve daha sonra nem azalması nedeniyle yavaş yavaş azaldığı gözlemlenmiştir. Kombine kurutucu ile kurutulan elma küplerinin renk ve uçucu bileşiklerini geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha iyi koruduğu tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2018).	Wang ve ark., (2018)
Havuç	Mikrodalga destekli vurgulu taşkın yatak + Vakum etkisi	Taşkın yatak sistemine 915 MHz mikrodalga jeneratörü entegre edilerek kombine kurutucu tasarımı tamamlanmıştır. Kurutma denemelerinde 10-80 dakika süreleri, vakum basıncı, 2 saniye vurgu (pulse) aralığı koşullarından denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, bu sistem ile kurutulan havuç dilimlerinin; renk, koku, rehidrasyon oranları, büzülme oranları gibi kalite özelliklerinin bir atıştırmalık yiyecek için uygun olduğu bulunmuştur.	Cao ve ark., (2019)
Yeşil Biber	İnfrared destekli taşkın yatak kurutma	Çalışmada, inert alüminyum parçacıkları içeren infrared destekli bir taşkın yatak kurutucu kullanılmıştır. Kurutma denemelerinde 3 farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C) kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kurutucunun enerji tüketimi ve buna bağlı enerji değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda parçacıkların kütle %'sinin %50'ye çıkarılması ile ise kuruma süresi %56 oranında azalmıştır. Özgül enerji tüketimi (SEC) açısından optimum kurutma koşulunun ise 70°C sıcaklığında ve % 25 inert katı kütlesi kullanılan denemelerde görüldüğü bildirilmiştir	Moradi ve ark., (2020)

2.8 Bezelye ve Bezelye Kabuğunun Gıda Endüstrisindeki Önemi

Ülkemizde üretim değeri önemli ölçüde olan bezelyenin (*Pisum sativum L.*) kabuğu tamamının yaklaşık %38-45'lik bir kısmını oluşturmakta ve ciddi miktarda

atık oluşturmaktadır (Anonim, 2019). En geniş ekim alanı Asya kıtasında, en fazla üretim ve verim ise Avrupa kıtasındadır. Ülkemizde sofralık taze bezelye üretimi en çok Akdeniz bölgesinde, konserve bezelye üretimi ise Marmara bölgesinde yapılmaktadır (Anonim, 2017). Yemeklik tane baklagiller içerisinde bezelye dünyada üretim bakımından fasulyeden sonra ikinci sırada yer alır. TÜİK verilerine göre bezelye 2018 yılında 97.433 dekarlık ekim alanda 107.344 ton üretilmiştir (TÜİK, 2019). Üretim değeri önemli ölçüde olan bezelyenin kabuğu tamamının yaklaşık %38-45'lik bir kısmını oluşturmakta ve ciddi miktarda endüstri atığı oluşturmaktadır (Anonim, 2019). Bezelye kabukları lif açısından diğer sebze kabuklarıyla kıyaslandığında oldukça zengin bir yan üründür. Neredeyse tatsız olan bezelye kabukları beyaz ekmek yapımında kullanılabilir (Akdoğan, 2014; Kumari ve Deka, 2021). Lifçe zenginleştirilmiş gıdalara ilginin artması kahvaltılık ürünler gibi gıdaların formülasyonlarında lif kaynaklarının eklenmesi çalışmalarını başlatmıştır ve ürünlerin lif içeriğini arttırmak amacıyla lif kaynağı olarak kullanılan kepek yerine son zamanlarda alternatif kaynaklara yönelim hız kazanmaktadır. Bileşiminde yüksek lif, protein içerdiği bilinen bezelye kabuğu fırıncılık ürünlerinde değerlendirilerek, vegan –vejetaryen beslenmeyi tercih edenler için faydalı ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Bezelye kabuğunun kimyasal kompozisyonu Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. 3. Bezelye Kabuğunun Kimyasal Kompozisyonu (Akdoğan, 2014)

Bileşen Adı	Kuru madde (%)
Protein	10.7
Yağ	1.2
Karbonhidrat	22.7
Nişasta	3.5
Diyet lifi	57.9
Kül	5.4

2.9 Portakal ve Yan ürünlerinin Gıda Endüstrisindeki Önemi

Narenciye bitkileri Rutaceae ailesinin üyeleridir ve meyveleri küresel ölçekte önemlidir. Toplam üretimin üçte biri çeşitli mallara dönüştürülmekte ve bu da çok büyük miktarlarda çeşitli yan ürünlerin üretilmesine yol açmaktadır (Jiang et al., 2014). Turunçgiller ve bunların yan ürünleri, önemli antioksidan potansiyeli

ve diğ er biyolojik aktivitelere sahip olan fitokimyasallar ve fenolik bileşikler gibi diğ er biyoaktif bileşiklerin bol miktarda kaynağıdır (Fejzic and Cavar, 2014; Abou-Arab et al., 2016). Kabuk, ana yan ürün olarak açığ a çıkmakta ve meyve ağırlığ ının %50-65'ini oluşt ırur. Kabuk ve diğ er yan ürünler sıklıkla atılmakta ve mikrobiyal bozulmaya duyarlı oldukları için çevreye zarar vermektedir. Turunçgillerden elde edilen yan ürünler, sağık açısından fayda potansiyeli olan önemli biyoaktif madde kaynaklarıdır (Mandalari et al., 2006; Ramful et al., 2011; Nayak et al., 2015), dolayısıyla bunların kullanılmasının hem ekonomi hem de çevre üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır (Kumar et al., 2022). Portakal kabuğ unun kimyasal kompozisyonu Tablo 2.3'te verilmiştir. Portakal, dünyanın en çok tüketilen ve yararlı meyvelerinden birisidir. Gıda endüstrisinde genellikle portakal suyu üretiminde, çeşitli tatlılarda ve soslarda kullanılmaktadır. Portakal kabuğ u da bu sektörlerde üretilen atıkların önemli bir parçasını oluşturmaktadır ve kabukları düzgün imha edebilmek zordur (Anwar vd. 2008). Portakal kabuğ u, esansiyel yağlar, flovonoidler ve antioksidanlar gibi bileşikleri içeren oldukça değerli bir kaynaktır ve bu bileşenler katkı maddeleri olarak kozmetik ve ilaç sanayinde önemli rol oynarlar (Senevirathne vd. 2009). Dünyada 9 milyon hektar alanda 130 milyon ton turunçgil üretilmekte olup toplam üretimin %57'sini portakal üretimi oluşturmaktadır. Türkiye ise 127.000 hektarlık alanda 3,7 milyon ton üretimiyle 9. sırada yer almaktadır. Portakalın % 20-40'lık kısmının kabuktan oluşt uğ u belirtilmektedir. Türkiye'deki portakal üretimi üzerinden hesaplama yapıldığında, portakal kabuğ unun gıda endüstrisinin çok önemli bir atığ ı olduğ u açıktır (Aktaş vd. 2013). Proje kapsamında kabukları kullanılacak olan bezelye (*Pisum sativum* L.), serin ve ılıman iklim bitkisidir (Alan ve Geren, 2012). En geniş ekim alanı Asya kıtasında, en fazla üretim ve verim ise Avrupa kıtasındadır. Ülkemizde sofralık taze bezelye üretimi en çok Akdeniz bölgesinde, konservelik bezelye üretimi ise Marmara bölgesinde yapılmaktadır (Anonim, 2017). Yemeklik tane baklagiller içerisinde bezelye dünyada üretim bakımından fasulyeden sonra ikinci sırada yer alır. TÜİK verilerine göre bezelye 2018 yılında 97.433 dekarlık ekim alanda 107.344 ton üretilmiştir (TÜİK, 2019). Üretim değ eri önemli ölçüde olan bezelyenin kabuğ u tamamının yaklaşık %38-45'lik bir kısmını oluşturmakta ve ciddi miktarda endüstri atığ ı oluşturmaktadır (Anonim, 2019). Bezelye kabukları lif açısından diğ er sebze kabuklarıyla kıyaslandığında oldukça zengin bir yan üründür. Neredeyse tatsız olan bezelye kabukları beyaz ekmek yapımında

kullanılabilmektedir (Akdoğan, 2014; Kumari ve Deka, 2021). Bileşiminde yüksek lif, protein içerdiği bilinen bezelye kabuğu fırıncılık ürünlerinde değerlendirilerek, vegan –vejetaryen beslenmeyi tercih edenler için faydalı ürünlerin üretiminde kullanılabilir.

Tablo 2. 4. Portakal Kabuğunun Kimyasal Kompozisyonu (USDA, 2023).

Bileşen Adı	g/100 g Kuru madde
Protein	1.5
Yağ	0.2
Karbonhidrat	25.0
Diyet lifi	10.6
Kül	0.8

2.10 Tez çalışmasının Yenilenebilir Enerji Teknolojilerine Katkısı

Tez çalışmasında kullanılmış olan taşkın yatak kurutucu sisteminin elektrik ihtiyacının belirli bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından en önde aklımıza gelen enerji kaynağı olan güneş enerjisinden sağlanmıştır. Tasarlanan kurutucunun tükettiği enerjinin belirli bir miktarı güneş pillerinden gelecek elektrik enerjisinden sağlanmıştır. Güneş Pillerinden elde edilen elektrik enerjisi direkt olarak cihazın elektrik tüketimini karşılamak için kullanılmıştır. Bu amaçla, tasarlanan kurutucunun elektrik tüketim miktarı belirlenmiş ve ilgili enerji hesapları yapılmış, cihazın tükettiği enerjinin ne kadar olduğu ve ne kadarlık bir yüzdesinin güneş enerjisi kullanılarak karşılanabileceği deneysel olarak belirlenmiştir. Endüstrideki maliyet kalemleri incelendiğinde en çok mali giderin gıda ürünlerinin işlenmesinde harcandığı görülmektedir. Gıda sektöründe toplam maliyetin ortalama yakıtta %23, elektrikte ise %30'luk kısmının harcandığı tespit edilmiştir (Aktaş, 2010; Aktaş ve Kara, 2013). Bu yüzden gıda sektöründe güneş enerjisi uygulamasının yaygınlaştırılması ve teşvikinin önemli ölçüde mali tasarruf sağlayacağı düşünülmektedir (Sharma ve ark., 2017). Bu sayede, önemli bir enerji tüketimine sahip gıda kurutma işlemine sadece yeni bir tasarım geliştirilmekle kalmayıp, tasarımının özellikle enerji tüketimi yönünden verimli bir sistem olarak kurgulanması hedeflenmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Kurutma denemelerinde hammadde olarak kabukları kullanılan bezelye ve portakallar İzmir'deki yerel marketlerden temin edilmiş ve kabuk ayırma işlemi tamamlanana kadar +4°C'de saklanmıştır. Bezelye ve portakallar musluk suyunda yıkanmış, yüzey suyu uzaklaştırılmış, kabukları ayrılmış ve kurutma denemelerinde standart örnek oluşturma amacıyla kesici yardımıyla eşit şekilde boyutlandırılmıştır (en:1.4cm; boy:4cm; kalınlık:0.4cm). Bezelye ve portakal kabukları kurutma denemelerinde kullanılacağı zamana kadar ALPE ambalajlarda, Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Pilot Tesisinde bulunan soğuk hava deposunda -25 °C'de depolanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1 Kurutma Yöntemi

Konveksiyonel Kurutma İşlemi:

Tez kapsamında konveksiyonel kurutma yöntemi için Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan pilot ölçekli tepsili kurutucu (Armfield Lim., Ringwood, Hampshire, UK) kullanılmıştır. Pilot ölçekli tepsili kurutucuda (Armfield Lim., Ringwood, Hampshire, UK) 50-60-70 °C sabit sıcaklıkta ve 1(0.5, 1 m/s hava akış hızında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bezelye ve portakal kabukları kurutma süresince analitik terazide (Ohaus AR2140, ABD) tartılarak ağırlık değişimleri 0.01 g olduğu zamana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir.

Mikrodalga Kurutma İşlemi:

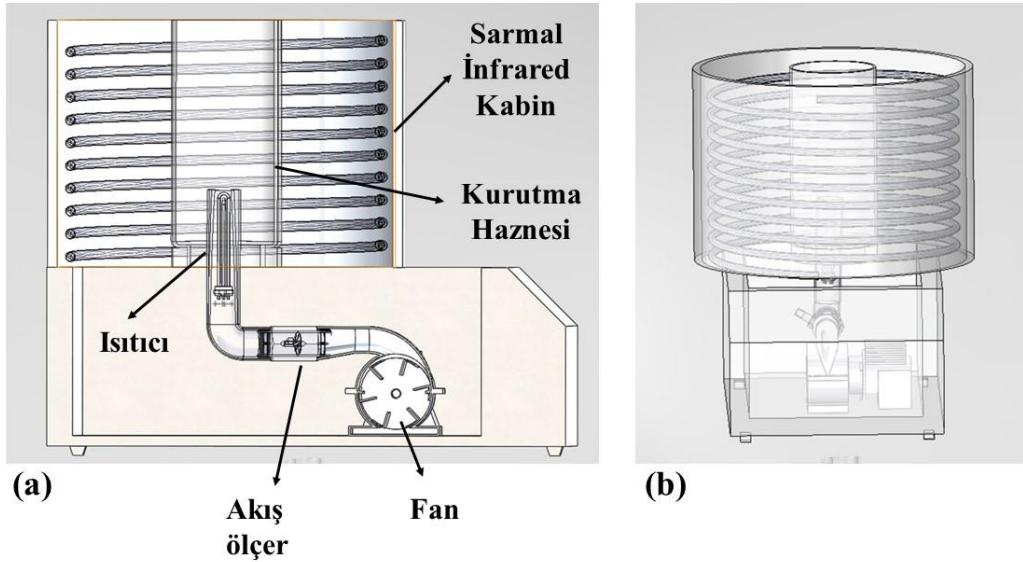
Tez çalışması kapsamında Hotpoint-Ariston (MWhA 27343 B, İtalya, 25 lt iç hacmi, 230 V, 50 Hz, 1900 W, örnek ve kızılötesi ışık kaynağı arasındaki mesafe 20 cm) marka mikrodalga fırın kullanılmıştır. Ön denemelerde portakal kabukları 350-540-720W gücünde kurutulmuştur. Ardından son ürünlerde termal denatürasyonun yüksek olması nedeniyle, mikrodalga gücü 90-160-350 W olarak belirlenmiştir ve hammaddelerde belirlenen mikrodalga güçleri kullanılarak kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

İnfrared Destekli Vurgulu Taşkın Yatak Kurutma İşlemi:

Tez kapsamında vurgulu taşkın yatak kurutucu sarmal infrared kabin ile desteklenmiştir. Tasarlanan kurutucunun şematik görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.

Taşkın yatak kurutma haznesi; iç çapı 150 mm, dış çapı 170 mm, yüksekliği 35 cm ve konik açısı 45°C olan camdan yapılmıştır. Yatağın hareketi sırasında görsel gözlemler yapmak ve infrared dalgaların hazneden geçmesini sağlamak amacıyla kurutma haznesi için cam materyal tercih edilmiştir.

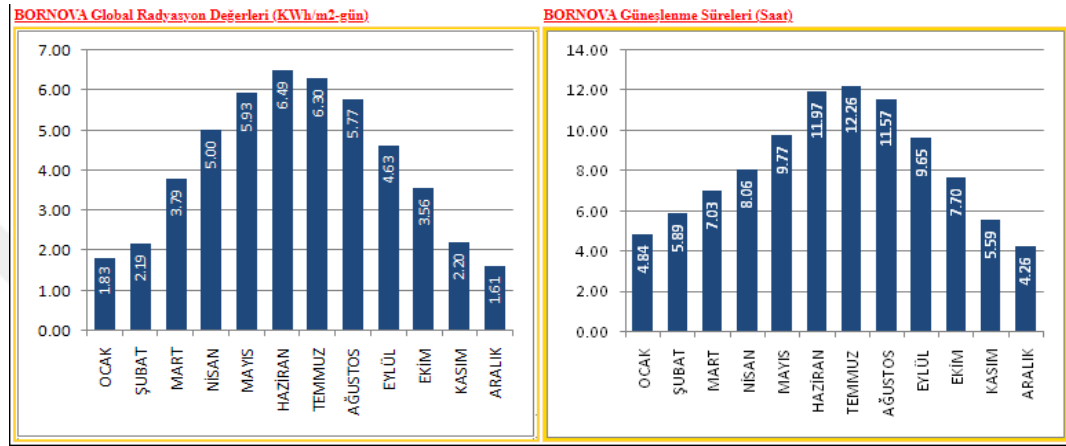
Yuvarlak kızılötesi sistem kurutma odasını çevreleyecek ve kurutma odasından 10 cm uzakta olacak şekilde kurutma odasını dışına yerleştirilmiştir. 10 cm çapındaki hava giriş nozulu alt koninin merkezine yerleştirilmiştir. Parçacıkların düşmesini önlemek ve sıcak havanın geçmesine izin vermek için nozulun altında destek olarak bir elek kullanılmıştır. Sisteme hava beslemesi için 10 kademeli ayar ile maksimum 5 m/s hava akışı sağlayabilen fan kullanılmıştır. Kurutucu sıcaklığı 0-200°C arasında ayarlanabilmektedir (Sherwood Scientific, Model 501, Cambridge, UK).



Şekil 3. 1 İnfrared destekli vurgulu taşkın yatak kurutucu tasarımına ait kesit görüntüsü (a) ve ön görünüş (b)

Kurutma için ön işlemleri tamamlanan örnekler üç farklı güce sahip infrared kabin desteği ile kombine edilmiş vurgulu taşkın yatak kurutucuda üç farklı hava sıcaklığı ve üç farklı hava hızı kullanılarak kurutulmuştur. Kurutma denemelerinde öncelikle kullanılan hava hızlarında kullanılabilecek uygun hammadde miktarı denemeleri yapılmış ve sistemde kurutulacak hammadde miktarı bu denemeler

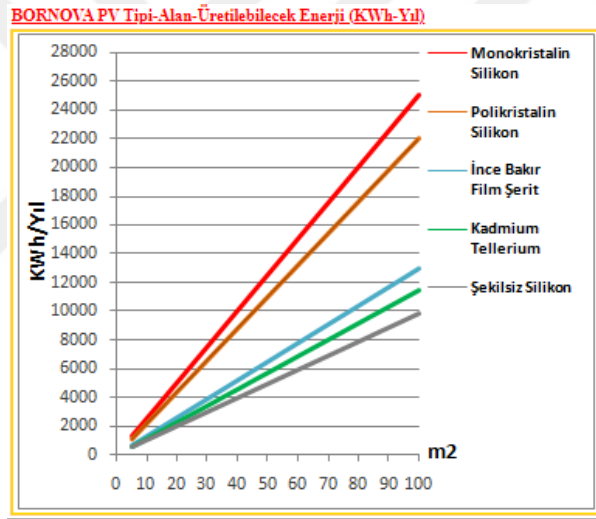
sonunda 50 gram olarak belirlenmiştir. Bu denemeler sonucunda belirlenen hammadde miktarı tüm denemelerde sabit olacak şekilde kurutma denemeleri gerçekleştirmiştir. Bu kurutucunun enerji tüketim verileri ve son ürün kalitesi yönünden mikrodalga ve konveksiyonla kurutma ile kıyaslanması amacıyla; bezelye ve portakal kabukları deneme planındaki çalışma koşullarında sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuş ve elde edilen sonuçlar tasarlanan sistem ile kıyaslanmıştır. Kıyaslanabilir sonuçlar elde edilebilmesi için tüm kurutmalarda sabit hammadde miktarı ile sabit ağırlığa ulaşana kadar denemeler yapılmıştır.



Şekil 3.2 Bornova güneşlenme süresi verileri

Kurutucunun enerji ihtiyacının belirli bir bölümünü karşılamak için kullanılacak güneş pili (fotovoltaik panel) ve diğer sistem elemanlarının kapasite ve adetlerini belirlemek için ön çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, infrared sistem ve taşkın yatak kurutucunun enerji tüketim miktarı Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Pilot Tesisinde bulunan akışkan yatak kurutucu (Sherwood Scientific, İngiltere) ve 2 kademeli infrared ısıtıcıya (Kumtel KS/LX-2820 Isıtıcı) dair deneysel enerji tüketim ölçümleri ve literatürde yapılan çalışmalarda enerji tüketim değerlerinden yola çıkarak belirlenmiştir. Projede belirtilen çalışma koşullarında kurutucu fanının elektrik tüketimini karşılamak için 1 KW invertör kapasiteli sistemin yeterli olacağı tespit edilmiştir. Bu kapsamda, ilk olarak Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)” kullanılarak İzmir/Bornova ilçesi için Global radyasyon değeri (kWh/m²-gün), güneşlenme süresi (saat) ve PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (kWh-yıl) değerlerine bakılmıştır. Bornova ilçesi için aylara göre Global radyasyon değeri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süresi (saat) grafikleri Şekil 3'te verilmiştir.

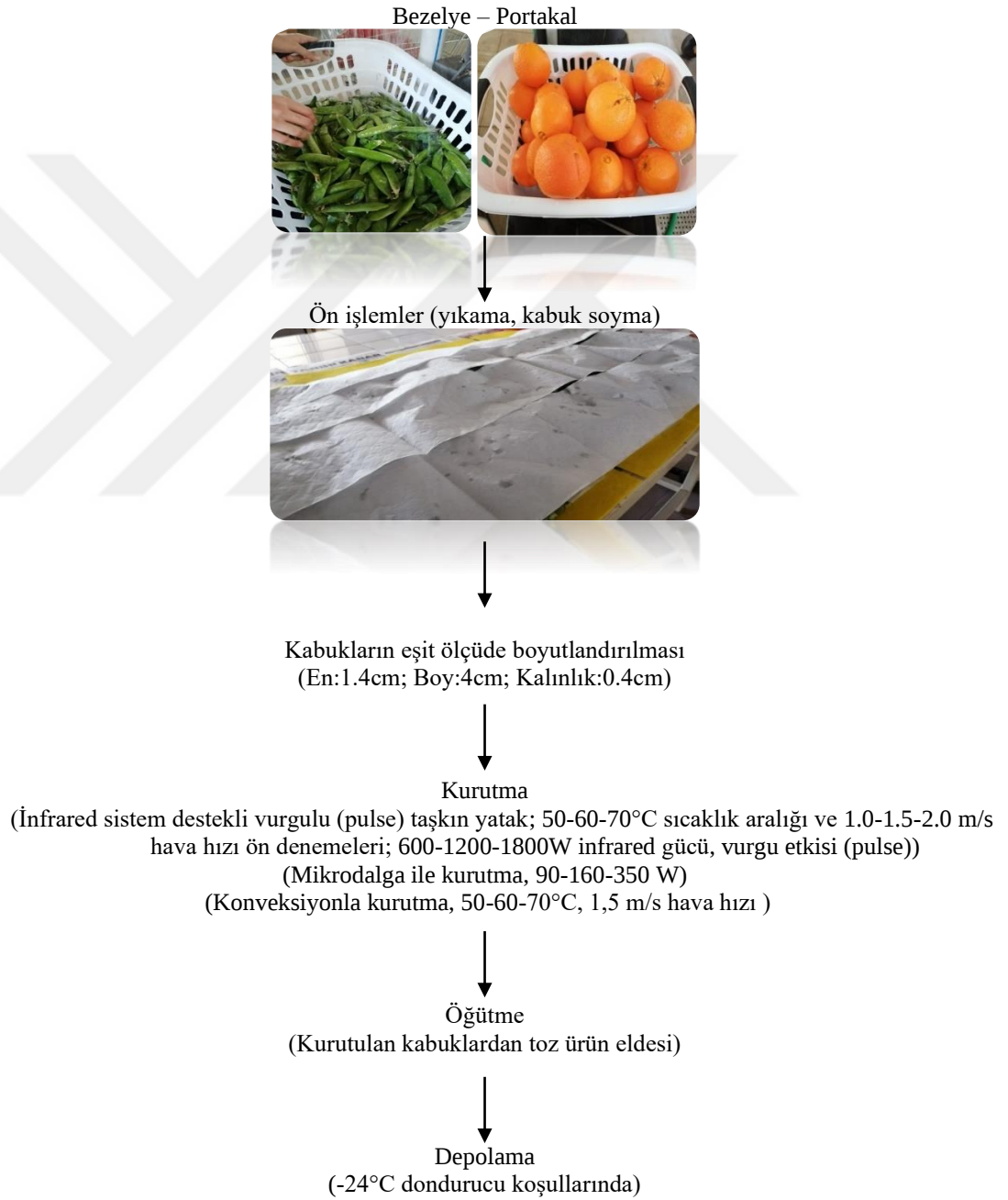
Şekil 3.2 incelendiğinde Bornova ilçesi için Global radyasyon değerlerinin yıllık ortalama 4.11 kWh/m^2 -gün olduğu, güneşlenme süresinin de yıllık ortalama 8.22 saat/gün olduğu görülmektedir. GEPA sınıflandırmasına göre İzmir/Bornova ilçesi toplam güneş radyasyonu açısından $1600\text{-}1650 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ aralığında yer almaktadır. Bu değerler ve GEPA sınıflandırması dikkate alındığında Bornova ilçesinin güneş enerjisi sistemlerinin kullanılabilirliği açısından uygun bir bölge olduğu sonucu çıkarılabilir. Ardından modifiye edilecek taşkın yatak kurutucuda bu değerler doğrultusunda Şekil 4'te verilen yine Bornova ilçesi için belirlenmiş PV tipi- Alan-Üretilebilecek Enerji(kWh-yıl) grafiği incelenerek belirlenen 1 kW 'lık sistem için güneş pilli (fotovoltaik panel-PV) sayısı ve diğer yan ekipman ve bağlantıların miktar ve özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla fiyat performans değerlendirmesi sonucunda 170W güçteki polikristalin silikon güneş pillerinin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.3 İzmir/Bornova PV tipi panel malzemesine göre- Alan-Üretilebilecek Enerji(kWh-yıl) değerleri

Kurutucuya gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla 3 adet polikristal panel (1 adet panel alanı $=1,64 \times 1$ metre), enerjinin depolanması ve güneşli olmayan günlerde şebekeden bağımsız (off-grid) denemelerin devam etmesi için 1 adet 12 Voltluk jel akü kullanılması gerektiği gerekli hesaplamalar ile belirlenmiştir. 3 adet güneş pili kullanılarak $4,92 \text{ m}^2$ (3 adet $\times 1,64 \text{ m}^2$ (1 panel alanı)) toplam alan sağlanacaktır ve Şekil 3.3'teki grafikten bu alana sahip güneş pilleri ile yaklaşık olarak yılda 10000 kWh enerji üretilebileceği görülmektedir. Tasarlanan kurutucunun yıllık ihtiyacının yaklaşık olarak 1460 kWh (Yıllık enerji tüketimi = (Enerji tüketimi (1 kWh) $\times$ Çalışma süresi (4 saat) $\times$ 365 gün) olacağı göz önünde

bulundurulduğunda bu kapasitedeki bir güneş enerji sisteminin kurutucunun günde 4 saat çalışması için yeterli enerjiyi fazlasıyla sağlayacağı görülmektedir. Ayrıca, kullanılacak güneş pillerinden elde edilen enerji depolanacak (güneş olmasa bile 4 saat çalışmaya devam edebilecek sistem), böylece güneşin olmadığı günlerde de kurutma denemelerine devam edilebilecektir. Böylece, cihazın toplam enerjisinin %40'ı güneş pillerinden gelecek enerjiden sağlanarak kurutma denemeleri gerçekleştirilecektir. Tez çalışması kapsamında yapılan işlemlere dair akım şeması Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3. 4 Tez çalışması akım şeması

Enerji Tüketimi: Elektrik sayacı (Köhler, AEL. TF.04, Türkiye) kullanılarak kurutma denemeleri süresi boyunca enerji tüketim etkinliğini belirlenmiştir ve enerji değerleri Jindarat et al., (2011) ve Chua et al., (2002)'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{SMER} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi(kg su)} / \text{Toplam enerji tüketimi (kWh)}}{(1)}$$

$$\text{MER} = \frac{\text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi(kg su)} / \text{Kuruma süresi (h)}}{(2)}$$

$$\text{SEC} = \frac{\text{Sisteme giren toplam enerji (MJ)} / \text{Üründen uzaklaştırılan nem kütlesi(kg su)}}{(3)}$$

Kurutma Davranışı: Kurutma sırasında örneklerin nem oranı (MR), aşağıdaki denkleme kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4). Eşitlikte M_t , M_0 ve M_e sırasıyla herhangi bir andaki nem içeriği, başlangıç ve denge nem içeriğini ifade etmektedir (kg su/kg kuru madde).

$$\text{MR} = (M - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (4)$$

3.2.2 Analiz Yöntemleri

Farklı koşullarda gerçekleştirilen kurutma işlemi sonrasında öğütülerek elde edilen bezelye ve portakal kabuğu tozlarına uygulanan analizler aşağıda verilmiştir.

Temel Analizler

- Nem tayini;** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların nem içeriği, 105° C' de etüv kullanılarak (Nüve EV018, Türkiye) yapılmıştır ve nem miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır. (AOAC, 2000).
- Su aktivitesi tayini;** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların su aktivitesi, ± 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm cihazı (Testo AG 400, Almaya) kullanılarak belirlenmiştir.
- Renk analizi;** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların renk analizi Konica Minolta Chroma Meter (CR- 400, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE), kroma (C), hue açısı (H°) ve esmerleşme indeksi hesaplamaları sırasıyla Eşitlik 5,6,7 ve 8'de verilmiştir.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (b^* - b_0)^2 + (a^* - a_0)^2} \quad (5)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad (6)$$

$$\text{Hue Angle} (^\circ) = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (7)$$

$$\text{Esmerleşme İndeksi} = 100(x - 0.31) \cdot 0.17 \quad (8)$$

- d. **Protein tayini:** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların protein tayini Leco FP-528, USA cihazı ile belirlenmiştir.
- e. **Kül Tayini:** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların kül tayini AOAC (2000) yöntemine göre yapılmıştır.

Toz Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi

- a) **Islanabilirlik;** Kurutma sonucu elde edilen tozların ıslanabilirlik değeri Gong vd., (2008) metoduna göre belirlenmiştir.
- b) **Çözünürlük Süresi;** Kurutma sonucu elde edilen tozların çözünürlük süresi Goula ve Adamopoulos, (2008) metoduna göre belirlenmiştir.
- c) **Çözünürlük;** Kurutma sonucu elde edilen tozların çözünürlük değeri Cano-Chauca vd.,(2005) yöntemine göre belirlenmiştir.
- d) **Dağılabilirlik;** Kurutma sonucu elde edilen tozların dağılabilirlik değerleri Gong vd., (2008) metoduna göre belirlenmiştir.
- e) **Yığın ve Sıkıştırılmış Yoğunluk Tayini;** Kurutma sonucu elde edilen tozların yoğunluk değerleri Chegini ve Gobadian (2005) ve Jinapong et al. (2008) yöntemlerine göre belirlenmiştir. CI ve HR değerleri Tablo 3.1'e göre değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1 Toz ürünlerin akabilirlik (CI) ve yapışkanlık (HR) değerlerine göre gruplandırılması (Jinapong vd., 2008).

CI (%)	Akabilirlik	HR	Yapışkanlık
<15	Çok İyi	<1.2	Düşük
15–20	İyi	1.2–1.4	Orta
20–35	Orta	>1.4	Yüksek
35–45	Kötü		
45>	Çok Kötü		

- f) **Doğal Kayma Açısı (Angle of Repose);** Kurutma sonucu elde edilen tozların doğal kayma açısı Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, gerçekleştirilmiştir. Ölçülü silindir kaydırılarak toz zerreciklerin kaymaya başladığı açısal değer belirlenmiştir.

- g) **Partikül Yoğunluğu (ρ_p);** Kurutma sonucu elde edilen tozların partikül yoğunluğunu Jinapong et al. (2008)' e göre belirlenmiş ve Eşitlik 9' a göre hesaplanmıştır.

$$\rho_p = \frac{(m_p - m_o)p_1}{(m_{ol} - m_o) - (m_p l - m_p)} \quad (9)$$

ρ_1 petrol eterinin yoğunluğu (kg/m^3), m_p ürün eklenmiş piknometre ağırlığı (g), m_{p1} piknometrenin ürün ve petrol eteri ile tam dolu olduğu durumdaki ağırlığı (g), m_o piknometrenin ağırlığı (g) ve m_{ol} petrol eteri ile tam dolu piknometre ağırlığıdır (g).

- h) **Porozite (ε);** Hammadde ve kurutma sonucu elde edilen tozların porozite değeri sıkıştırılmış yığın yoğunluk (ρ_{sy}) ve partikül yoğunluğu (ρ_p) arasındaki ilişki ile hesaplanmıştır (Eşitlik 10) (Jinapong vd., 2008).

$$\varepsilon = \frac{\rho_p - \rho_{sy}}{\rho_p} \times 100 \quad (10)$$

- i) **Higroskopite;** Kurutma sonucu elde edilen tozların higroskopite değeri Cai ve Corke, (2000) yöntemine göre belirlenmiştir.

- f. **DSC (Differential Scanning Calorimeter-Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) Ölçümü:** Seçilen optimum koşullarda (70°C -1m/s-1400W: bezelye kabuğu, 70°C -1m/s-900W: portakal kabuğu) infrared destekli taşkın yatakta kurutulan tozların camsı geçiş sıcaklığı analizi, DSC (Perkin Elmer DSC-8000) cihazı ile Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

- g. **SEM (Scanning Electron Microscope) Ölçümü:** Seçilen optimum koşullarda (70°C -1m/s-1400W: bezelye kabuğu, 70°C -1m/s-900W: portakal kabuğu) infrared destekli taşkın yatakta kurutulan tozların parçacık boyutu ve parçacık görünümünü tespit edebilmek amacıyla ürünlerin Scanning Electron Microscope (SEM, JSM- 6060 JEOL) görüntüleri çekilerek parçacık boyutları, E.Ü. Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan SEM cihazında hizmet alımı şeklinde belirlenmiştir.

Fonksiyonel Özelliklerin Belirlenmesi

- a) **Su Tutma Kapasitesi (STK):** Kurutma sonucu elde edilen tozların su tutma kapasitesi Rodríguez-Ambriz et al. (2005) yöntemi kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Su tutma kapasitesi Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$STK \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \quad (11)$$

- b) Yağ Tutma Kapasitesi (YTK):** Kurutma sonucu elde edilen tozların yağ tutma kapasitesi Lin ve Zayas'a (1987) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Yağ tutma kapasitesi Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YTK \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \quad (12)$$

- c) Emülsiyon Kapasitesi ve Stabilitesi (EK ve ES):** Kurutma sonucu elde edilen tozların emülsiyon kapasite ve stabilite değerleri Wu'ya (2001) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Eşitlik 13 ve Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanmıştır (V1 : Emülsiyon tabakası (ml), V2 : Kalan emülsiyon tabakası (ml), V3 : Total tüp hacmi (ml)).

$$EK (\%) = \frac{V_1}{V_3} * 100 \quad (13)$$

$$ES (\%) = \frac{V_2}{V_3} * 100 \quad (14)$$

- d) Köpürme Kapasitesi (KK):** Kurutma sonucu elde edilen tozların köpürme kapasitesi değerleri Sathe and Salunkhe'e (1981) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Köpürme kapasitesi (KK) Eşitlik 15 kullanılarak hesaplanmıştır (V1: Çırpılmadan önceki hacim (ml), V2: Çırpıldıktan sonraki hacim (ml)).

$$KK (\%) = \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} * 100 \quad (15)$$

- e) Toplam Fenolik Madde Miktarı Tayini:** Kurutma sonucu elde edilen tozların fenolik madde tayini Franke et al., 2004 yöntemine göre yapılmış

ve sonuçlar gram hammadde veya tozunda/ mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olacak şekilde verilmiştir (Franke et al., 2004).

f) Optimizasyon:

Portakal ve bezelye kabuğu için en uygun infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemini belirlemek ve sonrasında bu örneklerle vurgu etkisinin eklenmesi için bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Box-Behnken tasarımları, ikinci dereceden modellerin tahminine, ardışık (sequential) tasarımların kurulumuna, modelin güven eksikliğinin analizine ve bloklara izin verdiği için kullanılan bir cevap yüzeyi tasarımıdır. Box-Behnken deneme dizaynına göre kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hammaddelerin infrared destekli taşkın yatak kurutma işlemi için sınır değerleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Her bir ürün için, Box-Behnken deneme dizaynına göre toplamda 15 deneme gerçekleştirilmiştir, üçü merkez noktada olmak üzere deneme planı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. 2 Bezelye ve portakal kabuklarının infrared destekli taşkın yatak kurutma koşullarının optimizasyonu aşamasında izlenen Box- Behnken Deneme Dizaynı

Run	Block	Factor 1 A:Sıcaklık °C	Factor 2 B:Hava Hızı m/s	Factor 3 C:Infrared Gücü W	Response 1 Nem İçeriği %	Response 2 Su aktivitesi aw	Response 3 delta_E	Response 4 BI
2	Block 1	50.00	1.50	1800.00				
7	Block 1	50.00	1.00	1200.00				
8	Block 1	50.00	2.00	1200.00				
9	Block 1	50.00	1.50	600.00				
5	Block 1	60.00	2.00	600.00				
6	Block 1	60.00	2.00	1800.00				
11	Block 1	60.00	1.50	1200.00				
12	Block 1	60.00	1.50	1200.00				
13	Block 1	60.00	1.50	1200.00				
14	Block 1	60.00	1.00	1800.00				
15	Block 1	60.00	1.00	600.00				
1	Block 1	70.00	1.00	1200.00				
3	Block 1	70.00	1.50	1800.00				
4	Block 1	70.00	2.00	1200.00				
10	Block 1	70.00	1.50	600.00				

Tablo 3. 3 Bezelye ve portakal kabuğu örnekleri için taşkın yatak kurutma işlem parametreleri

Bağımsız işlem parametreleri	-1	0	1
Hava Sıcaklığı (X1, °C)	50	60	70
Hava Hızı (X2, m/s)	1.00	1.50	2.00
Infrared Gücü (X3, W)	600	1200	1800

Optimum infrared destekli taşkın yatak kurutma işlem koşulları belirlenirken, ürünlerin minimum nem içeriği, su aktivitesi toplam renk değişimi ve esmerleşme indeksi özelliklerine sahip olması hedeflenmiştir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutma işlemleri sonrasında elde edilen ürünlerin nem içeriği, su aktivitesi toplam renk değişimi ve esmerleşme indeksi verileri için regresyon analizi kullanılarak ikinci dereceden polinomiyal denklem (Eşitlik 16) oluşturulmuştur.

Bu analiz, elde edilen verileri daha ayrıntılı bir şekilde incelemek ve infrared destekli taşkın yatak kurutma işlemlerinde özellikle vurgu etkisinin ürün özellikleri üzerindeki etkilerini detaylı incelemek için kullanılmıştır. Oluşturulan polinomiyal denklem, nem içeriği, su aktivitesi toplam renk değişimi ve esmerleşme indeksi arasındaki ilişkiyi matematiksel bir ifade ile ifade etmektedir.

$$\text{Yanıt} = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 \quad (k = 1, 2, 3) \quad (16)$$

Matematiksel bir model oluşturulduktan sonra, modelin yanıtını değerlendirmek amacıyla çoklu lineer regresyon analizi uygulanmıştır. Modeldeki önemli terimler, varyans analizi (ANOVA) kullanılarak belirlenmiş ve ardından polinomların maksimize ve minimize edilmiştir.

