

**MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA ELMA
(GALA) DİLİMLERİNİN KURUMA DAVRANIŞI**

Erhan ÖZSOY

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

2015

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA ELMA (GALA)
DİLİMLERİNİN KURUMA DAVRANIŞI**

ERHAN ÖZSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. AYŞEN HAKSEVER

TEKİRDAĞ-2015

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER danışmanlığında, Erhan ÖZSOY tarafından hazırlanan “MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA ELMA (GALA) DİLİMLERİNİN KURUMA DAVRANIŞI” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güler GAYGUSUZOĞLU

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA ELMA (GALA) DİLİMLERİNİN KURUMA DAVRANIŞI

Erhan ÖZSOY

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

Bu çalışmada, 2 mm, 4 mm ve 6 mm kalınlıklarındaki Gala elma dilimlerinin laboratuvar tipi bantlı mikrodalga kurutucudaki kuruma davranışları incelenmiştir. Farklı mikrodalga güçlerinin (1400, 2000 ve 2800W) ve farklı bant hızlarının (0,175, 0,210 ve 0,245 m/dk) kuruma süresi, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ürünlerin, kurutmanın belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometric, Wang ve Singh, kuruma modelleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu modellerin performansları gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (r), tahmini standart hatası (e_s) ve kalanların kareleri toplamına (χ^2) göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm dilim kalınlıkları ve kuruma şartları için Page Modelinin, ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: mikrodalga, kurutma, elma, kuruma modelleri

2015 , 83 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DRYING BEHAVIOR OF APPLE (GALA) SLICES IN MICROWAVE CONVEYOR DRYER

Erhan ÖZSOY

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

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

In this work, the drying behaviors of Gala apple slices with 2, 4, and 6 mm thickness were investigated in a laboratory type microwave conveyor dryer. The effects of different microwave power levels (1400, 2000 and 2800W) and conveyor belt speeds (1400, 2000 and 2800W) on drying time, color changing and energy consumption have been investigated. Newton, Page, Henderson and Pabis, Geometric, Wang and Singh Models were compared with each other to determine the moisture ratio of the products in a particular drying time. The performances of these models were compared according to the coefficient of determination (r), standard error of estimate (e_s) and residual sum of square (χ^2), between the observed and predicted moisture ratios. It was found that the Page Model described the drying ratio satisfactorily in all drying methods for all three thickness dimensions.

Keywords: microwave, drying, apple

2015 , 83 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	viii
TEŞEKKÜR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kurutma	2
1.1.1. Kurutma mekanizması.....	2
1.1.2. Kurutma sistem ve tesislerin sınıflandırılması	2
1.2. Mikrodalga Teknolojisi	4
1.2.1. Mikrodalğanın uygulama alanları.....	6
1.2.2. Mikrodalga ısıtma tekniği.....	6
1.2.2.1. Dipol dönmesi	6
1.2.2.2. İyonik polarizasyon	8
1.2.3. Madde üzerinde ısıya dönüşen elektromanyetik enerji	8
1.2.4. Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler.....	9
1.2.4.1. Mikrodalga frekansları	9
1.2.4.2. Dielektrik özellikler.....	10
1.2.4.3. Mikrodalğanın etki derinliği.....	11
1.2.5. Mikrodalga ısıtmanın avantaj ve dezavantajları	12
1.2.6. Mikrodalga üretici.....	14
1.2.7. Mikrodalga uygulamalarının insan sağlığı üzerindeki etkisi.....	15
1.3. Elma (Gala).....	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Elma.....	27
3.1.2. Bantlı mikrodalga kurutucu	27
3.1.3. Çalışmada kullanılan ölçüm aletleri	29
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Kurutma denemelerinin yapılması	30
3.2.2. Ürün neminin belirlenmesi	31
3.2.3. Renk Tayini	32
3.2.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi.....	33

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
4.1. 2 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler	35
4.1.1. Deneysel kuruma davranışları	35
4.1.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	35
4.1.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	36
4.1.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	37
4.1.2. Renk analiz sonuçları.....	39
4.1.3. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri	41
4.1.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi.....	42
4.1.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	42
4.1.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	43
4.1.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	44
4.2. 4 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler	45
4.2.1. Deneysel kuruma davranışları	45
4.2.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	46
4.2.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	47
4.2.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	48
4.2.2. Renk analiz sonuçları.....	50
4.2.3. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri	52
4.2.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi.....	53
4.2.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	53
4.2.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	54
4.2.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	55
4.3. 6 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler	56
4.3.1. Deneysel kuruma davranışları	56
4.3.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	56
4.3.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	58
4.3.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular	60
4.3.2. Renk analiz sonuçları.....	62
4.3.3. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri	63
4.3.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi.....	64
4.3.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	64
4.3.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	65
4.3.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
6. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Bazı yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri.....	11
Çizelge 1.2. 2012 Yılı verilerine göre dünyada başlıca elma üretimi yapan ülkeler ve üretim miktarları.....	18
Çizelge 3.1. Deney sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılan kurutma modelleri.....	34
Çizelge 4.1. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	35
Çizelge 4.2. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	36
Çizelge 4.3. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	38
Çizelge 4.4. 2 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm tüm parametreler	39
Çizelge 4.5. 2 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri.....	40
Çizelge 4.6. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	42
Çizelge 4.7. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	43
Çizelge 4.8. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	44
Çizelge 4.9. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	46
Çizelge 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	47
Çizelge 4.11. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	49
Çizelge 4.12. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm tüm parametreler	50
Çizelge 4.13. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri.....	51
Çizelge 4.14. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	53
Çizelge 4.15. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	54
Çizelge 4.16. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	55
Çizelge 4.17. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	56
Çizelge 4.18. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	58
Çizelge 4.19. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler.....	60
Çizelge 4.20. 6 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm tüm parametreler	61
Çizelge 4.21. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri.....	62
Çizelge 4.22. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	64
Çizelge 4.23. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	65
Çizelge 4.24. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları.....	66

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Bir elektromanyetik dalganın şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum	5
Şekil 1.3. Mikrodalganın su molekülüne etkisi	7
Şekil 1.4. Dipol Dönmesi	7
Şekil 1.5. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımı gösterimi.....	8
Şekil 1.6. Biyolojik malzeme ile mikrodalganın etkileşimi a. Geçirimli b. İletken c. Soğurucu d. Karma	9
Şekil 1.7. Uygulanan elektrik alan ve polarizasyon arasındaki faz farkı	10
Şekil 1.8. Kayıp tanjantı	10
Şekil 1.9. Mikrodalga fırın magnetronu	15
Şekil 1.10. Magnetronun iç yapısı	15
Şekil 1.11. Elma bitkisi	16
Şekil 1.12. Gala tipi elma	17
Şekil 1.13. Türkiye'deki elma üretim alanlarının yıllara göre değişimi	18
Şekil 1.14. Türkiye'deki elma üretim miktarının yıllara göre değişimi.....	18
Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan Gala tipi bir elma örneği.....	27
Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun şematik çizimi.....	27
Şekil 3.3. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucu ve kontrol panosunun genel görünümü	28
Şekil 3.4. Kurutma tünelinin iç görünüşü.....	29
Şekil 3.5. (a) Terazi (b) Termo-higrometre	29
Şekil 3.6. (a) Etüv (b) Renkölçer	30
Şekil 3.7. CIE L^*,a^*,b^* renk uzayı	32
Şekil 4.1. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	36
Şekil 4.2. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	37
Şekil 4.3. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	39
Şekil 4.4. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W.....	41
Şekil 4.5. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W.....	41
Şekil 4.6. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W.....	41
Şekil 4.7. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	43
Şekil 4.8. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	44

Şekil 4.9. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	45
Şekil 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	47
Şekil 4.11. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	48
Şekil 4.12. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	50
Şekil 4.13. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	52
Şekil 4.14. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	52
Şekil 4.15. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	52
Şekil 4.16. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	54
Şekil 4.17. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	55
Şekil 4.18. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	56
Şekil 4.19. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	58
Şekil 4.20. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	59
Şekil 4.21. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri	61
Şekil 4.22. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	63
Şekil 4.23. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	63
Şekil 4.24. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W	63
Şekil 4.25. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	65
Şekil 4.26. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	66
Şekil 4.27. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	67

SİMGELER DİZİNİ

α	: Renk tonu ölçüsü
C	: Renk yoğunluğu ölçüsü
E	: Elektrik alan vektörü
e_s	: Standart hata
f	: Frekans (Hz)
H	: Manyetik alan vektörü
L^*, a^*, b^*	: Renk uzayı koordinatları
m	: Nem içeriği, (kg nem/kg kuru madde)
m_0	: İlk hem 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, (°C)
t	: Zaman, (s),
V	: Hız, (m/s)
$y.b$: yaş baza göre nem
W	: Mikrodalga gücü (W)
Z	: etki derinliği (m)
ΔE	: Toplam renk sapması
ΔL	: Renk parlaklığı sapması
Δa	: Kırmızı renk sapması
Δb	: Sarı renk sapması
$Tg\delta$: Kayıp faktörü
ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
δ	: Penetrasyon derinliği
λ	: Dalga boyu
χ^2	: Ki kare
ϵ	: Dielektrik sabiti
ϵ''	: Dielektrik kayıp faktörü
μ_c	: Işık hızı (m/s)

a, a₀, a₁, a₂, b, c, k, k₁, k₂, n: Kurutma Sabitler

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, hiçbir konuda benden yardımını esirgemeyen değerli hocalarım, Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER ve Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN 'e, bana daima destek olan aileme ve arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Ocak 2015

Erhan ÖZSOY
(Makine Mühendisi)

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin kurutularak dayanaklığının arttırılması ve kalitenin yükseltilmesi yöntemi, ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemidir. Gıdaları kurutmanın yararları arasında, kolay saklama ve nakil esnasında soğutucu ekipmanların kullanılmasına gerek kalmaması da bulunmaktadır.

Ülkelerin tarımsal kalkınması ve ekonomisinde önemli yer tutan kuru ve kurutulacak meyvelerin, dünya pazarlarındaki yeri de oldukça önemlidir. Buna göre mevcut pazarların elde tutulması ve ayrıca yeni pazarlar elde edilebilmesi için; kaliteli, homojen ve hijyenik koşullarda kurutma sektörünün geliştirilmesine gerekli önem ve önceliğin verilmesi gerekir (Çelen 2010).

Tarımsal ürünler çok eskilerden beri güneş enerjisiyle açıkta kurutulmaktadır. Fakat bu yöntemle kurutma kontrolsüz olup, çeşitli risklerle karşı karşıyadır. Geleneksel kurutma sistemlerinde ise enerji maliyetleri yüksek olup, sistemin kapladığı hacim de fazladır. Ayrıca kurutma işlemi süresince ısı malzemenin dışından içine doğru nüfuz etmekte ve ürünün kuruması işlemi uzun sürmektedir.

Günümüzde ileri endüstrilerin birçok uygulamasında ve tıpta bazı hastalıkların tedavisinde yüksek ve çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar geniş ölçüde kullanılmaktadır. Elektromanyetik enerji kullanılmasının çeşitli üstünlükleri yanında, optimum şartlarda klasik enerji sistemlerine nazaran enerji ve zaman tasarrufu elde edilmesi bu konudaki çalışmaların önemini daha da arttırmıştır. Elektromanyetik dalgalardan olan mikrodalgaların suyu ısıtma etkisinin fark edilmesiyle birçok ısıtma ve kurutma konusunda etkinlikleri ve kullanılabilirlikleri araştırılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, mikrodalga uygulamalarının gıdalar üzerindeki etkileri incelenerek kurutma vb. uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Mikrodalga ile kurutmada, ısı materyalin içine doğrudan nüfuz ettiği için geleneksel kurutma sistemlerine göre kurutma işlemi daha hızlı olur ve süre daha da kısadır. Dolayısıyla ısıtma etkisinin geleneksel kurutma yöntemlerine göre oldukça hızlı ve üniform olması yanında ısıtma verimi de yüksek olmaktadır.

Bu tezde amaç, mikrodalga bantlı kurutucuda elma dilimleri kurutmak suretiyle, mikrodalga ile kurutmanın genel olarak meyvelerin kalitesi üzerine etkisini araştırmak, bu etkiyi sağlayan önemli parametreler hakkında temel bilgiyi geliştirmektir. Ayrıca toplam kurutma zamanını düşürecek bir kontrol yapısı oluşturmak, doğrusal olmayan bir kurutma sürecinin matematiksel modelini geliştirmektir.

1.1. Kurutma

Kurutma terimi, maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kurutma, gıda maddelerinin korunmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri olup kimya ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir işlemdir (Güngör 2013). (Çalışkan 2002) 'ye göre meyve, sebze ve diğer bünyesinde su içeren besinler bünyelerindeki fazla sudan dolayı uzun süre saklanamazlar. Çünkü fazla su, besinleri bozan mikroorganizmaların üreyip yaşaması için elverişli bir ortamdır. Bu zararlı ortamın yok edilmesi, meyve, sebze ve diğer bazı besinlerin bileşimlerindeki fazla suyun uçurulmasıyla yani o besinlerin kurutulmasıyla mümkündür (Çelen 2010). Kurutulmuş gıda maddelerinin rağbet görmelerinin temel sebepleri, ürünlerin raf ömrünün daha uzun olması ve hacimlerinin önemli miktarda azalmasıdır.

1.1.1. Kurutma mekanizması

Bir katı maddenin kuruması esnasında aynı anda iki işlem meydana gelmektedir. Bunlar, sıvının buharlaştırılması için ısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi ve sıvı - buhar geçişi olarak gerçekleşen nem transfer işlemidir.

Kurutma işlemi için gerekli olan ısı aşağıda sıralanan yöntemlerle verilebilir:

Isı iletimi (Kondüksiyon): Kurutulacak olan cisim, ısı üreten ısı kaynağına temas ettirilerek ve böylece ürün bünyesindeki nemin buharlaştırılması için gerekli ısı ürüne taşınarak kurutma sağlanır.

Isı taşınımı (Konveksiyon): Gerekli olan ısı hava aracılığıyla ürün üzerine taşınarak gerekli kurutma sağlanır.

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak olan ürün bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı, infraruj ışını kaynağından alınarak kurutma sağlanır (Nasıroğlu 2007).

1.1.2. Kurutma sistem ve tesislerin sınıflandırılması

Kurutma odaları; Kurutmanın en basit metodu, kurutulacak malzemeyi içerisinde sıcak hava dolaştırılan bir oda veya kapalı bölme içerisine koymaktır. Bu yöntem tuğla, bina inşaat malzemeleri, ahşap levhalar, sentetik elyaf levhalar, dökümhane toprağı, vb. geniş hacimli malzemelerin kurutulması için uygundur.

Kabin tipi kurutucular veya tepsili kurutucular; Bu tür kurutucular, boyalar pigmentler, kimyasal maddeler, gıda maddeleri, seramik eşyalar, tekstil ürünleri ve peynir gibi çok geniş

alana yayılmış malzemelerin kurutulması amacıyla kullanılabilir. Delikli kurutma rafları sayesinde kurutma havası ürün yüzeyiyle teması arttırarak kurutma verimi arttırılmış olur.

Bantlı kurutucular; Bu kurutucuda, atmosfere ya tamamen ya da kısmen açık veya tünel benzeri bir çatı ile tamamen üzeri örtülmüş bir konveyör bulunmaktadır. Kurutulacak malzeme bant üzerine serilir ve tünel boyunca yürütülür. Sıcak kurutucu gazlar kurutucunun bir ucundan diğer ucuna gönderilebileceği gibi, bant elek gibi çok ince delikli bir yapıya sahip olduğu için aşağıdan yukarıya veya tam tersi olmak üzere malzeme içerisinden de geçirilebilir.

Tünel kurutucular; Bu tip kurutucular, bantlı kurutuculara benzer fakat kurutulacak malzeme bir taşıyıcı üzerine istiflenir ve kurutma tüneli boyunca hareket ettirilir. Bir araba üzerinde malzeme kurduğunda kurutucudan itilmek suretiyle dışarıya alınır.

Döner kurutucular; Bu tür kurutucular iç kısımda pek çok sayıda raf benzeri savurucu kanatçıklar bulunan bir yatay silindirden oluşur. Bu silindir, merkezinden geçen bir eksene göre dönme hareketi yapmasına imkan veren tekerleklerden oluşan ve genellikle kurutucunun çıkış kısmı olan alt ucuna doğru hafif bir şekilde azalan bir eğime sahip bir yatağa yerleştirilmiştir. Kurutucu silindir içerisinde kanatçıklar vasıtasıyla ürün karışarak kurutma havasıyla teması sağlanır.

Düşey silindir kurutucular; Düşey bir silindir içerisine yerleştirilmiş çok sayıda ortak eksenli tepsi veya raftan oluşan bu kurutucuda kurutulacak malzeme en üst rafa beslenir, itelenmek ve aynı zamanda bir döner tırmık veya kazıyıcı vasıtasıyla alt üst edilmek suretiyle karıştırılır, harmanlanır. Malzeme bir kez karıştırıldığında ortak eksenli rafta bulunan yarıktan alt rafa iner.

Sprey kurutucu; Kurutulacak olan sıvı veya karışım sıcak gazların dolaştığı bir oda içerisine atomize edilerek sıcak hava ile teması sağlanır.

Hava süpürmeli döner değirmenler; Kurutulacak ürün değirmenler sayesinde pulverize edilerek sıcak hava temasıyla kurutma sağlanır.

Pnömatik veya flaş tip kurutucular; Kurutma havası bir ısıtıcıda ısıtıldıktan sonra kurutucu tabanından kurutucuya girerek pnömatik etkisiyle ürünün kurutularak dışarı atılmasını sağlar.

Düz yüzeyli kurutucular; Isı taşınımı düz bir yüzeyden sağlanmaktadır, kurutulacak malzemenin iki düz sıcak yüzey arasında preslenerek kurutulması veya yapışması sağlanır.

Film kurutucular; Kurutulacak malzeme buharla ısıtılan dönen bir silindir üzerine beslenir veya pres türü bir besleyici vasıtasıyla sıvanır. Buharla ısıtılan silindirin ürün üzerinden geçmesiyle kuruması sağlanır.

Silindir kurutucular; Ürün hareketli, ısı kaynağı sabit silindir olarak tasarlanmıştır. Ürünün silindir arasından geçmesiyle kuruması sağlanır.

Vakum kurutucular; Ürün dış atmosfere kapalı sızdırmazlığı sağlanmış bir kabin içerisine konularak vakum pompaları aracılığıyla ürün bünyesindeki su buharı alınmaktadır.

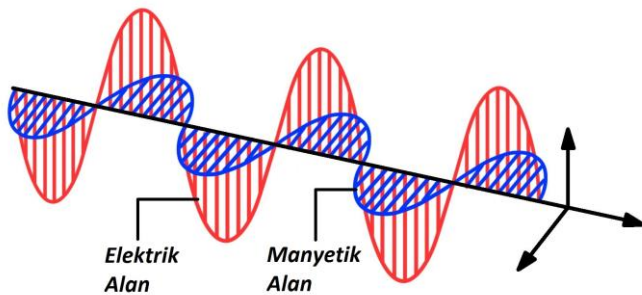
Dondurmalı kurutucular; Kurutulacak ürün dondurularak yüksek vakumlu odaya yerleştirilip ürün bünyesindeki suyun buhar fazına geçmesi sağlanır.

Radyasyon tip (infrared) kurutucular; Kurutulacak olan ürünün, bünyesindeki nemin atılması için gerekli olan ısı enfraruj ışın kaynağından alınarak kurutma sağlanır. Radyasyon yöntemi ile birim yüzeye transfer edilen ısı yükü konveksiyon yöntemi ile yapılan ısı transfer yükünde fazladır. Bu tür kurutucuların ürün yükleme ve alma yöntemleri yapısal olarak konveksiyon ve temas tip kurutuculara benzemektedir (Nasıroğlu 2007).

Mikrodalga kurutucular; Kurutma işleminde mikrodalga enerjisinin kullanıldığı kurutuculardır. Mikrodalga enerjisi doğrudan kurutulacak maddeye etkimekte ve bu durum enerji kayıplarını aşağıya çekmektedir. Mikrodalga kurutucular giderek yaygınlaşmakta olup gelişen teknoloji ile birlikte mikrodalga ile çalışan kurutucuların kullanım alanları da artmaktadır.

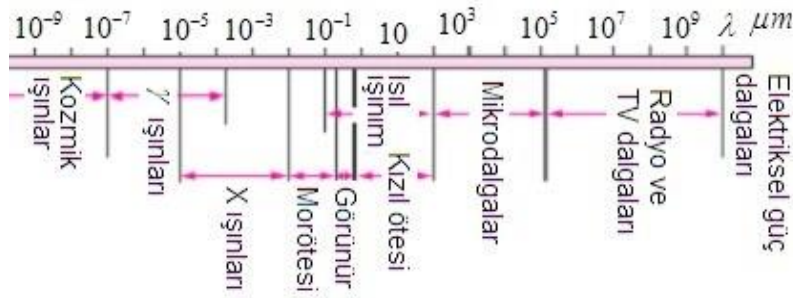
1.2. Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalgalar, çok değişen elektrik alandaki hareketlerin sonucu oluşan yüksek frekans tekniklerindedir. Telekomünikasyon amaçlı kullanımlar dışında, endüstriyel alana da yönlendirmeler nedeni ile bilimsel, teknik ve endüstriyel seviyede yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Mikrodalgaların endüstriyel uygulamadaki amacı, daha az enerji harcamak, alışagelmış ve alışılmışın üstünde kaliteli mamul elde etmektir. Mikrodalgalar, elektromanyetik dalgaların bir versiyonu olup, oluşturulma temelleri elektromanyetik dalgalar ile aynıdır. Şekil 1.1’de bir elektromanyetik dalganın şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Bir elektromanyetik dalganın şematik gösterimi

Elektromanyetik dalgalar ivmelendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulurlar. Yayınlanan bu dalgalar birbirlerine ve dalgaların yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan meydana gelirler (Çalışkan 2002). Sabit akımlar ve durgun elektrik yükleri elektrik alanının değişimine neden olamayacağından elektromanyetik dalga oluşturmak için akımın zamanla değiştirilmesi gerekir. Elektromanyetik dalgalar frekans aralıkları ve dalga boylarına göre farklı şekilde isimlendirilmiştir. Şekil 1.2’de mikrodalgaların da içinde bulunduğu elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum içinde değişik isimlerle incelenen ışınlar temelde dalgalar halinde yayılan ışınlardır ve elde edilme yöntemleri, ışının etki özelliği, geleneksel ve fizyolojik özelliklerine göre birbirinden ayrılırlar. Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun bir parçası olup Şekil 1.2’de görüldüğü gibi görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Dalga boyları 1 mm–1 m ve frekansları 300 MHz - 300 GHz arasında değişmekte olan dalgalar, mikrodalga adını almaktadır (Decareau 1985). Mikrodalga iyonize olan X ve Gama dalgaları gibi yüksek seviyede enerji taşımadıklarından bileşiklerden elektron kopmasına neden olmazlar. Yiyecekler mikrodalgaya maruz bırakıldığında ısılmayan herhangi bir etki görülmemektedir (Ulcay ve ark. 2002).

