

**MİKRODALGA VE GÜNEŞ ENERJİSİ
KOMBİNASYONLU KURUTUCU
KULLANILARAK KURUTMA DAVRANIŞININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Salih Oğuz ARDA

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

2017-TEKİRDAĞ

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKRODALGA VE GÜNEŞ ENERJİSİ KOMBİNASYONLU
KURUTUCU KULLANILARAK KURUTMA DAVRANIŞININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

SALİH OĞUZ ARDA

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

TEKİRDAĞ-2017

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN danışmanlığında, Salih Oğuz ARDA tarafından hazırlanan “MİKRODALGA VE GÜNEŞ ENERJİSİ KOMBİNASYONLU KURUTUCU KULLANILARAK KURUTMA DAVRANIŞININDENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aytaç MORALAR

İmza :

Üye :Yrd. Doç. Dr. Sencer S. KARABEYOĞLU

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MIKRODALGA VE GÜNEŞ ENERJİSİ KOMBİNASYONLU KURUTUCU KULLANILARAK KURUTMA DAVRANIŞININDENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ **Salih Oğuz ARDA**

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

Bu araştırmanın amacı güneş enerji kollektörü destekli laboratuvar tipi bantlı mikrodalga kurutucuda kabak dilimlerinin kurutulması, oluşan kurutulmuş ürünlerin kalitesini analiz etmek, renk bakımından incelemek ve hem toplam kurutma zamanını düşüren hem de enerji tüketim değerlerini azaltan bir kontrol yapısı oluşturmaktır. Mikrodalga kurutucusu 0,245 m/dk bant hızı kullanılarak farklı üç güçte (700, 1000 ve 1400W) çalıştırılmıştır. Bu etkenlerin 5, 10 ve 15 mm kalınlıklarındaki kabak dilimlerinin kuruma davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Kabak dilimlerinin kuruma süresi, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar Newton, Page, Henderson&Pabis, Two Term Exponential, Logarithmic, Logistic, Midilli et al., Two Term, Verma et al. ve Wang&Singh kurutma modelleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu modellerin verimliliği; tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (r), tahmini standart hatası (e_s) ve kalanların kareleri toplamına (χ^2) göre en uygun modelin tespiti için karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda tüm dilim kalınlıkları ve kuruma şartlarına göre Logistic Modelinin, ürünlerin kuruma davranışını açıklamada diğer modellere göre daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: mikrodalga, kollektör, kurutma, kabak, kurutma modelleri

2017, 38 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

EXPERIMENTALLY INVESTIGATION OF BEHAVIOUR OF DRYING BY USING COMBINED MICROWAVE BELT AND SOLAR ENERGY DRYER

Salih Oğuz ARDA

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

The aim of this investigation is, by using solar collector supported laboratory type microwave conveyor dryer to dry zucchini slices for having quality analysis of dried zucchini slices, to examine colour parameters and having a control structure to reduce both drying time and energy consumption values. Microwave dryer was operated by using 0,245m/min conveyor belt speed three different microwave power levels (700, 1000 and 1400W). These factors' effect on the drying behavior of zucchini slices with 5, 10 and 15 mm thicknesses were examined. Drying time, colour change and energy consumption values of zucchini slices were determined. Obtained results were compared by using drying models of Newton, Page, Henderson & Pabis, Two Term Exponential, Logarithmic, Logistic, Midilli et al., Two Term, Verma et al. ve Wang & Singh. The efficiencies of these models were compared with each other; depending on the coefficient of determination (r), standard error of estimate (e_s) and residual sum of square (χ^2) to specify the most proper model. As a result of these evaluations and depending on all slice thicknesses and drying conditions; Logistic Model was determined more acceptable for explaining the drying behaviour of products.

Keywords: microwave, collector, drying, zucchini, drying models

2017, 38 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
TEŞEKKÜR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kurutma	1
1.1.1. Kurutucu türleri	2
1.2. Mikrodalga Teknolojisi	3
1.2.1. Mikrodalga fırınlar	4
1.2.2. Mikrodalga sistemlerinin avantaj ve dezavantajları	5
1.3. Kabak	6
1.4. Araştırmanın Amacı	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Materyaller.....	12
3.1.1. Kabak.....	12
3.1.2. Güneş enerjili bantlı mikrodalga kurutucu	12
3.1.3. Deneyleerde kullanılan ölçüm aletleri.....	13
3.2. Yöntem	14
3.2.1. Ürün neminin belirlenmesi	14
3.2.2. Kurutma denemelerinin yapılması	14
3.2.3. Renk tayini.....	15
3.2.4. Uygun modelin tespiti	16
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	18
4.1. Kuruma Davranışları	18
4.2. Renk Parametreleri	25
4.3. Enerji Tüketim Değerleri.....	28
4.4. Kuruma Davranışının Modellemesi ve Uygun Model Seçimi	28
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	34
6. KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	38

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Kurutma modelleri	16
Çizelge 4.1. 5mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	18
Çizelge 4.2. 10mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	19
Çizelge 4.3. 15mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	20
Çizelge 4.4. 5mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	21
Çizelge 4.5. 10mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları.....	21
Çizelge 4.6. 15mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları.....	22
Çizelge 4.7. 5mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	23
Çizelge 4.8 10mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	24
Çizelge 4.9. 15mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları	25
Çizelge 4.10. Kabak dilimlerine ait tüm parametreler.....	26
Çizelge 4.11. Kabak dilimlerine ait enerji tüketim değerleri	28
Çizelge 4.12. 5mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	30
Çizelge 4.13. 10mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	30
Çizelge 4.14. 15mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	32

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum	3
Şekil 1.2. Konveksiyonel ile mikrodalga ısıtma arasındaki sıcaklık dağılım yönleri	4
Şekil 1.3. Mikrodalga fırın magnetronu	4
Şekil 1.4. Mikrodalga fırın transformatörü.....	5
Şekil 1.5. Kabak	6
Şekil 3.1. Farklı kalınlıklardaki kabak örneği	12
Şekil 3.2. Deney düzeneği	12
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan cihazlar	13
Şekil 4.1. Kurutulan kabak diliminin resmi.....	27
Şekil 4.2. 5 mm dilim kalınlığı ve 0,7 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri	30
Şekil 4.3. 10 mm dilim kalınlığı ve 0,7 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri.....	32
Şekil 4.4. 15 mm dilim kalınlığı ve 0,7 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri.....	34

SİMGELER DİZİNİ

α	: Renk tonu ölçüsü
C	: Renk yoğunluğu ölçüsü
e_s	: Standart hata
f	: Frekans (Hz)
L^*, a^*, b^*	: Renk uzayı koordinatları
m	: Nem içeriği, (kg nem/kg kuru madde)
m_0	: İlk nem içeriği
m_a	: Kütle, (kg)
m_e	: Denge nem içeriği
m_k	: Kuru ürün kütlesi (g)
mr	: Boyutsuz nem oranı
mr_{exp}	: deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranı,
mr_{pre}	: uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranı,
m_s	: Yaş ürün kütlesi (g)
m_y	: yaş baza göre nem içeriği
n_o	: gözlem sayısı,
n_c	: kurutma modelindeki sabitlerin sayısı,
r	: Korelasyon katsayısı
T	: Sıcaklık, ($^{\circ}C$)
t	: Zaman, (s),
V	: Hız, (m/s)
$y.b$: yaş baza göre nem
W	: Mikrodalga gücü (W)
ΔE	: Toplam renk sapması
ΔL	: Renk parlaklığı sapması
Δa	: Kırmızı renk sapması
Δb	: Sarı renk sapması
χ^2	: Ki kare
$a, a_0, a_1, a_2, b, c, k, k_1, k_2, n$:	Kurutma Sabitleri

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, hiçbir konuda benden yardımını esirgemeyen danışman hocam Yrd.Doç. Dr. Soner ÇELEN 'e, Bölümümdeki diğer hocalarıma ve bana her zaman destek olan aileme teőekkürlerimi sunarım.

Ocak 2017

Salih Oğuz ARDA
(Makine Mühendisi)

1. GİRİŞ

Kurutma, çeşitli ürünlerin içerdikleri nemin belirli bir amaca bağlı olarak istenen sınır değere kadar üründen buharlaştırılarak alınması işlemine denir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki hedef ise depolanacak ürünün belirli bir süre için bozulmadan korunmasını sağlayabilmektir. Ürünün nemi, ortamın sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı ve zararlı mikroorganizmalar ürünlerdeki fiziksel ve kimyasal bozulmaya neden olan başlıca etmenlerdir (Karaaslan2008).

Ülkemizde tarımsal ürünlerin önemli bir kısmı doğal kurutma yöntemiyle kurutulmaktadır. Bu şekilde kurutulan ürünlerde ekonomik açıdan hem iç hem de dış pazarda kalite ve değer kaybı gibi problemlerle yüzleşilmektedir. Ayrıca, açık hava şartlarında yapılan doğal kurutma işlemleri sonucunda kuru ürünün eldesi için uzun zaman dilimleri gerekmektedir (Tarhan ve ark. 2009).

Mikrodalga enerjisi, ürünleri çabuk bir şekilde ısıtılabilme yeteneği sayesinde yaygın bir şekilde ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda ise mikrodalga kurutma gıda endüstrisinde popülerlik kazanmıştır. Mikrodalga kurutma, geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha çabuk olması, ürün içinde kurumunun daha düzgün olması ve enerji verimliliği sebebiyle öne çıkmaktadır (Haghi ve Amanifard 2008).

Sıcak su üretiminden seraların ısıtılmasına, evlerin elektrik ihtiyacının giderilmesinden hesap makinelerine kadar pek çok alanda kullanılan güneş enerjisinin en önemli kullanım alanlarından bir tanesi de tarımsal ürünlerin kurutulmasıdır.

1.1. Kurutma

Meyve, sebze gibi bünyesinde su içeriği yoğun olan besinler bu sebepten dolayı uzun süre saklanamazlar. Çünkü yoğun su, besinlerin bozulmasına yol açan mikroorganizmaların üreyip, yaşaması için uygun bir ortama neden olmaktadır. Bu zararlı ortamın ortadan kaldırılmasıysa, su içeriği yoğun olan bu besinlerin içerdiği fazla suyun atılmasıyla yani o besinlerin kurutmaya tabi tutulmasıyla gerçekleşir.

Kurutmanın diğer faydalarından ise şöyle bahsedebiliriz:

- Kurutulan besinlerin hacimleri küçülüp, ağırlıkları azalacağı için, taşınmaları daha kolaydır.
- Kurutulan besinlerin kullanım alanları daha geniştir.
- Kurutulan besinler, konserve yapılan besinlere göre daha ucuza mal edilir.

-Kurutulan meyve ve sebzelerin besin ve kalori değerleri, aynı miktarlardaki yaş meyve ve sebzelere göre daha yüksektir (Çelen 2010).