Belirlenen optimum noktaya göre, en az üç deneme yapılarak deneysel olarak doğrulama gerçekleştirilmiştir. Bu adım, modelin pratikte ne kadar etkili olduğunu değerlendirmek ve optimum işlem koşullarının gerçek ürünler üzerinde uygulanabilirliğini test etmek için önemlidir.

İstatistiksel Analiz: Kurutma işlemleri iki tekrar, analizler ise üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir ve değerlendirme SPSS 20.0 programı (SPSS Inc., USA) (ANOVA analizi) ile test edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

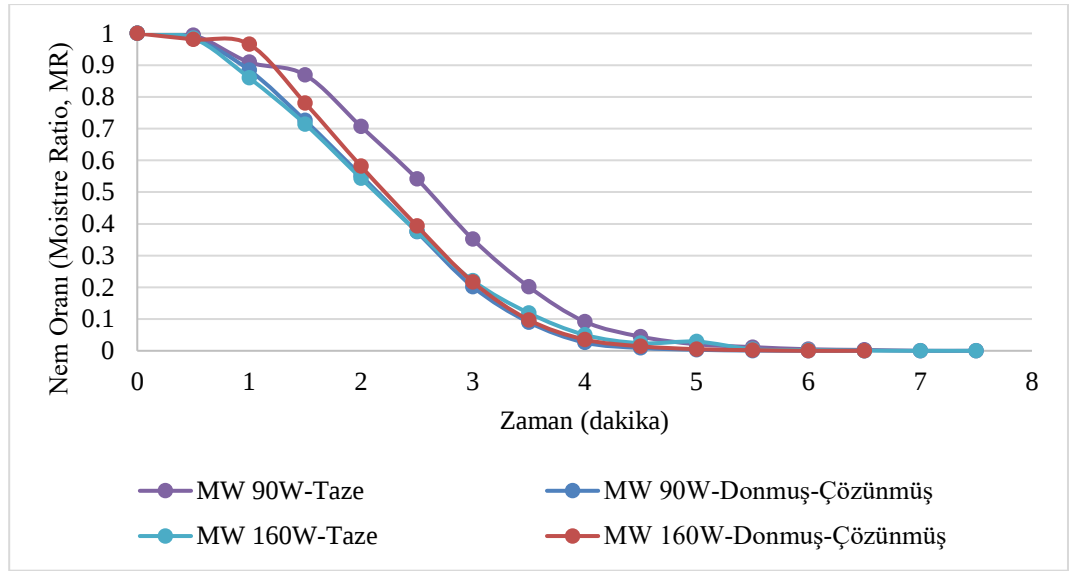
4.1 Ön Deneme Sonuçları

Tez çalışması kapsamında taze ve donmuş-çözünmüş örneklerle çalışmanın ürünlerin kuruma davranışı ve son ürün kalitesi üzerinde etkileri incelenmiştir. İlgili Sonuçlar 4.1.1. başlığı altında verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde donmuş-çözünmüş örneklerde gıdanın lifli yapısının donma-çözünme işleminden kaynaklı olarak bozunduğu ve böylece ürünün kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, donmuş-çözünmüş örnek ile çalışarak standart hammadde sağlanmıştır ve böylece kurutma işleminin ürün üzerine etkisi daha etkin bir şekilde incelenmiştir.

Standart hammadde boyutlarında çalışarak yine kurutma işlemlerinin ürün üzerine etkisinin etkin bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, portakal kabuğunun farklı boyutları için mikrodalga kurutma sisteminde 360-540-720 W güçlerinde ön denemeler gerçekleştirilerek son ürün kalitesi açısından en uygun hammadde boyutu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde 1.4 cm en; 4 cm boy; 0.4 cm kalınlıktaki ürünler seçilerek kurutma denemelerinin yapılmasına karar verilmiştir.

4.1.1 Taze ve Donmuş-Çözünmüş Hammadde Kullanımına Dair Ön Deneme Sonuçları

Taze ve donmuş-çözünmüş bezelye kabukları mikrodalga fırında 90 ve 160W güçlerinde kurutulmuştur. Ağırlık değişiminin takibi için 0.01 hassasiyete sahip terazide mikrodalga kurutmada kurutma sürelerinin daha kısa olması nedeniyle 30 saniye aralıklarla tartım alınmıştır ve örneklerin ağırlık değişimi 0.1 g'ın altına düşüne kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Kurutma denemelerinde zamana bağlı nem oranının değişimine dair grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Bezelye kabuklarının taze ve donmuş bezelye kabukları için nem oranı değişimi

Şekil 4.1 incelendiğinde, mikrodalga kurutmada kurutmanın ilk 4 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Toplam kuruma süresinin 6-7 dakika arasında değiştiği görülmektedir. Donmuş çözünmüş bezelye kabuklarının taze örneklerle göre daha kısa sürede kuruduğu gözlenmiştir. Kuruma sürelerinin mikrodalga gücü arttıkça uzadığı bu durumun yüksek güçlerde kabuk oluşumuna bağlı nemin gıdadan uzaklaştırılmasında zorluk oluşturmalarının neden olduğu düşünülmektedir.

Bezelye kabuklarının mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulması ile elde edilen son ürünlere ait nem içeriği ve su aktivitesi değerleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4. 1 Mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş bezelye kabuklarının fiziksel özellikleri

Mikrodalga Kurutma	Kurutma Koşulu	Nem İçeriği (%)	Su Aktivitesi
Taze Bezelye Kabuğu	90 W	9.08±0.62	0.431±0.054
	160 W	8.40±1.05	0.378±0.006
Donmuş- Çözünmüş Bezelye Kabuğu	90 W	7.90±0.51	0.337±0.017
	160 W	6.53±0.97	0.313±0.019

Kurutulan bezelye kabuklarının nem içeriği genel olarak %10’un altında bulunmuştur. Su aktivitesi değerleri 0.5’in altında bulunmuştur. Mikrodalga

kurutma yöntemiyle iki farklı mikrodalga gücünde kurutulan taze ve donmuş-çözünmüş bezelye kabuklarının nem içerikleri incelendiğinde, mikrodalga gücünün artmasıyla nem içeriğinin önce azaldığı görülmektedir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan taze bezelye kabuklarının nem içeriği değerlerinin %8.40-9.08 (yaş bazda, yb.) arasında değiştiği, su aktivitesi değerlerinin ise 0.431-0.378 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Donmuş-çözünmüş bezelye kabuklarının nem içeriği değerleri taze bezelye kabuklarına kıyasla daha düşük bulunmuştur ve %7.90-6.53 (yb.) arasında değiştiği görülmektedir. Donmuş çözünmüş örneklerin su aktivitesi değerleri taze bezelye kabuklarının kurutulması ile elde edilen tozlara göre daha düşük bulunmuştur. Nem içeriği ve su aktivitesinde görülen bu durumun donmuş-çözünmüş örneklerde bezelyenin lifli tekstürel yapısının açılmasına ve böylece suyun gıdadan daha rahat uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kurutma işlemleri sırasında mikrodalga kurutucunun enerji tüketim değerleri ölçülmüş, SMER, MER ve SEC değerleri hesaplanmıştır. Denemeler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2 Mikrodalga fırın kullanarak kurutulmuş bezelye kabuklarının enerji değerleri

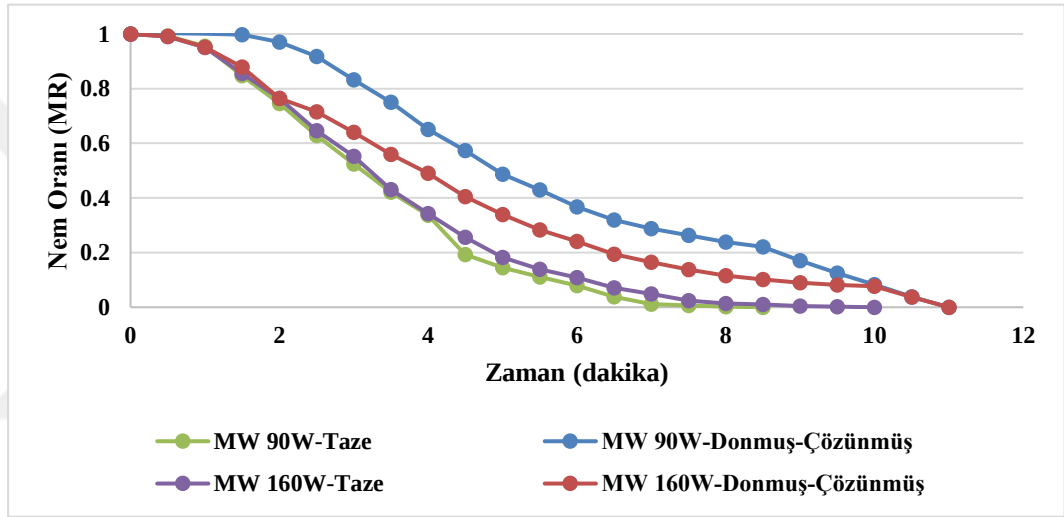
Mikrodalga Kurutma		SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg su)
Taze Bezelye Kabuğu	90 W	0.32±0.01	0.08±0.00	11.13±4.31
	160 W	0.13±0.01	0.09±0.00	28.36±4.22
Donmuş- çözünmüş Bezelye Kabuğu	90 W	0.40±0.01	0.09±0.02	8.91±0.80
	160 W	0.14±0.01	0.09±0.01	25.80±2.98

Mikrodalga kurutma denemeleri enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en yüksek SMER değerinin mikrodalga 90W koşulunda ve taze bezelye kabuğunun kurutulmasıyla elde edilen örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla, MER değerleri önemli oranda değişim göstermezken ($P>0.05$), SEC değerlerinde önemli oranda artış görülmüştür ($P<0.05$).

Kurutma işlemi bezelye kabuklarının renk değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0.05$). Kurutma koşulu ve hammadde özelliğinin renk değerleri üzerine etkisi Şekil 4.2’de verilmiştir. Mikrodalga kurutmada en yüksek parlaklık

değerine 90W gücünde kurutulan ürünlerde rastlanmıştır. Parlaklık değerinin mikrodalga gücü ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Sarılık-mavilik renk özelliğini ifade eden b^* değerleri incelendiğinde mikrodalga kurutma sonucunda b^* değerinde genel olarak bir düşüşün olduğu, bezelye kabuklarının mavilik değerinin arttığı görülmektedir ($P<0.05$).

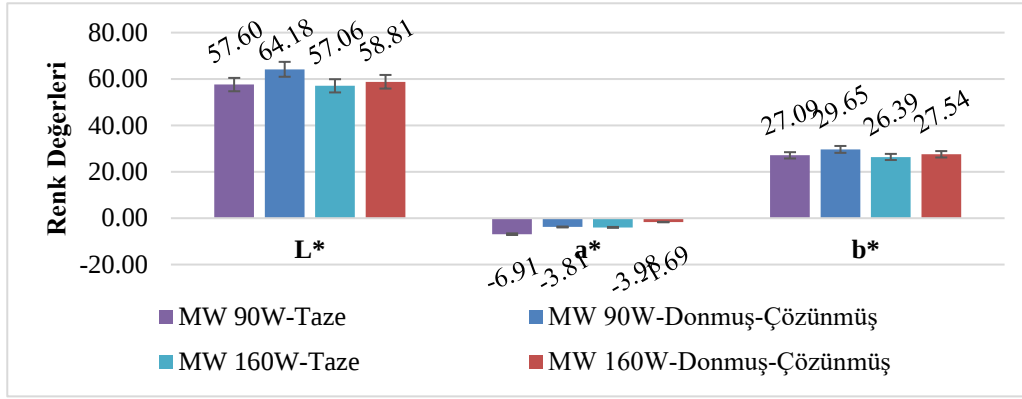
Taze bezelye kabuklarının parlaklık değerlerinin donmuş çözünmüş örneklerle göre daha düşük olduğu kırmızılık değerlerinin ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Sarılık-mavilik (b^*) renk değerleri incelendiğinde mikrodalga gücünün artmasıyla taze ve donmuş örnekler için mavilik değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. 2 Taze ve donmuş-çözünmüş bezelye kabuklarının mikrodalga kurutma sonucu nem oranı değişim değerleri

Taze ve donmuş ve çözünmüş portakal kabukları mikrodalga fırında 90 ve 160W güçlerinde kurutulmuştur. Ağırlık değişiminin takibi için 0.01 hassasiyete sahip terazide mikrodalga kurutmada kurutma sürelerinin daha kısa olması nedeniyle 30 saniye aralıklarla tartım alınmıştır. Kurutma denemelerinde zamana bağlı nem oranının değişimine dair grafik Şekil 4.2’de, renk değerleri Şekil 4.3’te

görülmektedir.



Şekil 4. 3 Portakal kabuklarının farklı mikrodalga güçlerinde kurutma (a) ve taze-donmuş çözünmüş halde kurutma renk değişimi

Şekil 4.2 incelendiğinde, mikrodalga kurutmada kurutmanın ilk 5 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Toplam kuruma süresinin 8-11 dakika arasında değiştiği görülmektedir. Taze örneklerin donmuş çözünmüş bezelye kabuklarına göre daha kısa sürede kuruduğu gözlenmiştir. Ancak bu sürenin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

90W ve 160W mikrodalga güçlerinde kurutma işleminde daha yüksek güçlere göre başlangıçta nem oranındaki azalışın daha yavaş olduğu görülmüştür. Kuruma sürelerinin mikrodalga gücü arttıkça bezelye kabuklarının kurutulmasına benzer şekilde uzadığı görülmüştür.

Portakal kabuklarının mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulması ile elde edilen son ürünlere ait fiziksel özellikler Tablo 4.3' te verilmiştir.

Tablo 4. 3 Farklı mikrodalga güçleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının fiziksel özellikleri

Mikrodalga Kurutma	Kurutma Koşulu	Nem İçeriği (%)	Su Aktivitesi
Taze Portakal Kabuğu	90 W	9.38±0.37	0.301±0.046
	160 W	9.34±0.96	0.200±0.001
Donmuş- çözünmüş Portakal Kabuğu	90 W	9.08±0.51	0.303±0.002
	160 W	4.94±0.97	0.169±0.001

Mikrodalga kurutma yöntemiyle iki farklı mikrodalga gücünde kurutulan taze ve donmuş-çözünmüş portakal kabuklarının kurutma sonucu nem içerikleri incelendiğinde mikrodalga gücünün artmasıyla nem içeriğinin azaldığı görülmektedir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan taze portakal kabuklarının nem içeriği değerlerinin %9.34-9.38 (yb.) arasında değiştiği su aktivitesi değerlerinin ise 0.200-0.301 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Kurutma denemelerinde en düşük nem içeriğine sahip portakal kabuklarının mikrodalga kurutma 160W koşulunda ve donmuş-çözünmüş örneklerde görülürken, en düşük su aktivitesi değerine yine aynı koşuldaki örneklerde rastlanmıştır. Mikrodalga gücü arttıkça taze ve donmuş-çözünmüş örneklerde nem içeriği ve su aktivitesi değerleri azalmıştır.

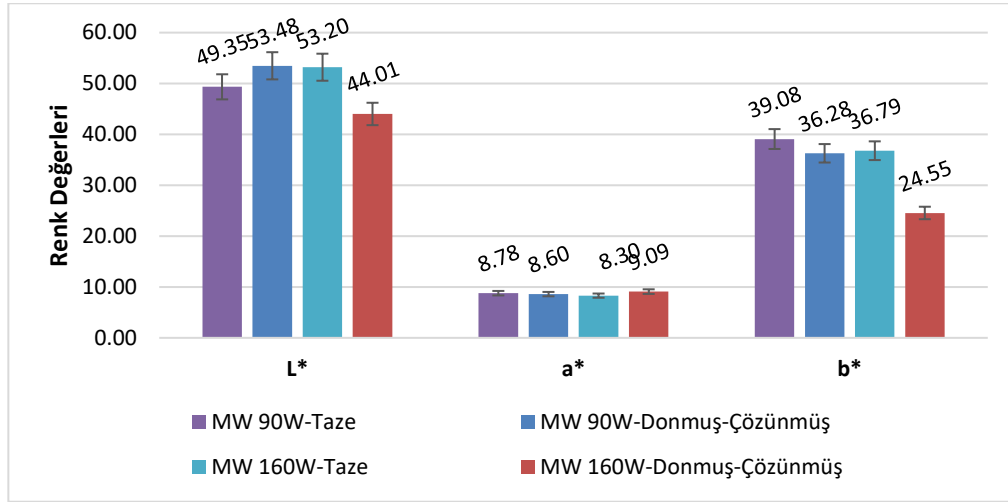
Denemelere ait enerji tüketim değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Mikrodalga kurutma denemeleri enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en yüksek SMER değerinin mikrodalga 90 W koşulunda ve taze portakal kabuğu örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla, MER ve SEC değerleri önemli ölçüde değişim göstermezken ($P>0.05$), SMER değerlerinde taze portakal kabuklarının kurutulmasında önemli bir azalış görülmüştür ($P<0.05$).

Tablo 4. 4 Mikrodalga fırın kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının enerji değerleri

Mikrodalga Kurutma		SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg su)
Taze Portakal Kabuğu	90 W	0,44±0.01	0.16±0.03	8.20±4.31
	160 W	0.33±0.00	0.12±0.01	11.05±5.85
Donmuş- çözünmüş Portakal Kabuğu	90 W	0.14±0.01	0.14±0.02	26.00±0.90
	160 W	0.14±0.01	0.14±0.01	25.44±1.25

Kurutma işlemleri portakal kabuklarının renk değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0.05$). Mikrodalga kurutma sonucu portakal kabuklarının renk değişimi sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir.

Mikrodalga kurutmada en yüksek parlaklık değerine 90W gücünde kurutulan ürünlerde rastlanmıştır. Parlaklık değerinin genel olarak mikrodalga gücü ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Sarılık-mavilik renk özelliğini ifade eden b^* değerleri incelendiğinde mikrodalga kurutma sonucunda b^* değerinde genel olarak bir düşüşü görülmektedir ($P<0.05$).



Şekil 4. 4 Farklı mikrodalga güçleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının renk değerleri

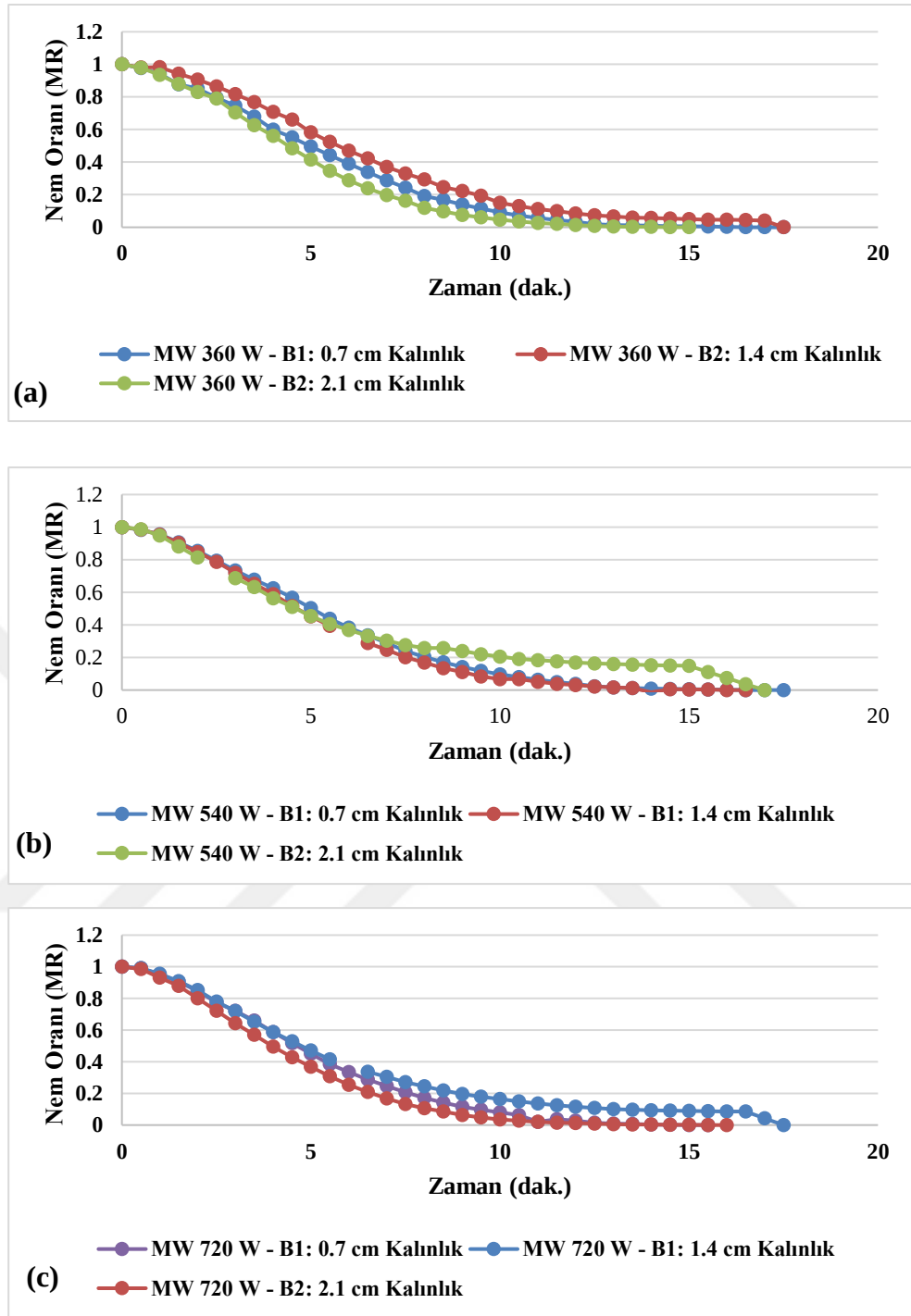
4.1.2 Hammadde Boyut Değişiminin Enerji Tüketimi ve Kuruma Davranışı Üzerine Etkisi

Tez çalışması kapsamında boyut etkisinin incelenmesi ve örneklerin boyutlandırılacağı standart boyut değerini belirlemek için farklı en değerine sahip portakal kabukları mikrodalga kurutma denemelerinde kullanılmıştır. Boyut bilgileri ve kısaltmaları aşağıda belirtildiği gibidir.

B1: 0.7 cm en; 4 cm boy; 0.4 cm kalınlık

B2: 1.4 cm en; 4 cm boy; 0.4 cm kalınlık.

B3: 2.1 cm en; 4 cm boy; 0.4 cm kalınlık



Şekil 4. 5 Portakal kabuklarının mikrodalga 360W (a), 540W (b) ve 720 W (c) güçlerinde kurutulması ile nem oranı değişimi

Portakal kabukları mikrodalga fırında 360-540-720 W güçlerinde (Arçelik MD 500, Türkiye) kurutulmuştur. Bu amaçla ağırlık değişiminin takibi için 0.01 hassasiyete sahip terazide 30 saniye aralıklarla ölçüm gerçekleştirilmiştir

Kurutma işlemi sırasında üç farklı boyuttaki portakal kabuklarının nem oranlarının zamana göre değişim grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil

incelendiğinde, tüm güçlerde boyut değişiminin örneklerin kuruma süresinde anlamlı bir değişim göstermediği görülmektedir. Genel olarak 1.4 cm en kalınlığındaki örneklerin diğer boyutlardaki örneklerle göre en kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir. Kurutmanın ilk 8 dakikasında hızlı bir nem oranı azalışı görülmüştür ve kuruma sürelerinin 15-18 dakika arasında değiştiği görülmektedir.

Farklı boyutlarda mikrodalga yöntemi ile kurutulan portakal kabuklarının fiziksel özellik değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemiyle üç farklı mikrodalga gücünde kurutulan portakal kabuklarının boyut değişiminin son üründe nem içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde mikrodalga gücünün artmasıyla nem içeriğinin genel olarak arttığı görülmektedir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan portakal kabuklarının nem içeriği değerlerinin %2.43-9.61 (yb.) arasında değiştiği su aktivitesi değerlerinin ise 0.148-0.234 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Kurutma denemelerinde en düşük nem içeriğine sahip portakal kabuklarının mikrodalga kurutma 540W koşulunda görülürken, en düşük su aktivitesi değerine yine aynı koşulda 1.4 cm en değerindeki örneklerde rastlanmıştır.

Tablo 4. 5 Farklı kurutma yöntemleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının fiziksel özellikleri

Kurutma Yöntemi/Koşulu	Boyut	Nem İçeriği (%)	Su Aktivitesi
Hammadde	-	68.31±0.83	0.982±0.002
Mikrodalga 360 W	B1	3.52±0.56	0.207±0.001
	B2	4.24±1.53	0.177±0.003
	B3	4.48±1.19	0.197±0.001
Mikrodalga 540 W	B1	2.43±0.30	0.143±0.001
	B2	2.68±0.42	0.234±0.002
	B3	3.47±0.08	0.217±0.002
Mikrodalga 720W	B1	9.61±0.01	0.184±0.002
	B2	3.99±2.37	0.148±0.001
	B3	5.11±3.34	0.175±0.002

Örneklere ait enerji tüketim değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Mikrodalga kurutmada gücün artmasıyla SMER ve SEC değerleri olarak artmış MER değerleri ise tüm güçlerde benzer sonuçlar vermiştir. Mikrodalga kurutmada 3 farklı boyut

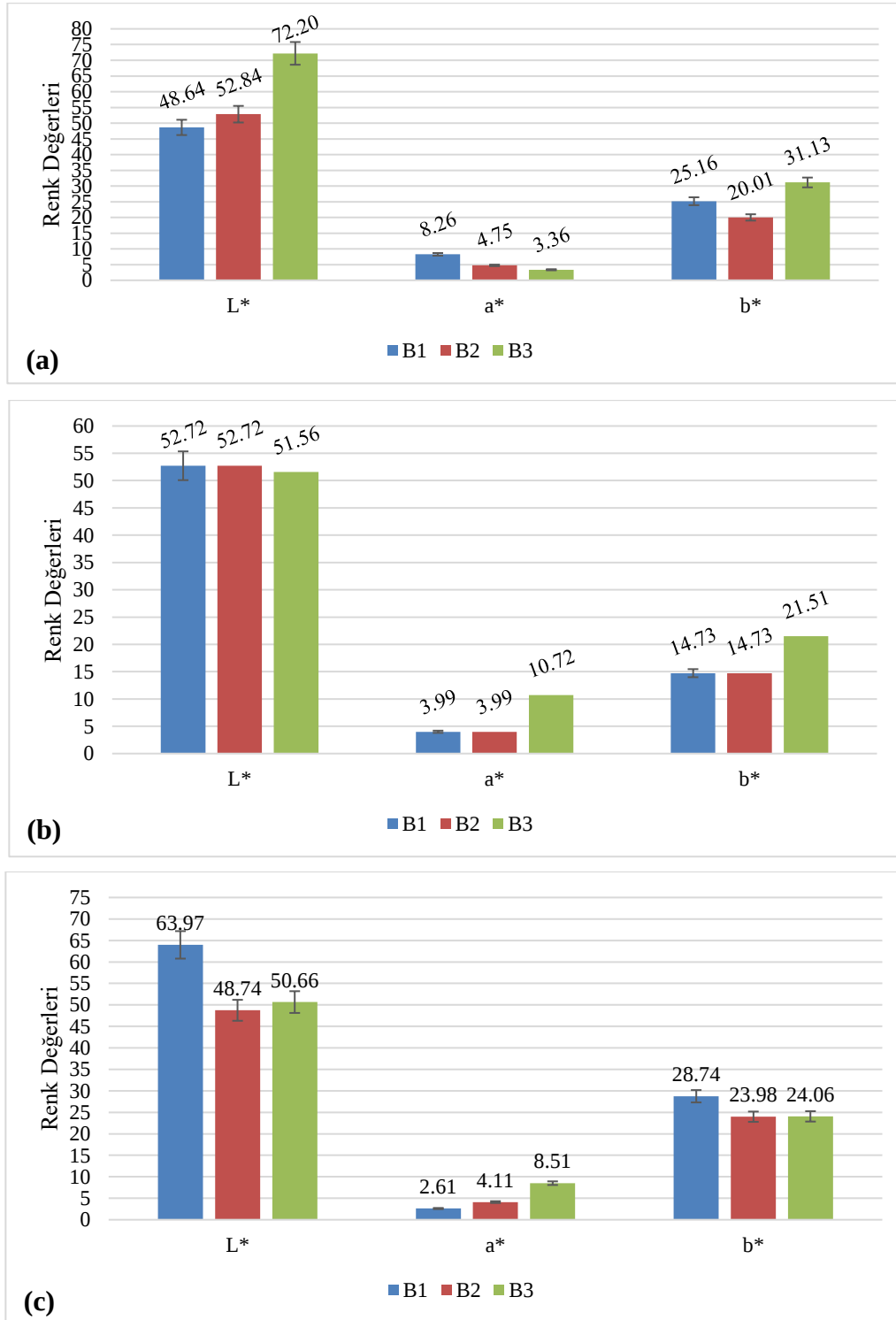
için yapılan denemelerde en iyi SMER değerlerinin mikrodalga 360 W koşulunda olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutmada denemeleri enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en yüksek SMER değerinin mikrodalga 360 W koşulunda 2.1 cm en değerindeki örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla, MER değerleri anlamlı değişim göstermezken ($P>0.05$), SEC değerlerinde anlamlı bir artış görülmüştür ($P<0.05$).

Tablo 4. 6 Farklı kurutma yöntemleri kullanarak kurutulmuş portakal kabuklarının enerji değerleri

Kurutma Yöntemi/Koşulu	Boyut	SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg su)
Mikrodalga 360 W	B1	0.16±0.01	0.08±0.01	22.03±0.02
	B2	0.16±0.02	0.08±0.02	21.96±0.02
	B3	0.19±0.01	0.09±0.01	18.91±0.01
Mikrodalga 540 W	B1	0.11±0.01	0.08±0.01	32.87±0.02
	B2	0.12±0.00	0.08±0.01	30.82±0.01
	B3	0.12±0.01	0.08±0.02	31.28±0.02
Mikrodalga 720W	B1	0.08±0.00	0.08±0.04	43.90±0.01
	B2	0.07±0.00	0.08±0.01	48.95±0.01
	B3	0.08±0.02	0.09±0.02	42.80±0.01

Kurutma işlemi öncesinde portakal kabuklarının renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) sırasıyla 66.03 ± 4.93 , 4.45 ± 7.15 ve 30.22 ± 12.82 olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemleri portakal kabuklarının renk değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0.05$). Portakal kabuklarının mikrodalga kurutma sonucu renk değişimi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Kurutma işlemi sonrasında portakal kabuklarının parlaklık (L^*) değerlerinin genel olarak azaldığı gözlenmiştir. Sarılık-mavilik renk özelliğini ifade eden b^* değerleri incelendiğinde yine mikrodalga kurutma sonucunda b^* değerinde bir düşüşün olduğu görülmektedir.

Farklı boyutlar için gerçekleştirilen analizler sonucunda 1.4 cm ene sahip örnekler seçilerek denemelerde bu boyut ölçülerinde hammaddeler kullanılmıştır.



Şekil 4. 6 Portakal kabuklarının mikrodalga 360W (a), 540W (b) ve 720 W (c) güçlerinde kurutulması ile renk değişimi

4.2 Portakal Kabuklarının Kurutulması ile İlgili Sonuçlar

4.2.1 Portakal Kabuklarının Ön işlemlerinin gerçekleştirilmesi

Tez çalışmasında kurutma denemelerinde kullanılacak portakal kabuklarının denemelerde standart örnek olarak kullanılması için mevsiminde toplu bir şekilde alınarak ön işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kabuk sebze oranı ön denemelerle hesaplanmıştır ve İzmir'deki yerel marketlerden 55 kg portakal alınarak ön işlemler uygulanmıştır. Bezelyeler öncelikle çevre kirliliklerinden arındırmak amacıyla su ile yıkanmıştır ve temiz bir zemin üzerine serilerek yüzey suyu uzaklaştırılmıştır. Ardından portakal kabukları tanelerinden ayıklanarak, alüminyum kaplı polietilen (ALPE) ambalaj ile ambalajlandıktan sonra -24°C'de depolanmıştır. Portakal kabuklarının ön işlem adımları Şekil. 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 Portakal Kabuklarına Uygulanan Ön İşlem Adımları

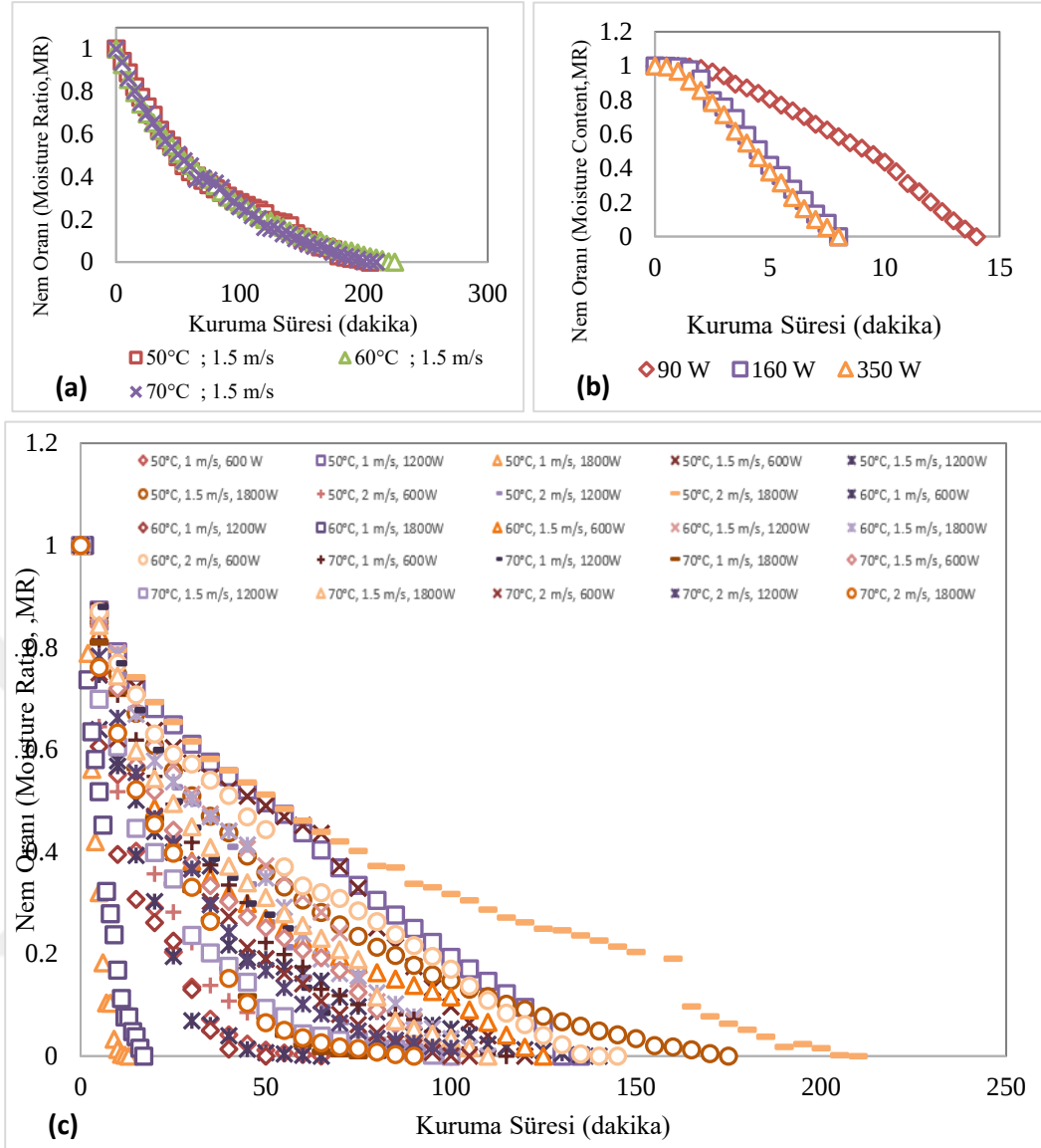
4.2.2 Portakal Kabuklarının Kuruma Davranışı ve Enerji Tüketimi

Farklı kurutma yöntemleri için portakal kabuğu nem oranı-kurutma süresi eğrileri Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Kuruma eğrileri, farklı narenciye meyvelerinin kabukları için elde edilen sonuçlar ile benzer bulunmuştur (Garau et al., 2007; Garcia-Perez et al., 2009; Ortuño et al, 2010, Manjarres-Pinzon et al, 2013, Deng et al., 2020, Elik et al., 2023). Şekil 4.8 (a)'da görüldüğü gibi portakal

kabuğunun kuruma süresi mikrodalga kurutma yönteminde 7-14 dakika arasında değişmektedir. Daha yüksek mikrodalga gücü daha kısa kuruma süresine yol açmıştır.

Konveksiyon kurutmada portakal kabuklarının kuruma süreleri 205-225 dakika arasında değişmektedir (Şekil 4.8 (b)). Sıcaklığın ürünün kuruma süresine anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Konveksiyon yöntemi kullanılarak portakal kabuklarının kuruma süresinin, diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha uzun olduğu gözlemlenmiştir ($P<0.05$).