Mikrodalgalar, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılan dalgalara yakın olduğundan, kullanım sırasında ortaya çıkabilecek etkileşimleri önlemek için sadece, ulusal veya uluslararası telekomünikasyon komisyonlarınca onaylanmış frekanslardan ısıtma amacıyla yararlanır. Genel olarak ISM (Industrial, Scientific, Medical) bantlar olarak bilinen bu ışınlar 896, 915, 2450, 5800 ve 24125 MHz frekanslı ışınlardır. Gıda sanayisinde kullanılan mikrodalga ışınlar, ev tipi fırınlarda 2450 MHz, sanayide 915 MHz frekanslı ışınlardır.

1.2.1. Mikrodalganın uygulama alanları

Mikrodalgaların, kurutma pişirme ve aynı zamanda yüksek frekans radyasyonunun özel etkilerinden yararlanarak yapılan endüstriyel uygulama imkanları oldukça geniştir. Bunların dört grupta sınıflandırılması mümkündür.

Isısal etkilerden yararlanılarak yapılan uygulamalar:

- Karton, kağıt, tekstil, mobilya, kerestenin kurutulması,
- Donmuş sebze, meyve ve yiyeceklerin çözülmesi,
- İlaçların sterilizasyonu,
- Polimerizasyon, plastik malzemelerin yapıştırılması,
- Seramik mamullerin kurutulması,

Biyolojik etkilerden yararlanılarak yapılan uygulamalar:

- Pastörizasyon ve sterilizasyon,
- Dezenfekte işlemi,
- Enzimlerin ve küflenmelerin yok edilmesi,

Kimyasal etkilerden yararlanılarak yapılan uygulamalar.

- Polimerizasyon, kimyasal plastik malzemenin sertleştirilmesi,
- Kauçuğun vulkanizasyonu,

Dalganın propagasyon karakteristiğinden yararlanılarak yapılan uygulamalar:

- Hız ölçülmesi,
- Nemlilik ölçülmesi.

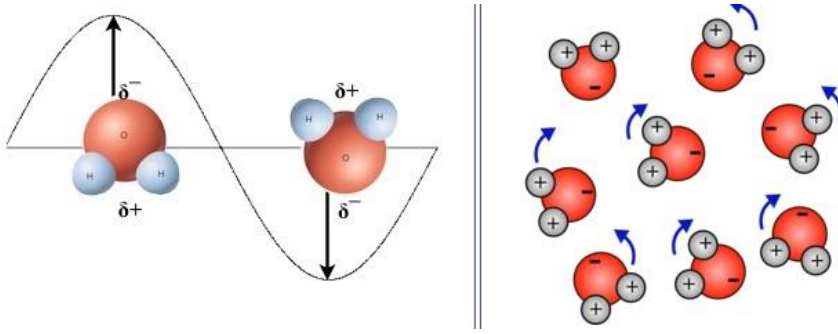
1.2.2. Mikrodalga ısıtma tekniği

Mikrodalganın ısıtma etkisi, dielektrik bir biyolojik malzeme tarafından yutulması ve enerjisinin bu madde tarafından emilmesi sonucu sıcaklığının artması şeklinde açıklanabilir. Mikrodalga alanındaki ısı üretimini açıklayan iki önemli mekanizma vardır. Bunlar iyonik polarizasyon ve dipol dönmesidir.

1.2.2.1. Dipol dönmesi

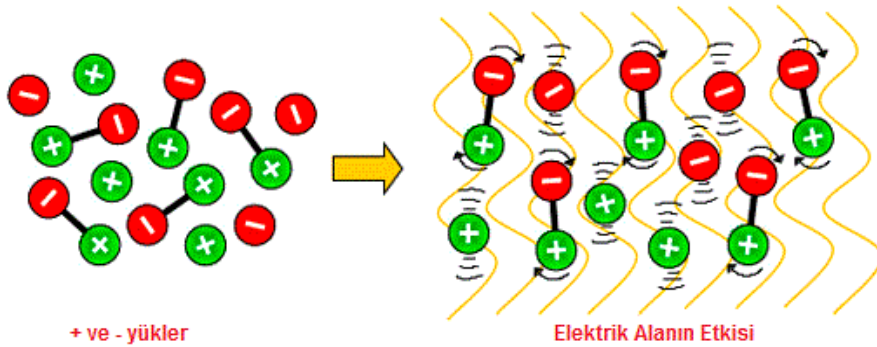
Mikrodalga enerjinin ısıya dönüşümü maddenin polarlığıyla doğrudan ilgilidir. Özellikle meyve ve sebzelerin bileşimlerinde önemli düzeyde bulunan su, polar bir molekül olması nedeniyle, mikrodalgaların emilmelerinde etkin bir rol oynar. Bütün madde sistemlerinde, çekirdek, atomlar ve moleküllerin sadece belli izin verilen enerji durumları

vardır. Enerji durumlarının en düşük olanı yerel durum olarak adlandırılır ve ısıtılmadıklarında çoğu maddeler bu durumda bulunurlar. Normal şartlar altında polar molekülde rastgele dağılmış olan (+) ve (-) yükler, elektrik alanının varlığında, alan içerisinde dizilirler. Elektromanyetik dalga bir molekülün yanından geçerken, molekül aşağı ve yukarı salınan bir elektrik alanının etkisinde kalır. Eğer bir elektromanyetik dalganın elektrik alanı polar moleküldeki atomların arasındaki bağın uzunluğu boyunca salınırsa, bağ boyunca atomları itme ve çekme eğilimi gösterir. Bunun sonucunda bir titreşim ortaya çıkar. 2450 MHz de çalışan ev tipi mikrodalga fırınlarda elektrik alanın yönü saniyede 2.45 milyar kez değişmektedir. Hızla değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için dönen polar moleküllerin, birbirleri ile ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünmelerinden dolayı ısı açığa çıkmaktadır (Baysal 1994). Şekil 1.3'te mikrodalganın su molekülüne etkisinin, Şekil 1.4'te ise dipol dönmesinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.3. Mikrodalganın su molekülüne etkisi

Şekil 1.3'te görülen oklar, dalganın yönünü ve kuvvetini temsil etmektedir. Dalganın yönü değiştikçe, iki hidrojen ve bir oksijen atomundan oluşan su molekülü de yön değiştirmektedir. Bir maddenin atom veya moleküllerinin hareket etmesi ısı oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.4. Dipol Dönmesi

1.2.2.2. İyonik polarizasyon

Polar olmayan maddelerde mikrodalgaların ısı üretmesi daha çok iyonik polarizasyon yoluyla gerçekleşir. Bir çözeltiliye elektrik alanı uygulandığında bu çözeltide bulunan iyonlar doğal yükleri nedeniyle oluşan kuvvetler sonucu bir ivme ile hareket ederler, Hareket eden iyonlar arasındaki çarpışmalar kinetik enerjinin ısı enerjisiye dönüşmesine neden olur. Yüksek iyon konsantrasyonu olan bir çözeltide daha fazla sayıda iyon çarpışacağından sıcaklıkta daha hızlı bir yükselme gözlenir.

1.2.3. Madde üzerinde ısıya dönüşen elektromanyetik enerji

Mikrodalga ile ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji direkt madde içerisinde ısıya dönüşür. Bu nedenle mikrodalga ile ısıtma sistemlerinde ısı konvansiyonel sistemlerin tam tersine maddenin içinden dışarıya doğru taşınır. Bu tip ısıtma sistemlerinde, su moleküllerinin uygulanan alternatif alanı takip edememesi ve büyük kayıp açılara sahip maddelerde (dielektrik madde) iletim kayıplarının oluşması ile ısı açığa çıkar. Kayıp açılar sıcaklık ve maddenin nem içeriğine bağlı olarak değiştiğinden mikrodalga ile ısıtma bir bakıma kendini regüle eden bir sistem gibi çalışır. Bu sistem, konvansiyonel ısıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında büyük kayıp açısına sahip maddelerde ısıtma veya kurutma süresinin çok daha kısa olduğu ve daha homojen dağılımlı bir ısıtma ve/veya kurutma sağlandığı görülür. Şekil 1.5'te konvansiyonel bir sistem olan konveksiyonel kurutma ile mikrodalga kurutma arasında, ısının madde içinde taşınım farklılıkları gösterilmektedir.



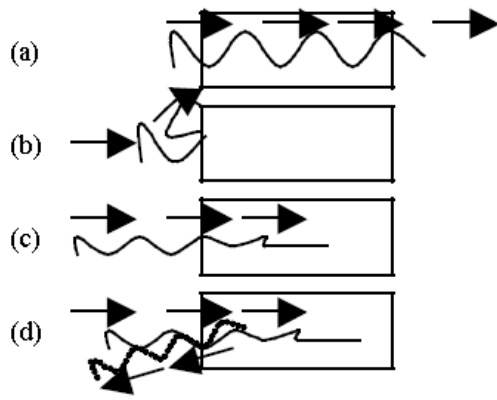
Şekil 1.5. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımını gösterimi

Malzemeleri mikrodalga ile etkileşimleri bakımından üç kategoriye ayırmak mümkündür (Çelen 2010):

- Mikrodalganın herhangi bir kayba uğramadan geçtiği düşük kayıplı biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınmaz),

- Herhangi bir nüfuz olmadan yansıtan biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınmaz),
- Dielektrik kayıp faktörü değerine bağlı olarak mikrodalgayı absorbe eden (soğuran) yüksek kayıplı biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınır).

Bir biyolojik malzemenin farklı dielektrik özellikte iki veya daha çok faz içermesi durumunda, mikrodalga enerjinin geçirimli fazdan geçerken soğurucu fazı seçimli olarak ısıtabildiği dördüncü bir kategori (karma) de oluşmaktadır. Şekil 1.6'da malzemelerin mikrodalga ile etkileşimleri görülmektedir.



Şekil 1.6. Biyolojik malzeme ile mikrodalganın etkileşimi a. Geçirimli b. İletken c. Soğurucu d. Karma (Çelen 2010)

1.2.4. Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler

1.2.4.1. Mikrodalga frekansları

En çok kullanılan frekanslar ısıtma uygulamalarının yapıldığı 915 ve 2450 MHz frekanslardır. Bunlardan 915 MHz frekansı endüstriyel uygulamalarda, 2450 MHz frekansı da evlerde bulunan ticari fırınlarda kullanılmaktadır. Bu frekanslara karşı gelen dalga boyları ise;

$$\lambda = \frac{u_c}{f} \quad (1.2)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Burada u_c (m/s) ışık hızı, f (Hz) de mikrodalganın frekansıdır.

Bazı yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri (Çalışkan 2002)

Madde	Bağıl Dielektrik Sabiti
Hava	1,0006
Strafor	1,03
Tahta	1,2 - 5
Parafin	2,1
Teflon	2,1
Kontrplak	2,1
Polietilen	2,26
Toprak (Kuru)	3
Kauçuk	3
Buz	3,2 - 3,3
Silis	3,78
Naylon	3,8
Kağıt	3 - 4
Kuvars	3,8
Ateşe Dayanıklı Cam	4
Kükürt	4
Bakalit	4,8
Mika	6
Mermer	8
Seramik	8 - 11
Amonyak (Sıvı)	22
Gliserin	50
Su	80

1.2.4.3. Mikrodalganın etki derinliği

Mikrodalga ve mikrodalga alana konulan madde arasındaki enerji geçişi maddenin elektriksel özelliklerine ve mikrodalga kaynağın özelliklerine bağlıdır. Etki derinliği (Z), madde içindeki elektriksel alan şiddetinin, madde yüzeyine uygulanan elektriksel alan şiddetinin $1/e$ oranına düştüğü, yani %63'ünün madde tarafından ısıya dönüştüğü derinlik olarak tanımlanmıştır.

$$Z = \frac{\lambda}{2\pi} \left[\frac{2}{\epsilon' \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1 \right)} \right]^{(1/2)} \quad (1.4)$$

Burada (λ) uygulanan elektromanyetik dalganın dalga boyu, (ϵ') bağıl dielektrik sabiti, ($\tan \delta$) ise kayıp tanjantıdır.

Bu eşitlikten de görüldüğü gibi penetrasyon derinliği frekans küçüldükçe artmakta, büyüdükçe azalmaktadır. Bu nedenle kayıplı madde içerisinde elektromanyetik dalga ilerledikçe alan ve güç yoğunluğu zayıflayacağından mikrodalga tekniği ile işlenecek maddelerin kalınlıkları büyük önem taşımaktadır. Genellikle ince maddelerin mikrodalga frekanslarında ısıtılması kalın maddelerin ise daha düşük radyo frekanslarında ısıtılması daha uygundur.

915 MHz'de ışınların etki derinliği yaklaşık olarak 30 cm, 2450 MHz'de 10 cm'dir. Buna göre su için 915 MHz frekansındaki bir mikrodalğanın elektrik alanı, 2450 MHz frekansındaki bir mikrodalğanın elektrik alanından daha derine etki edecektir.

Maddenin şekli de mikrodalga ısıtmaya etki etmektedir. Düzgün olmayan şekiller ve keskin köşeler yerel ısınmaya yol açmaktadır.

Isıtılacak maddenin içinde bulunan nem, mikrodalga emilmesine doğrudan etkimektedir. Su miktarının artması besinlerde belirtilen frekanslarda dielektrik kayıp faktörünü (ϵ'') arttırmaktadır.

Madde gözenekliyse ve bu gözeneklerde hava bulunuyorsa havanın ısı iletkenliği yüzünden madde iyi bir yalıtkan gibi davranmakta ve mikrodalga ısıtma verimi daha yüksek olmaktadır.

Maddenin tuz içeriği de mikrodalga enerjinin emilmesini arttırmaktadır. Artan iyon konsantrasyonu iyonik polarizasyon mekanizmasını da etkinleştireceğinden, mikrodalga ısıtmayı hızlandırmaktadır (Çalışkan 2002).

1.2.5. Mikrodalga ısıtmanın avantaj ve dezavantajları

Günümüzde, mikrodalga enerjisiyle çalışan sistemler büyük bir hızla klasik sistemlerin yerini almaktadır. Bu değişimlerdeki temel ilke, mikrodalga sistemlerinin klasik sistemlere göre sağladığı avantajlardır. Mikrodalga enerjisinin sağladığı avantajlar genel olarak şöyledir:

- Isıtma geleneksel yöntemlere göre hızlıdır. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği ise üretiminin moleküler düzeyde başlaması ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır,
- Temizdir,
- Mikrodalga sistemler, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır,

- Isıtma çevrimi hızlı olduğundan maddelerinin depolanmasında çok fazla depo alanı gerekmez,
- Özel ambalajlar kullanıldığı takdirde, ambalajlı malzemelere ısıtma işlemi uygulanabilir,
- Mikrodalga ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir,
- Mikrodalga ısıtmada, ısıtılacak maddeyi çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmaktadır,
- Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Geleneksel ısıtıcılarda %7-14 arası değişen ısı verimi mikrodalga ekipmanlarında %40'a kadar çıkmaktadır,
- Mikrodalgalar içten ısıtma sağladığı için, sıcaklık dağılımı daha üniform gerçekleşebilir ve yüzeyin aşırı ısınması engellenir,
- Mikrodalga teknolojisi birçok yeni ürün geliştirilmesinde olanaklar sağlamıştır,
- Pazar imkânı geniştir (Eren 2005).

Mikrodalga ısıtmanın, yukarıda sıralanan avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar:

- Sabit yatırım masrafları yüksektir. Magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir,
- Mikrodalgaların soğurulması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli maddelerde sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir. Keskin köşe ve kıyılarda aşırı pişme ortaya çıkar ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir,
- İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur,
- Mikrodalgalar gıda maddelerini kızartmaz, kahverengileştirmez ve gıda yüzeyini çatlatmaz,
- Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir,
- Mikrodalgaların teknolojileri daha karmaşıktır, bu da eğitimsiz insanlar için zorluk oluşturur,
- Tekrar ısıtılması gereken ve mikrobiyolojik yönden hassas ürünlerde (et ve süt ürünleri gibi), işlem süresinin çok kısa olması nedeniyle yeterli ve güvenli mikrobiyal

inaktivasyon sağlamak zor olabilmektedir. Mikrodalga ısıtma işleminde sıcak ve soğuk noktaların belli olmaması ve saptanmasının zor olması mikrobiyolojik kontrolü zorlaştırmaktadır,

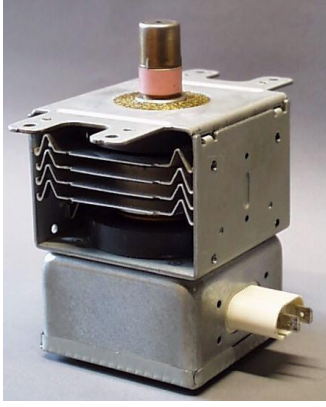
- Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir. İletken maddeler mikrodalga etkisi ile ark oluşmasına neden olmakta, ürün ve ekipmana hasar verebilmektedir. Cam, porselen, plastik, kağıt mikrodalga için uygun malzemeler olarak bilinmektedir (Eren 2005).

1.2.6. Mikrodalga üretici

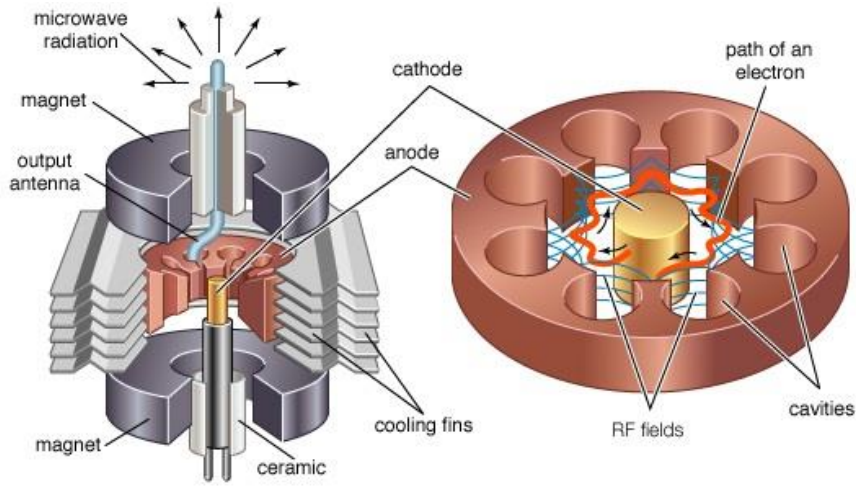
Magnetron, mikrodalga enerjisi yayan jeneratördür. 1921'de Albert Wallece Huli tarafından ilk defa yapıldığından beri günümüze kadar temelde bir değişikliğe uğramamıştır. Küçüklük ve ucuzlukları yüzünden magnetronlar cisimleri ısıtmak için ticari fırınların hepsinde ve endüstriyel fırınların büyük bir bölümünde kullanılan mikrodalga kaynağıdır. Günümüzde ticari fırınlarda kullanılan çok oyuklu Magnetron ilk defa 1940' da J.T. Randall ve H.A.H. Boot tarafından tasarlanmıştır.

En basit formuyla magnetron katot ve anot denen iki elemandan oluşan bir elektron tüpünden oluşur. Katot ve anot, anodun katodu dar bir çerçeve içinde tuttuğu dairesel bir şekilde bulunur. Anot sayılı rezonant boşlukları içerir. Şekil 1.9'da bir magnetronun dış görünüşü, Şekil 1.10'da ise iç yapısı bulunmaktadır.

Bir mıknatıs (sabit ya da elektrik) manyetik alan sağlaması için anodun etrafına yerleştirilir. Katot bir elektrik teliyle ısıtıldığı zaman, pozitif yüklenmiş anoda doğru çekilen negatif yüklü elektronlar yayılır. Mıknatısların anodun etrafında oluşturduğu manyetik alan negatif yüklü elektronların doğru bir çizgiden ziyade bir orbital düzeninde hareket etmelerine neden olur. Elektronlar katottan anoda doğru 4,000-6,000 Volt arasında bir elektriksel basınçla hareket eder. Elektronlar anoda doğru yaklaştıkça anodun rezonant boşluklarından geçerler ve bu da elektronların çok yüksek bir frekansta (2450 MHz ya da 915 Mhz) osilasyonuna neden olur. Magnetronda elektronların yüksek frekans osilasyonları magnetron tüpünün tepesinde küçük bir anten yardımıyla toplanır. Bu osilasyonlar, bir fırın kılavuzunun içinden fırın boşluğuna dağıtıldıkları bir besleme kutusuna doğru geçirilirler.



Şekil 1.9. Mikrodalga fırın magnetronu



Şekil 1.10. Magnetronun iç yapısı

1.2.7. Mikrodalga uygulamalarının insan sağlığı üzerindeki etkisi

Elektromanyetik dalgalar, iyonize edici olan ve iyonize edici olmayan radyasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. İyonize radyasyon grubunda yer alan x-ışınları ve gama ışınları, uranyum ve radyum gibi radyoaktif bileşikler meydana getirmektedir. İyonize edici olmayan, düşük frekans ve enerjideki mikrodalgaların ise zararlı ve kümülatif etkileri yoktur. Bu yüzden mikrodalgalar ile güvenli bir şekilde ısı üretilebilmekte ve gıdalar radyoaktif hale gelmemektedir. Ancak mikrodalgaya maruz kalan insanlarda bir takım sağlık sorununun olduğu belirtilmiştir. İnsan vücudundaki doku ve organların yüksek oranda su içermesi nedeniyle mikrodalgayı absorbe eden bu yapıların sıcaklığı yükselmektedir. Ayrıca kan dolaşımının yavaş olduğu organlarda ısı hızlı bir şekilde dağılamadığı için bu organlar mikrodalgadan daha çok zarar görmektedir. Göz, sıcaklık artışına duyarlı organlardan biridir. Gözlerde, mikrodalga radyasyonu ile artan sıcaklığın lens proteinlerinin termal

denatürasyonuna neden olması sonucunda katarakt oluşmaktadır. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ise; belirli güç, frekans ve sürede uygulanan mikrodalga radyasyonunun merkezi sinir sistemine etki ederek refleks kayıplarına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga radyasyonuna maruz kalan insan lenfositlerinde kromozomal anormalliklerin oluştuğu belirlenmiştir (Lambert 1980).

Mikrodalgaların insan sağlığı açısından zararlı olabilecek bu etkilerinin önlenmesi amacıyla mikrodalga fırınların kullanımı ile ilgili olarak yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelere göre; fabrikalarda fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıktaki sızıntı miktarının 1 mW/cm^2 'yi, tüketici mikrodalga fırını evde ilk defa kullanıyorsa 5 mW/cm^2 'yi ve fırının kullanım süresi boyunca 10 mW/cm^2 'yi aşmaması gerekmektedir (Knutson ve ark. 1987).

1.3. Elma (Gala)

Elmanın ilk olarak Kuzey Anadolu'da, Güney Kafkaslar, Rusya'nın güneybatısında kalan bölgeler ve Orta Asya (Kazakistan'ın doğusu) dolaylarında ortaya çıktığı sanılmaktadır. Tür, bütün dünyaya Orta Asya'dan yayılmıştır. Ekolojik şartların uygunluğu ve gen merkezi olması nedeniyle elma, yurdumuzun hemen hemen her yerinde yetiştirilebilmekte olup en uygun kültür merkezleri, Kuzey Anadolu'da bulunmaktadır. Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgesi ile İç Anadolu ve Doğu Anadolu yaylaları arasındaki, geçit bölgeleri de elmanın önemli yetiştiricilik alanlarını kapsamaktadır. Şekil 1.11'de elma bitkisi görülmektedir.



