

**MIKRODALGA ENERJISIYLE AYVA VE
ARMUT MEYVESİNİN KURUMA DAVRANIŞI
VE MODELLEMESİ**

Serhat KUŞ

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

2016

T.C.

NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MIKRODALGA ENERJISIYLA AYVA VE ARMUT MEYVESİNİN
KURUMA DAVRANIŞI VE MODELLEMESİ**

SERHAT KUŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

TEKİRDAĞ-2016

Her hakkı saklıdır

Bu Tez Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından NKU.BAP.00.17.YL.14.01 nolu proje ile desteklenmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN danışmanlığında, Serhat KUŞ tarafından hazırlanan “MIKRODALGA ENERJISIYLE AYVA VE ARMUT MEYVESİNİN KURUMA DAVRANIŞI VE MODELLEMESİ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aytaç MORALAR

İmza :

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

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MIKRODALGA ENERJISIYLE AYVA VE ARMUT MEYVESİNİN KURUMA DAVRANIŞI VE MODELLEMESİ

Serhat KUŞ

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

Bu çalışmada, 5 mm armut dilimlerinin ve 4 mm kalınlıklarındaki ayva dilimlerinin laboratuvar tipi bantlı mikrodalga kurutucudaki kuruma davranışları incelenmiştir. Farklı mikrodalga güçlerinin (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, ayva, armut, kuruma modelleri

2016, 69 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DRYING BEHAVIOR AND MODELLING OF PEAR AND QUINCE FRUIT WITH MICROWAVE ENERGY

Serhat KUŞ

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

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

In this work, the drying behaviors of pear and quince slices with 5 and 4 mm thickness were investigated in a laboratory type microwave conveyor dryer. The effects of different microwave power levels (2000 and 2800W) and conveyor belt speeds (0,175, 0,210 and 0,245 m/min) 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, quince, pear

2016 , 69 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iii
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kurutma	2
1.1.1. Kurutmanın fiziği	2
1.1.2. Kurutucu türleri	3
1.2. Mikrodalga Teknolojisi	5
1.2.1. Mikrodalğanın uygulama alanları.....	7
1.2.2. Mikrodalga ısıtma mekaniği.....	7
1.2.2.1. İyonik polarizasyon	7
1.2.2.2. Dipol rotasyonu	8
1.2.3. Madde üzerinde ısıya dönüşen elektromanyetik enerji	9
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	11
1.2.6. Mikrodalga üretici.....	12
1.2.7. Mikrodalga uygulamalarının insan sağlığı üzerindeki etkisi.....	13
1.3. Armut (Deveci).....	14
1.4. Ayva	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyaller.....	25
3.1.1. Deveci tipi armut ve ayva.....	25
3.1.2. Bantlı mikrodalga kurutucu	25
3.1.3. Çalışmada kullanılan ölçüm aletleri	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Kurutma denemelerinin yapılması	28
3.2.2. Ürün neminin belirlenmesi	28
3.2.3. Renk tayini.....	29

3.2.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	33
4.1. Armut Dilimleri İçin Kuruma Davranışları Ve Analizler	33
4.1.1. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular.....	33
4.1.2. 2800 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular.....	34
4.1.3. Renk analiz sonuçları.....	35
4.1.4. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri	37
4.1.5. Kuruma davranışlarının modellenmesi.....	39
4.1.5.1. 2000 watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi	39
4.1.5.2. 2800 watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi	40
4.2. Ayva Dilimleri İçin Kuruma Davranışları Ve Analizler	42
4.2.1. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular.....	42
4.2.2. 2800 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular.....	43
4.2.3. Renk analiz sonuçları.....	44
4.2.4. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri	46
4.2.5. Kuruma davranışlarının modellenmesi.....	47
4.2.5.1. 2000 watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi	47
4.2.5.2. 2800 Watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
6. KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Ülkelere göre armut üretim miktarları.....	16
Çizelge 1.2. Ülkelere göre 2011 yılında dikilen ayva alan, verim ve üretim miktarları.	17
Çizelge 3.1. Deney sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılan kurutma modelleri.....	31
Çizelge 4.1. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2000 watt güç için deneysel veriler.....	33
Çizelge 4.2. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2800 watt güç için deneysel veriler.....	34
Çizelge 4.3. 5 mm kalınlığındaki armut dilimlerine ait renk parametreleri.....	36
Çizelge 4.4. 5 mm kalınlığındaki armut dilimlerine ait tüm parametreler	38
Çizelge 4.5. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	39
Çizelge 4.6. 2800 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	40
Çizelge 4.7. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2000 watt güç için deneysel veriler	42
Çizelge 4.8. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2800 watt güç için deneysel veriler	43
Çizelge 4.9. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait renk parametreleri	45
Çizelge 4.10. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait tüm parametreler	46
Çizelge 4.11. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	47
Çizelge 4.12. 2800 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	49

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Bir elektromanyetik dalganın şematik gösterimi.....	5
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum	6
Şekil 1.3. Mikrodalğanın su molekülüne etkisi	8
Şekil 1.4. Dipol dönmesi	8
Şekil 1.5. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımı gösterimi.....	9
Şekil 1.6. Uygulanan elektrik alan ve polarizasyon arasındaki faz farkı	10
Şekil 1.7. Kayıp tanjantı	10
Şekil 1.8. Mikrodalga fırın magnetronu	13
Şekil 1.9. Magnetronun iç yapısı.....	13
Şekil 1.10. Armut bitkisi	14
Şekil 1.11. Deveci tipi armut.....	15
Şekil 1.12. Ayva bitkisi	16
Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan deveci tipi bir armut örneği	25
Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan ayva örneği	25
Şekil 3.3. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun şematik çizimi.....	26
Şekil 3.4. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun dıştan ve içten genel görünümü	26
Şekil 3.5. (a) Terazı (b) Termo-higrometre	27
Şekil 3.6. (a) Etüv (b) Renkölçer.....	27
Şekil 3.7. CIE L^*,a^*,b^* renk uzayı	30
Şekil 4.1. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2000 watt güç için kuruma eğrileri	34
Şekil 4.2. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2800 watt güç için kuruma eğrileri	35
Şekil 4.3. Kurutulan 5 mm kalınlığındaki armut diliminin kurutma sonrası durumu.	37
Şekil 4.4. 5 mm dilim kalınlığı ve 2000 watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	40
Şekil 4.5. 5 mm dilim kalınlığı ve 2800 w kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	41
Şekil 4.6. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2000 watt güç için kuruma eğrileri.....	43
Şekil 4.7. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2800 watt güç için kuruma eğrileri.....	44
Şekil 4.8. Kurutulan 5 mm kalınlığındaki armut diliminin kurutma sonrası durumu.	46
Şekil 4.9. 4 mm dilim kalınlığı ve 2000 watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri	48
Şekil 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 2800 watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri.....	50

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)
$a, a_0, a_1, a_2, b, c, k, k_1, k_2, n$: Kurutma Sabitleri

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, hiçbir konuda benden yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN 'e, bana daima destek olan aileme, özelliklede yüksek lisans yapmam konusunda sürekli teővik eden babama teőekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2016

Serhat KUŞ
(Makine Mühendisi)

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin kurutularak dayandırılma yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski koruma yöntemlerinden biridir. Genel bir ifadeyle kurutma, ürünlerin içerdiği nemin belli bir amaca bağlı olarak belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılarak üründen alınmasına denir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki amaç; depolama süresi içerisinde ürünün bozulmadan saklanmasını sağlamaktır. Ürün nemi, ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı, zararlı mikroorganizmalar ürünlerin bozulmasına neden olan başlıca etmenlerdir (Karaaslan 2008).

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. (Özsoy 2015)

Bu tezde amaç, mikrodalga bantlı kurutucuda1 ayva ve armut dilimlerini kurutmak suretiyle, mikrodalga ile kurutmanın genel olarak meyvelerin kalitesi üzerine etkisini

araştırmak, bu etkiyi sağlayan önemli parametreler hakkında temel bilgiyi geliştirmektedir. Ayrıca toplam kurutma zamanını düşürecek bir kontrol yapısı oluşturmak, doğrusal olmayan bir kurutma sürecinin matematiksel modelini geliştirmektedir.

1.1. Kurutma

Ülkemizde sebze ve meyvelerin önemli bir kısmı hasat edildikten sonra korunmak ve depolanmak durumundadır. Meyve ve sebzeler üretildikleri dönemler dışında ve hiç üretimi yapılmayan bölgelerde tüketilmek veya özel durumlarda kullanılmak amacıyla farklı muhafaza teknikleri uygulanmaktadır. Meyve ve sebze muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma ile ürünün mikrobiyolojik ve enzimsel değişimleri önlenmektedir. (Karaaslan 2008)

Kurutma işlemi ile yaş ürünlerdeki serbest su uzaklaştırılarak, ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizmaların ürünü bir besin kaynağı olarak kullanıp büyümesi durdurulur. Ayrıca, kurutulmuş ürünlerin hacimlerinde ve ağırlıklarında büyük oranda küçülme sağladığı için taşıma ve depolama maliyetlerini de azaltır.

1.1.1. Kurutmanın fiziği

Kurutma sırasında meydana gelen çeşitli kimyasal ve fiziksel değişiklikler belirtilen ısı ve kütle geçişini etkileyebilir. Fiziksel değişikliklere kristalleşme, büzülme, şişme örnek verilebilir. Renk, yapı ve kokuda oluşabilecek değişimler ise kimyasal veya biyokimyasal değişimlerdir.

Kurutmanın ve kurutucuların bazı özellikleri aşağıda verilmiş olup bunlar birer araştırma ve geliştirme konusudur.

- Ürün boyutları mikronlar düzeyinden dm'ler düzeyine kadar çıkabilir,
- Ürün gözenekliliği 0'dan %99'kadar değişebilir,
- Kurutma zamanları 0,25 s gibi kısa sürelerden (ince kağıt kurutulması) 5 ay gibi sürelere (bazı sert ağaç türlerinin kurutulması) kadar çıkabilir,
- Kurutucu kapasiteleri, 0,10 kg/h ile 100 t/h arasında değişmektedir,
- Ürün hızları 0'dan (durgun hal) 2000 m/s'ye kadar (ince kağıt kurutulması) değişmektedir,
- Kurutucuların işletme basınçları milibar seviyelerinden 25 bar değerlerine kadar değişebilir,
- Kurutma için gerekli ısı sürekli veya kesintili olarak taşınım,iletim radyasyon veya elektromanyetik dalgalarla geçmektedir. (Çalışkan K 2002)

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. Kurutucu türleri

Fırın Kurutucular; En pratik kurutma yöntemlerinden biridir, çok küçük bir yatırım gerektirmektedir. Genellikle kurutma işlemi hava şartlarına bağlı değildir. Sürekli kullanım için fırın kurutucuları tavsiye edilmemektedir, çünkü diğer kurutuculara göre verimleri düşüktür, ayrıca fırınlarda düşük kurutma sıcaklığı sağlanamamaktadır. Buda ürün kalitesini etkileyebilmektedir.

Kabin kurutucular; Kurutma kabinde kurutulacak olan maddeler kurutma havası ile temas yüzeyini arttıracak şekilde tepsilere yerleştirilmekte ve tepsilere, ürünün kurutma havasıyla temas ettiği, kurutma bölümüne sürülmektedir. Bu şekilde sıcak hava üst üste dizilmiş tepsilere arasından ve her tepside bulunan ürünlerin üzerinden geçerek tekrar ısıtma bölgesine geri döner. Hava ürün yüzeyine paralel olarak geçmektedir. Bu tip kurutucularda çıkış havasının bir bölümü tekrar ürün üzerine gönderilerek daha ekonomik bir işletim sağlanabilmektedir. (Çalışkan K 2002)

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. (Özsoy 2015)

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

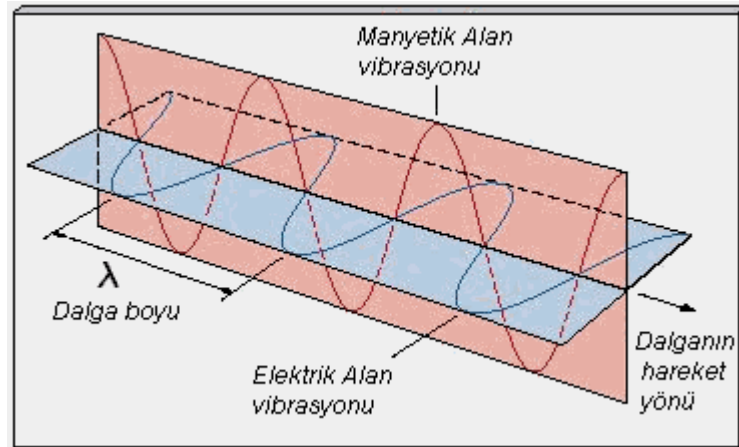
gelişen teknoloji ile birlikte mikrodalga ile çalışan kurutucuların kullanım alanları da artmaktadır.