Başta kurutma sıcaklığı olmak üzere çeşitli faktörler son ürünün fiziksel, kimyasal, duyuusal ve fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Talens et al, 2016; Lazarin et al., 2022). Daha yüksek kurutma sıcaklıklarının kurutma sürecini hızlandırdığı, düşük kurutma sıcaklıklarının ise kurutma süresini uzatma eğilimi sergilediği gösterilmiştir (Garau ve diğerleri, 2007; Barajas ve diğerleri, 2012). Şekil 4.8(c)'de görüldüğü gibi, infrared destekli taşkın yatak kurutucuda kurutmanın ilk 20 dakikasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Kurutma sıcaklığı örneklerin kuruma süresini önemli ölçüde etkilemiştir ($P<0.05$). Sıcaklık arttıkça üründen nemin uzaklaştırılması hızlanmış ve kuruma süresi azalmıştır. Kuruma sürelerinin genellikle konveksiyonla kurutmaya göre daha kısa, mikrodalga kurutmaya göre ise daha uzun olduğu görülmüştür. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucuda kurutulan portakal kabuklarının kuruma sürelerinin sıcaklık arttıkça istatistiksel olarak azaldığı görülmüştür. ($P<0.05$). Yüksek sıcaklıklarda ürün yüzeyinde kabuk oluşması nedeniyle suyun difüzyonu yavaşlamaktadır. Bu durum kuruma sürelerinin 60°C koşullarına göre diğer sıcaklıklar için daha yüksek değerlere neden olmaktadır. Ancak, bu kuruma süresi artışı anlamlı değildir ($P<0.05$). Kurutma hava hızı arttıkça kuruma sürelerinde de artış gözlenmiştir. Bu durumun gıda yüzeyindeki adsorpsiyon nedeniyle suyun üründen uzaklaştırılmasının zor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

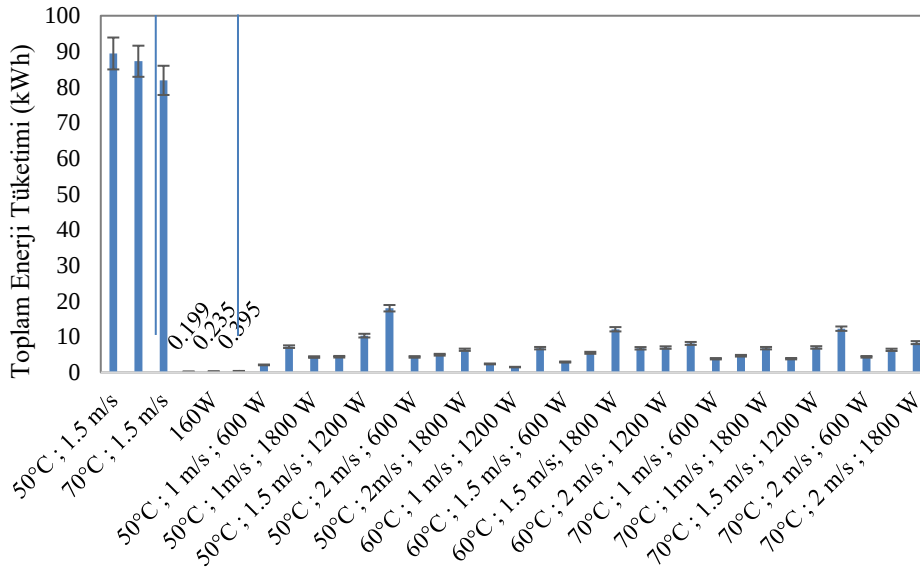


Şekil 4. 8 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda nem oranı değişimi

İnfrared gücü portakal kabuklarının kuruma davranışını ve kuruma süresini önemli ölçüde etkilemiştir ($P < 0.05$). Genel olarak diğer kurutma parametreleri sabit olduğunda (sıcaklık ve hava hızı sabiti), infrared gücü arttıkça portakal kabuklarının kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Kurutulmuş portakal kabuğu örnekleri için farklı kurutucular ve kurutma koşulları için enerji tüketimi değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. En yüksek enerji tüketim değeri (89.40 kWh) konveksiyonla kurutmada (50°C-1.5 m/s) görülmüştür. Toğrul (2006) ve Chen et al. (2001), konvektif kurutma yönteminin kuruma

süresinin uzun olması nedeniyle yüksek güç tüketimi gibi bazı dezavantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4. 9 Portakal kabuklarının farklı yöntem ve koşullarda kurutulması sonucu toplam enerji tüketim miktarları

İnfrared destekli taşkın yatak kurutucuda enerji tüketimi dikkate alındığında, kurutma havası sıcaklıklarının daha yüksek olması, daha kısa kuruma süresine bu durumda önemli ölçüde daha az enerji tüketimine neden olmuştur ($P < 0.05$). En düşük enerji tüketimi değeri, kuruma süresinin düşük olması nedeniyle mikrodalga kurutma yönteminde görülmüştür. Ayrıca, Alibaş (2006) mikrodalga kurutmanın düşük enerji tüketimli olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntem olduğunu bildirmiştir.

Kurutma işlemi sonucunda elde edilen enerji tüketim değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4. 7 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının enerji değerleri

Kurutma Yöntemi	SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg su)
Mikrodalga Kurutma			
90 W	0.250±0.010 ^b	0.003±0.001 ^a	7.90±1.01 ^a
160 W	0.282±0.012 ^c	0.002±0.002 ^a	6.50±0.48 ^a
350 W	0.204±0.025 ^a	0.002±0.001 ^a	6.01±0.06 ^a
Konveksiyonel Kurutma			
50°C, 1.5 m/s	0.466±0.250 ^a	0.010±0.000 ^a	802.14±8.94 ^c

60°C, 1.5 m/s	0.554±0.451 ^a	0.010±0.000 ^a	213.44±12.05 ^a
70°C, 1.5 m/s	0.604±0.460 ^a	0.011±0.000 ^b	540.50±3.81 ^b
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma			
50°C- 1m/s- 600 W	0.024±0.002 ^{axt}	0.05±0.01 ^{bxt}	148.01±14.79 ^{ayu}
50°C- 1m/s- 1200W	0.008±0.002 ^{ax(tu)}	0.02±0.02 ^{bxt}	479.55±6.42 ^{ay(tu)}
50°C- 1m/s- 1800 W	0.013±0.001 ^{axu}	0.05±0.02 ^{bxt}	286.11±10.35 ^{ayt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	0.013±0.002 ^{ayt}	0.03±0.02 ^{byt}	279.40±12.88 ^{axu}
50°C- 1.5m/s- 1200W	0.004±0.004 ^{ay(tu)}	0.02±0.02 ^{byt}	924.96±8.16 ^{ax(tu)}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	0.003±0.002 ^{ayu}	0.02±0.03 ^{byt}	1178.82±4.35 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	0.013±0.002 ^{ayt}	0.04±0.02 ^{b(xy)t}	278.90±7.82 ^{a(xy)u}
50°C- 2 m/s- 1200W	0.011±0.002 ^{ay(tu)}	0.04±0.01 ^{b(xy)t}	334.96±5.61 ^{a(xy)(tu)}
50°C- 2 m/s- 1800 W	0.008±0.002 ^{ayu}	0.01±0.01 ^{b(xy)t}	476.23±8.09 ^{a(xy)t}
60°C- 1m/s- 600 W	0.032±0.002 ^{axt}	0.07±0.02 ^{axt}	112.52±3.74 ^{ayu}
60°C- 1m/s- 1200W	0.043±0.002 ^{ax(tu)}	0.08±0.02 ^{axt}	84.27±7.23 ^{ay(tu)}
60°C- 1m/s- 1800 W	0.010±0.001 ^{axu}	0.05±0.00 ^{axt}	374.83±4.78 ^{ayt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	0.021±0.006 ^{ayt}	0.03±0.01 ^{ayt}	169.38±6.03 ^{axu}
60°C- 1.5m/s- 1200W	0.012±0.001 ^{ay(tu)}	0.04±0.02 ^{ayt}	297.79±3.91 ^{ax(tu)}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	0.006±0.001 ^{ayu}	0.04±0.02 ^{ayt}	654.55±8.15 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 600 W	0.011±0.001 ^{ayt}	0.03±0.01 ^{a(xy)t}	332.79±6.96 ^{a(xy)u}
60°C- 2 m/s- 1200W	0.009±0.001 ^{ay(tu)}	0.04±0.01 ^{a(xy)t}	400.66±4.09 ^{a(xy)(tu)}
60°C- 2 m/s- 1800 W	0.006±0.004 ^{ayu}	0.05±0.01 ^{a(xy)t}	463.66±5.38 ^{a(xy)t}
70°C- 1m/s- 600 W	0.016±0.002 ^{axt}	0.03±0.02 ^{(ab)xt}	228.67±7.45 ^{ayu}
70°C- 1m/s- 1200W	0.013±0.001 ^{ax(tu)}	0.04±0.01 ^{(ab)xt}	267.10±4.26 ^{ay(tu)}
70°C- 1m/s- 1800 W	0.009±0.001 ^{axu}	0.05±0.01 ^{(ab)xt}	393.00±6.87 ^{ayt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	0.016±0.007 ^{ayt}	0.04±0.02 ^{(ab)yt}	218.72±8.01 ^{ax u}
70°C- 1.5m/s- 1200W	0.008±0.001 ^{ay(tu)}	0.03±0.01 ^{(ab)yt}	434.71±5.74 ^{ax(tu)}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	0.005±0.001 ^{ayu}	0.02±0.02 ^{(ab)yt}	724.65±7.69 ^{axu}
70°C- 2 m/s- 600 W	0.013±0.005 ^{ayt}	0.03±0.02 ^{(ab)(xy)t}	273.01±3.42 ^{a(xy)u}
70°C- 2 m/s- 1200W	0.009±0.001 ^{ay(tu)}	0.04±0.02 ^{(ab)(xy)t}	390.48±7.11 ^{a(xy)(tu)}
70°C- 2 m/s- 1800 W	0.007±0.001 ^{ayu}	0.04±0.01 ^{(ab)(xy)t}	525.56±4.57 ^{a(xy)t}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

Kurutma denemeleri enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en yüksek SMER değerinin konveksiyonla kurutma 70°C koşulundaki örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Konveksiyonla kurutma denemelerinde MER değerleri mikrodalga kurutmaya göre daha yüksek bulunmuştur. İnfrared destekli taşkın yatak kurutmada SMER değerleri mikrodalga ve konveksiyonla kurutma yöntemlerine göre istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur. MER değerleri ise mikrodalga kurutma yöntemi ile benzerlik göstermektedir. SEC değerlerinde, mikrodalga kurutmada mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte anlamlı bir artış görülmüştür (P<0.05). SEC değerlerindeki bu durumun kurutma sürelerine bağlı olarak harcanan enerjinin önemli oranda değişmesi ancak gıdadan uzaklaşan su miktarının genel olarak yakın değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır.

4.2.3 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Fiziksel-Kimyasal Özellik Sonuçları

Gıdaların kurutulması, uzun vadeli muhafaza, taşıma ve ticaret süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Nem içeriği ve su aktivite değerleri bu bağlamda kurutulmuş gıdalar için temel özellikler olarak kabul edilmektedir. Nem içeriği, bir gıda ürününde bulunan su miktarını ifade etmektedir ve ürünün bozulma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Düşük nem içeriğine sahip gıdalar mikrobiyal büyümeyi ve enzimatik aktiviteyi önleyerek raf ömrünü uzatır. Su aktivitesi (a_w), bir gıda ürünündeki kimyasal içermeyen su miktarının ölçümüdür. Yüksek su aktivitesine sahip gıdalar patojen mikroorganizmaların büyümesini ve bozulma süreçlerinin hızlanmasını teşvik eder. Sonuç olarak gıda sektörü nem içeriğini ve su aktivite seviyelerini yakından analiz edip kontrol ediyor. Kurutma işlemi sırasında bu parametrelerin doğru yönetilmesi, kurutulmuş ürün kalitesini artırır (Park et al., 2008; Figura et al., 2023).

Son ürün stabilitesini korumak için su aktivitesinin 0,60'ın altında olması ve nem içeriğinin genel olarak %15'in (yb) altında olması gerektiği genel olarak kabul edilmektedir (Varhan ve diğerleri, 2018). Toz ürünler için nem içeriği ve su aktivitesi depolanma işleminde kritik faktörler olup raf ömrünün yanı sıra akışkanlık, ıslanabilirlik, fonksiyonel özellikler vb. diğer kalite özelliklerini de doğrudan etkilemektedir (Troller, 2012).

Kurutulmuş portakal kabuklarının su aktivitesi ve nem içeriği değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir. Taze portakal kabuğunun nem içeriği %76.67 (wb) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının nem içeriği değerleri sırasıyla %16.53 ile %22.82, %14.23 ile %23.47 ve %5.21 ile %26.49 (wb) arasında değiştiği tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan portakal kabuklarında en düşük nem değeri 70°C-1m/s-1800 W koşulunda görülmüştür.

M'hiri ve ark. (2015), portakal kabuğunun konveksiyon kullanılarak kurutulmasının nem içeriğini %76'dan %3.26'ya (wb) düşürüldüğünü tespit etmiştir. Bir başka çalışmada ise Özcan ve ark. (2021), portakal kabuklarının nem içeriğini konveksiyonel kurutmayla %74.4'ten %11.34'e (wb) düşürmüştür.

Tablo 4. 8 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının nem içeriği ve su aktivite değerleri

Kurutma Yöntemi	Fiziksel Özellikler	
	Nem İçeriği (% _y)	Su Aktivitesi (a _w)
Taze Portakal Kabuğu	76.67±0.43	0.998±0.080
Mikrodalga Kurutma		
90 W	18.40±0.28 ^b	0.683±0.007 ^b
160 W	22.82±0.23 ^a	0.721±0.001 ^a
350 W	16.53±0.15 ^c	0.671±0.007 ^b
Konveksiyonel Kurutma		
50°C, 1.5 m/s	23.47±0.86 ^a	0.937±0.080 ^a
60°C, 1.5 m/s	21.77±1.50 ^a	0.959±0.022 ^a
70°C, 1.5 m/s	14.23±0.19 ^b	0.840±0.010 ^a
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma		
50°C- 1m/s- 600 W	8.46±0.25 ^{axt}	0.209±0.002 ^{ayt}
50°C- 1m/s- 1200W	17.51±1.0 ^{axt}	0.654±0.001 ^{ayt}
50°C- 1m/s- 1800 W	7.58±0.35 ^{axt}	0.144±0.007 ^{ayt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	10.31±0.69 ^{ayt}	0.410±0.070 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	19.12±0.91 ^{ayt}	0.788±0.004 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	26.49±1.16 ^{ayt}	0.795±0.045 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	12.25±0.29 ^{ayt}	0.402±0.005 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1200W	15.07±0.08 ^{ayt}	0.547±0.002 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1800 W	17.49±0.24 ^{ayt}	0.746±0.001 ^{axt}
60°C- 1m/s- 600 W	6.69±0.46 ^{bxt}	0.241±0.001 ^{byt}
60°C- 1m/s- 1200W	5.85±0.27 ^{bxt}	0.275±0.054 ^{byt}
60°C- 1m/s- 1800 W	5.77±0.79 ^{bxt}	0.227±0.002 ^{byt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	24.43±0.61 ^{byt}	0.874±0.005 ^{bxt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	9.09±0.55 ^{byt}	0.308±0.001 ^{bxt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	7.51±0.37 ^{byt}	0.331±0.001 ^{bxt}
60°C- 2 m/s- 600 W	13.29±0.67 ^{byt}	0.448±0.009 ^{bxt}
60°C- 2 m/s- 1200W	8.47±0.23 ^{byt}	0.341±0.009 ^{bxt}
60°C- 2 m/s- 1800 W	10.25±0.40 ^{byt}	0.402±0.009 ^{bxt}
70°C- 1m/s- 600 W	7.27±0.45 ^{bxt}	0.283±0.001 ^{byt}
70°C- 1m/s- 1200W	5.23±0.03 ^{bxu}	0.187±0.004 ^{byt}
70°C- 1m/s- 1800 W	5.21±0.22 ^{bxv}	0.122±0.002 ^{byt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	8.28±0.88 ^{byt}	0.313±0.001 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1200W	13.60±0.91 ^{byu}	0.491±0.003 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	12.71±1.44 ^{byv}	0.490±0.010 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 600 W	13.21±0.15 ^{byt}	0.424±0.002 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 1200W	14.61±1.84 ^{byu}	0.545±0.011 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 1800 W	16.33±0.52 ^{byv}	0.456±0.001 ^{bxt}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

Kurutma yöntemleri son ürünlerin nem içeriği ve su aktivitesi değerlerini önemli ölçüde etkilenmiştir (P<0.05). Mikrodalga ve konvektif kurutucuda

kurutulan portakal kabuklarında, taşkın yataklı kurutucuya göre daha yüksek nem içerikleri gözlenmiştir ($P<0.05$). İnfrared destekli taşkın yatak kurutucuda kurutma havası sıcaklığının artmasına bağlı olarak portakal kabuklarının nem içeriği değerlerinin azalması, portakal kabuğu örneğinden bu kurutma yöntemi ile nemin hızlı bir şekilde uzaklaştırılabilmesinden kaynaklanabilir. İnfrared destekli taşkın yatak ile kurutmada, kurutma havası hızı arttıkça son ürünlerdeki nem içeriğinin istatistiksel olarak arttığı gözlenmiştir ($P<0.05$). Bunun nedeni numunedeki nemin uzaklaştırılmasını engelleyen kabuk oluşumundan kaynaklı olabilir. Son ürünün nem içeriği, 70°C kurutma koşulları altında infrared gücü arttıkça artma eğilimi göstermiştir.

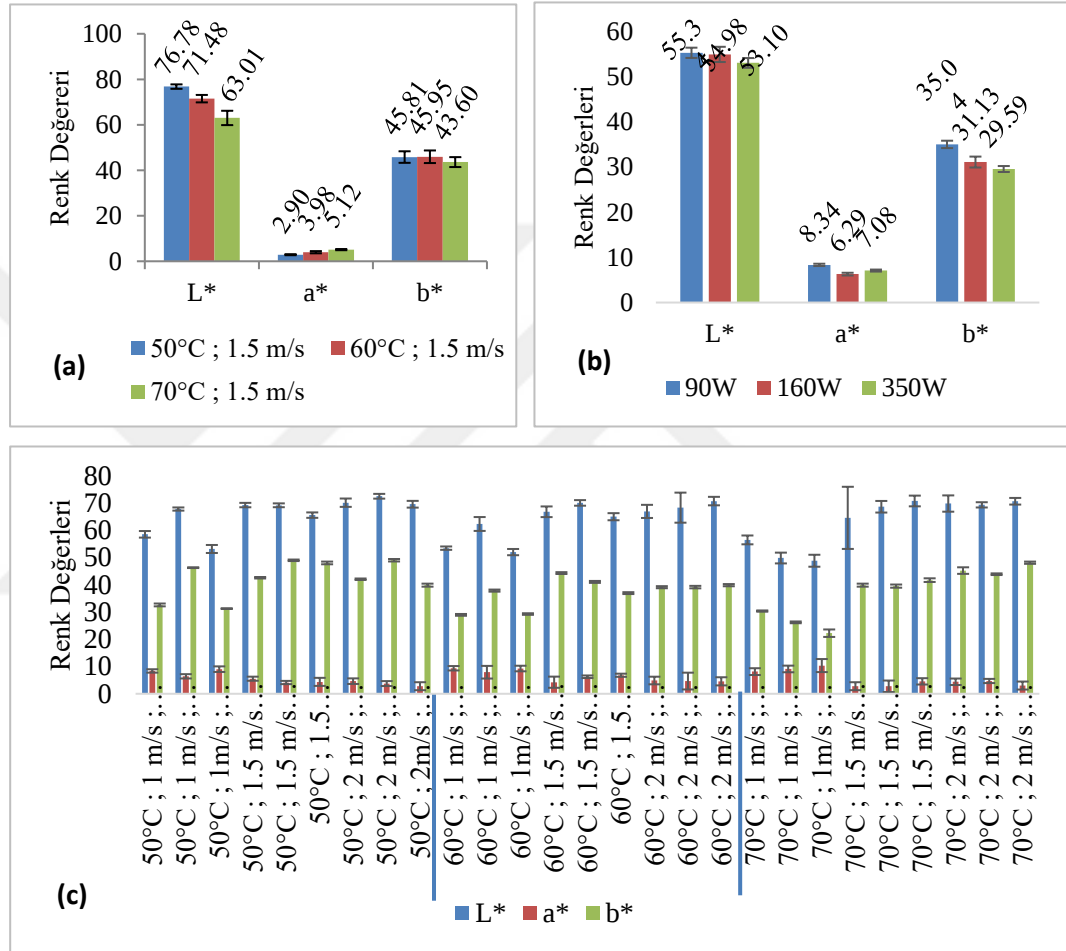
Taze portakal kabuğunun su aktivitesi 0.998 ± 0.080 olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının su aktivitesi değerlerinin sırasıyla 0.671 ile 0.721; 0.840 ile 0.959 ve 0.144 ile 0.874 arasında değiştiği belirlenmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemindeki su aktivite değerlerinin, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma tekniklerine göre (60°C -1.5m/s-600 W koşulu hariç) önemli ölçüde düşük olduğu görülmektedir ($P<0.05$). Portakal kabuklarının su aktivite değerleri genel olarak güvenli gıda su aktivite limitinin ($a_w < 0.6$) altında bulunmuştur.

Kurutulmuş meyve ve sebzelerde renk özellikle tüketici tercihi açısından en önemli kalite faktörlerinden biridir. Kurutulmuş portakal kabuğu ve posa örneklerinin organoleptik özellikleri, potansiyel renk değişikliklerinden şüphesiz etkilenecek ve bu da son ürünlerin kullanım alanlarını kısıtlayacaktır (Manjarres-Pinzon et al., 2013). Bu nedenle işlenmiş ürünlerin renginin nasıl değiştiğini belirlemek ve tüketicilerin bunları nasıl karşılayacağını değerlendirmek önemlidir. Kurutma ve diğer işlemler gıda ürünlerinde önemli ölçüde renk değişimine neden olmaktadır. Ayrıca kurutma işlemlerinde istenen bileşiğin dışındaki bileşiklerin ekstraksiyonu da istenmeyen renk değişikliklerine neden olabilmektedir Bu nedenle rengin değerlendirilmesi, kalite değerlendirmesi ve tüketicinin beğenisi açısından çok önemlidir (Garau et al., 2007; Polat, 2022).

Gıda kurutmada, CIELAB renk skalasının bir parçası olan L^* , a^* ve b^* değerleri, kurutulmuş gıda kalitesinin değerlendirilmesi açısından kritik referans değerleri olarak incelenmektedir. L^* açıklık-parlaklığı belirtir (daha açık renkler için daha yüksek değerler, daha koyu renkler için daha düşük değerler). a^* değeri

kırmızı-yeşili temsil eder (kırmızı için pozitif, yeşil için negatif), kurutma sırasında meyve ve sebzelerdeki renk değişikliklerinin tespit edilmesi açısından önemlidir.

Son olarak b^* , tahıllardaki renk değişimlerini değerlendirmek için gerekli olan sarı-maviyi (sarı için pozitif, mavi için negatif) ölçmektedir. Bu değerlerin izlenmesi, kurutulmuş gıdaların kalite standartlarını karşılamasını sağlamaya yardımcı olur ve potansiyel kimyasal reaksiyonlar veya kurutma yönteminin etkinliği hakkında fikir verir (Moyano et al., 2008; Wimalasiri et al., 2023).



Şekil 4. 10 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda renk değişimi

Taze portakal kabuğu için L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 60.80 ± 2.24 , 20.76 ± 0.74 ve 52.66 ± 2.20 olarak ölçülmüştür. Kurutulmuş portakal kabuklarının renk değerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Bu değerler Ghanem et al. (2012) ve Deng et al. (2019)'nın turunçgiller ile yaptığı çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma işlemleri için portakal kabuklarının L^* değerleri sırasıyla 53.10 ile 55.34

ila 63.01 ile 76.78 ve 49.83 ile 72.50 arasında değişmektedir. Mikrodalga kurutma ve infrared destekli taşkın yatakta 70°C'de kurutulan portakal kabuklarının parlaklık değerlerinin (L^*) diğer kurutma yöntem ve koşullarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Portakal kabuklarının kırmızı-yeşil (a^*) ve sarı-mavi (b^*) değerleri farklı kurutma yöntemleri ve koşulları için sırasıyla 2.77 ile 10.35 ve 22.23 ile 48.99 arasında değişmektedir. Kurutma işlemi taze portakal kabuğuna kıyasla renk değerleri üzerinde önemli derecede değişim yaratmıştır. Kurutma sonrasında sarı-mavi (b^*) değerleri taze portakal kabuğu değerine göre önemli ölçüde azalmıştır ($P<0.05$). Bunun nedeninin, portakal kabuğun sarı ve turuncu renginden sorumlu olan karotenoid ve flavonoidlerin konsantrasyonunun ısı etkisiyle bozulmasından kaynaklı olduğu söylenebilir (Ghanem et al., 2012; Goulas and Manganaris, 2012). Mikrodalga gücü ve yüksek sıcaklık parametreleri renk değerleri üzerinde önemli ölçüde etkili olmaktadır (Kammoun Bejar et al., 2011). İnfrared destekli taşkın yatak kurutmada sıcaklık arttıkça ürünlerin özellikle parlaklık değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

L^* , a^* ve b^* değerlerinin bir bileşimi olan ΔE farkı, ürün işleme sırasında gıda ürünlerindeki renk değişimlerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir kolorimetrik parametredir (Maskan, 2001). Portakal kabuklarının ΔE , hue açısı (H°), kroma (C) ve esmerleşme indeksi (BI) cinsinden ölçülen renk özellikleri Tablo 4.9'da sunulmuştur. Portakal kabuklarının mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma kurutma yöntemi için toplam renk değişimi (ΔE) değerleri sırasıyla 22.27 ile 27.93; 20.7 ile 25.05 ve 17.23 ile 34.43 arasında değişmektedir. Genel olarak infrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde diğer parametreler sabit kalırken sıcaklık arttıkça ΔE artmaktadır. Geleneksel, mikrodalga ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünler taze portakal kabuklarıyla karşılaştırıldığında, özellikle 50°C, 1 m/s ve 1200W koşullunda kurutulan son ürünlerde en az toplam renk değişikliği gözlenmiştir. Diğer çalışmalarda yüksek sıcaklıkların kivi dilimlerinin renk pigmentlerini bozduğu ve kızılötesiyle kurutulmuş tatlı patates, limon dilimleri ve ejderha meyvelerinin rengi üzerinde zararlı etkilere neden olduğu rapor edilmiştir (Bassey et al., 2022; Doymaz, 2018; Onwude et al., 2018; Salehi and Kashaninejad, 2018).

Tablo 4. 9 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının ΔE , Hue açısı (H°), Kroma (C) ve Esmerleşme indeksi (BI) değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Özellikleri			
	ΔE	H°	C	BI
Taze Portakal Kabuğu	-	2.54±0.12	56.62±2.13	81.90±2.84
Mikrodalga Kurutma				
90 W	22.27±0.87 ^b	4.21±0.19 ^b	36.02±0.78 ^a	105.19±1.68 ^a
160 W	26.64±1.30 ^a	4.96±0.36 ^a	31.76±1.17 ^b	88.18±2.22 ^b
350 W	27.93±0.86 ^a	4.18±0.13 ^b	30.42±0.66 ^b	87.86±1.45 ^b
Konveksiyonel Kurutma				
50°C, 1.5 m/s	25.05±1.12 ^a	15.88±1.09 ^a	45.09±2.54 ^a	88.58±8.11 ^a
60°C, 1.5 m/s	21.22±1.03 ^b	11.62±0.74 ^b	46.12±2.80 ^a	99.93±7.90 ^a
70°C, 1.5 m/s	20.70±1.06 ^b	8.61±0.93 ^c	43.90±0.71 ^a	121.90±35.35 ^a
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma				
50°C- 1m/s- 600 W	23.72±0.67 ^{bxt}	75.61±0.77 ^{ay(tu)}	33.67±0.67 ^{ayu}	88.68±3.63 ^{ayt}
50°C- 1m/s- 1200W	17.23±0.24 ^{bxt}	82.12±0.11 ^{ay(tu)}	46.73±0.79 ^{ayt}	112.21±1.75 ^{ayt}
50°C- 1m/s- 1800 W	25.62±1.35 ^{bxt}	73.88±0.39 ^{ay(tu)}	32.53±1.01 ^{ayu}	96.93±0.77 ^{ayt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	20.17±0.42 ^{byt}	82.61±0.42 ^{ax(tu)}	42.94±0.73 ^{axu}	95.57±1.74 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	25.23±0.36 ^{byt}	85.19±0.32 ^{ax(tu)}	49.10±0.60 ^{axt}	115.72±3.21 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	17.79±0.72 ^{byt}	84.81±0.52 ^{ax(tu)}	48.22±1.50 ^{axu}	120.49±5.12 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	21.54±0.55 ^{byt}	83.73±0.30 ^{ax(tu)}	42.29±1.03 ^{axu}	91.18±2.47 ^{a(xy)t}
50°C- 2 m/s- 1200W	21.01±0.70 ^{byt}	85.63±0.59 ^{ax(tu)}	49.15±0.88 ^{axt}	107.17±1.96 ^{a(xy)t}
50°C- 2 m/s- 1800 W	23.81±1.21 ^{byt}	86.02±0.80 ^{ax(tu)}	39.97±1.46 ^{axu}	83.73±5.09 ^{a(xy)t}
60°C- 1m/s- 600 W	23.32±0.99 ^{bxt}	72.09±0.18 ^{byt}	30.43±0.87 ^{byu}	88.03±2.28 ^{byt}
60°C- 1m/s- 1200W	19.88±1.82 ^{bxt}	78.17±0.79 ^{byt}	38.68±2.29 ^{byt}	97.70±3.72 ^{byt}
60°C- 1m/s- 1800 W	27.54±1.30 ^{bxt}	72.43±0.32 ^{byt}	30.69±1.05 ^{byu}	92.37±2.11 ^{byt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	19.67±0.69 ^{byt}	84.53±0.52 ^{bxt}	44.51±2.04 ^{bxu}	105.07±2.82 ^{bxt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	20.80±0.51 ^{byt}	81.36±0.55 ^{bxt}	41.53±0.44 ^{bxt}	90.24±1.58 ^{bxt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	21.49±0.51 ^{byt}	79.58±0.63 ^{bxt}	37.56±0.53 ^{bxu}	87.88±1.98 ^{bxt}
60°C- 2 m/s- 600 W	21.95±0.24 ^{byt}	82.90±0.71 ^{bxt}	39.42±1.36 ^{bxu}	88.60±1.17 ^{b(xy)t}
60°C- 2 m/s- 1200W	23.19±0.85 ^{byt}	83.11±1.27 ^{bxt}	39.44±3.00 ^{bxt}	86.02±1.52 ^{b(xy)t}
60°C- 2 m/s- 1800 W	23.01±0.51 ^{byt}	83.45±0.78 ^{bxt}	40.12±1.45 ^{bxu}	83.69±2.10 ^{b(xy)t}
70°C- 1m/s- 600 W	26.05±1.35 ^{axt}	81.41±0.32 ^{(ab)yu}	31.42±1.26 ^{byu}	84.80±2.35 ^{byt}
70°C- 1m/s- 1200W	30.95±1.86 ^{axt}	70.84±0.30 ^{(ab)yu}	27.75±1.25 ^{byt}	85.58±0.96 ^{byt}
70°C- 1m/s- 1800 W	34.43±2.33 ^{axt}	64.84±4.24 ^{(ab)yu}	24.59±2.05 ^{byu}	75.24±7.43 ^{byt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	24.97±3.26 ^{ayt}	86.01±0.83 ^{(ab)xu}	39.97±1.45 ^{bxu}	103.22±4.80 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1200W	23.82±1.14 ^{ayt}	86.02±0.87 ^{(ab)xu}	39.61±2.10 ^{bxt}	84.17±4.51 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	22.06±1.07 ^{ayt}	83.75±1.03 ^{(ab)xu}	41.96±1.11 ^{bxu}	89.01±3.18 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 600 W	20.34±1.66 ^{ayt}	84.41±1.69 ^{(ab)xu}	45.45±1.06 ^{bxu}	101.70±4.78 ^{b(xy)t}
70°C- 2 m/s- 1200W	20.25±0.21 ^{ayt}	83.90±0.40 ^{(ab)xu}	44.13±0.77 ^{bxt}	98.55±1.64 ^{b(xy)t}
70°C- 2 m/s- 1800 W	20.89±0.74 ^{ayt}	86.42±0.43 ^{(ab)xu}	48.20±1.48 ^{bxu}	107.64±4.70 ^{b(xy)t}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).
t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

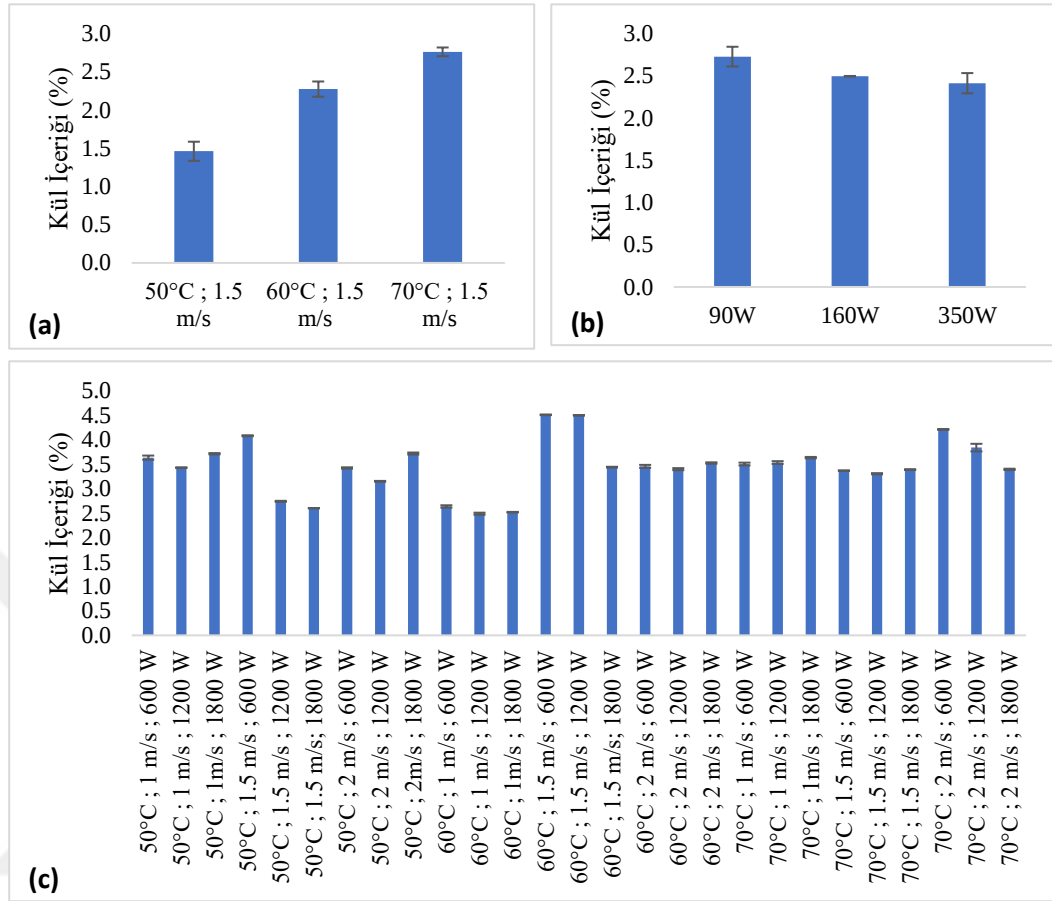
Taze portakal kabuğunun hue açısı (H°), chroma (C) ve esmerleşme indeksi (BI) değerleri sırasıyla 2.54 ± 0.12 , 56.62 ± 2.13 ve 81.90 ± 2.84 olarak ölçülmüştür. Portakal kabuğu örneklerinin H° değerleri, tüm kurutma yöntemlerinde taze örneklerle göre önemli ölçüde artmıştır ($P<0.05$). Bu artıştan termal pigment bozulması sorumlu olabilir (Tekgül ve Baysal, 2019).

Kroma değeri renk doygunluğunun seviyesini temsil eder ve rengin yoğunluğuyla ilişkilidir (Kesbi vd., 2016). Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının kroma değerleri sırasıyla 30.42 ile 36.02; 43.90 ile 46.12 ve 30.43 ile 49.10 arasında değişmektedir. Taze ve kuru portakal kabukları arasında önemli renk değişiklikleri görülmüştür ($P<0.05$). 50°C -1,5m/s-1200W'de infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuş portakal kabuklarının kroma değerleri, en yüksek renk doygunluğuna sahip en parlak portakal kabuğuna karşılık gelecek şekilde taze portakal kabuğuna en yakın değerde bulunmuştur. En düşük kroma değerleri mikrodalga kurutma ile kurutulan portakal kabuklarında gözlenmiş ve bu yöntemle kurutulan son ürünler diğer kurutma yöntemlerine göre en mat renkli numuneler olarak değerlendirilmiştir. Literatürde kurutulmuş meyvelerin kroma değerleri açısından da benzer sonuçlar gözlenmiştir (Kumar et al., 2022; Kesbi et al., 2016; Salehi and Kashaninejad, 2018; Tuncer et al., 2020).

Esmerleşme indeksi, kahverengi rengin saflığını temsil eder ve enzimatik veya enzimatik olmayan esmerleşmeyi içeren işlemlerde önemli bir indikataör olarak değerlendirilmektedir (Phuon ve diğerleri, 2022). Portakal kabuğuna ait en yüksek esmerleşme indeksi değeri 70°C , 1,5 m/s (121.90 ± 35.35) sıcaklıkta konveksiyonla kurutma yönteminde elde edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutmada özellikle sıcaklığın artmasıyla esmerleşme indeksi değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

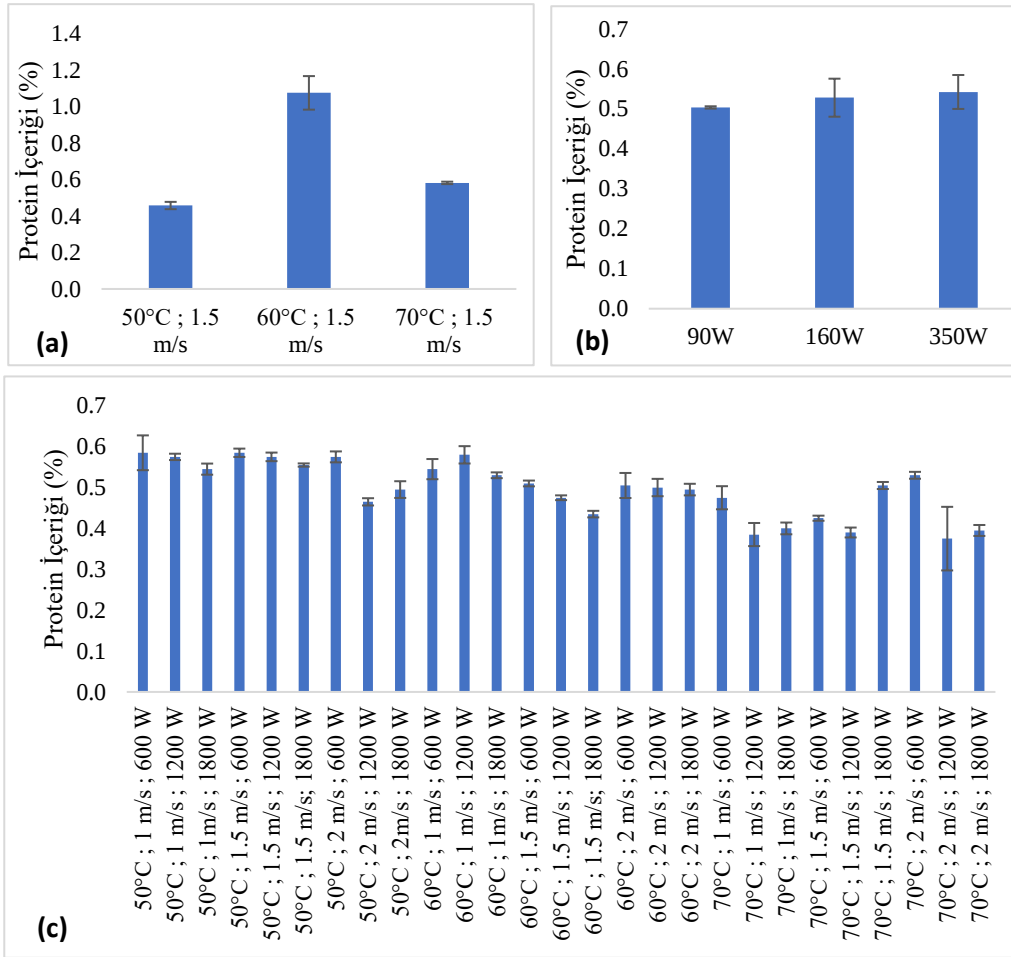
Kurutulmuş portakal kabuklarının kül içeriği değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Taze portakal kabuğunun kül içeriği $\%0.525\pm0.019$ (wb) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının kül içeriği değerleri sırasıyla $\%2.41$ ile $\%-2.72$; $\%1.46$ ile $\%2.76$ ve $\%2.48$ ile $\%4.50$ (wb) arasında değiştiği tespit edilmiştir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan portakal kabuklarında en düşük kül içeriği 350W mikrodalga kurutma koşulunda görülmüştür.