Şekil 1.11. Elma bitkisi

Elma ağacı 5-12 m'ye kadar uzanan, yaprak döken, tacı geniş küçük bir ağaçtır. Yapraklar karşılıklı dizilişli, basit oval biçiminde, ucu sivri ve kenarları dişli, alt yüzü hafif tüylüdür. 5-12 cm uzunluğunda, 3-6 cm genişliğindeki yaprakların sapı 2-5 cm kadardır. Çiçekler yapraklarla birlikte açmaktadır. Beyaz olan çiçekler genellikle ilk açtığında açık

pembedir. 2,5-3,5 cm çapında beş ta yapraklıdır. Meyveleri sonbaharda olgunlaşmakta ve genellikle 5-8 cm çapında olmaktadır.

Elma, vitamince zengin bir meyvedir ve içerdiği mineral besinler bakımından beslenmedeki önemi büyüktür. Elmada bulunan A ve C vitaminleri ile potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum gibi elementler birleşerek bir takım tuzları oluşturmaktadır. Bu tuzların organik kısımları yani organik asitler kanda enerji sağlamak için okside oldukları zaman, geride baz teşkil eden bileşenler kalmaktadır. Böylece elma, kandaki asit-baz dengesi üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır. Elma bol miktarda vitamin, organik asit ve mineral madde içermektedir. Zengin besin maddelerine sahip olması sebebiyle besleyici, bu besin maddelerinin çoğunlukla şifalı etkileri sebebiyle de bazı hastalıkları tedavi edici özelliğe sahiptir (Anonim 2003).

Elmanın % 83-85'i su, %0,40'ı protein, %8,35'i invert şeker, %1,60'ı sakkaroz, %0,07'si tanen, %,32'si ham lif, %0,41'i küldür. Ayrıca çok az miktarda mangan, bakır, flor, magnezyum, kalsiyum, potasyum vs. maddeleri içerebilmektedir. 100 gramı 59 kalori içermektedir (Anonim 2014).

Bugün dünyadaki elma çeşitlerinin sayısı 6500' aşmakta olup, Türkiye' de ise bu sayı 500' geçmektedir. Ancak bunlar arasında kalite, verim yönünden yüksek ve ticari anlamda yetiştiriciliği yapılanların sayısı çok azdır (Anonim 2009). Gala tipi elmalar (şekil 1.12), dünyada yetiştiriciliği yapılan elma eşitleri arasında en popüler olanlarındandır. AĞaç gelişme kuvveti orta ve yayvan bir yapıdadır. Meyveleri küçük-orta büyüklükte olup, soluk sarı zemin üzerine sıvama üzeri çizgili karışık kırmızı ve portakal renklidir.



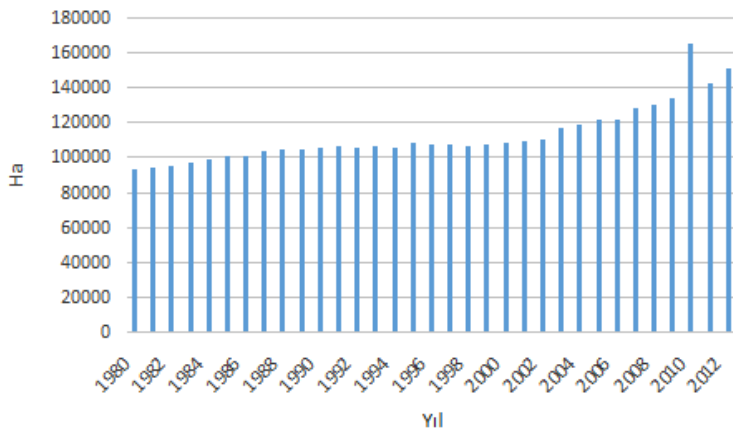
şekil 1.12. Gala tipi elma

Ülkemiz, 2012 yılı verilerine göre elma üretim alanı bakımından in, Hindistan, Polonya ve Rusya'nın ardından dünyada beşinci sırada, üretim miktarı bakımından in ve ABD'nin ardından nc sırada yer almaktadır (izelge 1.2).

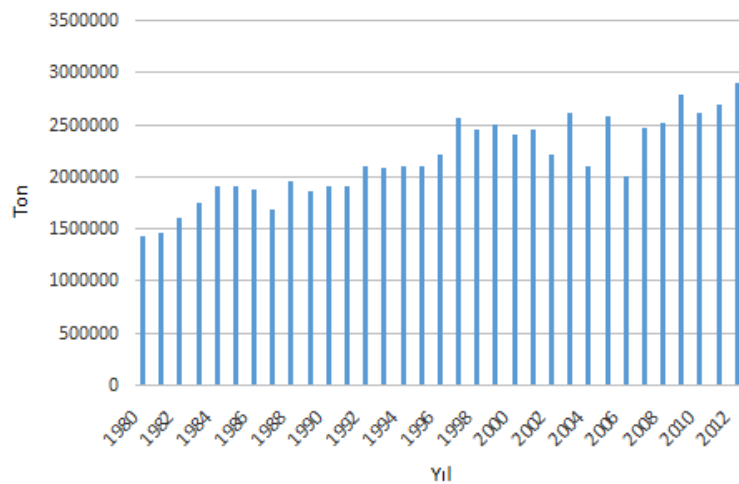
Çizelge 1.2. 2012 Yılı verilerine göre dünyada başlıca elma üretimi yapan ülkeler ve üretim miktarları (Anonim 2014)

Ülkeler	Üretim Alanı (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Hg/Ha)
Çin	2.060.170	37.001.590	179.604
ABD	132.656	4.110.046	309.827
Türkiye	150.847	2.889.000	191.518
Polonya	194.680	2.877.336	147.798
Hindistan	321.900	2.203.400	68.449
İtalya	54.684	1.991.312	364.148
İran	134.000	1.700.000	126.865
Şili	36.500	1.625.000	445.205
Rusya	183.300	1.403.000	76.541

Elma, ülkemizde yetiştirilen sebzeler arasında önemli bir değere sahiptir. Elma meyvesinin üretim alanlarında ve üretim miktarında, 1980’li yıllardan 2012’li yıllara kadar genel itibar ile artan bir ivmeyle yükseliş görülmektedir (Şekil 1.13 ve Şekil 1.14).



Şekil 1.13. Türkiye'deki elma üretim alanlarının yıllara göre değişimi (Anonim 2014)



Şekil 1.14. Türkiye'deki elma üretim miktarının yıllara göre değişimi (Anonim 2014)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gunasekaran (1989), hem sürekli hem kesikli mikrodalga kurutma yöntemiyle 250-500 W mikrodalga güç seviyelerinde laboratuvar tipi bir mikrodalga fırın kullanarak başlangıç nemleri yaş baza göre %21-29 olan mısır danelerinin mikrodalga kuruma kinetiğini incelemiştir. Bu araştırmada, mikrodalga üreticinin açık kalma süreleri 10 s ve 15 s; kapalı kalma süreleri ise 25 s ile 75 s arasında değişmiştir. Çalışmada, 250 W mikrodalga gücünde 10 s mikrodalga uygulama 75 s bekletme şeklinde kesikli mikrodalga uygulaması ile optimum kurumanın sağlandığını belirtilmiştir.

Funebo ve Ohlsson (1998), mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile elma ve mantarların su içeriğinin azaltılması konulu bir çalışma yapmışlardır. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonlu uygulamada nem içeriğinin azaltılmasında mikrodalga gücü olarak düşük güç seviyesi seçilmiştir. Çalışmanın amacı mikrodalga ile sıcak hava kombinasyonunun sıcak havayla karşılaştırılmasıdır. Kalite parametreleri olarak tekrar su alma kapasitesi, renk ve taze ürünün yoğunlukları alınmıştır. Düşük hava hızının yanmalara ve kahverengileşmeye neden olduğu için en düşük hava hızı 10 m/s olarak tanımlanmıştır. Mikrodalga enerji, çok fonksiyonlu mikrodalga fırınla uygulanmış fakat rehidrasyon kapasitesinin %20-25 oranında daha iyi olduğu görülmüştür. Elmalar 4°C'de en fazla bir hafta süreyle depolanmış ve mantarlar ise üç gün süreyle depolanmışlardır. Elmalar ve mantarlar kurutulmadan önce 5 mm boyutlarında doğranmıştır. Elmalar soyulmadan ve çekirdekleri çıkarılmadan işlenmiştir. Ve sonuç olarak en iyi kalite ürünlerin mikrodalga ile kurutulan ürünler olduğu sonucuna varmışlardır.

Krokida ve ark. (2000) elmanın kuruma ile ilgili özelliklerini çeşitli kurutma metotları (konvektif, vakum, mikrodalga, osmotik ve donmalı kurutma) ve uyumlu proses koşulları için değerlendirmiştir. İncelenen özellikler; kuruma kinetikleri, denge nem içeriği, yoğunluk, gözeneklilik, renk ve viskoelastik karakteristiklerdir. Bu özelliklere çeşitli proses faktörlerinin etkileri belirli matematiksel modellerle açıklanmıştır. Model parametreleri, uyumlu model eşitliklerini geniş kapsamlı deneysel data'lara uygulanarak tahmin edilmiştir. Konvektif kurutmada kuruma kinetiklerinin, partikül boyu ve kurutma havası sıcaklığından önemli oranda etkilenmesine rağmen mikrodalga kurutmada önemli etkiyi emilen radyasyon gücünün yaptığı görüşmüştür. Denge nem içeriğinin hava sıcaklığı ve nemi ile değiştiği gözlenmiştir. İncelenen özelliklerin kurutma metodu ile doğrudan ilgili olduğu belirlenmiştir.

Maskan (2000), $4,3\pm 0,177$, $7,4\pm 0,251$ ve $14\pm 0,492$ mm kalınlıklarındaki muz dilimlerini konveksiyon (60°C, 1,45 m/s), mikrodalga (350, 490 ve 700 W) ve mikrodalga

destekli konveksiyon (350 W, 4,3 mm kalınlıktaki örnek dilim) kullanarak kurutmuştur. Konvektif kurutma yapılan örneklerin kuruma sürelerinin diğer örneklerle karşılaştırıldığında daha uzun olduğu görülmüştür. En yüksek kuruma oranları en yüksek güç seviyesinde elde edilmiştir. Konvektif kurutmaya mikrodalga desteğinin eklenmesi ile konveksiyon kuruma süresinin %64,3 oranında azaldığı belirlenmiştir. Deneysel verileri karşılaştırmak için deneysel bir model geliştirilmiştir ve geliştirilen model mikrodalga uygulaması verileri hariç tüm verilerde başarı ile uygulanmıştır. Mikrodalga kurutma yapılan elma dilimlerinin daha açık renkli olduğu ve en yüksek rehidasyon seviyelerine sahip olduğu görülmüştür.

Alibaş (2001) yaptığı bir çalışmada bazı meyve ve sebzeleri sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlu bir kurutucuda kurularak kuruma karakteristiklerini ve kurutucunun enerji tüketim değerlerini belirlemeye çalışmıştır. Bu araştırma için 13 farklı sebze ve meyve kullanmıştır. Önce maksimum ayarda fanlı fırın uygulaması yapmış daha sonra çoğunlukla 1000 W mikrodalga güç seviyesinde (üründen ürüne değişim göstermiş) çalışmıştır. Çoğunlukla 1000 W güç seviyesine mikrodalga etkisinde bırakılan sebze ve meyvelerin, diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça kısa sürelerde kurduğunu, renk, koku ve tat gibi özelliklerini kaybetmediğini, uzun süre bozulmadan kalabildiğini ve morfolojik açıdan herhangi bir değişime uğramadığını gözlemlemiştir.

Kanat (2001) yaptığı çalışmada sanayi için hazırlanan, pizza ve ekmek pişirmede kullanılan mikrodalga kurutucunun elma için kullanılabilirliğini belirlemeye çalışmıştır. Mikrodalga kurutucuda $65\pm 3^{\circ}\text{C}$ ve $55\pm 3^{\circ}\text{C}$ olmak üzere iki farklı sıcaklıkta, 30,1 m/dk, 51,7 m/dk, 70,1 m/dk ve 90,1 m/dk hava akım hızlarında, damıtık suya ve kararmanın önüne geçebilmek için %0,5, %2, %4 ve %5 sitrik asit çözeltisine batırılarak, halka, dilim ve küp şeklinde kesilmiş elma örnekleri kurutmuştur. Nem içerikleri, kuruma süreleri ve renk açısından değerlendirdiğinde en iyi sonuca halka şeklindeki elma örnekleriyle ulaştığını bildirmiştir. Bekletilen ürünlerde küp şeklindeki elma olanların 1 ay sonra bozulduğunu, halka şeklinde olanların ise 6 aydan fazla süre geçmesine rağmen ilk hallerini koruduklarını bildirmiştir.

Andres ve ark. (2004) elmayı (Granny Smith) sıcak hava mikrodalga kombinasyonlu kurutucuda, 25, 30 40 ve 50°C sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücüne bağlı bir deneysel model önermişlerdir.

Soysal (2004), maydanoz yapraklarının mikrodalga fırında 7 farklı mikrodalga gücünde (360-900 W) kuruma karakteristiklerini incelemiştir. Kurutmada sabit kuruma ve düşen kuruma periyotlarında başlıca incelemeler yapmıştır. Kuruma kinetiklerini tanımlamak için yarı deneysel Page modelini kullanmıştır. Deneysel determinasyon katsayısı R^2 değeri

0.997 ve standart hata 0,0188 gibi iyi sonuçlar elde etmiştir. Renk parametrelerinde hiçbir değişiklik olmadığını ve sonuç olarak mikrodalga gücüne bağlı olmadığını açıklamıştır. Çalışmasında 360 W yerine 900 W kullanılması durumunda kuruma zamanında %64 azalma olduğunu göstermiştir.

Sousa ve ark. (2004) muz örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmada çeşitli hava sıcaklıklarında (25, 30, 40, 50, 55°C) ve hava akışlarında (0,8, 0,95, 1,3, 1,65, 1,8 m³/dk) mikrodalga destekli kurutma uygulamışlardır. 3 kg su/kg kuru madde neme sahip olgun muzlar 0,16-0,23 kg su/kg kuru madde değerlerine kadar kurutulmuşlardır. Kurutma süreleri 200-290 dk arasında değişmiştir. Ortalama mikrodalga gücü yoğunluğu 300-400 W arasında kullanılmıştır. Sonuçların analizinin ardından ürün için kurumanın çalışmadaki değişkenlerin fonksiyonu olan bir model geliştirmişlerdir.

Eren (2005) yapmış olduğu çalışmada, pilot ölçekteki bir konveksiyon-mikrodalga bantlı kurutucuda maydanoz (*Petrocelinum crispum Mil.*) kurutmuştur. Çalışmada, kesikli mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile ürün kurutulmasında kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) kurutucu enerji tüketimi, kuruma süresi ve kurutulan ürün renk kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Kurutma denemelerinde infrared ısıtıcılardan elde edilen sıcak hava ve kesikli mikrodalga enerjisini birlikte uygulamıştır. Mikrodalga enerjisini, kurutucu mikrodalga jeneratörlerinin çalışma ve durma sürelerinin özel bir kontrol donanımı ile ayarlanması ile kesikli/sürekli olarak uygulamıştır. Çalışmada kullanılan mikrodalga uygulama süreleri (açık, s / kapalı, s) sırasıyla 15/30, 30/30, 45/30 ve 60/30 olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi arttıkça aynı bant hızında kurutucu elektrik enerjisi tüketiminin arttığı, buna karşılık kurutulan ürünlerde ulaşılan sonuç nemi ve ürün renk kalitesinin de azaldığı belirlenmiştir. Araştırmada, ürünün %10 y.b. seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonucu 0,133 m/dk bant hızında, sıcak hava ve 30s aktif, 30 s pasif kesikli mikrodalga ile kurutma yöntemi vermiştir. Bu durumda %10,48±3,43 y.b. sonuç nemine kadar ürünün kurutulması için gerekli süre 41 dk olup, 3,02 kWh elektrik enerjisi harcanmıştır.

Dikbasan (2007), tasarlanan tünel kurutucuda küp şeklinde kesilmiş kırmızı elma (*Malus Domestica*) kullanılarak, çeşitli sıcaklık (40,1-65,3°C), hava hızı (1,1, 1,4, 1,9, 2,3, 2,5 m/s) ve bağıl nem değerlerinde (%4,6-20,5) kurutma deneyleri gerçekleştirmiştir. Sıcaklık ve bağıl nem değerleri; fan girişi, tepsi öncesi ve sonrasında birer dakika aralıklarla ölçülmüştür. Hava hızı ise sadece tünel kurutucunun çıkışında ölçülmüştür. Elde edilen veriler kurutma ve

kurutma hızı eğrilerinin çizilmesinde kullanılmıştır. Eğriler, kurutmanın çoğunlukla azalan kuruma hızı bölgesinde gerçekleştiğini göstermektedir. Difüzyon kontrollü olan bu bölge için efektif difüzyon katsayıları, Fick difüzyon denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel veriler literatürdeki 14 farklı kurutma modeline uygulanmıştır. Kurutulmuş elmanın kalitesini belirlemek için rehidrasyon süresi ve renk parametreleri belirlenmiştir.

Efektif difüzyon katsayıları $0,486 \times 10^{-9}$ ile $5,63 \times 10^{-9}$ m²/s aralığında bulunmuştur. Kurutma hızı, rehidrasyon süresi ve renk verileri göz önünde bulundurularak, kurutmanın en iyi 53,5-65,3°C sıcaklık aralığı ile 2,5 m/s hava hızı ve %20,5 bağıl nemde gerçekleştiği belirlenmiştir. Midilli ve Küçük Modeli deneysel verilere en iyi uyum sağlayan model olup korelasyon katsayısı 0,9991 ve kök ortalama kare hatası 0,0087976 olarak bulunmuştur.

Erdem (2007) yaptığı çalışmada, ev tipi bir mikrodalga fırında alfa toksinli 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 etkilerini araştırmıştır. Kullanılan mikrodalga uygulama sürelerini (açık, sn / kapalı, sn) sırasıyla sürekli, 30/30, 30/45, 30/60, 45/30, 45/45, 45/60 olacak şekilde ayarlamıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi arttıkça kurutma etkinliği artmış, fakat mikrodalga ünitenin çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30, 45/30, 45/60 olan denemelerde enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin arttığını gözlemiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma süreleri diğer kombinasyonlara göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Nasıroğlu (2007), kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızı üzerine infrared lamba gücünün ve hava hızının etkilerini değerlendirmiş 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 değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu çalışma için infrared lambalarla çalışan bir kurutma düzeneği geliştirilerek tarım ürünlerinden kırmızı biber, elma ve pırasa dilimleri 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) kurutularak denemeler gerçekleştirilmiştir.

Wang ve ark. (2007) sıcak havayla ön kurutmalı ve ön kurutmasız elma püresinin ince tabakalı mikrodalga ile kurutması ve modellenmesinin yapıldığı bir çalışmada, başlangıç nem içeriği %80 olan taze elma püresi 105°C sıcaklıkta ve 1,2 m/s hava akış oranındaki elektrik termal kurutucuda ürün nem içeriğinin yaklaşık %40'lara ulaşmaya kadar kurutmuşlardır.

Kalınlığı 10 mm ve başlangıç ağırlığı 25 g olarak belirlenen ürünlerdeki nem kaybı, analitik terazi ile 4 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Ön kurutmalı örnekler, mikrodalga ile kurutmada birbirini izleyen kullanım için plastik bir çanta içinde mühürlenmiştir. Örnekler, ön işlemlili elma püresinin başlangıç neminin tekdüze olması için mikrodalga ile kurutmadan önce karıştırılmıştır.

Taze elma püresi örnekleri ve ön kurutmalı elma püresi örnekleri sırasıyla 150, 300, 450, 600 W mikrodalga güçlerinde mikrodalga kurutucusunda kurutulmuşlardır. Ortam havasının bağıl nemi %30 dur. Mikrodalga kurutucudaki örneklerin nem kaybı, eş zamanlı olarak analitik terazi ile 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kurutma işlemine %5 son neme ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Çalışmada, 150, 300, 450 ve 600 W mikrodalga güçlerde çalışma durumunda taze elma püresi örneklerinin son nem içeriğine ulaştığındaki toplam kuruma sürelerinin sırasıyla 77, 37, 29 ve 21 dakika olduğu saptanmıştır. Benzer bir şekilde, ön işlemlili elma püresinin 150, 300, 450 ve 600 W mikrodalga güçlerde çalışma koşullarında son nem içeriğine ulaştığındaki toplam kuruma süreleri sırasıyla 23, 11,5, 8,5 ve 6,5 dakika olarak saptanmıştır. Çalışmada, belirli mikrodalga güç aralıklarında (bu çalışmada 150 W - 600 W) artan mikrodalga çıkış gücünün kuruma işlemini hızlandırdığı, böylece kuruma süresinin kısaldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca, taze elma püresinin nem içeriğinin son %40'ını uzaklaştırmak çıkarmak için mikrodalgada 150, 300, 450, 600 W mikrodalga güçlerde gerçekleşen kurutma işleminin sırasıyla 31,0, 15,03, 11,3, 8,6 dakika sürdüğünü belirtmişlerdir. Aynı zamanda enerji tüketim değerlerini de 0,078, 0,075, 0,085 ve 0,086 kWh olarak saptamışlardır. Ön işlemlili elma püresinin kurutulmasında da aynı mikrodalga güçleri kullanılarak kurutma işleminin sırasıyla 23, 11,5, 8,5, 6,5 dakika sürdüğü ve enerji tüketim değerlerini de 0,058, 0,058, 0,064, 0,065 kWh olduğu belirtilmiştir. Taze elma püresiyle karşılaştırma durumunda önceden kurutulmuş elma püresinin kurutulmasındaki, kuruma süreleri ve güç tüketimlerinin sırasıyla %25, %80, %23, %48, %24, %78, %24, %42 oranında azaldığı belirtilmiştir. Kuruma karakteristiklerini en iyi şekilde tanımlanması için taze ve ön işlemlili elma püresinin kuruma süresi ve nemine karşılık kuruma hızının dört regresyon denklemi bulunmuştur. Bu bulgular, elma püresinin mikrodalga ile kurutma çalışmasını ve tasarımını kolaylaştırmıştır.

Haghi ve Amanifard (2008) patatesin mikrodalga ile kurutulmasında analitik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bir gıdanın nem içeriğindeki değişiminin kütle transferinin bir fonksiyonu olduğu teorik yaklaşımını kullanarak farklı mikrodalga kurutma koşullarındaki kuruma parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere bir metot oluşturmuşlardır.