1.2. Mikrodalga Teknolojisi

XX. yüzyılın başından itibaren önemli bilimsel ve teknolojik gelişmelere sahne olan mikrodalgaların, daha çok telekomünikasyon alanındaki kullanımları amaçlanmış ve bu alanda çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak XX.yüzyılın ikinci yarısından itibaren mikrodalgaların telekomünikasyon uygulamaları dışında endüstriyel proseslerde de kullanılabileceği ortaya çıkmış ve bu uygulamalar giderek artmıştır. Günümüzde mikrodalgaların endüstriyel uygulamalarında kullanılmak üzere birçok frekans tahsis edilmiştir.

Mikrodalgalar (300MHz-300GHz), radyo, tv ve radar teknolojilerinde kullanılan elektromanyetik dalgalardır. Çok geniş bir frekans spektrumuna sahip mikrodalgaların, değişik teknolojilerde kullanımını karakterize eden iki önemli fiziksel büyüklüğü vardır: frekans ve güç yoğunluğu. (Oktay 2004).

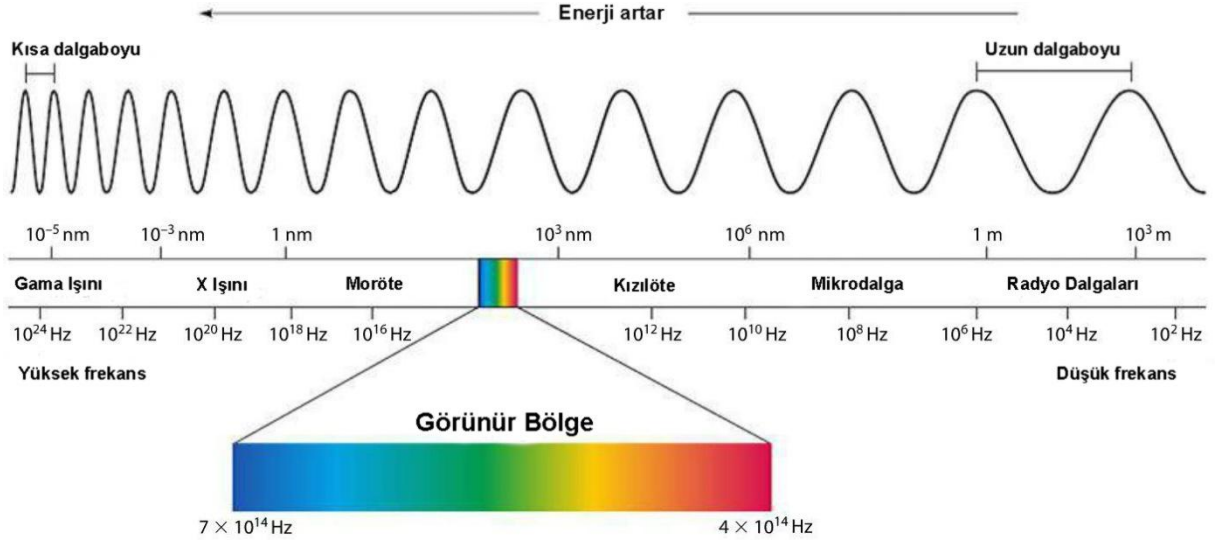
Mikrodalgalar, elektromanyetik dalgaların bir versiyonu olup, oluşturulma temelleri elektromanyetik dalgalar ile aynıdır. Şekil 1.1’de bir elektromanyetik dalganın şematik gösterimi bulunmaktadır.



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 için de bulunduğu elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum içinde değişik isimlerle incelenen ışınlar temelde dalgalar halinde yayılan ışınlardır ve elde edilmiş 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). Mikrodalgalar iyonize olan X ve Gama dalgaları gibi yüksek seviyede enerji taşımadıklarından bileşiklerden elektron kopmasına neden olmazlar. Yiyecekler mikrodalgaya maruz bırakıldığında ısıl olmayan 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 yararlanılır. 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. (Özsoy 2015)

1.2.1. Mikrodalğanın uygulama alanları

Mikrodalğaların çeşitli uygulama alanları vardır.

Gıda alanında: Gıda endüstrisi mikrodalğanın en yaygın kullanıldığı alandır. Günümüzde mikrodalga dondurulmuş ürünlerin çözdürülmesinde, kurutma, kavurma ve pişirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Pastörizasyon, sterilizasyon, dondurarak kurutma ve haşlama işlemlerinde, ayrıca küf mantarlarının azaltılmasında da mikrodalğanın kullanım olanakları araştırılıyor.

Metalurji alanında: Mikrodalga elyaf kurutulmasında, kereste içindeki kurtçukların yok edilmesinde, orman ürünlerinin kurutulmasında ve kömürün iyileştirilmesinde kullanılıyor.

Biyomedikal uygulamalarda: Mikrodalga biyomedikal uygulamalarda da önemli bir yere sahiptir. Temel olarak, tıbbi atıkların sterilizasyonunda kullanılır. Diş hekimliğinde sterilizasyonda, alçı modellerin kurutulmasında ve akrilik protez kalıplarının oluşturulmasında mikrodalga uygulanıyor. Bunun yanı sıra insan vücudundaki fiziksel ve biyolojik işlevleri algılamak, kontrol etmek ve görüntülemek için mikrodalga ışıma ve görüntüleme teknikleri geliştirildi. Son yıllarda bu uygulamalar, mikrodalga tomografi, mikrodalga radyometri ve mikrodalga tanı radarı gibi yeni tanı teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Kimya alanında: Mikrodalğalar boyaların, seramiklerin, polimerlerin ve selüloz ürünlerin kurutulmasında, kaynatılmasında, buharlaştırılmasında ve sinterlenmesinde de (bir katının küçük parçalarını erime noktasına kadar ısıtıp birbirine kaynatma işlemi) kullanılıyor. Ayrıca tekstilde boyanmış ipliklerin kurutulmasında, selüloz atıkların işlenmesinde, kâğıt ve karton kurutma işlemlerinde, ahşapta oluşan mantarların yok edilmesinde kullanılmaktadır. (Kaynak 2012)

1.2.2. Mikrodalga ısıtma mekaniği

Mikrodalğanın ısıtma etkisi yalıtkan (dielektrik) bir 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 rotasyonudur. (Çalışkan 2012)

1.2.2.1. İyonik polarizasyon

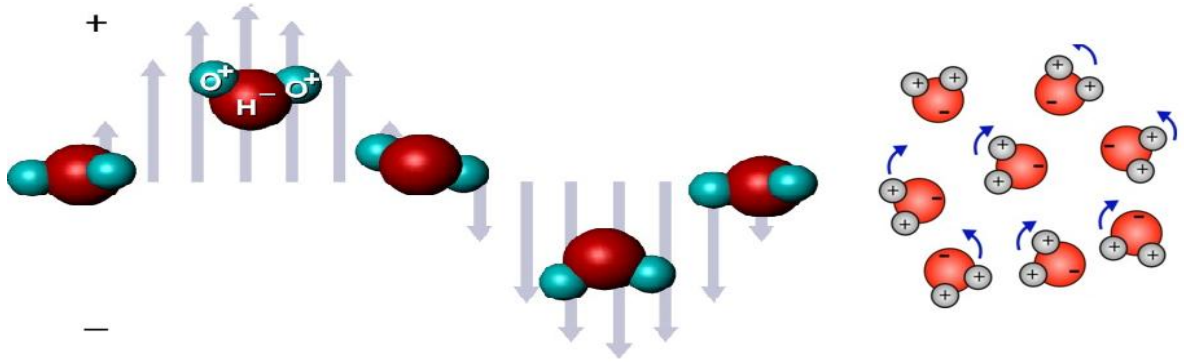
Bir çözeltiye elektrik alanı uygulandığından bu çözeltide bulunan iyonlar doğal yükleri nedeniyle oluşan kuvvetler sonucu bir ivme ile hareket ederler. Hareket eden iyonlar arasındaki çarpışmalar kinetik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olur. Yüksek iyon

konsantrasyonu olan bir çözeltide daha fazla sayıda iyon çarpışacağından sıcaklıkta daha hızlı bir yükselme gözlenir. (Çalışkan 2012)

1.2.2.2. Dipol rotasyonu

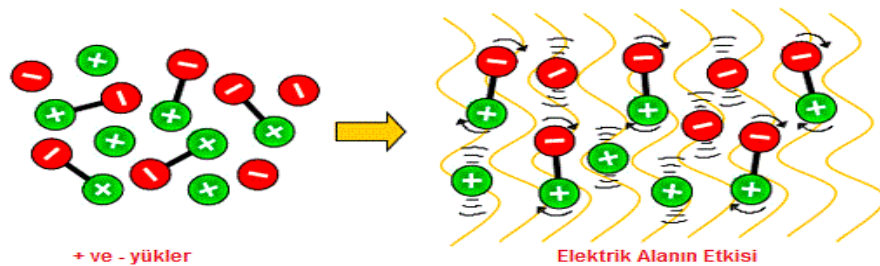
Polar olan su molekülleri genel olarak buldukları ortamda gelişigüzel yönelimlidirler. Bir elektrik alanı uygulandığında ise elektrik alanının polarizasyonuna göre sıralanırlar. Bir mikrodalga alanda polarizasyon çok hızlı değişir. (Ör: Mikrodalga frekansı 2450 Mhz olan ticari fırınlarda saniyede 2.45×10^9 kere değişir) Su molekülleri bu hızlı değişen polariteye bağlı olarak hizalanabilmek için sürekli dönerler. Bu dönüşler moleküllerin etrafındaki ortam ile sürtünmesine yol açar ve bu sayede ısı açığa çıkar (Decareau 1995)

Şekil 1.3'te mikrodalğanın su molekülüne etkisinin, Şekil 1.4'te ise dipol dönmesinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.3. Mikrodalğanın 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

1.2.3. 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 açalarına sahip maddelerde (dielektrik madde) iletim kayıplarının oluşması ile ısı açığa çıkar. Kayıp açaları 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 açasına 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.(Özsoy 2015)



Şekil 1.5. Konveksiyon ile mikrodalga kurutma arasındaki sıcaklık dağılımını gösterimi

1.2.4. Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler

1.2.4.1. Mikrodalga frekansları

300 MHz'den 300 GHz'e kadar değişen mikrodalga frekansları uluslar arası telekomünikasyon birliği tarafından (ITU) endüstriyel, bilimsel ve tıp uygulamaları (ISM) bantlarına ayrılmıştır. (Çalışkan 2012)

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;

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

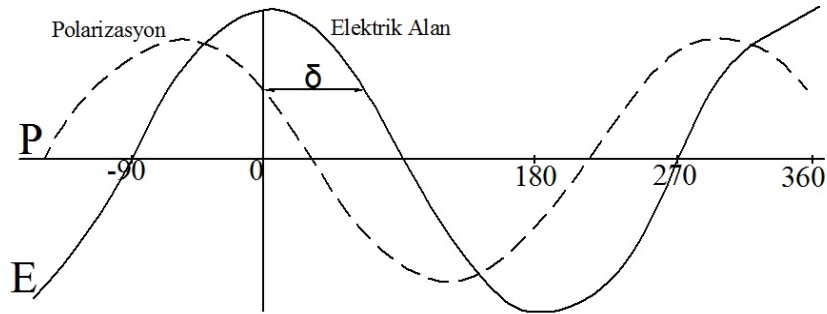
bağıntısıyla bulunabilir. Burada u_c (m/s) ışık hızı, f (Hz) de mikrodalğanın frekansıdır.

1.2.4.2. Dielektrik özellikler

Mikrodalga uygulamalarında önemli elektriksel özellikler bağıl dielektrik sabiti (ϵ') ve bağıl dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') olmaktadır. Bu iki özellik bir maddenin elektriksel yalıtkanlık (dielektrik) kabiliyetini belirtir. ϵ'' aşağıdaki gibi tanımlanır:

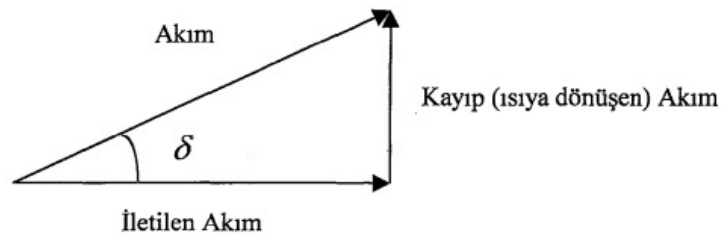
$$\epsilon'' = \epsilon' \cdot \tan \delta \quad (1.3)$$

Burada δ elektrik alanının yönü ve maddenin polarizasyonu arasındaki faz farkıdır. Diğer bir deyişle elektrik alana yönelmesi arasındaki faz farkıdır (Şekil 1.7).