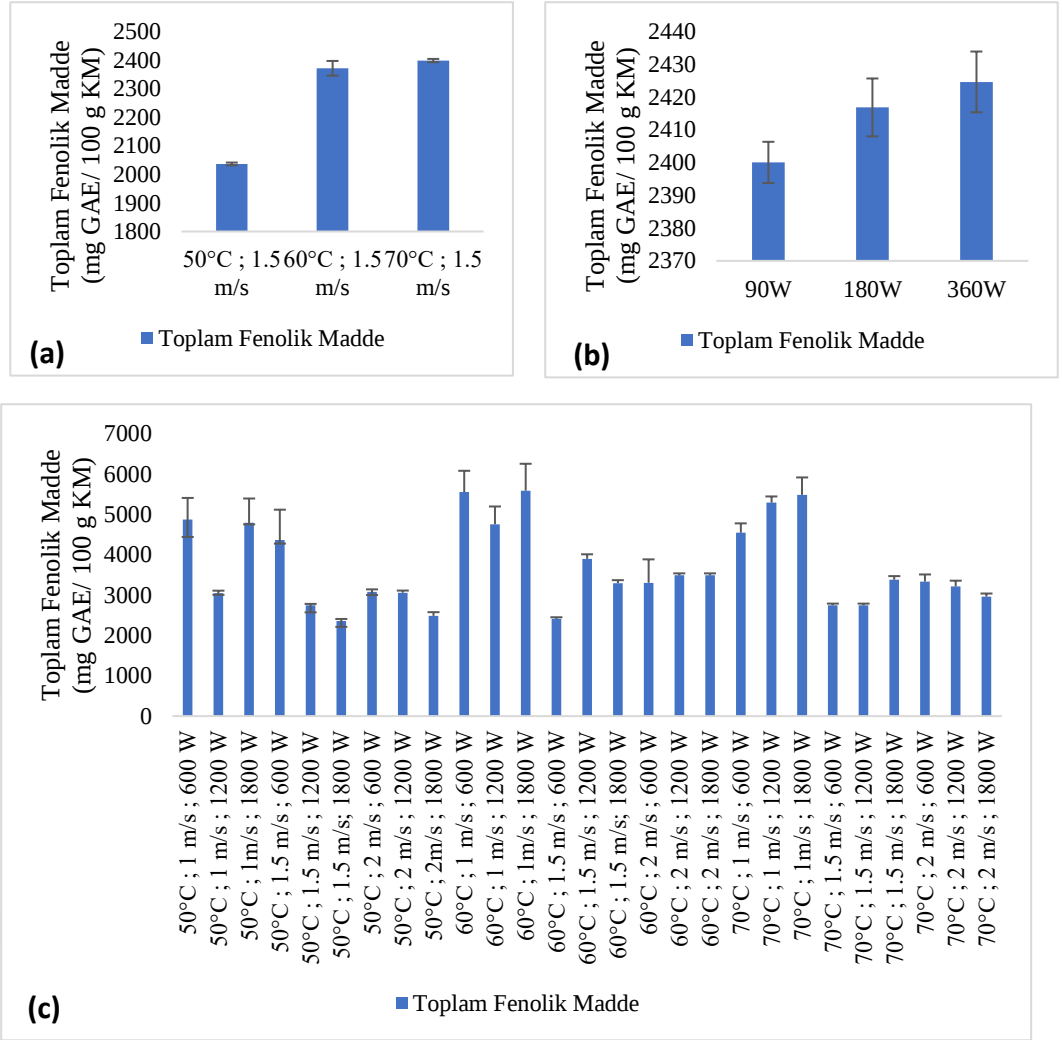
Şekil 4. 11 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu kül içeriği (%) değişimi

Kurutulmuş portakal kabuklarının protein içeriği değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Taze portakal kabuğunun kül içeriği 0.081 ± 0.025 (yb) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının kül içeriği değerleri sırasıyla %0.50 ile %0.54.; %0.46 ile %1.07 ve %0.40 ile %0.59 (yb) arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük kül içeriği değeri infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi 70°C-2m/s-1800 W koşulunda görülmüştür.



Şekil 4. 12 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu protein içeriği (%) değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının toplam fenolik madde içeriği değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Taze portakal kabuğunun toplam fenolik madde içeriği 5541.21 ± 20.18 mg GAE/100g KM olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının toplam fenolik madde içeriği değerleri sırasıyla 2400.06 ± 6.28 mg GAE/100g KM ile 2424.63 ± 9.27 mg GAE/100g KM; 2036.58 ± 4.87 mg GAE/100g KM ile 2398.53 ± 5.71 mg GAE/100g KM ve 2596.54 ± 93.01 mg GAE/100g KM ile 5288.99 ± 12.53 mg GAE/100g KM arasında değiştiği tespit edilmiştir. Taşkın yatak kurutma yönteminde genel olarak sıcaklığın artmasıyla toplam fenolik madde içeriğinin azalmaktadır ve en düşük toplam fenolik madde içeriği değeri konveksiyonel kurutma yöntemi 50°C -1.5m/s koşulunda görülmüştür.

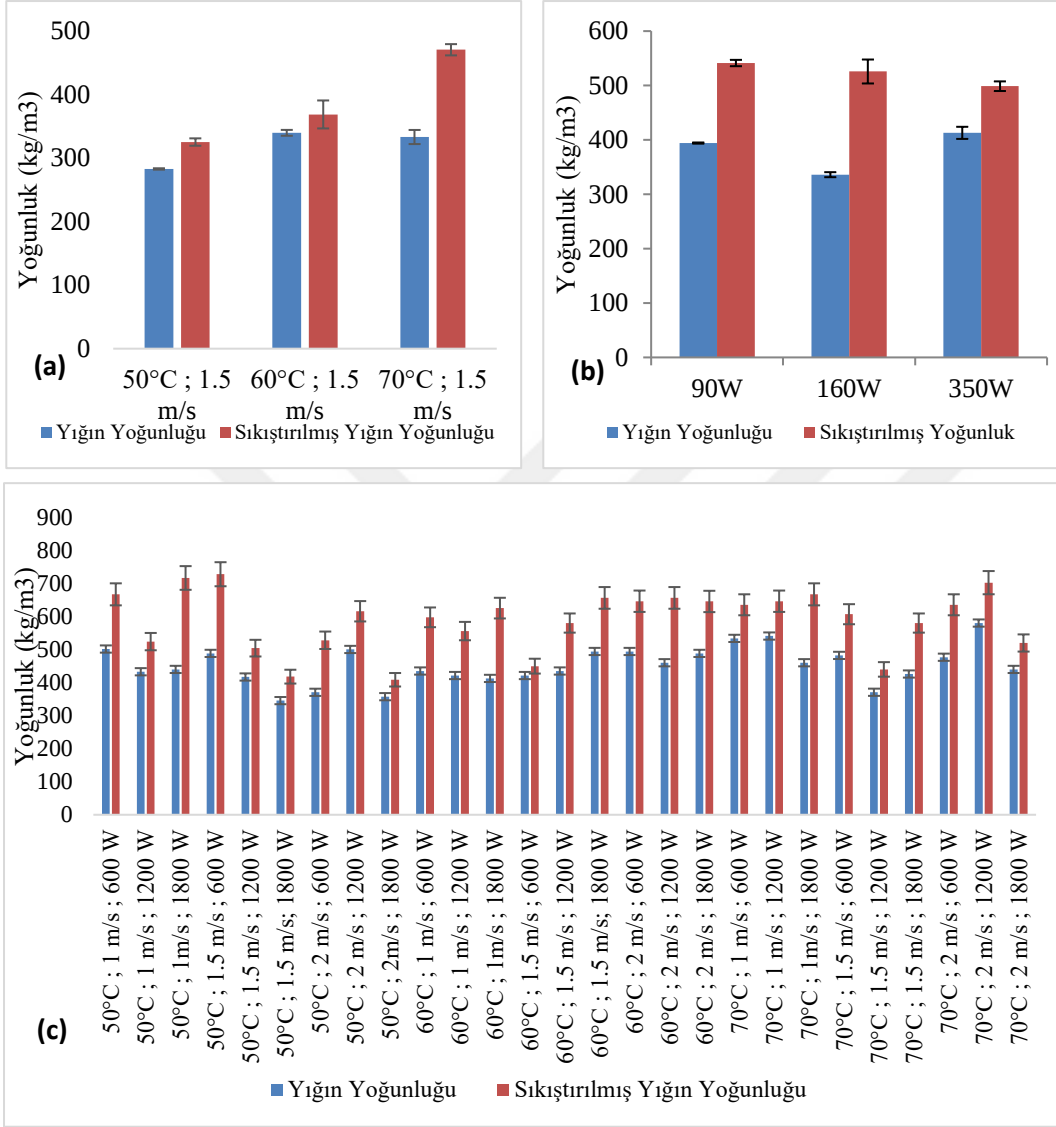


Şekil 4. 13 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu toplam fenolik madde (mg GAE/ 100 g KM) değişimi

4.2.4 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Toz Ürün Özelliği Sonuçları

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının yığın yoğunluğu değerlerinin sırasıyla 282.97 ± 1.05 ile 339.84 ± 4.62 kg/m^3 ; 336.04 ± 3.96 ile 412.92 ± 2.12 kg/m^3 ve 345.79 ± 11.69 ile 580.78 ± 8.81 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde diğer kurutma yöntemlerine göre sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Mikrodalga kurutma yönteminde kuruma sürelerinin diğer yöntemlerden kısa olmasının suyun üründen daha hızlı

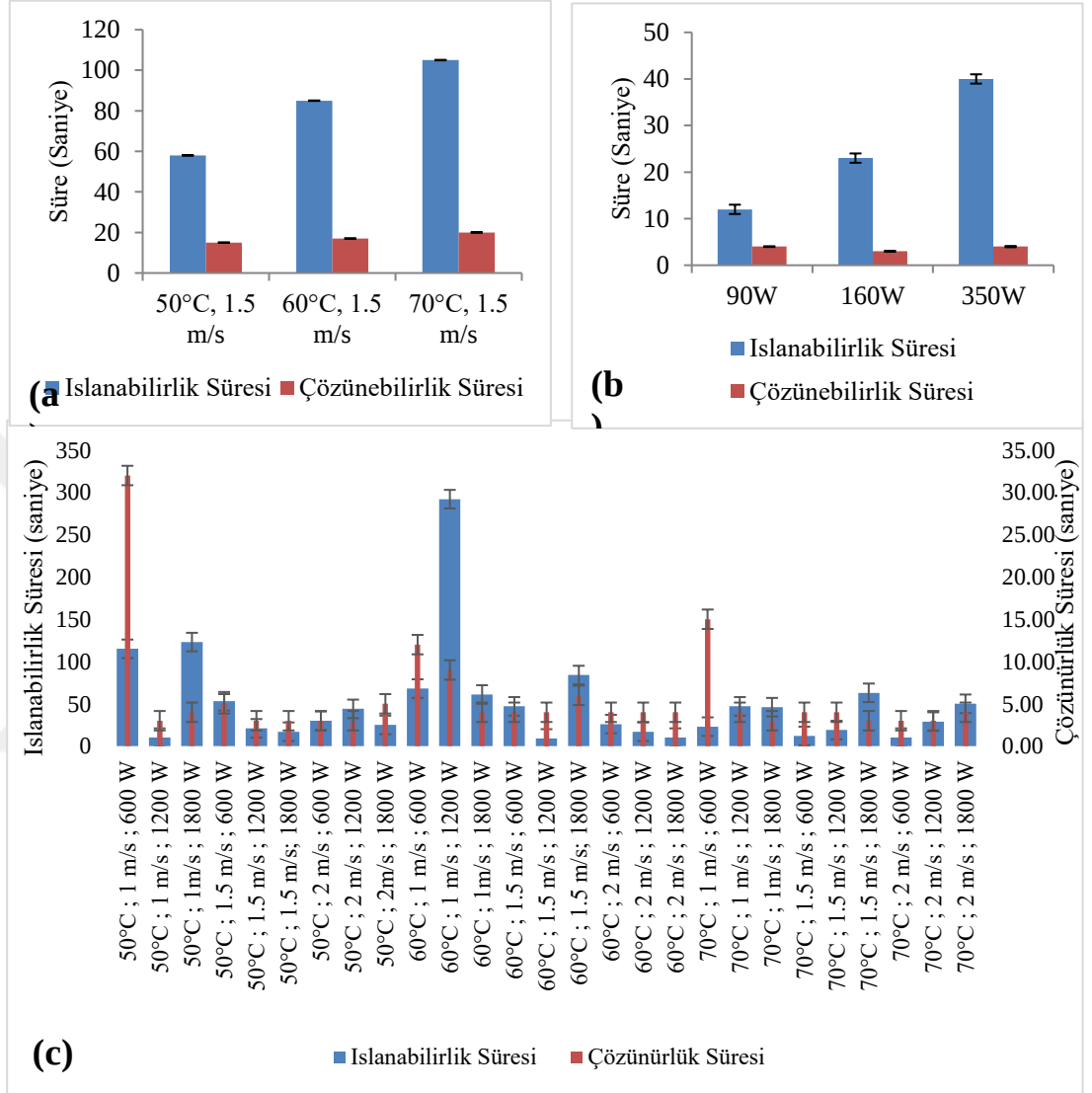
uzaklaşmasını ve dolayısı ile son üründe yoğunluğun daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Taşkın yatak kurutma yönteminde genel olarak sıcaklığın artmasıyla yığın yoğunluğu değerlerinin arttığı ve en yüksek yığın yoğunluğu değerinin infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi 70°C-2 m/s-1200W



Şekil 4. 14 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değişimi

Toz gıdaların ıslanabilirliği suya atıldığında suyu tutabilme kabiliyetini göstermektedir. (Koç ve ark., 2011). Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının ıslanabilirlik ve çözünürlük süreleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Konveksiyonla kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerinde

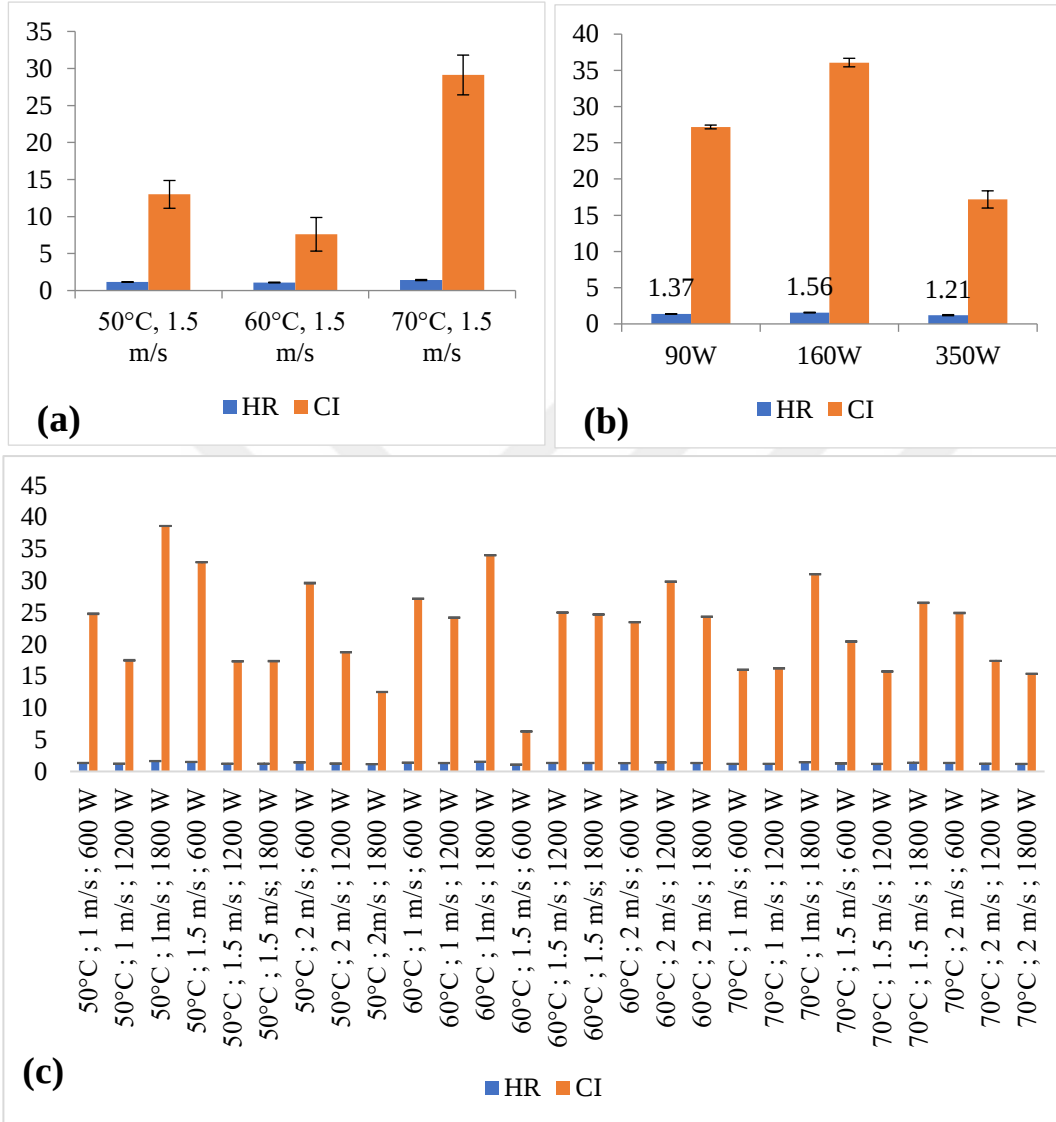
ıslanabilirlik süreleri kurutma sıcaklığı ve kurutma gücü arttıkça anlamlı ölçüde artmıştır ($P<0.05$). İnfrared destekli taşkın yatak kurutma denemelerinde ıslanabilirlik ve çözünürlük sürelerinin genel olarak sırasıyla 50 ve 10 saniye civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 15 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu ıslanabilirlik ve çözünürlük süresi değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının yapışkanlık ve akabilirlik değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan portakal kabuğu tozlarının Hausner oranı ve Carr indeks değerlerinin Geçerli-Zayıf gruplarında yer aldığı tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan portakal

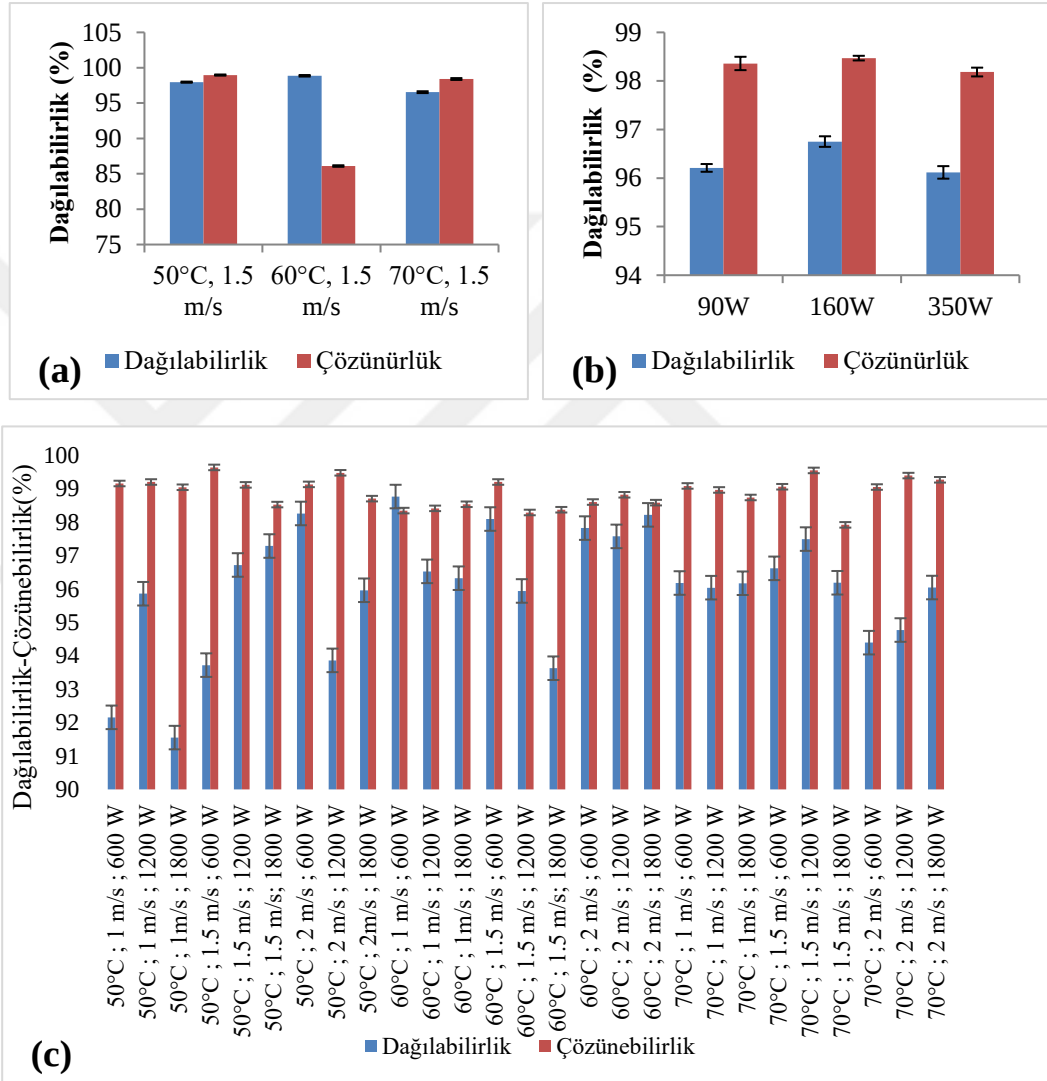
kabuğu tozlarının yapışkanlık değerlerinin genel olarak orta-iyi aralığında yapışkanlık değerlerinin ise orta-geçerli sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.. Bu özelliklerin geliştirilmesi gerektiği ancak yine de gıdalarda kullanımının uygun sınırlarda olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 16 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yapışkanlık (HR) ve akabilirlik (CI) değişimi

Dağılılabirlik, toz ürünün sıvı içinde partiküllere ayrılma yeteneğidir ve toz ürünlerin gıda endüstrisinde kullanılabilirliğini belirleyen bir faktördür (Hui, 2008). Yüksek gözenek içeriğine sahip partiküller, iyi dağılılabirlik için gereklidir.

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının dağılıbilirlik ve çözünabilirlik değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Konveksiyonla kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulan portakal kabuklarında dağılıbilirlik değerleri yüksek bulunmuştur. Mikrodalga kurutmada genel olarak dağılıbilirlik değerlerinin düşük olmasının, ürünün kuruma sırasında kabuk oluşturması, gözenekli yapısını koruyamaması ve bu durumun dağılıbilirlik değerlerini olumsuz yönde etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



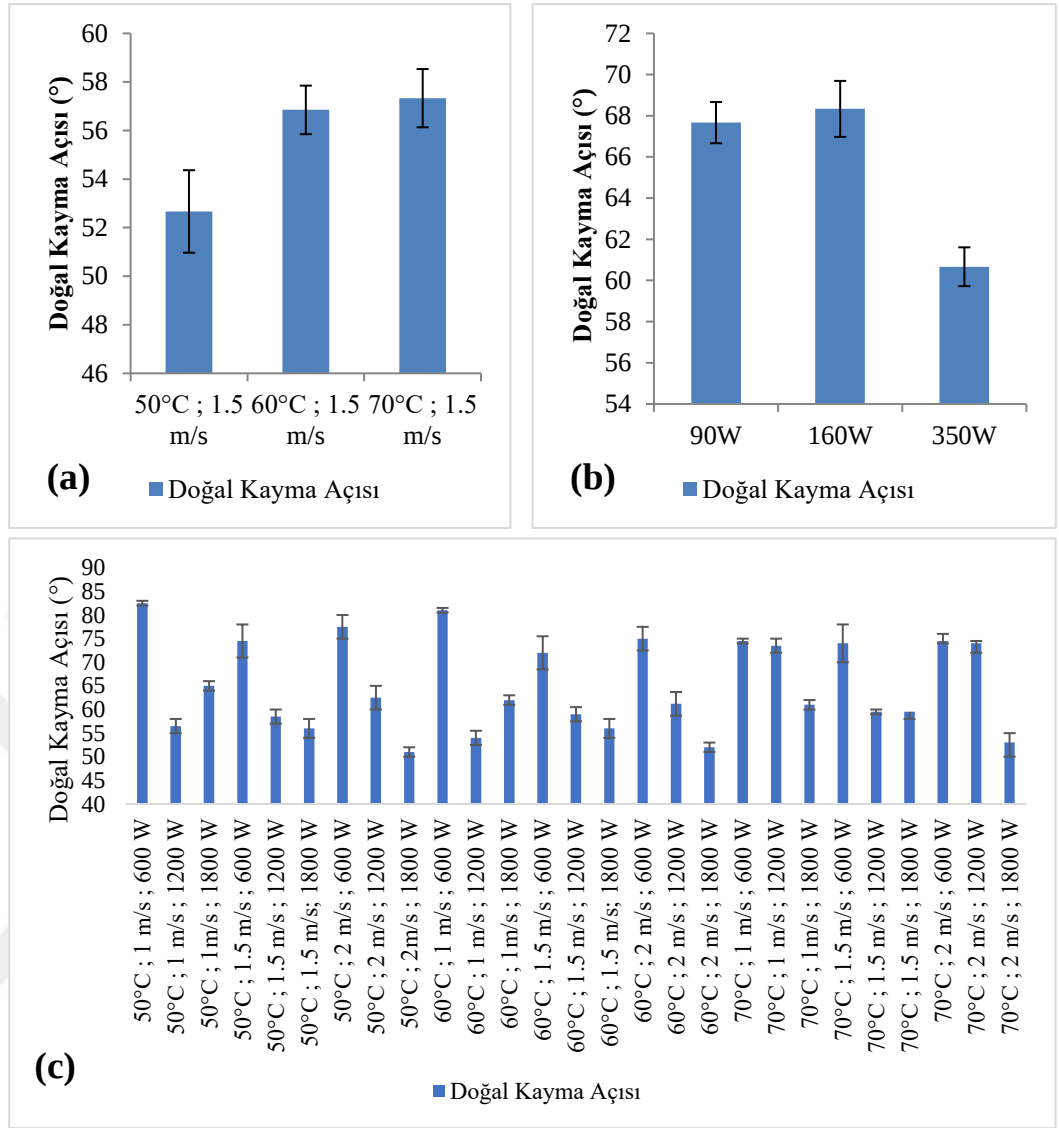
Şekil 4. 17 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu dağılıbilirlik ve çözünürlük değişimi

İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan portakal kabuğu tozlarının dağılıbilirlik değerlerinin %92 ve üzerinde olduğu görülmüştür.

En yüksek dağılabilirlik değerlerinin genel olarak 60°C sıcaklıktaki infrared destekli taşkın yatak kurutma koşullarına ait olduğu görülmektedir.

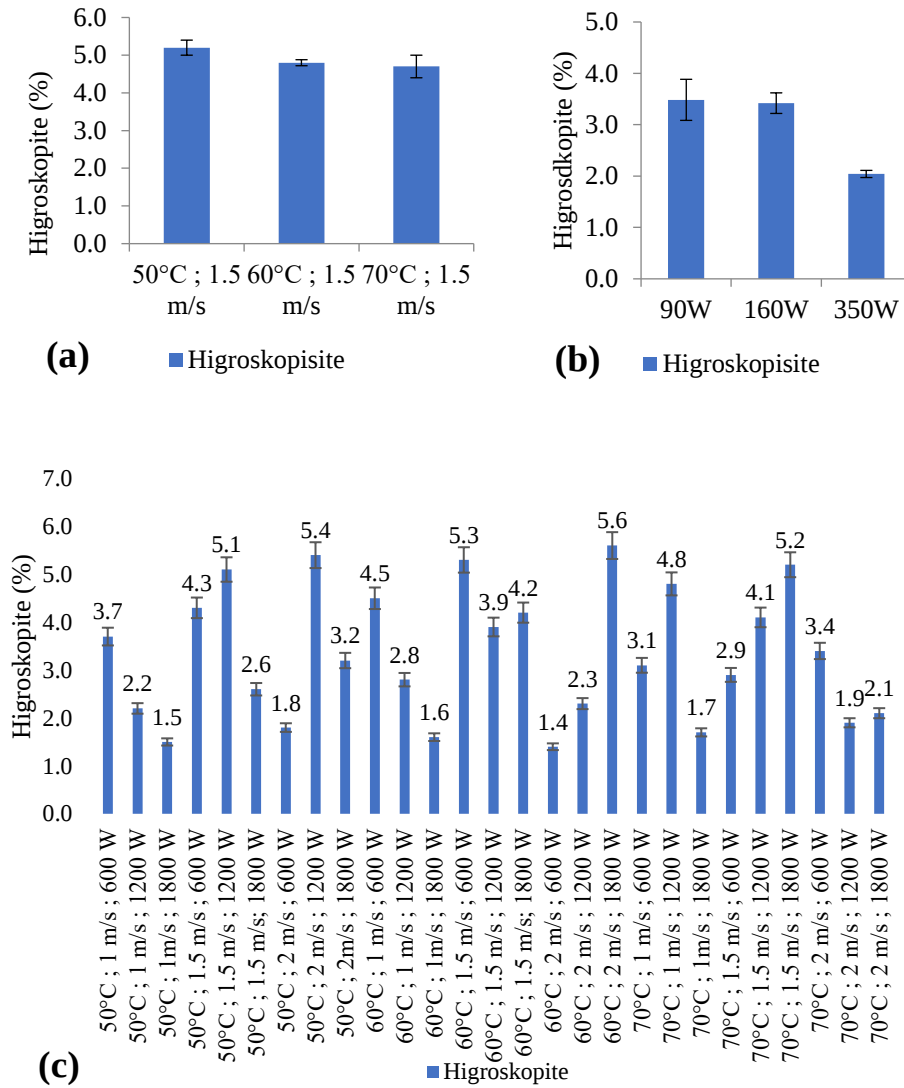
İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan portakal kabuğu tozlarının çözünübilirlik değerlerinin %98'in üzerinde olduğu görülmüştür. Farklı kurutma yöntemlerinde kurutulan portakal kabuğu tozlarının çözünübilirlik değerlerinin istatistik olarak birbirine yakın değerler gösterdiği belirlenmiştir ($P<0.05$).

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının doğal kayma açısı değerleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının doğal kayma açısı değerlerinin sırasıyla $60.67\pm1.00^\circ$ ile $68.33\pm1.36^\circ$; $52.67\pm1.70^\circ$ ile $57.33\pm2.05^\circ$ ve $51.00\pm1.00^\circ$ ile $82.50\pm0.50^\circ$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Konveksiyonel kurutmada kurutma sıcaklığının artmasıyla doğal kayma açısı değerleri anlamlı ölçüde artmaktadır ($P<0.05$). Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde ise doğal kayma açısı değerlerinin konveksiyonel kurutmaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde infrared gücünün artmasının istatistiksel olarak doğal kayma açısını azalttığı tespit edilmiştir. En düşük doğal kayma açısı değeri 60°C-2 m/s-1800W koşulunda gözlenmiştir.



Şekil 4. 18 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalgı kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu doğal kayma açısı değışimi

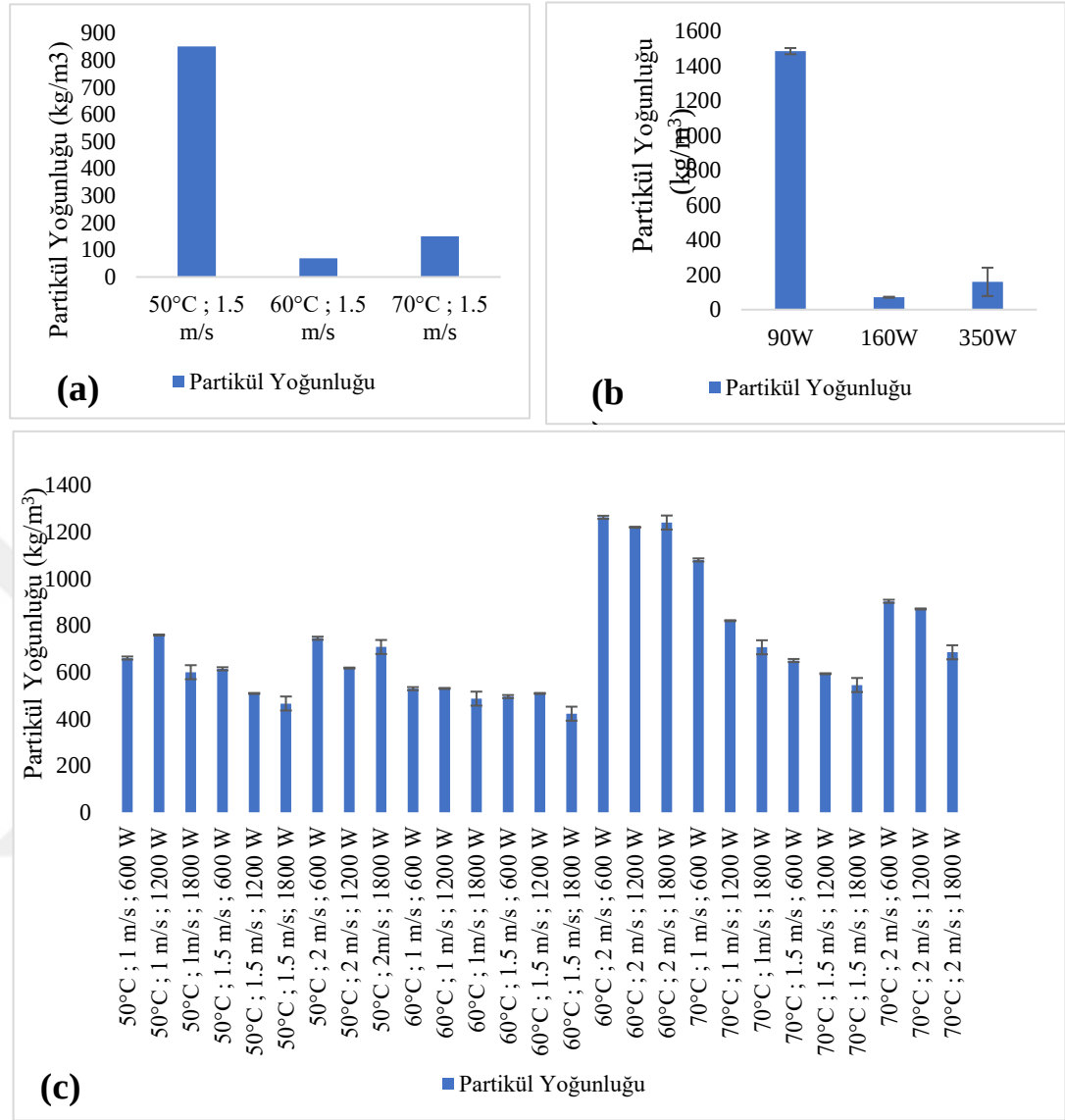
Higroskopite, bir malzemenin su alabilme yeteneğini ifade etmektedir. Toz ürünlerin depolanması sırasında, higroskopitesinin, ürünün bulunduğu ortamdaki bağıl nem seviyelerinden nasıl etkileneceğı veya ambalaj malzemesi seçiminde ne kadar önemli olduğı, daha önce yapılan çalışmalarda vurgulanmaktadır (Atacan ve Yanık, 2017). Yüksek higroskopite sahip ürünler, çevredeki nem miktarını daha fazla absorbe edebilirler. Ayrıca, higroskopitedeki artış, partiküller arasındaki yüksek yapışkanlık davranışını tetikleyebilir (Finney et al., 2002).



Şekil 4. 19 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu higroskopite değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının higroskopite değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Higroskopite değerlerinin konveksiyonel kurutmada kurutma sıcaklığından istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde higroskopite değerlerinin %5'in altında olduğu tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi ile kurutulan portakal kabuğu tozlarının higroskopite değerlerinin

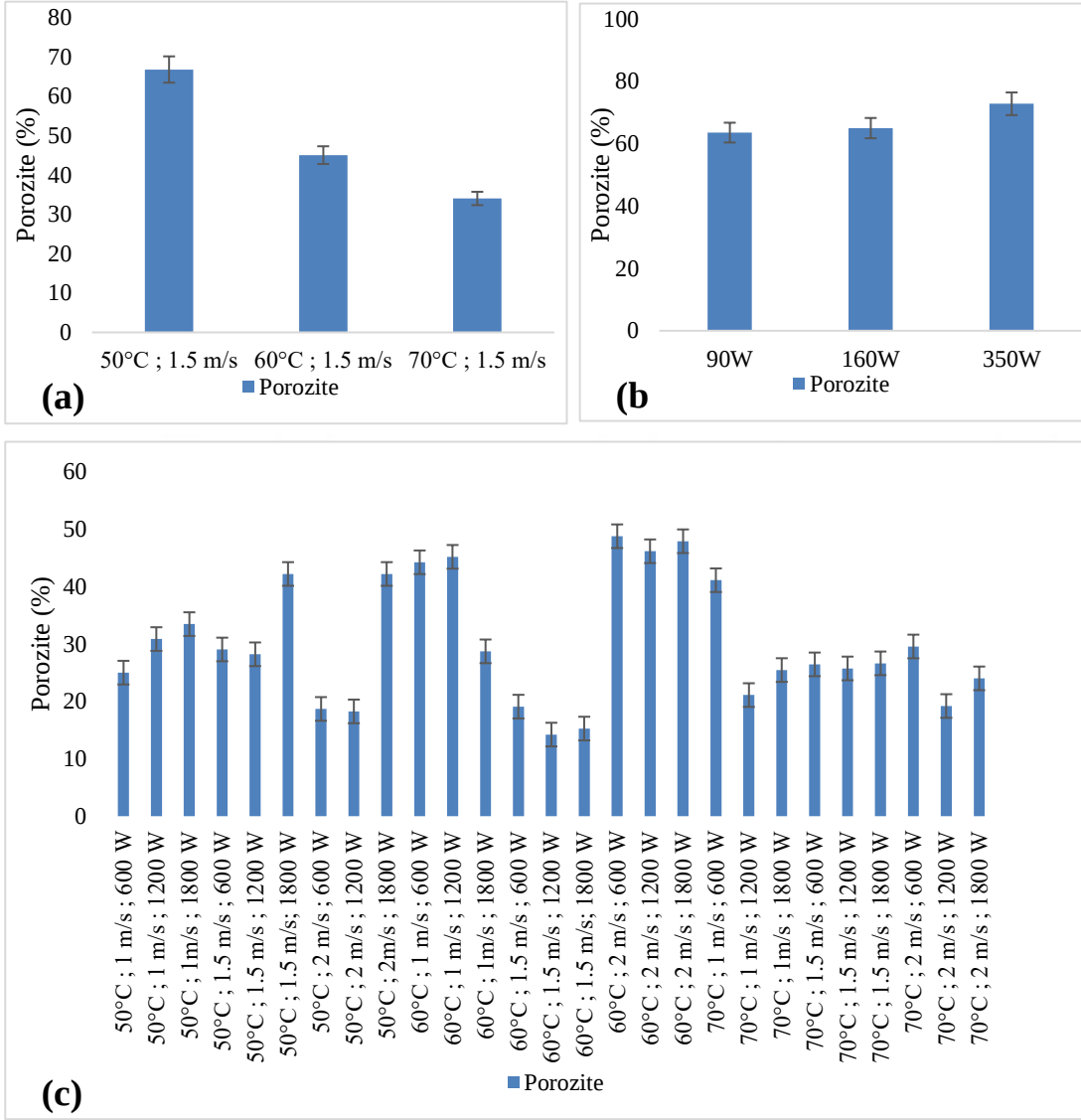
%6'nın altında olduğu görülmektedir. En düşük higroskopite değeri infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi 60°C-2 m/s-600W koşulunda görülmüştür.