Kurutma işleminin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan ısı, aşağıda belirtilen aktarım türleriyle sağlanabilir:

Isı iletimi (Kondüksiyon): Kurutulacak olan ürünün, ısıyı üreten kaynakla teması sağlanarak ürünün içerdiği nemin buharlaştırılabilmesi için ihtiyaç duyulan ısının ürüne aktarılmasıyla kurutma gerçekleştirilir.

Isı taşınımı (Konveksiyon): İhtiyaç duyulan ısı hava vasıtasıyla ürün üzerine aktarılarak kurutma gerçekleştirilir.

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak olan ürünün içerdiği nemin buharlaştırılabilmesi için ihtiyaç duyulan ısı, infraruj işını kaynağından sağlanarak kurutma gerçekleştirilir (Nasıroğlu 2007).

1.1.1. Kurutucu türleri

Fırın Kurutucular: Küçük bir yatırım ile elde edilebilecek pratik kurutma yöntemlerinden birisidir. Kurutma işlemi genellikle hava şartlarından bağımsızdır. Diğer kurutucularla kıyaslandığında verimlerinin az olması ve düşük kurutma sıcaklığının elde edilememesi nedeniyle istenilen ürün kalitesine ulaşılamaması ihtimali nedeniyle sürekli kullanım için uygun değildir (alışkan 2002).

Bantlı Kurutucular: Bu kurutucuda bulunan konveyör, dış ortama tamamen ya da kısmi olarak açık veya üstü tünel gibi bir çatı ile örtülmüş şekilde bulunmaktadır. Kurutulacak olan ürün konveyör bantının üstüne yerleştirilir ve hareket ettirilir (Kuş 2016). Sıcak kurutucu gazların ürün üzerinde akışının düzgün olmasına dikkat edilmelidir.

Kabinli ve Bölmeli Kurutucular: Bu tip kurutucular; ısıtılan tavanlı sistemler, zorlanmış taşınımlı sistemler, özel olarak dizayn edilmiş bölmeli daha karmaşık sistemler gibi çeşitli varyasyonlara sahiptir. Çoğu sisteminin dizayn amacı hassas ve nemli ürünlerin düşük sıcaklıklarda kurutulabilmesini sağlamaktır.

Dondurmalı Kurutucular: Kurutulacak rn dondurulur sonrasında yüksek vakumlu odaya yerleştirilip, kızılötesi işınların yardımıyla ürünün içerdiği suyun buharlaşması sağlanır.

Kızılötesi Işınımlı Kurutma: Işınım kızılötesi enerji kaynakları vasıtasıyla sağlanır. Kızılötesi işınım yalnızca ürünün yüzeyi ve çevresine etki ettiği için ince tabakalı ürünlerin kurutulmasında etkilidir (Günerkan 2005).

Doğal Kurutma: Güneş ısısını kullanarak kurutma yöntemi en çok kullanılan yöntemlerden biri olsa da hijyenik ve uniform kurutma olmaması, her zaman ürünün güneşe maruz kalamaması gibi çeşitli nedenlerle yerini sanayi tabanlı yapay kurutma sistemlerine devretmiştir.

Solar Kurutucu: Bu sistemde güneş ısısı ürünlere direkt etki etmezken, kapalı ortamın havası ısıtılır. Maliyetinin yüksek olmaması ve pratik üretimi önemli avantajları olsa da sıcaklık kontrolünün neredeyse hiç sağlanamaması dezavantajıdır.

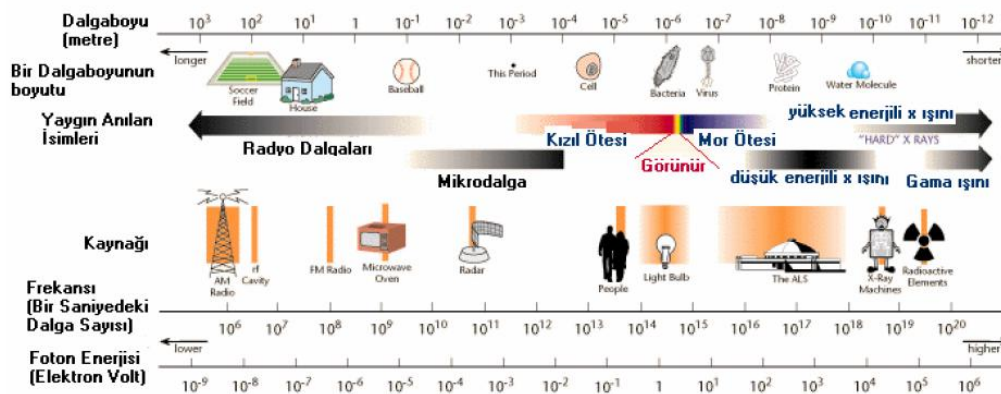
İndirekt Solar Kurutucu: Sıcaklık kontrolü ve ürün renginin sabit kalması sağlanabilmektedir. Bu sayede kalitesi yüksek ürünler elde edilse de maliyeti solar kurutucuya göre yüksektir.

Vakum kurutucular: Kurutma süresini diğer yöntemlere göre azaltırken ürünün içerdiği su buharının atılması prensibiyle çalışır. Bu kurutucularda kurutulmuş ürünlerin rengi ve tadı fazla bir değişime uğramadan muhafaza edilebilmektedir.

Mikrodalga kurutucular: Bu tip kurutucular ürün içindeki polar moleküllere nüfuz ederek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye çevrilmesi mantığıyla çalışır. Bu sayede ürünün kalitesi korunurken, düşük maliyet ve enerji değerleri elde edilir (Erbay ve Küçüköner 2008).

1.2. Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun içinde Şekil 1.1’de de görülebileceği gibi dalga boyları ve frekansları açısından radyo dalgaları ile kızılötesi ışınlar arasında bulunan elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalgaların dalga boyları 1 mm ile 1 m, frekansları ise 300 MHz ile 300 GHz arasında yer almaktadır. Mikrodalgalar gıda, metalürji, kimya gibi alanlarda kullanılmaktadır (Çelen 2010).



Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum

Mikro dalga proseslerinde 896, 915, 2450, 5800 ve 24125 MHz frekanslı ışınların kullanımı standartlaştırılırken, gıda endüstrisinde; ev tipi fırınlarda 2450 MHz, endüstride 915 MHz frekanslı mikrodalga ışınlar kullanılmaktadır.

Mikrodalga ile ısıtma proseslerinde elektromanyetik enerjinin ürünün içinden dışına doğru nüfuz etmesiyle ürünün sıcaklığının artışı sağlanır. Bu yönden mikrodalga ile ısıtma konvansiyonel ısıtmanın tam zıttı bir şekilde çalışır. Şekil 1.2’de bu durum gösterilmektedir (Kuş 2016).



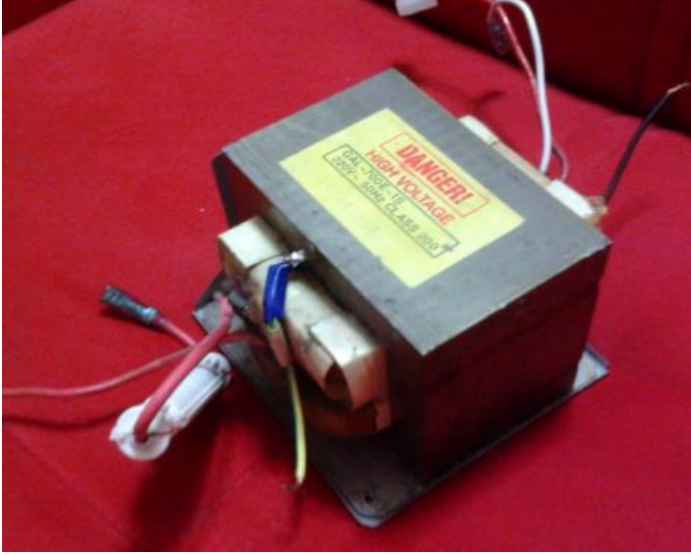
Şekil 1.2.Konveksiyonel ile mikrodalga ısıtma arasındaki sıcaklık dağılım yönleri

1.2.1. Mikrodalga fırınlar

Mikrodalga fırınlar magnetron, transformatör, dağıtıcı ve kontrol ünitesinden meydana gelmektedir. Mikrodalga fırınların en kritik ekipmanlarını magnetronlardır. Magnetronlar 4000 ile 6000 Volt arası elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştüren ünitelerdir (Erdem 2007).



Şekil 1.3. Mikrodalga fırın magnetronu



Şekil 1.4.Mikrodalga fırın transformatörü

1.2.2. Mikrodalga sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Mikrodalga ile ısıtmada ısı ürünün içinden dışına doğru yayılırken ürün içerisindeki sıcaklık değişimi olabildiğince uniformdur. Mikrodalga sistemleri, kontrol üniteleri kullanılarak istenilen güçlerde çalıştırılabilir. Buldukları ortamı minimum düzeyde kirletirler. Mikrodalga sistemleri geleneksel metotlara göre daha hızlı çalışırlar ve enerji verimlilikleri daha yüksektir. Elde edilen ürün kaliteleri yüksek olmakla birlikte bu araştırmada da yapıldığı gibi diğer sistemlerle kombine çalıştırılabilirler.

Mikrodalga sistemlerin dezavantajlarından bahsetmek gerekirse kurulum maliyetlerinin yüksekliği sanayi uygulamalarındaki gelişimlerinin yavaş olmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte mikrodalga sistemlerin izolasyonu düzgün yapılmazsa insan sağlığını tehdit edebilirler (Gümüşderelioğlu ve Kaynak 2012).

1.3. Kabak

Cucurbitaceae familyasından olan kabakgiller, 119 cins ve 825 türden meydana gelmektedir. Bu araştırmada kullanılan *Cucurbitacinsi* içinde *CucurbitapepoL.* türü kabak Meksika'dan ve Orta Amerika'nın kuzeyinden Dünya'ya yayılmıştır.

Farklı türlerden kabakgillerin yetiştirildiği ülkemizde; toplam 26 milyon ton kadar olan sebze yetiştiriciliğinin, 8 milyon tona yakını kabakgillerden meydana gelmektedir.

Kabak, sıcak iklimi seven ve farklı iklim şartlarında da büyütülebilen tek yıllık bir sebzedir (Ermiş 2010).



Şekil 1.5.Kabak

1.4. Araştırmanın Amacı

Bu tezde amaç, mikrodalga ve güneş enerjisi kombinasyonlu kurutucuda kabak dilimlerinin kurutulması, oluşan kurutulmuş ürünlerin kalitesini analiz etmek, renk bakımından incelemek ve hem toplam kurutma zamanını düşüren hem de enerji tüketim değerlerini azaltan bir kontrol yapısı oluşturmaaktır. Ayrıca oluşturulan matematiksel sonuçlarla birlikte temel bilimsel bilgiye katkıda bulunmaaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Arballo (2005) ve arkadaşları meyvelerin mikrodalga ile kurutma modellemesini yapmışlardır. Mikrodalga kurutma esnasında gıdalarda ısı ve kütle transferini matematiksel modelleme yoluyla deneysel ve teorik olarak saptamışlardır. Gıda bileşimi, yapı ve sıcaklık ile değişebilir fiziksel özelliklere sahip bir sistem olarak kabul etmişlerdir. Elektromanyetik enerjinin dönüşümü iç ısı üretiminde Lambert'in hukuk yaklaşımını kullanmışlardır. Yüzey ve merkezdeki sıcaklık dağılımları ve kurutma esnasında oluşan kütle kaybı arasında iyi bir uyum olduğunu saptamışlardır.