Şekil 1.6. Uygulanan elektrik alan ve polarizasyon arasındaki faz farkı

$\tan \delta$ (kayıp tanjantı), elektrik alanının maddeye ne kadar nüfuz edebileceğini ve elektrik enerjisinin ne kadarının ısı enerjisiye dönüşeceğini gösterilmesini sağlayan bir parametredir. Dielektrik sabiti genellikle iki bileşenle tarif edilmektedir. Bunlardan ilki bağıl dielektrik sabiti ve diğeri de kayıp faktörüdür. Bu bileşenler Şekil 1.8'de olduğu gibi toplam akımın iletilen akım ve ısıya dönüşen kayıp akımların vektörel toplamı gibi düşünülebilir. (Özsoy 2015)



Şekil 1.7. Kayıp tanjantı

1.2.4.3. Mikrodalga'nın 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 düştüğu, yani %63'ünün madde tarafından ısıya dönüştüğu derinlik olarak tanımlanmıştır.

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

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

Bu eşitlikten de görüldüğu gibi penetrasyon derinliği frekans küçüldükçe artmakta, büyüldükçe 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.

1.2.5. Mikrodalga ısıtmanın avantaj ve dezavantajları

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde ısı gıdanın yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Bu yöntemler ile kıyaslandığı zaman, mikrodalga ile ısıtma sırasında ısı materyalin içinde üretildiği için ısıtma hızı yüksektir ve işlem süresi kısadır. Mikrodalga ile işlem gören gıdalarda vitamin ve mineral kayıplarının daha az olduğu belirtilmiştir. Diğer avantajları ise, ekipmanın az yer kaplaması, kolay temizlenmesi ve proses sırasında enerjiden tasarruf sağlamasıdır. Enerjiden sağlanan tasarruf mikrodalgaların ısıya dönüşüm verimi ile ilgilidir. Isı verimi geleneksel fırınlarda %7-14 arasında değişirken, mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkabilmektedir. Ayrıca mikrodalgalar materyalleri içten ısıttığı için sıcaklık dağılımları daha homojen olmakta, yüzeyin aşırı ısınması önlenebilmekte ve ürün kalitesi üründe oluşabilecek yüzey sertleşmesi gibi bazı olayların engellenmesi ile gelişebilmektedir. Bunların yanı sıra mikrodalgaların bu dalgaları daha iyi absorbe eden materyaller tarafından seçici olarak emilmesi sayesinde gıdaların özellikle kurutma işlemi sırasında seçici ısıtması gerçekteşmektedir. (Anonim 2009)

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. Mikrodalgaların teknolojileri daha karmaşıktır, bu da eğitimsiz insanlar için zorluk oluşturur (Eren 2005).

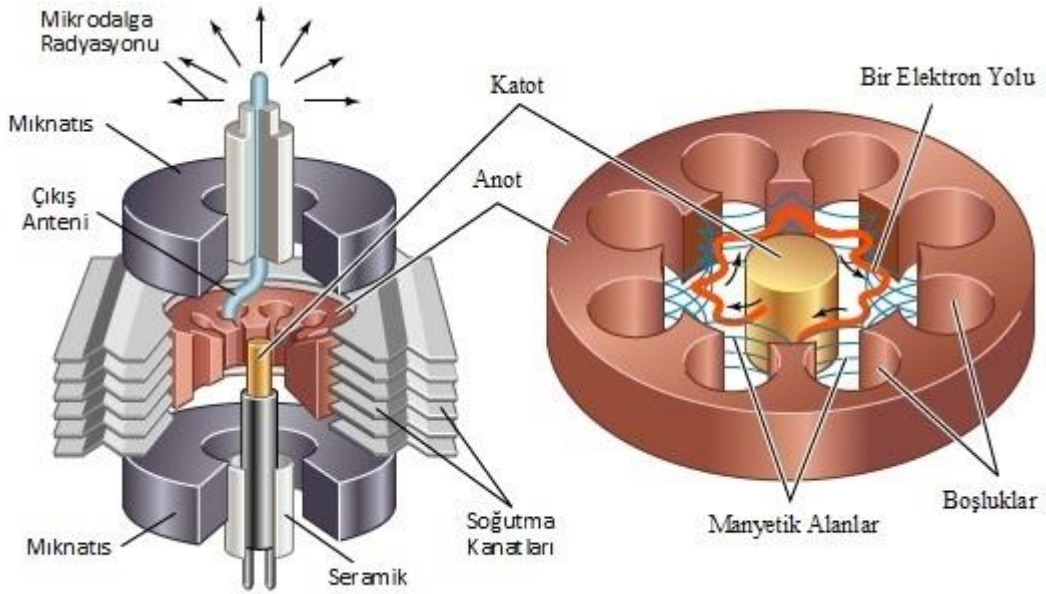
1.2.6. Mikrodalga üretici

Magnetron, elektriksel gerilimi mikrodalga radyasyonuna çeviren diyot tipli bir elektronik tüptür. 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 yayar. 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. (Özsoy 2015)



Şekil 1.8. Mikrodalga fırın magnetronu



Şekil 1.9. Magnetronun iç yapısı

1.2.7. Mikrodalga uygulamalarının insan sağlığı üzerindeki etkisi

Mikrodalgaların insan sağlığı açısından zararlı olabilecek 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/cm²'yi, tüketici mikrodalga fırını evde ilk defa kullanıyorsa 5 mW/cm²'yi ve fırının kullanım süresi boyunca 10 mW/cm²'yi aşmaması gerekmektedir (Knutson ve ark. 1987).

1.3. Armut (Deveci)

Ana yurdu Anadolu'dur. Avrupa'ya Anadolu'dan yayılmıştır. Tarihi kayıtlara göre Etiler zamanında armut yetiştirildiği anlaşılmaktadır. Armut ağacının 20 türü ve bilinen 2.000 kadar çeşidi vardır. Ekolojik şartların uygunluğu ve gen merkezi olması nedeniyle armut, yurdumuzun hemen hemen her yerinde yetiştirilebilen armutlar *Pyrus communis* bilimsel adıyla anılır. Şekil 1.11'de armut bitkisi görülmektedir.



Şekil 1.10. Armut bitkisi

Elma ve ayva ile aynı özelliğe sahiptir. Yenilen etli kısmı çiçek ekseninin etleşmesinden meydana gelmiş "yalancı meyva" kısmıdır. İçinde bulunan şekerli maddeler, A, B1, B2 ve C vitaminleri sayesinde besleyicidir.

Armut, çekirdekten aşı ile üretilir. Kökü, kazıkkök biçiminde olduğundan; derin toprak, kireçli ve kuvvetli yer ister. Kurağa en dayanıklı ağaçlardandır. Bir ağaçtan 50-400 kg kadar meyve alınır. 7-8 m'ye kadar boylanabilen armut ağacının parçasız, yalın biçimli yeşil yapraklarının kenarları çok ince dişlidir.

Aslında armut kendine özgü biçimiyle ince kabuklu, yumuşak çekirdekli, eti bol sulu ve lezzetli bir meyvedir. Ancak meyvesinin büyüme koşullarına göre etinde, az ya da çok kum (taş hücresi) toprakları bulunur. Taze olarak yenildiği gibi reçeli, marmeladı, tatlıları ve meyve suyu yapılarak tüketilen armuttan rakı ve likör de yapılır.

Armut ağacı, tohumuyla (çekirdekleriyle) çoğaltılabilir. Topraktan süren çöğürlerine, istenen armut türü aşılansak derin topraklarda yetişen yüksek boylu armut ağaçları elde edilir.

Daha az derin topraklarda bodur armut ağaçları yetiştirmek için anaç olarak ayva fidanları kullanılıp bunlara armut aşısı uygulanır. Ancak bu tür ağaçlar soğuklara dayanıklı değildir ve fazla sulama isterler. Anonim (2011)

Armutlar genel olarak -25 ile - 30 °C ye kadar dayanırsa da don olayının uzun sürmesi ve ağaçların nemli topraklar üzerinde bulunması zararlanmayı artırır ve sürgün uçlarının donmasına neden olur. Armut çiçeklerinin ilkbahar geç donlarından etkilenme ihtimali fazladır. Bu nedenle de bahçeler soğuk havanın çöktüğü çukur yerlere kurulmamalıdır. Armut çeşitlerinin dinlenme döneminde kış soğuklaması olarak (+ 7.2) nin altında 1200 – 1500 saate geçirmesi gerekir

Armut toprak bakımından fazla seçici değildir. Bununla beraber, toprak ne kadar derin, geçirgen, sıcak ve besin maddelerince zengin olursa ağaçların gelişmeleri de o kadar iyi ve verimleri o nispete yüksek olur.

Armut bahçesi kurarken en sakınılması gereken topraklar kireçli olanlar veya alt toprak tabakasına doğru yüksek oranda kireçli su bulunduran topraklardır ki bu yerlerde ayva anacı üzerine aşılı armutlar demir noksanlığından büyük zarar görürler. Armut ağacı topraktaki organik madde miktarının yüksek olmasını ister bu organik madde miktarı bakımından zayıf olan topraklar iyi yanmış çiftlik gübresi ile takviye edilmelidir.



Şekil 1.11. Deveci tipi armut

Ülkemiz, 2012 yılı verilerine göre armut üretim alanı bakımından altıncı sırada yer almaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Ülkelere Göre Armut Üretim Miktarları (Anonim 2008)

Armut Üretimi (Ton)	Yıllar		
	2000	2003	2008
Çin	8,525,981	9,422,957	13.676.381
ABD	861,100	837,420	790.000
İtalya	889,800	821,675	770.100
İspanya	669,098	681,800	557.900
Arjantin	513,554	560,000	520.000
Türkiye	380,000	360,000	355.476
Japonya	392,900	365,800	326.400

1.4. Ayva

Ayva (*Cydonia vulgaris*), botanikte Rosales takımı, Rosaceae familyası, Pomoideae alt familya ve *Cydonia* cinsine girer. Ayvanın kültür tarihi hayli eskidir. MÖ 650 yıllarında yetiştirildiği bilinmektedir. Anavatanı Kuzey-Batı İran, Türkistan ve Anadolu'dur. Ayva, Avustralya hariç, dünyanın hemen her ülkesinde yetiştirilmektedir. Ancak ayva kültürü diğer meyveler kadar gelişmemiştir. Dünya ayva üretiminde Akdeniz ülkeleriyle Kuzey Afrika ülkeleri ön sıraları almaktadır. Ayva, Ege, Marmara ve Orta kuzey bölgelerimizde yoğun olmak üzere Türkiye'nin hemen tüm bölgelerinde yetiştirilmektedir



Şekil 1.12. Ayva bitkisi

Son İstatistiklere göre Ülkemizde yaklaşık olarak 3 milyon ayva ağacı ve 79 bin ton ayva üretimi vardır. Dünyada ayva üretiminde Türkiye birinci sıradadır. Ayva, taze tüketim yanında reçel ve marmelat sanayinde fazlaca kullanılan bir türdür. Özellikle C vitamini yönünden zengin olup, miktarı 15 mg /100 g dolayındadır. Lifli olması, hazmı kolaylaştırıcı etki yapar.

Çizelge 1.2. Ülkelere göre 2011 yılında dikilen ayva alan, verim ve üretim miktarları.(Anonim 2013)

Ülkeler	2011 Dikilen Alan (Hektar)	2011 Verim (Kg/Dekar)	2011 Üretimi (Ton)	Üretimde Payı (Yüzde)
Türkiye	10493	1.218	127767	22,83
Çin	21000	571	120000	21,44
Özbekistan	6500	1123	73000	13,04
İran	4937	718	35430	6,33
Fas	3833	835	31994	5,72
Arjantin	3185	843	26864	4,80
Azerbaycan	3212	745	23924	4,27
Sırbistan	2000	698	13955	2,49
İspanya	1341	978	13115	2,34
Cezayir	1918	650	12459	2,23

Ayva daha çok çalı şeklinde. Tek gövdeli olduğunda 6–8 m boylanabilir. Gövde kısadır. Yaşlandıkça kabuk çatlaklar pul pul ayrılır. Fındıkta olduğu gibi dip sürgünü vermeye meyilli bir ağaçtır

Ayva için en iyi iklim ılıman deniz iklimidir. Bununla beraber, Ayva ülkemizin deniz ikliminden uzak olan iç kısımlarında da önemli ölçüde yetiştirilmektedir. Ancak bu gibi yerlerde ayvanın yetişmesi, uygun yönelere ve vadi içlerine bağlı kalmaktadır. Genel olarak serin yerlerde meyve kalitesi düşer. Meyve eti odunsu bir hal alır. 99 Ayva ağacı, Türkiye şartlarında armut kadar kış soğuklarına dayanıklıdır. Kış aylarında uzun süre devam etmeyen -20,-25 °C'lik düşük ısılarla dayanabilir. Buna karşılık, Orta Anadolu'daki meyve türleri içerisinde en geç ayva çiçek açar ve ilkbahar soğuklarından zarar görmez. İlkbaharda havaların ısınmasıyla, ayvada önce bir göz sürer ve sürgün gelişmesi tamamlanır sonra bu yeni sürgününün ucunda çiçek açar. Ayvanın bu geç çiçeklenme durumu ilkbahar geç soğuklarından ağaçları korur ve emniyetli bir ürün alınır. Çok rüzgârlı yerlerde ayva bahçesi

kurulması tavsiye edilmez. Çünkü dallar kırılır. Fazla meyve dökümü olur. İlkbahar donlarından korunmuş vadiler, güney yamaçlar ve su kenarları (çay, dere vs.) ayvanın en iyi netice verdiği yerlerdir. Ayva ağacının yaprak ve meyveleri mumyalaşma hastalığına karşı hassas olduklarından çok fazla yağmur yağan yerlerde ürün tehlikeye girer.