Şekil 4. 20 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu partikül yoğunluğu değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının partikül yoğunluğu ve porozite değerleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir. Partikül yoğunluğu değerlerinin infrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde 50 ve 60 °C sıcaklık koşullarında 70°C koşuluna göre genel olarak daha düşük olduğu (60°C sıcaklığında 2 m/s hava hızı koşulları hariç) tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan portakal kabuğu tozlarının

porozite değerlerinin diğer kurutma yöntemlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde en yüksek porozite değerlerinin 60°C-2 m/s koşullarında görüldüğü belirlenmiştir.



Şekil 4. 21 Portakal kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu porozite değişimi

4.2.5 Kurutulmuş Portakal Kabuklarının Fonksiyonel Özellik Sonuçları

Su ve yağ tutma kapasitesi, bir malzemenin suyu ve yağı emme ve tutma yeteneğini ölçen bir parametredir. Gıda maddelerinin daha yüksek su ve yağ tutma kapasitesine sahip olmaları, bu maddelerin fonksiyonel bileşenler olarak işlev görebileceğini ifade etmektedir. Tutulan su ve yağ, gıdanın hacmini artırabilir ve ürünlerin viskozitesini ve dokusunu değiştirebilir. Bu değişiklikler, formüle edilmiş gıdalarda viskozite ve dokunun modifikasyonunu, yüksek su ve yağ tutma kapasitesine sahip bileşenlerin eklenmesiyle elde etmek mümkündür. Su ve yağ tutma kapasitesinin artmasıyla birlikte ortaya çıkan bu etkiler, gıda endüstrisinde ürün tasarımında ve kalite kontrolünde önemli bir rol oynayabilir.

Emülsiyon kapasitesi ve stabilitesi özellikle emülsiyon ajanı gerektiren gıda maddelerinin üretiminde önemli rol oynamaktadır. Vegan ve glutensiz gibi özel beslenme tercihlerinde özellikle bitkisel kaynaklardan elde edilen emülsifiye ajanlarının gerekliliği gün geçtikte artmaktadır (Qin et al., 2019). Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir Farklı kurutma yöntem ve koşullarının kurutulan portakal kabuğu tozlarının fonksiyonel özelliklerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemediği görülmektedir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde emülsiyon stabilitesi değerlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. İçeceklerde, köpüklerde, emülsiyonlarda proteinlerin fonksiyonel özellikler gösterebilmesi için öncelikle çözünabilir olmaları gerekmektedir. Bitkisel proteinlerin yapısında albümin, globülin, prolamin ve glutelinler gibi farklı çözünürlük ve molekül ağırlığına sahip protein fraksiyonlarından meydana gelir. Proteinler en düşük çözünürlüğü izoelektrik noktada gösterirler. Her bir protein fraksiyonunun kendilerine özgü izoelektrik noktası vardır. Bu değerler fraksiyon çeşidine ve yapısına göre pH 4-9 aralığında değişir (Yavuz ve Özçelik, 2016).

Yağ damlacıkları etrafında proteinlerin film oluşturulmasıyla emülsifikasyon sağlanır. Böylece faz ayrımı oluşturan topaklaşma, sedimentasyon gibi olaylarını engellerler.

Köpük oluşması proteinler, hava kabarcıkları ve sıvı faz ara yüzeyinde yerleşir. Bu ara-yüzeyde protein fraksiyonları birbiri üzerine katlanır ve apolar

kısımları hava yüzeyinde kalacak şekilde yönelir. Proteinlerin hava kabarcığı yüzeyine tutunmasıyla kısmi denatüre olmuş proteinler bir tabaka oluşturur ve hava kabarcıklarını enkapsüle eder. Köpüğün kabarması, köpük kapasitesi ve köpüğün stabilitesi proteinlerin köpük oluşturma özelliklerini incelerken en fazla kullanılan parametrelerdir (Yavuz ve Özçelik, 2016).

Tablo 4. 10 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri

Kurutma Yöntemi	Fonksiyonel Özellikler				
	STK	YTK	EK	ES	KK
Mikrodalga Kurutma					
90 W	2.25±0.01 ^c	3.60±0.01 ^c	51.40±0.00 ^b	45.71±0.00 ^b	12.14±0.60 ^b
160 W	1.08±0.04 ^a	3.47±0.06 ^b	53.27±0.00 ^c	51.42±0.00 ^c	10.21±0.32 ^a
350 W	1.85±0.03 ^b	3.37±0.01 ^a	45.69±0.00 ^a	45.40±0.00 ^a	9.80±0.42 ^a
Konveksiyonel Kurutma					
50°C, 1.5 m/s	1.10±0.02 ^a	3.44±0.02 ^a	51.43±0.00 ^c	45.00±0.00 ^b	8.57±0.28 ^b
60°C, 1.5 m/s	1.07±0.01 ^a	3.50±0.03 ^b	50.00±0.00 ^b	40.00±0.00 ^a	7.70±0.32 ^a
70°C, 1.5 m/s	1.06±0.01 ^a	3.41±0.01 ^a	49.24±0.00 ^a	40.00±0.00 ^a	7.65±0.20 ^a
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma					
50°C- 1m/s- 600 W	2.99±0.02 ^{axt}	3.42±0.07 ^{axt}	50.17±0.00 ^{byt}	48.12±0.00 ^{cxt}	8.21±0.00 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1200W	3.45±0.02 ^{axt}	3.41±0.01 ^{axt}	45.12±0.00 ^{byt}	47.89±0.00 ^{cxt}	7.95±0.00 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1800 W	3.21±0.01 ^{axt}	2.17±0.09 ^{axt}	50.14±0.00 ^{byt}	48.25±0.00 ^{cxt}	8.45±0.00 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	3.11±0.02 ^{axt}	2.86±0.02 ^{axt}	50.35±0.00 ^{byt}	48.02±0.00 ^{cxt}	7.14±0.00 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	3.25±0.01 ^{axt}	3.21±0.01 ^{axt}	50.12±0.00 ^{byt}	47.95±0.00 ^{cxt}	7.21±0.00 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	2.90±0.01 ^{axt}	3.45±0.05 ^{axt}	50.45±0.00 ^{byt}	48.07±0.00 ^{cxt}	6.89±0.00 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	2.75±0.02 ^{axt}	2.97±0.05 ^{axt}	49.98±0.00 ^{byt}	48.34±0.00 ^{cxt}	7.05±0.00 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1200W	3.40±0.02 ^{axt}	2.88±0.04 ^{axt}	50.26±0.00 ^{byt}	47.78±0.00 ^{cxt}	7.32±0.00 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1800 W	3.02±0.01 ^{axt}	3.04±0.02 ^{axt}	50.18±0.00 ^{byt}	48.15±0.00 ^{cxt}	6.98±0.00 ^{axt}
60°C- 1m/s- 600 W	2.88±0.02 ^{axt}	2.11±0.04 ^{bxt}	50.17±0.00 ^{bxt}	50.83±0.00 ^{bxt}	7.10±0.00 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1200W	3.10±0.04 ^{axt}	2.65±0.04 ^{bxt}	45.12±0.00 ^{bxt}	50.97±0.00 ^{bxt}	7.24±0.00 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1800 W	3.15±0.01 ^{axt}	2.37±0.05 ^{bxt}	50.14±0.00 ^{bxt}	50.56±0.00 ^{bxt}	6.93±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	3.05±0.02 ^{axt}	2.88±0.02 ^{bxt}	51.89±0.00 ^{bxt}	51.14±0.00 ^{bxt}	7.09±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	3.18±0.02 ^{axt}	2.53±0.08 ^{bxt}	52.12±0.00 ^{bxt}	51.23±0.00 ^{bxt}	7.18±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	3.12±0.02 ^{axt}	2.29±0.05 ^{bxt}	51.95±0.00 ^{bxt}	50.92±0.00 ^{bxt}	6.97±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 600 W	2.95±0.01 ^{axt}	2.40±0.05 ^{bxt}	52.08±0.00 ^{bxt}	51.05±0.00 ^{bxt}	7.12±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1200W	3.08±0.02 ^{axt}	2.56±0.01 ^{bxt}	52.04±0.00 ^{bxt}	50.71±0.00 ^{bxt}	7.29±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1800 W	2.99±0.01 ^{axt}	2.42±0.07 ^{bxt}	52.17±0.00 ^{bxt}	51.39±0.00 ^{bxt}	6.85±0.00 ^{axt}

70°C- 1m/s- 600 W	3.20±0.02 axt	2.16±0.07 cxt	54.79±0.00 axt	54.12±0.00 axt	7.03±0.00 axt
70°C- 1m/s- 1200W	2.85±0.01 axt	1.92±0.06 cxt	55.32±0.00 axt	53.89±0.00 axt	7.26±0.00 axt
70°C- 1m/s- 1800 W	3.05±0.01 axt	2.05±0.06 cxt	54.94±0.00 axt	54.25±0.00 axt	6.91±0.00 axt
70°C- 1.5m/s- 600 W	3.40±0.04 axt	2.18±0.02 cxt	55.12±0.00 axt	53.95±0.00 axt	7.20±0.00 axt
70°C- 1.5m/s- 1200W	2.92±0.01 axt	2.12±0.01 cxt	55.23±0.00 axt	54.07±0.00 axt	6.96±0.00 axt
70°C- 1.5m/s- 1800 W	3.25±0.01 axt	2.09±0.02 cxt	54.88±0.00 axt	54.34±0.00 axt	7.15±0.00 axt
70°C- 2 m/s- 600 W	3.10±0.03 axt	2.25±0.04 cxt	55.04±0.00 axt	53.78±0.00 axt	7.28±0.00 axt
70°C- 2 m/s- 1200W	3.35±0.01 axt	2.04±0.02 cxt	55.01±0.00 axt	54.15±0.00 axt	6.90±0.00 axt
70°C- 2 m/s- 1800 W	2.80±0.01 axt	2.17±0.08 cxt	54.96±0.00 axt	54.12±0.00 axt	7.02±0.00 axt

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

4.3 Bezelye Kabuklarının Kurutulması ile İlgili Sonuçlar

4.3.1 Bezelye Kabuklarının Ön işlemlerinin gerçekleştirilmesi

Tez çalışmasında kurutma denemelerinde kullanılacak bezelye kabuklarının denemelerde standart örnek olarak kullanılması için mevsiminde toplu bir şekilde alınarak ön işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kabuk sebze oranı ön denemelerle hesaplanmıştır ve İzmir'deki yerel marketlerden 55 kg bezelye alınarak ön işlemler uygulanmıştır. Bezelyeler öncelikle çevre kirliliklerinden arındırmak amacıyla su ile yıkanmıştır ve temiz bir zemin üzerine serilerek yüzey suyu uzaklaştırılmıştır. Ardından bezelye kabukları tanelerinden ayıklanarak, alüminyum kaplı polietilen (ALPE) ambalaj ile ambalajlandıktan sonra -24°C'de depolanmıştır. Bezelye kabuklarının ön işlem adımları Şekil. 4.22'de verilmiştir.

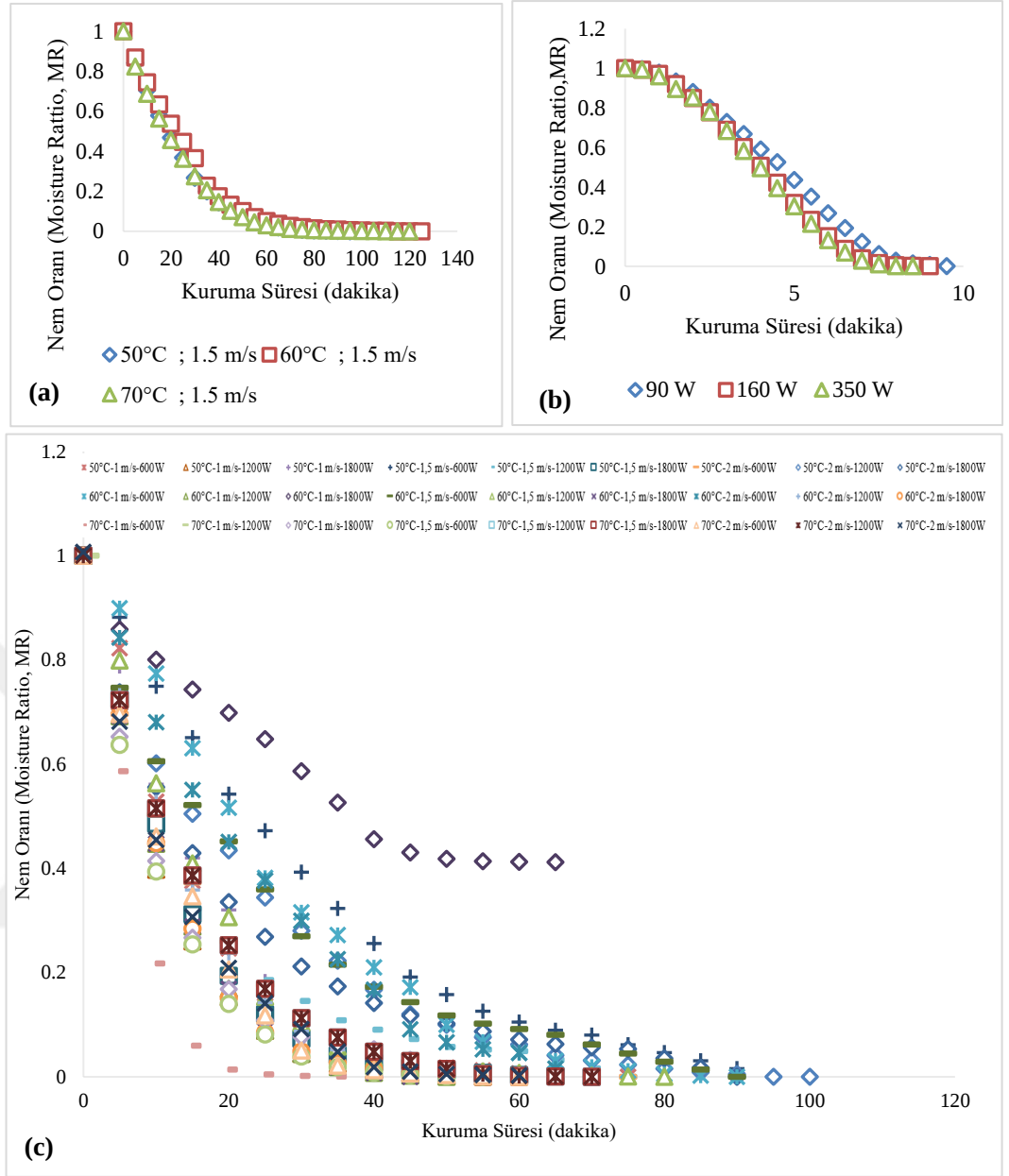


Şekil 4. 22 Bezelye Kabuklarına Uygulanan Ön İşlem Adımları

4.3.2 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Kuruma Davranışı ve Enerji Tüketimi

Farklı kurutma yöntemleri için bezelye kabuğu nem oranı-kuruma süresi eğrileri Şekil 4.23'te gösterilmektedir. Bezelye kabukları konveksiyonel kurutucuda 1.5 m/s hava hızında ve 50-60 ve 70°C sıcaklığında ve kurutulmuştur. Mikrodalga fırında ise 90-160 ve 350W güçlerinde kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Ağırlık değişiminin takibi için 0.01 hassasiyete sahip terazide konveksiyonel kurutma için 5 dakika, mikrodalga kurutmada kurutma sürelerinin daha kısa olması nedeniyle 30 saniye aralıklarla tartım alınmıştır. Şekil 4.23 (a) incelendiğinde, konveksiyonla kurutmada kurutmanın ilk 30 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Kuruma süreleri 50, 60, 70°C için sırasıyla 75, 85 ve 90 dakika olarak bulunmuştur. Sıcaklığın artması ile üründen nemin uzaklaşması hızlandığından kuruma süresi de kısalmıştır.

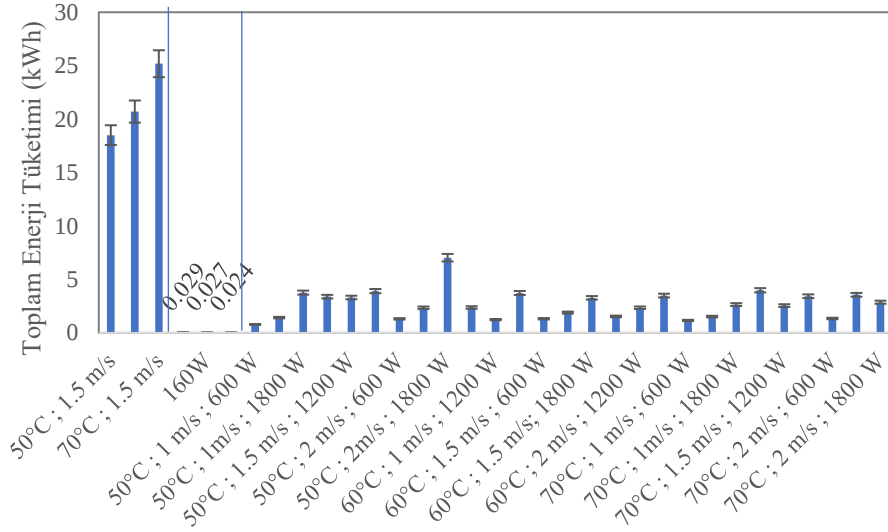
Mikrodalga kurutma yöntemi sonucu elde edilen nem oranı-zaman grafikleri incelendiğinde, kuruma davranışının konveksiyonla kurutmaya göre daha farklı olduğu görülmektedir. Kuruma sürelerinin 8.5-9.5 dakika arasında değiştiği ve mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte kuruma sürelerinin bir miktar kısaldığı gözlenmiştir ($P < 0.05$).



Şekil 4. 23 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda nem oranı değişimi

Bezelye kabukları taşkın yatak kurutucuda 50-60 ve 70°C sıcaklığında 1.00,1.50 ve 2.00 m/s hava hızlarında ve 600-1200-1800 W infrared güçlerinde kurutulmuştur. İnfrared destekli taşkın yatak kurutmada kurutmanın ilk 40 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Kuruma sürelerinin konveksiyonla kurutma yönteminden genel olarak kısa, mikrodalga kurutma yönteminden ise daha uzun olduğu görülmüştür.

Kurutulmuş bezelye kabuğu örnekleri için farklı kurutucular ve kurutma koşulları için enerji tüketimi değerleri Şekil 4.24'te verilmiştir. En yüksek enerji tüketim değeri (25.2kWh) konveksiyonla kurutmada (70°C-1.5 m/s) görülmüştür.



Şekil 4. 24 Bezelye kabuklarının farklı yöntem ve koşullarda kurutulması sonucu toplam enerji tüketim miktarları

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının SMER, MER ve SEC değerleri Tablo 4.11’de verilmiştir. Kurutmada denemeleri enerji verimliliği açısından incelendiğinde, en yüksek SMER değerinin konveksiyonla kurutma 70°C koşulundaki örneklerde olduğu tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma denemelerinde MER değerleri genel olarak mikrodalga ve konveksiyonel kurutmaya göre daha yüksek bulunmuştur. En yüksek SEC değerlerini konveksiyonel kurutma yönteminde görülmektedir.

Tablo 4. 11 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının enerji değerleri

Kurutma Yöntemi	SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg su)
Mikrodalga Kurutma			
90 W	0.020±0.001 ^b	0.010±0.001 ^a	186.71±0.18 ^a
160 W	0.030±0.001 ^c	0.030±0.001 ^c	240.00±1.00 ^b
350 W	0.010±0.001 ^a	0.020±0.001 ^b	262.72±0.25 ^c
Konveksiyonel Kurutma			
50°C, 1.5 m/s	0.300±0.010 ^c	0.010±0.000 ^a	603.51±3.34 ^a
60°C, 1.5 m/s	0.200±0.020 ^b	0.030±0.000 ^b	743.18±3.21 ^c
70°C, 1.5 m/s	0.150±0.010 ^a	0.050±0.000 ^c	629.42±2.11 ^b
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma			
50°C- 1m/s- 600 W	0.074±0.002 ^{axt}	0.047±0.010 ^{bxt}	48.379±4.00 ^{axu}
50°C- 1m/s- 1200W	0.042±0.002 ^{ax(tu)}	0.059±0.008 ^{bxt}	86.71±6.38 ^{ax(tu)}
50°C- 1m/s- 1800 W	0.016±0.002 ^{axu}	0.051±0.001 ^{bxt}	229.04±3.32 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	0.018±0.003 ^{axt}	0.038±0.001 ^{bxt}	203.23±5.98 ^{axu}
50°C- 1.5m/s- 1200W	0.018±0.003 ^{ax(tu)}	0.048±0.004 ^{bxt}	197.37±7.69 ^{ax(tu)}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	0.015±0.002 ^{axu}	0.051±0.001 ^{bxt}	234.93±4.07 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	0.048±0.002 ^{axt}	0.050±0.003 ^{bxt}	75.56±6.76 ^{axu}
50°C- 2 m/s- 1200W	0.025±0.002 ^{ax(tu)}	0.047±0.001 ^{bxt}	144.54±7.04 ^{ax(tu)}
50°C- 2 m/s- 1800 W	0.008±0.002 ^{axu}	0.039±0.001 ^{bxt}	427.73±8.61 ^{axt}
60°C- 1m/s- 600 W	0.026±0.002 ^{axt}	0.039±0.001 ^{(ab)xt}	140.26±3.45 ^{axu}
60°C- 1m/s- 1200W	0.047±0.001 ^{ax(tu)}	0.070±0.003 ^{(ab)xt}	76.44±6.49 ^{ax(tu)}
60°C- 1m/s- 1800 W	0.016±0.001 ^{axu}	0.052±0.001 ^{(ab)xt}	222.96±4.82 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	0.046±0.002 ^{axt}	0.049±0.02 ^{(ab)xt}	77.64±5.15 ^{axu}
60°C- 1.5m/s- 1200W	0.018±0.002 ^{ax(tu)}	0.046±0.002 ^{(ab)xt}	204.70±8.22 ^{ax(tu)}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	0.031±0.001 ^{axu}	0.041±0.002 ^{(ab)xt}	117.18±7.54 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 600 W	0.036±0.001 ^{axt}	0.047±0.001 ^{(ab)xt}	101.22±4.54 ^{axu}
60°C- 2 m/s- 1200W	0.025±0.002 ^{ax(tu)}	0.054±0.002 ^{(ab)xt}	143.56±6.91 ^{ax(tu)}
60°C- 2 m/s- 1800 W	0.018±0.002 ^{axu}	0.062±0.002 ^{(ab)xt}	203.47±3.96 ^{axt}
70°C- 1m/s- 600 W	0.044±0.002 ^{axt}	0.062±0.002 ^{axt}	81.30±7.83 ^{axu}
70°C- 1m/s- 1200W	0.039±0.005 ^{ax(tu)}	0.065±0.001 ^{axt}	91.47±4.29 ^{ax(tu)}
70°C- 1m/s- 1800 W	0.021±0.001 ^{axu}	0.061±0.001 ^{axt}	170.43±6.17 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	0.015±0.003 ^{axt}	0.059±0.002 ^{axt}	242.43±5.41 ^{axu}
70°C- 1.5m/s- 1200W	0.023±0.003 ^{ax(tu)}	0.051±0.001 ^{axt}	153.45±8.12 ^{ax(tu)}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	0.018±0.001 ^{axu}	0.061±0.002 ^{axt}	204.00±3.78 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 600 W	0.042±0.002 ^{axt}	0.057±0.001 ^{axt}	85.90±4.92 ^{axu}
70°C- 2 m/s- 1200W	0.017±0.001 ^{ax(tu)}	0.048±0.001 ^{axt}	213.18±7.29 ^{ax(tu)}
70°C- 2 m/s- 1800 W	0.018±0.001 ^{axu}	0.056±0.001 ^{axt}	195.68±5.63 ^{axt}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

4.3.3 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Fiziksel-Kimyasal Özellik Sonuçları

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının fiziksel özellik değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir Konveksiyonla kurutma yöntemi ile kurutulan bezelye kabuklarının nem içeriği değerlerinin %11-14 (yb.) arasında değiştiği, su aktivitesi değerlerinin ise 0.390-0.462 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga fırın ile kurutulan bezelye kabuklarında nem

değerlerinin konveksiyonla kurutulan bezelye kabuğu tozlarına göre genel olarak daha düşük olduğu ve en düşük nem içeriğinin 350W koşulunda görüldüğü (8.63 ± 0.73 (yb)) belirlenmiştir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi ile kurutulan bezelye kabuklarının nem içeriği değerlerinin yaklaşık olarak %8-14 (yaş bazda, yb.) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Su aktivitesi değerlerinin 0.126-0.445 değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. 70°C hava sıcaklığındaki denemelerde aynı sıcaklık ve infrared gücünde hava hızı arttıkça su aktivitesi değerlerinin önce arttığı ardından azaldığı görülmüştür.

Farklı kurutma yöntemleri için bezelye kabuğu tozlarına ait renk değerleri Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Konveksiyonla kurutmada parlaklık (L^*) değerlerinin mikrodalga kurutmaya göre daha yüksek olduğu ancak değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kırmızılık-yeşillik değerleri incelendiğinde konveksiyonla kurutma yönteminde örneklerin yeşillik değerini mikrodalga kurutma ile kurutulan örneklerle göre daha iyi koruduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Mikrodalga kurutmada homojen sıcaklık dağılımı olmaması sorunundan dolayı gıda yüzeyinin belirli yerlerinde yanmalardan kaynaklı kırmızılık değerleri artmıştır. Sarılık-mavilik renk özelliğini ifade eden b^* değerleri incelendiğinde mikrodalga kurutma sonucunda b^* değerlerinin konveksiyonla kurutulan bezelye kabuğu tozlarına göre daha yüksek olduğu ancak değerlerin birbirine yakın seyrettiği belirlenmiştir. L^* parlaklık değeri 50 ve 60°C hava sıcaklığındaki denemelerde ortalama 65 iken, 70°C koşullarında hava hızı ve infrared gücünün artmasıyla azalmaktadır. Kuruma sürelerinin L^* değeri üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan bezelye kabuğu tozlarının parlaklık değerlerinin konveksiyonla kurutma ile yakın mikrodalga kurutma yöntemine göre ise daha yüksek olduğu görülmüştür. a^* kırmızılık değerinin genel olarak birbirine yakın olduğu ve örneklerin kendine has yeşil rengini koruduğu görülmüştür. b^* değerinin yüksek sıcaklık, hava hızı ve infrared gücü etkisiyle azaldığı, örneklerin sarılık değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

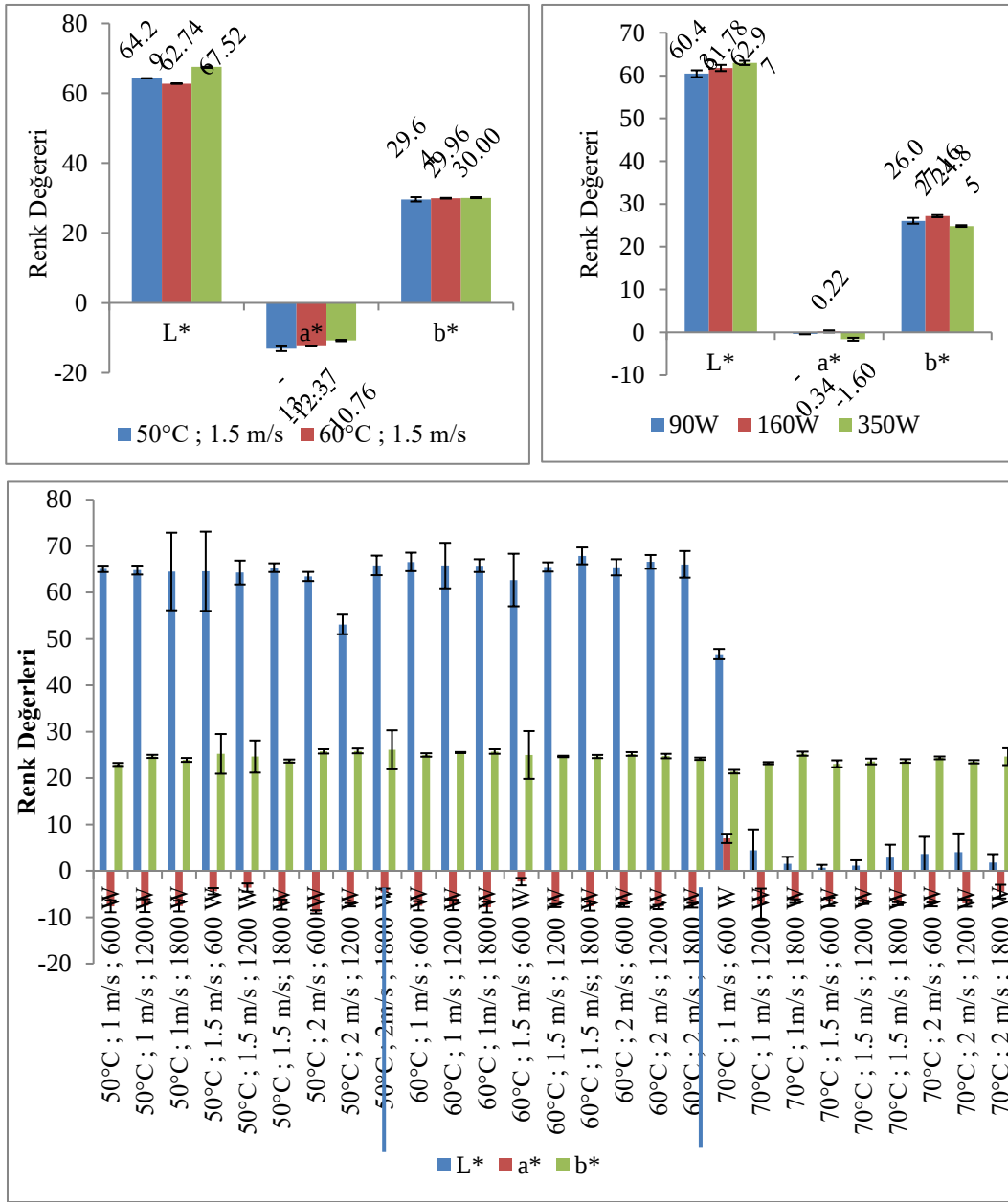
Tablo 4. 12 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının nem içeriği ve su aktivite değerleri

Kurutma Yöntemi	Fiziksel Özellikler	
	Nem İçeriği (% _y)	Su Aktivitesi (a _w)
Taze Bezelye Kabuğu	81.32±2.88	0.990±0.052
Mikrodalga Kurutma		
90 W	10.82±0.40 ^b	0.411±0.006 ^b
160 W	12.44±0.96 ^c	0.430±0.009 ^c
350 W	8.63±0.73 ^a	0.386±0.002 ^a
Konveksiyonel Kurutma		
50°C, 1.5 m/s	12.18±2.88 ^a	0.462±0.014 ^b
60°C, 1.5 m/s	14.11±0.72 ^a	0.391±0.079 ^a
70°C, 1.5 m/s	11.84±0.40 ^b	0.415±0.042 ^b
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma		
50°C- 1m/s- 600 W	13.29±1.37 ^{axt}	0.439±0.052 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1200W	11.08±0.96 ^{axt}	0.399±0.034 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1800 W	10.01±0.90 ^{axt}	0.349±0.016 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	10.27±5.71 ^{axt}	0.330±0.120 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	7.59±1.68 ^{axt}	0.247±0.077 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	12.50±1.00 ^{axt}	0.354±0.037 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	11.93±1.13 ^{axt}	0.421±0.015 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1200W	14.20±0.44 ^{axt}	0.445±0.039 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1800 W	12.13±2.90 ^{axt}	0.288±0.037 ^{axt}
60°C- 1m/s- 600 W	13.53±1.06 ^{axt}	0.342±0.014 ^{(ab)xt}
60°C- 1m/s- 1200W	13.75±2.08 ^{axt}	0.333±0.095 ^{(ab)xt}
60°C- 1m/s- 1800 W	14.30±3.84 ^{axt}	0.311±0.038 ^{(ab)xt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	9.37±1.32 ^{axt}	0.282±0.046 ^{(ab)xt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	12.34±1.77 ^{axt}	0.288±0.064 ^{(ab)xt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	10.25±0.83 ^{axt}	0.323±0.064 ^{(ab)xt}
60°C- 2 m/s- 600 W	12.22±1.45 ^{axt}	0.369±0.009 ^{(ab)xt}
60°C- 2 m/s- 1200W	9.70±1.82 ^{axt}	0.304±0.062 ^{(ab)xt}
60°C- 2 m/s- 1800 W	11.82±0.33 ^{axt}	0.361±0.026 ^{(ab)xt}
70°C- 1m/s- 600 W	1.85±0.17 ^{axt}	0.126±0.017 ^{bxt}
70°C- 1m/s- 1200W	11.94±0.69 ^{axt}	0.341±0.116 ^{bxt}
70°C- 1m/s- 1800 W	10.63±0.95 ^{axt}	0.251±0.042 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	7.78±3.76 ^{axt}	0.286±0.010 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1200W	8.77±1.84 ^{axt}	0.361±0.146 ^{bxt}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	10.81±1.03 ^{axt}	0.264±0.027 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 600 W	10.04±1.25 ^{axt}	0.258±0.018 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 1200W	12.16±1.04 ^{axt}	0.305±0.070 ^{bxt}
70°C- 2 m/s- 1800 W	11.70±2.78 ^{axt}	0.230±0.037 ^{bxt}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir (P<0.05).



Şekil 4. 25 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucunda renk değişimi

Farklı kurutma yöntemleri için bezelye kabuğu tozlarının ΔE , Hue açısı (H°), Kroma (C) ve Esmerleşme indeksi (BI) değerleri Tablo 4.13'te gösterilmektedir. Tüm kurutma işlemleri sonucunda bezelye kabuğu tozlarının toplam renk değişimi arasında anlamlı fark olduğu ($p>0.05$) ve 70°C'deki bazı koşullar hariç diğer tüm değerlerin 2'nin üzerinde olduğu için renk değişimlerinin

belirgin ve görsel olarak algılanabilir olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemindeki örneklerle göre toplam renk değişimi daha düşük bulunmuştur. Konveksiyonla kurutma ve mikrodalga ile kurutma yöntemlerinde C* değerleri 24-28 aralığında bulunmuştur.