Erdem (2007) yaptığı araştırmada, ev tipi bir mikrodalga fırında aflatoksinli kırmızı pul biberin, ozonlu suyla yıkamayı temsilen 5 ve 10 dakika sürelerde yıkandıktan sonra mikrodalga ile ürünün kurutulmasında kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) enerji tüketimi, kuruma süresi, ulaşılan son nem ve ürün renk kalitesi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Kullanılan mikrodalğanın uygulama sürelerini (açık, sn/kapalı, sn) sırasıyla sürekli, 30/30, 30/45, 30/60, 45/30, 45/45, 45/60 olacak şekilde düzenlemiştir. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi artıkça kurutma etkinliği yükselmiş, fakat mikrodalga ünitenin çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30, 45/30, 45/60 olan denemelerde enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin arttığını fark etmiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin diğer kombinasyonlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini analiz etmiştir.

Nasıroğlu (2007) yaptığı araştırmada; kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızı üzerine infrared lamba gücünün ve hava hızının etkilerini analiz etmiş ve kuruma zamanı, özgül enerji tüketimi, renk (L, a, b, ΔE , kroma, hue açısı), büzülme, rehidrasyon oranı ve askorbik asit (C vitamini) gibi bazı parametreler üzerine infrared lamba gücü ve hava hızının etkilerinin yorumlanmasını hedeflemiştir. Yaptığı araştırma için infrared lambalarla çalışan bir kurutma düzeneği geliştirerek tarım ürünlerinden kırmızı biber, elma ve pırasa dilimlerini 3 farklı hava hızında ve 3 farklı infrared lamba gücünde (1,0; 1,5; 2,0 m/s hava hızı ve 300, 400 ve 500 W infrared lamba gücü) kurutarak üzerlerinde denemeler yapmıştır.

Kiranoudis (2007) ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, bazı meyvelerin mikrodalga ile kurutma kinetiğini araştırmışlardır. Elma, kivi ve armut mikrodalga vakum kurutma kinetik proses değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak, ampirik kütle transferi modeli üzerinde çalışmışlardır. Model, vakum ile donatılmış bir mikrodalga fırında test edilmiştir. Mikrodalgada güç seviyesinin önemli olduğunu ancak vakum ve basıncın işlem üzerindeki etkisinin çok az olduğunu saptamışlardır.

Haghi ve Armanifard (2008) yaptıkları araştırmada mikrodalga kurutmanın özel besinlere uygulanabilecek bir hızlı dehidrasyon tekniği olduğunu belirtmişlerdir. Artan ürün kalitesi endişesinin ve üretim maliyetlerinin araştırmacıları mikrodalga kurutma teknolojisi üzerine araştırmalar yapmaya yönlendirirken, endüstrinin de mikrodalga kurutma teknolojisini benimsemesini sağladığını anlatmışlardır. Mikrodalga kurutmanın avantajlarının daha kısa kurutma zamanı, artmış ürün kalitesi ve çeşitli kurutulmuş ürünlerin üretilmesindeki esneklik olduğunu belirtmişlerdir. Kurutmanın; ürün ve kurutma hava akımı arasındaki ısı ve kütle transferinden ve ürün içinde meydana gelen kompleks nem taşınmasından etkilendiğini anlatmışlardır. Araştırmalarında patatesin kurutulmasını analitik bir yaklaşımla incelemişlerdir. Çalışmalarının farklı mikrodalga kurutma şartlarında temel kurutma parametrelerini elde etmek için yapılmış kısa bir tarif olduğunu anlatmışlardır. Bu sayısal metodun patates dilimlerinin daha verimli bir şekilde mikrodalga kurutulması için araç olarak kullanılabileceğini anlatmışlardır.

Karaaslan (2008), yaptığı çalışmada ıspanak yaprakları, kırmızı biber ve çay yapraklarının kurutulmasını mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonu vasıtasıyla incelemiştir. Kırmızı biber, ıspanak ve çay yapraklarını mikrodalga, mikrodalgasıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayı kullanarak kurutmuştur. Ispanak, kırmızı biber ve çayın kuruma zamanı, kuruma oranı, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki mikrodalga ile kurutma (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga güç (sabit 180W ve 540W) ile sıcak havayla kurutma (100, 180, 230°C) ve sadece sıcak havayla kurutmanın (100, 180 ve 230° C) yaratacağı etkileri incelemiştir.

Çelen (2010), yaptığı araştırmada mikrodalga ve vakum kurutucuda kurutulmuş domates ve elma dilimlerinin kalitesini araştırmış ve önemli parametreler hakkında temel bilgilere katkı sağlamıştır. Kurutma zamanının azalmasının renk kalitesi üzerine olan etkisini açıklamıştır. Ayrıca doğrusal olmayan bir kurutma sürecini Luikov modelini kullanarak

matematiksel olarak modellemiş ve kurutma sürecinin enerji maliyetini düşürecek, ürün kalitesini yükseltecek ve toplam kurutma zamanını da azaltacak bir kontrol yapısı oluşturmuştur. Ayrıca matematiksel model ile gerçek davranış arasındaki ilişkiyi daha iyi bir düzeye yükseltmek ve kurutulan ürünlerin (elma, domates) dinamik davranışlarının önceden kestirilebilmesi için çalışmıştır.

Sahin ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucuda ve açık havada kurutmaya, bezelyenin kalite parametrelerini incelemişlerdir. Araştırmacılar kalite parametreleri olarak; renk, büzülme, hacim, görünür yoğunluklar, hacim gözenekleri, rehidrasyon kapasitesi ve mikro yapıları araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucuda, açık havada kurutmaya göre kuruma oranı yaklaşık 3,5 kat olurken, hava sıcaklığı açık havada güneş ışınlanması esnasında 20 °C ile 27.4°C arasında değişirken, güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucunun girişindeki hava sıcaklığının deneyler sırasında 35.3 °C ve 65.5 °C arasında değiştiğini saptamışlardır. Ayrıca bezelyede açık hava için $0.64 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucu ise $3.27 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak efektif yayılma hızı elde edilmiştir. Renk analizinde her iki kurutma yönteminde fark gözlenmemiştir. Açık güneş altında kurutulmuş bezelyenin hacimsel yoğunluğunun ve görünür yoğunluğunun, güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucudan daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Büzülme, açık havada kurutulan numuneler için daha fazladır. Güneş enerjisi yardımcı yataklı kurutucuda kurutulmuş numunenin rehidrasyon kapasitesinin, açık havada kurutulandan daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Ringeisen ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada sebze ve meyvelerin insan yiyeceklerinin temel parçası olduğunu anlatmışlardır. Tanzania gibi çoğu gelişmekte olan ülkelerin hasat sonrası kayıpların %40'ını deneyimlediğini ayrıca pahalı ya da güvenilir enerji ve soğutma sistemlerine erişim yoksunluğu sebebiyle sezon dışı tüketim için yiyecekleri muhafaza etmek ve depolamakta az bir yeterlilikleri olduğunu belirtmişlerdir. Alternatif olarak sebze ve meyvelerin solar mahsul kurutucular kullanılarak dehidre edilebileceğini anlatmışlardır. Çoğu gelişmekte olan ülkenin tropikal bölgelerde olması sebebiyle, sebze ve meyveleri depolama ve sezon dışı tüketim için uygun nem seviyelerine düzgün bir şekilde dehidre etmenin zor olabileceğini saptamışlardır. Yüksek nemin zorluklarının üstesinden gelme girişiminde kesikli bulutlar ve hafif sisin sık sık bulunduğu tropik iklimlerde, bu çalışmanın düşük maliyetli, yerel olarak bulunan malzemelerle inşa edilen konkav solar yoğunlaştırıcının Tanzania mahsul kurutucuya eklenmesiyle oluşturulmuş efektifliği

araştırmak için olduğunu belirtmişlerdir. Biri solar yoğunlaştırıcı kontrolü diğeryse testi amaçlı iki özdeş solar mahsul kurutucu inşa emişlerdir. Yaklaşık olarak %90 nem içerikli Roma domateslerinin kurutma denemeleri Davis, California'da (38° 32' 42" N/121° 44' 21" W) yaz ve kış boyunca farklı iklim şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Domateslerin %10 nem içeriğinde kurutulduğunu düşünmüşlerdir. Sıcaklık, bağıl nem ve solar ışınım değerlerini dışarıda ve her kurutucunun içinde ölçerek solar yoğunlaştırıcının eklenmesinin solar mahsul kurutuculardaki domateslerin kuruma oranlarını nasıl etkileyebildiğini tespit etmişlerdir. Yoğunlaştırıcının kurutma zamanını %21 düşürürken, bağıl nemi azaltıp iç kurutma sıcaklığını arttırmasından dolayı efektif olduğunu tespit etmişlerdir. Taze ve kurutulmuş domateslerin kalitesi üzerine yapılan çalışmada daPh, titrasyon asitliği, renk, suda çözünür kuru madde, likopen ve C vitamini belirlenmiş ve yoğunlaştırıcının olup olmasının kurutulmuş domateslerin kalitesi arasında önemli bir fark yaratmadığını saptamışlardır.

Özgen (2013) tarafından yapılan araştırmada konvektif bir kurutucu tasarlanmıştır. Bu kurutucu ile elmanın kuruma özelliği araştırılmıştır. Bu çalışmada, 20x20x4 mm ebatlarında elma örnekleri kullanılmıştır. Elmanın kurutulmasında, hava sıcaklığı ve hava hızı kuruma özelliğini etkileyen parametreler olarak ele alınmıştır. Hava sıcaklığı 45°C, hız 0,5 - 1 ve 1,5 m/s olarak alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, kurutma hava hızının toplam kuruma zamanı üzerinde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir.