Ayva, en iyi olarak yeterince nemli, geçirgen, besin maddelerince zengin, tınlı topraklarda yetişir. Su tutan ağır taban toprakları ve kireci hiç sevmez. Kuru ve kumlu topraklarda da büyüme zayıf ve verim düşük olur. Soğuk ve nemli topraklarda meyveler odunumsu bir hal alarak kaliteleri düşer. Ayvanın kökleri yüzlek olup çok derine gidemediğinden toprağın çok fazla derin olması gerekmez. Elverişli toprak derinliğinin 1 m olması yeterlidir ve taban suyu seviyesi de 1 m' den yukarı çıkmamalıdır. (Anonim 2014)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fujiwara (2014) ve arkadaşları sıcak hava ön ısıtım destekli mikrodalga ile armut kurutma üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Sıcak hava ile kurutma kurutulmuş meyvenin üretilmesi için geleneksel bir yöntemdir ancak işlem sırasında meyvelerin yüzeyinde sertleşme ve pürüzler meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmanın amacı, sıcak hava ile kurutmaya beraber daha basit bir yöntem kullanılarak, yüksek kaliteli yarı kurutulmuş armut üretmektir. Mikrodalga ısıtım destekli kurutmada yalnızca sıcak hava ile kurutmaya göre armutun yarı kurutulmuş halde daha homojen ve parlak sarı-turuncu bir renge kavuştuğunu görmüşlerdir. Mikrodalga destekli kurutucu sayesinde sıcak hava ile kurutma süresi kısaldığını tespit etmişlerdir. Armutun mikrodalga ısıtım ile kurutma işlemi esnasında gereken süre, hamuru ağırlığı ile orantılı ve ısıtım gücü ile ters orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada elde edilen kurutulmuş meyve görünüş, tat ve doku ayrı değerlendirmeler de dahil olmak üzere tüketiciler tarafından yapılan değerlendirmeye dayanarak, gayet başarılı bulunmuştur. Bu nedenle, yeni denedikleri yöntemin kurutulmuş armut renk, doku ve besleyicilik açısından daha verimli besin ögesi olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen basit üretim sürecinin kolayca gıda endüstrisine adapte edilebileceği sonucunu çıkartmışlardır.

Arballo (2005) ve arkadaşları meyvelerin mikrodalga ile kurutma modellemesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Mikrodalga kurutma esnasında gıdalarda ısı ve kütle transferi matematiksel modelleme yoluyla deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Gıda bileşimi, yapı ve sıcaklık ile değişebilir fiziksel özelliklere sahip bir sistem olarak kabul etmişlerdir. Elektromanyetik enerjinin dönüşümü iç ısı üretimi Lambert'in hukuk yaklaşımı kullanılarak incelemişlerdir. Birbirini takip eden aşamalar dikkate alınmıştır. Materyal ısıtım sıvı buharlaştırma izlemiştir. Matlab 6.5 (Mathwork, Natick, MA) ve kısmi diferansiyel denklemlerden faydalanılarak, bir ev mikrodalga fırını armut dilimleri kurutma işlemini deneysel simüle etmek için kullanmışlardır. Yüzey ve merkezdeki sıcaklık dağılımları ve kurutma esnasında oluşan kütle kaybı arasında iyi bir uyum olduğu tespitini yapmışlardır.

Fumagalli F ve Silveira A.M(2007) mikrodalga ile kurutulmuş armutun kalite değerlendirmesi üzerinde çalıştılar. Bu çalışmalarının amacı meyve kurutma süresini azaltarak kalitesini korumak için, armudun mikrodalga fırında kurutulmasını incelemektir. Osmotik dehidrasyon etkisi ve mikrodalga enerjisindeki varyasyon, hava sıcaklığı ve hız sabit değeri ile analiz etmişlerdir. Deneysel veriler de önerilen kinetik modeline uygunluğu tespit edilmiştir. İşlenmiş armut su içeriği, kalsiyum, fosfor ve potasyum su aktivitesi ve görünür yoğunluk

miktarına göre değerlendirildi. En iyi sonuçlar ozmotik susuz ve mikrodalga konvektif kurutucuda kurutulmuş numuneler için elde edildi.

Koç (2008) ve arkadaşları kurutma yönteminin, kurutma esnasında ayvanın gözeneklilik yapısı, yoğunlu gibi bazı parametrelerin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Numunelere, dört farklı kurutma yöntemi uygulamışlardır: akışkan yataklı ve tepsi kurutucularla geleneksel kurutma, kızılötesi destekli hava kurutma, osmotik dehidrasyon destekli geleneksel hava ile kurutma ve dondurarak kurutmadır. Dondurularak kurutulanlarda tüm diğer kurutma işlemlerine göre kütle yoğunluğu ve gözenekliliklerinin nem içeriği azaldıkça artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. En yüksek porozite dondurularak kurutma yönteminde geliştirilmiştir. Dondurularak kurutma yönteminde büzülmenin belirli sınırlarda kaldığını tespit etmişlerdir. Basit matematiksel modelleri malzemenin nem muhtevası ile bazı özelliklerini ilişkilendirmek için kullanmışlardır. Madde yoğunluğunun tayini açısından kurutma yöntemlerinin tahmin edildiği gibi sonuçlar verdiğini saptamışlardır. Kurutma yöntemi ile büzüşme oranlarında farklılıkları tespit edip, kurutma yöntemindeki değişikliklerde aynı ürün için farklı katsayılarla nem içeriği olduğu saptamışlardır.

Kaya A. ve arkadaşları (2007) ayvanın kuruma kinetiği üzerinde deneysel bir çalışmada bulunmuşlardır. Bu deneysel çalışmada, ayva dilimlerinin kuruma kinetiğini, kurutma koşullarının bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. Deneyleri 35°C, 45°C ve 55°C arasında, hava sıcaklıkları kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler için hava hızlarını ortalama 0.2, 0.4 ve 0.6 m/s ve %40,55 ve 70 bağıl nem değerlerinde almışlardır. 0.65×10^{-10} ve 6.92×10^{-10} m²/s aralığında etkin bir nem yayılmasının olduğu tespit etmişlerdir. Ayva dilimlerinin emiş izotermelerini belirlemişlerdir.

Wang (2012) ve arkadaşları armut dilimlerinin kurutma modellemesi ve deneysel karakteri üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Armut dilimlerinin kurumasında sıcaklığın kinetik etkisi araştırmışlardır. Kurutma işlemini 55°C, 65°C ve 75 °C sıcaklıklarda gerçekleştirmişlerdir. Kuruma süresinin artan hava sıcaklığı ile önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Yedi adet kurutma modelini literatürdeki mevcut yöntemlerle test etmişlerdir. Wang ve arkadaşları armut dilimleri kurumasını detaylı anlatan bir çalışma yapmışlardır. Nem kaybının artan sıcaklık ile arttığını bilimsel verilerle ortaya koymuşlardır.

Noshad M. (2011) ve arkadaşları bu çalışmada, tepki yüzey metodolojisine dayanan çok amaçlı kurutma işlemleri için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Ayva dilimleri farklı konsantrasyonda sakaroz çözümleri ile osmotik dehidrasyon kullanılarak kurutmuşlardır. İşlem süresi (1, 1,5, 2 saat) ve ultrasonikasyon süresi (0, 15 ve 30 dakika) su ve ağırlık kaybı açısından incelemişlerdir. Tepki yüzey metodolojisi ayvadan ozmotik dehidrasyon sırasında

maksimum su kaybı ile kilo azaltma ve minimum katı madde elde etmek için optimum işlem koşullarını belirlemek için kullanmışlardır. Susuz ayva dilimlerini daha sonra 60°C ile 80° C 'de havayla kurutmaya tabi tutmuşlardır. Çok amaçlı optimizasyonun düşük nem içeriği ve düşük büzülme olması sebebiyle kurutulmuş ayva dilimleri üretimi için yeni ideal olduğu saptandı.

Kiranoudis C.T. (2007) ve arkadaşları Bazı meyvelerin mikrodalga ile kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Üç meyvede (elma, kivi ve armut) mikrodalga vakum kurutma kinetik proses değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak, karakteristik parametre (sabit kurutma) içeren bir tek parametrelili ampirik kütle transferi modelinde çalışmışlardır. Model, vakum ile donatılmış bir mikrodalga fırında test edilmiştir. Mikrodalga gücü ve vakum seviyeleri geniş bir yelpazede araştırmalarını sürdürmüşlerdir. Vakum ve basıncın işlem üzerindeki etkisi çok fazla olmazken mikrodalga güç seviyesi büyük ölçüde etkili olduğu tespit etmişlerdir.

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, 30s 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.

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 artıkça 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.

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.

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 R², 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 çiğnenabilirliğinde 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. Deveci tipi armut ve ayva

Türkiye 'de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Deveci tipi armut ve ayva kurutma denemelerinde kullanılmıştır. Armutlar ve ayvalar, İstanbul ilinden, 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 ve 3.2 de denemelerde kullanılan deveci tipi armut ve ayvanın örnek fotoğrafları bulunmaktadır.



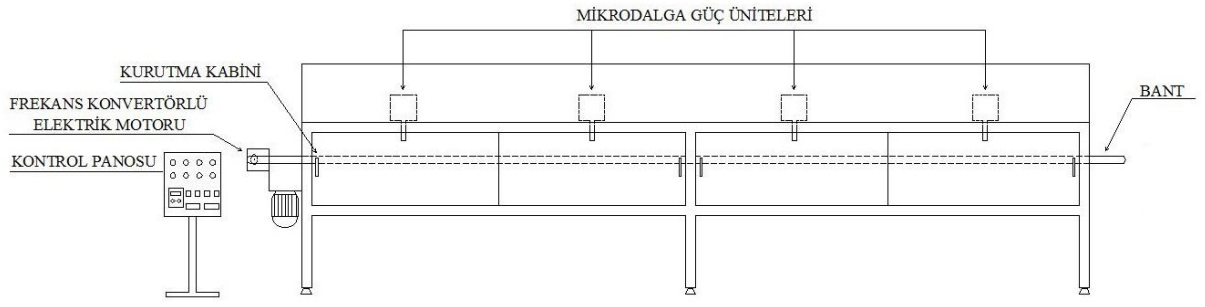
Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan Deveci tipi bir armut örneği



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan Ayva örneği

3.1.2. Bantlı mikrodalga kurutucu

Kurutma işleminde, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır. Şekil 3.3'te şematik çizimi ve Şekil 3.4'te genel görünümü verilmektedir.