Oluşturulan metodun patates dilimlerinin mikrodalga kuruma davranışlarının incelenmesinde verimliliği arttırılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

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

Doymaz (2009) laboratuvar tipi sıcak havalı bir kurutucuda yeşil elmaların kuruma davranışlarını incelemiştir. Kurutma öncesi elmaları 8 mm kalınlığında dilimleyerek sitrik asit çözeltisi ile ve 80°C'deki su ile ayrı ayrı ön işlem uygulamıştır. İşlem gören elmaları sıcaklığı 65°C, hızı 2,0 m/s olan hava ile kurutmuştur. En kısa kuruma süresi (270 dk) sitrik asit çözeltisi ile ön işlem uygulanan dilimlerde tespit edilmiştir. Kuruma verileri literatürde mevcut 11 adet matematik modelde uygulanmıştır. En iyi modelin seçimi; deneysel veriler ve model sonuçları arasındaki determinasyon katsayısı ve standart sapma değerleri karşılaştırılarak yapılmıştır. Sonuçlar, Wang and Singh, Logaritmik ve Verma et al. modellerinin elmaların dilimlenerek kurutulmasında en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Ayrıca sitrik asit çözeltisi ile ön işlem uygulanan dilimlerin efektif nem yayılımının diğer örneklere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tarhan ve ark. (2009) Amasya elma çeşidini 5 mm kalınlığında dilimledikten ve farklı kimyasal çözeltilere bir dakika süresince bandırdıktan sonra kurutmuştur. Kurutma yöntemi olarak dış ortamda çevre havasıyla doğal kuruma, etüvde 65 °C sıcaklıktaki hava ile kurutma ve mikrodalgada kurutma seçilmiştir. Kurutma işleminin çok uzun sürmesi (72 saat) sebebiyle dış ortamda kurutma ve meydana gelen kararmalar nedeniyle mikrodalga kurutma elma kurutma için uygun bulunmamıştır. % 2'lik sitrik asit çözeltisine bandırılan elmaların yüksek sıcaklıkta (65°C) havayla kurutulması gerek kalite ve gerekse kurutma süresi (5 saat) açısından en iyi sonucu verdiği için ticari amaçlı elma kurutma için uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Witrowa-Rajchert ve Rzaca (2009) kurutma yönteminin elmanın fiziksel özellikleri ve içyapısı üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında elma dilimleri, konveksiyon, mikrodalga-konveksiyon ve infrared-konveksiyon yöntemleri ile kurutulmuştur. Mikrodalga ve infrared destekli kurutulan elma dilimlerinin, yalnızca konveksiyon metodu kullanılarak

kurutulanlara göre %11-12 kadar daha az büzülmüş olduğu, hacimlerinin %30-34 daha az olduğu, yoğunluklarının %18-23 daha az olduğu ve gözenekliliğinin %25-28 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Konvektif kurutmanın elma hücrelerinin boyutlarında ve dağılımında dikkate değer değişimlere yol açtığı görülmüştür.

Çelen (2010) mikrodalga ve vakum kurutucuda kurutulmuş domates ve elma dilimlerinin kalitesi üzerine araştırma yapmış ve önemli parametreler hakkında temel bilgileri geliştirmiştir. Kurutma zamanının azalmasının renk kalitesi üzerine etkisini tanımlamıştır. Ayrıca doğrusal olmayan bir kurutma sürecinin Luikov modeli kullanarak matematiksel modelini geliştirmiş ve kurutma sürecinin enerji maliyetini azaltacak, ürün kalitesini arttıracak ve toplam kurutma zamanını da düşürecek bir kontrol yapısı oluşturmuştur. Ayrıca matematiksel model ile gerçek davranış arasındaki ilişkiyi daha iyi bir seviyeye çıkarmak ve kurutulan ürünlerin (elma, domates) dinamik davranışlarının önceden belirlenmesi için çalışmıştır.

Özgen (2013) tarafından yapılan çalışma kapsamında elmanın kuruma özelliğini tespit etmek üzere konvektif tip bir kurutucu tasarlayıp imal edilmiştir. Deneysel, 20x20x4 mm ebatlarında elma örnekleri kullanılmıştır. Hava sıcaklığı ve hava hızı kuruma özelliğini etkileyen parametreler olarak düşünülmüştür (T= 45°C, V= 0,5, 1 ve 1,5 m/s). Elde edilen sonuçlar, kurutma zamanının fonksiyonu olarak sunulmuştur. Deneysel sonuçlardan kurutma hava hızının toplam kuruma zamanı üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

Yoğurtçu (2013) yaptığı çalışmada mikrodalga fırında limonun ince tabaka kuruma kinetiğini incelemiştir. Çalışma kapsamında 8 mm kalınlıktaki limon dilimleri 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga (2450 MHz) çıkış güçlerinde kurutulmuş ve zamanla limon kütlesinin değişimi takip edilmiştir. Mikrodalga çıkış gücündeki artma ile kuruma hızının arttığı görülmüştür. 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga çıkış güçlerinde nihai nem içeriklerine sırasıyla 52, 16, 8 ve 5,5 dk sonunda ulaşılmıştır. Deneysel verileri değerlendirmek için literatürde önerilmiş olan Page, Henderson & Pabis ve Logaritmik ince tabak kuruma modelleri kullanılmıştır. Modeller arasındaki kıyaslama R^2 , χ^2 ve RMSE istatistiksel parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan modeller arasında Page modelinin limonun mikrodalga kuruma davranışını temsil eden en iyi model olduğu görülmüştür.

Chong ve ark. (2014) 15 mm'lik elma küplerini herhangi bir koruyucu ön işlem uygulamadan çeşitli kurutma metotlarını (kesikli sıcak hava-nemi alınmış havalı kurutma, ısı pompası destekli kurutma (HP), konvektif/vakum-mikrodalga kurutma (C/VM), ısı pompası/mikrodalga-vakum kurutma (HP/VM) kullanarak kurutmuşlardır. Farklı yöntemlerle

dehidre edilen elma örneklerinin kuruma kinetikleri, karakteristik kuruma periyotlarına bölünmüş ve ampirik kurutma modellerine uygulanmıştır. C/VM uygulamasının meyveleri kurutmada, diğer kurutma yöntemlerine oranla en kısa kuruma süresini sağladığı görülmüştür. Kuruma süresine etki eden efektif difüzyon katsayısının, kullanılan kurutma tekniğine göre $3,522 \times 10^{-8}$ ile $1,431 \times 10^{-6}$ m²/dk değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Vakum-mikrodalga uygulamasıyla kombine edilen kurutma yöntemlerinin (C/VM, HP/VM) ürün sertliğinde ve çiğnenebilirliğinde en düşük değerleri verdiği bulunmuştur. Ayrıca ısı pompası destekli mikrodalga-vakum kurutmanın ürün üzerinde en yüksek antioksidan seviyesini ve en iyi görüşünü sağladığı görülmüştür.

Li ve ark. (2014) Fuji elma dilimlerini donmalı kurutma ile kombine edilmiş bir mikrodalga destekli vakum kurutucuda kurutmuşlardır. Sonuçlar göstermiştir ki uygulanan iki aşamalı kurutma tekniğinin yalnızca donmalı kurutma yöntemi ile karşılaştırıldığında besin değerinde bir değişme meydana getirmezken toplam kurutma süresini %40'a kadar düşürebilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Elma

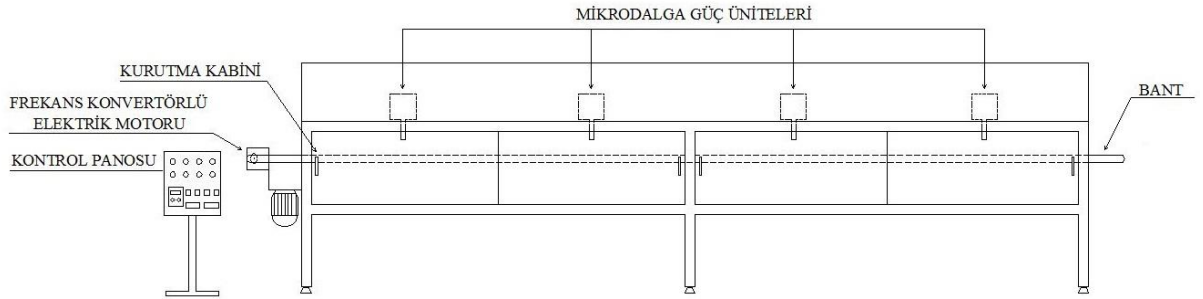
Kurutma denemelerinde, Türkiye 'de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Gala tipi elmalar kullanılmıştır. Elmalar, Tekirdağ ili Çorlu ilçesindeki yerel marketlerden temin edilerek Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne getirilmiş ve kurutma işlemine tabi tutulana kadar +4°C deki buzdolabında bekletilmiştir. Şekil 3.1'de denemelerde kullanılan Gala tipi elmaların örnek bir fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan Gala tipi bir elma örneği

3.1.2. Bantlı mikrodalga kurutucu

Kurutma denemelerinde, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır. Şekil 3.2'de şematik çizimi ve Şekil 3.3'te genel görünümü verilmektedir.



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun şematik çizimi



Şekil 3.3. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucu ve kontrol panosunun genel görünümü

Kullanılan 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. Mikrodalga güç ünitelerinin aralarındaki mesafe 0,9 m olup kurutma tünelinin başından ve sonundan 0,4 m mesafede konumlandırılmışlardır. 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. Ayrıca kontrol panosu üzerinde, saatteki elektrik tüketiminin belirlenmesini sağlayan Köhler marka bir fazlı iki telli demantmetreli aktif elektronik elektrik sayacı bulunmaktadır. Şekil 3.4'te kurutma tünelinin iç görünüşü ve magnetronların tünel içindeki yerleşimleri verilmektedir.



Şekil 3.4. Kurutma tünelinin iç görünüşü

3.1.3. Çalışmada kullanılan ölçüm aletleri

Tüm kurutma çalışmalarında ürün ağırlık değişimlerinin saptanması amacıyla 0,01 g hassasiyetinde AND marka GF-6100 model elektronik terazi kullanılmıştır (Şekil 3.5.a). Kurutma ortamının nem değerinin tespiti için Testo marka 608-H2 model termo-higrometreden yararlanılmıştır (Şekil 3.5.b). Ürünün başlangıç neminin belirlenmesinde dijital göstergeli maksimum çalışma sıcaklığı 1100 °C olan 6 L kapasiteli Nüve marka MF 106 model etüv kullanılmıştır (Şekil 3.6.a). Renk ölçümleri için uluslar arası $L^*a^*b^*$ sistemine göre ölçüm yapan Spec marka HP-200 model renkölçer kullanılmıştır (Şekil 3.6.b).



(a)



(b)

Şekil 3.5. (a) Terazi (b) Termo-higrometre



(a)



(b)

Şekil 3.6. (a) Etüv (b) Renkölçer

3.2. Yöntem

3.2.1. Kurutma denemelerinin yapılması

Deneylere başlanmadan önce, buzdolabında saklanan ürünler çıkarılarak ortam sıcaklığına ulaşmaları beklenmiştir. Ürünlerde tazelik, renk, doku vb. kayıplar olmaması için her bir deneyde tek elma kullanılarak dilimlenmiş, diğer elmalar soyulmamıştır. Kurutma işlemlerine geçmeden önce elmalar yıkanıp kabukları soyulmuş ve çekirdek evleri çıkarılarak 2, 4, 6 mm kalınlıklarda dilimlenmiştir. Yıkama ve kabuk soyma dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Ölçümlerde ve deneylerde çapları $6\pm 0,5$ cm, olan elma dilimleri kullanılmıştır. Kurutma deneylerine başlanmadan önce 2, 4 ve 6 mm kalınlıklarındaki örnek dilimlerin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde kuru ağırlık tespiti yapılmıştır. Yapılan kuru ağırlık tespiti sonucunda ürünlerin başlangıç nem değerlerinin $\%86,7\pm 0,5$ (y.b.) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutma işlemi yapılacak taze ürünlerin renk ölçümleri alınmıştır. Nem oranı belirlenmesi ve renk analizlerinin yapılmasına sonraki bölümlerde değinilecektir.

Örnekler kurutma tünelinin başlangıcına sırası ile konulmuş, bantı döndüren elektrik motoruna hareket verilmiş ve mikrodalga güç üniteleri çalıştırılmıştır. Dilimler, mikrodalga enerjisinden daha iyi yararlanmak amacıyla 3 cm yüksekliğinde üçer adet ince tahta çubuk üzerine konulmuştur. Elma dilimleri kurutma tünelinin sonuna geldiklerinde, kontrol panosunda bulunan invertör aracılığı ile elektrik motoru kontrol edilerek bant ters yönde hareket ettirilmiştir. Deneyler tüm mikrodalga güç üniteleri açık konumdayken ve her biri 350, 500 ve 700 W güç seviyelerine getirilerek toplamda 1400, 2000 ve 2800 W mikrodalga güçlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışmalar boyunca bant hızları 0,175, 0,210, 0,245 m/dk

olmak üzere üç farklı değere ayarlanmış, tüm dilim kalınlıkları için üç farklı bant hızı ve üç farklı mikrodalga gücünün kombinasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm mikrodalga güçlerindeki denemelerde 2 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 2 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur. Kurutma işlemleri ürünlerin nem içeriği %11,7±1 (y.b.) oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanıp verilerin ortalamaları kullanılmıştır.

3.2.2. Ürün neminin belirlenmesi

Kurutma işleminden önce ürünlerin başlangıç nemlerinin belirlenmesi amacıyla her bir dilim kalınlığı (2, 4, 6 mm) 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 yanı sıra 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,
- m_0 : ilk nem içeriği.

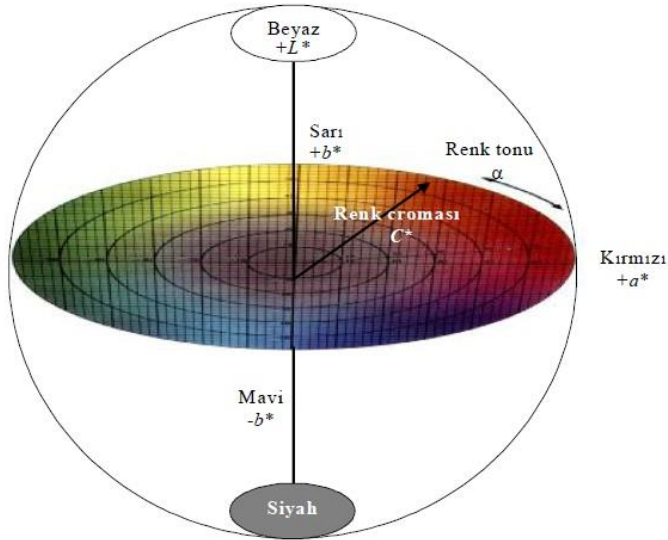
m_e , kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarıdır. Bir higrometre ile ya da kurutma dolabındaki yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikrometri

diyagramından bulunur. Genelde diğer nem miktarlarına göre küçük olduğundan dolayı birçok çalışmada ihmal edilmiştir (Doymaz 2005). m_e değeri bu çalışmada da ihmal edilmiştir.

3.2.3. Renk Tayini

Elma dilimlerinin kurutulması sırasında, kurutma koşullarının ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, taze ve kurtulmuş ürün örneklerinin renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçümü uluslararası $L^*a^*b^*$ sistemine göre yapılmıştır. Kurutma işleminden önce elma dilimlerinin taze haldeki L^*,a^*,b^* renk uzayı (Şekil 3.7) koordinatları ölçülmüştür. Kurutma işlemleri tamamlandıktan sonra da renk ölçümü tekrarlanmıştır. Ölçümler 5 kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Böylelikle ürünler üzerindeki renk değişimleri gözlenmiştir.

L^* değeri parlaklığı temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 siyahlığı, 100 beyazlığı ifade etmektedir. a^* değeri kırmızılık ve yeşilliği ifade etmekte olup, -90 ile +90 arasında değişmektedir. b^* değeri mavilik ve sarılığı ifade etmekte olup -90 ile +90 arasında değişmektedir.



Şekil 3.7. CIE L^*,a^*,b^* renk uzayı

Şekil 3.7'de α metrik renk tonunu (hue) göstermekte olup, a^* ve b^* değerlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\alpha = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3.3)$$

C^* ise metrik kromayı belirten boyutsuz bir değer olup 0 ile 60 arasında değişmektedir. Metrik renk kroması a^* ve b^* değerlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.4)$$

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. Pozitif ΔL değeri kurutulmuş ürün renk parlaklığının standart olarak alınan taze ürün renk parlaklığından daha yüksek olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün renk parlaklığının azaldığını göstermektedir. Pozitif Δa değerleri kurutulmuş ürünlerdeki yeşil rengin standart olarak alınan taze ürün yeşil renginden daha düşük olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün yeşil renginin arttığını göstermektedir. Pozitif Δb değerleri kurutulmuş ürünlerdeki sarı rengin standart olarak alınan taze ürün sarı renginden daha yüksek olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün sarı renginin azaldığını göstermektedir.

$$\Delta L = L_{taze} - L^* \quad (3.5)$$

$$\Delta a = a_{taze} - a^* \quad (3.6)$$

$$\Delta b = b_{taze} - b^* \quad (3.7)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.8)$$

3.2.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi

Çizelge 3.1’de, literatürde mevcut beş tip kurutma modeli ve ilgili denklemler verilmektedir. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler beş tip model denkleminde kullanılarak model verileri ve çalışmada elde edilen deneysel neticeler arasında grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır. Standart sapma (e_s), teorik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Bu değerın sifira yakın olması modelin daha etkin olduğunu belirtmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren χ^2 değerinin azalması da uyumun arttığını belirtmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin, modelleme yeterliliği değeri (korelasyon katsayısının) 1’e yakın olması modelin kullanılabilirliğinin göstergesidir.

Çizelge 3.1. Deney sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılan kurutma modelleri (Cihan ve ark. 2007)

Model	Model denklemi
Newton	$mr = \exp(-kt)$
Page	$mr = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$mr = a \exp(-kt)$
Geometric	$mr = at^{-n}$
Wang and Singh	$mr = 1 + at + bt^2$

Uygun modelin bulunmasında kullanılan karşılaştırma kriterleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} mr_{exp,i} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i}\right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{exp,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}\right)^2}} \quad (3.9)$$

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

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

Yukarıdaki denklemlerde:

r: korelasyon katsayısı,

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,

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Kuruma sabitlerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan regresyon analizi yapan XLSTAT ve EXCEL bilgisayar programları kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. 2 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler

4.1.1. Deneysel kuruma davranışları

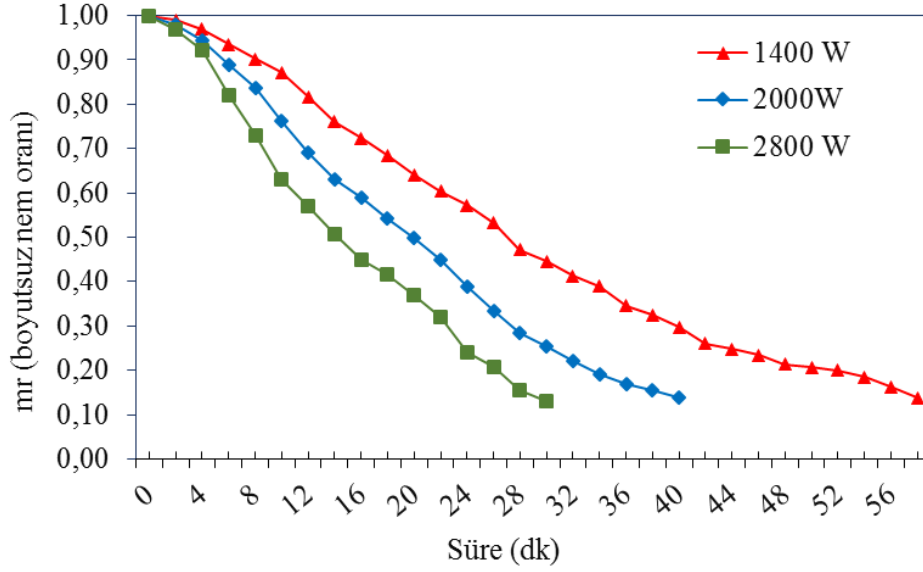
4.1.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneysel neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)
0	8,13	86,5%	1,00	8,24	86,7%	1,00	8,23	86,6	1,00
2	7,66	85,6%	0,99	7,27	84,9%	0,98	6,81	83,8	0,97
4	6,79	83,8%	0,97	6,07	81,9%	0,94	5,45	79,8	0,92
6	5,73	80,8%	0,93	4,79	77,0%	0,89	3,81	71,1	0,82
8	4,99	78,0%	0,90	4,00	72,5%	0,84	2,99	63,2	0,73
10	4,47	75,4%	0,87	3,25	66,2%	0,76	2,43	54,7	0,63
12	3,75	70,7%	0,82	2,74	59,9%	0,69	2,17	49,3	0,57
14	3,21	65,7%	0,76	2,42	54,5%	0,63	1,96	43,9	0,51
16	2,94	62,6%	0,72	2,25	51,1%	0,59	1,80	38,9	0,45
18	2,70	59,3%	0,69	2,08	47,1%	0,54	1,72	36,0	0,42
20	2,47	55,5%	0,64	1,94	43,3%	0,50	1,62	32,1	0,37
22	2,30	52,2%	0,60	1,80	38,9%	0,45	1,52	27,6	0,32
24	2,18	49,5%	0,57	1,66	33,7%	0,39	1,39	20,9	0,24
26	2,04	46,1%	0,53	1,55	29,0%	0,34	1,34	17,9	0,21
28	1,86	40,9%	0,47	1,46	24,7%	0,28	1,27	13,4	0,15
30	1,79	38,5%	0,45	1,41	22,0%	0,25	1,24	11,3	0,13
32	1,71	35,7%	0,41	1,36	19,1%	0,22			
34	1,66	33,7%	0,39	1,32	16,7%	0,19			
36	1,57	29,9%	0,35	1,29	14,7%	0,17			
38	1,53	28,1%	0,33	1,27	13,4%	0,15			
40	1,48	25,7%	0,30	1,25	12,0%	0,14			
42	1,42	22,5%	0,26						
44	1,40	21,4%	0,25						
46	1,38	20,3%	0,23						
48	1,35	18,5%	0,21						
50	1,34	17,9%	0,21						
52	1,33	17,3%	0,20						
54	1,31	16,0%	0,19						
56	1,28	14,1%	0,16						
58	1,25	12,0%	0,14						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