Tablo 4. 13 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının ΔE , Hue açısı (H°), Kroma (C) ve Esmerleşme indeksi (BI) değerleri

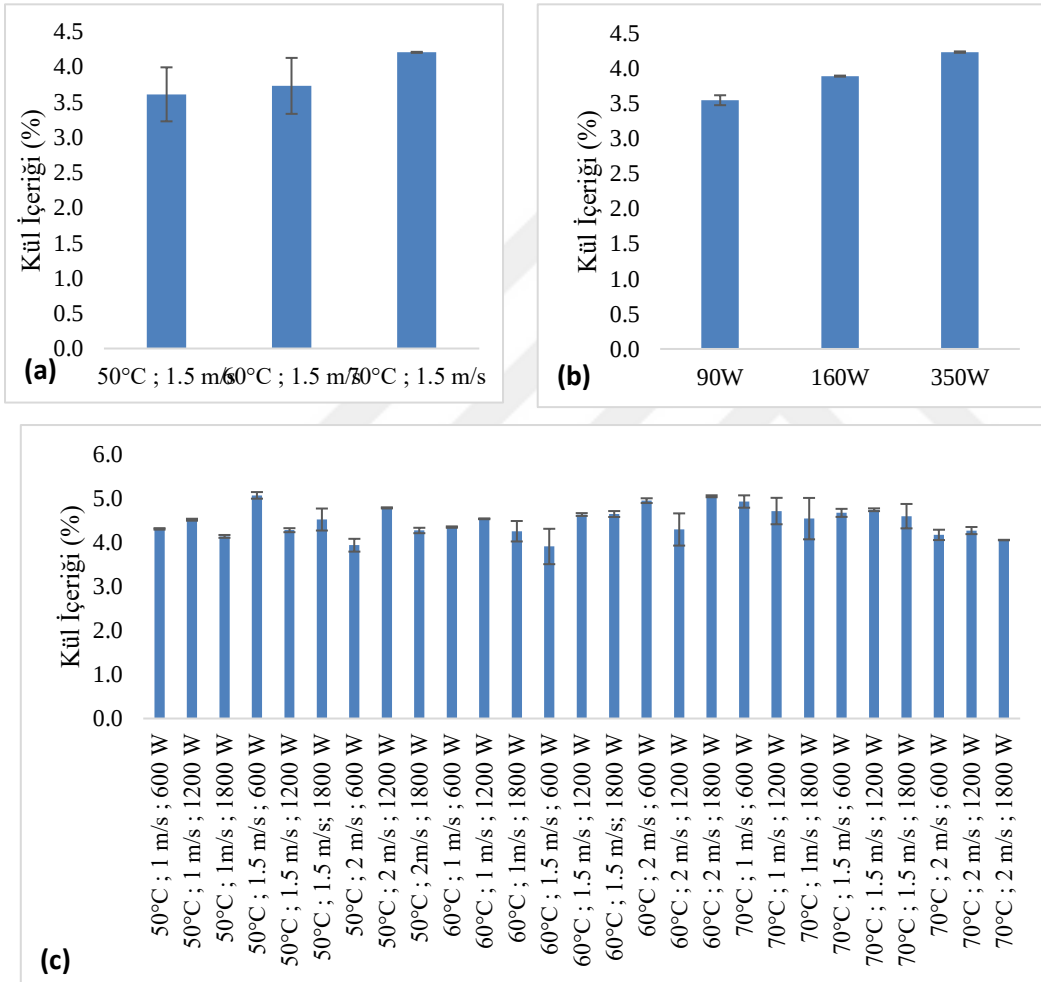
Kurutma Yöntemi	Renk Özellikleri			
	ΔE	H°	C	BI
Taze Portakal Kabuğu	-	68.46±0.96	56.62±2.13	71.90±2.84
Mikrodalga Kurutma				
90 W	27.85±0.38 ^a	-87.84±30.26 ^a	26.07±0.67 ^a	54.07±1.12 ^b
160 W	28.82±0.51 ^b	64.22±79.69 ^c	27.16±0.25 ^b	56.17±0.99 ^b
350 W	29.22±0.44 ^b	-16.03±2.56 ^a	24.91±0.21 ^a	46.60±0.57 ^a
Konveksiyonel Kurutma				
50°C, 1.5 m/s	23.94±0.01 ^a	-2.26±0.02 ^c	32.42±0.02 ^b	42.06±0.33 ^a
60°C, 1.5 m/s	22.62±0.58 ^a	-2.42±0.01 ^b	32.41±0.20 ^b	45.46±0.55 ^b
70°C, 1.5 m/s	27.58±0.59 ^b	-2.79±0.01 ^a	31.87±0.28 ^a	43.26±0.84 ^a
Infrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma				
50°C- 1m/s- 600 W	28.63±0.90 ^{axt}	288.44±0.06 ^{axt}	24.18±1.32 ^{axt}	32.71±2.58 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1200W	27.79±1.34 ^{axt}	286.90±0.05 ^{axt}	25.78±1.43 ^{axt}	37.09±3.37 ^{axt}
50°C- 1m/s- 1800 W	28.79±3.65 ^{axt}	287.61±0.04 ^{axt}	25.08±1.24 ^{axt}	37.07±10.82 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	29.47±7.20 ^{axt}	309.83±8.14 ^{axt}	25.96±0.23 ^{axt}	43.66±10.22 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	29.73±0.72 ^{axt}	293.40±7.59 ^{axt}	25.15±0.48 ^{axt}	42.71±8.39 ^{axt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	28.69±1.12 ^{axt}	287.09±0.05 ^{axt}	27.22±1.14 ^{axt}	39.82±2.41 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 600 W	25.69±0.75 ^{axt}	288.97±0.15 ^{axt}	27.22±0.39 ^{axt}	38.82±1.23 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1200W	29.02±6.29 ^{axt}	285.74±0.22 ^{axt}	26.86±0.47 ^{axt}	9.12±7.17 ^{axt}
50°C- 2 m/s- 1800 W	29.78±0.50 ^{axt}	295.18±82.56 ^{axt}	26.84±0.45 ^{axt}	43.38±8.78 ^{axt}
60°C- 1m/s- 600 W	29.19±1.27 ^{axt}	286.77±0.06 ^{axt}	26.18±1.06 ^{axt}	36.36±0.74 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1200W	28.45±4.53 ^{axt}	286.10±0.15 ^{axt}	26.54±1.09 ^{axt}	39.04±6.26 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1800 W	28.14±0.81 ^{axt}	286.89±0.09 ^{axt}	26.87±1.24 ^{axt}	38.28±1.45 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	29.53±1.47 ^{axt}	365.44±6.25 ^{axt}	25.61±0.41 ^{axt}	47.69±1.40 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	28.34±0.89 ^{axt}	286.91±0.06 ^{axt}	25.77±0.33 ^{axt}	36.65±0.94 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	30.35±1.95 ^{axt}	287.16±0.03 ^{axt}	25.79±1.03 ^{axt}	34.77±2.70 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 600 W	28.15±1.29 ^{axt}	286.36±0.14 ^{axt}	26.26±0.48 ^{axt}	37.91±1.13 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1200W	29.12±1.58 ^{axt}	287.48±0.15 ^{axt}	25.94±0.57 ^{axt}	35.56±1.41 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1800 W	29.07±2.30 ^{axt}	287.08±0.15 ^{axt}	25.27±0.46 ^{axt}	35.08±0.74 ^{axt}
70°C- 1m/s- 600 W	29.67±0.09 ^{bxt}	71.85±0.07 ^{axt}	22.50±1.06 ^{bxt}	70.70±2.70 ^{axt}
70°C- 1m/s- 1200W	4.89±4.89 ^{bxt}	290.67±0.88 ^{axt}	24.58±5.21 ^{bxt}	33.46±12.82 ^{axt}
70°C- 1m/s- 1800 W	1.55±1.55 ^{bxt}	284.46±0.23 ^{axt}	26.09±0.48 ^{bxt}	38.07±1.41 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	0.69±0.69 ^{bxt}	286.09±0.26 ^{axt}	24.03±1.08 ^{bxt}	31.72±1.14 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 1200W	1.13±1.13 ^{bxt}	286.08±0.35 ^{axt}	24.54±0.28 ^{bxt}	33.20±1.09 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	2.60±2.60 ^{bxt}	286.60±0.14 ^{axt}	24.71±0.41 ^{bxt}	33.58±1.93 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 600 W	3.10±3.10 ^{bxt}	286.56±0.16 ^{axt}	25.40±0.39 ^{bxt}	34.27±3.04 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 1200W	3.53±3.53 ^{bxt}	286.51±0.26 ^{axt}	24.52±0.68 ^{bxt}	34.48±4.28 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 1800 W	1.21±1.21 ^{bxt}	280.49±3.06 ^{axt}	25.09±1.14 ^{bxt}	38.83±6.48 ^{axt}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

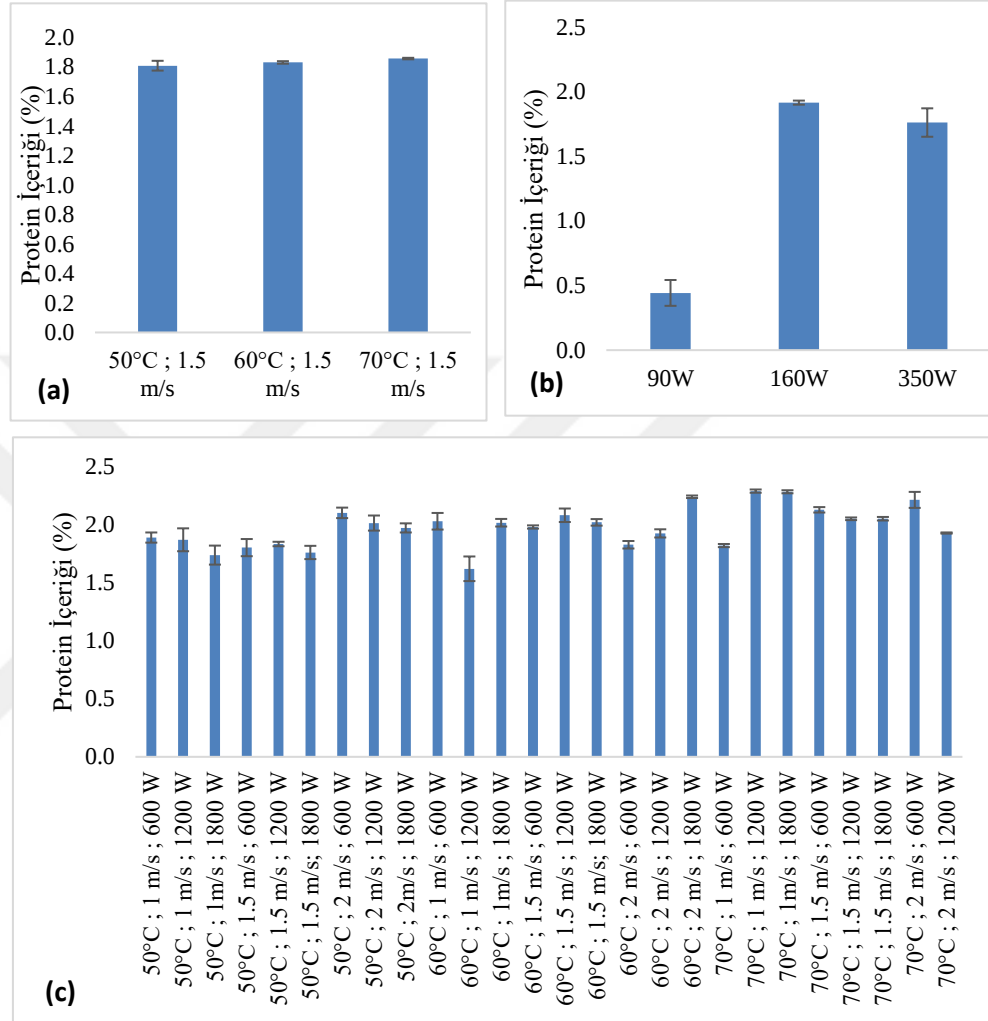
Kurutulmuş bezelye kabuklarının kül içeriği değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Taze bezelye kabuğunun kül içeriği 0.477 ± 0.103 (wb) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için portakal kabuklarının kül içeriği değerleri sırasıyla %3.55 ile %4.24; %3.61 ile %4.30 ve % ile %5.06 (wb) arasında değiştiği tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan bezelye kabuklarında en düşük kül içeriği 350W mikrodalga kurutma koşulunda görülmüştür.



Şekil 4. 26 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu kül içeriği (%) değişimi

Kurutulmuş bezelye kabuklarının protein içeriği değerleri Şekil 4.27'de verilmiştir. Taze bezelye kabuğunun protein içeriği 0.120 ± 0.005 (yb) olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma

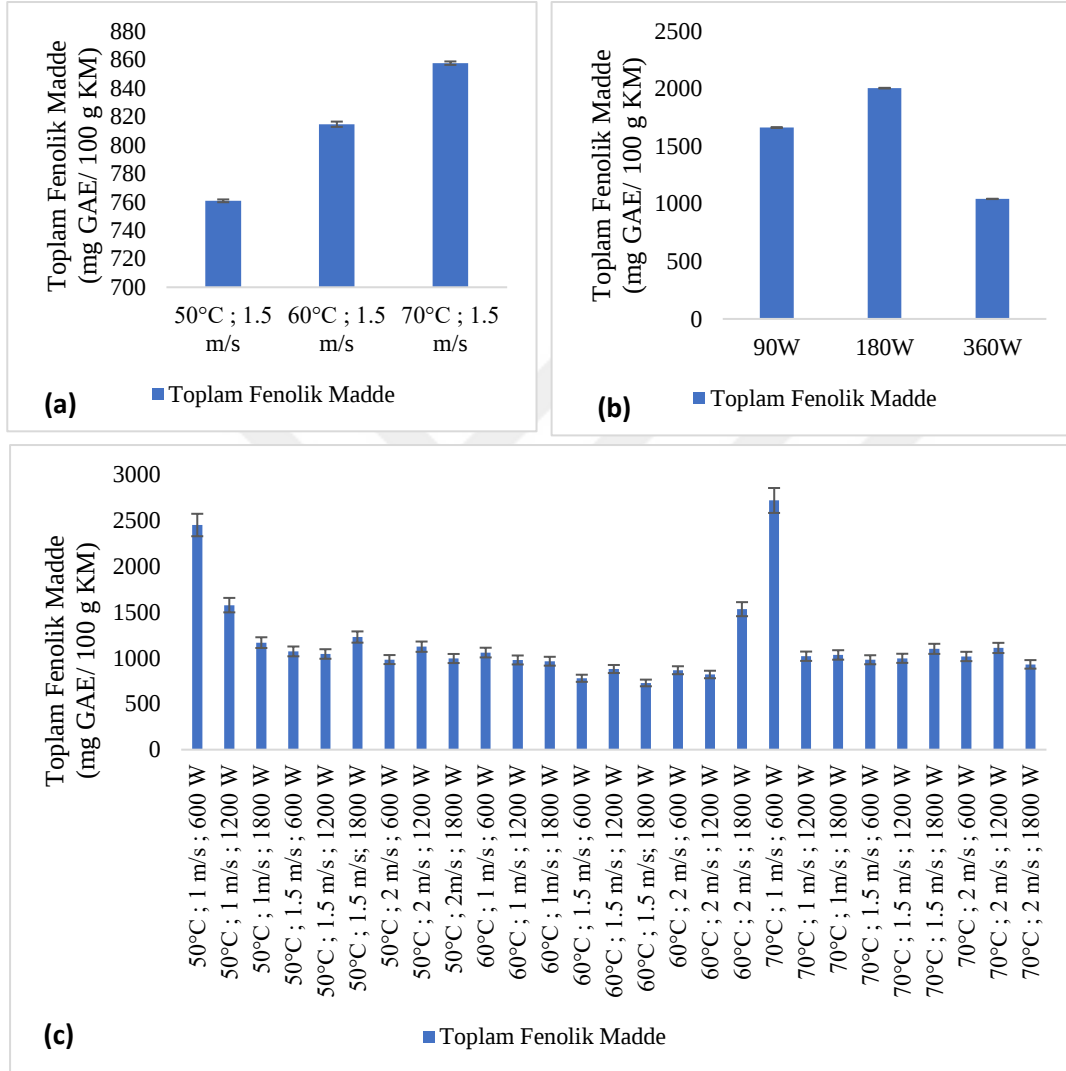
yöntemleri için portakal kabuklarının protein içeriği değerleri sırasıyla %0.42 ile %1.89; %1.82 ile %1.85 ve %1.62 ile %2.29 (yb) arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük protein içeriği değeri mikrodalga kurutma yöntemi 90W koşulunda görülmüştür.



Şekil 4. 27 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu protein içeriği (%) değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının toplam fenolik madde içeriği değerleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Taze bezelye kabuğunun toplam fenolik madde içeriği 1986.34 ± 3.58 mg GAE/ 100g KM olarak belirlenmiştir. Mikrodalga, konveksiyonel ve infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemleri için bezelye kabuklarının toplam fenolik madde içeriği değerleri sırasıyla 1043.29 ± 1.41 ile 2006.28 ± 2.71 mg GAE/ 100g KM; 760.81 ± 0.98 ile

857.63±1.21 mg GAE/ 100g KM ve 726.75±2.25 ile 2714.64±3.45 mg GAE/ 100g KM arasında değiştiği tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde en düşük toplam fenolik madde içeriği değeri 60°C-1.5m/s-1800W koşulunda görülmüştür.



Şekil 4. 28 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu toplam fenolik madde (mg GAE/ 100 g KM) değişimi

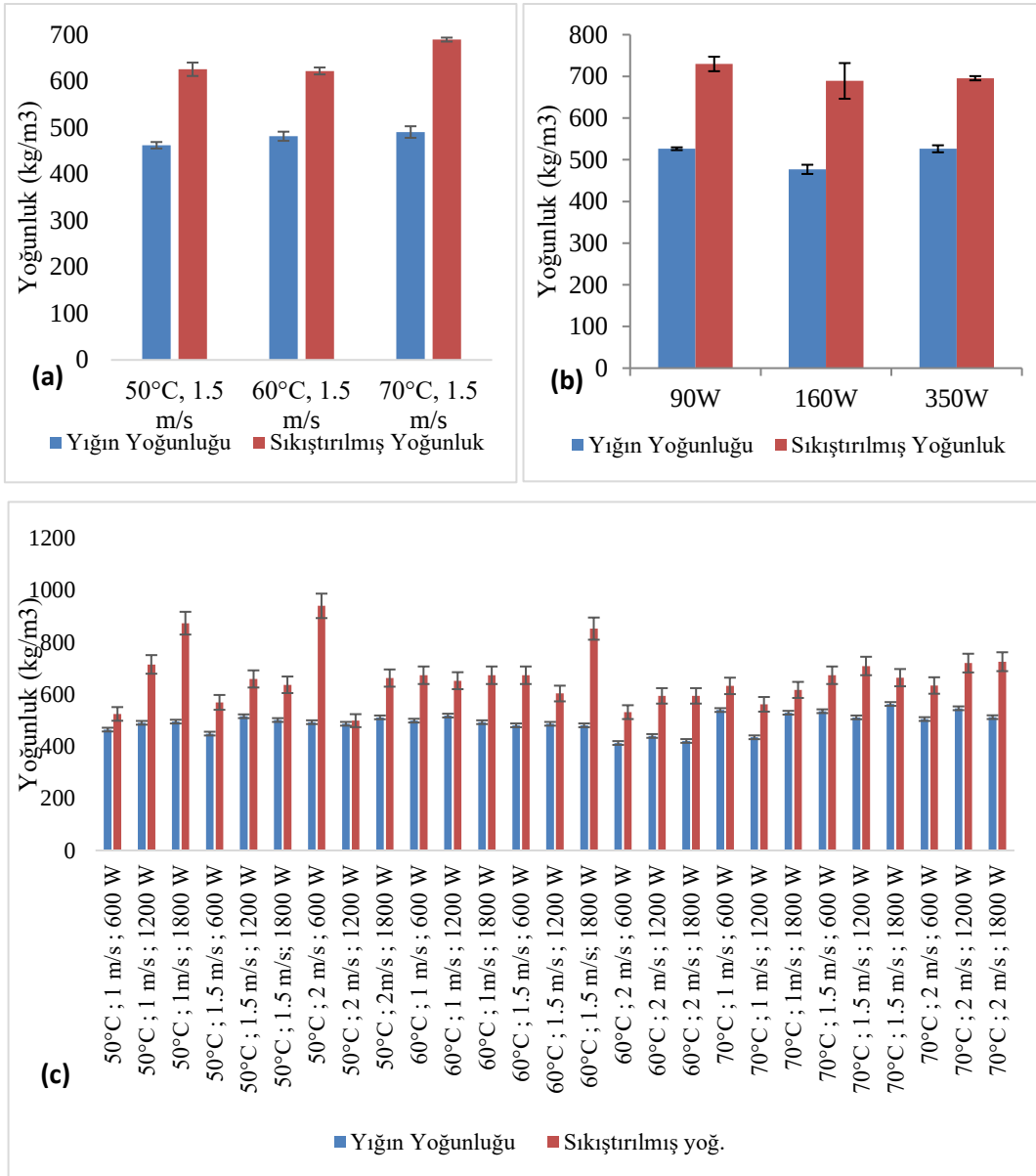
4.3.4 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Toz Ürün Özelliği Sonuçları

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri Şekil 4.29'da verilmiştir. Konveksiyonla kurutma ve mikrodalga kurutma ile kurutulan bezelye kabuğu tozları için yığın yoğunluğu değerlerinin 462.11-526.38 kg/m³ aralığında olduğu, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin ise 622.05-729.80 kg/m³ arasında olduğu görülmüştür. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan bezelye kabuğu tozları için yığın yoğunluğu değerlerinin 413.02-563.00 kg/m³ aralığında olduğu, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin ise 498.87-939.94 kg/m³ arasında olduğu görülmüştür.

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının yapışkanlık ve akabilirlik değerleri Şekil 4.30'da verilmiştir Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuğu tozlarının Hausner oranı ve Carr indeks değerlerinin Geçerli-Zayıf gruplarında yer aldığı tespit edilmiştir.

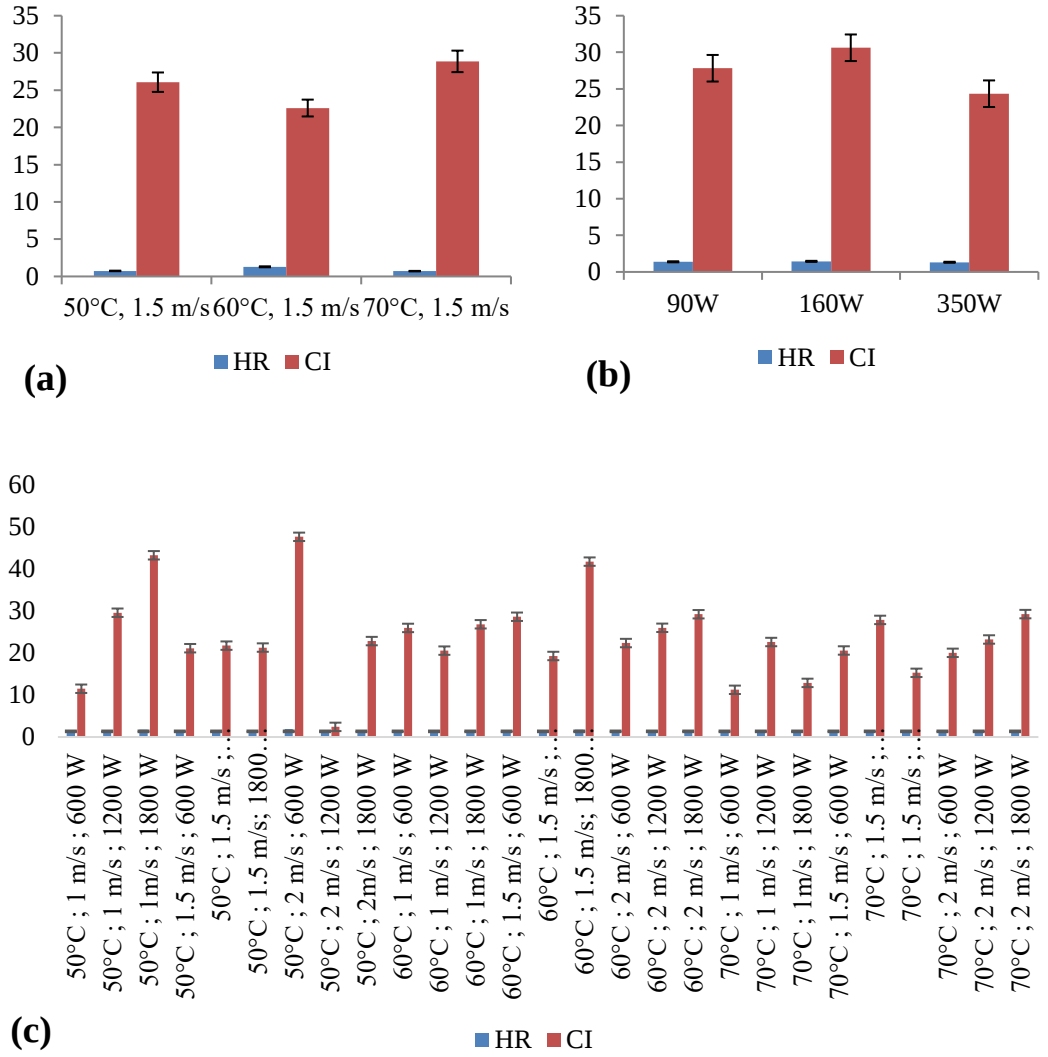
Bezelye kabuğu tozlarının yapışkanlık ve akabilirlik değerleri genel olarak geçerli bulunmuştur. Bu özelliklerin geliştirilmesi gerektiği ancak yine de gıdalarda kullanımının uygun sınırlarda olduğu söylenebilir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile farklı koşullarında kurutulan bezelye kabuğu tozlarının yapışkanlık özelliklerini ifade eden Hausner oranı ve Carr indeks değerlerinin Orta-Geçerli gruplarında yer aldığı tespit edilmiştir. Konveksiyonla kurutma ve mikdrogalda ile kurutma yöntemlerine göre yapışkanlık değerleri iyileşmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutucu ile kurutulan bezelye kabuğu tozlarının CI değerleri 10.48-47.56 (>40 CI değerleri 50°C koşullarında görülmüştür. Genel olarak tozların CI değerleri Geçerli-Zayıf grubunda yer almaktadır. 70°C kurutma sıcaklığında akabilirlik değerleri diğer sıcaklık değerlerine göre genel olarak daha düşük görülmüştür.

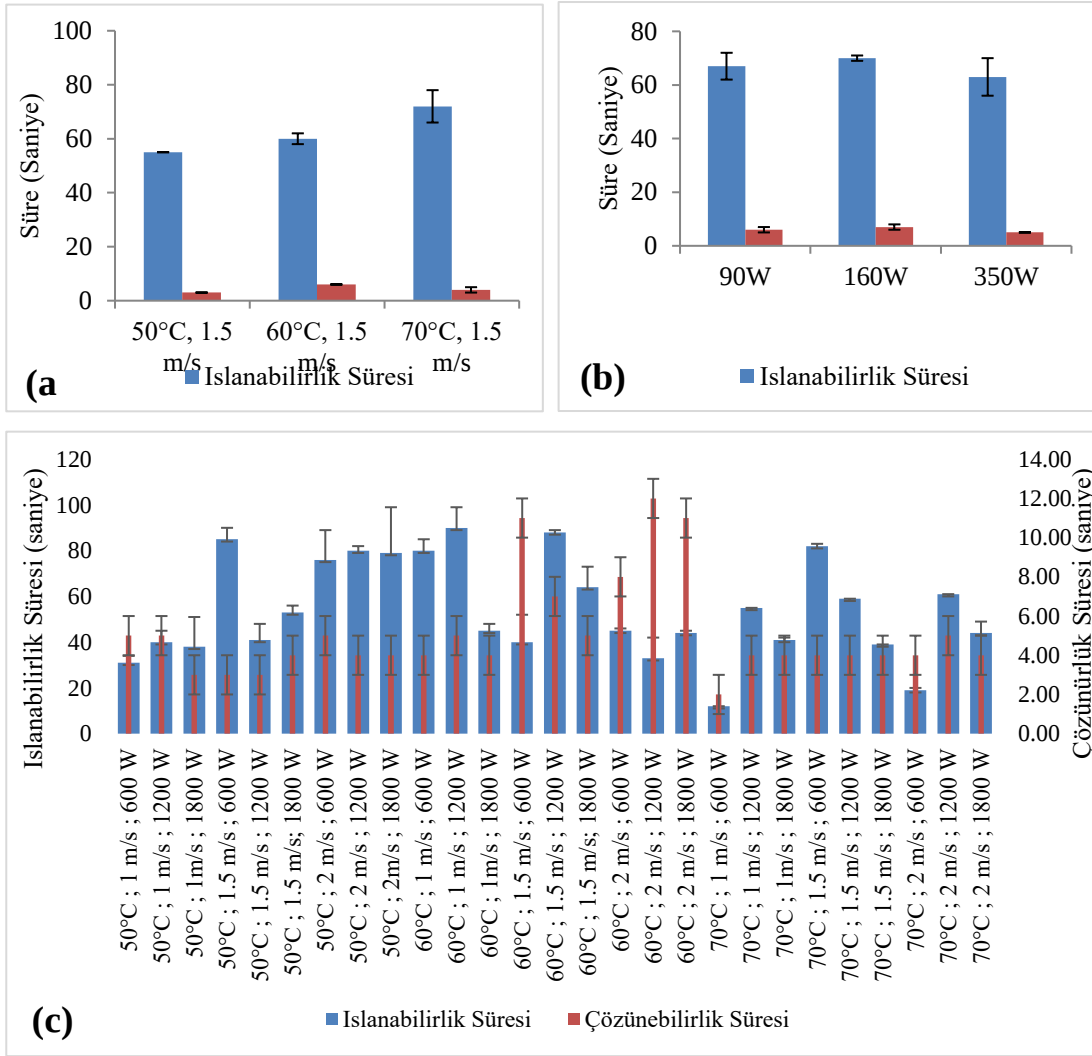


Şekil 4. 29 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının ıslanabilirlik ve çözünürlük süreleri Şekil 4.31’de verilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma denemelerinde en düşük ıslanabilirlik süreleri 50°C sıcaklık koşullarında görülmüştür. Sıcaklığın artması ile genel olarak ıslanabilirlik ve çözünürlük sürelerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun suyun hızlı difüzyonun kaynaklı gıda yüzeyinde kabuk oluşumunda kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 30 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu yapışkanlık (HR) ve akabilirlik (CI) değişimi



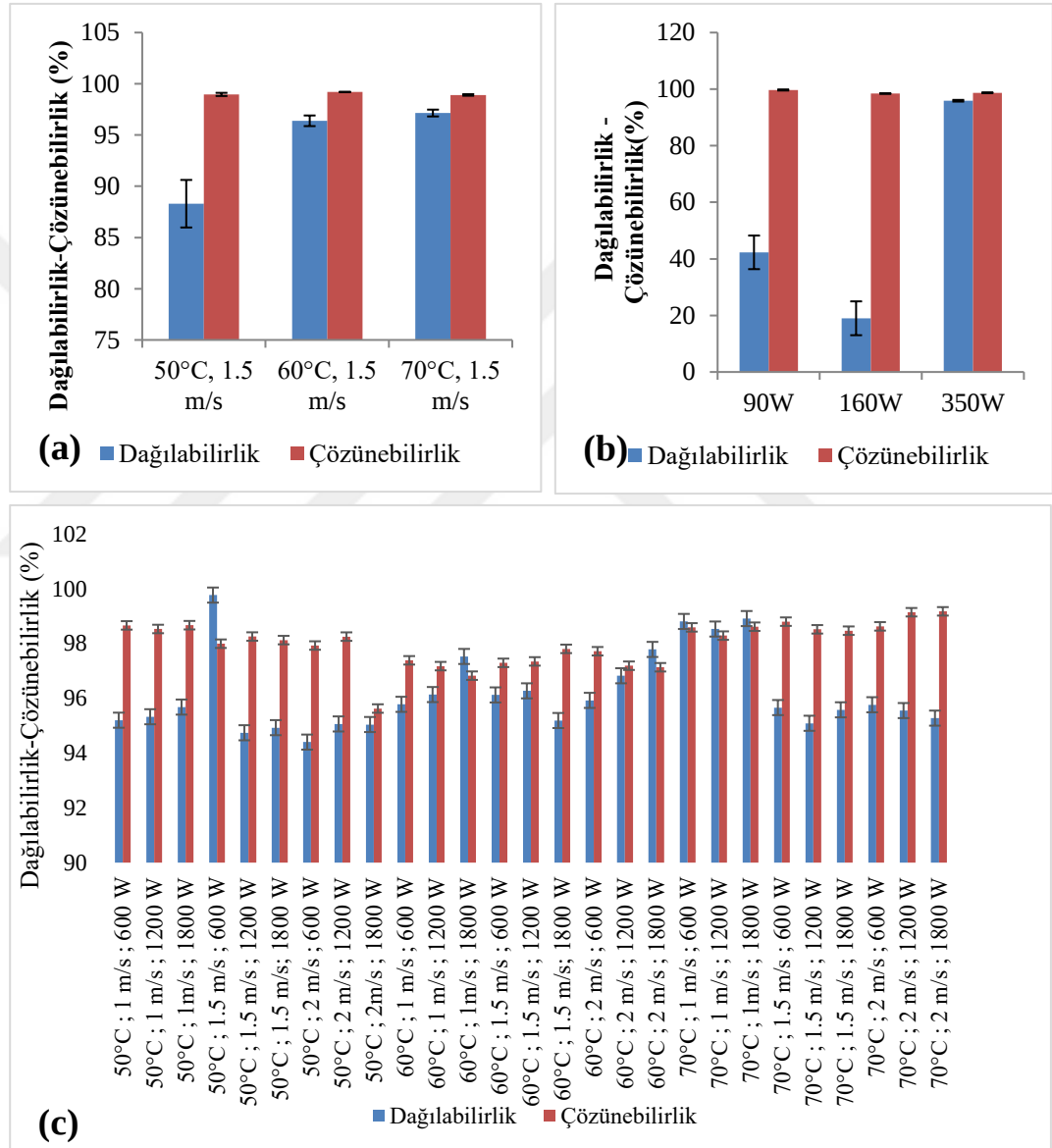
Şekil 4. 31 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu ıslanabilirlik ve çözünabilirlik süresi değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan portakal kabuklarının dağılılabilirlik ve çözünabilirlik değerleri Şekil 4.32’te verilmiştir. Konveksiyonla kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulan bezelye kabuklarında dağılılabilirlik değerleri yüksek bulunmuştur. Mikrodalga kurutmada genel olarak dağılılabilirlik değerlerinin düşük olmasının, ürünün kuruma sırasında kabuk oluşturması, gözenekli yapısını koruyamaması ve bu durumun dağılılabilirlik değerlerini olumsuz yönde etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan bezelye kabuğu tozlarının dağılılabilirlik değerlerinin %94 ve üzerinde olduğu görülmüştür. En

yüksek dağılıbilirlik değerlerinin genel olarak 50°C-1.5 m/s-600W koşulundaki infrared destekli taşkın yatak kurutma koşullarına ait olduğu görülmektedir.

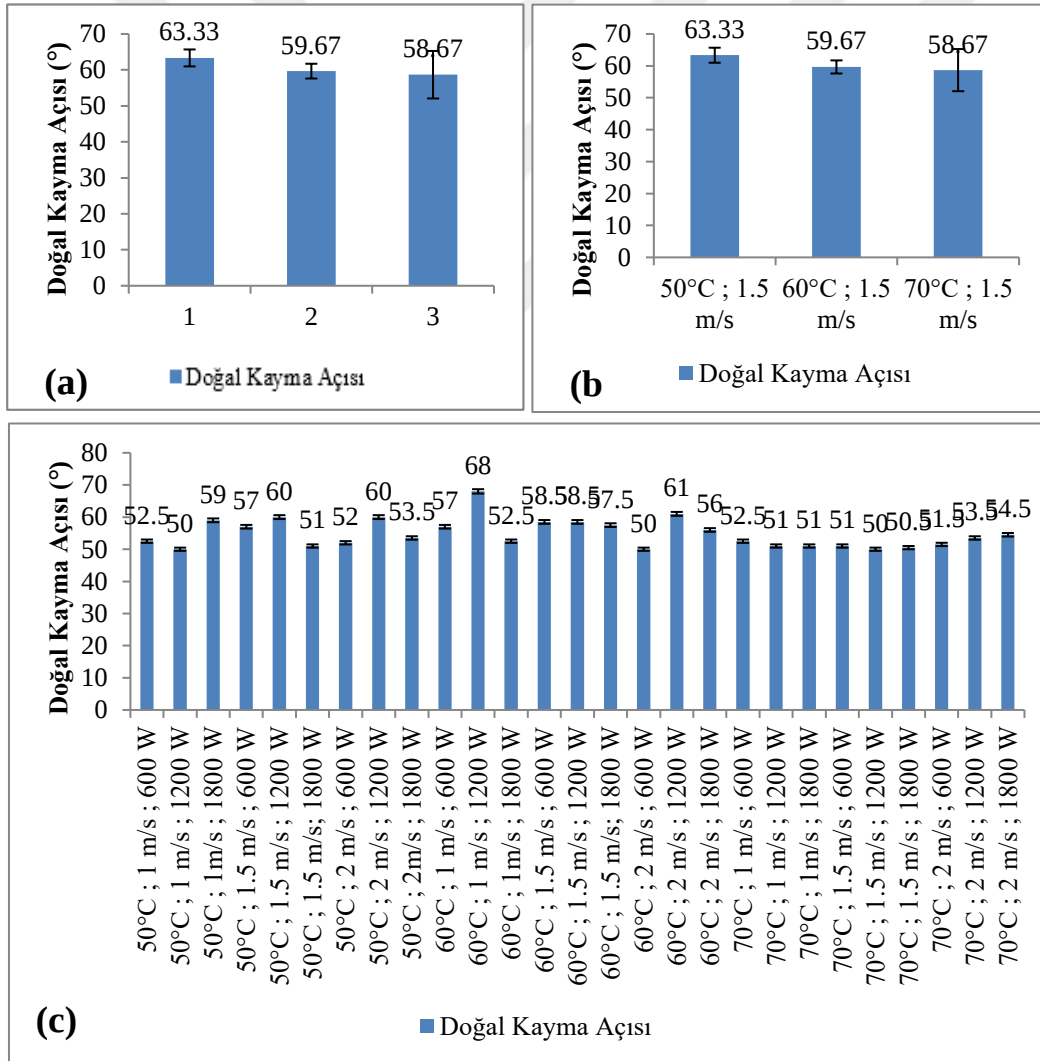
İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan bezelye kabuğu tozlarının çözünabilirlik değerlerinin %97'nin üzerinde olduğu (50°C-2 m/s-1800W koşulu hariç) görülmüştür. Farklı kurutma yöntemlerinde kurutulan bezelye kabuğu tozlarının çözünabilirlik değerlerinin istatistik olarak birbirine yakın değerler gösterdiği belirlenmiştir ($P < 0.05$).



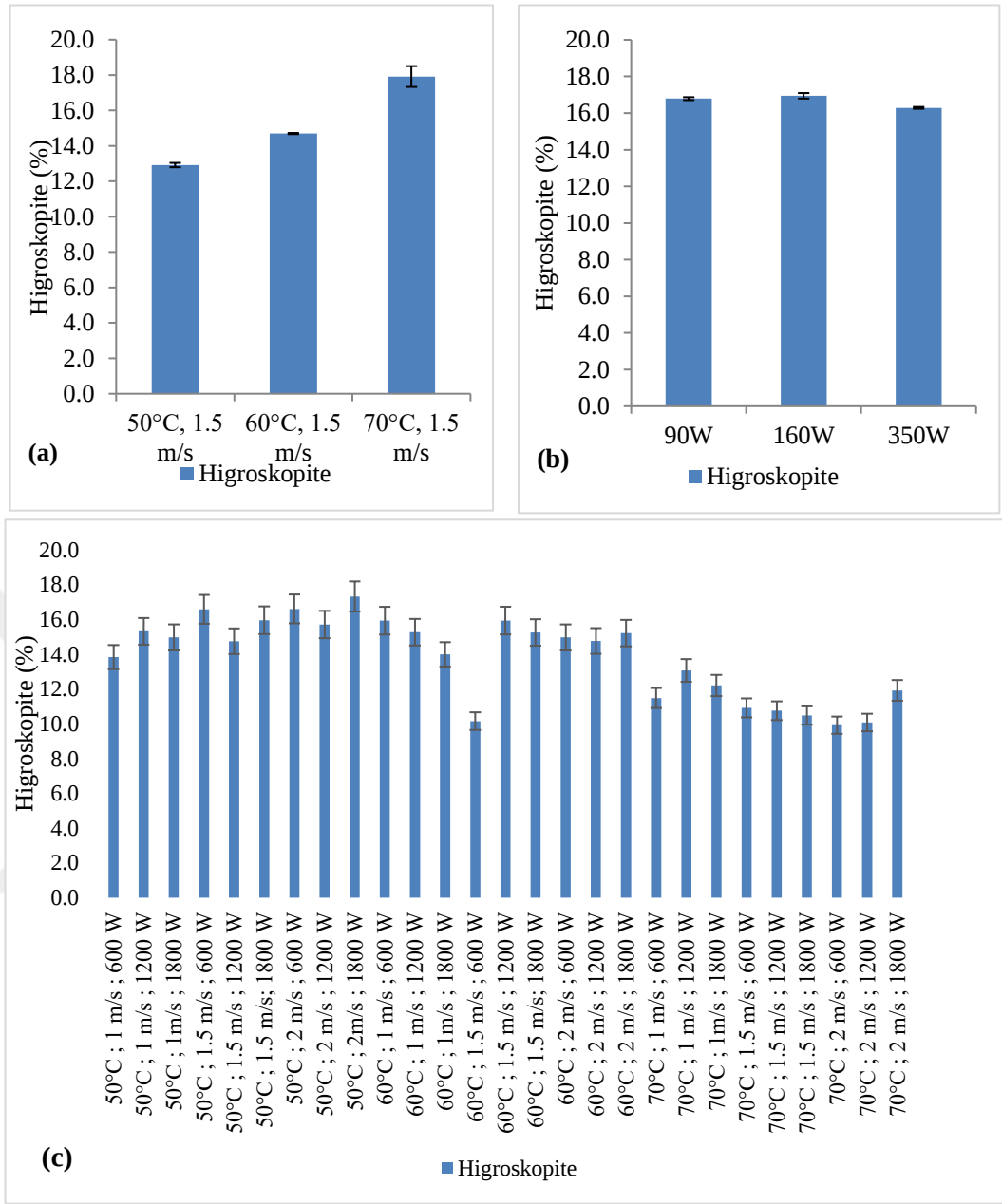
Şekil 4. 32 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu dağılıbilirlik ve çözünabilirlik değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının doğal kayma açısı değerleri Şekil 4.33'te verilmiştir. Konveksiyonel kurutmada kurutma sıcaklığının artmasıyla doğal kayma açısı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde doğal kayma açısı değerlerinin 50-68 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük doğal kayma açısı değeri 60°C-2 m/s-600W koşulunda gözlenmiştir.