Şekil 3.3. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun şematik çizimi

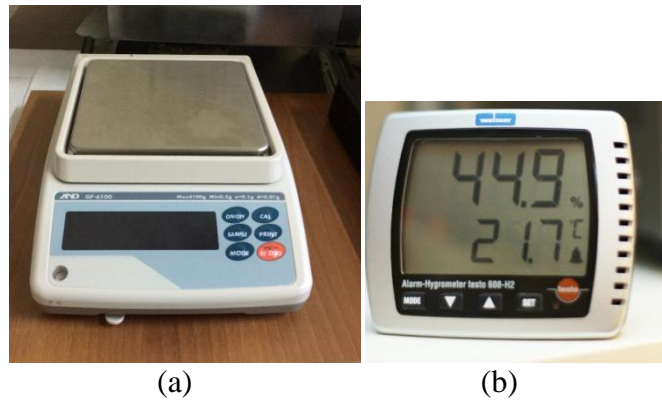


Şekil 3.4. Çalışmalarda kullanılan mikrodalga bantlı kurutucunun dıştan ve içten genel görünümü

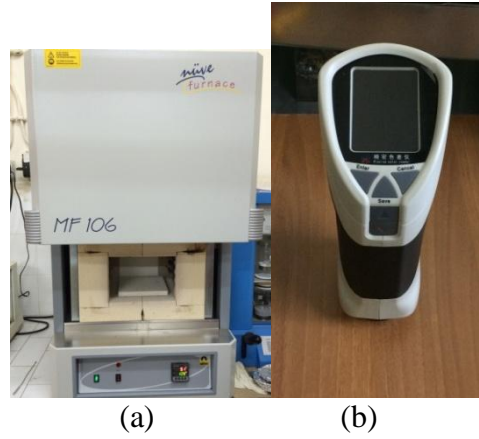
Meyvelerin kurutulacağı mikrodalga bantlı kurutucu; kurutma tüneli, dört adet mikrodalga güç ünitesi, teflon bant, elektrik motoru ve kontrol panosundan oluşmaktadır. Kurutma tünelinin uzunluğu 3,5 m genişliği 0,5 m'dir. Her bir mikrodalga güç ünitesi 700 W gücünde olup (toplam kurutucu gücü 2800 W)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

3.1.3. Çalışmada kullanılan ölçüm aletleri

Meyvelerin ağırlıklarının ölçülmesi için deneyler süresince 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 uluslararası $L^*a^*b^*$ sistemine göre ölçüm yapan Spec marka HP-200 model renkölçer kullanılmıştır (Şekil 3.6.b). (Özsoy 2015)



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



Şekil 3.6. (a) Etüv (b) Renkölçer

3.2. Yöntem

3.2.1. Kurutma denemelerinin yapılması

Ürünlerde tazelik, renk, doku vb. kayıpların olmaması açısından deneylerde meyveler tek tek kullanılarak dilimlenmiş, diğer meyveler soyulmamıştır. Kurutma işlemlerine geçmeden önce armut ve ayvalar yıkanıp kabukları soyulmuş ve çekirdek kısımları çıkarılarak ayvalar 4 mm armutlar ise 5 mm kalınlıkta dilimlenmiştir. Yıkama ve kabuk soyma dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Kurutma deneylerine başlanmadan önce 4 ve 5 mm kalınlıklarındaki örnek dilimlerin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde kuru ağırlık tespiti yapılmıştır. Yapılan kuru ağırlık tespiti sonucunda ürünlerin başlangıç nem değerleri belirlenmiştir. Kurutma işlemi yapılacak taze ürünlerin her birinin renk ölçümleri alınmıştır.

Örnekler kurutma tünelinin başlangıcına sırası ile konulmuş, bantı döndüren elektrik motoruna hareket verilmiş ve mikrodalga güç üniteleri çalıştırılmıştır. Mikrodalga enerjisinden daha iyi yararlanmak ve homojen bir yüzey teması amacıyla, dilimler 4 cm yüksekliğinde üçer adet ince tahta çubuk üzerine konulmuştur. Armut ve ayva 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, 500 ve 700 W güç seviyelerine getirilerek toplamda 2000 ve 2800 W mikrodalga güçlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışmalar boyunca bant hızları 0,175 m/dk, 0,210 m/dk ve 0,245 m/dk olmak üzere üç farklı değere ayarlanmış, tüm dilim kalınlıkları için üç farklı bant hızı ve iki farklı mikrodalga gücünün kombinasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm mikrodalga güçlerindeki denemelerde 5 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 5 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur. Kurutma işlemlerinde armut için ürünlerin nem içeriği $11,2 \pm 1$ (y.b.) ve ayva için $11,05 \pm 1$ 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 (4, 5 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.

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

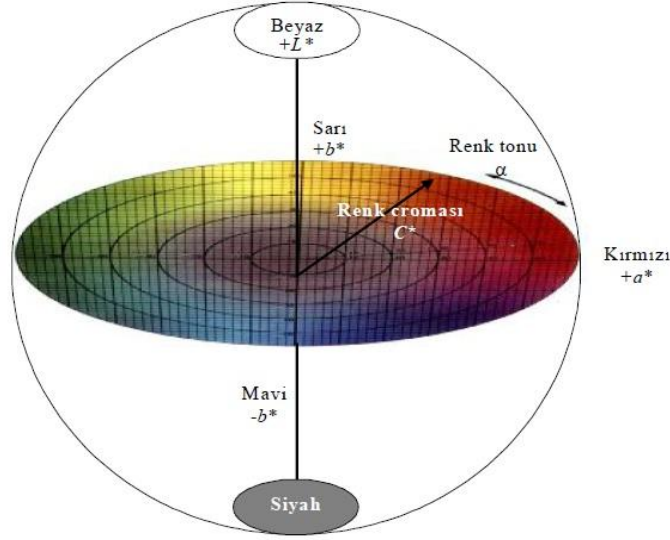
$$mr = m / m_0$$

3.2.3. Renk tayini

Armut ve ayva 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 armut ve ayva 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 kurutulan ürün renk parlaklığının standart olarak alınan taze ürün renk parlaklığından daha yüksek olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün renk parlaklığının azaldığını göstermektedir. Pozitif Δa değerleri kurutulan üründeki yeşil rengin standart olarak alınan taze ürün yeşil renginden daha düşük olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün yeşil renginin arttığını göstermektedir. Pozitif Δb değerleri kurutulan

üründeki 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 sifıra 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 değerinin (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,

χ² : 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. Armut Dilimleri İçin Kuruma Davranışları Ve Analizler

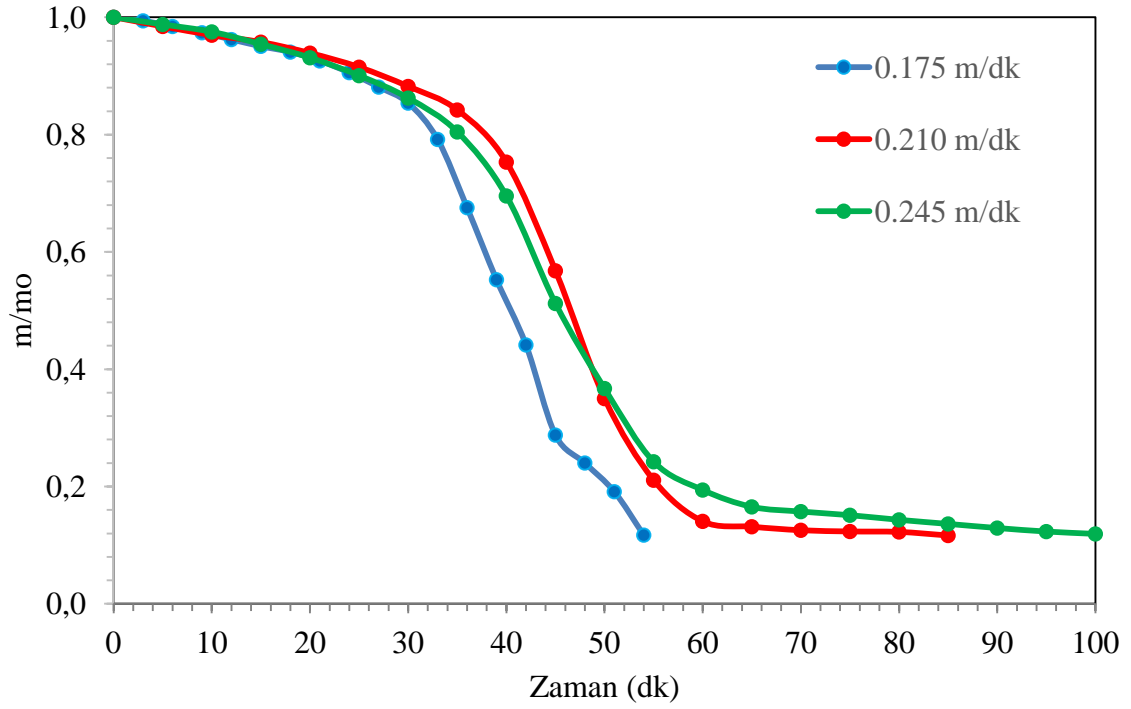
4.1.1. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular

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

Çizelge 4.1. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2000 Watt güç için deneysel veriler

0,175 m/dk				0,210 m/dk				0,245 m/dk			
Süre (dk)	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut nem oranı)	Süre (dk)	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut nem oranı)	Süre (dk)	ms (yaş ağırlık) (g)	my (y.b nem) (%)	mr (boyut nem oranı)
0	20,58	%86,1	1,00	0	26,56	%86,8	1,00	0	19,40	%86,2	1,00
3	19,83	%85,6	0,99	5	24,04	%85,4	0,98	5	18,03	%85,1	0,99
6	18,75	%84,8	0,98	10	22,08	%84,2	0,97	10	16,80	%84,0	0,98
9	17,68	%83,9	0,97	15	20,73	%83,1	0,96	15	15,09	%82,2	0,95
12	16,65	%82,9	0,96	20	18,91	%81,5	0,94	20	13,57	%80,3	0,93
15	15,73	%81,9	0,95	25	17,00	%79,4	0,91	25	11,97	%77,6	0,90
18	15,03	%81,0	0,94	30	14,93	%76,6	0,88	30	10,43	%74,3	0,86
21	14,07	%79,7	0,93	35	13,00	%73,1	0,84	35	8,74	%69,3	0,80
24	12,97	%78,0	0,91	40	10,11	%65,4	0,75	40	6,69	%59,9	0,70
27	11,81	%75,8	0,88	45	6,90	%49,3	0,57	45	4,80	%44,1	0,51
30	10,76	%73,5	0,85	50	5,03	%30,4	0,35	50	3,92	%31,6	0,37
33	8,96	%68,2	0,79	55	4,28	%18,3	0,21	55	3,39	%20,9	0,24
36	6,81	%58,2	0,68	60	3,99	%12,2	0,14	60	3,22	%16,7	0,19
39	5,44	%47,6	0,55	65	3,95	%11,4	0,13	65	3,12	%14,2	0,17
42	4,60	%38,0	0,44	70	3,93	%10,9	0,13	70	3,10	%13,5	0,16
45	3,79	%24,8	0,29	75	3,92	%10,7	0,12	75	3,08	%13,0	0,15
48	3,59	%20,7	0,24	80	3,92	%10,6	0,12	80	3,06	%12,3	0,14
51	3,41	%16,4	0,19	85	3,89	%10,1	0,12				
54	3,17	%10,1	0,12								

Üç farklı bant hızı için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1.1. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2000 Watt güç için kuruma eğrileri

4.1.2. 2800 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular

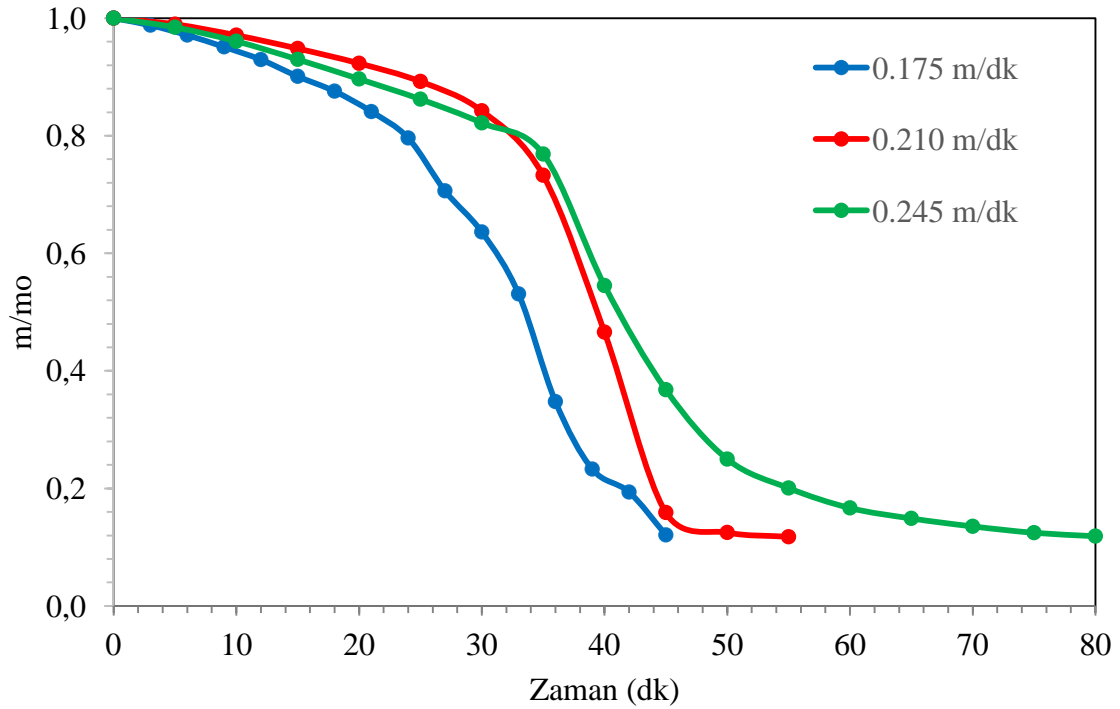
Deneyler neticesinde bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2800 Watt güç için deneysel veriler