4.1.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

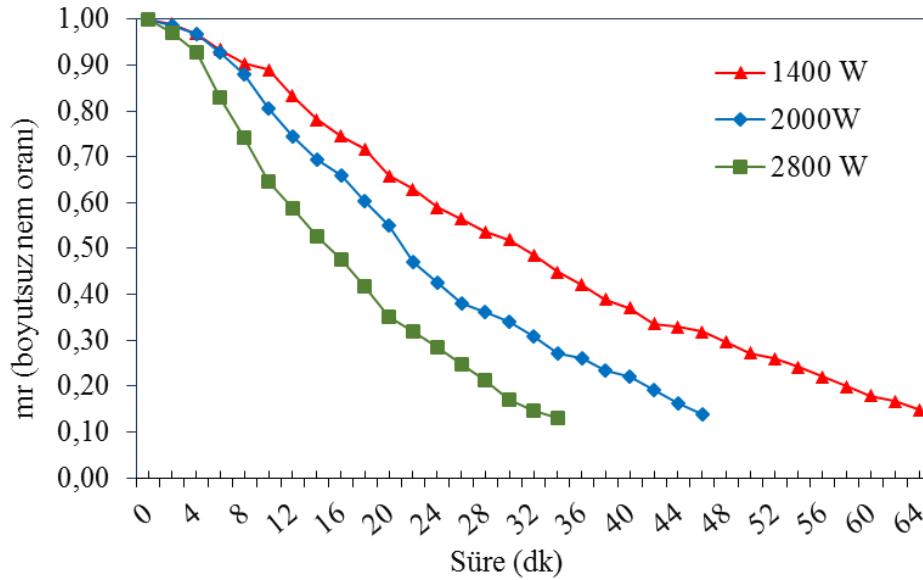
Deneysel neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)
0	8,22	86,6%	1,00	8,23	86,6%	1,00	8,20	86,6%	1,00
2	7,70	85,7%	0,99	7,60	85,5%	0,99	6,92	84,1%	0,97
4	6,81	83,8%	0,97	6,80	83,8%	0,97	5,56	80,2%	0,93
6	5,76	80,9%	0,93	5,60	80,4%	0,93	3,91	71,9%	0,83
8	5,05	78,2%	0,90	4,61	76,1%	0,88	3,08	64,3%	0,74
10	4,80	77,1%	0,89	3,64	69,8%	0,81	2,50	56,0%	0,65
12	3,95	72,2%	0,83	3,10	64,5%	0,74	2,24	50,9%	0,59
14	3,40	67,6%	0,78	2,75	60,0%	0,69	2,02	45,5%	0,53
16	3,10	64,5%	0,74	2,56	57,0%	0,66	1,87	41,2%	0,48
18	2,90	62,1%	0,72	2,31	52,4%	0,60	1,72	36,0%	0,42
20	2,56	57,0%	0,66	2,10	47,6%	0,55	1,58	30,4%	0,35
22	2,42	54,5%	0,63	1,86	40,9%	0,47	1,52	27,6%	0,32
24	2,25	51,1%	0,59	1,74	36,8%	0,42	1,46	24,7%	0,28
26	2,15	48,8%	0,56	1,64	32,9%	0,38	1,40	21,4%	0,25

28	2,05	46,4%	0,54	1,60	31,3%	0,36	1,35	18,5%	0,21
30	2,00	45,0%	0,52	1,56	29,5%	0,34	1,29	14,7%	0,17
32	1,90	42,1%	0,49	1,50	26,7%	0,31	1,26	12,7%	0,15
34	1,80	38,9%	0,45	1,44	23,6%	0,27	1,24	11,3%	0,13
36	1,73	36,4%	0,42	1,42	22,5%	0,26			
38	1,66	33,7%	0,39	1,38	20,3%	0,23			
40	1,62	32,1%	0,37	1,36	19,1%	0,22			
42	1,55	29,0%	0,34	1,32	16,7%	0,19			
44	1,54	28,6%	0,33	1,28	14,1%	0,16			
46	1,52	27,6%	0,32	1,25	12,0%	0,14			
48	1,48	25,7%	0,30						
50	1,44	23,6%	0,27						
52	1,42	22,5%	0,26						
54	1,39	20,9%	0,24						
56	1,36	19,1%	0,22						
58	1,33	17,3%	0,20						
60	1,30	15,4%	0,18						
62	1,28	14,1%	0,17						
64	1,25	12,0%	0,15						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

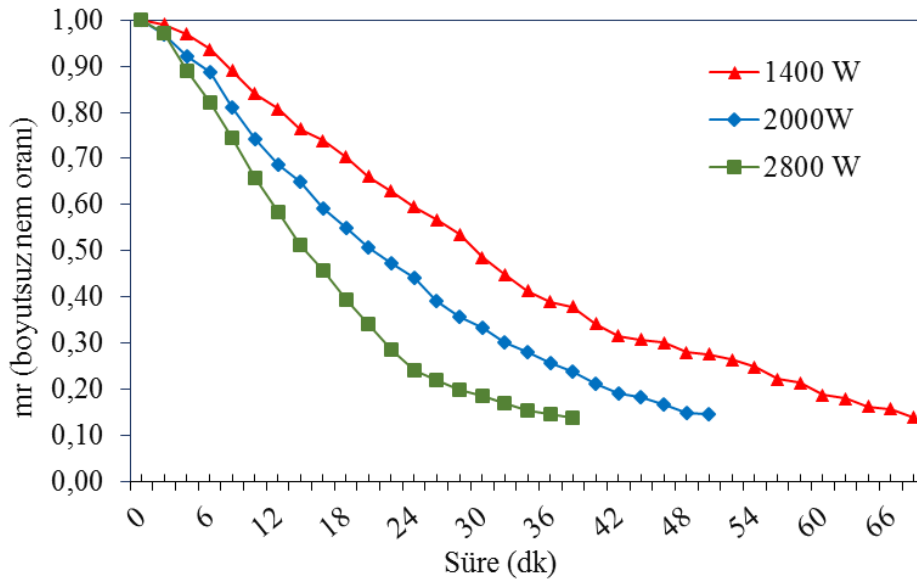
4.1.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneyler neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)
0	8,13	86,5%	1,00	8,23	86,6%	1,00	8,23	86,6%	1,00
2	7,66	85,6%	0,99	6,82	83,9%	0,97	6,96	84,2%	0,97
4	6,79	83,8%	0,97	5,47	79,9%	0,92	4,81	77,1%	0,89
6	5,78	81,0%	0,94	4,74	76,8%	0,89	3,80	71,1%	0,82
8	4,78	77,0%	0,89	3,70	70,2%	0,81	3,09	64,4%	0,74
10	4,02	72,7%	0,84	3,08	64,3%	0,74	2,56	57,0%	0,66
12	3,65	69,9%	0,81	2,71	59,4%	0,69	2,23	50,7%	0,58
14	3,24	66,1%	0,76	2,51	56,2%	0,65	1,98	44,4%	0,51
16	3,04	63,9%	0,74	2,26	51,3%	0,59	1,82	39,6%	0,46
18	2,81	60,9%	0,70	2,10	47,6%	0,55	1,67	34,1%	0,39
20	2,56	57,1%	0,66	1,96	43,9%	0,51	1,56	29,5%	0,34
22	2,41	54,4%	0,63	1,86	40,9%	0,47	1,46	24,7%	0,28
24	2,26	51,4%	0,59	1,78	38,2%	0,44	1,39	20,9%	0,24
26	2,16	49,0%	0,57	1,66	33,9%	0,39	1,36	19,1%	0,22
28	2,05	46,3%	0,54	1,59	30,9%	0,36	1,33	17,3%	0,20
30	1,90	42,0%	0,49	1,54	28,8%	0,33	1,31	16,0%	0,19
32	1,80	38,7%	0,45	1,49	26,1%	0,30	1,29	14,7%	0,17
34	1,71	35,8%	0,41	1,45	24,2%	0,28	1,27	13,4%	0,15
36	1,66	33,6%	0,39	1,41	22,2%	0,26	1,26	12,7%	0,15
38	1,64	32,7%	0,38	1,39	20,6%	0,24	1,25	12,0%	0,14
40	1,56	29,6%	0,34	1,35	18,2%	0,21			
42	1,51	27,3%	0,32	1,32	16,5%	0,19			
44	1,50	26,5%	0,31	1,31	15,9%	0,18			
46	1,49	26,0%	0,30	1,28	14,4%	0,17			
48	1,45	24,2%	0,28	1,26	12,9%	0,15			
50	1,44	23,8%	0,28	1,26	12,7%	0,15			
52	1,42	22,8%	0,26						
54	1,40	21,4%	0,25						
56	1,36	19,2%	0,22						
58	1,35	18,4%	0,21						
60	1,31	16,3%	0,19						
62	1,30	15,5%	0,18						
64	1,28	14,1%	0,16						
66	1,27	13,6%	0,16						
68	1,25	12,0%	0,14						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

Çizelge 4.4'te ise yapılan 2 mm kalınlıktaki elma dilimleri ile yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.4. 2 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütle (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk - 1400 W	58	8,13	1,25	86,5	12,0	2,8620
0,175 m/dk - 2000 W	40	8,24	1,25	86,7	12,0	1,7690
0,175 m/dk - 2800 W	30	8,23	1,24	86,6	11,3	1,5411
0,210 m/dk - 1400 W	64	8,22	1,25	86,6	12,0	3,1581
0,210 m/dk - 2000 W	46	8,23	1,25	86,6	12,0	2,0310
0,210 m/dk - 2800 W	34	8,20	1,24	86,6	11,3	1,7747
0,245 m/dk - 1400 W	68	8,13	1,25	86,5	12,0	3,3554
0,245 m/dk - 2000 W	50	8,23	1,26	86,6	12,7	2,2408
0,245 m/dk - 2800 W	38	8,23	1,25	86,6	12,0	1,9706

4.1.2. Renk analiz sonuçları

Taze ürün ile kurutucuda kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 5 tekrarlı renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabii tutulmuştur.

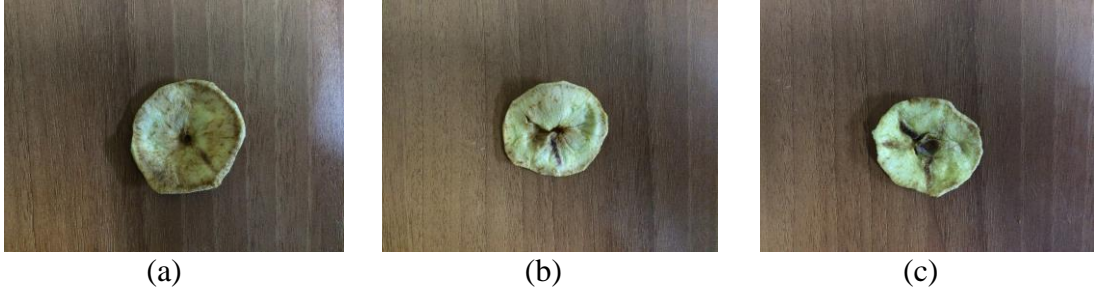
Mikrodalga kurutucuda kurutulan 2 mm kalınlığındaki dilimlerin renk parametreleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutmada parlaklık (ΔL) için en fazla kayıplar 0,245 m/dk bant hızında ve 2800 W güçte görülmüştür. Aşırı ısınma nedeniyle üründe yanmalar, dolayısıyla kararmalar görülmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Düşük mikrodalga güçlerinde ürün yavaş ısındığı için daha üniform kuruma meydana gelmiş, dolayısıyla renk ve parlaklık (L^*) değişimi az olmuştur.

Çizelge 4.5. 2 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri

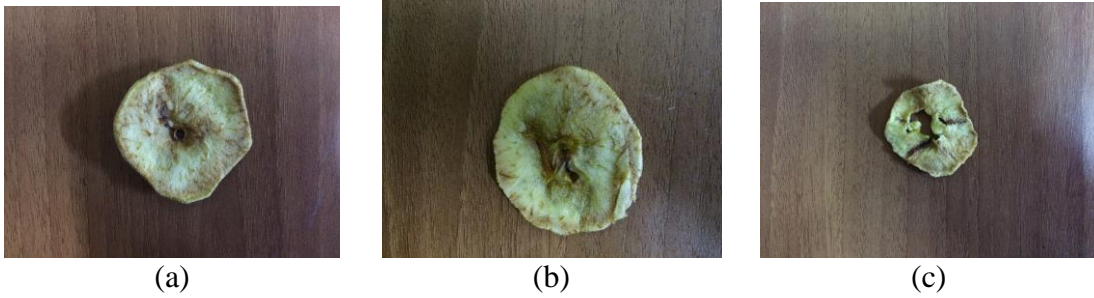
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	72,01	-2,09	19,75						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 1400 W	69,64	5,24	29,54	30,00	1,39	7,33	9,79	-2,37	12,4575
0,175 m/dk - 2000 W	64,96	0,02	29,86	29,86	1,57	2,11	10,11	-7,05	12,5047
0,175 m/dk - 2800 W	68,53	4,55	34,29	34,59	1,43	6,64	14,54	-3,48	16,3588
0,210 m/dk - 1400 W	71,69	4,32	27,89	28,22	1,41	6,41	8,14	-0,32	10,3658
0,210 m/dk - 2000 W	70,70	5,49	30,01	30,50	1,38	7,58	10,26	-1,31	12,8234
0,210 m/dk - 2800 W	65,31	11,37	34,88	36,68	1,25	13,46	15,13	-6,7	21,3302
0,245 m/dk - 1400 W	60,02	4,46	27,52	27,87	1,41	6,55	7,77	-11,99	15,7174
0,245 m/dk - 2000 W	58,47	5,33	28,00	28,50	1,38	7,42	8,25	-13,54	17,5057
0,245 m/dk - 2800 W	49,36	8,87	25,04	26,56	1,23	10,96	5,29	-22,65	25,7124

Önemli bir kalite kriteri olan renk analizleri sonucunda düşük güçte çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu saptanmıştır. Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 dikkate alındığında parlaklık kriterinin yanında şekil değiştirme, görünüş faktörünü de dikkate alırsak 1400 ve 2000 W güçte yapılan kurutmalardaki dilimlerin daha düzenli olduğu ve geometrik yapısını bozmadığı görülmüştür. 2800 W güçte yapılan kurutmalarda ise geometrik yapılar bozulmuş, üründe deformasyonlar meydana gelmiştir. Geometrik yapı ve parlaklık kriterleri göz önüne alındığında 1400 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminin daha uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca 2800 W güçte, ürün üzerindeki deformasyonların yanında yanmalar ve kararmalar da görülmüştür.

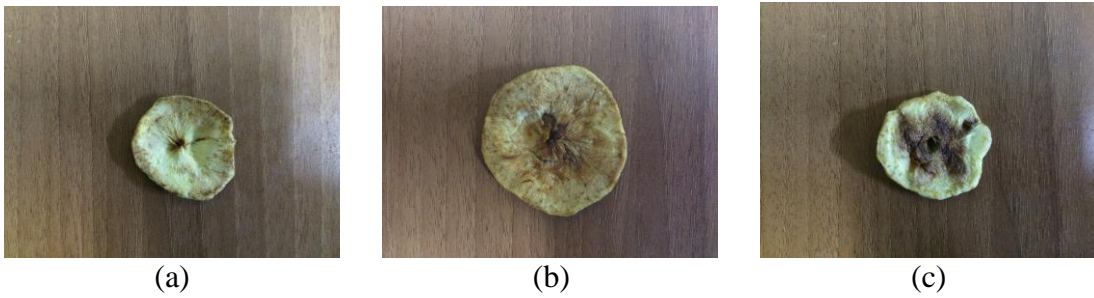
2 mm kalınlıktaki elma dilimleri için, bant hızının artması üründeki parlaklık değişimini de önemli ölçüde arttırmıştır. Bant hızı arttıkça renk değişimi ve deformasyonların daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.5. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.6. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 2 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W

4.1.3. Mikrodalgada kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Toplam tüketim değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4'ten görüldüğü gibi mikrodalg gücü azaldıkça tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir. Düşük mikrodalg

güçlerinde üretilen ısı az olduğundan, üretilen ısının biyolojik malzeme içerisinde transferi ve üründen çevreye olan ısı transferi için daha fazla zaman söz konusudur. Böylece ürünün içerisindeki suyun buharlaşma sıcaklığına ulaşması için gereken süre uzamakta ve buharlaşma için harcanan enerji azalmaktadır. Bu durumda etkin bir kurutma sağlamasını engellemektedir.

Aynı şekilde, kuruma süreleri dikkate alındığında yüksek mikrodalga güçlerinde sürelerin kısaldığı, düşük güçlerde ise arttığı görülmektedir. Bant hızının kuruma süresine etkisi açısından bir karşılaştırma yapılırsa; yüksek bant hızlarında kuruma süresinin arttığı, düşük hızlarda azaldığı ölçülmüştür. Aradaki farklar fazla olmamakla birlikte, süre farklarının sebebi fırın içindeki mikrodalga enerjisi yoğunluğunun mikrodalga güç ünitelerinin altında en yüksek değerde olması ve yüksek bant hızlarında ürünün mikrodalga enerjisinin yoğunlaştığı bölgelerden hızlıca geçerek enerjiye daha az oranda maruz kalmasıdır.

4.1.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi

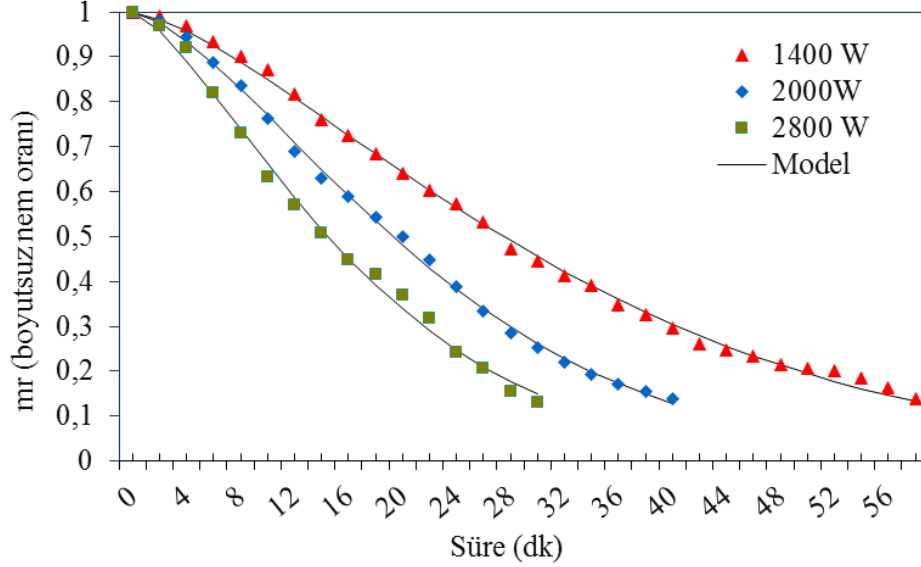
4.1.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,027	0,992	0,103	0,062
	2000 W	k= 0,039	0,990	0,086	0,067
	2800 W	k= 0,051	0,993	0,050	0,060
Page	1400 W	k= 0,006 / n= 1,431	0,998	0,004	0,012
	2000 W	k= 0,009 / n= 1,486	0,998	0,002	0,012
	2800 W	k= 0,017 / n= 1,393	0,995	0,006	0,021
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,151 / k= 0,032	0,987	0,030	0,034
	2000 W	a= 1,166 / k= 0,047	0,982	0,028	0,040
	2800 W	a= 1,157 / k= 0,061	0,987	0,014	0,033
Geometric	1400 W	a= 1,705 / n= 0,403	0,754	0,548	0,142
	2000 W	a= 1,669 / n= 0,451	0,770	0,354	0,140
	2800 W	a= 1,595 / n= 0,481	0,818	0,195	0,123
Wang and Singh	1400 W	a= -0,020 / b= 0,000	0,992	0,029	0,033
	2000 W	a= -0,028 / b= 0,000	0,993	0,017	0,031
	2800 W	a= -0,038 / b= 0,000	0,993	0,010	0,028

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.7’de çizilmiştir.



Şekil 4.7. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.7’den de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

4.1.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

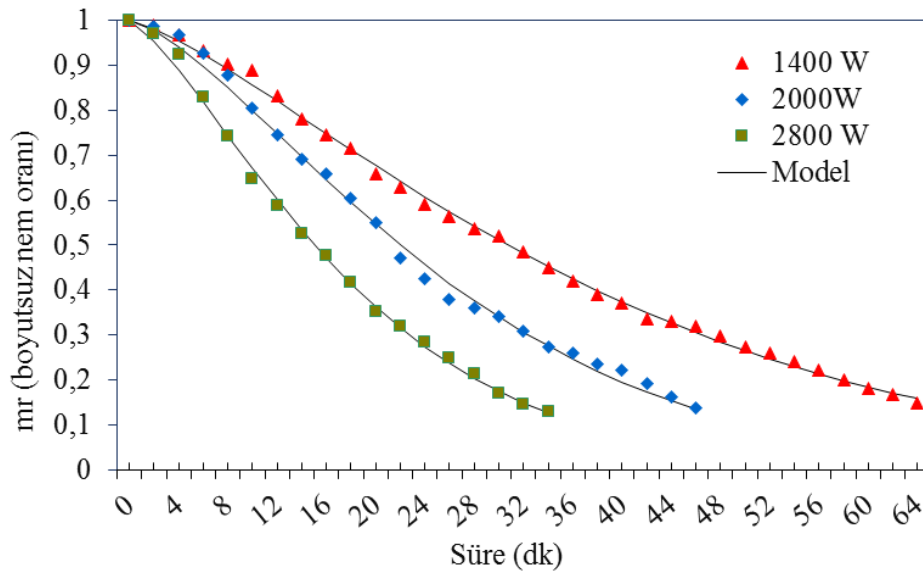
Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,024	0,995	0,073	0,048
	2000 W	k= 0,034	0,992	0,090	0,064
	2800 W	k= 0,049	0,997	0,045	0,053
Page	1400 W	k= 0,007 / n= 1,335	0,998	0,004	0,012
	2000 W	k= 0,008 / n= 1,439	0,996	0,008	0,019
	2800 W	k= 0,018 / n= 1,344	0,998	0,003	0,014
Henderson and Pabis	1400 W	a= 0,309 / k= -0,179	0,686	0,068	0,151
	2000 W	a= 1,166 / k= 0,041	0,987	0,023	0,033
	2800 W	a= 1,152 / k= 0,058	0,994	0,008	0,023

Geometric	1400 W	a= 1,675 / n= 0,378	0,764	0,528	0,133
	2000 W	a= 0,265 / n= -0,717	0,856	0,252	0,110
	2800 W	a= 1,636 / n= 0,492	0,826	0,219	0,121
Wang and Singh	1400 W	a= -0,018 / b= 0,000	0,996	0,017	0,024
	2000 W	a= -0,025 / b= 0,000	0,989	0,031	0,039
	2800 W	a= -0,039 / b= 0,000	0,995	0,012	0,028

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.8’de çizilmiştir.



Şekil 4.8. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.8’den de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

4.1.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

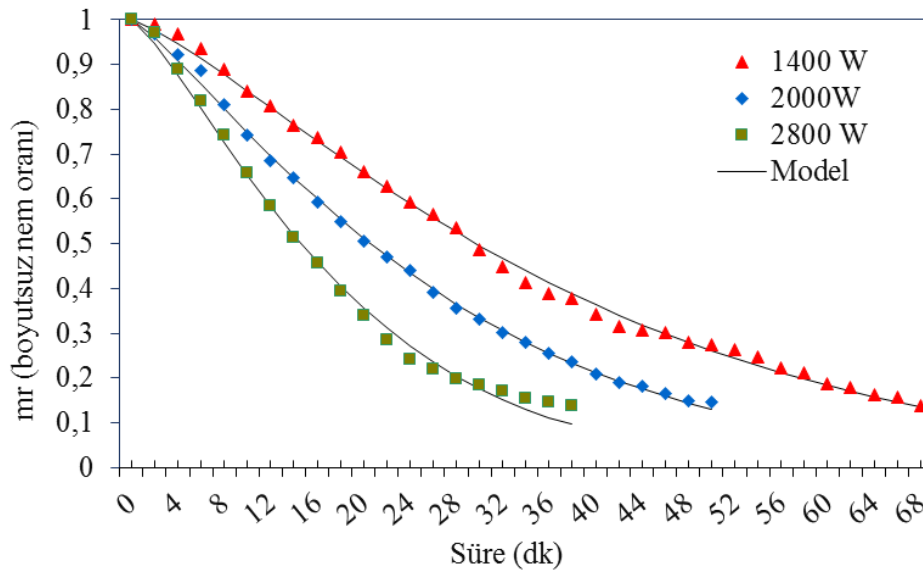
Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,025	0,996	0,060	0,043
	2000 W	k= 0,036	0,998	0,027	0,034

	2800 W	k= 0,051	0,994	0,040	0,047
Page	1400 W	k= 0,009 / n= 1,276	0,997	0,006	0,014
	2000 W	k= 0,018 / n= 1,212	0,999	0,002	0,010
	2800 W	k= 0,022 / n= 1,277	0,995	0,008	0,021
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,112 / k= 0,028	0,994	0,015	0,022
	2000 W	a= 1,095 / k= 0,040	0,997	0,005	0,015
	2800 W	a= 1,141 / k= 0,059	0,994	0,008	0,022
Geometric	1400 W	a= 1,716 / n= 0,398	0,776	0,545	0,131
	2000 W	a= 1,640 / n= 0,443	0,812	0,322	0,118
	2800 W	a= 1,666 / n= 0,517	0,835	0,238	0,118
Wang and Singh	1400 W	a= -0,020 / b= 0,000	0,996	0,020	0,025
	2000 W	a= -0,029 / b= 0,000	0,999	0,007	0,018
	2800 W	a= -0,043 / b= 0,001	0,997	0,018	0,032

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.9’da çizilmiştir.