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının higroskopite değerleri Şekil 4.34'te verilmiştir. Farklı kurutma yöntem ve koşulları için higroskopite değerlerinin %10-18 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük higroskopite değeri infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi 60°C-1.5 m/s-600W koşulunda görülmüştür.



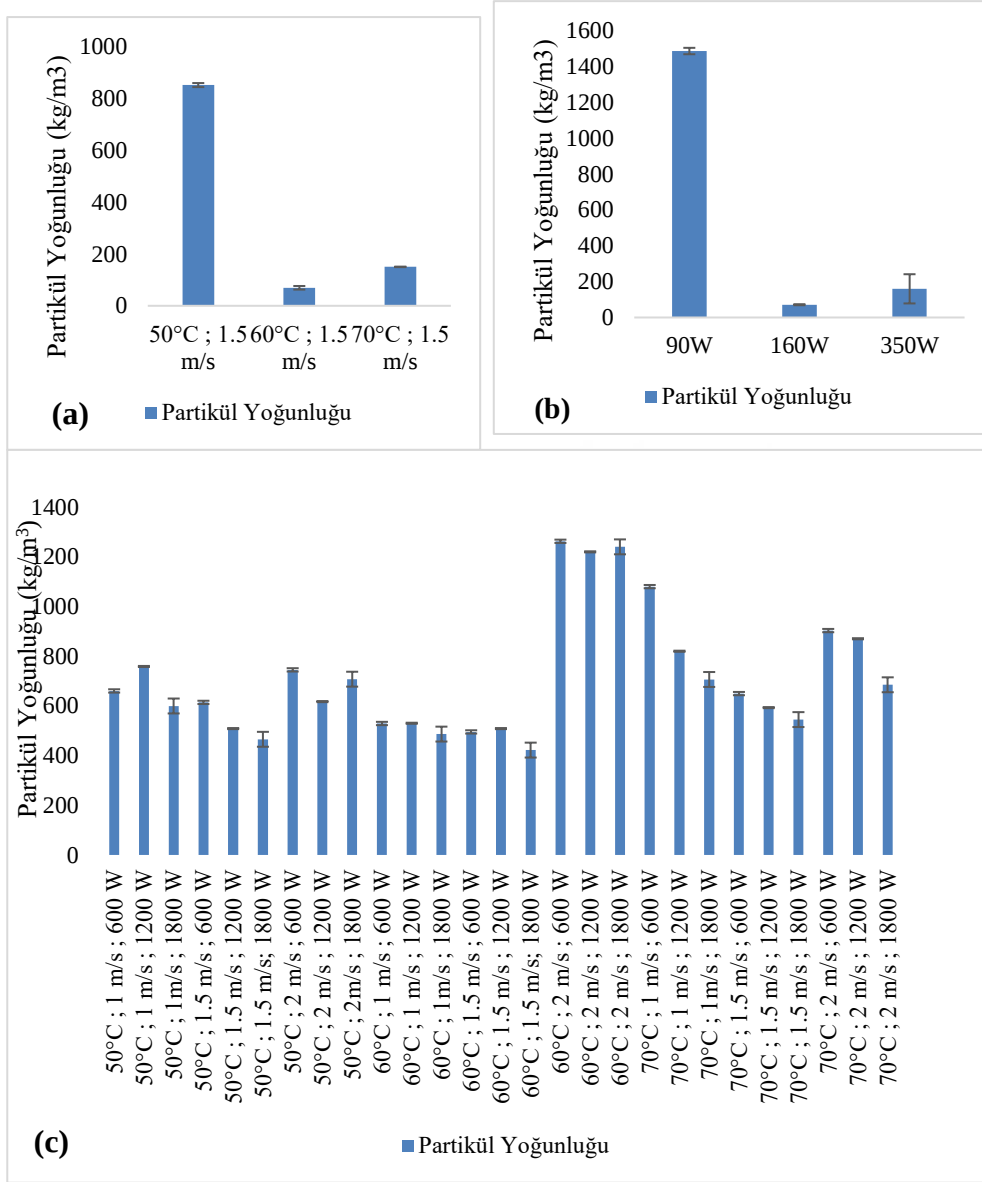
Şekil 4. 33 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu doğal kayma açısı değişimi



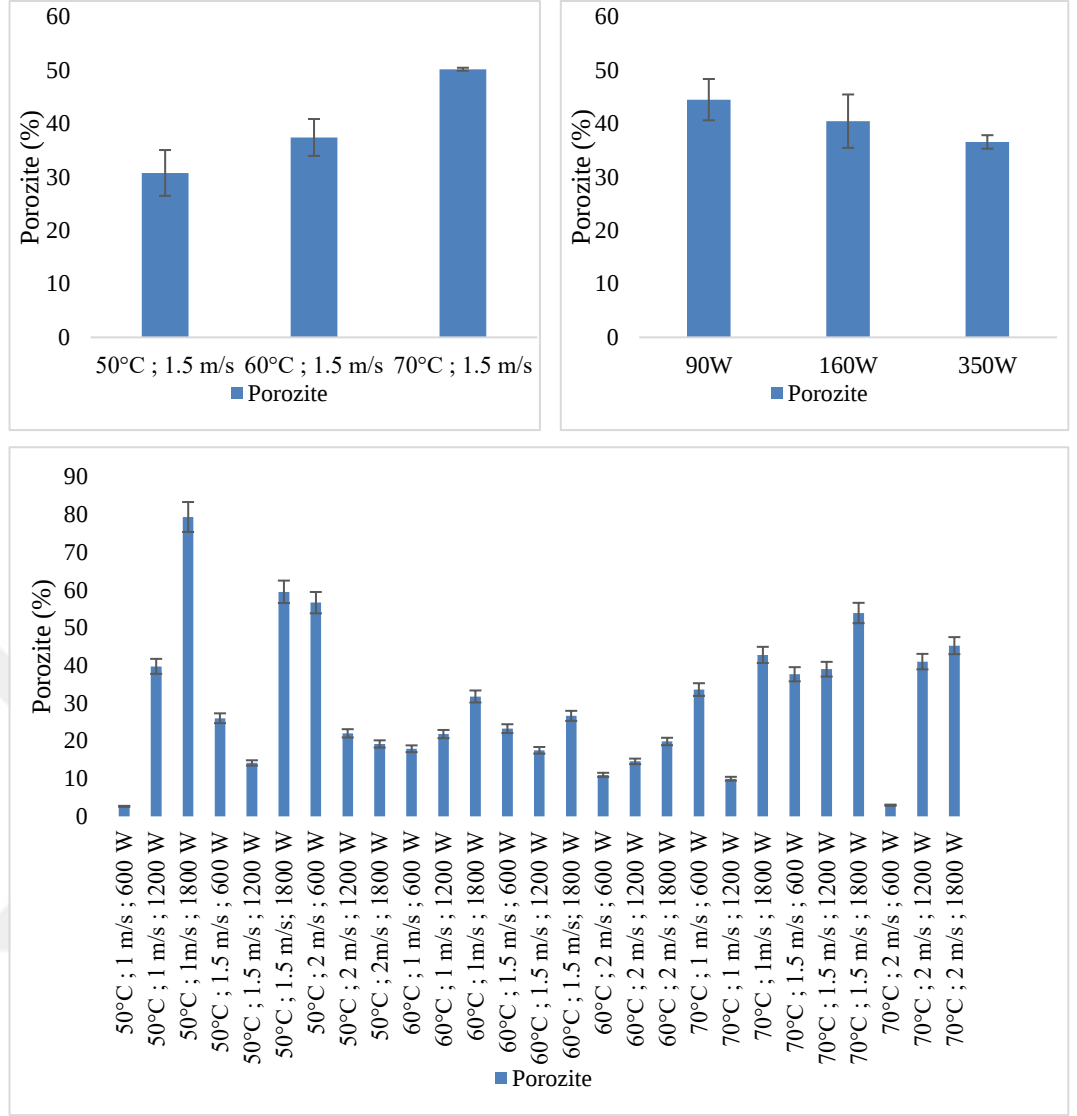
Şekil 4. 34 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu higroskopite değişimi

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının partikül yoğunluğu ve porozite değerleri Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da verilmiştir. Partikül yoğunluğu değerlerinin infrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminde 50 ve 60 °C sıcaklık koşullarında 70°C koşuluna göre genel olarak daha düşük olduğu (60°C sıcaklığında 2 m/s hava hızı koşulları hariç) tespit edilmiştir. İnfrared

destekli taşkın yatak kurutma yönteminde en yüksek porozite değerlerinin 50°C-1 m/s-1800W koşulunda görüldüğü belirlenmiştir.



Şekil 4. 35 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu partikül yoğunluğu değişimi



Şekil 4. 36 Bezelye kabuklarının konveksiyonla kurutma (a), mikrodalga kurutma (b) ve infrared destekli taşkın yatak (c) ile kurutma sonucu porozite değişimi

4.3.5 Kurutulmuş Bezelye Kabuklarının Fonksiyonel Özellik Sonuçları

Farklı kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri Tablo 4.14'te verilmiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle kurutulan bezelye kabuğu tozlarının su tutma kapasitesi değerlerinin konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemlerine göre daha yüksek olduğu, köpürme kapasitesinin ise bir miktar daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma gücünün artması ile birlikte bezelye kabuğu tozlarının yağ tutma kapasitesinin istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azaldığı görülmektedir.

Tablo 4. 14 Farklı kurutma teknikleri ve koşullarında kurutulan bezelye kabuklarının fonksiyonel özellik değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Özellikleri				
	STK	YTK	EK	ES	KK
Mikrodalga Kurutma					
90 W	2.12±0.02 ^b	3.06±0.01 ^c	41.00±0.00 ^c	45.21±0.00 ^a	17.14±0.20 ^c
160 W	2.07±0.02 ^b	2.14±0.03 ^b	40.00±0.00 ^b	52.25±0.00 ^b	13.25±0.12 ^b
350 W	1.47±0.03 ^a	1.67±0.02 ^a	38.20±0.00 ^a	55.45±0.00 ^c	11.45±0.15 ^a
Konveksiyonel Kurutma					
50°C, 1.5 m/s	3.21±0.02 ^c	3.12±0.03 ^b	50.10±0.00 ^c	45.00±0.00 ^b	14.42±0.18 ^b
60°C, 1.5 m/s	2.11±0.03 ^b	2.88±0.04 ^a	43.28±0.00 ^b	48.00±0.00 ^c	11.47±0.31 ^a
70°C, 1.5 m/s	2.08±0.01 ^a	3.25±0.04 ^c	41.25±0.00 ^a	42.00±0.00 ^a	11.45±0.12 ^a
İnfrared Destekli Taşkın Yatak Kurutma					
50°C- 1m/s- 600 W	3.00±0.04 ^{axt}	3.30±0.06 ^{axt}	49.78±0.00 ^{byt}	49.43±0.00 ^{byt}	9.07±0.00 ^{bxt}
50°C- 1m/s- 1200W	3.39±0.07 ^{axt}	3.48±0.03 ^{axt}	43.89±0.00 ^{byt}	47.93±0.00 ^{byt}	8.48±0.00 ^{bxt}
50°C- 1m/s- 1800 W	3.22±0.06 ^{axt}	2.12±0.13 ^{axt}	50.39±0.00 ^{byt}	46.56±0.00 ^{byt}	9.38±0.00 ^{bxt}
50°C- 1.5m/s- 600 W	3.12±0.05 ^{axt}	2.80±0.05 ^{axt}	51.04±0.00 ^{b(xy)t}	48.54±0.00 ^{b(xy)t}	7.70±0.00 ^{bxt}
50°C- 1.5m/s- 1200W	3.28±0.03 ^{axt}	3.10±0.04 ^{axt}	50.27±0.00 ^{b(xy)t}	50.37±0.00 ^{b(xy)t}	7.59±0.00 ^{bxt}
50°C- 1.5m/s- 1800 W	2.89±0.05 ^{axt}	3.55±0.07 ^{axt}	52.04±0.00 ^{b(xy)t}	49.08±0.00 ^{b(xy)t}	10.51±0.00 ^{bxt}
50°C- 2 m/s- 600 W	2.76±0.06 ^{axt}	2.90±0.08 ^{axt}	51.48±0.00 ^{bxt}	46.39±0.00 ^{bxt}	7.21±0.00 ^{bxt}
50°C- 2 m/s- 1200W	3.35±0.04 ^{axt}	2.86±0.06 ^{axt}	51.89±0.00 ^{bxt}	46.64±0.00 ^{bxt}	8.89±0.00 ^{bxt}
50°C- 2 m/s- 1800 W	3.02±0.07 ^{axt}	3.00±0.05 ^{axt}	50.66±0.00 ^{bxt}	50.70±0.00 ^{bxt}	8.54±0.00 ^{bxt}
60°C- 1m/s- 600 W	2.87±0.05 ^{axt}	2.20±0.07 ^{bxt}	51.17±0.00 ^{byt}	51.76±0.00 ^{byt}	9.48±0.00 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1200W	3.09±0.05 ^{axt}	2.73±0.06 ^{bxt}	44.95±0.00 ^{byt}	50.18±0.00 ^{byt}	10.04±0.00 ^{axt}
60°C- 1m/s- 1800 W	3.19±0.08 ^{axt}	2.38±0.08 ^{bxt}	50.41±0.00 ^{byt}	52.08±0.00 ^{byt}	10.21±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 600 W	3.04±0.06 ^{axt}	2.84±0.04 ^{bxt}	54.27±0.00 ^{b(xy)t}	53.07±0.00 ^{b(xy)t}	7.33±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1200W	3.17±0.08 ^{axt}	2.62±0.10 ^{bxt}	53.66±0.00 ^{b(xy)t}	52.03±0.00 ^{b(xy)t}	8.94±0.00 ^{axt}
60°C- 1.5m/s- 1800 W	3.09±0.07 ^{axt}	2.28±0.08 ^{bxt}	52.21±0.00 ^{b(xy)t}	53.13±0.00 ^{b(xy)t}	10.30±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 600 W	2.96±0.04 ^{axt}	2.45±0.07 ^{bxt}	54.24±0.00 ^{bxt}	53.06±0.00 ^{bxt}	7.88±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1200W	3.10±0.06 ^{axt}	2.60±0.03 ^{bxt}	54.43±0.00 ^{bxt}	51.95±0.00 ^{bxt}	10.15±0.00 ^{axt}
60°C- 2 m/s- 1800 W	2.99±0.08 ^{axt}	2.35±0.09 ^{bxt}	53.61±0.00 ^{bxt}	50.90±0.00 ^{bxt}	7.38±0.00 ^{axt}

70°C- 1m/s- 600 W	3.19±0.05 axt	2.20±0.10 cxt	57.13±0.00 ^{ayt}	54.61±0.00 ^{ayt}	8.23±0.00 ^{axt}
70°C- 1m/s- 1200W	2.88±0.08 axt	1.70±0.08 cxt	58.09±0.00 ^{ayt}	53.41±0.00 ^{ayt}	7.20±0.00 ^{axt}
70°C- 1m/s- 1800 W	3.05±0.07 axt	2.05±0.09 cxt	58.06±0.00 ^{ayt}	53.22±0.00 ^{ayt}	8.38±0.00 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 600 W	3.43±0.06 axt	2.10±0.04 cxt	56.41±0.00 a(xy)t	51.22±0.00 a(xy)t	9.57±0.00 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 1200W	2.93±0.07 axt	2.25±0.03 cxt	57.45±0.00 a(xy)t	54.20±0.00 a(xy)t	7.94±0.00 ^{axt}
70°C- 1.5m/s- 1800 W	3.30±0.05 axt	2.18±0.05 cxt	56.88±0.00 a(xy)t	51.96±0.00 a(xy)t	9.11±0.00 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 600 W	3.11±0.04 axt	2.40±0.06 cxt	57.55±0.00 ^{axt}	52.07±0.00 ^{axt}	10.11±0.00 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 1200W	3.32±0.03 axt	1.95±0.04 cxt	57.86±0.00 ^{axt}	55.11±0.00 ^{axt}	10.26±0.00 ^{axt}
70°C- 2 m/s- 1800 W	2.79±0.09 axt	2.15±0.12 cxt	56.96±0.00 ^{axt}	53.91±0.00 ^{axt}	9.48±0.00 ^{axt}

a-c kurutulmuş örneklerde konvektif ve infrared destekli taşkın yatak için sıcaklığa, mikrodalga kurutma için mikrodalga gücüne göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

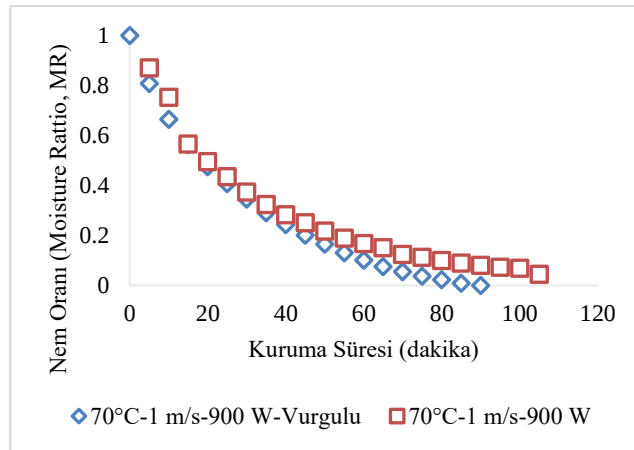
x-z, infrared destekli taşkın yatak kurutmada, kurutulmuş örneklerde hava akış hızına göre önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

t-v infrared destekli taşkın yatak kurutmada, infrared gücüne göre kurutulmuş örneklerde önemli farklılık göstermektedir ($P<0.05$).

4.4 Optimum Koşullarda Vurgu Etkisinin İncelenmesi

4.4.1 Portakal Kabuğu Optimum Koşul Kurutma Deneme Sonuçları

Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan portakal kabuğu nem oranı-kuruma süresi grafiği Şekil 4.37'de gösterilmektedir. Portakal kabukları optimum nokta olarak belirlenen 70°C-1m/s-900W koşulunda vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulmuştur. Şekil incelendiğinde, kurutmanın ilk 30 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Kuruma süreleri vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda sırasıyla 90 ve 105 dakika olarak bulunmuştur. Vurgu etkisi portakal kabuklarının kuruma süresini 15 dakika kısaltmıştır.



Şekil 4. 37 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile kurutma sonucunda portakal kabuğunun nem oranı değişimi

Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan portakal kabuğu enerji değerleri Tablo 4.15'te verilmiştir. Vurgu etkisi infrared destekli taşkın yatak kurutucunun toplam enerji tüketimi, SMER, MER ve SEC değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişime neden olmamıştır.

Tablo 4. 15 Optimum koşulda kurutulan portakal kabuklarının enerji değerleri

Enerji Değerleri	Kurutma Koşulu	
	70°C- 1m/s- 900W	70°C- 1m/s- 900 W-Vurgulu
Enerji Tüketimi (kWh)	2.80±0.12 ^a	2.70±0.08 ^a
SMER (kg su/kWh)	0.018±0.02 ^a	0.018±0.04 ^a
MER (kg su/h)	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a
SEC (MJ/kg su)	196.49±2.48 ^a	199.96±1.83 ^a

a-c kurutulmuş örneklerde infrared destekli taşkın yatak için vurgu etkisine bağlı önemli farklılığı göstermektedir (P<0.05).

Belirlenen optimum koşulda vurgu varlığı ve yokluğunda kurutulan portakal kabuğu tozuna ait analiz sonuçları Tablo 4.16'da verilmiştir. Vurgu etkisinin portakal kabuğu tozunun fiziksel özellik değerlerini anlamlı ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (P<0.05). Vurgu etkisinin son üründe portakal kabuğu tozlarının kül ve protein içeriği üzerinde anlamlı bir değişim göstermediği tespit edilmiştir (P<0.05). Vurgu etkisi ile kurutulan portakal kabuklarının kırmızılık-yeşillik değerinin vurgu etkisi olmayan koşula kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun vurgu etkisi varlığında ürünün daha hızlı kuruması ve sonuç olarak termal etkiye daha az maruz kalarak orijinal rengini daha iyi korunduğundan kaynaklanabilir.

Vurgu etkisi portakal kabuğu tozlarının toz ürün özellikleri üzerinde önemli ölçüde değişime neden olmuştur (P<0.05). Vurgu etkisi varlığında portakal kabuğu tozlarının özellikle daha düşük yapışkanlık ve daha kısa ıslanabilirlik sürelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Vurgu etkisi ile kurutulan portakal kabuğu tozlarının yağ tutma kapasitesi, emülsiyon kapasitesi ve köpürme kapasitesinin vurgu etkisi uygulanmadan kurutulan son ürünlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Nem içeriği, su aktivitesi ve özellikle fonksiyonel özellikler açısından bakıldığında vurgu etkisinin portakal kabuğu tozlarının mikrobiyal açıdan daha stabil ve daha fonksiyonel olmasını sağlamıştır.

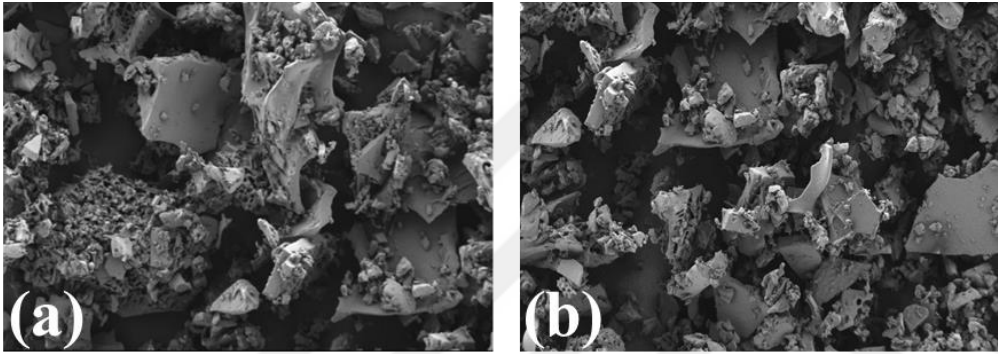
Tablo 4. 16 Optimum koşulda kurutulan portakal kabuklarının fiziksel-kimyasal, toz ürün ve fonksiyonel özellikler sonuçları

Analiz Sonuçları	Kurutma Koşulu	
	70°C- 1m/s- 900W	70°C- 1m/s- 900 W- Vurgulu
Fiziksel-Kimyasal Özellikler		
Nem İçeriği (% yb)	10.85±0.43 ^b	9.32±0.58 ^a
Su Aktivitesi (aw)	0.430±0.041 ^b	0.240±0.012 ^a
Protein İçeriği (%)	1.17±0.02 ^a	1.21±0.36 ^a
Kül İçeriği (%)	8.17±0.08 ^b	7.89±0.12 ^a
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/ 100 g KM)	2624.34±87.77 ^a	2596.54±93.01 ^a
Renk Değerleri		
L*	78.01±0.82 ^a	77.07±1.23 ^a
a*	1.21±0.11 ^a	1.93±0.41 ^b
b*	47.20±0.79 ^a	47.61±0.22 ^a
ΔE	26.63±0.53 ^a	25.40±1.07 ^a
H°	88.53±0.14 ^a	87.68±0.50 ^a
C	47.22±0.79 ^a	47.65±0.23 ^a
BI	88.26±1.99 ^a	91.83±2.90 ^a
Toz ürün Özellikleri		
Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	321.47±5.21 ^b	296.24±4.29 ^a
Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	489±5.75 ^b	449.20±4.94 ^a
Yapışkanlık (HR)	2.47±0.05 ^b	1.52±0.01 ^a
Akabilirlik (CI)	45.74±0.49 ^b	34.05±0.23 ^a
Islanabilirlik Süresi (saniye)	20.41±0.28 ^b	18.50±0.50 ^a
Çözünabilirlik Süresi (saniye)	3.00±0.20 ^a	2.50±0.50 ^a
Dağılabilirlik (%)	95.16±0.02 ^a	94.99±0.27 ^a
Çözünabilirlik (%)	98.49±0.14 ^a	98.50±0.20 ^a
Doğal Kayma Açısı (°)	72.67±2.10 ^a	70.33±2.05 ^a
Higroskopite (%)	14.05±0.05 ^b	11.06±0.24 ^a
Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	1381.52±0.25 ^a	1494.93±0.95 ^b
Porozite	68.51±0.72 ^a	69.94±0.33 ^a
Fonksiyonel Özellikler		
Su Tutma Kapasitesi (%)	5.46±0.10 ^a	5.53±0.13 ^a
Yağ Tutma Kapasitesi (%)	2.03±0.09 ^a	5.46±0.10 ^b
Emülsiyon Kapasitesi (%)	54.55±0.00 ^a	55.63±2.14 ^b
Emülsiyon Stabilitesi (%)	56.82±0.00 ^b	54.55±0.00 ^a
Köpürme Kapasitesi (%)	4.4±0.40 ^a	5.6±0.60 ^b

a-c kurutulmuş örneklerde infrared destekli taşkın yatak için vurgu etkisine bağlı önemli farklılığı göstermektedir (P<0.05).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), bir ürünün iç geometrik yapısını derinlemesine ortaya çıkarmak için gıda yapısı analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir ürünün duyuşal nitelikleri, hücre boyutu, yoğunluk ve homojenlik gibi yapısal özelliklerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Nasir et al.,

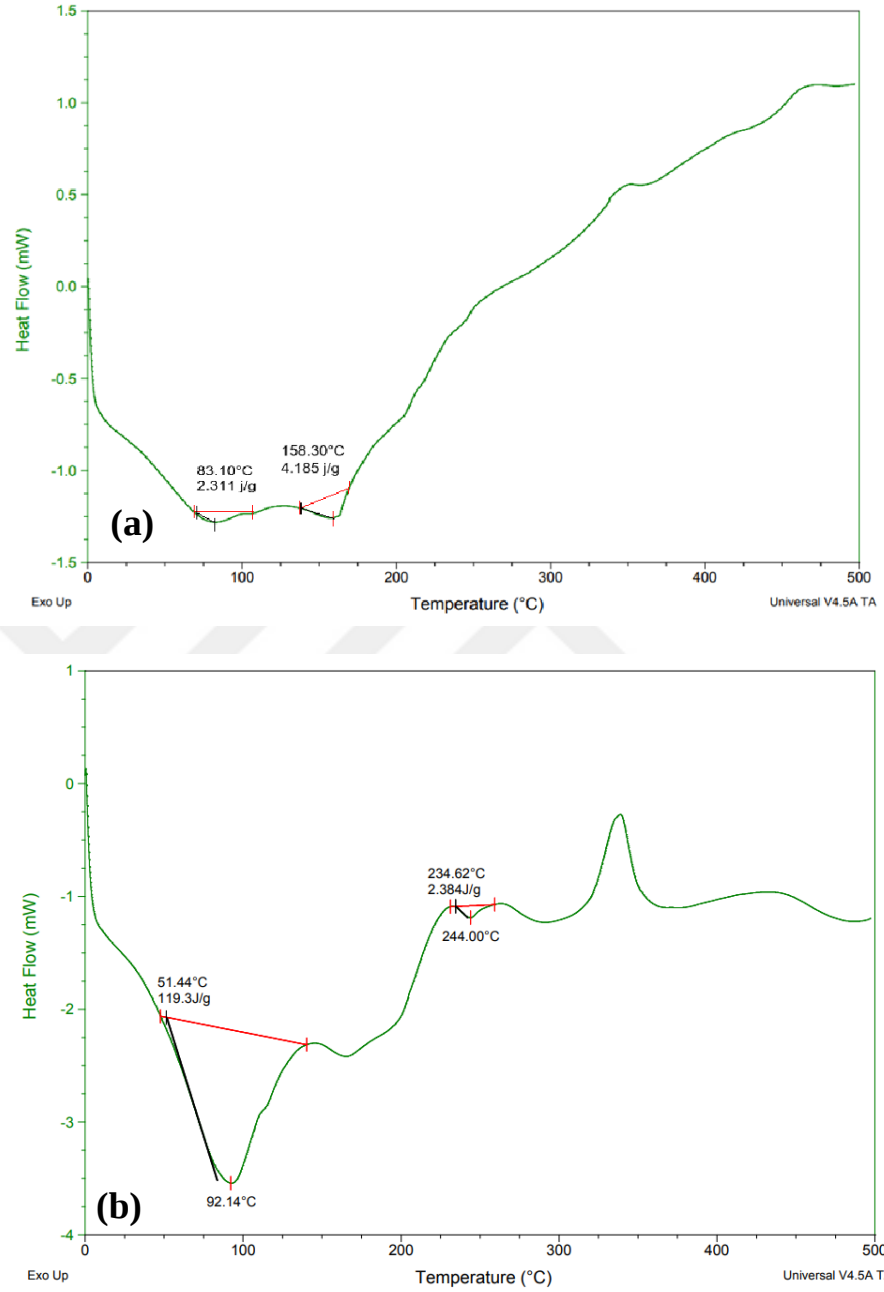
2023). Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan portakal kabuğu SEM görüntüleri Şekil 4.38'de verilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntülere göre, incelenen tozların SEM görüntüleri, topaklanmış formda bir parçacık kümesi göstermektedir. Ayrıca portakal kabuğu tozları farklı boyutlarda ve geometrik desenlerde kılcal damarlara sahip kompozit bir yüzeye sahiptir. İncelenen tozların nispeten düzensiz parçacıklardan oluştuğu görülmektedir. Gözlenen parçacıkların yüzeyi pürüzlü görünmektedir ve bu durumun tozun gözenekli yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Vurgu etkisi varlığında ürün partiküllerinin vurgu etkisi olmadan kurutulan tozlara kıyasla morfolojik olarak daha küçük boyutlarda ve daha homojen dağıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. 38 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş portakal kabuğu SEM görüntüleri

Optimum koşulda vurgu etkisi ve vurgu etkisi olmadan 70°C-1 m/s-900W koşulunda kurutulmuş ve öğütülmüş portakal kabuğu tozlarının termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı ile ölçülmüştür. Termal özelliklerinin incelenmesinde amaç örneklerin ısı değişimine göre gösterdiği tepkiler hakkında öngörüle bulunabilmek ve bu bağlamda gıda proseslerinde kullanımını arttırabilmektir. Bu amaç doğrultusunda; portakal kabuğu tozları 1°C/dk ısıtma hızıyla 0°C'den 500°C'ye ısıtılarak değerlendirme yapılmıştır. Optimum koşulda vurgu etkisi ve vurgu etkisi olmayan portakal kabuğu tozlarına ait termogramlar Şekil 4.39'da verilmiştir. Örneklerde iki adet endotermik geçiş gözlenmiştir. Bu geçiş vurgu etkisi olmadan kurutulan portakal kabuğu tozu için de 80-85°C, vurgu etkisi ile kurutulan örnek için ise 90-95 °C arasında gözlenmiştir. Camı geçiş sıcaklığının yüksek olması gıdanın fonksiyonel özelliklerini termal etkiye karşı koruduğunu ve daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Optimum koşulda vurgu

etkisinin kurutma işleminde uygulanması ile portakal kabuğu tozlarının camsı geçiş sıcaklığının arttırıldığı söylenebilir.

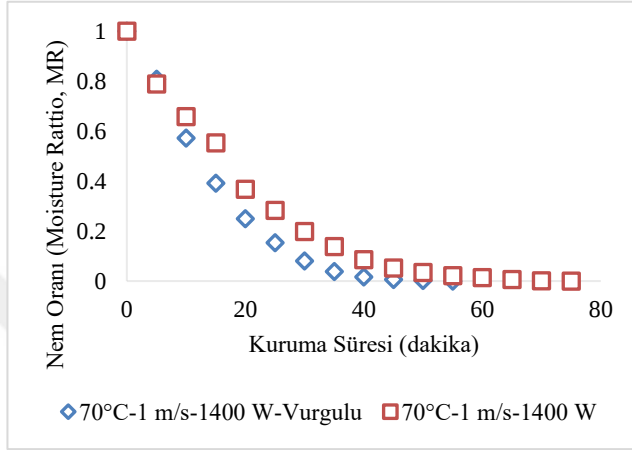


Şekil 4. 39 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş portakal kabuğu tozu DSC termogramı

4.4.2 Bezelye Kabuğu Optimum Koşul Kurutma Deneme Sonuçları

Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan bezelye kabuğu nem oranı-kuruma süresi grafiği Şekil 4.40'ta gösterilmektedir. Bezelye kabukları bu

hammadde için optimum nokta olarak belirlenen 70°C-1m/s-1400W koşulunda vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulmuştur. Şekil incelendiğinde, portakal kabuğuna benzer şekilde bezelye kabuğu için de kurutmanın ilk 30 dakikasında hızlı bir nem oranı düşüşü gözlenmiştir. Kuruma süreleri vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda sırasıyla 55 ve 75 dakika olarak bulunmuştur. Vurgu etkisi portakal kabuklarının kuruma süresini 20 dakika kısaltmıştır.



Şekil 4. 40 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile kurutma sonucunda bezelye kabuğunun nem oranı değişimi

Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan portakal kabuğu enerji değerleri Tablo 4.17'de verilmiştir. Vurgu etkisi bezelye kabuklarının daha hızlı kurumasını sağladığı için kurutucunun toplam enerji tüketimi üzerinde vurgu etkisi uygulanmayan koşula göre istatistiksel olarak önemli ölçüde enerji tüketimi düşüşüne neden olmuştur. Vurgu etkisi varlığında vurgu etkisi olmayan koşula daha yüksek SMER ve SEC sonuçları görülürken daha düşük MER sonuçları tespit edilmiştir.

Tablo 4. 17 Optimum koşulda kurutulan bezelye kabuklarının enerji değerleri

Enerji Değerleri	Kurutma Koşulu	
	70°C- 1m/s- 1400W	70°C- 1m/s- 1400 W- Vurgulu
Enerji Tüketimi (kWh)	3.25±0.03 ^b	1.56±0.02 ^a
SMER (kg su/kWh)	0.022±0.01 ^a	0.045±0.02 ^b
MER (kg su/h)	0.06±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a
SEC (MJ/kg su)	166.31±3.15 ^b	80.43±4.02 ^a

a-c kurutulmuş örneklerde infrared destekli taşkın yatak için vurgu etkisine bağlı önemli farklılığı göstermektedir (P<0.05).

Belirlenen optimum koşulda vurgu varlığı ve yokluğunda kurutulan bezelye kabuğu tozuna ait analiz sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir. Vurgu etkisinin bezelye kabuğu tozunun nem içeriği ve su aktivitesi değerlerini istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azalttığı, kül içeriği değerini ise arttırdığı tespit edilmiştir ($P<0.05$). Vurgu etkisinin son üründe bezelye kabuğu tozlarının protein içeriği üzerinde anlamlı bir değişim göstermemiştir ($P<0.05$). Vurgu etkisi ile kurutulan bezelye kabuklarının toplam renk değişimi değerinin vurgu etkisi olmayan koşula göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun vurgu etkisi varlığında ürünün daha hızlı kuruması ve sonuç olarak termal etkiye daha az maruz kalarak taze örneğe yakın renk özelliği göstermesinden kaynaklanabilir.

Vurgu etkisi varlığında bezelye kabuğu tozlarının daha düşük higroskopite değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Vurgu etkisi ile kurutulan bezelye kabuğu tozlarının emülsiyon kapasitesi ve köpürme kapasitesinin vurgu etkisi uygulanmadan kurutulan son ürünlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

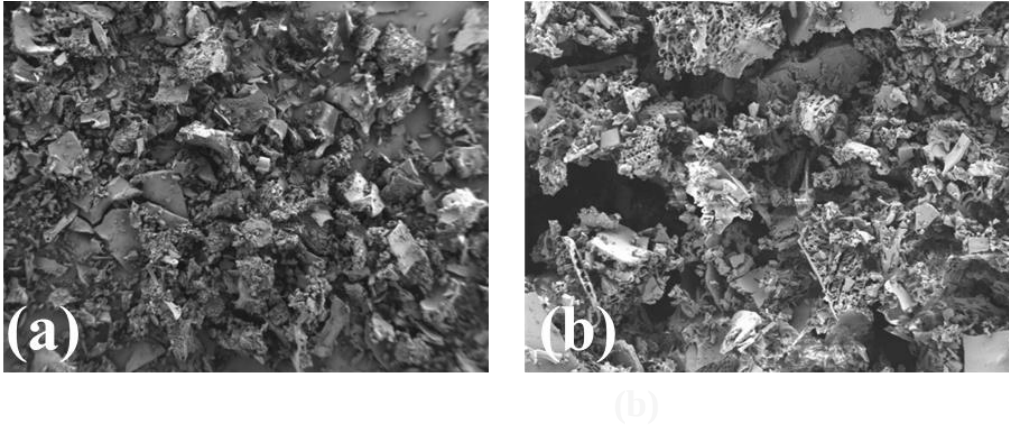
Tablo 4. 18 Optimum koşulda kurutulan bezelye kabuklarının fiziksel-kimyasal, toz ürün ve fonksiyonel özellik sonuçları

Analiz Sonuçları	Kurutma Koşulu	
	70°C- 1m/s- 1400W	70°C- 1m/s- 1400 W- Vurgulu
Fiziksel-Kimyasal Özellikler		
Nem İçeriği (% yb)	10.74±0.11 ^b	8.89±0.25 ^a
Su Aktivitesi (aw)	0.302±0.002 ^a	0.301±0.003 ^a
Protein İçeriği (%)	1.67±0.40 ^a	1.70±0.13 ^a
Kül İçeriği (%)	3.86±0.90 ^a	20.12±3.27 ^b
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/ 100 g KM)	1014.39±31.96 ^b	920.96±15.84 ^a
Renk Değerleri		
L*	61.28±1.58 ^a	65.02±0.90 ^b
a*	-7.19±0.30 ^a	-7.10±0.16 ^a
b*	25.64±0.81 ^a	24.77±0.33 ^a
ΔE	28.70±0.95 ^b	24.07±0.78 ^a
H°	285.76±0.62 ^a	286.00±0.35 ^a
C	26.64±0.83 ^a	25.77±0.34 ^a
BI	42.63±0.98 ^a	37.59±0.76 ^a
Toz ürün Özellikleri		
Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	591.23±8.57 ^a	543.91±7.25 ^a
Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	704.04±24.28 ^a	691.49±11.72 ^a
Yapışkanlık (HR)	1.19±0.02 ^a	1.27±0.05 ^a

Akabilirlik (CI)	15.97±1.68 ^a	21.34±0.28 ^b
Islanabilirlik Süresi (saniye)	40.10±1.45 ^a	55.10±1.25 ^b
Çözünabilirlik Süresi (saniye)	4.26±1.12 ^a	6.00±1.45 ^b
Dağılıbilirlik (%)	95.98±0.12 ^a	95.45±0.35 ^a
Çözünabilirlik (%)	98.04±0.17 ^a	98.04±0.06 ^a
Doğal Kayma Açısı (°)	53.33±1.25 ^a	61.67±1.25 ^b
Higroskopite (%)	18.73±0.21 ^b	10.21±0.32 ^a
Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	1920.76±49.25 ^a	1765.13±58.63 ^a
Porozite	63.35±1.26 ^b	57.04±0.73 ^a
Fonksiyonel Özellikler		
Su Tutma Kapasitesi (%)	2.87±0.26 ^b	2.40±0.14 ^a
Yağ Tutma Kapasitesi (%)	1.75±0.01 ^a	1.56±0.24 ^a
Emülsiyon Kapasitesi (%)	51.19±1.19 ^a	52.63±0.03 ^b
Emülsiyon Stabilitesi (%)	61.01±1.49 ^b	50.42±0.09 ^a
Köpürme Kapasitesi (%)	8.05±0.20 ^a	8.78±0.19 ^b

a-c kurutulmuş örneklerde infrared destekli taşkın yatak için vurgu etkisine bağlı önemli farklılığı göstermektedir (P<0.05).