Süre (dk)	0,175 m/dk			Süre (dk)	0,210 m/dk			Süre (dk)	0,245 m/dk		
	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	37,41	%86,1	1,00	0	27,36	%87,2	1,00	0	19,60	%84,8	1,00
3	34,72	%85,1	0,99	5	25,55	%86,3	0,99	5	18,05	%83,5	0,98
6	31,65	%83,6	0,97	10	22,84	%84,7	0,97	10	16,08	%81,5	0,96
9	28,63	%81,9	0,95	15	20,23	%82,7	0,95	15	14,09	%78,9	0,93
12	25,96	%80,0	0,93	20	17,95	%80,5	0,92	20	12,43	%76,0	0,90
15	23,12	%77,6	0,90	25	15,77	%77,8	0,89	25	11,08	%73,1	0,86
18	21,07	%75,4	0,88	30	13,18	%73,5	0,84	30	9,83	%69,7	0,82
21	18,79	%72,4	0,84	35	9,69	%63,9	0,73	35	8,56	%65,2	0,77
24	16,48	%68,5	0,80	40	5,89	%40,6	0,47	40	5,54	%46,2	0,55

27	13,22	%60,8	0,71	45	4,06	%13,9	0,16	45	4,33	%31,2	0,37
30	11,46	%54,8	0,64	50	3,93	%10,9	0,12	50	3,78	%21,2	0,25
33	9,55	%45,7	0,53	55	3,90	%10,3	0,12	55	3,59	%17,0	0,20
36	7,40	%29,9	0,35	60				60	3,47	%14,1	0,17
39	6,48	%20,0	0,23	65				65	3,41	%12,6	0,15
42	6,22	%16,7	0,19	70							
45	5,79	%10,4	0,12	75							

Üç farklı bant hızı için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.2. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ve 2800 Watt güç için kuruma eğrileri

4.1.3. 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 5 mm kalınlığındaki dilimlerin renk parametreleri Çizelge 4.3'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 2000 W güçte görülmüştür. Aşırı ısınma nedeniyle üründe yanmalar, dolayısıyla kararmalar görülmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 4.3. 5 mm kalınlığındaki armut dilimlerine ait renk parametreleri

	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	54,71	-0,66	6,23						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2000 W	25,01	10,78	18,81	21,68	1,05	-11,44	-12,58	29,7	34,2231
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	58,63	-0,08	9,03						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2800 W	42,01	12,45	22,16	25,41	1,058	-12,53	-13,13	16,62	24,6094
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	58,47	-0,14	6,5						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2000 W	37,97	16,3	19,92	25,73	0,885	-16,44	-13,42	20,5	29,5063
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	58,47	-0,14	6,5						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2800 W	27,42	14,6	15,19	21,06	0,805	-14,74	-8,69	31,05	35,4526
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	67,6	0,11	14,58						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									

0,245 m/dk - 2000 W	34,17	14,25	21,39	25,70	0,983	-14,14	-6,81	33,43	36,9308
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	<i>α</i>	<i>Δa</i>	<i>Δb</i>	<i>ΔL</i>	<i>ΔE</i>
Taze Ürün	67,6	0,11	14,58						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dk - 2800 W	45,42	14,53	22,7	26,95	1,001	-14,42	-8,12	22,18	27,6735



Şekil 4.3. Kurutulan 5 mm kalınlığındaki armut diliminin kurutma sonrası durumu.

4.1.4. Mikrodalga kurutmada enerji tüketimi ve kuruma süreleri

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

Çizelge 4.4'te ise 5 mm kalınlıktaki armut dilimleri ile yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.4. 5 mm kalınlığındaki armut dilimlerine ait tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütlesi (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk 2000 W	54	20,58	3,17	86,1	10,1	2,489
0,175m/dk 2800 W	45	37,41	5,79	86,1	10,4	1,370
0,210 m/dk 2000 W	85	26,56	3,89	86,8	10,1	2,794
0,210 m/dk 2800 W	55	27,36	3,90	87,2	10,3	2,193
0,245 m/dk 2000 W	80	19,40	3,06	86,2	12,3	3,059
0,245 m/dk 2800 W	66	19,60	3,41	84,8	12,6	2,655

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.

4.1.5. Kuruma davranışlarının modellenmesi

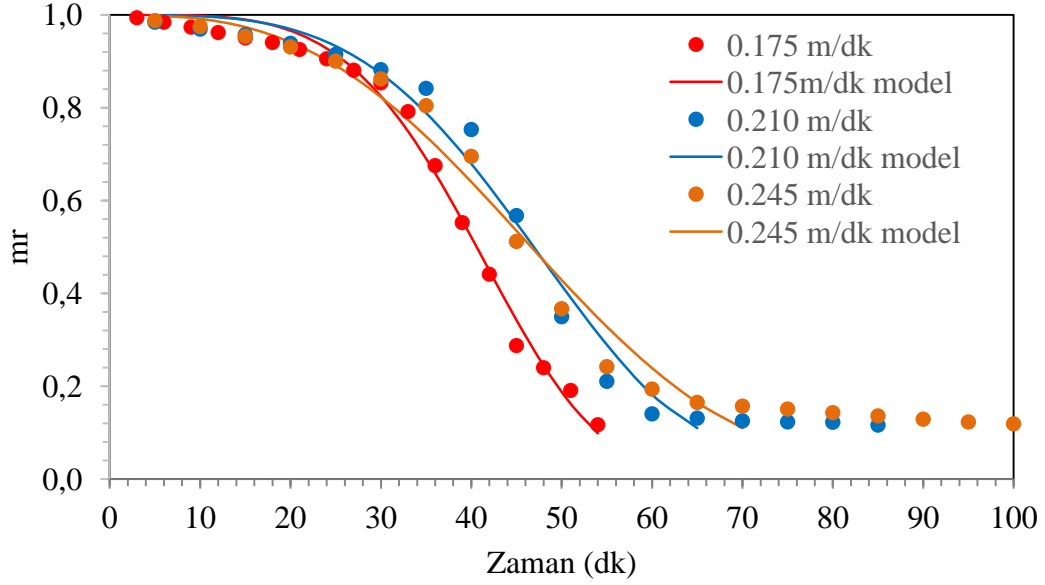
4.1.5.1. 2000 Watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan armut dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.5’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. 2000 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ^2
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a=1,2585 / k=0,02207	0,7518	0,1623	0,0263
	0,210 m/dk	a= 1,351974 / k= 0,02344827	0,8342	0,1622	0,0263
	0,245 m/dk	a=1,325202 / k= 0,0227108	0,861	0,139	0,0193
Geometric	0,175 m/dk	a=1,7459 / n=0,29801	0,4715	0,2352	0,0553
	0,210 m/dk	a= 2,749047 / n=0,4662628	0,5747	0,2578	0,0665
	0,245 m/dk	a=2,6096835 / n=0,4438347	0,6022	0,2331	0,0544
Wang and Singh	0,175 m/dk	a=0,00544 / b= -0,0004249	0,9778	0,0485	0,0024
	0,210 m/dk	a= -0,006369 / b= -0,0000734	0,8857	0,1355	0,0184
	0,245 m/dk	a=-0,00563356 / b= -0,000089	0,917	0,1082	0,0117
Newton	0,175 m/dk	k= 0,0150765	0,7896	0,1885	0,0355
	0,210 m/dk	k= 0,016723419	0,867	0,1974	0,039
	0,245 m/dk	k= 0,01618855	0,8917	0,1755	0,0308
Page	0,175 m/dk	k=0,0000 / n=4,229057	0,9935	0,0293	0,0009
	0,210 m/dk	k= 0,0000 / n= 3,6585718	0,9794	0,0671	0,0045
	0,245 m/dk	k= 0,0000 / n= 2,876664	0,9782	0,0564	0,0032

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



Şekil 4.4. 5 mm dilim kalınlığı ve 2000 Watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

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

4.1.5.2. 2800 Watt güçte yapılan kurutmanın modellenmesi

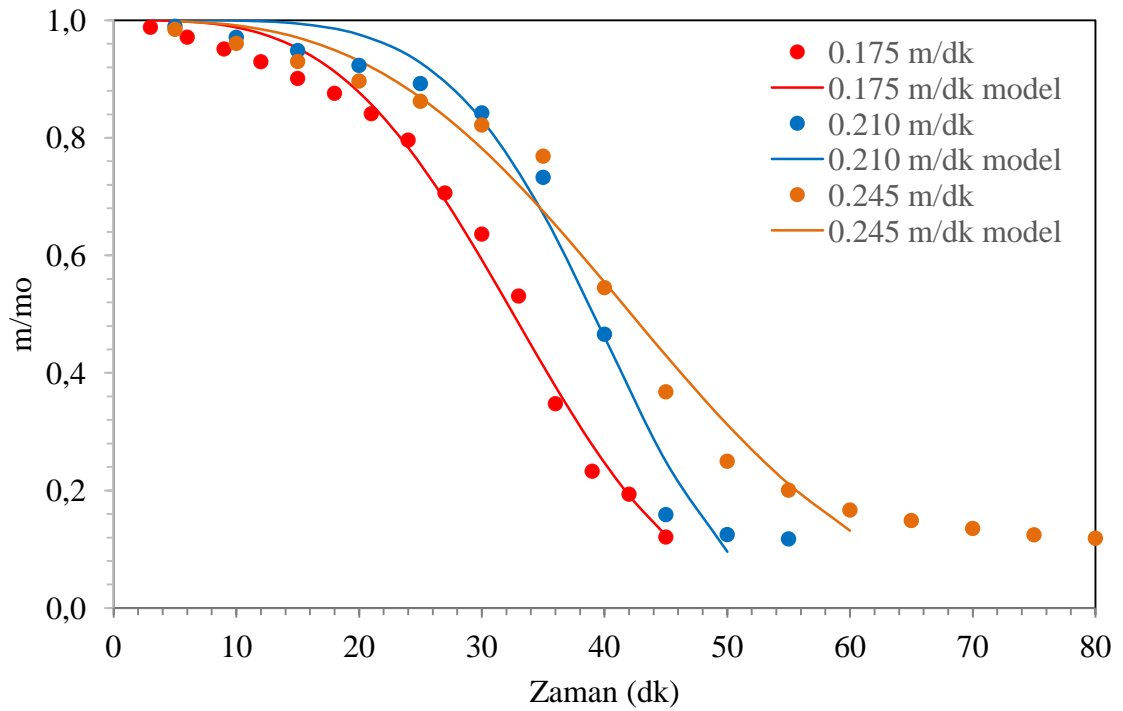
Kurutulan armut dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1'de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 2800 W güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ^2
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a= 1,25213375 / k= 0,02852	0,8055	0,1427	0,0204
	0,210 m/dk	a= 1,339179 / k= 0,026254	0,744	0,1966	0,0387
	0,245 m/dk	a=1,299376 / k= 0,02408526	0,8378	0,1436	0,0206
Geometric	0,175 m/dk	a= 1,773968 / n= 0,33898	0,5402	0,2177	0,0474
	0,210 m/dk	a= 2,309734 / n= 0,406421	0,5074	0,2709	0,0734
	0,245 m/dk	a= 2,367631 / n= 0,41557037	0,5922	0,2263	0,0512
Wang and	0,175 m/dk	a= 0,001754 /	0,9856	0,0385	0,0015

Singh		$b = -0,00050067$			
	0,210 m/dk	$a = 0,00426019 /$ $b = -0,00042$	0,939	0,0946	0,0089
	0,245 m/dk	$a = -0,00288499 /$ $b = -0,000188$	0,9436	0,0838	0,007
Newton	0,175 m/dk	$k = 0,02012436$	0,8399	0,1685	0,0284
	0,210 m/dk	$k = 0,01740598$	0,7884	0,225	0,0506
	0,245 m/dk	$k = 0,017003146$	0,8714	0,1747	0,0305
Page	0,175 m/dk	$k = 0,0000 / n = 3,416489$	0,9908	0,0353	0,0012
	0,210 m/dk	$k = 0,0000 / n = 4,962485$	0,9827	0,0566	0,0032
	0,245 m/dk	$k = 0,0000 / n = 3,0465357$	0,9801	0,0513	0,0026

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 4.5’de çizilmiştir.



