

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Tunahan ERDEM

**DEFNE (*LAURUS NOBİLİS* L.) MEYVESİNDEN YAĞ ELDE ETMEK
AMACIYLA UYGULANAN FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEFNE (*LAURUS NOBİLIS* L.) MEYVESİNDEN YAĞ ELDE ETMEK
AMACIYLA UYGULANAN FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Tunahan ERDEM

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Yılmaz YILDIZ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK
ÜYE

.....
Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarım Makinaları Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Selahattin SERİN
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2009D25**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

DEFNE (*LAURUS NOBILIS* L.) MEYVESİNDEN YAĞ ELDE ETMEK AMACIYLA UYGULANAN FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tunahan ERDEM

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
Yıl : 2012, Sayfa: 113
Jüri : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Yılmaz YILDIZ
: Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK
: Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
: Yrd. Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ

Bu araştırmada defne meyvesinden geleneksel kaynatma metodu ile elde edilen yağ miktarını artırabilmek amacıyla üç aşamadan oluşan yağ çıkarma tekniği çalışılmıştır. Defne meyvesi önerilen bu yeni yöntemle kurutma, vidalı pres ve kimyasal ekstraksiyon işleminden oluşmaktadır. Defne meyvelerinin vidalı pres ile yağının çıkarılabilmesi için ürün neminin % 7-9 aralığına çekilmesi gerekmektedir. İstenilen bu nem değerlerine ulaşabilmek için defne meyveleri mikrodalga, kızılötesi ışınlama, vakum ve sıcak hava ile kurutulmuştur. Araştırma kapsamında kurutma parametreleri, yağ miktarları, yağ asitleri analizi, kurutulan ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kuruma süreleri 80 °C sıcak hava ile kurutmada 960 dakika, 80°C sıcaklık ve 0,1 atm vakum koşullarında; 720 dakika, 800 W mikrodalga gücü ve 6,8 mm/s bant hızı ve 2,30 m/s hava hızının uygulandığı mikrodalga kurutmada 13 dakika olarak belirlenmiştir. Kızılötesi ışınlama enerjisi ile işletme ölçeğinde tesis edilen kurutma odasında kısmen dışardan alınan taze hava desteği ile yapılan uygulamada kurutma süresi 720 dakika olarak gerçekleşmiştir. Toplam yağ miktarı kızılötesi enerji ile yapılan kurutma denemelerinde en yüksek değer olan %42,5 düzeyine ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Defne meyvesi, defne meyvesi yağı, kurutma.

ABSTRACT

PhD. THESIS

RESEARCH ON DRYING TECHNIQUES TO OBTAIN BERRY OIL FROM LAUREL (*LAURUS NOBILIS* L.)

Tunahan ERDEM

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY**

Supervisor : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
Year: 2012, Pages: 113
Jury : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Yılmaz YILDIZ
: Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNCİLİK
: Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
: Asst. Prof. Dr. Asiye AKYILDIZ

In this research, three steps oil producing method was studied to increase the laurel berry oil which is gained by traditional method. The new concept is consisting of three main steps. These are; drying, screw pressing (mechanical press) and solvent extraction. To obtain laurel berry oil by screw pressing technique the moisture content of the berries should be reduced till to 7-9 % (w.b.). To achieve this, laurel berries were dried by hot air drying method that applied in atmospheric and vacuum conditions and microwave and infrared drying methods. In frame of this study drying parameters, oil yield, oil composition, physical and mechanical properties of dried berries were investigated. The optimum drying temperature for hot air drying were 80 °C where 960 min of drying time was obtained. The drying times were 720 minutes under 0,1 atm of vacuum at 80 °C. In case of using microwave belt dryer with energy supply of 800 W where the band speed of 6,8 mm/s and air flow rate of 2,30 m/s were used, a drying time of 13,15 minutes was recorded. Infrared drying on semi opened ventilation mode gave a drying times of 720 minutes.

Keywords: Laurel berry, laurel berry oil, drying.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana yardım eden tez danışmanı hocam Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN'e ve katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Sevil KARAASLAN'A teşekkür ederim.

Doktora çalışmasının yürütülmesi esnasında bana her zaman destek olan sevgili annem Şehriban ERDEM'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜRLER	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGE VE KISALTMALAR	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Defne Meyvesi ve Yağı.....	1
1.2. Defne Meyvesi Yağı Üretiminde Önerilen İşlem Basamakları.....	4
1.2.1. Kurutma	5
1.2.1.1. Nemin Biyolojik Materyale Bağlanış Şekilleri ve Defne Meyvesinin Nem Davranışının İrdelenmesi.....	5
1.2.1.2. Defne Meyvesi İçin Uygulanan Ürün Kurutma Yöntemleri	7
1.2.2. Yağlı Tohumlardan Yağ Üretimi.....	11
1.2.2.1. Mekanik Yöntemle Yağın Alınması.....	12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	17
2.1. Defne Meyvesinin Yağ Verimi ve Yağ Asitleri Kompozisyonu	18
2.2. Yağlı Tohumlardan Yağ Üretimi	19
2.3. Kurutma.....	19
3. MATERYAL VE METOD	35
3.1. Materyal	35
3.1.1. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar	35
3.2. Metod	45
3.2.1. Defne Meyvesinin Kurutulması.....	46
3.2.1.1. Sıcak Havayla Kurutma.....	46
3.2.1.2. Vakum Kurutma	46
3.2.1.3. Dielektrik Kurutma.....	46
3.2.1.4. Sıcak Hava ve Mikrodalga Kurutma	50
3.2.1.5. Kızılötesi Işınım Enerjisi Kurutma.....	50

3.2.2. Defne Meyvesi Yağının Çıkarılması	52
3.2.3. Yağ Asitleri Analizi	54
3.2.4. Özgül Enerji Tüketiminin Belirlenmesi.....	55
3.3. Fiziksel Özellikler ve Ezilme Yükünün Belirlenmesi.....	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Kurutma.....	61
4.1.1. Sıcak Havayla Kurutma	61
4.1.2. Vakum Kurutma	63
4.1.3. Mikrodalga Kurutma.....	69
4.1.4. İşletme Ölçeğinde Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma.....	82
4.2. Yağ Üretimi.....	88
4.3. Yağ Asitleri Analizi	91
4.4. Özgül Enerji Tüketimi Değerleri.....	93
4.5. Defne Meyvesinin Fiziko-Mekanik Özellikleri	96
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Defne bitkisinin yayılış alanı (ha).....	2
Çizelge 1.2. Kurutucuların sınıflandırılması.....	8
Çizelge 1.3. Kızılötesi ısıtıcıların dalga boyu karşılaştırması.....	10
Çizelge 4.1 Sıcak hava ile kurutmaya ilişkin sonuçlar	61
Çizelge 4.2. Vakum kurutmaya ilişkin sonuçlar	64
Çizelge 4.3. Bantlı mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma denemeleri.....	71
Çizelge 4.4. Sıcak hava ile ön kurutma ve bantlı mikrodalga kurutucuda yapılan nihai kurutma denemeleri	72
Çizelge 4.5. Bantlı mikrodalga kurutucuda tünel giriş ve çıkışı fanlı halde yapılan kurutma denemeleri*	74
Çizelge 4.6. Saf su testi ile mikrodalga çıkış gücü hesaplanması.....	82
Çizelge 4.7. İşletme ölçeğinde yapılan kurutma denemesi Sonuçları.....	82
Çizelge 4.8. Kurutma yöntemine bağlı olarak elde edilen yağ miktarları	91
Çizelge 4.9. Yağ asitleri içeriği.....	92
Çizelge 4.10. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerinin defne meyvesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi.....	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Defne yaprağı ve meyvesi.....	1
Şekil 1.2. Defne meyvesinin çırpılarak toplanması	3
Şekil 1.3. Defne meyvelerinin kazanda su ile kaynatılması.....	3
Şekil 1.4. Olgunlaşmış bir defne meyvesinin kısımları	6
Şekil 1.5. Elektromanyetik spektrum	9
Şekil 1.6. Paralel akışlı vidalı pres	13
Şekil 1.7. Ters akışlı vidalı pres	13
Şekil 1.8. Soksalet düzeneği.....	15
Şekil 3.1. Mikrodalga bantlı fırın ve kumanda paneli.....	37
Şekil 3.2. Kurutucu tüneli giriş-çıkış bölümüne yerleştirilmiş fan	37
Şekil 3.3. Vakumlu etüv	38
Şekil 3.4. Defne meyvesinin sundurma altında kalın tabaka şeklinde serilerek kurutulması	39
Şekil 3.5. Kurutma odası ve rafların perspektif görünüşü	40
Şekil 3.6. Kurutma odası	40
Şekil 3.7. Kızılötesi ısıtıcılar	41
Şekil 3.8. Kızılötesi sıcaklık ölçer ve probu	42
Şekil 3.9. Vidalı pres	42
Şekil 3.10. Soksalet düzeneği.....	43
Şekil 3.11. Lloyd materyal test cihazı.....	44
Şekil 3.12. Yaş ürün	48
Şekil 3.13. Ürünün bant üzerine ince tabaka şeklinde serilmesi.....	48
Şekil 3.14. Ürün merkez sıcaklığının ölçüm yeri.....	49
Şekil 3.15. Defne meyvesinin raflar üzerine serilmesi	51
Şekil 3.16. Rafların tekerlekli taşıyıcı dolap üzerindeki yerleşimi	51
Şekil 3.17. Defne meyvesinin vidalı presle sıkılması	53
Şekil 3.18. Vidalı presle sıkım işlemi sonunda petri kabında toplanan yağ	53
Şekil 3.19. Vidalı preste sıkılan ve katı faz içeren yağın filtre edilmesi.....	54
Şekil 3.20. Defne meyvesine ait genel boyutlar.....	57

Şekil 3.21. L*a*b* renk uzayının şematik görünümü	58
Şekil 4.1. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı	62
Şekil 4.2. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri.....	62
Şekil 4.3. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde ürün nemi.....	63
Şekil 4.4. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı.....	65
Şekil 4.5. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri.....	65
Şekil 4.6. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi	66
Şekil 4.7. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı değerleri	66
Şekil 4.8. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri.....	67
Şekil 4.9. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi	67
Şekil 4.10. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı değerleri	68
Şekil 4.11. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri.....	68
Şekil 4.12. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi	69
Şekil 4.13. Mikrodalga kurutma yönteminde ürün yüzey sıcaklıkları	75
Şekil 4.14. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları	76
Şekil 4.15. Sıcak hava ile ön kurutma ve mikrodalga enerji ile son kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları	76
Şekil 4.16. Sıcak hava ile ön kurutma ve mikrodalga enerji ile son kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları	77
Şekil 4.17. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 1,15 m/s).....	77
Şekil 4.18. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 1,15 m/s).....	78
Şekil 4.19. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 2,30 m/s).....	78
Şekil 4.20. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 2,30 m/s).....	79
Şekil 4.21. 800 W mikrodalga güç seviyesindeki denemelerde tünel içindeki hava hızının ürün yüzey sıcaklığına etkisi	80