Şekil 4.9. 2 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.9’dan da görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

4.2. 4 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler

4.2.1. Deneysel kuruma davranışları

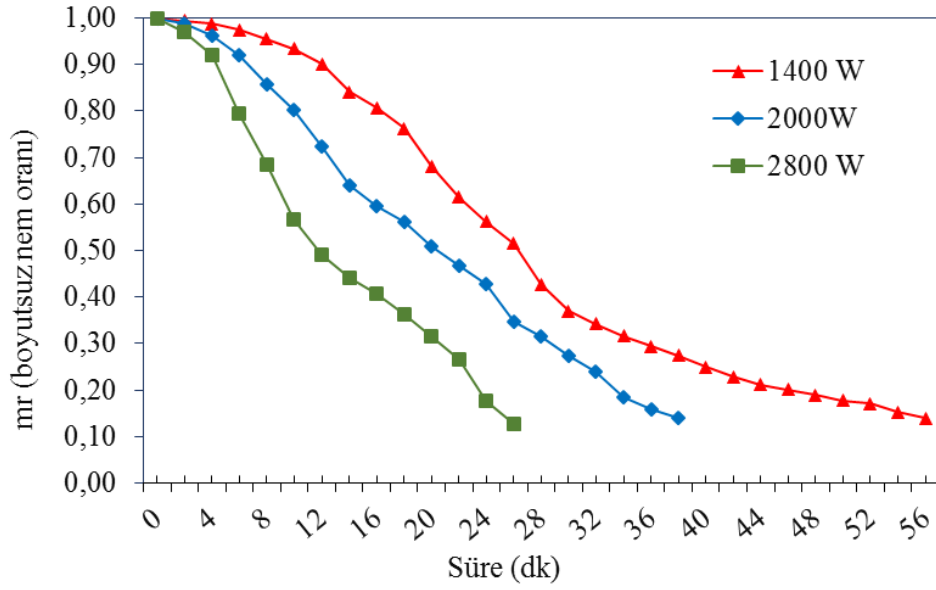
4.2.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneyle neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)
0	0	10,31	86,6%	0	10,20	86,5%	0	10,30	86,6%
2	2	9,98	86,2%	2	9,49	85,5%	2	8,62	84,0%
4	4	9,53	85,5%	4	8,24	83,3%	4	6,83	79,8%
6	6	8,85	84,4%	6	6,76	79,6%	6	4,43	68,8%
8	8	7,96	82,7%	8	5,35	74,2%	8	3,39	59,3%
10	10	7,24	80,9%	10	4,52	69,5%	10	2,71	49,1%
12	12	6,28	78,0%	12	3,69	62,6%	12	2,40	42,5%
14	14	5,08	72,8%	14	3,09	55,3%	14	2,23	38,1%
16	16	4,58	69,9%	16	2,85	51,6%	16	2,13	35,2%
18	18	4,06	66,0%	18	2,68	48,5%	18	2,01	31,3%
20	20	3,37	59,1%	20	2,47	44,1%	20	1,90	27,4%
22	22	2,95	53,2%	22	2,32	40,5%	22	1,79	22,9%
24	24	2,69	48,7%	24	2,19	37,0%	24	1,63	15,3%
26	26	2,49	44,6%	26	1,97	29,9%	26	1,55	11,0%
28	28	2,19	37,0%	28	1,90	27,4%			
30	30	2,03	32,0%	30	1,81	23,8%			
32	32	1,96	29,6%	32	1,74	20,7%			
34	34	1,90	27,4%	34	1,64	15,9%			
36	36	1,85	25,4%	36	1,60	13,8%			
38	38	1,81	23,8%	38	1,57	12,1%			
40	40	1,76	21,6%						
42	42	1,72	19,8%						
44	44	1,69	18,3%						
46	46	1,67	17,4%						
48	48	1,65	16,4%						
50	50	1,63	15,3%						
52	52	1,62	14,8%						
54	54	1,59	13,2%						
56	56	1,57	12,1%						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

4.2.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

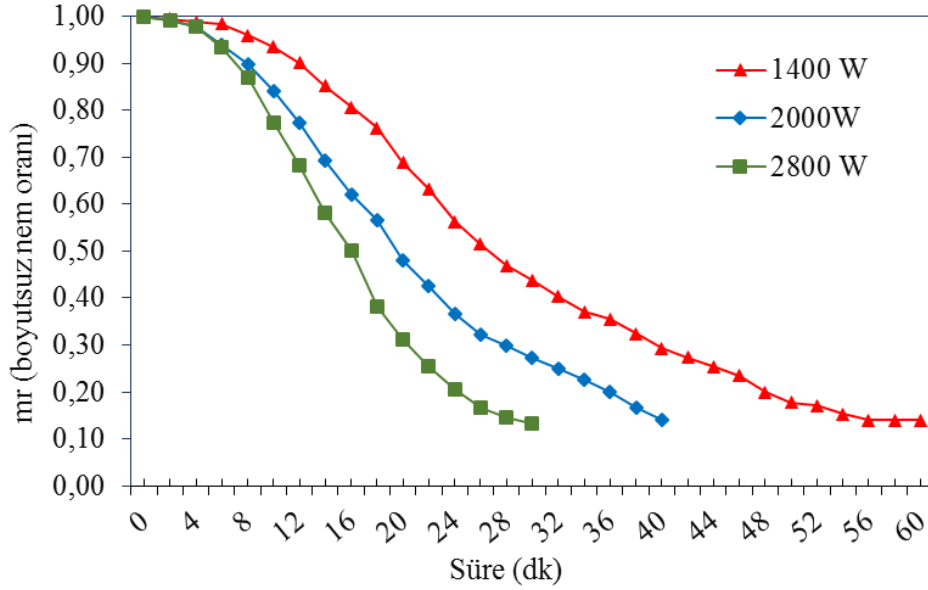
Deneyler neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)
0	0	10,31	86,6%	0	10,24	86,5%	0	10,23	86,5%
2	2	9,98	86,2%	2	9,75	85,8%	2	9,71	85,8%
4	4	9,53	85,5%	4	9,04	84,7%	4	8,95	84,6%
6	6	9,37	85,3%	6	7,34	81,2%	6	7,22	80,9%
8	8	8,19	83,1%	8	6,17	77,6%	8	5,55	75,1%
10	10	7,24	80,9%	10	5,05	72,7%	10	4,16	66,8%
12	12	6,28	78,0%	12	4,17	66,9%	12	3,36	58,9%
14	14	5,26	73,8%	14	3,44	59,9%	14	2,78	50,4%
16	16	4,58	69,9%	16	2,98	53,7%	16	2,44	43,4%
18	18	4,06	66,0%	18	2,71	49,1%	18	2,06	33,0%
20	20	3,41	59,6%	20	2,36	41,5%	20	1,89	27,0%
22	22	3,05	54,8%	22	2,18	36,8%	22	1,77	22,0%
24	24	2,69	48,7%	24	2,02	31,7%	24	1,68	17,9%
26	26	2,49	44,6%	26	1,91	27,7%	26	1,61	14,3%
28	28	2,32	40,6%	28	1,86	25,8%	28	1,58	12,7%
30	30	2,22	37,9%	30	1,81	23,7%	30	1,56	11,5%

32	32	2,12	34,9%	32	1,76	21,6%			
34	34	2,03	32,1%	34	1,72	19,6%			
36	36	1,99	30,8%	36	1,67	17,4%			
38	38	1,92	28,0%	38	1,61	14,5%			
40	40	1,85	25,3%	40	1,57	12,1%			
42	42	1,81	23,7%						
44	44	1,77	22,0%						
46	46	1,73	20,3%						
48	48	1,67	17,3%						
50	50	1,63	15,3%						
52	52	1,62	14,8%						
54	54	1,59	13,2%						
56	56	1,57	12,1%						
58	58	1,57	12,1%						
60	60	1,57	12,1%						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

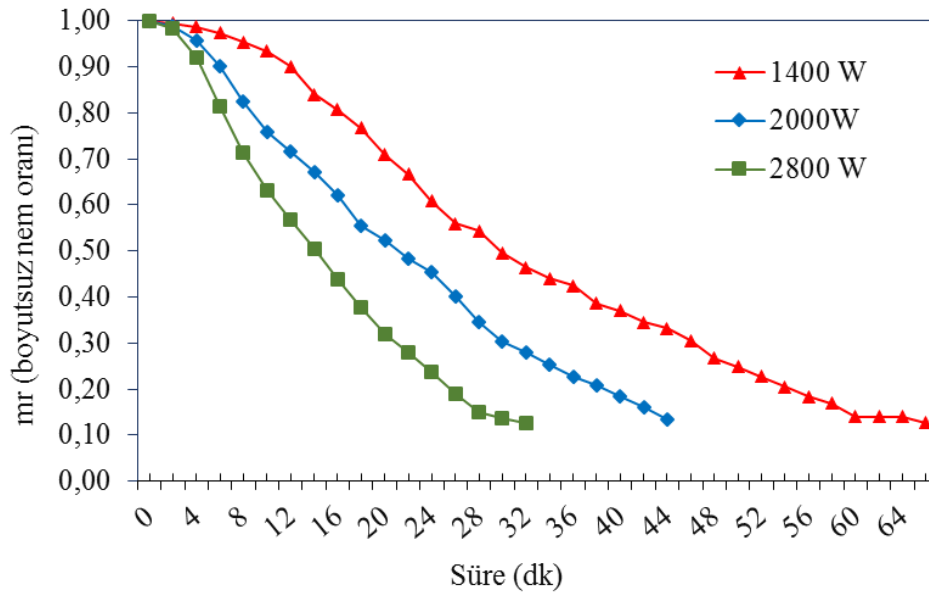
4.2.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneyler neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut. nem oranı)
0	0	10,31	86,6%	0	10,21	86,5%	0	10,22	86,5%
2	2	9,98	86,2%	2	9,50	85,5%	2	9,26	85,1%
4	4	9,53	85,5%	4	8,00	82,8%	4	6,75	79,5%
6	6	8,85	84,4%	6	6,26	78,0%	6	4,67	70,4%
8	8	7,96	82,7%	8	4,80	71,3%	8	3,60	61,7%
10	10	7,24	80,9%	10	4,02	65,7%	10	3,05	54,8%
12	12	6,28	78,0%	12	3,62	61,9%	12	2,71	49,1%
14	14	5,08	72,8%	14	3,30	58,2%	14	2,45	43,7%
16	16	4,58	69,9%	16	2,98	53,7%	16	2,22	37,8%
18	18	4,12	66,5%	18	2,65	47,9%	18	2,05	32,7%
20	20	3,58	61,5%	20	2,52	45,2%	20	1,91	27,7%
22	22	3,27	57,7%	22	2,37	41,8%	22	1,82	24,2%
24	24	2,92	52,7%	24	2,27	39,2%	24	1,74	20,6%
26	26	2,68	48,5%	26	2,11	34,6%	26	1,65	16,5%
28	28	2,61	47,1%	28	1,97	30,0%	28	1,59	13,1%
30	30	2,42	43,0%	30	1,87	26,3%	30	1,57	11,8%
32	32	2,31	40,2%	32	1,82	24,2%	32	1,55	11,0%
34	34	2,23	38,1%	34	1,76	21,8%			
36	36	2,18	36,8%	36	1,72	19,6%			
38	38	2,07	33,4%	38	1,68	18,1%			
40	40	2,03	32,1%	40	1,64	15,9%			
42	42	1,97	29,9%	42	1,60	13,9%			
44	44	1,94	28,7%	44	1,56	11,5%			
46	46	1,88	26,5%						
48	48	1,79	23,1%						
50	50	1,76	21,6%						
52	52	1,72	19,7%						
54	54	1,68	17,7%						
56	56	1,64	15,9%						
58	58	1,62	14,6%						
60	60	1,57	12,1%						
62	62	1,57	12,1%						
64	64	1,57	12,1%						
66	66	1,55	11,0%						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

Çizelge 4.12’de ise yapılan 4 mm kalınlıktaki elma dilimleri ile yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.12. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütle (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk - 1400 W	56	10,31	1,57	86,6	12,1	2,1415
0,175 m/dk - 2000 W	38	10,20	1,57	86,5	12,1	1,6847
0,175 m/dk - 2800 W	26	10,30	1,55	86,6	11,0	1,3440
0,210 m/dk - 1400 W	60	10,31	1,57	86,6	12,1	2,2944
0,210 m/dk - 2000 W	40	10,24	1,57	86,5	12,1	1,7540
0,210 m/dk - 2800 W	30	10,23	1,56	86,5	11,5	1,5762
0,245 m/dk - 1400 W	66	10,31	1,55	86,6	11,0	2,5239
0,245 m/dk - 2000 W	44	10,21	1,56	86,5	11,5	1,9680
0,245 m/dk - 2800 W	32	10,22	1,55	86,5	11,0	1,6566

4.2.2. Renk analiz sonuçları

Taze ürün ile kurutucuda kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 5 tekrarlı renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabii tutulmuştur.

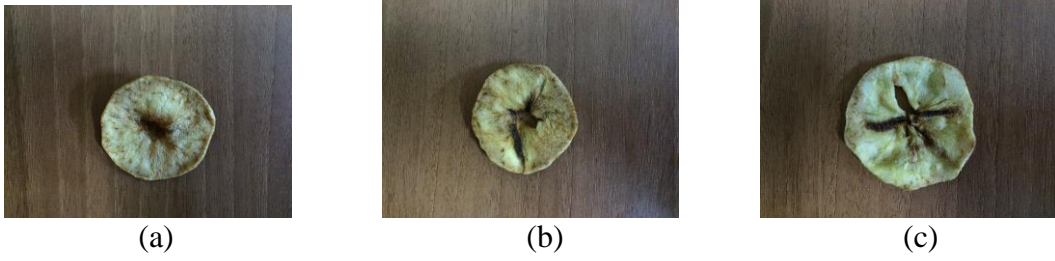
Mikrodalga kurutucuda kurutulan 4 mm kalınlığındaki dilimlerin renk parametreleri Çizelge 4.13'te verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutmada parlaklık (ΔL) için en fazla kayıplar 0,245 m/dk bant hızında ve 2800 W güçte görülmüştür. Aşırı ısınma nedeniyle üründe yanmalar, dolayısıyla kararmalar da görülmektedir. Düşük mikrodalga güçlerinde ürün yavaş ısındığı için daha üniform kuruma meydana gelmiş, dolayısıyla renk ve parlaklık (L^*) değişimi az olmuştur.

Çizelge 4.13. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri

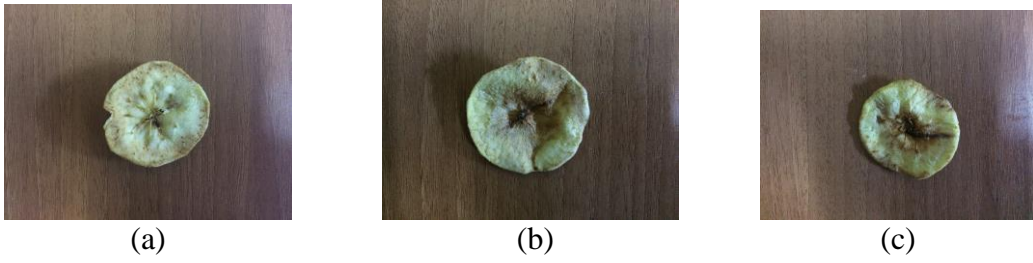
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	70,12	-0,62	17,32						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 1400 W	69,67	7,49	34,06	34,87	1,35	8,11	16,74	-0,45	18,6065
0,175 m/dk - 2000 W	66,72	11,45	35,46	37,26	1,26	12,07	18,14	-3,4	22,0523
0,175 m/dk - 2800 W	62,97	5,28	34,29	34,69	1,42	5,9	16,97	-7,15	19,3368
0,210 m/dk - 1400 W	66,77	8,52	30,11	31,29	1,30	9,14	12,79	-3,35	16,0732
0,210 m/dk - 2000 W	64,70	2,49	29,84	29,94	1,49	3,11	12,52	-5,42	13,9928
0,210 m/dk - 2800 W	63,35	10,04	30,67	32,27	1,25	10,66	13,35	-6,77	18,3764
0,245 m/dk - 1400 W	65,24	6,79	32,18	32,89	1,36	7,41	14,86	-4,88	17,3073
0,245 m/dk - 2000 W	64,29	5,85	33,51	34,02	1,40	6,47	16,19	-5,83	18,3838
0,245 m/dk - 2800 W	59,16	8,20	29,42	30,54	1,30	8,82	12,1	-10,96	18,556

Düşük güçte çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu 2 mm kalınlıktan sonra 4 mm kalınlıktaki dilimler için de saptanmıştır. Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 dikkate alındığında parlaklık kriterinin yanında şekil değiştirme, görünüş faktörünü de dikkate alırsak özellikle 1400 W güçte yapılan kurutmalardaki dilimlerin daha düzenli olduğu ve geometrik yapısını bozmadığı görülmüştür. 0,245 m/dk bant hızı haricinde 2000 W güçte yapılan deneylerden de kalite anlamında iyi sonuçlar alınmıştır. 2800 W güçte yapılan kurutmalarda ise geometrik yapılar tam olarak bozulmamış olsa bile, üründe deformasyonlar ve yanık izleri meydana gelmiştir. Geometrik yapı ve parlaklık kriterleri göz önüne alındığında 1400 W ve 2000 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminin daha uygun olduğu söylenebilir.

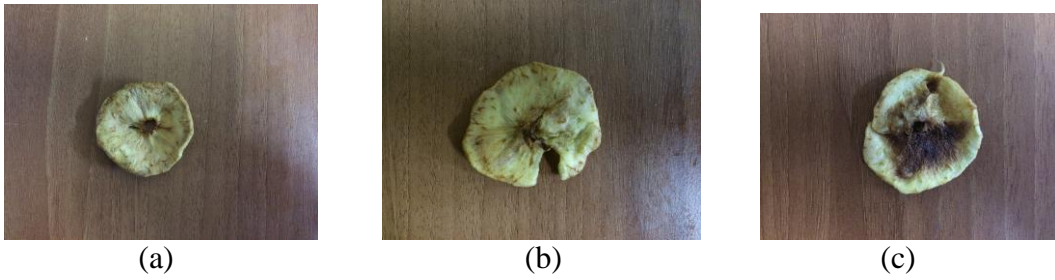
4 mm kalınlıktaki elma dilimleri için, bant hızının artması ürünlerdeki parlaklık değişimini de önemli ölçüde arttırmıştır. Bant hızı arttıkça renk değişimi ve deformasyonların daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.14. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.15. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W

4.2.3. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Toplam tüketim değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Çizelge 4.12’den görüldüğü gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır.

Aynı şekilde, kuruma süreleri dikkate alındığında yüksek mikrodalga güçlerinde sürelerin kısaldığı, düşük güçlerde ise arttığı görülmektedir. Bant hızının kuruma süresine

etkisi açısından bir karşılaştırma yapılırsa; yüksek bant hızlarında kuruma süresinin arttığı, düşük hızlarda azaldığı ölçülmüştür.

Kuruma süreleri ve tüketilen elektrik gücü ile ilgili sonuçlar 2 mm kalınlığındaki dilimler ile benzer olduğundan tüketim miktarı ve süre ile ilgili gerekli açıklamalar bu bölümde tekrarlanmamıştır.

4.2.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi

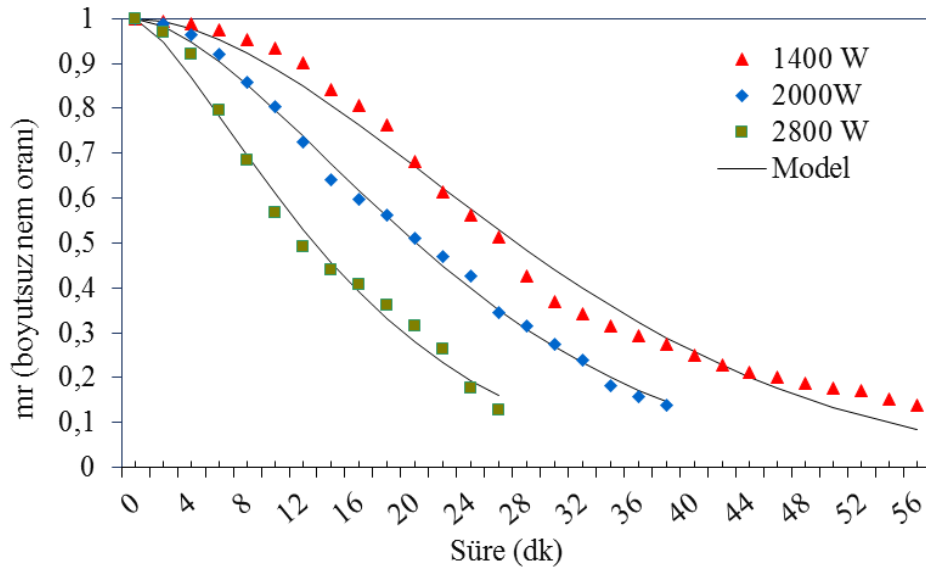
4.2.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,028	0,968	0,292	0,104
	2000 W	k= 0,037	0,985	0,111	0,079
	2800 W	k= 0,057	0,989	0,048	0,063
Page	1400 W	k= 0,002 / n= 1,762	0,986	0,039	0,039
	2000 W	k= 0,006 / n= 1,596	0,997	0,005	0,017
	2800 W	k= 0,021 / n= 1,373	0,987	0,012	0,033
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,242 / k= 0,036	0,958	0,115	0,067
	2000 W	a= 1,187 / k= 0,046	0,975	0,038	0,047
	2800 W	a= 1,170 / k= 0,070	0,986	0,013	0,034
Geometric	1400 W	a= 1,798 / n= 0,419	0,695	0,831	0,179
	2000 W	a= 1,645 / n= 0,425	0,757	0,360	0,146
	2800 W	a= 1,605 / n= 0,505	0,840	0,145	0,115
Wang and Singh	1400 W	a= -0,019 / b= 0,000	0,960	0,143	0,074
	2000 W	a= -0,024 / b= 0,000	0,991	0,018	0,033
	2800 W	a= -0,043 / b= 0,000	0,984	0,019	0,041

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.16’da çizilmiştir.