Şekil 4.5. 5 mm dilim kalınlığı ve 2800 Watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.5’den de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

4.2. Ayva Dilimleri İçin Kuruma Davranışları ve Analizler

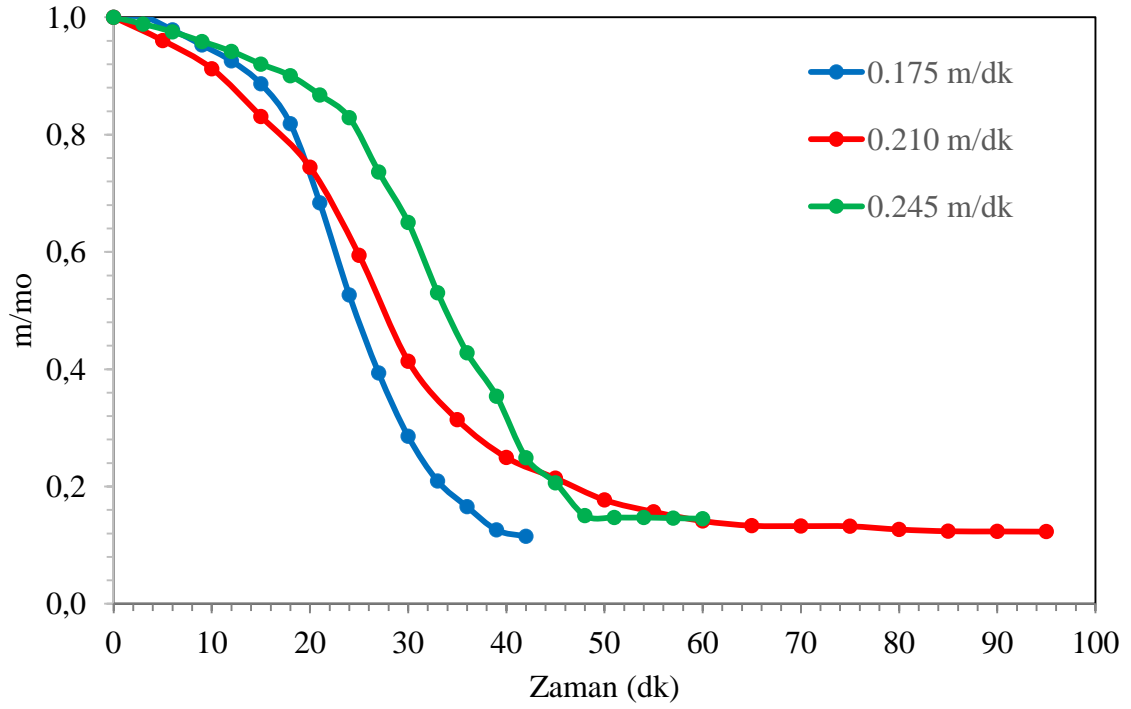
4.2.1. 2000 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular

Deneyle neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2000 Watt güç için deneysel veriler

0,175 m/dk				0,210 m/dk				0,245 m/dk			
Süre (dk)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut nem oranı)	Süre (dk)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut nem oranı)	Süre (dk)	m _s (yaş ağırlık) (g)	m _y (y.b nem) (%)	m _r (boyut nem oranı)
0	14,44	%81,7	1,00	0	17,45	%83,0	1,00	0	14,42	%81,7	1,00
3	13,44	%81,8	1,00	5	14,59	%79,7	0,96	3	13,69	%80,7	0,99
6	12,21	%80,0	0,98	10	12,19	%75,7	0,91	6	12,97	%79,7	0,98
9	11,05	%77,8	0,95	15	9,54	%69,0	0,83	9	12,16	%78,3	0,96
12	10,04	%75,6	0,93	20	7,75	%61,8	0,74	12	11,43	%76,9	0,94
15	8,88	%72,4	0,89	25	5,84	%49,3	0,59	15	10,62	%75,2	0,92
18	7,39	%66,9	0,82	30	4,51	%34,3	0,41	18	9,97	%73,6	0,90
21	5,54	%55,9	0,68	35	4,00	%26,1	0,31	21	9,05	%70,9	0,87
24	4,30	%43,0	0,53	40	3,73	%20,7	0,25	24	8,17	%67,7	0,83
27	3,61	%32,2	0,39	45	3,60	%17,8	0,21	27	6,61	%60,1	0,74
30	3,19	%23,3	0,29	50	3,47	%14,7	0,18	30	5,62	%53,1	0,65
33	2,95	%17,1	0,21	55	3,40	%13,0	0,16	33	4,65	%43,3	0,53
36	2,83	%13,5	0,17	60	3,35	%11,7	0,14	36	4,05	%35,0	0,43
39	2,73	%10,3	0,13	65	3,33	%11,1	0,13	39	3,71	%28,9	0,35
				70	3,33	%11,0	0,13	42	3,31	%20,3	0,25
				75	3,33	%11,0	0,13	45	3,17	%16,8	0,21
				80	3,31	%10,5	0,13	48	3,01	%12,3	0,15
				85	3,30	%10,3	0,12	51	3,00	%12,0	0,15
				90	3,30	%10,2	0,12	54	3,00	%12,0	0,15
				95	3,30	%10,2	0,12	57	2,99	%11,9	0,15

Üç farklı bant hızı için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2000 Watt güç için kuruma eğrileri

4.2.2. 2800 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait bulgular

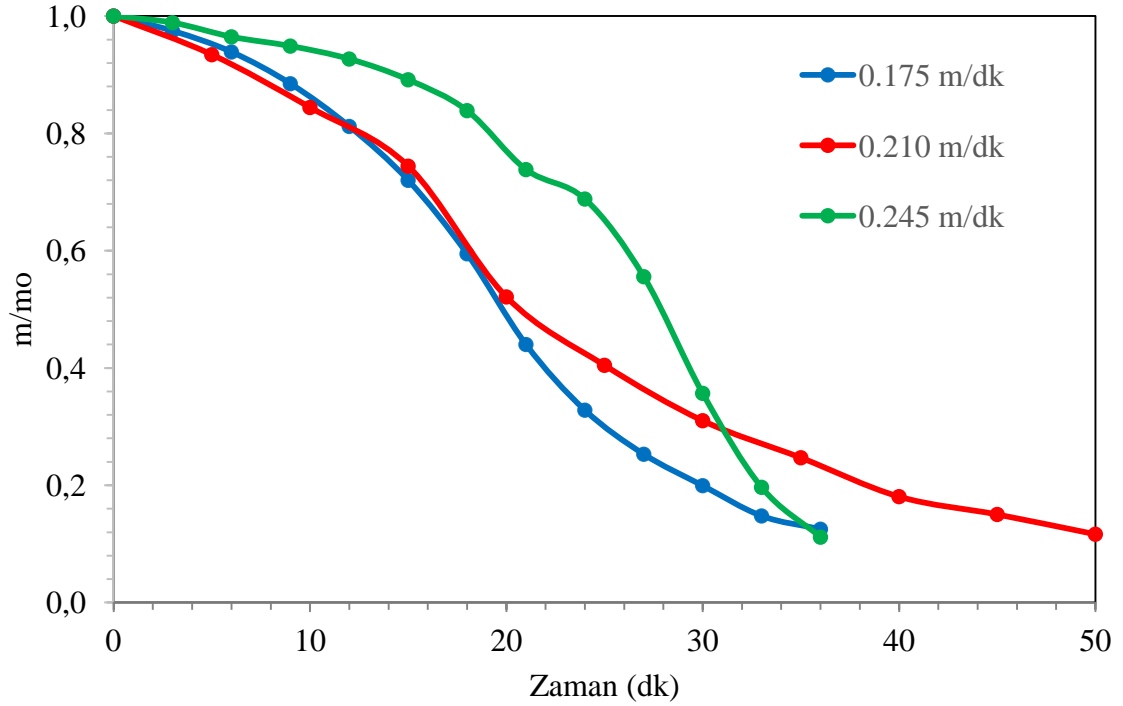
Deneyler neticesince bulunan ve hesaplanarak analizlerde kullanılan veriler toplu olarak Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2800 w güç için deneysel veriler

Süre (dk)	0,175 m/dk			Süre (dk)	0,210 m/dk			Süre (dk)	0,245 m/dk		
	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	23,02	%81,7	1,00	0	16,20	%83,3	1,00	0	14,44	%81,7	1,00
3	20,63	%79,6	0,97	5	12,17	%77,8	0,93	3	13,71	%80,8	0,99
6	18,03	%76,7	0,94	10	9,10	%70,3	0,84	6	12,44	%78,8	0,96
9	15,16	%72,3	0,88	15	7,10	%62,0	0,74	9	11,72	%77,5	0,95
12	12,48	%66,3	0,81	20	4,77	%43,4	0,52	12	10,86	%75,7	0,93
15	10,20	%58,8	0,72	25	4,07	%33,7	0,40	15	9,70	%72,8	0,89
18	8,17	%48,6	0,59	30	3,64	%25,8	0,31	18	8,38	%68,5	0,84
21	6,56	%35,9	0,44	35	3,40	%20,6	0,25	21	6,64	%60,3	0,74
24	5,74	%26,8	0,33	40	3,18	%15,0	0,18	24	6,02	%56,2	0,69

27	5,30	%20,7	0,25	45	3,09	%12,5	0,15	27	4,83	%45,4	0,56
30	5,02	%16,3	0,20	50	2,99	%9,7	0,12	30	3,72	%29,1	0,36
33	4,78	%12,1	0,15	55				33	3,14	%16,1	0,20
36	4,68	%10,2	0,13	60				36	2,90	%9,1	0,11

Üç farklı bant hızı için oluşturulan deneysel kuruma eğrileri Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2800 Watt güç için kuruma eğrileri

4.2.3. 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 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin renk parametreleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutmada parlaklık (ΔL) için en fazla kayıplar 0,210 m/dk bant hızında ve 2000 W güçte görülmüştür. Aşırı ısınma nedeniyle üründe yanmalar, dolayısıyla karamalar görülmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 4.9. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait renk parametreleri

Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	50,19	7,17	20,45						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2000 W	55,06	15,54	26,91	31,07	1,047	-8,37	-6,46	-4,87	11,6407
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	64,88	0,29	22,83						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2800 W	41,29	15,32	19,83	25,05	0,913	-15,03	3	23,59	28,1316
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	64,56	0,86	25,39						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2000 W	36,56	12,66	23,01	26,26	1,067	-11,8	2,38	28	30,4779
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	64,56	0,86	25,39						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2800 W	49,37	7,21	23,82	24,88	1,276	-6,35	1,57	15,19	16,5385
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	74,09	0,73	21,23						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dk - 2000 W	50,48	13,6	26,4	29,69	1,095	-12,8	-5,17	23,61	27,3824
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	56,45	2,94	25,98						

Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dk - 2800 W	51,33	15,31	25,7	29,91	1,033	-12,37	0,28	5,12	13,3907



Şekil 4.8. Kurutulan 4 mm kalınlığındaki ayva diliminin kurutma sonrası durumu.

4.2.4. 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 4.10’da verilmiştir. Çizelge 4.10’dan görüldüğü gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır.

Çizelge 4.10’da ise 4 mm kalınlıktaki ayva dilimleri ile yapılan tüm uygulamalarda ölçülen ve değerlendirmeye tabii tutulan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.10. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütlesi (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk - 2000 W	39	14,44	2,73	81,7	10,3	2,144
0,175 m/dk - 2800 W	36	23,02	4,68	81,7	10,2	1,370
0,210 m/dk - 2000 W	95	17,45	3,30	83	10,2	2,600
0,210 m/dk - 2800 W	50	16,2	2,99	83,3	9,7	2,193
0,245 m/dk - 2000 W	57	14,42	2,99	81,7	11,9	1,870
0,245 m/dk - 2800 W	36	14,44	2,90	81,7	9,1	1,399

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 armut meyvesi ile benzer olduğundan tüketim miktarı ve süre ile ilgili gerekli açıklamalar bu bölümde tekrarlanmamıştır.

4.2.5. Kuruma davranışlarının modellenmesi

4.2.5.1. 2000 Watt güç için yapılan kurutmanın modellenmesi

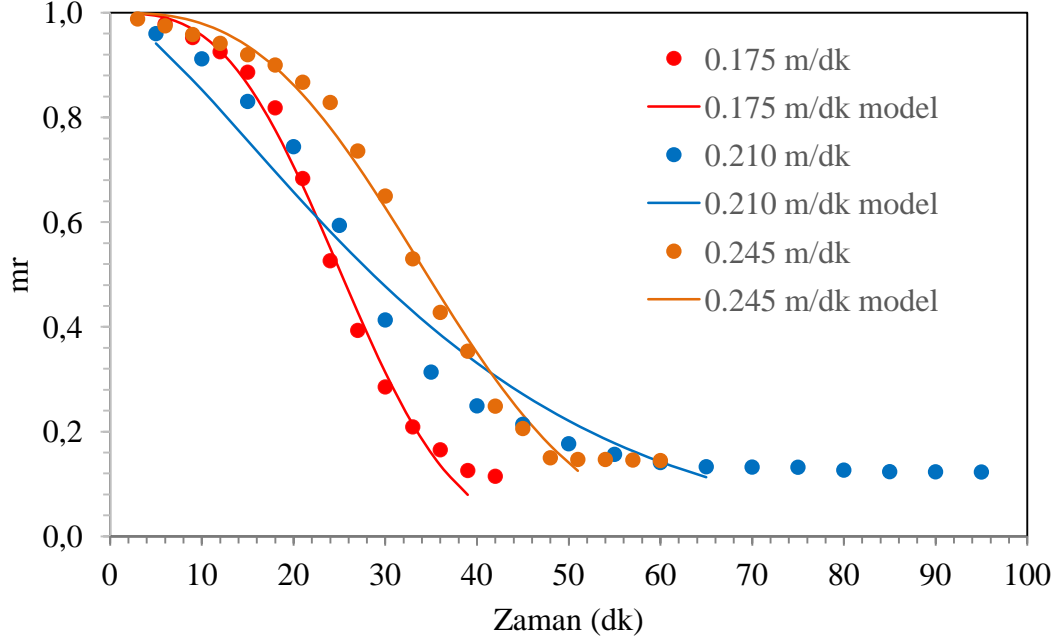
Kurutulan ayva dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ^2
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a=1,3281449 / k= 0,0410852	0,8643	0,1333	0,0178
	0,210 m/dk	a=1,2418541 / k= 0,03361104	0,96	0,0624	0,0039
	0,245 m/dk	a=1,2918601 / k= 0,02962892	0,8647	0,1309	0,0171
Geometric	0,175 m/dk	a= 1,9847524 / n=0,42898523	0,6128	0,2228	0,0497
	0,210 m/dk	a= 3,2929296 / n=0,640065	0,8189	0,1348	0,0182
	0,245 m/dk	a= 1,9919764 / n=0,39758516	0,5867	0,2265	0,0513
Wang and Singh	0,175 m/dk	a=-0,0041357 / b= -0,000545	0,9613	0,0712	0,0051
	0,210 m/dk	a= -0,022617 / b= 0,0001412	0,9681	0,0706	0,005
	0,245 m/dk	a= -0,006077 / b= -0,0002064	0,9456	0,083	0,0069
Newton	0,175 m/dk	k= 0,02826369	0,8999	0,1735	0,0301
	0,210 m/dk	k= 0,02698514	0,9476	0,0857	0,0073
	0,245 m/dk	k= 0,02144866	0,896	0,165	0,0272
Page	0,175 m/dk	k= 0,0000 / n= 2,9786444	0,994	0,028	0,0008
	0,210 m/dk	k= 0,0063202 /	0,9571	0,0677	0,0046