Şekil 4.22. 800 W mikrodalga güç seviyesindeki denemelerde tünel içindeki hava hızının ürün merkez sıcaklığına etkisi	80
Şekil 4.23. Tam sirkülasyon konumunda % 36,03 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları	83
Şekil 4.24. Tam sirkülasyon konumunda % 20,28 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları	84
Şekil 4.25. Yarı sirkülasyon konumunda % 36,03 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları	85
Şekil 4.26. Yarı sirkülasyon konumunda % 20,28 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları	85
Şekil 4.27. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde % 36,03 (y.b.) ürün neminde dış ve iç ortam hava bağıl nemleri	86
Şekil 4.28. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde % 20,28 (y.b.) ürün neminde dış ve iç ortam hava bağıl nemleri	86
Şekil 4.29. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde ayrılabilir nem oranı değişimi.....	87
Şekil 4.30. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde kuruma hızı değerleri.....	87
Şekil 4.31. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde ürün nemi değişimi	88
Şekil 4.32. Pelet çıkış plakaları ve delik çapları	89
Şekil 4.33. Kurutulmuş ürünlerden mekanik sıkım yöntemiyle elde edilen defne meyvesi yağı	89
Şekil 4.34. Özgül enerji tüketimi	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<i>ANO</i>	: Ayrılabilir nem oranı
<i>a*</i>	: Rengin kırmızılığı, (+) ya da yeşilliği (-), boyutsuz
<i>b*</i>	: Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-), boyutsuz
<i>C*</i>	: Renk kroma, boyutsuz
<i>L*</i>	: Parlaklık, boyutsuz
<i>k.m.</i>	: Kuru madde (kg)
<i>T</i>	: Sıcaklık (°C)
<i>α</i>	: Renk tonu (°)
<i>a</i>	: Uzunluk (mm)
<i>b</i>	: Genişlik (mm)
<i>c</i>	: Kalınlık (mm)
<i>Dg</i>	: Geometrik ortalama çap (mm)
<i>Da</i>	: Aritmetik ortalama çap (mm)
<i>y.b</i>	: Yaş baza göre nem içeriği (%)
<i>k.b.</i>	: Kuru baza göre nem içeriği (%)
<i>W</i>	: Enerji birimi (Watt)
<i>θ</i>	: Yığılma Açısı (°)
<i>Pt</i>	: Yoğunluk (kg/m ³)
<i>Φ</i>	: Küresellik (birimsiz)
<i>P</i>	: Mikrodalga çıkış gücü (W)

1. GİRİŞ

1.1. Defne Meyvesi ve Yağı

Lauraceae familyasından olan defne (*Laurus nobilis* L.) 3-10 m boylanabilen sarı çiçekli, iki evcikli, her dem yeşil orman bitkisi olup (Şekil 1.1), Akdeniz iklimine özgü maki olarak adlandırılan bitki örtüsünün karakteristik bir türüdür (Anonim, 2011a). Ana yayılış alanı Akdeniz Havzası olan defne Anadolu'nun tüm kıyı şeridinde, Hatay'dan başlayarak Kuzeydoğu Karadeniz'e kadar yayılış göstermekte ve subtropik iklimin etkisi oranında iç bölgelere kadar 0–1200 m yüksekliklerde bulunabilmektedir (Çizelge 1.1).



Şekil 1.1. Defne yaprağı ve meyvesi

Defne ağacı yaprağı ve meyvelerinden yararlanılan “*orman dışı yan ürün*” olarak değerlendirilir. Yaprakları dar eliptik bir yapıda 5–10 cm uzunlukta, 2–3 cm genişlikte, basit derimsi kenarları dalgalı ve kısa saplı olup, her iki uca doğru sivrilmiştir. Üst yüzü parlak koyu yeşildir. Yapraklarının kısa ve kalın bir sapı vardır. Taze yapraklar ince, açık yeşil damarlı, kırmızıya çalan sarı renkte, daha sonra açık yeşil olup, hoş kokulu, kokusu azdır. Zeytinden küçük, tespih tanesi büyüklüğünde ve yumurta biçiminde, oval yapıda olan üzüksü meyveleri önceleri

yeşil, olgunlaşınca koyu siyah renge dönüşmekte olup, uzunluğu en fazla 2 cm' ye ulaşır.

Çizelge 1.1. Defne bitkisinin yayılış alanı (ha) (Bilgin ve ark, 2004)

İller	Yayılış alanı (ha)
Adana	6 343
Adapazarı	4 215
Amasya	800
Antalya	7 823
Balıkesir	5 500
Bolu	645
Bursa	11 791
İstanbul	500
İzmir	7 950
Kahramanmaraş	4 308
Mersin	40 927
Muğla	32 844
Zonguldak	6 672
Sinop	1 544
Toplam	131 862

Yukarıdaki tabloda yer almayan Hatay ili defne yayılış alanı 2012 yılı için Hatay Orman İşletme Müdürlüğü tarafından 10 125,9 ha olarak bildirmişlerdir (OGM Hatay, 2012).

Defne bitkisinin yaprakları taze veya kuru olarak ilaç veya uçucu yağ üretiminde kullanılır. Yapraklar tüm olarak, taze veya kurutulmuş halde kuru meyvelerin ambalajlanmasında, konserve yapımında, et ve balık yemeklerinde tüm veya öğütülmüş halde baharat olarak kullanılır.

Defne bitkisinden elde edilen ikinci önemli ürün, yağ elde etmek için ağaçlardan çırpma yöntemiyle toplanan defne meyvesidir (Şekil 1.4). Defne meyveleri kazanlarda su ile kaynatılarak defne meyvesi yağı elde edilir (Şekil 1.5). Defne meyvesi yağı ya doğrudan yağ olarak veya sabun yapımında kullanılmak üzere özellikle Hatay'da yoğun olarak üretilmekte ve yurtdışına ihraç edilmektedir. Bazı uçucu bileşenler içeren ve sabit yağ olarak anılan defne meyvesi yağı üretiminin %20' si sabun sanayinde kullanılmaktadır (Konukçu, 2001). Defne meyve yağının

ayrı bir Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon (GTİP) numarası olmadığı için kesin ihracat verileri olmayıp, diğer yağlar içinde gösterilmektedir. Bu nedenle defne meyvesi yağının toplam ihracat miktarı bilinmemektedir.



Şekil 1.2. Defne meyvesinin çırpılarak toplanması (Şentürk, 2010)



Şekil 1.3. Defne meyvelerinin kazanda su ile kaynatılması (Şentürk, 2010)

Defne meyveleri Ekim-Kasım ayında fizyolojik olgunluğa ulaşmakta ve yaklaşık % 40 nemde toplanmaktadır. Meyveler olgunlaştıktan sonra önceden zeytin

yeşili olan renkleri siyaha dönmektedir. Akdeniz (Silifke) ekolojisinden temin edilen materyal ile laboratuvar ölçeğinde soksalet ekstraksiyon yöntemi kullanarak üretilen defne meyvesindeki sabit yağın oransal olarak Ekim ayından itibaren arttığı, Aralık ayında en yüksek değer olan % 25,55 değerine ulaştığı bilinmektedir (Erden, 2005). Laboratuvar ölçeğinde süper kritik CO₂ ekstraksiyonu yöntemi ile defne meyvesinin yağ verimi % 28 olarak bildirilmiştir (Beis ve Dunford, 2006). Laboratuvar ölçeğinde farklı tekniklerle ulaşılan bu düzeylere, uygulamada geleneksel kaynatma yöntemiyle ulaşmak mümkün değildir. Nitekim bu araştırma kapsamında Hatay yöresinde yapılan sorgulamalarda geleneksel kaynatma yöntemiyle ulaşılan defne meyve yağ veriminin en fazla % 10 (w/w) civarında olduğu tespit edilmiştir. Yazıcıoğlu ve Karaali (1983) Türkiye’de defne meyvesinden üretilen yağın % 0,4’ünün uçucu yağ, geri kalan kısmının da sabit yağ olduğunu bildirmiştir (Beis ve Dunford, 2006).

Laboratuvar ölçeğinde defne meyvesinden en az % 30 ve daha yüksek düzeylerde yağ elde etmek olanaklıyken, sanayi ölçeğine uyarlanmış, teknik ve ekonomik yapılabilirliği kanıtlanmış bir çalışma henüz mevcut değildir. Oysa yağlı tohumlarda uygulanan soğuk sıkım ve ekstraksiyon teknikleri defne meyvesine de uyarlanabilir. Ancak soğuk sıkım tekniği ile yağ çıkartabilmek için ürünün yeterince kuru olması gerekir. Bu araştırma kapsamında yapılan ön denemelerde soğuk sıkım tekniği ile defne meyvesinden yağ çıkartabilmek için ürünün % 7-9 düzeylerine kadar kurutulması gerektiği saptanmıştır. Kasım-Aralık aylarında % 40 nem düzeyinde hasat edilen defne meyvesinin doğal yolla kurutulması mümkün olmadığı için, yapay kurutma dışında bir seçenek bulunmamaktadır.

1.2. Defne Meyvesi Yağı Üretiminde Önerilen İşlem Basamakları

Defne meyvesi yağı üretiminde yöresel kaynatma yöntemine alternatif olmak üzere bu araştırma kapsamında materyalin önce kurutulması, sonra kuru materyalde bulunan yağın mekanik sıkım yöntemiyle alınması, mekanik sıkımdan çıkan küspede kalan yağın da kimyasal yöntemle ekstraksiyon yöntemiyle alınması öngörülmüştür. Bu kapsamda sözü edilen yöntemler defne meyvesi bağlamında aşağıdaki alt bölümlerde irdelenmiştir.