Şekil 4.16. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

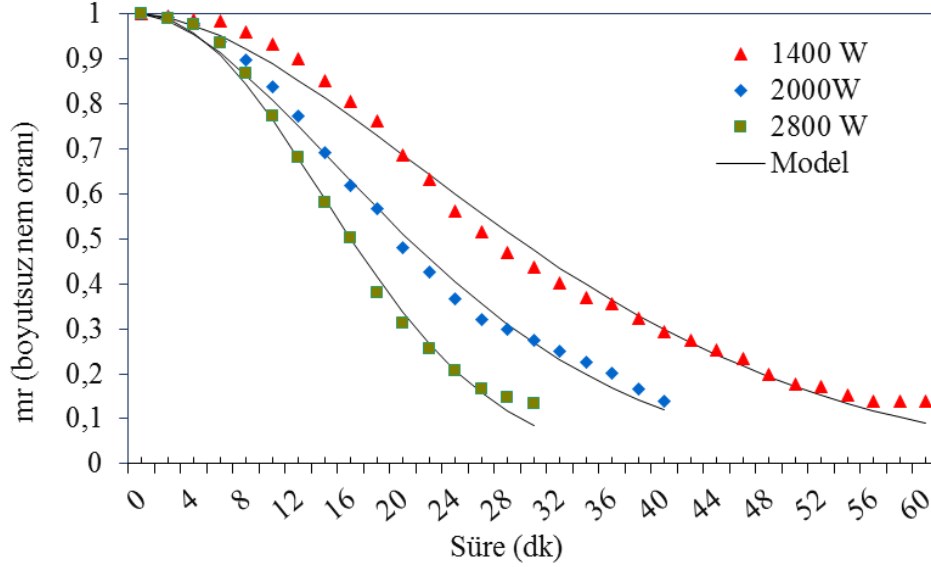
4.2.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,027	0,979	0,258	0,094
	2000 W	k= 0,037	0,982	0,153	0,090
	2800 W	k= 0,048	0,968	0,210	0,122
Page	1400 W	k= 0,002 / n= 1,684	0,992	0,025	0,030
	2000 W	k= 0,005 / n=1,662	0,993	0,012	0,026
	2800 W	k= 0,003 / n= 2,021	0,996	0,007	0,023
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,229 / k= 0,034	0,969	0,088	0,056
	2000 W	a= 1,223 / k= 0,047	0,973	0,047	0,051
	2800 W	a= 1,294 / k= 0,065	0,949	0,079	0,078
Geometric	1400 W	a= 1,794 / n= 0,411	0,708	0,835	0,173
	2000 W	a= 1,705 / n= 0,438	0,746	0,439	0,156
	2800 W	a= 1,732 / n= 0,488	0,721	0,421	0,180
Wang and Singh	1400 W	a= -0,018 / b= 0,000	0,971	0,108	0,062
	2000 W	a= -0,025 / b= 0,000	0,975	0,057	0,056
	2800 W	a= -0,027 / b= 0,000	0,964	0,065	0,071

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.17’de çizilmiştir.



Şekil 4.17. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

4.2.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

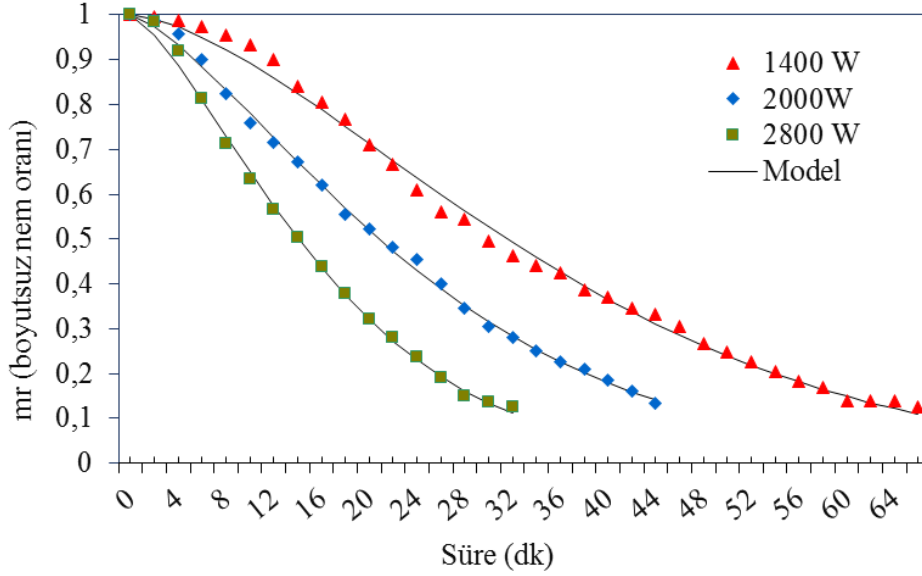
Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,024	0,987	0,201	0,079
	2000 W	k= 0,036	0,994	0,067	0,056
	2800 W	k= 0,054	0,997	0,055	0,061
Page	1400 W	k= 0,003 / n= 1,571	0,996	0,013	0,021
	2000 W	k= 0,010 / n= 1,393	0,998	0,003	0,012
	2800 W	k= 0,017 / n= 1,401	0,998	0,003	0,015
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,195 / k= 0,030	0,978	0,063	0,045
	2000 W	a= 1,146 / k= 0,042	0,989	0,018	0,030
	2800 W	a= 1,179 / k= 0,065	0,993	0,009	0,026
Geometric	1400 W	a= 1,796 / n= 0,400	0,718	0,812	0,162
	2000 W	a= 1,670 / n= 0,435	0,787	0,344	0,131
	2800 W	a= 1,670 / n= 0,518	0,828	0,216	0,124

Wang and Singh	1400 W	a= -0,017 / b= 0,000	0,985	0,064	0,045
	2000 W	a= -0,027 / b= 0,000	0,996	0,013	0,026
	2800 W	a= -0,041 / b= 0,000	0,995	0,015	0,032

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.18’de çizilmiştir.



Şekil 4.18. 4 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

4.3. 6 mm Kalınlıktaki Elma Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler

4.3.1. Deneysel kuruma davranışları

4.3.1.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

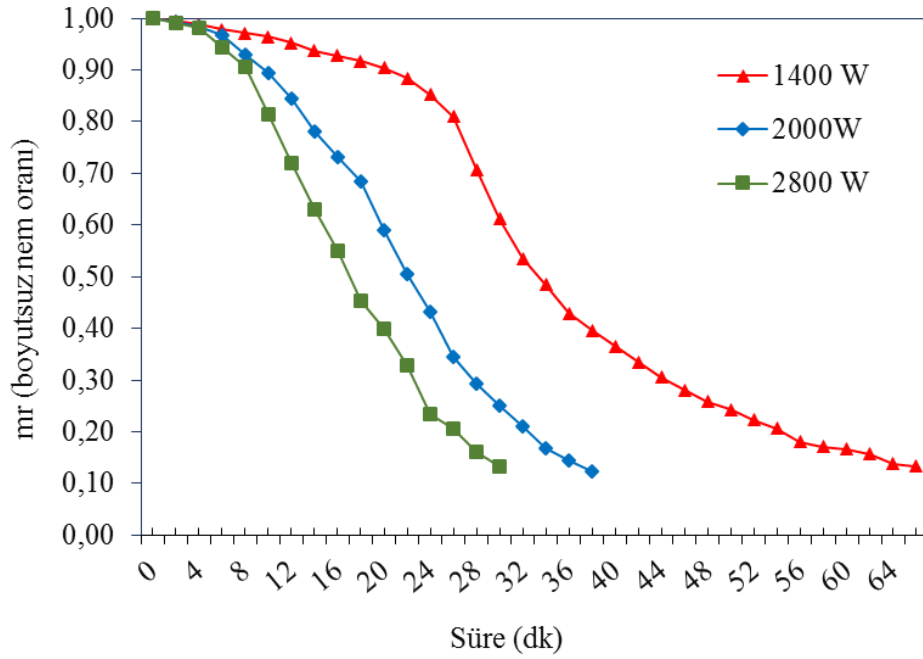
Deneysel neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.17’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	m_r (boyut. nem oranı)
0	13,96	86,9%	1,00	13,72	86,7%	1,00	13,96	86,9%	1,00

2	13,52	86,5%	1,00	13,13	86,1%	0,99	13,07	86,0%	0,99
4	12,88	85,8%	0,99	12,48	85,3%	0,98	12,44	85,3%	0,98
6	12,20	85,0%	0,98	11,24	83,7%	0,97	10,16	82,0%	0,94
8	11,75	84,4%	0,97	9,39	80,5%	0,93	8,59	78,7%	0,91
10	11,27	83,8%	0,96	8,10	77,4%	0,89	6,23	70,6%	0,81
12	10,62	82,8%	0,95	6,81	73,1%	0,84	4,89	62,6%	0,72
14	9,86	81,4%	0,94	5,66	67,7%	0,78	4,05	54,8%	0,63
16	9,46	80,7%	0,93	5,01	63,5%	0,73	3,51	47,9%	0,55
18	9,03	79,7%	0,92	4,49	59,2%	0,68	3,02	39,4%	0,45
20	8,52	78,5%	0,90	3,75	51,2%	0,59	2,80	34,6%	0,40
22	7,88	76,8%	0,88	3,25	43,7%	0,50	2,56	28,5%	0,33
24	7,04	74,0%	0,85	2,93	37,5%	0,43	2,30	20,4%	0,24
26	6,17	70,3%	0,81	2,61	29,9%	0,34	2,23	17,9%	0,21
28	4,75	61,5%	0,71	2,45	25,3%	0,29	2,13	14,1%	0,16
30	3,91	53,2%	0,61	2,34	21,8%	0,25	2,07	11,6%	0,13
32	3,42	46,5%	0,54	2,24	18,3%	0,21			
34	3,16	42,1%	0,48	2,14	14,5%	0,17			
36	2,92	37,3%	0,43	2,09	12,4%	0,14			
38	2,79	34,4%	0,40	2,05	10,7%	0,12			
40	2,68	31,7%	0,37						
42	2,58	29,1%	0,33						
44	2,49	26,5%	0,31						
46	2,42	24,4%	0,28						
48	2,36	22,5%	0,26						
50	2,32	21,1%	0,24						
52	2,27	19,4%	0,22						
54	2,23	17,9%	0,21						
56	2,17	15,7%	0,18						
58	2,15	14,9%	0,17						
60	2,14	14,5%	0,17						
62	2,12	13,7%	0,16						
64	2,08	12,0%	0,14						
66	2,07	11,6%	0,13						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.19’da görülmektedir.



Şekil 4.19. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

4.3.1.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

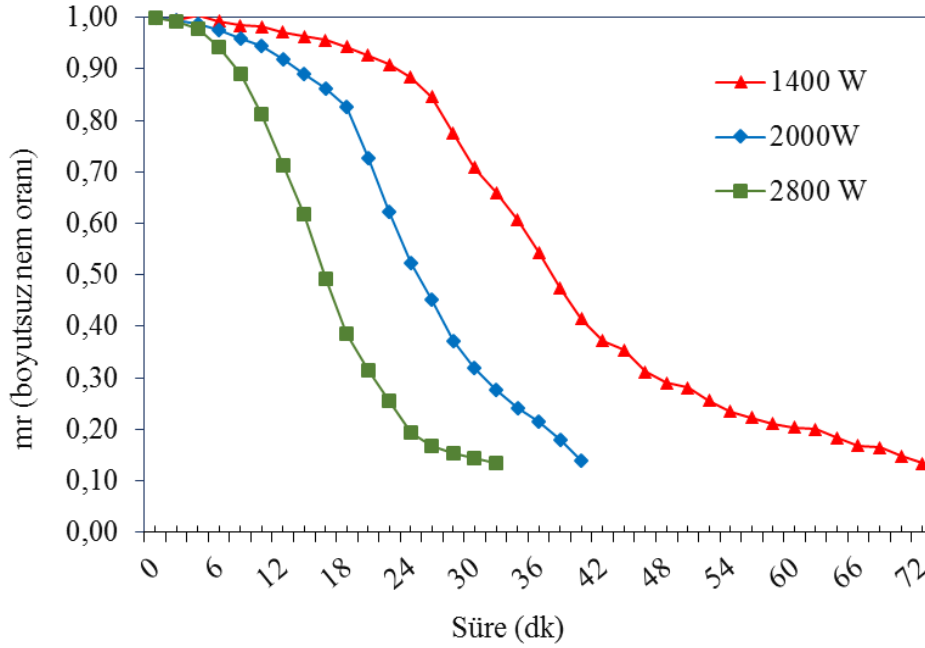
Deneyler neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.18’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.18. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m_s (yaş ağırlık) (g)	m_y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)
0	13,96	86,9%	1,00	13,81	86,7%	1,00	13,96	86,9%	1,00
2	13,52	86,5%	1,00	13,32	86,3%	0,99	13,23	86,2%	0,99
4	14,23	87,1%	1,00	12,77	85,7%	0,99	12,21	85,0%	0,98
6	13,27	86,2%	0,99	11,96	84,7%	0,98	10,06	81,8%	0,94
8	12,65	85,5%	0,98	10,91	83,2%	0,96	8,06	77,3%	0,89
10	12,43	85,3%	0,98	10,09	81,9%	0,94	6,21	70,5%	0,81
12	11,70	84,4%	0,97	8,99	79,6%	0,92	4,80	61,9%	0,71
14	11,23	83,7%	0,96	8,01	77,2%	0,89	3,95	53,7%	0,62
16	10,82	83,1%	0,96	7,26	74,8%	0,86	3,20	42,8%	0,49
18	10,12	81,9%	0,94	6,44	71,6%	0,83	2,75	33,5%	0,39
20	9,36	80,4%	0,93	4,94	63,0%	0,73	2,52	27,4%	0,32
22	8,70	79,0%	0,91	3,97	53,9%	0,62	2,35	22,1%	0,25
24	7,88	76,8%	0,88	3,35	45,4%	0,52	2,20	16,8%	0,19
26	6,90	73,5%	0,85	3,01	39,3%	0,45	2,14	14,5%	0,17

28	5,60	67,3%	0,77	2,70	32,3%	0,37	2,11	13,3%	0,15
30	4,76	61,6%	0,71	2,53	27,8%	0,32	2,09	12,5%	0,14
32	4,29	57,3%	0,66	2,41	24,0%	0,28	2,07	11,6%	0,13
34	3,87	52,7%	0,61	2,31	20,8%	0,24			
36	3,47	47,2%	0,54	2,25	18,6%	0,21			
38	3,11	41,1%	0,47	2,17	15,6%	0,18			
40	2,86	36,0%	0,41	2,08	12,0%	0,14			
42	2,70	32,3%	0,37						
44	2,64	30,8%	0,35						
46	2,51	27,0%	0,31						
48	2,45	25,2%	0,29						
50	2,42	24,3%	0,28						
52	2,35	22,2%	0,26						
54	2,30	20,4%	0,23						
56	2,27	19,3%	0,22						
58	2,24	18,3%	0,21						
60	2,22	17,7%	0,20						
62	2,21	17,4%	0,20						
64	2,18	15,9%	0,18						
66	2,14	14,6%	0,17						
68	2,13	14,3%	0,16						
70	2,10	12,9%	0,15						
72	2,07	11,6%	0,13						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

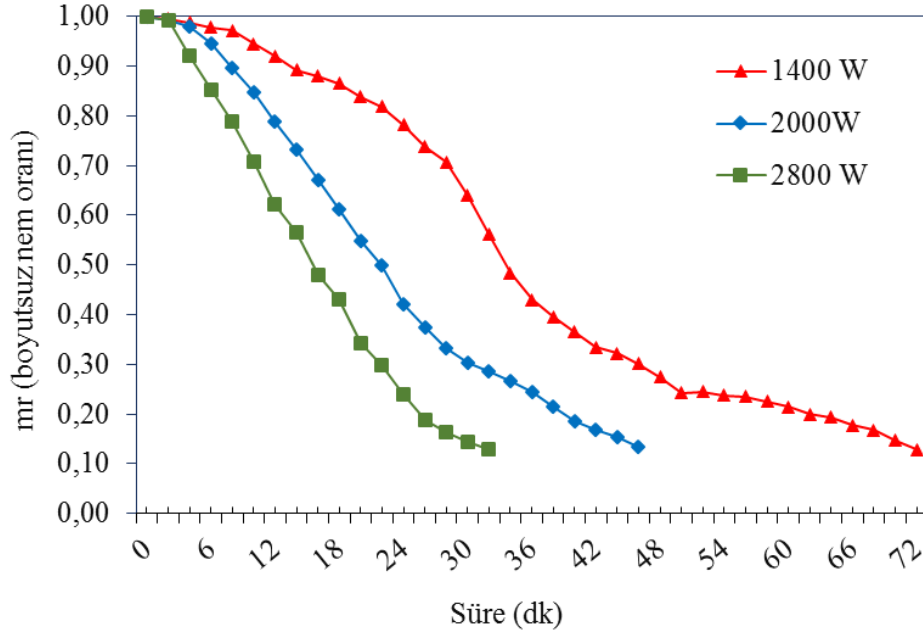
4.3.1.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneyle neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.19’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.19. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için deneysel veriler

Süre (dk)	1400 W			2000 W			2800 W		
	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	mr (boyut. nem oranı)
0	13,96	86,9%	1,00	13,67	86,6%	1,00	13,59	86,5%	1,00
2	13,52	86,5%	1,00	13,05	86,0%	0,99	12,88	85,8%	0,99
4	12,88	85,8%	0,99	12,13	84,9%	0,98	8,98	79,6%	0,92
6	12,20	85,0%	0,98	10,09	81,9%	0,95	7,00	73,9%	0,85
8	11,75	84,4%	0,97	8,15	77,5%	0,90	5,77	68,3%	0,79
10	10,24	82,1%	0,95	6,86	73,3%	0,85	4,73	61,3%	0,71
12	9,12	79,9%	0,92	5,79	68,4%	0,79	3,97	53,9%	0,62
14	8,15	77,5%	0,89	5,01	63,5%	0,73	3,59	49,0%	0,57
16	7,79	76,5%	0,88	4,36	58,0%	0,67	3,13	41,5%	0,48
18	7,38	75,2%	0,87	3,90	53,1%	0,61	2,92	37,3%	0,43
20	6,73	72,8%	0,84	3,48	47,4%	0,55	2,60	29,6%	0,34
22	6,34	71,2%	0,82	3,22	43,2%	0,50	2,47	25,9%	0,30
24	5,71	67,9%	0,78	2,88	36,5%	0,42	2,31	20,8%	0,24
26	5,10	64,1%	0,74	2,71	32,5%	0,37	2,19	16,2%	0,19
28	4,75	61,5%	0,71	2,57	28,8%	0,33	2,13	14,2%	0,16
30	4,12	55,6%	0,64	2,48	26,2%	0,30	2,09	12,4%	0,14
32	3,58	48,8%	0,56	2,43	24,7%	0,29	2,06	11,2%	0,13
34	3,16	42,1%	0,48	2,38	23,1%	0,27			
36	2,92	37,3%	0,43	2,32	21,1%	0,24			
38	2,79	34,4%	0,40	2,25	18,7%	0,22			
40	2,68	31,7%	0,37	2,18	16,1%	0,19			
42	2,58	29,1%	0,33	2,14	14,5%	0,17			
44	2,54	28,0%	0,32	2,11	13,3%	0,15			
46	2,48	26,2%	0,30	2,07	11,6%	0,13			
48	2,40	23,9%	0,27						
50	2,32	21,1%	0,24						
52	2,32	21,3%	0,24						
54	2,31	20,6%	0,24						
56	2,30	20,4%	0,23						
58	2,27	19,5%	0,22						
60	2,25	18,7%	0,21						
62	2,21	17,4%	0,20						
64	2,20	16,8%	0,19						
66	2,16	15,5%	0,18						
68	2,14	14,6%	0,17						
70	2,10	12,8%	0,15						
72	2,06	11,2%	0,13						

Üç farklı kurutma için gücü için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.21. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için kuruma eğrileri

Çizelge 4.20’de ise yapılan 6 mm kalınlıktaki elma dilimleri ile yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.20. 6 mm kalınlığındaki elma dilimlerin ait tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütle (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk - 1400 W	66	13,96	2,07	86,9	11,6	2,5490
0,175 m/dk - 2000 W	38	13,72	2,05	86,7	10,7	1,6786
0,175 m/dk - 2800 W	30	13,96	2,07	86,9	11,6	1,5476
0,210 m/dk - 1400 W	72	13,96	2,07	86,9	11,6	2,7807
0,210 m/dk - 2000 W	40	13,81	2,08	86,7	12,0	1,7723
0,210 m/dk - 2800 W	32	13,96	2,07	86,9	11,6	1,6754
0,245 m/dk - 1400 W	72	13,96	2,06	86,9	11,2	2,7807
0,245 m/dk - 2000 W	46	13,67	2,07	86,6	11,6	2,0139
0,245 m/dk - 2800 W	32	13,59	2,06	86,5	11,2	1,6597

4.3.2. Renk analiz sonuçları

Taze ürün ile kurutucuda kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 5 tekrarlı renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Mikrodalga kurutucuda kurutulan 6 mm kalınlığındaki dilimlerin renk parametreleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutmada parlaklık (ΔL) için en fazla kayıplar 0,245 m/dk bant hızında ve 2800 W güçte görülmüş olmasına rağmen daha düşük mikrodalga güçlerinde de renk değişimlerinin 2800 W güçteki değişimlere yakın olduğu saptanmıştır.