n= 1,399856				
0,245 m/dk	k=0,0000 / n= 2,8194694	0,9894	0,0373	0,0014

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



Şekil 4.9. 4 mm dilim kalınlığı ve 2000 Watt kurutma gücü 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.

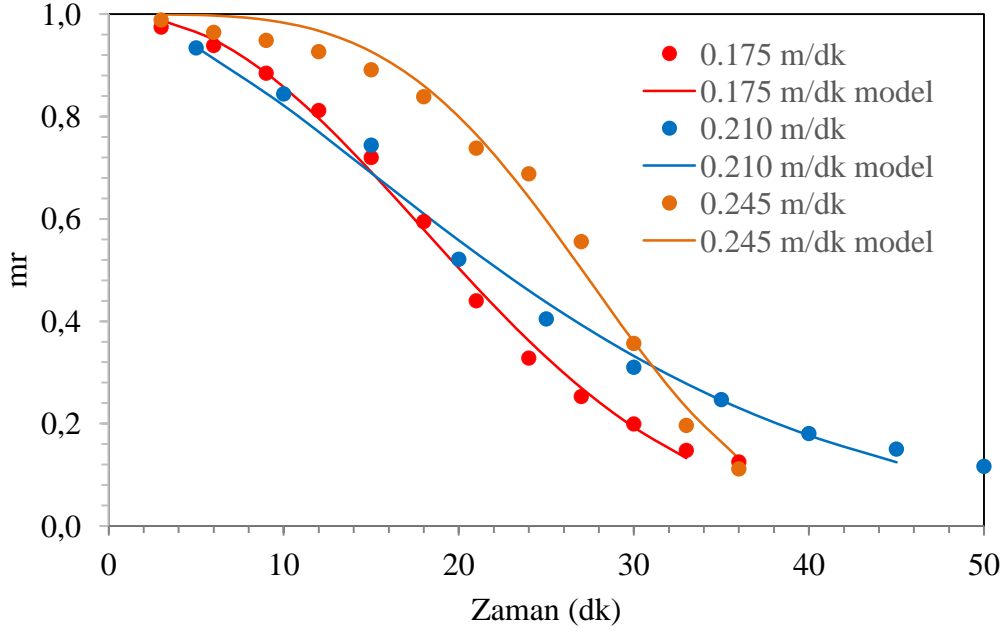
4.2.5.2. 2800 Watt güç için yapılan kurutmanın modellenmesi

Kurutulan ayva dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 3.1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. 2800 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ^2
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a=1,29497859 / k= 0,0516691	0,9303	0,0921	0,0085
	0,210 m/dk	a=1,256551 / k= 0,0445496	0,9774	0,0489	0,0024
	0,245 m/dk	a=1,268305 / k= 0,03434459	0,7849	0,1529	0,0234
Geometric	0,175 m/dk	a=2,0468115 / n=0,5067677	0,713	0,1846	0,0341
	0,210 m/dk	a=2,962906 / n=0,6348704	0,8348	0,1324	0,0175
	0,245 m/dk	a= 1,7549795 / n=0,3504944	0,5349	0,2232	0,0498
Wang and Singh	0,175 m/dk	a=-0,0188109 / b=-0,0002247	0,965	0,0678	0,0046
	0,210 m/dk	a=-0,025516 / b= 0,0001406	0,9749	0,0596	0,0036
	0,245 m/dk	a= 0,00529 / b= -0,0008535	0,9896	0,0339	0,0011
Newton	0,175 m/dk	k= 0,03797227	0,9531	0,1308	0,0171
	0,210 m/dk	k= 0,03470697	0,9835	0,0863	0,0074
	0,245 m/dk	k= 0,023468220	0,822	0,1788	0,032
Page	0,175 m/dk	k=0,00106487 / n= 2,158826	0,9955	0,0233	0,0005
	0,210 m/dk	k=0,00529218 / n= 1,569634	0,9905	0,0316	0,001
	0,245 m/dk	k=0,0000 / n= 3,751765	0,9904	0,0368	0,0014

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 4.10'da çizilmiştir.



Şekil 4.10. 4 mm dilim kalınlığı ve 2800 Watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 4.10'dan da görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 5 mm kalınlığında Deveci tipi armut dilimlerini ve 4 mm kalınlığında ayva dilimlerini mikrodalga ile çalışan bantlı kurutucuda kurutma esnasındaki kuruma karakteristiklerinin, kalite kriterleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada, 5 mm kalınlığında Deveci tipi armut dilimlerinin $11,2\pm 1$ (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları, 2800 W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemi vermiştir.

4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin $11,05\pm 1$ (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları yine, 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 genelde kuruma sürelerini arttırdığı görülmüştür. Mikrodalga gücü artışının elektrik tüketimi ve kuruma süresinde azalma oluşturmamasına rağmen kalite değerlerinde herhangi bir belirleyici etkisi olmamıştır.

Kurutulan armut ve ayva dilimleri renk açısından incelendiğinde, aynı bant hızında armut dilimleri ve ayva dilimleri için 2800 W toplam mikrodalga gücü ile çalışma koşullarına ait renk faktörlerinin genelde, ürünün taze rengine en yakın sonuçları verdiği görülmektedir. Mikrodalga gücünün yükselmesi ile genel olarak renk kalitesinde iyileşmeler olmuştur. Renk kalitesi açısından bakıldığında 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri için en iyi sonuçlar 0,175 m/dk bant hızı ve 2800 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminde belirlenmiştir. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için ise en iyi sonuç 0,175 m/dk bant hızı ve 2000 W mikrodalga gücünde görülmüştür. Her iki çalışmada da renk kalitesi açısından en iyi sonucu 0,175 m/dk bant hızında elde edilmiştir.

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Newton, Page, Henderson ve 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 her iki çalışma için yapılan tüm deney koşullarında kuruma kinetiklerini en iyi tahminleyen model "Page" kuruma modeli olarak seçilmiştir.

Sonuç olarak, bantlı mikrodalga kurutucu ile kurutma uygulamalarında mümkün olduğunca düşük bant hızı ile çalışmasının kalite kriterleri açısından daha yararlı olacağı söylenbilir. Yüksek bant hızlarında ise yüksek mikrodalga gücünün renk kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği söylenbilir. Ancak uygun kurutma koşullarının belirlenebilmesi için kurutmanın yapılacağı sistemde magnetronların konumları, bant uzunluğu, kurutma kabini hacmi 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.
- Anonim (2003) <http://www.fao.org> / Statistical Databases / Faostat – Agriculture / Agricultural Production
- Anonim (2009)Elma Yetiştiriciliği. Bahçecilik. (MEGEP) Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 3-29.
- Anonim (2009) Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4, No: 3, 2009 (20-31)
- Anonim (2011) Deveci Armudu. Bursa Gürsu Ziraat Odası.
- Anonim (2013) TZOB, <http://www.tzob.org.tr/>(erişim tarihi, (11.12.2015).
- Anonim (2014) Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division Data Base. <http://faostat.fao.org> (erişim tarihi 18.10.2014).
- Anonim (2014) MEB ,Tarım Teknolojileri,Yumuşak Çekirdekli Meyve Yetiştiriciliği,Ankara
- Anonim (2014) Türkiye Meyveciliğinde Üretim Hedefleri [http:// www.zmo.org.tr](http://www.zmo.org.tr) (erişim tarihi, 17.12.2015).
- Arballo J R, Laura A, Mascheroni R H (2005) Modeling of Microwave Drying of Fruits, Drying Technology an international journal ,23:9-11
- Baysal T (1994). Bazı Sebzelerin Kalitesine Mikrodalga ve Diğer Haşlama Yöntemlerinin Etkileri Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- Cihan A, Kahveci K, Hacihafizoğlu 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.
- Decareau R.V (1995). *Microwaves In The Food Processing Industry*. Academic Press Inc, Orlando
- 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.
- Fujiwara T (2014) Novel Dried Japanese Pear Fruit Prepared by Microwave Irradiation Pretreatment and Hot Air Drying, *Japan Soc Food Science Technology*,61(1): 27-33.
- Fumagalli F. Silveira A. M. (2007) Quality Evaluation of Microwave-Dried Packham's Triumph Pear,45: 2215-2226
- Giese J (1992). Advances of Microwave Food Processing. *Food Technology*, 46:118-123.
- Gunesekaran 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.
- Kaya A. Aydın O. Demirtaş C. Akgün M. (2007) An experimental study on the drying kinetics of quince, *Desalination*, 212;1, 328-343
- Kaynak G. (2012) Mikrodalgalar Ve Uygulamaları, *Bilim Ve Teknik Dergisi*, 2012
- Kiranoudis C.T. Tsami E. Maroulis Z.B. (2007), Microwave Vacuum Drying Kinetics Of Some Fruits, 2421-2440
- Knutson K.M., Marth E.H., Wagner M.K (1987). Microwave Heating of Food. *Wisconsin U-Tech.*, 20:101-110.
- Koç B. Eren İ. Ertekin F.K. (2008) Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method, *Journal Of Food Engineering*, 85: 3 ,340-349
- Konak Ü.İ., Certel M, Helhel S (2009). Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 20-31.
- 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.
- 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.
- Noshad M. Mohebbi M. Shahidi F. Mortazavi S.A. Multi-Objective Optimization of Osmotic-Ultrasonic Pretreatments and Hot-Air Drying of Quince Using Response Surface Methodology, *Food and Bioprocess Technology*, 5:6, 2098-2110
- Oğulata T, Kadem F, Koç E (1999). Tekstilde Kurutma Yöntem ve Makinaları. 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 803-810, İzmir.
- Oktay A. RF Ve Mikrodalga Enerjisinin Endüstriyel Uygulamaları. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa.

- Özgen F (2014). Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 55(656): 42-49.
- Özsoy E (2015) Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Elma (Gala) Dilimlerinin Kuruma Davranışı.Y.Lisans Tezi,Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Tekirdağ
- 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.
- Soysal ve Öztekin (2001),Tecnical and Economic Performance of a Tra Dryer for Medicinal and Aromatic Plants,*Journal of Agricultural Engineering Research*
- 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 T., Singh F., Midilli L. (2012), Experimental characterization and modelling of drying of pear, *Food Science and Biotechnology*,21:5, 1377 – 138
- 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.

Zeybek M (2003). Mikrodalga Tekniği ile Gaz Betonun Kurutulması. Y.Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında, İstanbul ilinin Çatalca ilçesinde doğdu. İlköğrenim ve orta öğrenimini Büyükçekmece ilçesine bağlı Tepecik İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Büyükçekmece yabancı dil ağırlıklı lisesinde tamamladı.2005 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl askerlik görevini yapmak için altı ay Konya da bulundu. İş hayatına 2006 yılında Erişler Gıda San. Ve Tic. Ltd. Şti de makine mühendisi olarak başladı. Dört yıl kadar özel sektörde değişik pozisyonlarda çalıştıktan sonra KPSS sınavı ile 2011 Yılında Tekirdağ Sanayi ve Ticaret İl Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak çalışmaya hayatına devam etti. Burada sekiz ay kadar çalıştıktan sonra İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresine geçti ve aynı zamanda Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına katılmaya hak kazandı. Halen İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresindeki görevini sürdürmekte ve bilimsel çalışmalarına devam etmektedir.