1.2.1. Kurutma

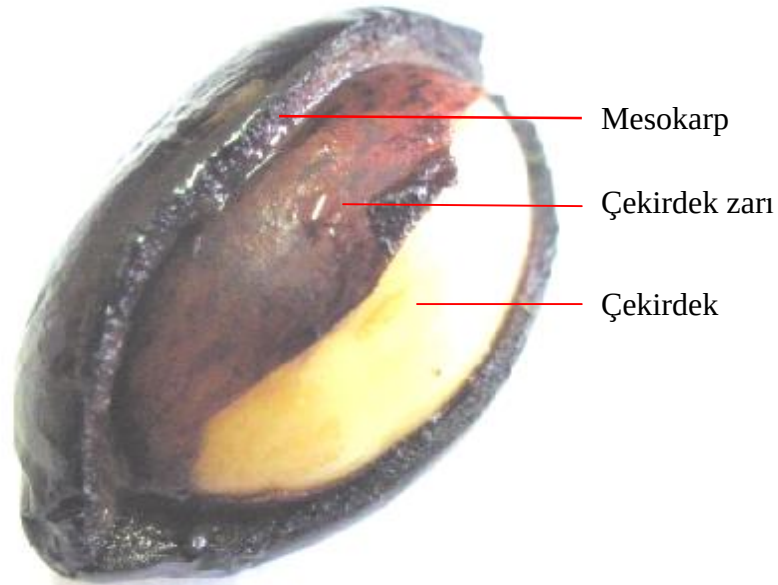
1.2.1.1. Nemin Biyolojik Materyale Bağlanış Şekilleri ve Defne Meyvesinin Nem Davranışının İrdelenmesi

Kurutma tekniği açısından tarım ürünlerindeki nem “bağlı nem”, “bağırsız nem” ve “serbest nem” olmak üzere üç bölümde incelenir (Yağcıoğlu, 1999). Bir de materyalin içinde bulunduğu ortam havasının sıcaklık ve oransal nemine bağlı olarak içerdiği nem vardır ki bu “denge nemi” olarak adlandırılır. Materyalin en küçük denge nemi (çevre havası bağıl nemi % 0) ve en büyük denge nemi (çevre havası bağıl nemi % 100) arasındaki nemine “bağlı su”, bulunulan koşullardaki nem ile en yüksek denge nemi arasındaki neme “serbest nem”, en yüksek denge neminden daha fazla olan neme de “bağırsız su” adı verilir (Yağcıoğlu, 1999). Bu nem değerleri hava sıcaklık ve basınç değerlerine bağlı olarak değişir. Öte yandan materyale kılcal kuvvetlerle bağlı nem “absorbe su” olarak adlandırılıp, serbest suyun özelliklerini gösterir. Biyolojik materyale moleküler kuvvetlerle bağlı olan nem ise “adsorbe su” olarak bilinir ve uzaklaştırılması daha güçtür. Materyalin nem düzeyinin sorbsiyon yoluyla artışı “adsorbsiyon”, azalışı ise “desorbsiyon” olarak tanımlanır.

Kurutma açısından suyun biyolojik materyale bağlanış şekli dışında her ürünün kendi yapısal özelliklerinin de kurutma açısından dikkate alınması gerekir. Sözgelimi, defne yaprakları kurutma açısından kayda değer bir sorun oluşturmazken, defne meyveleri özel morfolojik yapısı nedeniyle kurumaya karşı önemli bir direnç gösterir. Bu anlamda kurutma tekniği yönünden defne meyvesini içten dışa doğru üç kısımda incelendiğinde aşağıda belirtilen bölümler görülür:

- Meyvenin merkezinde uzun ekseni 10 mm olan elipsoidal, fildişi beyaz renkli bir çekirdek ve onu saran 1 mm kalınlığında kahverengi ince bir çekirdek zarı,
- Çekirdeğin üzerinde 2 mm kalınlığındaki meyve eti (mesokarp), ve
- En dışta 1 mm kalınlığındaki dış kabuktur (Şekil 1.4).

Defne meyvesi açısından diğer ilginç bir durumda meyvedeki yağın dağılımıdır. Defne meyvesinde dış kabuk % 38,8; meyve eti % 26; çekirdek ise % 18 oranında yağ içerir (Yazıcıoğlu ve Karaali' ye göre Beis ve Dunford, 2006).



Şekil 1.4. Olgunlaşmış bir defne meyvesinin kısımları

İçerdiği yağ miktarının fazla olması nedeniyle defne meyvesinin dış kabuk ve meyve eti son derece önemlidir. Bu nedenle dış kabuk en uygun koşullarda kurutulmalıdır ki, bir yandan dış kabuğun, nemin uzaklaşmasına olan direnci kırılсын, diğer yandan da bu kısımda bulunan yağ zarar görerek, kaybolmasın. Bu çapraşık talepler bir arada optimize edilmediği takdirde ürün kurutulabilir, ama yağ kaybı olabilir. Yağ meyve içinde kalsa bile yanabilir, kararabilir. Kurumayı hızlandırmak için üründen nem kaybına engel olan dış kabuğun mekanik olarak ezilip, parçalanması düşünülebilir. Mekanik ezme işleminin yağ kaybına neden olup olmayacağı da ayrıca üzerinde durulması gerekli bir konudur. Çünkü bu yolla patlatılan yağ keseciklerinin sıcak havaya tabi tutulması durumunda, bir miktar yağ kaybı olacağını tahmin edilebilir.

1.2.1.2. Defne Meyvesi İçin Uygulanan Ürün Kurutma Yöntemleri

Ürün kurutma yöntemleri ısıнын ürüne veya kütlenin (nemin) üründen transfer mekanizmasına göre kondüksiyonla, konveksiyonla, ışıınımla, dielektrik, dondurarak kurutma ve ozmotik dehidrasyon yöntemleri olmak üzere altı temel bölümde incelenir. Tüm bu yöntemlere ve sanayideki özel isteklere bağılı olarak literatürde 400'ün üzerinde kurutucu tipi bildirilmiş ve bunlardan 50'si ticari olarak uygulanmıştır (Mujumdar, 2000). Mujumdar'dan (2000) yararlanılarak düzenlenen ve ürün kurutma açısından önemli temel kriterler dikkate alınarak sınıflandırması Çizelge 1.2'de görölmektedir. Bu araştırma kapsamında sıcak havalı konvektif, dielektrik ve ışıınımla kurutma yöntemleri kullanılması nedeniyle sözü edilen yöntemlere kısaca değinilmiştir.

Konvektif Kurutma

Bu sistemde sıcaklığı artırılarak bağılı nemi düşürölen (nem taşıma kapasitesi artırılmış hava) dış ortam havası zorlanmış konveksiyonla sabit (raflı kurutucu) ya da hareketli (bantlı kurutucu) halde bulunan nemli materyalin üzerine yönlendirilir. Ürün iç kısmı ve çevre atmosfer arasındaki buhar basıncı farkı, materyal iç kısımda bulunan nemin dış ortama transferini sağlar ve ürün denge nemine ulaşılır. Kurutma ortamında üründeki nemi alarak doygun hale gelen hava yine zorlanmış konveksiyonla dış ortama iletilir. Konvektif kurutma yöntemi atmosferik basınç ya da vakum koşullarında uygulanır.

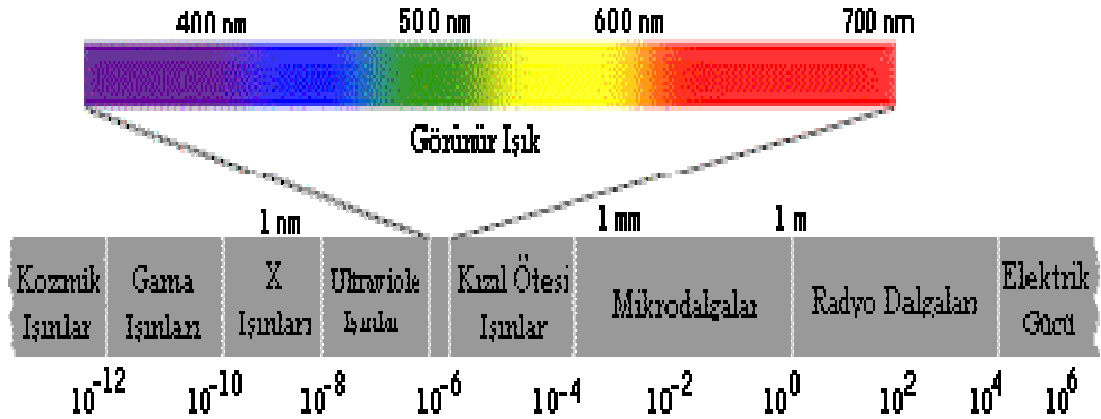
Hem konvektif, hem de kondüktif ısı transferi koşullarında uygulanabilen vakum kurutma özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde ve yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde son ürünün özelliklerini kaybettiğı ürünlerde kullanılır. Bu yöntemde suyun kaynama noktası sıcaklığı düşürölerek, kurumanın düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi sağlanır. Son yıllarda vakum kurutmayı dielektrik ve ışıınımla kurutma yöntemleri ile kombine eden sistemler de uygulamada kullanılmaktadır. Vakum kurutma yöntemi yüksek ilk yatırım bedeli nedeniyle daha çok yüksek katma değeri ürünlerin kurutulmasında tercih edilir.

Çizelge 1.2. Kurutucuların sınıflandırılması (Mujumdar, 2000)

Kriter	Kurutucu Tipi
Çalışma şekli	Kesikli (yığın), sürekli
Isı/kütle transferi tipi	Kontakt, konvektif, ısınım, dielektrik, dondurma, ozmotik dehidrasyon
Materyalin konumu	Durgun, hareketli, titreşimli, dağıtılmış (dispersed), v.b.
Materyalin fiziksel durumu	Katı, sıvı, pelte, öğütülmüş, cips, sürekli tabaka, v.b.
İşletme basıncı	Vakum, atmosferik
Kurutucu akışkan	Hava, süper ısıtılmış buhar, uçucu gazlar
Kurutma sıcaklığı	Kaynama sıcaklığının altında, kaynama sıcaklığının üzerinde, donma noktasının altında
Materyal ve kurutucu akışkanın birbirine göre bağıl hareketi	Paralel, karşı, karışık, çapraz akışlı
Kurutma aşaması	Tek aşama, çok aşama
Kurutucuda kalma süresi	Kısa (<1 min), orta (1-30 min), uzun (>30 min)

Dielektrik Kurutma

Dielektrik kurutmanın kaynağı olan elektromanyetik dalgalar spektrumda görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer alır (Şekil 1.5). Dalga boyu 1 mm –1 m ve frekansları 300 MHz – 300 GHz arasında değişen mikrodalga ışıınımı endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için ayrılmıştır (Kemahlıoğlu ve Baysal, 2002). Mikrodalga fırın ve kurutucularda kullanılan dalgaların, radar dalgaları ile karışmaması için 915 MHz ve 2 450 MHz olmak üzere 2 ayrı frekans belirlenmiştir. Ancak, mikrodalga ışıınımdan yararlanan sistemlerde yaygın olarak kullanılan frekans düzeyi 2 450 MHz’dir.



Şekil 1.5. Elektromanyetik spektrum (Anonim, 2012b)

Tarımsal ürünlerin mikrodalga ile ısıtılmasında etkili olan başlıca faktörler iyonik kondüksiyon ve dipolar rotasyondur (Owusu ve Ansah, 1991' göre Soysal 2009). Çok çeşitli bileşenleri içeren tarımsal ürünler genellikle tekdüze olmayan bir yapıya sahip olup, mikrodalga ile ısıtma sırasında elektromagnetik alanının elektriksel bileşeninden yüksek oranda etkilenirler. Bu ürünlerin yapısındaki polar moleküller mikrodalga ortamından önemli oranda etkilenir ve ısı üretirler. Tarımsal ürünlerin yapısında önemli miktarda bulunan su (H₂O) artı (+) ve (-) yükleri olan, en çok bilinen polar moleküldür. Güçlü dipol yapısına ya da tekdüze olmayan yük dağılımına sahip olan su molekülleri elektromagnetik alan içine konulduğunda magnetik alanın yönüne göre kendilerini düzene sokar ve dizilirler. Mikrodalga ortamındaki magnetik alan saniyede milyonlarca kez kutupsallığını (yönünü) değiştirdiğinden, bu alan içinde bulunan gıda maddesi içindeki su molekülleri de değişen magnetik alanın yönüne göre aynı hızda hareket etmeye zorlanırlar. Su moleküllerinin bu hareketi sonucunda meydana gelen içsel moleküler sürtünme nedeniyle ısı enerjisi oluşur. Burada gıda maddesi içerisinde bulunan suyun ne kadarının serbest ve bağlı olduğu da kurutma tekniği açısından önem arz etmektedir. Serbest su molekülleri ile kıyaslandığında, bağlı su moleküllerinin mikrodalgaları absorbe etme yeteneği çok daha azdır.