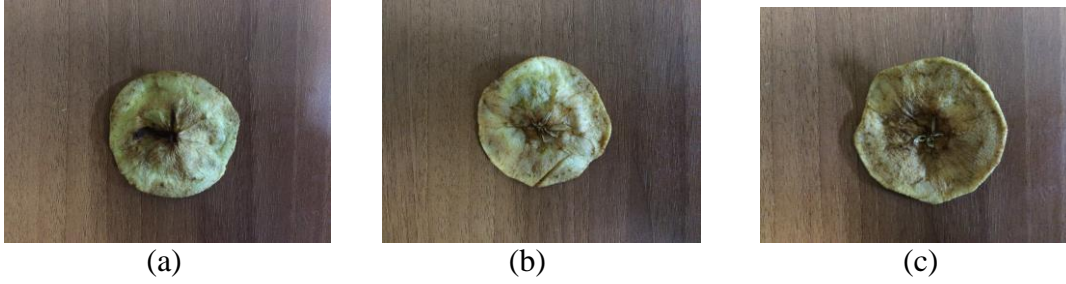
Çizelge 4.21. 4 mm kalınlığındaki elma dilimlerine ait renk parametreleri

	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	70,12	-0,62	17,32						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 1400 W	59,02	14,49	28,58	32,04	1,10	17,13	9,37	-11,09	22,4549
0,175 m/dk - 2000 W	58,76	12,73	32,02	34,46	1,19	15,37	12,81	-11,35	23,0034
0,175 m/dk - 2800 W	56,26	5,34	33,63	34,05	1,41	7,98	14,42	-13,85	21,5276
0,210 m/dk - 1400 W	61,23	8,24	24,62	25,96	1,25	10,88	5,41	-8,88	15,0498
0,210 m/dk - 2000 W	57,96	10,65	25,85	27,96	1,18	13,29	6,64	-12,15	19,1921
0,210 m/dk - 2800 W	56,88	7,61	26,74	27,80	1,29	10,25	7,53	-13,23	18,3520
0,245 m/dk - 1400 W	55,62	13,55	29,17	32,16	1,14	16,19	9,96	-14,49	23,9014
0,245 m/dk - 2000 W	54,76	12,51	33,30	35,57	1,21	15,15	14,09	-15,35	25,7619
0,245 m/dk - 2800 W	53,46	10,82	24,77	27,03	1,16	13,46	5,56	-16,65	22,1203

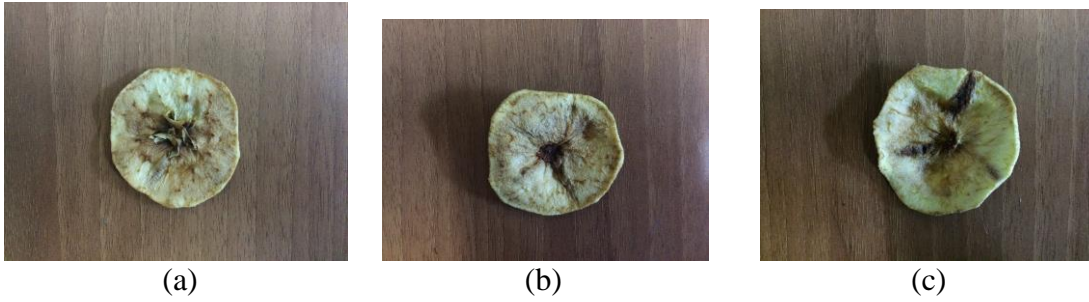
Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 dikkate alındığında parlaklık kriterinin yanında şekil değiştirme ve görünüş faktörü de tüm bant hızları ve mikrodalga benzer sonuçlar vermiştir. Ancak 2800 W güçte yapılan kurutmalarda diğer deneylere nazaran daha fazla yanık izleri ve yüzey deformasyonu meydana gelmiştir. Geometrik yapı ve parlaklık kriterleri

göz önüne alındığında 1400 W ve 2000 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminin daha uygun olduğu söylenebilir.

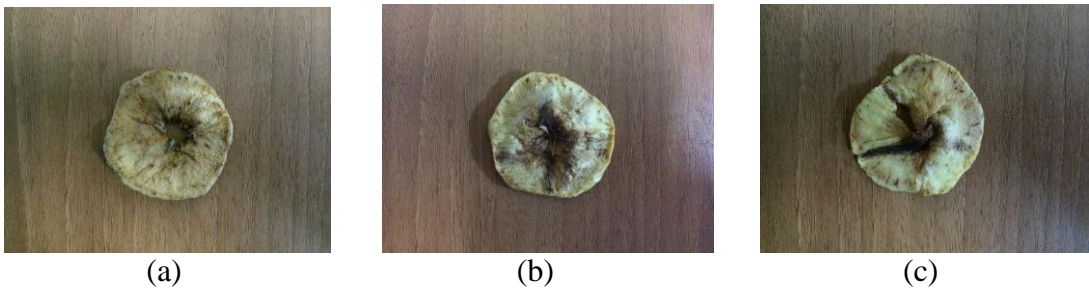
6 mm kalınlıktaki elma dilimleri için, bant hızının artması üründeki parlaklık seviyesini önemli ölçüde değiştirmemiştir. Ancak bant hızı arttıkça renk değişimi ve deformasyonların az da olsa arttığı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22. 0,175 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.23. 0,210 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W



Şekil 4.24. 0,245 m/dk bant hızında kurutulan 4 mm kalınlığındaki elma dilimleri kuruma sonrası durumları. (a) 1400 W, (b) 2000 W, (c) 2800 W

4.3.3. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Toplam tüketim değerleri Çizelge

4.20’de verilmiştir. Çizelge 4.20’den görüldüğü gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır.

Aynı şekilde, kuruma süreleri dikkate alındığında yüksek mikrodalga güçlerinde sürelerin kısaldığı, düşük güçlerde ise arttığı görülmektedir. Bant hızının kuruma süresine etkisi açısından bir karşılaştırma yapılırsa; yüksek bant hızlarında kuruma süresinin arttığı, düşük hızlarda azaldığı ölçülmüştür.

Kuruma süreleri ve tüketilen elektrik gücü ile ilgili sonuçlar 2 mm ve 4 mm kalınlığındaki dilimler ile benzer olduğundan tüketim miktarı ve süre ile ilgili gerekli açıklamalar bu bölümde tekrarlanmamıştır.

4.3.4. Kuruma davranışlarının modellenmesi

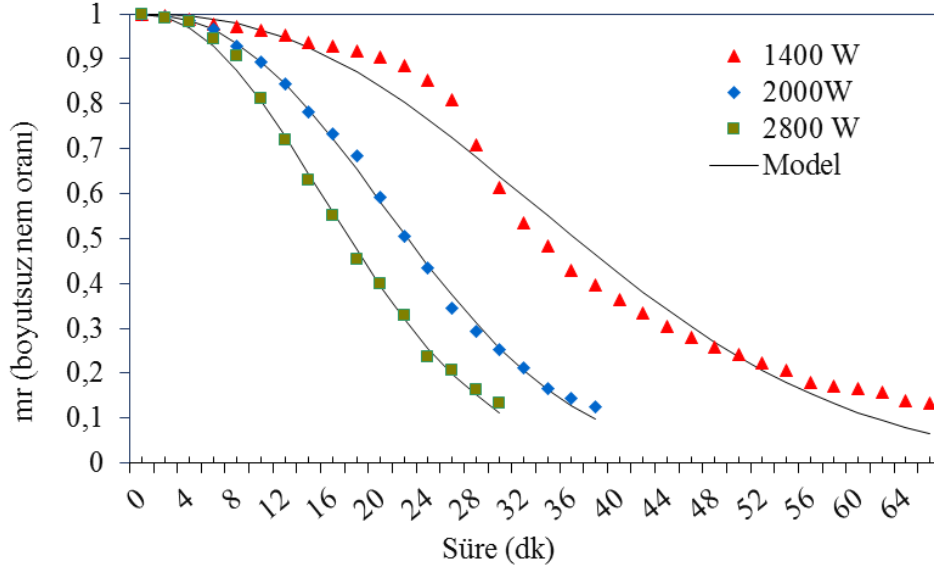
4.3.4.1. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,021	0,924	0,661	0,144
	2000 W	k= 0,033	0,945	0,316	0,132
	2800 W	k= 0,043	0,962	0,216	0,124
Page	1400 W	k= 0,000 / n= 0,285	0,980	0,075	0,049
	2000 W	k= 0,001 / n= 0,272	0,998	0,004	0,015
	2800 W	k= 0,002 / n= 2,102	0,998	0,003	0,016
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,271 / k= 0,028	0,901	0,362	0,108
	2000 W	a= 1,268 / k= 0,045	0,920	0,154	0,095
	2800 W	a= 1,279 / k= 0,058	0,940	0,087	0,082
Geometric	1400 W	a= 1,789 / n= 0,368	0,595	1,466	0,217
	2000 W	a= 1,696 / n= 0,408	0,653	0,649	0,195
	2800 W	a= 1,685 / n= 0,448	0,700	0,426	0,181
Wang and Singh	1400 W	a= -0,010 / b=0,000	0,934	0,257	0,091
	2000 W	a= -0,014 / b= 0,000	0,974	0,053	0,056
	2800 W	a= -0,020 / b= 0,000	0,974	0,043	0,057

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.25'te çizilmiştir.



Şekil 4.25. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

4.3.4.2. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

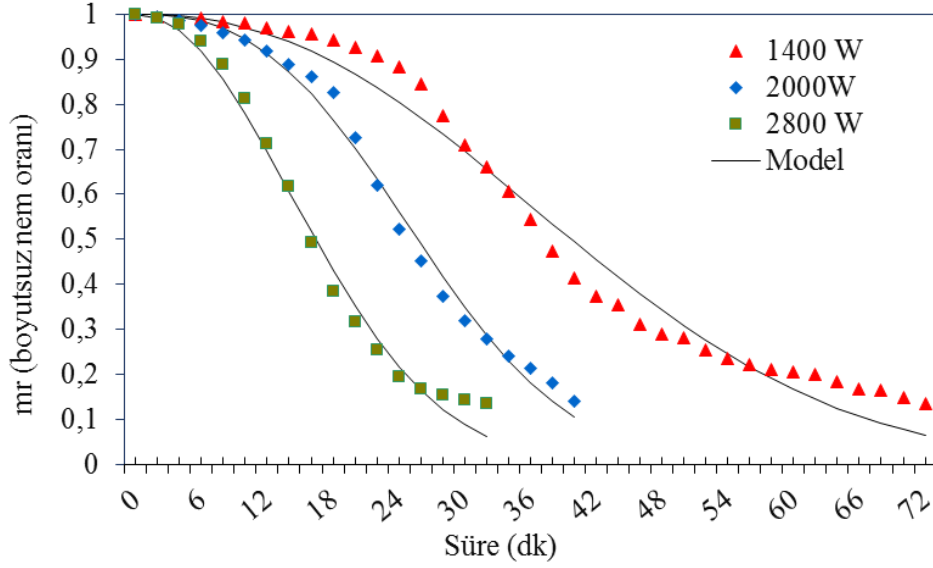
Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1'de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. 0,210 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,019	0,926	0,745	0,146
	2000 W	k= 0,027	0,905	0,449	0,154
	2800 W	k= 0,047	0,959	0,253	0,130
Page	1400 W	k= 0,000 / n= 2,303	0,980	0,085	0,050
	2000 W	k= 0,000 / n= 2,675	0,992	0,016	0,030
	2800 W	k= 0,000 / n= 2,077	0,990	0,018	0,035
Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,282 / k= 0,025	0,904	0,390	0,107
	2000 W	a= 1,275 / k= 0,038	0,876	0,250	0,118
	2800 W	a= 1,309 / k= 0,064	0,941	0,103	0,086
Geometric	1400 W	a= 1,837 / n= 0,363	0,589	1,645	0,220
	2000 W	a= 1,654 / n= 0,361	0,590	0,810	0,212
	2800 W	a= 1,752 / n= 0,494	0,706	0,502	0,189

Wang and Singh	1400 W	a= -0,009 / b= 0,000	0,931	0,303	0,094
	2000 W	a= -0,006 / b= 0,000	0,962	0,077	0,066
	2800 W	a = -0,028 / b= 0,000	0,950	0,103	0,086

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.26’da çizilmiştir.



Şekil 4.26. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

4.3.4.3. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutmanın modellenmesi

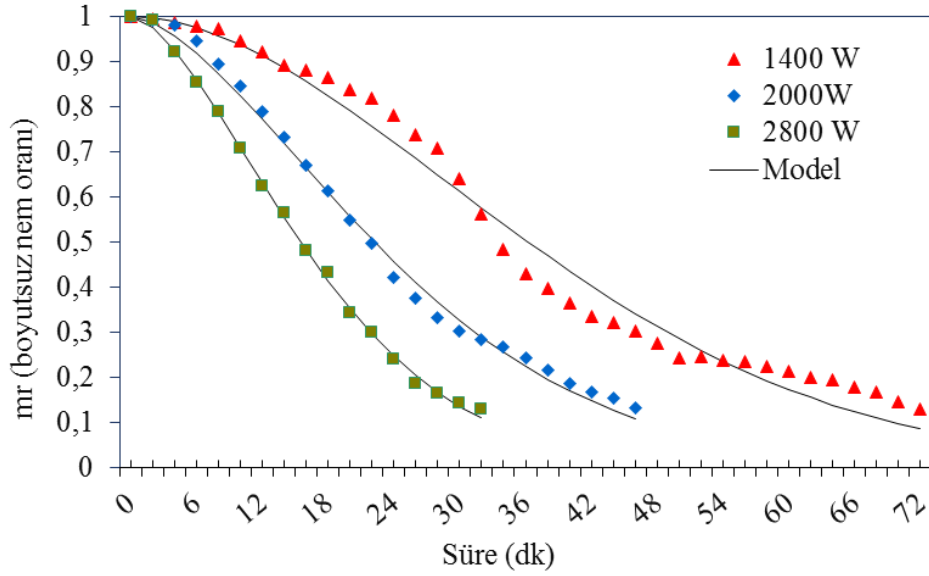
Kurutulan elma dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. 0,245 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	es	χ^2
Newton	1400 W	k= 0,021	0,954	0,426	0,110
	2000 W	k= 0,034	0,985	0,151	0,083
	2800 W	k= 0,049	0,988	0,098	0,081
Page	1400 W	k= 0,001 / n= 1,837	0,981	0,068	0,045
	2000 W	k= 0,005 / n= 1,601	0,995	0,010	0,022
	2800 W	k= 0,009 / n= 1,599	0,999	0,002	0,011

Henderson and Pabis	1400 W	a= 1,230 / k= 0,027	0,941	0,207	0,78
	2000 W	a= 1,209 / k= 0,043	0,977	0,046	0,047
	2800 W	a= 1,208 / k= 0,061	0,978	0,031	0,047
Geometric	1400 W	a= 1,815 / n= 0,382	0,654	1,219	0,189
	2000 W	a= 1,732 / n= 0,437	0,746	0,507	0,155
	2800 W	a= 1,674 / n= 0,492	0,782	0,293	0,145
Wang and Singh	1400 W	a= -0,014 / b= 0,000	0,951	0,205	0,078
	2000 W	a= -0,024 / b= 0,000	0,980	0,056	0,052
	2800 W	a= 0,034 / b= 0,000	0,989	0,022	0,039

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı mikrodalga güçleri için Şekil 4.27’de çizilmiştir.



Şekil 4.27. 6 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dk bant hızı için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2, 4 ve 6 mm kalınlıklarında dilimlenmiş elmaların mikrodalga ile çalışan bantlı kurutucuda kurutma sırasında kuruma karakteristiklerinin bazı kalite kriterleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada, ürünün $11,7 \pm 1$ (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları, tüm dilim kalınlıkları için 2800 W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemi vermiştir. Tüm dilim kalınlıkları için mikrodalga gücünün artırılması kuruma süreleri ve enerji tüketimlerini azaltmıştır. Bant hızı değişiminin kurutma işlemine etkilerine bakıldığında artan bant hızı değerlerinin kuruma sürelerini arttırdığı görülmüştür. Mikrodalga gücünün artması ile elektrik tüketimi ve kuruma süresinde azalma meydana gelmesine rağmen kalite değerlerinde de düşüş görülmüştür.

Kurutulan elma dilimleri renk açısından incelendiğinde, tüm dilim kalınlıkları için 1400 W toplam mikrodalga gücü ile çalışma koşullarına ait renk faktörleri, ürünün taze rengine en yakın sonuçları göstermektedir. Mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte renk kalitesinde de ciddi miktarda azalma ve yüzey deformasyonları görülmeye başlanmıştır. Bant hızının yükseltilmesi genel olarak renk kalitesini de aşağı seviyelere çekmiştir. Renk kalitesi açısından bakıldığında 2 mm kalınlığındaki dilimler için en iyi sonuçlar 0,210 m/dk bant hızı ve 1400 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminde belirlenmiştir. 4 mm kalınlığındaki dilimler için en iyi sonuç 0,175 m/dk bant hızı ve 1400 W mikrodalga gücünde görülmüştür. 6 mm kalınlığındaki dilimler için en iyi sonuç 0,210 m/dk bant hızı ve 1400 W mikrodalga gücünde alınmakla birlikte tüm deneyler için diğer dilim kalınlıklarına oranla daha düşük renk kalitesi ve fazla yüzey deformasyonu meydana gelmiştir.

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Newton, Page, Henderson and Pabis, Geometric, Wang and Singh modellerinde yer alan a, k, n, b katsayılarına mikrodalga gücü ve bant hızının etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modellerinin katsayılarını mikrodalga gücü ve bant hızına bağlı olarak en yüksek r değeri ile tahminleyen en çok üç terimli modeller oluşturulmuştur. Analizler sonucunda üç farklı dilim kalınlığı için yapılan tüm deney koşullarında kuruma kinetiklerini en iyi tahminleyen modelin “Page” kuruma modeli olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bantlı mikrodalga kurutucu ile kurutma uygulamalarında mümkün olduğu kadar düşük güç ve düşük bant hızı ile çalışmasının kalite kriterleri açısından daha yararlı olacağı söylenebilir. Ancak daha etkin kurutma koşullarının belirlenebilmesi için

kurutucu sistemde mikrodalga güç ünitelerinin yerleşimi, bant uzunluğu, kurutma kabini hacmi, mikrodalgaların daha etkin bir şekilde kurutulan ürüne yönlendirilmesi vb. teknik bazı düzenlemeler yapılması ile birlikte alınabilecek sonuçların doğruluğu artacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Acar J, Gökmen V, Us F (2006). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Hacettepe Üniversitesi Ankara, 2:404-405.
- Aktan N (1989). Endüstriyel Amaçlı 2450Mhz-1kW'lık Bir Mikrodalga Kaynağının İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Alibaş İ (2001). Bazı Sebze ve Meyvelerin Mikrodalga Işınlarla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Andres A, Bilbao C, Fito P (2004). Drying Kinetics of Apple Cylinders Under Combined Hot Air-Microwave Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63: 71-78.
- Anonim (2003). Elma Raporu. Türkiye Ziraat Odaları Birliği.
- Anonim (2009). Elma Yetiştiriciliği. Bahçecilik. (MEGEP) Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 3-29.
- Anonim (2014). Elma. http://tr.wikipedia.org/wiki/Elma#cite_ref-1 (erişim tarihi, 18.10.2014).
- Anonim (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division Data Base. <http://faostat.fao.org> (erişim tarihi 18.10.2014).
- Baysal T (1994). Bazı Sebzelerin Kalitesine Mikrodalga ve Diğer Haşlama Yöntemlerinin Etkileri Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- Chong H.C, Figiel A, Law C.L, Wojdyko A (2014). Combined Drying of Apple Cubes by Using of Heat Pump, Vacuum-Microwave, and Intermittent Techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4): 975-989.
- Cihan A, Kahveci K, Hacıhafizoğlu O (2007). Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *Journal of Food Engineering*, 79: 293-298.
- 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.
- Dağlıoğlu O (1993). Kıymalı Mantı Üretiminde Uygulanan Mikrodalga (2450Mhz) Kurutma İşleminin Ürün Kalitesine Etkisi Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Edirne.
- Decareau R.V (1985). *Microwaves In The Food Processing Industry*. Academic Press Inc London United Kingdom Edition, 1:3.

- Decareau R.V (1986). Microwave Food Processing Equipment Throughout the World. *Food Technology*, 40:99-105.
- Dikbasan T (2007). Determination of Effective Parameters for Drying of Apples. MSci. Thesis, Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir.
- Doymaz İ (2005). Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3): 341-346.
- Doymaz İ (2009). An Experimental Study on Drying of Green Apples. *Drying Technology: An International Journal*, 27(3): 478-485.
- Erdem T (2007). Ozon Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Eren Ö (2005). Mikrodalga Kurutucuda Maydanozun Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma. Y.Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- Erkan N (2001). Mikrodalga Isıtma Koşullarında Yağların Otoksidasyonunun İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Funebo T, Ohlsson T (1999). Microwave-Assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38(3): 353-367.
- Giese J (1992). Advances of Microwave Food Processing. *Food Technology*, 46:118-123.
- Guneseokan S (1989). Pulsed Microwave Drying Of Corn. *Transactions of The American Society of Agricultural Engineers*, 89(3): 14-18.
- Güngör A (2013). Sebze Ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular Ve Kurutma Teknolojileri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 43-63, İzmir.
- 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.
- Kanat A (2001). İ.T.Ü. Kosgeb’de Geliştirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karaaslan S (2008). Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Knutson K.M., Marth E.H., Wagner M.K (1987). Microwave Heating of Food. *Wisconsin U-Tech.*, 20:101-110.
- Konak Ü.İ., Certel M, Helhel S (2009). Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 20-31.

- Krokida M.K, Kiranoudis C.T, Maroulis Z.B, Marinos-Kouris D (2000). Drying Related Properties of Apple. *Drying Technology: An International Journal*, 18(6): 1251-1267.
- Kumar P (1991). Effect of Microwave Drying On Paper Properties. MSci. Thesis, McGill University Faculty of Graduate Studies and Research, Montreal, Canada.
- Kutbay I, Kuşkonmaz N (2004). Mikrodalga Isıtmanın Seramik Üretimde Kullanımı. *Metalürji Dergisi*, 137:52-56.
- Lambert J.P. (1980). Biological Hazards of Microwave Radiation. *J Food Protect*, 43:625-628.
- Li R, Huang L, Zhang M, Mujumdar A.S, Wang Y.C (2014). Freze Drying of Apple Slices With and Without Application of Microwaves. *Drying Technology: An International Journal*, 32(15): 1769-1776.
- Maskan M (2000). Microwave/air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78.
- Nasıroğlu Ş (2007). Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması. Y. Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Oğulata T, Kadem F, Koç E (1999). Tekstilde Kurutma Yöntem ve Makinaları. 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 803-810, İzmir.
- Özgen F (2014). Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 55(656): 42-49.
- Perkin R. M (1980). The Heat and Mass Transfer Characteristics of Boiling Point Drying Using Radio Frequency and Microwave Electromagnetic Fields. *J. of Heat Mass Transfer*, 23:687-695.
- Sarsılmaz C (1998). Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Sousa W.A, Marsaioli A, Rodrigues M.I (2004). Optimising a Microwave Assisted Banana Drying Process. *International Drying Symposium, Volume C, 1938-1945, Sao Paulo, Brazil*.
- Soysal Y (2004). Microwave Drying Characteristics Of Parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2): 167-173.
- Şahin F (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Y.Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- 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.

- Topuz A (2002). Akışkan Yatakta Fındık Kurutma Prosesinde Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Toraman Ö, Depçi T (2007). Kömürde Mikrodalga İle Ön İşlem Uygulamaları. Madencilik, 46: 43-53.
- Ulcay Y, Akyol M, Gemci R (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 7: 93-116.
- Wang Z, Sun J, Liao X, Chen F, Zhao G, Wu J, Hu X (2007). Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace. Food Research International, 40: 39-46
- Witrowa-Rajchert D, Rzaca M (2009). Effect of Drying Method on the Microstructure and Physical Properties of Dried Apples. Drying Technology: An International Journal, 27(7-8): 903-909.
- Yoğurtçu H (2013). Mikrodalga Fırında Limon Kurutma: Kinetiği ve Modellenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1): 27-33.
- Zeybek M (2003). Mikrodalga Tekniği ile Gaz Betonun Kurutulması. Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında, Eskişehir ilinin Sivrihisar ilçesinde doğdu. 1991 yılında ailesinin iş durumu nedeniyle Tekirdağ'ın Çorlu ilçesine geldi. İlköğretim, orta öğretim ve lise eğitimlerini Çorlu ilçesinde tamamladı ve 2012 yılında Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Altay Proje Dan. Müh. Mak. Tes. San. ve Tic. Ltd. Şti. 'de makine mühendisi olarak çalışmaya başladı ve aynı zamanda Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına katılmaya hak kazandı. Halen Altay Proje Dan. Müh. Mak. Tes. San. ve Tic. Ltd. Şti. 'deki görevini sürdürmekte ve bilimsel çalışmalarına devam etmektedir.