Monteiro (2015) ve arkadaşları yaptıkları karşılaştırmalı çalışmada farklı kurutma stratejilerindeki kontrollü mikro yapıda ve doku özelliklerinde kurutulmuş muz üretimini araştırmışlardır. Mikrodalga ısıtma ve vakumlu darbe kombinasyonu uygulamasını kurutulmuş muzların gevrekliği üzerinde incelemişlerdir. Muz dilimlerinin mikrodalga vakum (MWVD), çoklu ısıtılı mikrodalga kurutma işlemi (MWMFD) ve dondurarak kurutma ile dehidre edildiğini belirtmişlerdir. MWVD ve MWMFD'nin kurutma kinetiklerinin 3 kurutma periyodu gösterdiğini anlatmışlardır. Bunların i) çok kısa ısıtma periyodu ii) sabit kurutma oranı periyodu iii) düşen oran periyodu olduğunu belirtmişlerdir. Daha yüksek nominal mikrodalga gücünün daha geniş kurutma oranlarına öncülük yaptığını anlatmışlardır. Meyvelere uygulanan 3 farklı magnetron gücünün aynı kurutma prosedüründe farklı mikroyapılar ve dokular olarak sonuçlanmadığını belirtmişlerdir. Diğer yandan MWMFD'nin kurutulmuş meyvelerin gözeneklerinde ve gözenekliliğinde MWVD'nin ürettiğinden 20 % ile 50 % arası daha yüksek sonuç verdiğini anlatmışlardır. Ayrıca MWMFD örneklerinin delme testlerinde gevrek ürünlerin karakteristik özelliği olan daha düzensiz kuvvet-gerinim eğrileri

verdiğini belirtmişlerdir. Sonuçların mikrodalga alandaki ardışık devirlerde ısıtma ve vakum darbeler vesilesiyle kurutulmuş ve gevrek meyvelerin yaratılmasına olanak verdiğini göstermişlerdir. MWMFD prosesinin kurutulmuş ve gevrek muz üretiminde MWVD prosesinden, daha kısa kurutma zamanıyla da dondurarak kurutmadan daha verimli olduğunu göstermişlerdir.

Seremet (2016) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sıcak hava kurutma prosesinin ve kombine metotların balkabağı örneklerinin fizikokimyasal özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Kurutma odasındaki deneyleri 50, 60 ve 70 °C'de gerçekleştirmişlerdir. Kombine metodun ana kurutma tekniklerinin üçlü kombinasyonundan oluştuğunu belirtmişlerdir. Buna göre örnekler 60°C'de sıcak hava konveksiyonuna, 40°C'deyse mikrodalga eşzamanlı çalışırken sıcak havalandırmaya tabi tutulmuşlardır. Nem oranını verilen düzeye düşürmek için gerekli zamanın kurutma durumlarına oldukça bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre en uzun zamanın sıcak hava 540 dakika ile 50 °C'deyken, en kısa zamanınsa 189 dakika ile sıcak hava konveksiyonu ile mikrodalga kombineyken 40 °C'de ve 315 W'ta olduğunu anlatmışlardır. Sıcak havada kurutulan örneklerin kombine metottakine göre daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kabak

Türkiye 'de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan kabak kurutma denemelerinde kullanılmıştır. Kabak Tekirdağ ilinden, yerel marketlerden temin edilerek kurutma işlemine tabi tutulana kadar +4°C deki buzdolabında bekletilmiştir. Şekil 3.1'de kabak dilimlerinin örnek fotoğrafları bulunmaktadır.



Şekil 3.1.Farklı kalınlıklardaki kabak örnekleri

3.1.2. Güneş enerjili bantlı mikrodalga kurutucu

Kurutma işleminde, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır. Şekil 3.2'te genel görünümü verilmektedir.



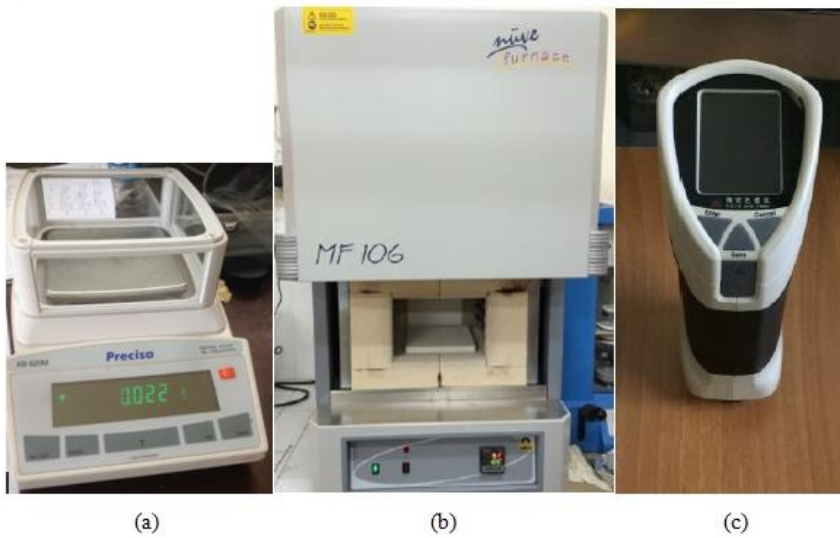
Şekil 3.2. Deney düzeneği

Kabak dilimlerinin kurutulacağı mikrodalga bantlı kurutucu; kurutma tüneli, dört adet mikrodalga güç ünitesi, teflon bant, elektrik motoru ve kontrol panosundan oluşmaktadır. Kurutma tünelinin uzunluğu 3,5 m genişliği 0,5 m'dir. Her bir mikrodalga güç ünitesi 700 W gücünde olup (toplam kurutucu gücü 2800 W) kontrol panosu vasıtası ile ısıtma güçleri 90, 120, 350, 500, 700 W değerleri arasında ayarlanabilmektedir. Magnetronlar arası mesafe 0,9 m olup kurutma tünelinin başından ve sonundan 0,4 m mesafede uzaktan dizilmeye başlanmıştır. Teflon bant genişliği 0,44 m olup ve kurutma tüneli başından ve sonundan 0,25 m dışarıya taşmaktadır. Kurutma tüneli içinde mikrodalga güç üniteleri ile bant arasında 0,15 m mesafe bulunmaktadır. Bantın ilerleme hızı ve dönüş yönü, elektrik motorunu kontrol eden ve kontrol panosu içinde bulunan invertör ile ayarlanabilmektedir.

Deneylerde sıcak hava üretmek amacıyla kullanılan kollektör akrilik malzemeden 1,5m çapında yapılmıştır. Kollektörü kurutucu tüneline bağlayan kanal silindirik yapıda olup bir fan yardımıyla üretilen ısının taşınmasını sağlar.

3.1.3. Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri

Kabak dilimlerinin ağırlıklarının ölçülmesi için deneyler süresince 0,001 g hassasiyetinde Precisa marka XB 620M model elektronik terazi kullanılmıştır (Şekil 3.3.a). Ürünün başlangıç neminin belirlenmesinde dijital göstergeli maksimum çalışma sıcaklığı 1100 °C olan 6 L kapasiteli Nüve marka MF 106 model etüv kullanılmıştır (Şekil 3.3.b). Renk ölçümleri için uluslar arası $L^*a^*b^*$ sistemine göre ölçüm yapan Spec marka HP-200 model renk ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.3.c).



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan cihazlar

3.2. Yöntem

Ürünlerde tazelik, renk, doku vb. kayıpların olmaması açısından deneylerde kabak tek tek kullanılarak dilimlenmiştir. Kurutma işlemlerine geçmeden kabak yıkanmış ve 5 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıkta dilimlenmiştir. Yıkama dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Kurutma deneylerine başlanmadan önce 5 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklarındaki örnek dilimlerin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde kuru ağırlık tespiti yapılmıştır. Yapılan kuru ağırlık tespiti sonucunda ürünlerin başlangıç nem değerleri belirlenmiştir. Kurutma işlemi yapılacak taze ürünlerin her birinin renk ölçümleri yapılmıştır.

Mikrodalga enerjisinden daha iyi yararlanmak, nem çıkışını kolaylaştırmak ve homojen bir yüzey teması amacıyla, dilimler 4 cm yüksekliğinde üçer adet ince tahta çubuk üzerine konulmuştur. Deneyler toplamda 0,7kW, 1kW ve 1,4kW güç seviyelerinde yapılmıştır. Çalışmalar boyunca bant hızı 0,245 d/dk olmak üzere ayarlanmıştır. Kollektörde üretilen sıcak hava sabit bir değere gelene kadar beklendi ve sabit hızda tünele aktarılmıştır. Tüm mikrodalga güçlerindeki denemelerde 5 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 5 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur. Kurutma işlemlerinde kabak için ürünlerin nem içeriği %10±0.5 (y.b.) oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanıp verilerin ortalamaları kullanılmıştır.

3.2.1. Ürün neminin belirlenmesi

Kurutma işleminden önce ürünlerin başlangıç nemlerinin belirlenmesi amacıyla her bir dilim kalınlığı için 3'er adet örnek alüminyum folyo içerisine koyularak 105°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat süresince bekletilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$m_y = \frac{m_s}{(m_s + m_k)} \quad (3.1)$$

Burada:

- m_y : yaş baza göre nem içeriği,
- m_s : ürünün yaş kütlesi (g),
- m_k : ürünün kuru kütlesi (g).

Ürünlerin ilk nem ve son nemlerinin yanısıra kurutma işlemi boyunca değişen nem içeriği değerleri de aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$mr = \frac{m - m_e}{m_0 - m_e} \quad (3.2)$$

Burada:

mr: boyutsuz nem oranı,
m: ürünün belli bir zamandaki nem içeriği (g.su/g.katı madde),
m_e: denge nem içeriği,
m₀: ilk nem içeriği.

Mikrodalga fırın içinde denge nem içeriği (m_e) sıfır kabul edilmiştir (Maskan, 2000).

$$mr = m / m_0 \quad (3.3)$$

3.2.2. Renk tayini

Kurutma işleminde kurutma şartlarının kurutulan kabağın rengi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla renk ölçümleri yapılmıştır.

$$\Delta L = L_{taze} - L^* \quad (3.4)$$

$$\Delta a = a_{taze} - a^* \quad (3.5)$$

$$\Delta b = b_{taze} - b^* \quad (3.6)$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.7)$$

$$H = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3.8)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.9)$$

Kurutulan ürünlerde taze ürüne göre renk değişiminin belirlenmesinde toplam renk sapması (ΔE), renk parlaklığı sapması (ΔL), kırmızı renk sapması (Δa), sarı renk sapması (Δb) indisleri kullanılmıştır. Renk kriteri olan L (parlaklık) 0 ve 100 arasında, a pozitif değeri kırmızılılığı negatif değeri yeşilliliği, b pozitif değeri sarılılığı negatif değeri mavililiği göstermektedir. Bu değerlerin ilk renk değerlerine yakınlığı bizim için kalite göstergesi olacaktır.

3.2.3. Uygun Modelin tespiti

Çizelge 3.1’ de belirtilen 10 Model içinden bizim ürünümüz için en uygun model ya da modellerin tespiti yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler bu formüllerde her bir model için yerine konup, gerçek ve model verileri arasında grafiksel karşılaştırma yapılmıştır. Standart sapma (e_s), teorik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Bu değer in sıfıra yakın olması modelin daha etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren ki-kare (χ^2) değerinin azalması da uyumun arttığını belirtmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği değerinin yani korelasyon katsayısının 1’e yakın olması modelin kullanılabilirliğinin göstergesidir.