Mikrodalga uygulamasında diğer önemli etkense iyonik kondüksiyondur. Bir bitki ya da hayvan hücresi mikrodalgaya maruz bırakıldığında hücre içi sıvılarında iyonik kondüksiyon (iletim) meydana gelir. Bilindiği gibi iyonlar elektriksel olarak yüklüdürler ve elektriksel alandan etkilenirler. Bir çözelti içerisinde bulunan iyonlar

elektiriksel alanın yönüne göre yönlerini değiştirirler. Bu sırada elektiriksel alan içinde bulunan iyonize bileşikler iyonize olmayan gruplarla rastgele çarpışırlar. Bu iyonların kinetik enerjileri çarpışmalar yoluyla ısı enerjisine dönüşür. Biyolojik materyalde ısınmanın nedeni olarak % 80 oranında dipolar döngü ve % 20 oronda iyonik kondüksiyondur (Soysal, 2009).

Mikrodalga kurutma sistemleri uygulamada konvektif ve infrared kurutma teknikleriyle birlikte kullanılmaktadır. Ürün bazında ciddi Ar-Ge yatırıma gereksinim duyan mikrodalga kurutma sistemleri yerli imalatçılar tarafından ya hiç kullanılmamakta, ya da yanlış kullanılmaktadır. Ar-Ge yatırımı yapan yurt dışındaki imalatçı kuruluşlar ise hem ilk yatırım bedelinin, hem de servis-destek hizmetlerinin pahalı olması nedeniyle işletmeler açısından tercih edilmemektedir. Dolayısıyla mikrodalga kurutma sistemlerinin tasarım ve imalatında mutlaka araştırma kuruluşlarıyla işbirliği gerekmektedir.

Işınım Enerjisi ile Kurutma

Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi elektromanyetik spektrumun kızılötesi (infrared) bölgesinde yer alan ışınlarla iletilir. Bu nedenle bu ısıtıcılar kızılötesi ısıtıcılar olarak adlandırılır. Kızılötesi ışınım elektromanyetik spektrum içinde kısa, orta ve uzun dalga boylu olmak üzere üç kısımda incelenir. Kızılötesi ısıtıcıların dalga boyu ve uygulama süresine bağlı olarak sağladığı sıcaklıklar Çizelge 1.3' te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Kızılötesi ısıtıcıların dalga boyu karşılaştırması (Anonim, 2012c)

Dalga boyu	Sıcaklık (C°)	Uygulama süresi (s)
Kısa dalga boyu	2 200	1
Orta dalga boyu	980	30
Uzun dalga boyu	540	300

Kızılötesi ışınlama kurutmada maddeler tarafından soğrulan ışınım moleküler yapıdaki atomların titreşimlerine ve elektronların yer değiştirmesi sayesinde ısıya dönüşmektedir. Su ve organik maddeler Kızılötesi ışınımın 2,5 µm' den daha büyük

dalga boylarını soğururken bu dalga boyundan daha küçük dalga boylarında ışıınımı yüksek oranda geçirmektedir (Sandu, 1986).

Kızılötesi ısıtma sistemlerinde enerji kaynağı olarak gaz ve elektrik kullanılmaktadır. Işınım üreteçleri bu kaynağı bağlı olarak aşağıda sınıflandırılmıştır (Skjöldebrand, 2001)

I. Gaz ısıtmalı üreteçler (uzun dalga boyu)

II. Elektrik ısıtmalı üreteçler

§ Silindirik ve düz metalik ısıtıcılar (uzun dalga boyu)

§ Seramik ısıtıcı (uzun dalga boyu)

§ Quartz tüp ısıtıcı (orta ve kısa dalga boyu)

§ Halojen tüp ısıtıcı (kısa dalga boyu).

Kızılötesi kurutma tekniği ile uygun yayıcı kullanımı halinde enerji etkinliğini % 80-90'a çıkarmak mümkündür (Sandu, 1986). Oysa bu oran mikrodalga kurutma sistemlerinde bile % 70 civarındadır. Kızılötesi ışıının ürün tarafından doğrudan soğurulması nedeniyle enerji etkinliği artmaktadır.

1.2.2. Yağlı Tohumlardan Yağ Üretimi

Yağlar lipidlerin karışımından oluşan doğal organik bileşiklerdir. Bu bileşikler suda çözünmediği halde pek çok organik çözücüde çözünürler. Sudan daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Yağlı tohumlardan presleme ve çözücü çıkarma yöntemleriyle elde edilen bitkisel yağların içinde çeşitli yabancı maddeler bulunduğu için ilk üretilen yağa *ham yağ* adı verilir. Ham yağ içinde bulunan yabancı maddelerin miktarı ve cinsi; bitkilerin yetiştirilme koşullarına, toprak yapısına ve iklim koşullarına, depolama koşullarına, hasat ve hasat sonrasında uygulanan mekanik ve kimyasal işlemlere bağlıdır. Ham yağın içinde bulunan yabancı maddelerin kökeni aşağıda belirtilmiştir:

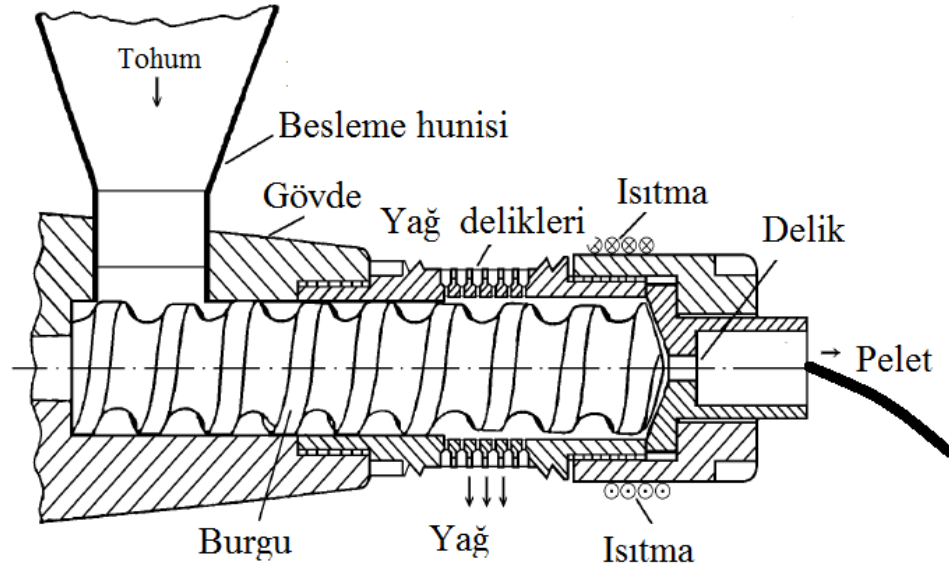
- Bitkilerden gelen yabancı maddeler,
- Depolama esnasında oluşan yabancı maddeler,
- Hasat ve ürün işleme evresinde karışan/oluşan yabancı maddeler.

1.2.2.1. Mekanik Yöntemle Yağın Alınması

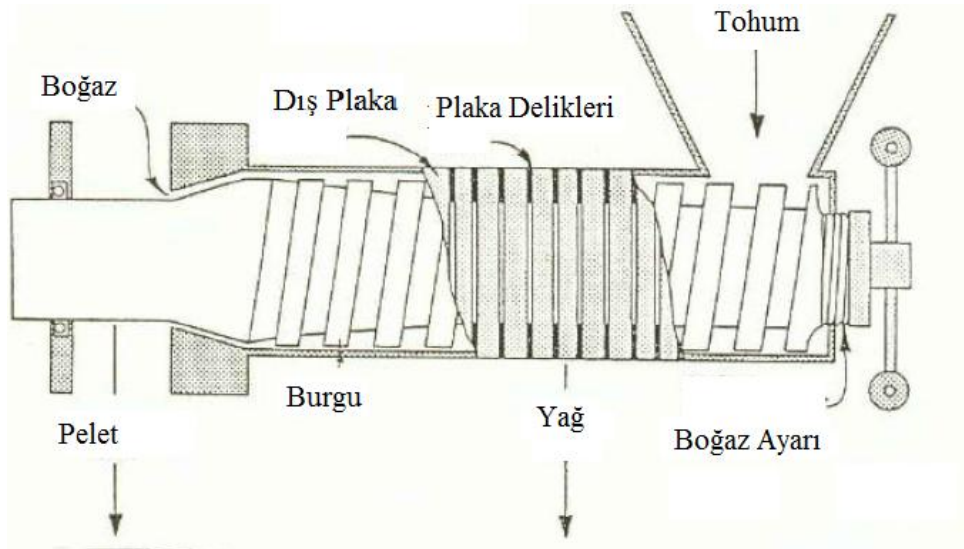
Genellikle yağ oranı % 20'den daha düşük olan yağlı tohumların yağının alınmasında kullanılan mekanik presle sıkım işleminde katı ve sıvı fazın kısmen ayrılması sağlanır. Mekanik presle sıkım işleminde kesikli çalışan hidrolik presler, sürekli çalışan vidalı presler ve döner presler kullanılır.

Uygulamada hatalı olarak İngilizce terminolojideki “cold press” teriminden esinlenerek “soğuk sıkım” olarak adlandırılan mekanik sıkım yönteminde ürünün vidalı presler ile sıkıştırılarak ezilmesi sonucunda sürtünme kuvvetlerinin oluşturduğu sıcaklık artışı dışında, ayrıca bir ısıtma halkası ile ısıtılması da söz konusudur. O halde, bu yöntemde mekanik işlemi nitelemek için kullanılan “soğuk” sıfatı hatalı olup, yöntem “mekanik sıkım”, bunu gerçekleştiren araç “vidalı pres” tir. Bilindiği gibi gıda sektöründe yağ çıkarma işleminde kullanılan farklı mekanik presler mevcuttur. Vidalı preste helezon açılımı yönünde harekete zorlanarak, sıkıştırılan materyal ayrıca ısıtılarak, yağın serbest kalması ve akışkan bir halde süzülüp sistem dışına alınması sağlanır. Vidalı presler ürünün vida açılımı ile aynı (paralel akışlı) veya zıt yönde (ters akışlı) ilerlemesine göre iki tipte imal edilir (Şekil 1.6 ve Şekil 1.7). Vidalı preslerde sıkılan üründen elde edilen yağın miktarı deliğin çapı ve vidanın yataklandığı boğazın çapına bağlı olarak değişmektedir. Daha küçük çaplı delikler materyalin daha fazla sıkışmasına neden olacağı için daha fazla yağ çıkmasına olanak sağlamaktadır. Presten elde edilen yağın miktarını etkileyen bir diğer etken de giren ürünün ve çıkan peletin sıcaklığıdır. Presten çıkan peletin sıcaklığının 80 °C'nin üzerine çıkması istenmeyen bir durumdur. Pelet sıcaklığı yağın sıcaklığına doğrudan etki etmektedir. Dolayısıyla çıkan yağın sıcaklığının 40-60 °C düzeyinde tutmak için uygun delik çapı ve vida dönü hızı seçilmelidir. Mekanik sıkım işleminde yağ verimine materyalin temizlenmesi, ezme veya kesilmesi, işlem öncesi ısıtılması, materyal nem içeriği (% 7-9), uygulanan basınç,

uygulama süresi, materyal besleme oranı gibi faktörler etki etmektedir (Swern, 1964'e göre Singh, 1984). Uygulamada kapasitesi 5–2 000 kg/h arasında değişen vidalı presler mevcuttur.