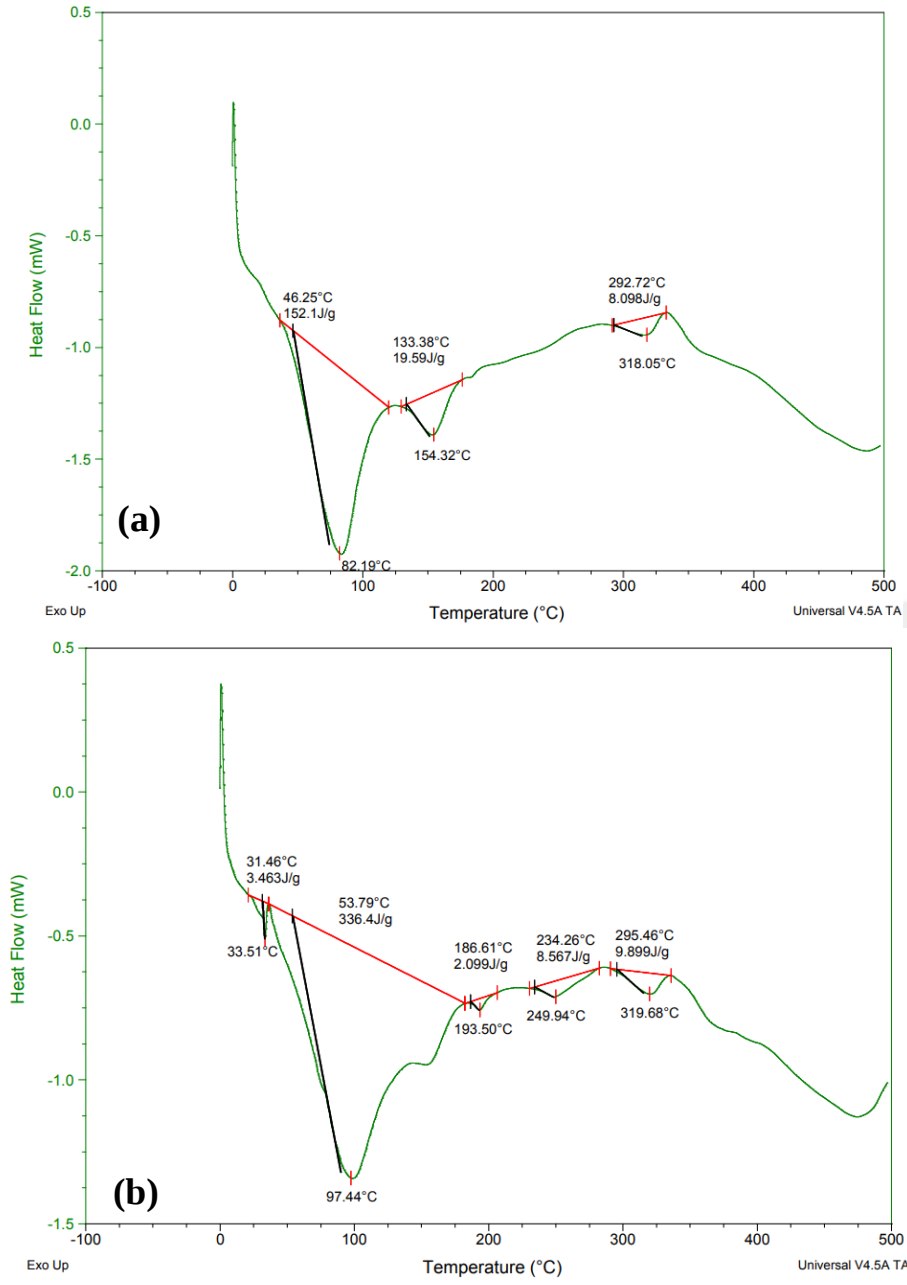
Vurgu etkisi varlığı ve yokluğunda kurutulan bezelye kabuğu SEM görüntüleri Şekil 4.41’de verilmiştir. Bezelye kabuğu tozlarının yüzeylerinin pürüzlü ve gözenekli olduğu belirlenmiştir. Vurgu etkisi varlığında ürünün daha homojen ve kısa sürede kuruması nedeniyle tozların morfolojik yapısının vurgu etkisi olmadan kurutulan tozlara kıyasla daha poroz yapıda olduğu görülmektedir. Bu durumun vurgu etkisinde kurutma işleminin vurgu etkisi olmayan kurutmaya göre daha kısa sürmesi ve bezelyenin lifli yapısını daha iyi korumasından kaynaklanabilir.



Şekil 4. 41 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş bezelye kabuğu SEM görüntüleri

Optimum koşulda vurgu etkisi ve vurgu etkisi olmadan 70°C-1 m/s-1400W koşulunda kurutulmuş ve öğütülmüş bezelye kabuğu tozlarının termal özellikleri ölçülmüştür. Termal özelliklerinin incelenmesinde amaç örneklerin ısı değişimine

göre gösterdiği tepkiler hakkında öngörüle bulunabilmek ve bu bağlamda gıda proseslerinde kullanımını arttırabilmektir. Bu amaç doğrultusunda; bezelye kabuğu tozları 10°C/dk ısıtma hızıyla -100°C'den 500°C'ye ısıtılarak değerlendirme yapılmıştır. Optimum koşulda vurgu etkisi ve vurgu etkisi olmayan bezelye kabuğu tozlarına ait termogramlar Şekil 4.42'de verilmiştir. Bu termogramlar üzerinden değerlendirme yapıldığında vurgu etkisi uygulanan bezelye kabuğu tozu için üç adet, vurgu etkisi uygulanmadan kurutulan bezeleye kabuğu tozu için ise beş adet endotermik geçiş gözlenmiştir. Bu geçiş vurgu etkisi olmadan kurutulan portakal kabuğu tozu için de 80-85°C, vurgu etkisi ile kurutulan örnek için ise 95-100 °C arasında gözlenmiştir. Optimum koşulda vurgu etkisinin kurutma işleminde uygulanması ile bezelye kabuğu tozlarının da camsı geçiş sıcaklığının arttığı söylenebilir.



Şekil 4. 42 Optimum koşulda infrared destekli taşkın yatak ile vurgusuz (a) ve vurgu etkisi (b) ile kurutulmuş bezelye kabuğu tozu DSC termogramı

5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, bezelye ve portakal kabuklarının kuruma kinetiği ve fiziksel-kimyasal özellikleri, enerji değerleri ve fonksiyonel özellikleri üzerinde konveksiyonel, mikrodalga ve infrared destekli taşkın yatak kurutma koşullarının tanımlanmasını ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Kurutma sıcaklığı numunelerin kuruma süresini önemli ölçüde etkilemiştir. İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemi için, kurutma süreleri genellikle konveksiyonla kurutmadan daha kısa ve mikrodalga kurutmadan daha uzun olarak tespit edilmiştir.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutucuda, sıcaklık arttıkça portakal kabuğu kurutma süreleri istatistiksel olarak kısalmıştır. Konveksiyonla kurutma, literatürdeki diğer çalışmalar gibi bu çalışmada da diğer kurutma yöntemlerine göre daha fazla enerji gerektirmiştir. Konveksiyonla kurutmada kuruma sürelerinin mikrodalga kurutma ile kurutulan örnekler göre önemli ölçüde daha uzun olduğu ($P<0.05$) tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma ile kurutulan bezelye kabuğu tozlarının nem içeriklerinin konveksiyonla kurutulan örnekler göre genel olarak daha düşük olduğu, tüm örneklerin su aktivitesi değerlerinin ise güvenilir gıda kriteri olan $a_w<0.6$ değerinin altında bulunduğu belirlenmiştir. İnfrared destekli vurgulu taşkın yatak kurutmada kuruma sürelerinin konveksiyonla kurutulan örnekler göre önemli ölçüde daha uzun olduğu ($P<0.05$), kurutma sıcaklığı ve infrared gücünün artmasıyla kuruma sürelerinin kısaldığı tespit edilmiştir.

Taşkın yatak kurutma yöntemi ile kurutulan bezelye kabuğu tozlarının nem içeriklerinin konveksiyonla kurutulan örnekler göre genel olarak daha düşük olduğu, tüm örneklerin su aktivitesi değerlerinin ise güvenilir gıda kriteri olan $a_w<0.6$ değerinin altında bulunduğu belirlenmiştir. İnfrared destekli vurgulu taşkın yatak kurutma yöntem ve koşullarında kurutulan bezelye kabuğu tozlarında kurutma sıcaklığı ve infrared gücünün artması toplam renk değişimi değerlerinin arttığı ancak mikrodalga kurutma yöntemine göre toplam renk değişiminin daha düşük olduğu görülmüştür.

İnfrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemindeki bezelye ve portakal kabuğu için su aktivitesi sonuçlarının, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemlerine göre çok daha düşük olduğu bulunmuştur. En düşük nem içeriği (%5,21, wb) ve su aktivitesi ($0,122\pm0,002$) değerleri 70°C -1 m/s-1800W kızılötesi destekli püskürtmeli yatakta kurutulan portakal kabuklarında gözlenmiştir.

İşlenmemiş portakal kabuğuna en yakın renk parametreleri, ΔE ve C değerlerine göre 50°C sıcaklık koşullarında infrared destekli taşkın yatak kurutma yöntemiyle elde edilmiştir. Sonuçlar, infrared destekli taşkın yatak kurutma yönteminin, konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında, nihai ürün kalitesi, özellikle su aktivitesi ve renk özellikleri açısından genel olarak üstün olduğunu göstermiştir. Portakal kabukları için özellikle emülsiyon kapasitesinin ön plana çıkması nedeniyle vegan-vejetaryen beslenme için geliştirilen ürünlerde kullanım alana oluşturmaktadır. Fonksiyonel özellik yönünden portakal kabuğunun yeni çalışmalarda detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir.

Bu tezin gıda atıklarının geri dönüşümünün sağlanması (bezelye ve portakal kabuğu) ve tekrar değerlendirilmesine yönelik inovatif kurutucu sistemi ve gıda endüstrisi atıklarının detaylı son ürün analizlerini içermesi yönleri ile özgün bir proje olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmanın devamında tasarlanan infrared destekli taşkın yatak kurutucuda farklı frekansta vurgu etkisinin ve farklı gıda gruplarının kurutulmasının denenmesi ile infrared destekli taşkın yatak kurutucunun diğer kurutma yöntemlerine karşı avantaj ve dezavantajlarının detaylandırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abou-Arab, A. A., Mahmoud, M. H., & Abu-Salem, F. M. (2016). Bioactive compounds content of citrus peel as affected by drying processes. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 10(4), 240-243.
- Adelaja, A. O., Ogunmola, B. Y., & Akolade, P. O. (2009). Development of a photovoltaic powered forced convection solar dryer. In *Advanced Materials Research* (Vol. 62, pp. 543-548). Trans Tech Publications Ltd.
- Afzal, T. M., & Abe, T. (1997). Modeling far infrared drying of rough rice. *Journal of Microw. Power Electromagn. Energ.*, 32, 80.
- Akdoğan, A. (2014). Bezelye kabuğunun farklı sistemlerdeki kuruma kinetiğinin ve kurutulmuş ürünün öğütülmesiyle elde edilen toz ürün özelliklerinin belirlenmesi [Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi].
- Akhavan, A., van Ommen, J. R., Nijenhuis, J., Wang, X. S., Coppens, M. O., & Rhodes, M. J. (2009). Improved drying in a pulsation-assisted fluidized bed. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(1), 302-309.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., & Öztürk, M. (2012). Drying of tomato in a photovoltaic and thermal solar-powered continuous dryer. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(4), 287-298.
- Aktaş, M., Menlik, T., Boran, K., Aktekeli, B., & Aktekeli, Z. (2014). Isı pompalı bir kurutucuda portakal kabuğunun kurutulması. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji*, 2(2), 229-238.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., & Öztürk, M. (2012). Fotovoltaik ve termal güneş enerjili sürekli bir kurutucuda domates kurutulması.
- Alan, Ö., & Geren, H. (2012). Bezelye’de (*Pisum sativum* L.) farklı ekim zamanlarının tane verimi ve diğer bazı tarımsal özellikler üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49(2), 127-134.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Alibas, I. (2006). Characteristics of chard leaves during microwave, convective, and combined microwave convective drying. *Drying Technology*, 24(1), 1425- 1435.
- Anonim(2017).<http://www.tohumcu.org/index.php?page=teknikbilgi1DetayT&pid=19> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- Anonim. (2019). <http://foodwaste-fruit.tripod.com/id1.html> (Erişim Tarihi: 25.11.2019).
- Anwar, F., Naseer, R., Bhanger, M. I., Ashraf, S., Talpur, F. N., & Aladedunye, F. A. (2008). Physico-chemical characteristics of citrus seeds and seed oils from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(4), 321-330.
- Anwar, F., Naseer, R., Bhanger, M.I., Ashraf, S., Talpur, F.N., & Aladedunye, F.A. (2008). Physico-chemical characteristics of citrus seeds and seed oils from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(4), 321–330.
- Anyanwu, C. N., Oparaku, O. U., Onyegegbu, S. O., Egwuatu, U., Edem, N. I., Egbuka, K., ... Sharma, V. K. (2012). Experimental investigation of a photovoltaic-powered solar cassava dryer. *Drying Technology*, 30(4), 398-403.
- AOAC, Official Methods of Analysis. (2000). 17th ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Atacan K. & Yanık D.K. (2017). Yaban Mersini (*Vaccinium corymbosum* L.) Suyu Konsantresinin Püskürtmeli Kurutucuda Kurutulması: Tepki Yüzey Yöntemiyle Optimizasyon. *Akademik Gıda*, 15, 139-148.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Babaki, A., Askari, G., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Drying behavior, diffusion modeling, and energy consumption optimization of *Cuminum cyminum* L. undergoing microwave-assisted fluidized bed drying. *Drying Technology*, 38(1-2), 224-234.
- Barajas, J., Cortes-Rodriguez, M., Rodriguez-Sandoval, E., Effect of temperature on the drying process of bee pollen from two zones of Colombia. *Journal of Food Process Engineering*, 35, 134-148 (2012).
- Bassey, E. J., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2022). Improving drying kinetics, physicochemical properties and bioactive compounds of red dragon fruit (*Hylocereus* species) by novel infrared drying. *Food Chemistry*, 375, 131886.
- Baysal, T., İçier, F., & Baysal, A. H. (2011). *Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri*. Sidas Medya Yayınları, Çankaya, İzmir.
- Baysal, T., Rayman, A., & Bozkır, H. (2013). Kurutulmuş Ürünlerin Ambalajlanması ve Saklanması. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Teskon+ Sodex Fuarı, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan 2013.
- Cai, Y.Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. *Journal of Food Science*, 65, 1248–1252.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420–428.
- Cao, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Zhong, Q. (2019). Evaluation of quality properties and water mobility in vacuum microwave-dried carrot slices using pulse-spouted bed with hot air. *Drying Technology*, 37(9), 1087-1096.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cao, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Zhong, Q., (2019). Evaluation of quality properties and water mobility in vacuum microwave-dried carrot slices using pulse-spouted bed with hot air. *Drying Technology*, 37(9), 1087-1096.
- Ceylan, İ., Kaya, M., Gürel, A. E., & Ergun, A. (2013). Energy analysis of a new design of a photovoltaic cell-assisted solar dryer. *Drying Technology*, 31(9), 1077-1082.
- Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 657–668.
- Chen, G., Wang, W., & Mujumdar, A.S. (2001). Theoretical study of microwave heating patterns on batch fluidized bed drying of porous material. *Chemical Engineering Science*, 56, 6823–6835.
- Chua K.J., Chou S.K., (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 519-528.
- Das, I., Bal, S., & Das, S. K. (2003). Optimization of the vibration-aided infrared heating process using response surface methodology: An application to the drying and parboiling of high moisture paddy. Paper no 036040, ASAE Annual Meeting.
- de Barros Júnior, C., Tavares, C. R. G., & de Barros, S. T. D. (2003). Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos–estudo para o município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Technology*, 25(1), 17-25.
- de Brito, R. C., Tellabide, M., Estiati, I., Freire, J. T., & Olazar, M. (2021). Drying of particulate materials in draft tube conical spouted beds: Energy analysis. *Powder Technology*, 388, 110-121.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- de Moraes Barros, H. R., de Castro Ferreira, T. A. P., & Genovese, M. I. (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134(4), 1892-1898.
- Dehghan-Manshadi, A., Peighambaroust, S. H., Azadmard-Damirchi, S., & Niakousari, M. (2020). Effect of infrared-assisted spouted bed drying of flaxseed on the quality characteristics of its oil extracted by different methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 74-80.
- Dehghan-Manshadi, A., Peighambaroust, S. H., Azadmard-Damirchi, S., & Niakousari, M. (2020). Effect of infrared-assisted spouted bed drying of flaxseed on the quality characteristics of its oil extracted by different methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 74-80.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Yang, W. X., Zhang, Q., Zheng, Z. A., Wu, M., & Xiao, H. W. (2020). Hot air impingement drying kinetics and quality attributes of orange peel. *Journal of Food processing and preservation*, 44(1), e14294.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., ... & Xiao, H. W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- Doymaz, İ., & Karasu, S. (2018). Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(3), 269-276.
- Elik, A., Armağan, H. S., Göğüş, F., Oboturova, N., Nagdalian, A., Smaoui, S., & Shariati, M. A. (2023). Impact of radio frequency-assisted hot air drying on drying kinetics behaviors and quality features of orange peel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Epstein, N., & Grace, J. R. (1997). Spouting of particulate solids. In Handbook of powder science & technology (pp. 532-567). Springer, Boston, MA.
- Erbay, Z. (2013). Püskürtmeli Kurutucuda Beyaz Peynir Tozu Üretim Optimizasyonu ve Peynir Suyu ile Maltodekstrin Kullanımının Ürün Kalitesi ve Depolama Stabilitesi Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 2013.
- Fasina, O. O., & Tyler, R. T. (2001). Infrared heating of biological materials. In Food Processing Operations Modeling—Design and Analysis, Irudayaraj, J. (Ed.). New York: Marcel Dekker, chap. 7.
- Fayed, M. E., & Otten, L. (1997). Handbook of powder science & technology. Spouting of Particulate Solids. New York, Chapman & Hall.
- Fejzić, A., & Ćavar, S. (2014). Phenolic compounds and antioxidant activity of some citrus. Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina, 42, 1-4.
- Feng, H., & Tang, J. (1999). Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: The effect of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatiles. Journal of Food Processing Preservation, 23, 463-479.
- Figura, L. O., & Teixeira, A. A. (2023). Water activity. In Food Physics: Physical Properties-Measurement and Applications (pp. 1-57). Cham: Springer International Publishing.
- Finney, J., Buffo, B., & Reineccius, C.A. (2002). Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavors. Journal of Food Science, 67(3).
- Franke, S.I.R., Chless, K., Silveria, J.D., and Robensam, G. (2004). Study of antioxidant and mutagenic activity of different orange juices. Food Chemistry, 88, 45-

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fu, W-R., & Lien, W-R. (1998). Optimization of far infrared heat dehydration of shrimp using RSM. *Journal of Food Science*, 63, 80.
- Gabel, M. M., Pan, Z., Amaratunga, K. S. P., Harris, L. J., & Thompson, J. F. (2006). Catalytic infrared dehydration of onions. *Journal of Food Science*, 71, E351.
- Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 1014-1024.
- Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 1014-1024.
- García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., Riera, E., & Mulet, A. (2009). Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology*, 27(2), 281-287.
- Garcia-Perez, J. V., Ortuño, C., Puig, A., Carcel, J. A., & Perez-Munuera, I. (2012). Enhancement of water transport and microstructural changes induced by high-intensity ultrasound application on orange peel drying. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2256-2265.
- Gelperin, N. I., Ainshtein, V. G., & Timokhova. L. P. (1961). Hydrodynamic features of fluidization of granular materials in conical sets. *Khim. Mashinostr.*, (Moscow) 4, 12.
- Ghanem Romdhane, N., Bonazzi, C., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2015). Effect of air-drying temperature on kinetics of quality attributes of lemon (*Citrus limon* cv. *lunari*) peels. *Drying Technology*, 33(13), 1581-1589.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177.
- Gishler, P. E. (1983). The spouted bed technique- Discovery and early studies at N.R.C. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61, 267-268.
- Gishler, P. E. (1983). The spouted bed technique- Discovery and early studies at N.R.C. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61, 267-268.
- Gong, Z., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Sun, J. (2008). Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder. *Drying Technology*, 26, 116-121.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26(6), 726-737.
- Goulas, V., & Manganaris, G. A. (2012). Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus. *Food Chemistry*, 131(1), 39-47.
- Hebbbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65, 557.
- Hidaka, Y., Kubota, K., & Ichikawa, T. (2004). Development of a far-infrared radiation dryer for grain, Paper no: 046154, ASABE Annual Meeting.
- Hui, Y. H. (Ed.). (2008). *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*. DEStech Publications, Inc.
- Jadhav, D. B., Visavale, G. L., Sutar, N., Annapure, U. S., & Thorat, B. N. (2010). Studies on solar cabinet drying of green peas (*Pisum sativum*). *Drying Technology*, 28(5), 600-607.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jiang, N., Jin, L. F., da Silva, J. A. T., Islam, M. Z., Gao, H. W., Liu, Y. Z., & Peng, S. A. (2014). Activities of enzymes directly related to sucrose and citric acid metabolism in citrus fruit in response to soil plastic film mulch. *Scientia Horticulturae*, 168, 73-80.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84, 194-205.
- Jumah, R. Y., & Raghavan, G. S. V. (2001). Analysis of heat and mass transfer during combined microwave convective spouted-bed drying. *Drying Technology*, 19(3), 485-506.
- Jumah, R. Y., Mujumdar, A. S., & Raghavan, G. S. V. (1996). A mathematical model for constant and intermittent batch drying of grains in a novel rotating jet spouted bed. In I. Turner, & A.S. Mujumdar (Eds.), *Mathematical Modelling and Numerical Techniques in Drying Technology* (pp. 339-380). Marcel Dekker, New York.
- Jun, S., & Irudayaraj, J. (2004). Explore the mechanism of selective infrared heating on disinfection of fungal spores. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 481.
- Kahyaoglu L. N., Sahin S., & Sumnu G. (2010). Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering*, 98, 159-169.
- Kahyaoglu, L. N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2010). Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering*, 98.
- Kammoun Bejar, A., Kechaou, N., & Boudhrioua Mihoubi, N. (2011). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Processing & Technology*, 2(02), 109-116.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kesbi, O. M., Sadeghi, M., & Mireei, S. A. (2016). Quality assessment and modeling of microwave-convective drying of lemon slices. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 9(3), 216-223.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E.A., & McClements, D.J. (2006). Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Research International*, 39, 449–457.
- Koç, M., Koç, B., & Kaymak-Ertekin, F. (2011). Toz Gıdaların Fiziksel Karakterizasyon Özellikleri. *Akademik Gıda*, 9(4), 60-70.
- Koç, M., Koç, B., & Kaymak-Ertekin, F. (2011). Toz Gıdaların Fiziksel Karakterizasyon Özellikleri. *Akademik Gıda*, 9(4), 60-70.
- Krishnamurthy, K., Jun, S., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Efficiency of infrared heat treatment for inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk. *Journal of Food Process Engineering*, 31, 798.
- Kumar, A., Rout, R. K., & Rao, P. S. (2022). Effect of drying methods on physico-chemical and bioactive compounds of mandarin (*Citrus reticulata*) peel. *International Journal of Food Engineering*, 18(10-11), 689-700.
- Laufenberg, G., Kunz, B., & Nystroem, M. (2003). Transformation of vegetable waste into value-added products: (A) the upgrading concept;(B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87(2), 167-198.
- Lazarin, R. A., Zanin, R. C., Silva, M. B. R., Ida, E. I., Berteli, M. N., & Kurozawa, L. E. (2023). Drying kinetic and bioactive compounds of okara dried in microwave-assisted rotating-pulsed fluidized bed dryer. *Food and Bioprocess Technology*, 16(3), 565-575.
- Lin, C. S., & Zayas, J. F. (1987). Functionality of defatted corn germ proteins in a model system: fat binding capacity and water retention. *Journal of Food Science*, 52(5), 1308-1311.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., Boudhrioua, N. M., Mezghenni, H., Hamrouni, L., ... & Khouja, M. L. (2015). Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of New Sciences*.
- Madhiyanon, T., Soponronnarit, S., & Tia, W. (2001). Industrial-scale prototype of continuous spouted bed paddy dryer. *Drying Technology*, 19, 207–216.
- Manjarres-Pinzon, K., Cortes-Rodriguez, M., & Rodríguez-Sandoval, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30, 667-676.
- Manjarres-Pinzon, K., Cortes-Rodriguez, M., & Rodríguez-Sandoval, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30, 667-676.
- Maskan M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Mathur, K. B., & Epstein, N. (1974). *Spouted Beds*. Academic Press, New York.
- Mathur, K. B., & Gishler, P. E. (1955). A study of the application of the spouted bed technique to wheat drying. *Journal of Applied Chemistry*, 5, 624.
- Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., & Soponronnarit, S. (2008). Different strategies of far-infrared application in paddy drying. *International Journal of Food Engineering*, 4, Article 10.
- Mohajer, A., Nematollahi, O., Joybari, M. M., Hashemi, S. A., Assari, M. R., (2013). Experimental investigation of a hybrid solar drier and water heater system. *Energy Conversion and Management*, 76, 935-944.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Moradi, M., Azizi, S., Niakousari, M., Kamgar, S., & Khaneghah, A. M. (2020). Drying of green bell pepper slices using an IR-assisted Spouted Bed Dryer: An assessment of drying kinetics and energy consumption. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102280.
- Moyano, M. J., Meléndez-Martínez, A. J., Alba, J., & Heredia, F. J. (2008). A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (II): CIELUV and CIELAB uniform colour spaces. *Food Research International*, 41(5), 513-521.
- Mujumdar, A. S. (2000). *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*. Science Publishers, USA.
- Mujumdar, A. S., & Devahastin, S. (2000). *Fundamental principles of drying*. Exergex, Brossard, Canada, 1(1), 1-22.
- Nasir, G., Zaidi, S., Siddiqui, A., & Sirohi, R. (2023). Characterization of pea processing by-product for possible food industry applications. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1782-1792.
- Niamnuy C., Devahastin S., & Soponronnarit S. (2007). Effects of process parameters on quality changes of shrimp during drying in a jet-spouted bed dryer. *Journal of Food Science*, 72(9), 553-563.
- Nindo C.I., Sun T., Wang S.W., Tang J., & Powers J.R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 36, 507-516.
- Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 353–360.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Abdan, K., Chen, G., & Oladejo, A. O. (2017). Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 223-238.
- Ortuño, C., Pérez-Munuera, I., Puig, A., Riera, E., & Garcia-Perez, J. V. (2010). Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Physics Procedia*, 3(1), 153-159.
- Özcan, M. M., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E. E., Mohamed Ahmed, I. A., & Almusallam, I. A. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 147-158.
- Pallai, E., Szentmarjay, T., & Mujumdar, A. S. (1995). Spouted bed drying. *Handbook of industrial drying*, 1, 453-488.
- Park, Y. W. (2008). Moisture and water activity. In *Handbook of processed meats and poultry analysis*, 35.
- Phuon, V., Ramos, I. N., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2022). Assessment of the impact of drying processes on orange peel quality characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 45(7), e13794.
- Pisecky, J. (1997). *Handbook of Milk Powder Manufacture*, Niro A/S, Copenhagen Denmark.
- Polat, S. (2022). Color quality, ascorbic acid, total carotenoid, and volatile compounds of dried orange slices as influenced by packaging methods and storage conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6), e15898.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Qin, Y., Liu, Y., Yuan, L., Yong, H., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids*, 96, 102
- Rahman, S.M.A., Islam, M.R., & Mujumdar, A.S. (2007). A study of coupled heat and mass transfer in composite food products during convective drying. *Drying Technology*, 25(7-8), 1359-1368.
- Ranjan, R., Irudayaraj, J., & Jun, S. (2002). Simulation of infrared drying process. *Drying Technology*, 20, 363.
- Ratti, C., & Mujumdar, A. S. (1995). Infrared drying. In *Handbook of Industrial Drying*. Vol. I, Mujumdar, A. S. (Ed.). New York: Marcel Dekker, pp. 567–588.
- Rodríguez-Ambriz, S. L., Martínez-Ayala, A. L., Millán, F., & Davila-Ortiz, G. (2005). Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(3), 99-107.
- Sahin, S., Sumnu, G., & Tunaboyu, F. (2013). Usage of solar-assisted spouted bed drier in drying of pea. *Food and Bioproducts Processing*, 91(3), 271–278.
- Saidi, M., Tabrizi, H. B., & Grace, J. R. (2019). A review on pulsed flow in gas-solid fluidized beds and spouted beds: Recent work and future outlook. *Advanced Powder Technology*.
- Saidi, M., Tabrizi, H. B., Grace, J. R., (2019). A review on pulsed flow in gas-solid fluidized beds and spouted beds: Recent work and future outlook. *Advanced Powder Technology*.
- Sakai, N., & Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Sci. Tech.*, 5, 357.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- 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.
- Sandu, C. (1986). Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Biotech. Progress*, 2, 209.
- Sathe, S. K., & Salunkhe, D. K. (1981). Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins: emulsion, foaming, viscosity, and gelation properties. *Journal of Food Science*, 46(1), 71-81.
- Senevirathne, M., Jeon, Y. J., Ha, J. H., & Kim, S. H. (2009). Effective drying of citrus byproduct by high-speed drying: A novel drying technique and their antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 157–163.
- Senevirathne, M., Jeon, Y. J., Ha, J. H., & Kim, S. H. (2009). Effective drying of citrus by-product by highspeed drying: A novel drying technique and their antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 157-163.
- Seveda, M. S. (2013). Design of a photovoltaic powered forced convection solar dryer in NEH region of India. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 3(4), 906-912.
- Sharma, A. K. (2017). Solar industrial process heating: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 124-137.
- Shi, J., Pan, Z., McHugh, T. H., Wood, T., Zhu, Y., Avena-Bustillos, E. J., & Hirschberg, E. (2008). Effect of berry size and sodium hydroxide pretreatment on the drying characteristics of blueberries under infrared radiation heating. *Journal of Food Science*, 73, E259.
- Talens, C., Castro-Giraldez, M., & Fito, P. J. (2016). A thermodynamic model for hot air microwave drying of orange peel. *Journal of Food Engineering*, 175, 33-42.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tekgöl, Y., & Baysal, T. (2019). Optimization of process conditions for vacuum microwave drying of lemon peel by response surface methodology: Quality characteristics and volatile compounds. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), e13080.
- Toğrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77, 610-619.
- Troller, J. (2012). *Water activity and food*. Elsevier.
- Tuncer, A. D., Guler, H. O., & Hüseyin, U.S.T.A. (2020). Modeling of drying characteristics of pomelo (*Citrus Maxima*) peel. *El-Cezeri*, 7(1), 198-210.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, (2023). Resmi web sitesi. www.tuik.gov.tr, Ankara (Erişim Tarihi: 07.08.2023).
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2019). Resmi web sitesi. www.tuik.gov.tr, Ankara (Erişim Tarihi: 19.12.2018).
- USDA. (2023). Germplasm Resources Information Network, Beltsville, MD, USA: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <http://www.ars-grin.gov/npgs/aboutgrin.html>.
- Varhan, E., & Koç, M. (2018). Encapsulation of food materials with spray cooling method. *Food and Health*, 4(3), 202-212.
- Wang, D., Zhang, M., Wang, Y., & Martynenko, A. (2018). Effect of pulsed-spouted bed microwave freeze drying on quality of apple cuboids. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 941-952.
- Wang, D., Zhang, M., Wang, Y., & Martynenko, A. (2018). Effect of pulsed-spouted bed microwave freeze drying on quality of apple cuboids. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 941-952.
- Wang, J., & Sheng, K. C. (2004). Modeling of multi-layer far-infrared dryer. *Drying Technology*, 22, 809.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, J., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J. H., Fang, X. M., ... & Xiao, H. W. (2017). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure and drying kinetics of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Lwt*, 77, 337-347.
- Wang, Y., Zhang, M., Adhikari, B., Mujumdar, A. S., & Zhou, B. (2013). The application of ultrasound pretreatment and pulse-spouted bed microwave freeze drying to produce desalted duck egg white powders. *Drying Technology*, 31(15), 1826-1836.
- Wimalasiri, P. M., Harrison, R., Olejar, K. J., Hider, R., & Tian, B. (2023). Colour characterisation of two-year-old Pinot noir wines by UV–Vis spectrophotometry and tristimulus colourimetry (CIELab): Effect of whole bunch or grape stems addition. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(3), 1176-1185.
- Wu, T., & Mao, L. (2008). Influences of hot air drying and microwave drying on nutritional and odorous properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets. *Food Chemistry*, 110(3), 647-653.
- Wu, Y. V. (2001). Emulsifying activity and emulsion stability of corn gluten meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1223-1227.
- Yavuz, M., & Özçelik, B. (2016). Bitkisel protein izolatlarının fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 14(4), 424-430.
- Zahed, A. H., & Epstein, N. (1992). Batch and continuous spouted bed drying of cereal grains: the thermal equilibrium model. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 70(5), 945-953.
- Zahed, A. H., & Epstein, N. (1993). On the diffusion mechanism during spouted bed drying of cereal grains. *Drying Technology*, 11(2), 401-409.

TEŞEKKÜR

Bu doktora tez çalışmasının hazırlanması sürecinde çalışmalarımı planlamamda ve yürütmemde beni yönlendiren, bilgilerini ve desteğini her zaman hissettiğim saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM'e;

Tez çalışmalarım sırasında değerli görüşleri ile katkıda bulunan tez izleme komitesi hocalarım; Prof. Dr. Figen Ertekin ve Prof. Dr. Hayati OLGUN'a;

Doktora savunma sınavıma katılarak değerli görüşlerini paylaşan hocalarım; Prof. Dr. Melike YILMAZER ve Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ'a

Laboratuvar çalışmalarımda destek veren ve hep yanımda olan başta Sevcihan BOYACI ve Hira YÜKSEL SARIOĞLU olmak üzere tüm ekip arkadaşlarıma;

Doktora sürecimde hep yanımda olan, her zaman desteklerini hissettiğim, motivasyon kaynağım olan değerli arkadaşlarım Dr. Sercan SABANCI ve Dr. Fatma ÖZTÜRK KIRBAY'a ve Enise Gökçe PARLAK YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmama Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından, FGA-2021-23134 numaralı Genel Araştırma Projesi ile maddi kaynak sağlanmıştır. Ege Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

100/2000 “Yenilenebilir enerji kaynakları/teknolojileri” alanında bursiyerlik yaptığım YÖK'e ve 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programında bursiyerlik yaptığım TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi-manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, sabır ve destekleri için sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hazırladığım bu doktora tez çalışması “sevgili aileme” ithafımdır.



ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı: Tuğçe TÜRKOĞLU

2. Öğrenim Durumu: Doktora mezunu

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Gıda Mühendisliği	Ege Üniversitesi	2010-2015
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Ege Üniversitesi	2015-2017
Doktora	Gıda Mühendisliği	Ege Üniversitesi	2017-2024

3.Yüksek Lisans Tezi: Havuç ve Patates Sebzelerinden ve Bunların Atıklarından Bitkisel Protein Elde Edilmesi ve Elde Edilen Proteinlerin Bir Örnek Gıdaya Uygulanması

Danışman: Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM

4. Doktora Tezi: İnfrared Sistem Destekli Vurgulu (Pulse) Taşkın Yatak Tasarımının Gerçekleştirilmesi, Enerji Tüketimi ve Çalışma Koşullarının İncelenmesi

Danışman: Prof. Dr. Safiye Nur DİRİM

5. Yayınlar

- Investigation of the availability of image processing as an alternative method to spectrophotometry for prediction of HMF content in honey for different temperatures” Journal Information: Journal of Food Processing and Preservation. Science Citation Index Expanded, 2021. Journal of Food Processing and Preservation, 45(8), e14461.
- “Sensory and Quality Attributes of Cake Supplemented with Spinach Powder” Journal Information: The Journal of Food, which is scanned within the scope of international field indexes and ULAKBİLİM TR Index. FOOD (2019) 44 (5): 907-918 doi: 10.15237/food.GD19047.

- “Determination the Effects of the Soaking Pretreatment of the Soybeans”.
Journal Information: Journal of Food Physics, 2015/2016, Vol.28-29, pp.80-90.
- “Evaluation of Agricultural Wastes and Food Sourced Biomass as Renewable Energy Sources” It has been published as a full text in the congress book named International Agriculture, nvironment and Health Congress, Aydın, 26-28 October 2018.
- "Antifreeze Protein Effect of Plant Protein Isolates, Functional Properties and Food Applications". Journal Information: Published in Analysis 35 Journal. January-June 2018, Issue: 30
- “Evaluation of the Residual Mixture Emerged in Ice Cream Production and the Feasibility Study on Energy Efficiency” Journal Information: EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, June, 2021, Doi Number: <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.41>.