Çizelge 3.1. Kurutma modelleri (Kahveci ve Cihan, 2008)

<i>Model</i>	<i>Model denklemi</i>
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Two term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$
Logistic	$MR = a_0 / (1 + a \exp(kt))$
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Two term	$mr = a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$
Verma <i>et al.</i>	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$

Elde edilen sonuçlar diğer literatür çalışmaları ile karşılaştırılarakta sistemin uygun olup olmayacağı değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Kuruma sabitlerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan regresyon analizi yapan XLSTAT ve EXCEL bilgisayar programları kullanılmıştır. Uygun modelin

bulunmasında kullanılacak karşılaştırma kriterleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} mr_{exp,i} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i}\right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{exp,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}\right)^2}} \quad (3.10)$$

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i} - mr_{exp,i})^2}{n_o}} \quad (3.11)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i} - mr_{exp,i})^2}{n_o - n_c} \quad (3.12)$$

r: korelasyon kat sayısı,

e_s : standart sapma,

χ^2 : ki-kare,

mr_{exp} : deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranı,

mr_{pre} : uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranı,

n_o : gözlem sayısı,

n_c : kurutma modelindeki sabitlerin sayısı,

n: üs,

a,n,k,b : kuruma sabitleri,

t: zaman (h)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kuruma Davranışları

Farklı güçlerde (0,7kW, 1kW ve 1,4kW), farklı dilimlerde (5mm, 10mm ve 15mm) ve farklı kollektör sıcaklıklarında kurutulan kabağın kuruma davranışları Çizelge 4.1-4.9' da gösterilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi dilim kalınlığı arttıkça kuruma süresi artmaktadır. Kollektör içi çıkış sıcaklığı ve kollektör merkez sıcaklığı çevre sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak kurutma sıcaklığı da değişmektedir ve kuruma zamanına etki etmektedir. Tünel içi sıcaklığı ise hem kollektörden gelen sıcak hava hem de güneş ışınlarının etkisiyle değişmektedir. Bu yüzden sabit bir değer almamaktadır. 0,7kW güçte yapılan kurutma 60-85dakika arasında, 1kW gücünde yapılan kurutma 47-78 dakika arasında ve 1,4kW güçte yapılan kurutma ise 67-95 dakikada gerçekleşmektedir. 1 kW güçte kuruma diğerlerine göre kısa sürmüştür. Bunun sebebi kurutma ortamına gönderilen havanın sıcaklığının daha yüksek olmasıdır. Günün belli saatlerinde ortam sıcaklığı değiştiğinden kurutma sıcaklığı da değişmektedir. Bu kuruma davranışlarının nem grafikleri model sonuçlarında verilmiştir.

Çizelge 4.1. 5mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı :5mm	Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):7,029 Mk(g): 1,054		
Mikrodalga Gücü: 0,7kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	7,029	0,85005	1	32,5	32,8	32,4	3,26	34
5	6,331	0,833518	0,98055	31	32	36	3,03	34
10	5,788	0,817899	0,96218	31	31,9	36,4	2,9	30
15	5,228	0,798393	0,93923	32	32	34,7	2,41	30
20	4,654	0,773528	0,90998	31,1	32,7	33	2,6	30
25	4,224	0,750473	0,88286	32,3	32,9	35,5	2,6	30
30	3,666	0,712493	0,83818	31,4	31,7	37,1	2,33	30
35	3,166	0,667088	0,78476	32,2	32,8	31,1	2,45	31

40	2,607	0,595704	0,70079	33,5	34,7	31,8	2,49	31
45	2,069	0,490575	0,57711	36,4	40,3	31,4	2,34	32
50	1,687	0,375222	0,44141	35,9	39	31,1	2,86	35
55	1,431	0,263452	0,30993	37,6	41,7	28,5	2,78	37
60	1,155	0,087446	0,10287	36,5	40	29,5	2,11	36

Çizelge 4.2. 10mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı :10 mm		Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):13,496 Mk(g): 1,949	
Mikrodalga Gücü: 0,7kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	13,496	0,855587	1	32,5	32,8	32,4	3,26	34
5	12,245	0,840833	0,98276	31	32	36	3,03	34
10	10,735	0,818444	0,95659	31	31,9	36,4	2,9	30
15	9,192	0,787968	0,92097	32	32	34,7	2,41	30
20	8,125	0,760123	0,88842	31,1	32,7	33	2,6	30
25	7,19	0,728929	0,85196	32,3	32,9	35,5	2,6	30
30	6,567	0,703213	0,82191	31,4	31,7	37,1	2,33	30
35	5,811	0,664602	0,77678	32,2	32,8	31,1	2,45	31
40	5,401	0,639141	0,74702	33,5	34,7	31,8	2,49	31
45	4,921	0,603942	0,70588	36,4	40,3	31,4	2,34	32
50	4,555	0,572119	0,66869	35,9	39	31,1	2,86	35
55	3,997	0,512384	0,59887	37,6	41,7	28,5	2,78	37
60	3,567	0,453602	0,53017	36,5	40	29,5	2,11	36
65	3,265	0,403063	0,4711	37,9	41	32,8	2,1	36
70	3,178	0,386721	0,452	37,1	41,2	31,2	2,71	36
75	2,622	0,256674	0,3	36,8	40,8	31,8	2,72	36
80	2,385	0,182809	0,21367	37,3	41,2	33,2	2,71	36
82	2,18	0,105963	0,12385	37	41	32,6	2,71	36

Çizelge 4.3.15mm dilimlenerek 0,7kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı :15 mm	Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):24,51 Mk(g): 3,495		
Mikrodalga Gücü: 0,7kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	24,51	0,857405	1	32,5	32,8	32,4	3,26	34
5	17,613	0,801567	0,93488	31	32	36	3,03	34
10	16,278	0,785293	0,91589	31	31,9	36,4	2,9	30
15	14,758	0,763179	0,8901	32	32	34,7	2,41	30
20	13,598	0,742977	0,86654	31,1	32,7	33	2,6	30
25	12,613	0,722905	0,84313	32,3	32,9	35,5	2,6	30
30	11,328	0,691472	0,80647	31,4	31,7	37,1	2,33	30
35	10,294	0,660482	0,77033	32,2	32,8	31,1	2,45	31
40	9,035	0,613171	0,71515	33,5	34,7	31,8	2,49	31
45	7,754	0,549265	0,64061	36,4	40,3	31,4	2,34	32
50	6,881	0,49208	0,57392	35,9	39	31,1	2,86	35
55	6,225	0,438554	0,51149	37,6	41,7	28,5	2,78	37
60	5,677	0,384358	0,44828	36,5	40	29,5	2,11	36
65	5,1	0,314706	0,36704	37,9	41	32,8	2,1	36
70	4,812	0,273691	0,31921	37,1	41,2	31,2	2,71	36
75	4,393	0,204416	0,23841	36,8	40,8	31,8	2,72	36
80	4,12	0,151699	0,17693	37,3	41,2	33,2	2,71	36
85	3,886	0,100618	0,11735	39,3	43,8	32,6	2,71	36

Çizelge 4.4. 5mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün:	Dilim kalınlığı :5mm	Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):7,029 Mk(g): 1,054		
Mikrodalga Gücü: 1kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	7,361	0,85002	1	36	39	32,4	3,26	36
5	6,662	0,834284	0,98149	36	39,2	36	3,03	37
10	5,887	0,812468	0,95582	34,9	38,6	36,4	2,9	35
15	5,075	0,782463	0,92052	38,1	42,3	34,7	2,41	36
20	3,995	0,723655	0,85134	35,8	38,9	33	2,6	34
25	3,091	0,642834	0,75626	40,2	36,4	35,5	2,6	36
30	2,438	0,54717	0,64371	42	37,5	37,1	2,33	35
35	1,94	0,430928	0,50696	39	35,3	31,1	2,45	34
40	1,507	0,267419	0,3146	36,9	33,5	31,8	2,49	32
45	1,305	0,154023	0,1812	38	34,7	31,4	2,34	31
47	1,23	0,102439	0,12051	37,5	34	31,1	2,86	31

Çizelge 4.5. 10mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün:	Dilim kalınlığı :10 mm	Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):13,496 Mk(g): 1,949		
Mikrodalga Gücü: 1kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	13,084	0,855625	1	36	39	32,4	3,26	36
5	11,835	0,840389	0,98219	36	39,2	36	3,03	37
10	10,333	0,817188	0,95508	34,9	38,6	36,4	2,9	35

15	8,987	0,789807	0,92308	38,1	42,3	34,7	2,41	36
20	8,26	0,771308	0,90145	35,8	38,9	33	2,6	34
25	7,685	0,754196	0,88146	40,2	36,4	35,5	2,6	36
30	7,131	0,7351	0,85914	42	37,5	37,1	2,33	35
35	6,59	0,713354	0,83372	39	35,3	31,1	2,45	34
40	6,182	0,694435	0,81161	36,9	33,5	31,8	2,49	32
45	5,776	0,672957	0,78651	38	34,7	31,4	2,34	31
50	5,329	0,645524	0,75445	36,4	32,9	31,1	2,86	30
55	4,78	0,604812	0,70687	36,3	32	28,5	2,78	30
60	3,742	0,49519	0,57875	32,9	30,3	29,5	2,11	30
65	2,895	0,347496	0,40613	32,5	29,2	32,8	5,1	29
68	2,1	0,100476	0,11743	32,5	30	31,2	2,71	29

Çizelge 4.6. 15mm dilimlenerek 1kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün:	Dilim kalınlığı :15 mm		Dış ortam sıcaklığı :31°C				Mo(g):24,51 Mk(g): 3,495	
Mikrodalga Gücü: 1kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		Tünel içi sıcaklık (°C)
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	20,524	0,857386	1	36	39	32,4	3,26	36
5	19,71	0,851497	0,99313	36	39,2	36	3,03	37
10	18,456	0,841407	0,98136	34,9	38,6	36,4	2,9	35
15	17,076	0,82859	0,96641	38,1	42,3	34,7	2,41	36
20	15,899	0,8159	0,95161	35,8	38,9	33	2,6	34
25	14,575	0,799177	0,93211	40,2	36,4	35,5	2,6	36
30	13,314	0,780156	0,90992	42	37,5	37,1	2,33	35
35	11,781	0,751549	0,87656	39	35,3	31,1	2,45	34
40	10,512	0,721556	0,84158	36,9	33,5	31,8	2,49	32
45	8,915	0,671677	0,7834	38	34,7	31,4	2,34	31
50	7,713	0,620511	0,72372	36,4	32,9	31,1	2,86	30

55	6,823	0,57101	0,66599	36,3	32	28,5	2,78	30
60	6,021	0,513868	0,59934	32,9	30,3	29,5	2,11	30
65	5,331	0,450947	0,52596	32,5	29,2	32,8	5,1	29
70	4,589	0,36217	0,42241	29,5	28,8	31,2	2,71	28
75	3,868	0,243278	0,28374	28,6	28,2	31,8	2,72	28
78	3,25	0,099385	0,11592	28	28,1	32,4	3,26	29