Şekil 1.6. Paralel akışlı vidalı pres (Ferchau, 2000)



Şekil 1.7. Ters akışlı vidalı pres (Ferchau, 2000)

1.2.2.2. Kimyasal Yöntemle Yağın Alınması

Başlıca çıkarma teknikleri şunlardır;

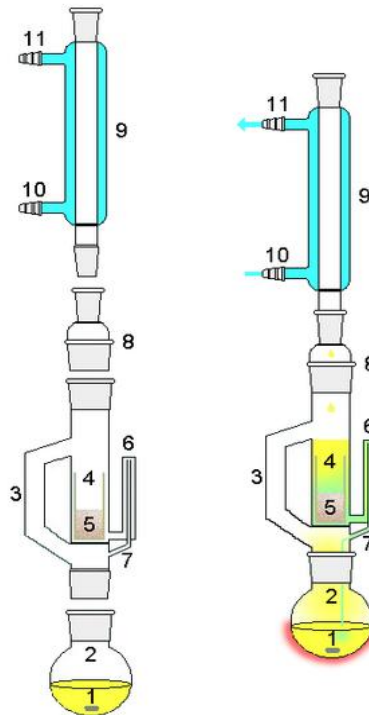
- Sokslet ile ekstraksiyon,
- Ultrasonik ile ekstraksiyon,
- Mikrodalga ile ekstraksiyon,
- Hızlandırılmış çözücü ile ekstraksiyon,
- Süperkritik akışkan ile ekstraksiyon.

Vidalı pres ile ürünün yağının alınması yöntemi ne kadar etkin kullanılırsa kullanılsın, çıkan pelette % 5-7 oranında yağ kalmaktadır. Kalan yağın kimyasal yöntemle alınmasında çözücü ile ekstraksiyon uygulanmaktadır. Ekstraksiyon işlemi sonunda çıkan küspede yağ oranı % 1'in altına düşürülebilmektedir. Çözücü ile ekstraksiyon, bitkisel yağ üretiminde yerleşmiş endüstriyel uygulamadır.

Bu araştırmada vidalı presle sıkılarak yağı kısmen alınan, yağlı peletler Sokslet ile ekstraksiyon işlemine tabi tutularak, kalan yağ alındığı için aşağıda kısaca bu yöneme değinilmiştir.

Sokslet düzeneği 1879 yılında Franz Von Sokslet tarafından tasarımlanan edilen bir laboratuvar cihazıdır (Şekil 1.11). Önceleri, katı bir deney örneğinden yağ elde etmek için tasarlanmış olmasına karşın sıvı bileşeni katıdan ayırmanın zor olduğu her koşulda kullanılabilir. Kuru deney örneği Sokslet düzeneğine yerleştirilen, filtre kâğıdından yapılmış yüzük şeklinde bir ekstraksiyon tüpüne konur. Sokslet düzeneğine, çözücüye içeren şilifli bir cam balon ve yoğunlaştırıcı takılır. Çözücü ısıtılır ve böylece buharlaşması sağlanır. Sıcak çözücü buharı yoğunlaştırıcıya ilerler, orada yoğunlaşarak katı materyalin üzerine düşer. Katı örneği içeren ekstraksiyon tüpünün bulunduğu yüzük yoğunlaşan çözücü ile tam dolduğunda, tali geçiş kolunun seviyesine ulaşır ve sifon oluşarak çözücü tekrar cam balona boşalır. Bu yoğunlaşma, yükselme ve sifon döngüsü (geri akış) sürekli tekrarlanır. Her döngü sırasında, katının içerdiği bir miktar yağ çözücüde çözünür. Ama çözücünün ısıtılan cam balonuna ulaştığında orada kalır, döngüye tekrar katılmaz. Bu durum, bu ekstraksiyon metodunun en önemli üstünlüğüdür. Çözücü katıyı ayrıştırmak için

buharlaştır, yoğunlaştır ve döngüye katılır. Bu nedenle, bir cam balonda katıyı çözücü içerisinde ısıtarak uygulanan ekstraksiyon yöntemiyle karşılaştırıldığında, Sokslet düzeneği ile uygulanan bu yöntemin verimi daha yüksektir. Bir ekstraksiyon işlemi sonunda arta kalan çözücü, çıkarılan yağı bırakarak geri akış buharlaştırıcısı ile uzaklaştırılabilir (Anonim, 2012d).



Şekil 1.8. Sokslet düzeneği (Anonim 2012e)

1 Isıtıcı, 2 Çözücü kap, 3 Damıtma yolu, 4 Sokslet yüzüğü, 5 Ürün, 6 Sifon iç kolu, 7 Sifon dış kolu, 8 Genişleme adaptörü, 9 Yoğunlaştırıcı, 10 Soğutucu su girişi, 11 Soğutucu su çıkışı

Bu araştırmanın temel amacı, defne meyvesinden geleneksel yöntemle elde edilen yağın nitelik ve niceliğinin artırılmasıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Defne meyvesi ile ilgili yayınlanmış araştırmalar daha çok laboratuvar ölçeğinde farklı yöntemlerle yağ elde edilmesi, verim ve yağın bileşenlerinin belirlenmesi konusunda yoğunlaşmıştır.

Bu araştırmanın konusu olan kurutma işlemi yukarıda vurgulanmaya çalışılan katma değerin ortaya çıkartılması, yani defne meyvesinden modern yöntemlerle yağ üretilmesi açısından uygulanması zorunlu bir işlemdir. Genel olarak kurutma teknolojisine ürün bazında karar verilmesi gerektiği bilinmektedir. Ancak, tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen ürünlerin kurutma yöntemleri kurutulan aksamın yaprak, meyve, tohum, kök vb. oluşuna göre farklılıklar gösterdiği bilinmektedir (Martinov ve ark., 2007). Uygun olmayan sistem veya çalışma parametrelerinin seçimi, kurutulan üründen elde edilen yağın nitelik ve niceliğinde ciddi kayıplara neden olur. Bu konuda en önemli kaynak kuşkusuz önceden yapıp, yayımlanmış araştırmalardır. Ancak, ekonomik önemi nedeniyle defne yapraklarının kurutulması konusunda hem ulusal, hem uluslar arası düzeyde yayınlanmış araştırmalar mevcut olmasına karşın, defne meyvelerinin kurutulması konusunda, bu çalışmanın yürütüldüğü dönem itibarıyla, yayınlanmış herhangi bir kaynak mevcut değildir (Yağcıoğlu ve ark., 1999; Güler, 2006; Kuzgunkaya ve Hepbaşlı, 2007). Pazarda kuru-taze yaprak ve yaprak yağı talebine ve bu konuda yapılan araştırmalara karşın, defne meyve yağının üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ile ilgili araştırmalar tamamen laboratuvar düzeyinde kalmış, endüstriyel ölçekte uygulanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa defne meyvesi hem ulusal, hem de uluslararası düzeyde ekonomik önemi olan, ancak henüz yeterince üzerinde durulmamış bir üründür. Üstelik defne meyvesinden elde edilen yağ sadece ham madde olarak değil, aynı zamanda sabun olarak üretildiği için mamul madde olarak da önemli bir katma değer oluşturur. O halde, defne meyve yağının üretim tekniklerinin geliştirilmesi hem orman köylüsü, hem de bu konuda tesis kurmayı tasarlayan yatırımcılar açısından önemli bir teşvik olacaktır.

Aşağıdaki bölümlerde önce defne meyvesi ile ilgili kaynaklara değinilmiştir. Daha sonra defne meyvesinin kurutulması konusunda yapılmış güncel araştırmalar derlenmiştir.

2.1. Defne Meyvesinin Yağ Verimi ve Yağ Asitleri Kompozisyonu

Castilho ve ark. (2005), Portekiz’de Madeira adasında bulunan defne meyvesinin fiziksel özelliklerini, yoğunluğunu, yağ asitleri kompozisyonunu ve sterol içeriğini araştırmışlar. Defne meyvesinin % 30 oranında oleik asit, % 20 linoleik asit, % 18 laurik asit ile % 22,5 palmitik asit ve % 84 oranında β -stesterol içerdiği bildirilmiştir.

Erden (2005), tarafından yapılan bir araştırmada defne meyveleri Ekim-Aralık aylarında her hafta hasat edilmiş ve güneşte kurutularak soksalet çıkarma yöntemi ile yağı çıkarılmıştır. Çalışmada çözücü olarak petrol eteri kullanmış olup, en yüksek yağ verimi % 25,55 (kütle/kütle) olarak Aralık ayı sonunda elde edilmiştir.

Nurbaş ve Bal (2005), defne meyvesinden yağ çıkarma işleminde soksalet ekstraksiyon yöntemi verimine çözücü olarak kullanılan hekzan, petrol eteri, karbon sülfür ve benzenin etkisini araştırmışlardır. Çözücü olarak hekzan kullanılan denemelerde en yüksek verim olan % 32,12 değeri elde edilmiştir.

Beis ve Dunford (2006), defne meyvesinin süper kritik CO₂ ekstraksiyon yöntemi ile yağ elde etmiştir. Defne meyveleri 20-25 °C de kurutulmuş ve son nem içeriği % 7,5 olarak bildirilmiştir. Ürünler kurutulduktan sonra ezilerek parçalanmış ve 80 °C sıcaklık ve 34 MPa basınç koşullarında çıkarma işlemine tabi tutulan defne meyvesinin yağ verimi % 14-28 oranında değiştiği bildirilmiştir.

Marzouki ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada defne meyvesinin yağ verimini süper kritik CO₂ ekstraksiyon yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Bu araştırma kapsamında 40 °C ve 90 - 250 bar koşullarında yapılan denemelerde yağ verimi % 15 olarak bildirilmiştir.