Çizelge 4.7. 5mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulanan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı :5 mm		Dış ortam sıcaklığı :30,3°C				Mo(g):5,07 Mk(g):0,75	
Mikrodalga Gücü: 1,4kW				Bant Hızı: 0,245d/dk				
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı		
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	
0	5,07	0,852071	1	43	46	32,4	3,26	
5	4,465	0,832027	0,97648	43,2	47	36,0	3,03	
10	3,972	0,811178	0,95201	43,6	47	36,4	2,90	
15	3,601	0,791725	0,92918	43,6	45,8	34,7	2,41	
20	3,217	0,766864	0,90010	37,5	40,5	33,0	2,60	
25	2,832	0,735169	0,8628	44,8	49,5	35,5	2,60	
30	2,553	0,706228	0,82884	46,4	49,3	37,1	2,33	
35	2,246	0,666073	0,78171	36,3	39	31,1	2,45	
40	1,873	0,599573	0,70367	35,7	38,8	31,8	2,49	
45	1,571	0,522597	0,61333	38,8	41,4	31,4	2,34	
50	1,292	0,419505	0,49234	38,6	42	31,1	2,86	
55	1,025	0,268293	0,31487	32,5	33,7	28,5	2,78	
67	0,83	0,096386	0,11312	32,8	34,5	29,5	2,11	

Çizelge 4.8. 10mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı:10mm	Dış ortam sıcaklığı :30,3°C				Mo(g):9,195	M(k):1,35
Mikrodalga Gücü: 1,4kW				Bant Hızı: 0,245d/dk			
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı	
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)
0	9,195	0,853181	1	43	46	32,4	3,26
5	8,07	0,832714	0,97601	43,2	47	36	3,03
10	7,04	0,808239	0,94732	43,6	47	36,4	2,9
15	6,12	0,779412	0,91354	43,6	45,8	34,7	2,41
20	5,467	0,753064	0,88265	37,5	40,5	33	2,6
25	4,816	0,719684	0,84353	44,8	49,5	35,5	2,6
30	4,38	0,691781	0,81083	46,4	49,3	37,1	2,33
35	3,852	0,649533	0,76131	36,3	39	31,1	2,45
40	3,444	0,608014	0,71264	35,7	38,8	31,8	2,49
45	3,01	0,551495	0,6464	38,8	41,4	31,4	2,34
50	2,692	0,498514	0,5843	38,6	42	31,1	2,86
55	2,371	0,43062	0,50472	32,5	33,7	28,5	2,78
60	1,988	0,320926	0,37615	32,8	34,5	29,5	2,11
65	1,789	0,245388	0,28762	39,7	42,9	32,8	2,1
70	1,51	0,10596	0,12419	36,8	39,6	31,2	2,71
85	1,503	0,10209	0,11196	35,8	38,6	30,2	2,61

Çizelge 4.9. 15mm dilimlenerek 1,4kW güçte kurutulan kabağın kuruma sonuçları

Ürün: Kabak	Dilim kalınlığı :15 mm	Dış ortam sıcaklığı :30,3°C				Mo(g):17,601 M(k): 2,51	
Mikrodalga Gücü: 1,4kW				Bant Hızı: 0,245d/dk			
Zaman (dk)	My(g)	my(gsu/gyaş madde)	m/mo	Kollektör içi sıcaklık (°C)		Kurutma sıcaklığı ve hızı	
				Çıkış (°C)	Merkez (°C)	Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)
0	17,601	0,857394	1	43	46	32,4	3,26
5	16,474	0,847639	0,98862	43,2	47	36	3,03
10	15,561	0,838699	0,9782	43,6	47	36,4	2,9
15	14,503	0,826932	0,96447	43,6	45,8	34,7	2,41
20	13,523	0,81439	0,94984	37,5	40,5	33	2,6
25	12,59	0,800635	0,9338	44,8	49,5	35,5	2,6
30	11,51	0,781929	0,91198	46,4	49,3	37,1	2,33
35	10,305	0,756429	0,88224	36,3	39	31,1	2,45
40	9,417	0,733461	0,85545	35,7	38,8	31,8	2,49
45	8,29	0,697226	0,81319	38,8	41,4	31,4	2,34
50	7,269	0,654698	0,76359	38,6	42	31,1	2,86
55	6,414	0,608669	0,7099	32,5	33,7	28,5	2,78
60	5,575	0,549776	0,64122	32,8	34,5	29,5	2,11
65	4,829	0,480224	0,5601	39,7	42,9	32,8	5,1
70	4,218	0,404931	0,47228	36,8	39,6	31,2	2,71
75	3,862	0,350078	0,4083	36,4	40,3	31,8	2,72
80	3,476	0,277906	0,32413	37,8	41,9	33,2	2,71
85	3,104	0,191366	0,22319	38,9	42,8	32,6	2,71
95	2,787	0,09939	0,11592	37,8	40,9	32,4	2,71

4.2. Renk parametreleri sonuçları

Kurutma işlemine başlamadan önce renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 3 tekrarlı renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen

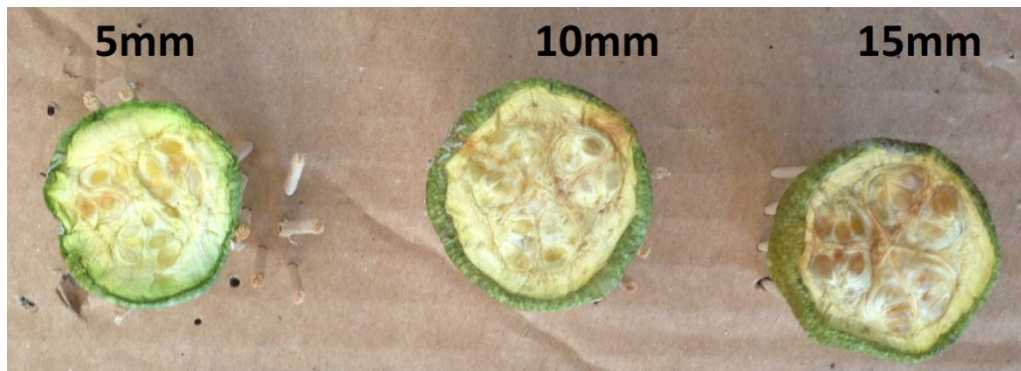
değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Mikrodalga güneş kombinasyonlu kurutucuda kurutulan kabak dilimlerin renk parametreleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10.Kabak dilimlerine ait tüm parametreler

Renk parametreleri	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
5mm kabak	82,64	-3,73	22,26						
Bant hızı – Mikrodalga gücü									
0.245 m/dk– 0,7kW	75,77	3,49	33,32	22,57	-1,40	-7,22	-11,06	6,87	14,89
Renk parametreleri									
10mm kabak	81,93	-3,17	23,35						
Bant hızı – Mikrodalga gücü									
0.245 m/dk– 0,7kW	74,99	3,34	25,43	23,56	-1,43	-6,51	-2,06	6,94	9,73
Renk parametreleri									
15mm kabak	82,15	-4,1	23,40						
Bant hızı – Mikrodalga gücü									
0.245 m/dk– 0,7kW	64,15	5,85	22,11	23,76	-1,39	-9,95	1,29	18	20,60
Renk parametreleri									
5mm kabak	83,52	-2,43	20,46						
Bant hızı – Mikrodalga gücü									
0.245 m/dk– 1kW	71,93	0,93	32,49	20,61	-1,45	-3,37	-12,03	11,59	17,04
Renk parametreleri									
10mm kabak	82,96	-2,71	20,72						
Bant hızı – Mikrodalga gücü									
0.245 m/dk– 1kW	73,45	8,30	27,92	20,90	-1,47	-11,02	-7,20	9,50	16,23
Renk parametreleri									
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE

15mm kabak	77,9	-2,56	22,33							
Bant hızı – Mikrodalga gücü										
0.245 m/dk–1kW	60,17	7,80	25,70	22,47	-1,45	-10,36	-3,37	17,73	20,81	
Renk parametreleri	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE	
5mm kabak	82,76	-4,55	26,65							
Bant hızı – Mikrodalga gücü										
0.245 m/dk–1,4kW	86,37	1,68	35,83	27,04	-1,40	-6,23	-9,17	-3,58	11,65	
Renk parametreleri	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE	
10mm kabak	81,25	-1,72	20,77							
Bant hızı – Mikrodalga gücü										
0.245 m/dk–1,4kW	69,94	6,03	31,04	20,84	-1,48	-7,75	-10,27	11,31	17,13	
Renk parametreleri	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE	
15mm kabak	79,88	-1,32	23,32							
Bant hızı – Mikrodalga gücü										
0.245 m/dk – 1,4kW	44,68	14,06	23,52	23,36	-1,51	-15,38	-0,19	35,2	38,41	

Çizelge 4.10 dikkate alındığında 0,7 kW güçte yapılan kurutmalarda parlaklık parametresi (ΔL) dikkate alındığında diğer deneylere nazaran en iyi sonuçlar elde edilmiştir. En iyi sonucun 0,7 kW güçte 10 mm kabak için olduğu söylenebilir. Kuruma sonucunda kabakta meydana gelen renk değişimleri Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Kurutulan kabak diliminin resmi

4.3. Enerji tüketimi değerleri

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi, kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Enerji tüketimine sebep olan cihazlar bandın elektrik motoru, magnetronlar ve güneş kollektöründeki fanlardır. Bunların tüketim değerlerinin toplamı ölçülmüştür. Kabak sebzesinin kurutulması sonucunda oluşan tüketim değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.11’den görüldüğü gibi mikrodalga gücü arttıkça tüketilen enerjide de bir artış söz konusu olmaktadır. Aynı zamanda dilim kalınlıklarını kıyasladığımızda da artan dilim kalınlığı ile birlikte tüketilen enerji miktarı da artmaktadır.

Çizelge 4.11.Kabak dilimlerine ait enerji tüketim değerleri

	Toplam Süre (dk)	Enerji Tüketimi (kWh)
5mm, 0,245 m/dk 0,7 kW	60	1,210
10mm, 0,245 m/dk 0,7 kW	82	1,519
15mm, 0,245 m/dk 0,7 kW	85	1,723
5mm, 0,245 m/dk 1 kW	47	1,143
10mm, 0,245 m/dk1 kW	68	1,807
15mm, 0,245 m/dk1 kW	78	1,813
5mm, 0,245 m/dk1,4 kW	67	1,621
10mm, 0,245 m/dk1,4 kW	85	2,025
15mm, 0,245 m/dk1,4 kW	95	2,512

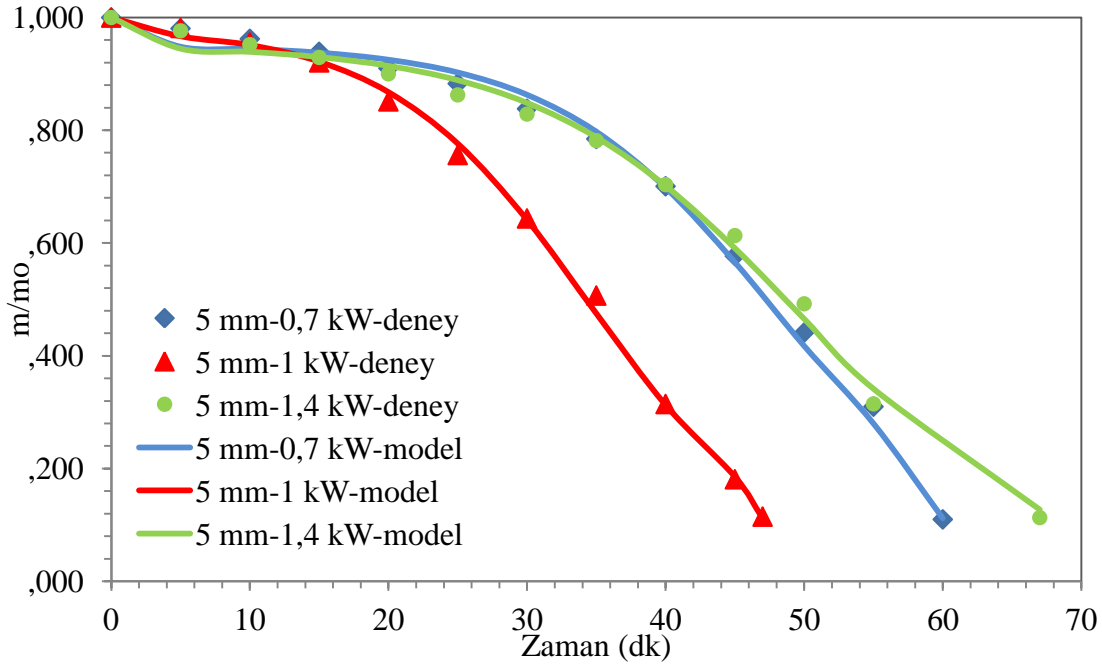
4.4. Kuruma Davranışlarının Modellenmesi ve Uygun Model Seçimi

Farklı güçlerde (0,7kW, 1kW ve 1,4kW), 5 mm, 10 mm, 15 mm dilimlerdeki kabağın kuruma davranışlarının modellenmesi ve uygun model seçimi Çizelge 12-14’te verilmiştir.

Çizelge 4.12. 5mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Gücü	Sabitler	r²	es	χ²
Henderson and Pabis	0,7 kW	a=1,230 / k=0,019	0,779	0,142	0,020
	1 kW	a= 1,314 /k=0,030	0,847	0,137	0,019
	1,4 kW	a=1,203 / k= 0,017	0,806	0,128	0,016
Wang and Singh	0,7 kW	a=0,003 / b=-0,0002	0,989	0,033	0,001
	1 kW	a= 0,0004 /b= -0,0004	0,998	0,016	0,0002
	1,4 kW	a=-0,0002 /b= -0,0002	0,988	0,032	0,001
Newton	0,7 kW	k= 0,013	0,811	0,163	0,027
	1 kW	k= 0,008	0,890	0,116	0,014
	1,4 kW	k= 0,013	0,909	0,111	0,012
Page	0,7 kW	k=6,9.10 ⁻⁷ / n=3,593	0,984	0,044	0,002
	1 kW	k= 1,1.10 ⁻⁵ / n= 3,117	0,996	0,026	0,001
	1,4 kW	k= 4,7.10 ⁻⁶ / n=3,067	0,985	0,042	0,002
Two term exponential	0,7 kW	k=0,019 / a=1,230	0,779	0,142	0,020
	1 kW	k= 0,030 / a= 1,314	0,847	0,137	0,019
	1,4 kW	k= 0,017 / a= 1,204	0,806	0,128	0,016
Logarithmic	0,7 kW	ao=-31,942 / a=33,138 k=0,00046	0,878	0,111	0,012
	1 kW	ao=-52,430 / a=53,535 k=0,00038	0,948	0,103	0,011
	1,4 kW	ao=-86,082 / a=87,179 k=0,00014	0,907	0,099	0,010
Logistic	0,7 kW	ao=0,952/ a=0,002 k=0,126	0,990	0,032	0,001
	1 kW	ao=0,983/ a=0,008 k=0,139	0,997	0,020	0,0003
	1,4 kW	ao=0,953 / a=0,005 k=0,107	0,995	0,023	0,001
Midilli et al.	0,7 kW	a=1,186/ k=6,5.10 ⁻²³ n=12,108/b=-0,014	0,952	0,081	0,006
	1 kW	a=0,998/ k=4,7.10 ⁻⁶ n=3,252 /b=-0,003	0,999	0,010	0,0001
	1,4 kW	a=1,126/ k=3.10 ⁻¹⁵ n=7,534 /b=-0,013	0,950	0,077	0,006
Two term	0,7 kW	a1=14,226 / a2=-13,501 k1=0,047 /k2=0,054	0,911	0,102	0,010
	1 kW	a1=20,325 / a2=-19,762 k1=0,02 /k2=0,080	0,958	0,085	0,007
	1,4 kW	a1=8,004 / a2=-7,267 k1= 0,042 /k2=0,054	0,928	0,088	0,008
Verma et al.	0,7 kW	a=0,656/k=0,013 g=0,013	0,811	0,180	0,033
	1 kW	a=-0,314/k=0,147 g=0,022	0,847	0,147	0,022
	1,4 kW	a=1,567/k=0,013 g=0,013	0,837	0,162	0,026

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Logistic modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 4.2’de çizilmiştir.



Şekil 4.2. 5 mm dilim kalınlığı ve 0,7 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri

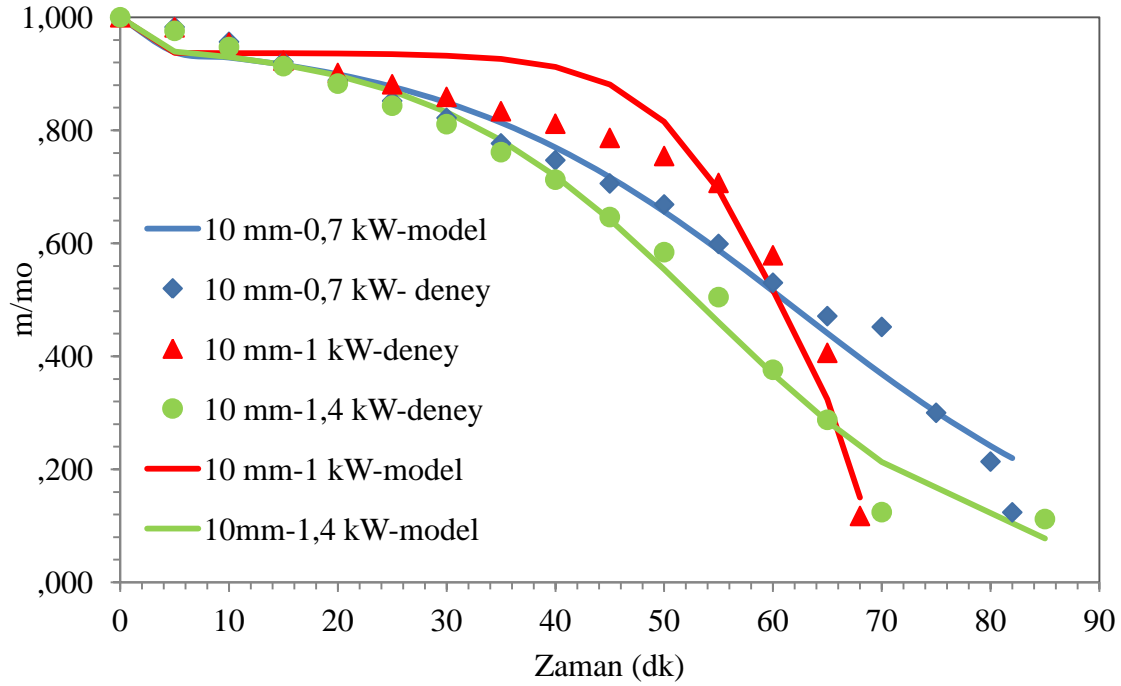
Şekil 4.2’den de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur. Sadece 1 kW güçte kurutma sıcaklığındaki değişkenlikten dolayı kurutma süresi daha kısa olmuştur.

Çizelge 4.13. 10mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Mikrodalga Gücü	Sabitler	r^2	e_s	χ^2
Henderson and Pabis	0,7 kW	$a=1,171 / k=0,014$	0,870	0,099	0,010
	1 kW	$a= 1,142 / k= 0,012$	0,671	0,143	0,020
	1,4 kW	$a=1,204 / k= 0,017$	0,863	0,114	0,013
Wang and Singh	0,7 kW	$a=-0,003/ b= -0,00008$	0,989	0,029	0,001
	1 kW	$a= 0,002 / b= -0,00017$	0,873	0,090	0,008
	1,4 kW	$a=-0,005 / b= -0,000084$	0,966	0,056	0,003

Newton	0,7 kW	k= 0,014	0,826	0,179	0,032
	1 kW	k= 0,011	0,892	0,116	0,013
	1,4 kW	k= 0,013	0,915	0,108	0,012
Page	0,7 kW	k=7,3.10-5 / n=2,238	0,966	0,053	0,003
	1 kW	k= 7,5.10-8 / n=3,927	0,890	0,093	0,009
	1,4 kW	k= 4,1.10-5 / n= 2,462	0,978	0,049	0,002
Two term exponential	0,7 kW	k=0,014 / a=1,171	0,870	0,099	0,010
	1 kW	k= 0,012 / a= 1,141	0,671	0,143	0,020
	1,4 kW	k= 0,017 / a= 1,205	0,863	0,114	0,013
Logarithmic	0,7 kW	ao=-45,274 / a=46,288 k=0,00018	0,947	0,082	0,007
	1 kW	ao=-52,993/ a=54,078 k=0,00017	0,742	0,133	0,018
	1,4 kW	ao=-117,2 / a=118,36 k=0,00014	0,948	0,072	0,005
Logistic	0,7 kW	ao=0,966 / a=0,022 k=0,062	0,978	0,042	0,002
	1 kW	ao=0,941 / a=0,00005 k=0,161	0,931	0,078	0,006
	1,4 kW	ao=0,960 / a=0,015 k=0,078	0,987	0,036	0,001
Midilli et al.	0,7 kW	a=1,127 / k=3,2.10-7 n=2,530 /b=-0,011	0,951	0,066	0,004
	1 kW	a=1,124 / k=2,9.10-58 n=31,158 /b=-0,010	0,938	0,080	0,006
	1,4 kW	a=0,991 / k=1,5.10-5 n=2,686 /b=-0,0002	0,982	0,050	0,003
Two term	0,7 kW	a1=10,720 / a2=-9,861 k1=0,032 /k2=0,037	0,943	0,071	0,005
	1 kW	a1=6,417 / a2=-5,597 k1=0,030 /k2=0,040	0,780	0,128	0,016
	1,4 kW	a1=12,387 / a2=-11,589 k1=0,040 /k2=0,046	0,949	0,076	0,006
Vermaet al.	0,7 kW	a=2,345/k=0,011/g=0,011	0,890	0,124	0,015
	1 kW	a=-1,031/k=0,009/ g=0,009	0,689	0,162	0,026
	1,4 kW	a=2,658/k=0,013/g=0,013	0,889	0,145	0,021

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Logistic modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 4.3'te çizilmiştir.