2.2. Yağlı Tohumlardan Yağ Üretimi

Deli ve ark. (2011), yaptıkları bir çalışmada çörek otu tohumundan vidalı presle yağ elde etmek üzere en uygun vida helezonu hız ve çapları ile pelet çıkış deliği çaplarını araştırmıştır. Vida helezonu çapı olarak 8 ve 11 mm, vida devri olarak 21; 54; 65 ve 98 d/d, pelet çıkış deliği çapı olarak 6; 10 ve 12 mm seçenekleri denenmiştir. Denemeler sonucunda 8 mm çapındaki vida helezonu ile 21 d/min'de ve 6 mm pelet çıkış deliği çapında en yüksek yağ verimi elde edilmiştir. Aynı çalışmada sıcaklığın yağ verimi üzerine etkisi için 50 °C'de % 22,68; 100 °C'de % 15,21 verim değerleri bildirilmiştir.

Panfilis ve ark. (1998), soğuk presleme sırasında ham maddenin nem içeriği % 7,5'tan daha yüksek olduğunda yağın sıcaklığının 49 °C'den 51 °C'ye, küspe sıcaklığının ise 60 °C'den 62 °C'ye yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Singh ve Bargale (2000), vidalı presle kolzadan yağ elde etmiş ve materyalin nemli olması halinde sıkım işleminden önce kurutulması gerektiği, kurutma ve presleme koşullarının yağ verimini etkilediği bildirilmiştir. Bu araştırmada vidalı presle sıkılan kolzadan % 86-92 yağ elde edilmiştir. Presleme aşamasında % 5,1 nem düzeyi için 70 °C, % 11,1 nem düzeyi için ise 61 °C sıcaklık uygulaması yapılmıştır.

Sing ve ark. (2010), tarafından yapılan bir araştırmada keten tohumlarından vidalı presle yağ elde etmek üzere üç farklı ön işlem ve iki farklı nem düzeyi denenmiştir. Bu çalışmada ürün nemi % 13,8 iken nemlendirme, buhar verme ve enzim ekleme ön işlemleri ile sırasıyla % 44; % 36,6 ve % 45,4 oranında yağ elde edilirken, ürün neminin % 6,5'a düşürülmesi ile aynı ön işlemler için sırasıyla % 73,3; % 76,6 ve % 81 oranında yağ elde edilmiştir.

2.3. Kurutma

Shivhare ve ark. (1992), mısırın mikrodalga yöntemi ile kurutulmasında kuruma hızının mikrodalga güç seviyesi ile arttığı, hava hızıyla azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada çimlenme gücünün mikrodalga güç seviyesi ile ters

orantılı olduğu, tohum kurutmak için uygulanan güç seviyesinin 0,25 W/g'dan daha fazla olmaması gerektiği bildirilmiştir.

Adu ve ark. (1994), 2 450 MHz'de farklı seviyelerde mikrodalga enerjisi uygulanan ince tabaka halindeki soya fasulyelerinin kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Başlangıç nemi kuru baza göre % 15,2 ile % 24,5 arasında olan örnekler 0,76; 0,57 ve 0,36 W/g güç seviyelerinde kurutulmuştur. Soya fasulyelerinin kuruma hızının, güç seviyesinin azalmasıyla azaldığı ve aynı mikrodalga gücündeki kuruma hızının, kuru baza göre başlangıç nem değerlerinin % 22 ve % 24,5 arasında olduğu durumlarda değişmediğini, fakat başlangıç nem değerinin % 22'nin altına düştüğü durumlarda azaldığı saptanmıştır.

Prabhajan ve ark. (1995), havuç dilimlerinin mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iki farklı mikrodalga güç seviyesi ve hava sıcaklığında (45-60 °C) uygulama yapmışlardır. Çalışma sonunda mikrodalga enerji ile kurutulan ürünler sıcak hava ile kurutulan ürünlerle kuruma süresi ve ürün kalitesi yönünden karşılaştırılmış ve mikrodalga uygulamasının toplam kurutma süresinde % 25-90 arasında azalma sağladığı, düşük mikrodalga güç seviyesinde ürün kalitesinin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Madamba ve ark. (1996), tarafından yapılan bir çalışmada, kurutma havası sıcaklığı 50–90 °C, bağıl nemi % 8–24 ve hızı 0,5–1,0 m/s olarak alınmış, dilim kalınlığı 2–4 mm arasında değiştirilerek sarımsağın kurutma karakteristikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada özellikle düşük bağıl nem değerlerinde, sıcaklık ve dilim kalınlığının kurutma için önemli faktörler olduğu, hava hızının ise önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Ren ve Chen (1998), Amerikan Ginseng köklerini mikrodalga sistemli deneysel bir fırında sırasıyla sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutmuşlardır. Sıcak hava ile kurutmada kurutulan kütle, kuruma sıcaklığı ve hava akış hızı sırasıyla 100 g, 40°C ve 60 l/d olarak bildirilmiştir. Mikrodalga-sıcak hava kurutma kombinasyonu için 60 W mikrodalga güç seviyesi kullanılmıştır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu yöntemi, kuruma süresinde % 28,7-55,2 azalma sağlamıştır.

Lin ve ark. (1998), havuç dilimlerini vakum-mikrodalga, sıcak hava ve dondurarak kurutma ile karşılaştırmıştır. Vakum-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan havuç dilimlerinde sıcak hava ile kurutulanlardan daha yüksek su alma potansiyeline, daha yüksek karoten ve C vitamini içeriğine, daha düşük yoğunluk ve daha yumuşak tekstüre sahip olduğu bildirilmiştir. Sıcak havayla kurutulan havuç dilimleri kırmızılık ve sarılık değerleri azalıp, kararmalar tespit edilmiştir. Vakum-mikrodalga kurutma uygulandığında daha az renk bozulması meydana gelmiştir. Tekrar su alma potansiyeli açısından vakum-mikrodalga ile kurutulan havuç dilimleri dondurularak kurutulan örneklerden daha iyi ya da eşit olarak değerlendirilmiştir.

Funebo ve Ohlsson (1998a), elma ve mantar için sıcak havada kurutma ile mikrodalga enerjisi destekli sıcak hava ile kurutmayı karşılaştırmıştır. Denemelerde değişken olarak hava hızı, mikrodalga gücü ve hava sıcaklığı dikkate alınmıştır. Kalite parametreleri ise tekrar su alma kapasitesi, yığın yoğunluğu ve renktir. Düşük hava hızı ürünlerin kararmasına neden olduğu için minimum hava hızı 1 m/s olarak seçilmiştir. Mikrodalga destekli sıcak havayla kurutma uygulanarak kuruma süresini elma için % 50, mantar için % 25 oranında azaltmak mümkündür.

Funebo ve Ohlsson (1998b), çalışmalarında mantar ve elmanın mikrodalga enerjisi ve sıcak hava kombinasyonu ile kuruma parametrelerini belirlemişlerdir. Kuruma parametreleri olarak hacim ağırlığı, yeniden su alma kapasitesi, kuruma hızı ve renk dikkate alınmıştır. Denemelerde materyal olarak Agaricus Bisporus mantar çeşidi ve Golden Delicious elma çeşidi kullanılmıştır. Kurutma işlemi laboratuvar kurutucusunda gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminden önce elma ve mantarlar 5 mm lik kalınlıklarda dilimlenmiştir. Yeniden su alma denemeleri elma için 50 °C, mantar için 95 °C sıcaklıklarındaki damıtılmış suda 1, 2, 5, 10, 20 ve 40 dakikalık sürelerde bekletilerek belirlenmiştir. Yeniden su alma işleminde mantarın 5 dakika, elma dilimlerinin 20 dakikada denge durumuna geldiği saptanmıştır. Kuruma işleminin uzun sürmesi durumunda, üründe büzülmenin artmasıyla hacim ağırlığının yükseldiğini saptamışlardır. Ortalama büzülmeyi mantarda % 87, elmada % 72 olarak belirlemişlerdir. Isıtılmış havayla kurutulan ürün ile mikrodalga ile kurutulmuş ürün karşılaştırıldığında ısıtılmış havayla kurutulan ürünlerde esmerleşmenin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Elma ve mantar dilimlerinin

kurutulmasında ısıtılmış hava-mikrodalga uygulaması ile kuruma hızının azaldığı belirlenmiştir.

Sarsavadia ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada, soğanları elle soyup, elektrikli dilimleme makinesi ile dilimlemiş ve kurutma havası sıcaklığı, bağıl nemi ve hızı ile dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kriterlerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma havası sıcaklığının 65°C'nin üzerine çıkması kalitede azalmaya neden olmaktadır. Kurutma havası hızının hem kuruma davranışına hem de kaliteye (renk, tekstür) önemli etkisi yoktur. Hava hızının 0,5 m/s'nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değer üzerine çıkılmamıştır. Bununla beraber 0,1 m/s'nin altındaki hava hızlarının kurutma süresini önemli düzeyde etkilediği vurgulanmıştır. Yeniden su alma kapasitesinin 75 °C sıcaklıkta, 25 °C' ye göre daha hızlı olduğu, ancak alınan su miktarında bir değişme olmadığı belirtilmiştir. Yeniden su alma sürecinde kuru soğanlar ilk nem içeriklerinin yaklaşık % 90'ı na ulaşırlar. Kalite açısından 2 ve 4 mm'lik dilim kalınlığı ve 60 °C sıcaklığın en uygun değerler olduğu bildirilmiştir.

Yağcıoğlu ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada; farklı kurutma durumlarında defne yaprağının kuruma karakteristiklerini araştırmışlardır. Geleneksel güneşte kurutma yönteminde uygun olmayan hava koşulları ile karşılaşıldığını, kayıpların meydana geldiğini ve ayrıca kuruma süresinin uzadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar sıcak hava ile kurutma yönteminin geleneksel kurutmaya göre birçok sorunu ortadan kaldırdığını gözlemlemiş ve 50 °C ya da 60 °C sıcaklıkta kurutma ile defne yapraklarının temel yağ bileşim miktarları ve kalitesinde bir kayıp olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca yaprakların % 10 nem içeriğine kadar kurutma süresinin, geleneksel kurutmaya göre 120 kez ve 40 °C sıcaklıkta kurutma şartlarına göre 8 kez kısaldığını ve hiçbir kayıp olmadığını ifade etmişlerdir.