Şekil 4.3. 10 mm dilim kalınlığı ve 1 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri

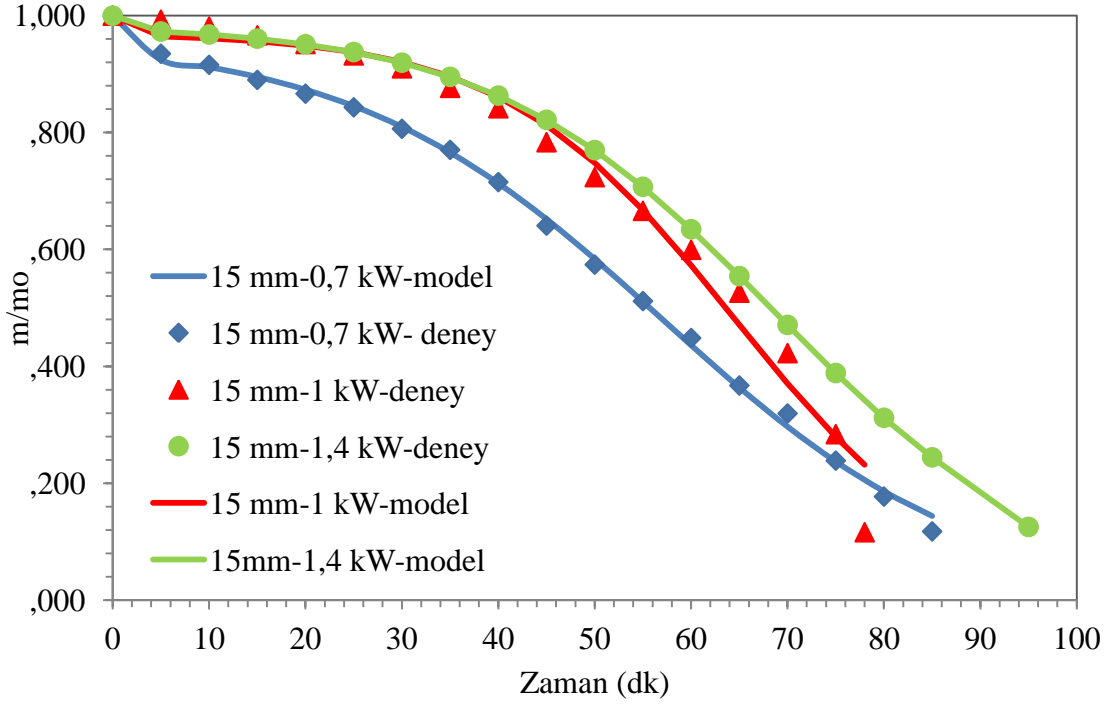
Şekil 4.3'ten de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

Çizelge 4.14. 15mm kabak kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Mikrodalga Gücü	Sabitler	r^2	e_s	χ^2
Henderson and Pabis	0,7 kW	a=1,161 / k=0,016	0,890	0,096	0,009
	1 kW	a= 1,212 / k= 0,013	0,788	0,129	0,017
	1,4 kW	a=1,189 / k= 0,012	0,836	0,104	0,011
Wang and Singh	0,7 kW	a=-0,005/ b= -0,00006	0,995	0,020	0,0004
	1 kW	a= 0,002 / b= -0,00015	0,983	0,034	0,001
	1,4 kW	a=0,001 /b= -0,0001	0,998	0,013	0,0001
Newton	0,7 kW	k= 0,012	0,837	0,147	0,022
	1 kW	k= 0,013	0,889	0,135	0,018
	1,4 kW	k= 0,009	0,862	0,146	0,021
Page	0,7 kW	k=1,6.10-4 / n=2,092	0,987	0,038	0,001
	1 kW	k= 4,8.10-7 / n= 3,418	0,975	0,047	0,002
	1,4 kW	k= 1,9.10-6 / n= 3,028	0,995	0,023	0,001
Two term exponential	0,7 kW	k=0,016 / a=1,161	0,890	0,096	0,009
	1 kW	k= 0,013 / a= 1,212	0,789	0,129	0,017
	1,4 kW	k= 0,013 / a= 1,218	0,831	0,120	0,014

Logarithmic	0,7 kW	$ao=-45,821 / a=46,842$ $k=0,0002$	0,972	0,059	0,004
	1 kW	$ao=-42,067 / a=43,337$ $k=0,00028$	0,877	0,112	0,013
	1,4 kW	$ao=-309,72 / a=310,89$ $k=0,00003$	0,927	0,080	0,006
Logistic	0,7 kW	$ao=0,961 / a=0,029$ $k=0,062$	0,998	0,012	0,0001
	1 kW	$ao=0,971 / a=0,004$ $k=0,085$	0,979	0,043	0,002
	1,4 kW	$ao=0,986 / a=0,009$ $k=0,068$	0,998	0,013	0,0001
Midilli et al.	0,7 kW	$a=0,982 / k=0,00009$ $n=2,147 / b=-0,022$	0,996	0,022	0,0004
	1 kW	$a=1,201 / k=3,5.10^{-30}$ $n=15,265 / b=-0,010$	0,967	0,067	0,005
	1,4 kW	$a=1,186 / k=1,3.10^{-11}$ $n=5,155 / b=-0,009$	0,966	0,066	0,004
Two term	0,7 kW	$a1=11,162 / a2=-10,399$ $k1=0,037 / k2=0,043$	0,976	0,049	0,002
	1 kW	$a1=0,765 / a2=-2,383$ $k1=-0,014 / k2=0,388$	0,999	0,007	0,00004
	1,4 kW	$a1=7,196 / a2=-6,410$ $k1=0,030 / k2=0,039$	0,950	0,071	0,005
Vermaet al.	0,7 kW	$a=1,947/k=0,013/g=0,013$	0,909	0,118	0,014
	1 kW	$a=2,626/k=0,009/g=0,009$	0,817	0,162	0,026
	1,4 kW	$a=0,606/k=0,009/g=0,009$	0,862	0,155	0,024

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Logistic modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 4.4'te çizilmiştir.



Şekil 4.4. 15 mm dilim kalınlığı ve 1,4 kW kurutma gücü için Logistic modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.4'ten de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, 5 mm , 10mm ve 15mm kalınlığında kabak dilimlerinin mikrodalga ile çalışan güneş enerji destekli bantlı kurutucuda kurutma esnasındaki kuruma karakteristiklerinin, kalite kriterleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada, kabak dilimlerinin $\%10\pm 1$ (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları, 1 kW mikrodalga gücünde, 0,245 d/dk bant hızında yapılan 5mm dilim için kurutma işlemi 1,143 kwh olarak vermiştir. Tüm dilim kalınlıkları için mikrodalga gücünün artırılması kuruma süreleri ve enerji tüketimlerini arttırmıştır. Sadece 1 kW güçte yapılan denemelerde kurutma tüneline taşınan havanın sıcaklığı fazla olduğundan kuruma hızlı olmuştur. Bu nedenle tüketim değerleri düşük çıkmıştır.

Renk kriteri açısından bakıldığında 0,7 kW güçte yapılan kurutmalarda parlaklık parametresi (ΔL) dikkate alındığında diğer deneylere göre en iyi sonuçlar elde edilmiştir. En iyi sonucu 0,7 kW güçte 5 mm kabağın verdiği söylenilebilmektedir.

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde incelenen kuruma modellerinin katsayılarını mikrodalga gücü ve dilim kalınlığına bağlı olarak en yüksek r değeri için yapılan tüm deney koşullarında kuruma kinetiklerini en iyi tahminleyen model “Logistic” kuruma modeli olarak seçilmiştir.

Sonuç olarak, bantlı mikrodalga kurutucu ile kurutma uygulamalarında mümkün olduğunca düşük bant hızı ile çalışmanın kalite kriterleri açısından daha yararlı olacağı ve güneşin etkili olduğu hava şartlarında da enerji tüketiminin azalabileceği söylenilebilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Arballo J R, Laura A, Mascheroni R H (2005) Modeling of Microwave Drying of Fruits, Drying Technology an international journal ,23:9-11
- Çalışkan K (2002). Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelen S (2010). Mikrodalga ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Erbay B. ve Küçüköner E (2008). Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Erdem T (2007). Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ermiş S (2010). Ekolojinin Kabuklu Ve Kabuksuz Çekirdek Kabak (CucurbitaPepo L.) Hatlarında Tohum Verimi Ve Çerezlik Kalitesine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Gümüşderelioğlu M,Kaynak G (2012). Mikrodalgalar Ve Uygulamaları, Bilim Ve Teknik Dergisi,2012
- Günerkan H (2005). Endüstriyel Kurutma Sistemleri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, sayı 36(13), 1-10.
- Haghi A. K.,Amanifard N (2008). Analysis of Heat and Mass Transfer During Microwave Drying of Food Products. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 25(3): 491-501.
- Kahveci K ve Cihan A (2008). Drying of foodmaterials: transport phenomena. Hauppauge, NY: Nova Science.
- Karaaslan S (2008). Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kiranoudis C.T. Tsami E. Maroulis Z.B. (2007), Microwave Vacuum Drying Kinetics Of Some Fruits, 2421-2440
- Maskan M. (2000). Microwave / air and microwave finish drying of banana. Journao of Food Engineering, 44, 71-78.
- Monteiro R.L.,Carciofi B.A.M. ve Laurindo J.B. (2015). A Microwave Multi-flash Drying Process For Producing Crispy Bananas, Journal of Fodd Engineering, 178, 1-11.
- Nasıroğlu Ş (2007). Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması. Y. Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

- Özgen F (2014). Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 55(656): 42-49.
- Ringeisen B.,Barrett D.M. ve Stroeve P. (2014). Concentrated Solar Drying of Tomatoes. *Energy for Sustainable Development*, 19, 47-55.
- Sahin S., G. Sumnu, F. Tunaboyu, 2013. Usage of solar-assisted spouted bed drier in drying of pea. *food and bioproducts processing*, 9 (1), 271–278.
- Seremet L., Botez, E., Nistor, O.V., Andronoiu D.G., Mocanu D., 2016. Effect of Different Drying Methods on Moisture Ratio and Rehydration of Pumpkin Slices. *Food Chemistry*, 195, 104-109.
- Tarhan S, Ergüneş G, Güneş M, Mutlu A (2009). Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2): 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Tekirdağ İlinin Çorlu ilçesinde 1990 yılında doğdum. İlköğrenimimi Namık Kemal İlköğretim Okulunda ve orta öğrenimimi 50. Yıl İlköğretim Okulunda tamamladım. Lise öğrenimimi Tekirdağ Milli Piyango Fen Lisesinde tamamladım. Lisans öğrenimine İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde başladım ve 2013 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldum. İş hayatına 2014 yılında BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de makine mühendisi olarak başladım. Yüksek lisans öğrenimime 2014 yılında Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başladım. Halen Metro İstanbul'da makine mühendisi olarak görev yapmaktayım.