Krokida ve ark. (2001), elma, muz, havuç ve patatesi 5 farklı yöntemle kurutmuşlar ve kurutmanın renk üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elma, muz, havuç patates gibi bazı bitki dokuları, kurutulmaları ve daha sonraki depolama süresince yaygın olarak esmerleşme göstermişlerdir. Araştırmada kükürtdioksitin taze sebze

ve meyvelerde enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme için iyi bir renk koruyucu olduğu, ancak insan sağlığı için gıdalarda kullanılmaması gerektiğini vurgulanmış. Taze elma, muz, havuç ve patatesler, 20 mm çapında ve 10 mm uzunluğunda kesilmiştir. Hava ile kurutmada, kurutma sıcaklığı $70 \pm 0,2$ °C ve havanın oransal nemi % 7 ve basıncı 1 bar $\pm$ % 3 olarak seçilmiştir. Vakum kurutmada, sıcaklık $70 \pm 0,2$ °C ve basınç 33 mbar $\pm$ % 3'tür. Mikrodalga ile kurutma atmosfer basıncında, 810 W güç düzeyinde yapılmıştır. Dondurarak kurutmada, materyal 20 mm çapında ve 8 mm uzunluğunda kesilmiştir. Materyal 48 saat -35 °C'de dondurulmuş, 1 saat sıvı azotta yumuşatılmış ve laboratuvar tipi cihazda dondurularak kurutma yapan kurutucuda 24 saat kurutulmuştur. Dondurarak kurutmada 0,04 mbar vakum uygulanmıştır. Elma ve muz ozmotik kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Elmalar 8 mm çapında ve 30 mm uzunluğunda, muzlar 20 mm kalınlığında ve 8 mm uzunluğunda dilimlenmiştir. Ürünler tartıldıktan sonra, sakkaroz çözeltisine batırılmıştır. Ozmotik olarak kurutulan ürünler 10 saat sonra 70 °C'de sıcak hava fırınında kurutulmuşlardır. Havayla, mikrodalga enerjisi ile ve vakumla kurutulmuş ürünler önemli derecede esmerleşmeye maruz kalmışlardır. Dondurarak ve ozmotik kurutma yönteminde ürünler renklerini korumuşlardır.

Sharma ve ark. (2001), atmosferik ve vakum koşullarında uygulanan mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutmada vakum düzeyinin ve elma çeşidinin elma dilimlerinin yapısı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada Golden Delicious, Red Delicious ve Fuji çeşidi elmalar, örnek miktarı 1 kg olacak şekilde tartılmış, yıkanmış, 4 mm kalınlığında dilimlenmiş, 2 dakika buharda haşlanmıştır. Elma dilimleri nem içeriği kuru baza göre % 5 olana kadar 70 °C'de, yaklaşık 3,5 saat, hava akış hızı 1,1 m/s olan bantlı kurutucuda kurutulmuştur. Dondurarak kurutma, 100 µmHg vakum altında, oda sıcaklığı 20 °C'de, kondenser sıcaklığı -55 °C'de 10,5 saat sürmüştür. Vakumlu mikrodalga kurutma yönteminde yüksek vakum uygulaması yoğunluğu düşürmüş ve gevrekliği arttırmıştır. Ayrıca Fuji cinsi elmaların, Red ve Golden Delicious cinsi elmalara göre daha yüksek kalsiyum içeriğine ve gevrekliğe sahip olduğu belirtilmiştir.

Midilli (2001), kabuklu ve kabuksuz fıstık örnekleri için, güneş enerjisi destekli ve güneşte kurutma deneyleri yapmıştır. Güneş enerjisi destekli konvektif

kurutucudaki kurutma işleminde kabuklu ve kabuksuz fıstıkları 50°C sıcaklıkta 6 saatte tam olarak kuruduğunu gözlemlemiştir. Güneş altında kurutulan fıstık örneklerinin ise 24°C sıcaklıkta çok daha uzun bir zamanda kuruduğunu ve çevresel etkilere maruz kaldığını belirtmiştir

Alibaş (2001), yaptığı bir çalışmada bazı meyve ve sebzeleri sıcak hava ve mikrodalga uygulamalı bir kurutucuda kurutarak, kuruma karakteristiklerini ve kurutucunun enerji tüketim değerlerini belirlemeye çalışmıştır. Bu araştırma için 13 farklı sebze ve meyve kullanmıştır. Çoğunlukla 1000 W güç seviyesinde mikrodalga uygulamasına tabi tutulan sebze ve meyvelerin, diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça kısa sürelerde kuruduğunu, renk, koku ve tat gibi özelliklerini kaybetmediğini, uzun süre bozulmadan kalabildiğini ve morfolojik açıdan herhangi bir değişime uğramadığını gözlemlemiştir.

Ertekin ve Yaldız (2001), incirin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışlarının modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Kurutucu ile kurutma havasının sıcaklığı, hız ve oransal nemi istenilen seviyede sabit tutulmuş, ürün kütleindeki değişim kuruma işlemi süresinde kaydedilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı 40, 50, 60, 70 ve 80 °C, oransal nemi % 15, 30, 45 ve hava hızı 0,1; 0,5 ve 1,0 m/s olarak seçilmiştir. Bu çalışmada azalan kuruma hızı evresinde meydana gelen ürün nemindeki değişimi açıklamak için Newton ve Page modelleri karşılaştırılmış, kurutma havası parametrelerinin bu modellerde bulunan katsayılara etkileri incelenmiştir.

Sharma ve Prasad (2001), deneysel bir kurutucuda sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile sarımsak kurutmuşlardır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyon denemeleri, 100 g örneklerle 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda, 1,0 ve 2,0 m/s hava hızlarında ve 40 W sürekli mikrodalga güç seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutma için kurutma havası sıcaklıkları 60 ve 70 °C olup, hava hızı 2,0 m/s olarak verilmiştir. Kurutulmuş sarımsak dişlerinin toplam kuruma süresi ve rengi mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve geleneksel sıcak hava ile kurutma işlemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu geleneksel sıcak hava ile karşılaştırıldığında kuruma süresinde % 80-90 oranında azalma tespit edilmiştir.

Madamba (2002), sıcak havayla kurutmada ürün olarak sarımsağı, vakumla kurutmada ise havucu seçmiştir. Vakumla havucun kurutulmasında en uygun koşullar 1,6 mm kalınlığındaki havuç dilimlerinin 10 kPa basınçta, 68 °C’de kurutulmasıdır. Vakumla havucun kurutulmasında basınç, sıcaklık, dilim kalınlığı gibi bütün özellikler havucun son nem miktarını etkilemiştir. Ortalama kurutma oranı sadece ürün kalınlığından etkilenmiştir. Nemi geri alma oranı ve renk hiçbir parametre ve koşuldan etkilenmemiştir.

Walde ve ark. (2002), çalışmalarında buğday tanelerinin mikrodalga enerji ile kurutulmasının öğütme işlemi esnasında tüketilen enerji ve ürün gevrekliği üzerine bir araştırma yapmışlardır. Ürünler başlangıç nemleri olan % 0,11 ve % 0,23 kuru bazda (kb)’ da 15 saniye ile 150 saniye arasında mikrodalga enerjiye tabi tutulmuşlardır. 120 saniye mikrodalga enerjiye tabi tutulan buğday tanelerinin daha sert ve gevrek olduğu ve bunun da öğütme işleminde harcanan enerjiyi düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Krokida ve ark. (2003), çalışmalarında mantar, pırasa, soğan, havuç, bezelye ve domatesin kurutulmasında, kurutma havasının sıcaklığı, hızı, bağıl nem ile örnek büyüklüğünün etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak hava sıcaklığının kurutma sırasında örnek üzerinde etkisinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer parametrelerin etkisinin de sıcaklığın etkisi kadar önemli olduğu belirlenmiştir.

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde 60, 70 ve 80 °C’ lik üç farklı hava giriş sıcaklığı ve 1,0 m/s ve 1,5 m/s’lik hava hızları seçilmiştir. Deney sonuçlarına göre siklon tipi kurutucuda dönel akış ortamında kurutulan kabak örneklerinin kuruma hızının yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek kuruma hızı 80 °C kurutma havası giriş sıcaklığında ve 1,5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise 60 °C kurutma havası giriş sıcaklığında ve 1,0 m/s kurutma havası hızında elde etmişlerdir. Farklı giriş sıcaklıklarında ve hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızına, hava hızından daha çok hava sıcaklığının etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Jaya ve Das (2003), mango pulpunu vakumla kurutmuşlardır ve kurutmada 30–50 mmHg mutlak basınç, 2; 3 ve 4 mm pulp kalınlığı ve 65; 70 ve 75 °C vakum

odası levha sıcaklığı değerleri dikkate alınmıştır. Mango tozundan yapılan pulpun renk değişimi, levha sıcaklığından çok pulp kalınlığına bağlı olmuştur. Renk değişiminin az olması için vakumlu kurutmada, vakum odası levha sıcaklığının 72,3 °C ve pulp kalınlığının da maksimum 2,6 mm olması gerektiği belirtilmiştir.

Ertekin ve Yıldız (2004), laboratuvar tipi bir kurutucuda patlıcanların ince tabaka kurutma davranışları incelemiştir. Patlıcanın kurutma karakteristikleri, 30-70 °C ye hava sıcaklıklarında ve 0,5-2,0 m/s hava hızlarında belirlenmiştir. Hava sıcaklıkları ve hızlarının kurumaya etkisi yanında, kuruma karakteristikleri üzerinde ön-işlem ve dilim kalınlıklarının etkileri, kuruma süresi ve kurutulmuş ürünlerin kalitesi de belirlenmiştir. Sonuçlara göre artan kuruma havası sıcaklığı ve hızı, kuruma sürelerini kısaltmıştır. Patlıcanın kuruma süresini kısaltmak için kesinlikle ön işlem uygulanması önerilmiştir. Beklendiği gibi ince dilimlerde daha kısa kuruma sürelerini tespit edilmiştir. Artan kuruma hava sıcaklığı ve hava hızı renk parlaklığını azaltmıştır. Dilim kalınlıkları renk karakteristiklerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Artan kuruma hava hızı, tekrar su alma oranını artırmış ve 50 °C hava sıcaklığında daha yüksek değer elde edilmiştir.

Beaudry ve ark. (2004), ozmotik dehidrasyonla kısmen kurutulmuş kırmızı yaban mersinlerini konvektif, mikrodalga ve konvektif kurutma kombinasyonu, dondurarak kurutma ve vakumla kurutma yöntemini uygulamışlardır. Örneklerde duyusal analiz (görünüş ve tat), yapı, renk, su aktivitesi ve nemi geri alma oranı değerleri incelenmiştir. Sıcak havayla kurutulan yaban mersinleri en iyi görünüşe, dondurarak kurutulan yaban mersinlerinin de en yüksek nemi geri alma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Renk ölçümleri ve su aktivitesi bakımından yöntemler arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır.

Göçmen ve ark. (2004), yaptıkları bir çalışmada güneşte kurutulmuş tarhana ile vakumla kurutulmuş tarhanadaki uçucu aroma maddelerine, kurutma yöntemlerinin etkilerini araştırmışlardır. Vakum kurutma toplam uçucu madde miktarını belli oranda düşürmüştür. Ancak, güneşte kurutulmuş tarhana ile karşılaştırıldığında vakum kurutmada daha fazla aktif aroma maddesi muhafaza edilmiştir. Vakum kurutmada 41 aktif bileşen muhafaza edilirken, güneşte kurutmada sadece 23 tanesi muhafaza edilmiştir. Vakum kurutmada toplamda 22 aktif aroma

bileşeni daha yüksek oranlarda iken, güneşte kurutmada sadece 4 aktif aroma bileşeni daha yüksek oranda bulunmuştur.

McMinn (2004), tarafından yapılan çalışmada laktozun I. Konvektif (20, 40 ve 60 °C sıcaklıklar), II. Dielektrik (650 W maksimum güce sahip bir mikrodalga fırın ile 60 W düzeyinde), III. Konvektif (90°C sıcaklık ve 0-1,0 m/sn hava hızı ile kurutulması) ve dielektrik kombinasyonu ile IV. Dielektrik vakum (90 W mikrodalga güç düzeyi ve 0-101 kPa vakum) yöntemleriyle kurutulmasına ait parametrelerin değişimleri incelenmiştir. Kurutma eğrilerine bakıldığında; sıcak hava ile kurutma (I), dielektrik kurutma (II), konvektif ve dielektrik yöntem ile kurutma (III) ve dielektrik vakum kurutma (IV) sırasıyla 90, 150, 75 ve 85 dakikalarda gerçekleşmiştir. Yine her bir kurutma prosesi için kurutma eğrilerinin en başta kısa bir ısıtma süresinden sonra, sabit hızlı periyotta gerçekleştiği ve bu aşamadan sonra azalan hız periyoduna geçtiği gözlemlenmiştir.

Nowak ve Lewicki (2004), yaptıkları çalışmada konvektif ve 1200 nm’lik dalga boyuna sahip ışınlam esaslı laboratuvar tipi bir kurutucuda elma dilimleri kurutmuştur. Kurutma kinetiğine ilişkin değişkenlerin kızılötesi ışınlam yayıcıların yüzeyden olan uzaklığına ve hava hızına bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir. Elma dilimlerinin her iki yüzeyinden de buharlaşma olmasına karşın, ışınlamı doğrudan alan yüzeylerde daha fazla buharlaşmanın olduğu ve ancak kurumanın son evresinde tüm yüzeylerden eşit miktarda su buharlaştığını bildirmişlerdir. Çalışma sonunda kızılötesi ışınlamla kurutma yönteminin sıcak hava ile kurutma yöntemine göre % 50 oranında daha kısa sürede kuruma sağladığı, Kızılötesi kurutucunun enerji etkinliğinin % 35-45 olduğu bildirilmiştir.

Doymaz (2004), havucun kuruma kinetiğine kurutma havası sıcaklığı, hız ve örnek kalınlığının etkisi incelemiştir. Denemelerde ısıtıcı, fan, hava filtresi ve elektronik kontrol düzeninden oluşan dolap tipi kurutucu kullanılmıştır. Havuçlar 1x1x1 cm ve 2x2x2 cm’lik küpler halinde doğranmıştır. Denemelere başlamadan önce hazırlanan bu materyal 5 dakika 100 °C de haşlanmış, daha sonra 5 dakika 15 °C’de soğutulmuştur. Kurutma denemeleri için 200 g ve ilk nem içeriği % 87,5 (y.b.) olan örnekler tek tabaka halinde kurutucuya yerleştirilmiştir. Denemeler boyunca örneklerin ağırlıkları 0.5-1 saatlik zaman aralıklarında

tartılmıştır. Çalışma sıcaklığı 50, 60, 65 ve 70 °C olarak belirlenmiştir. Deneme % 6 (y.b.) nem içeriğine kadar devam ettirilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı artırıldığında nem difüzyonun da arttığı saptanmıştır. Örnek kalınlığının artması kuruma süresini arttırmıştır. Nem difüzyonu için gerekli enerji 28,36 kJ/mol olarak bildirilmiştir. Kuruma süresinin bir fonksiyonu olarak nem içeriğini belirlemek için Page modelinin uygun olduğu ifade edilmiştir.

Soysal (2004), yapmış olduğu çalışmada; 360 ile 900 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde $4,93 \pm 0,34$ g su/g kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip $25 \pm 0,21$ g maydanozun kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Kurutma kinetiğinin modellenmesinde Page Modeli kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda maydanozun uygulanan mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 3,5-10 dakika arasında değişen zamanlarda kuruduğu görülmüştür. Kurutma, sabit kuruma periyodu ve azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. 630 W mikrodalga çıkış gücünde bundan farklı olarak sabit hızda kuruma periyodunu takiben 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Yüksek mikrodalga güçlerinde kurutma hızının artmış olmasından dolayı kurutma zamanı azalmıştır. Aynı zamanda, maydanozun kurutulması ile meydana gelen renk değişimleri incelenmiş ve taze maydanozun renk değerlerinin yaprakların sararmasına neden olan klorofilaz enziminin inaktive olmasından dolayı değişmediği gözlemlenmiştir.

Doymaz (2005), kurutma havasının sıcaklığının bamyanın kuruma karakteristiğine etkisini incelemiştir. Denemelerde ortalama nem içeriği % 89,53 (y.b.) olan 100 g bamya, tek tabaka halinde 50, 60 ve 70 °C sıcaklık ve 1,0 m/s hava hızında kurutulmuştur. Kurutma havasının sıcaklığı yükseldikçe kuruma hızı artmış, kuruma süresi azalmıştır.

Mwithiga ve Olwal (2005), çalışmalarında konvektif kurutucuda 1,0 m/s hava hızında kurutulan lahananın kuruma kinetiğine, örnek kalınlığı ve hava sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Denemede kullanılan kurutucu kurutma odası, 1,5 kW'lık elektrikli ısıtıcı ve fandan oluşmaktadır. Kurutma için gerekli olan lahana yaprakları yaklaşık 3 mm'lik ince dilimler halinde doğranmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 30, 40, 50 ve 60 °C ve materyal dilim kalınlığı olarak ta 10, 20, 30, 40 ve 50 mm seçilmiştir. 10 mm tabaka kalınlığında kurutulan lahana yapraklarının

kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Tabaka kalınlığının artması ise kuruma süresini arttırmıştır.

Toğrul ve ark. (2005a), yaptıkları çalışmada 0,5; 1,0 ve 1,5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların kuruma davranışlarını kızılötesi kurutucuda 50, 60, ve 80 °C kurutma havası sıcaklığı değerlerinde incelemişlerdir. Sıcaklığın 50 °C den 80 °C'ye çıkarılmasıyla 0,5; 1,0 ve 1,5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140 ve 104 dakikalık azalma olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkisini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve dilim kalınlığındaki artışın difüzyon katsayısında artışa sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Toğrul ve ark. (2005b), dört farklı kalınlıkta kestikleri muz dilimlerini kızılötesi kurutucuda 50; 60; 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kurutarak muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Araştırmacılar artan kurutma havası sıcaklığı ile hem kuruma hızının, hem de difüzyon katsayısının arttığını, muz dilim kalınlığının artmasıyla kuruma hızının azaldığını tespit etmişlerdir.

Methakhup ve ark. (2005), Güneydoğu Asya'ya özgü C vitamini bakımından zengin olan ve çaya benzer ürün elde edilmesinde kullanılan Hindistan gooseberry (*Phyllanthus emblica* linn) meyvesini vakumla ve düşük basınçlı buharla kurutmuşlardır. Bu çalışmanın amacı iki yöntemle de kurutulan ürünün kuruma kinetiklerini ve kalite parametrelerini belirlemektir. Taze meyvelerin tohumları çıkartıldıktan sonra, etli kısımları küçük parçalara bölünmüş ve parçalayıcıdan geçirilmiştir. Daha sonra 40 gramlık örnekler vakumlu ya da düşük basınçlı ısıtılmış buharlı kurutucuda 65 ve 75 °C'de 7; 10; 13 kPa mutlak basınçta nemleri % 7,5 olana kadar kurutulmuşlardır. 65 °C'de, sırasıyla 7, 10 ve 13 kPa mutlak basınçta denge nem içeriği kuru baza göre % 5,7–4,2 olana kadar geçen süre sırasıyla 200; 210 ve 230 dakikadır. 75 °C'de, aynı basınçlarda denge nem içeriği kuru baza göre % 3,8–2,4'e erişene kadar 65 °C'ye göre kurutma zamanı yaklaşık % 20 azalarak 160; 170 ve 190 dakika olmuştur. Vakumla kurutmada 7 kPa mutlak basınçta ve 65 °C'de en iyi renk korunumu sağlanmıştır. Vakumla kurutmada, renk değişikliğinin ana nedeni, klorofil azalması, enzimatik reaksiyonlar ve oksijen ile ışıktan kaynaklanan askorbik asit oksidasyonudur. 65 °C, 10 ve 13 kPa mutlak basınç

ve 75 °C’de kurutma arasında önemli bir farklılık olmamıştır. Bu çalışma sonucunda vakumla kurutmanın düşük basınçlı ısıtılmış buharlı kurutmaya göre daha kısa sürdüğü belirlenmiştir. Askorbik asit ve renk muhafazası düşük basınçlı kurutmada daha iyi olmuştur. Vakum kurutma içerisinde en yüksek askorbik asit ve renk muhafazası ile en kısa kurutma süresine göre yapılan değerlendirmede bu ürün için en uygun yöntemin 7 kPa mutlak basınçta, 75 °C’de yapılan kurutma olduğu belirlenmiştir.

Wang ve Sheng (2006), yaptığı çalışmada, kızılötesi ısıtım uygulaması sonrasında mikrodalga enerji uygulayarak şeftali kurutmuştur. Çalışmada mikrodalga ve kızılötesi enerji düzeyinin artmasıyla şeftalinin dehidrasyon oranının yükseldiği, sistem enerji tüketiminin azaldığını tespit etmişlerdir. Enerji tüketim değerlerinin kızılötesi ısıtım ile kurutmada 2,860 kW/kg, mikrodalga ile kurutma işleminde ise 3,285 kW/kg olarak belirlemişlerdir.

Wang ve ark. (2006), yaptıkları bir çalışmayla elma püresinin mikrodalga ve mikrodalga kurutma öncesinde sıcak hava ile ön kurutma işleminin kurutma parametrelerini laboratuvar ölçeğinde incelemişlerdir. Denemeler 150; 300; 450 ve 600 W mikrodalga giriş gücünde ve ön kurutma işlemi ise 105 °C’de yapmışlardır. Kuruma süresi ve enerji tüketimi bakımından ön kurutma işlemi ile yapılan mikrodalga kurutma işleminde % 25 oranında azalma olduğunu saptamışlardır. Ayrıca mikrodalga ve ön kurutmalı mikrodalga kurutma işlemlerinde oranında kurutma süresinin % 70’i yarıdan sonra kalan nemi uzaklaştırmak için geçen süre olduğunu bildirmişlerdir.

Erdem (2007), yaptığı çalışmada, ev tipi bir mikrodalga fırında Aflatoksinli kırmızı pul biberin, ozonlu suyla yıkamayı temsilen 5 ve 10 dakika sürelerde yıkandıktan sonra mikrodalga ile ürünün kurutulmasında kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) enerji tüketimi, kuruma süresi, ulaşılan son nem ve ürün renk kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Kullanılan mikrodalga uygulama süreleri (açık/kapalı olma süresi, saniye) sırasıyla sürekli, 30/30; 30/45; 30/60; 45/30; 45/45; 45/60 olacak şekilde ayarlamıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi arttıkça kurutma etkinliği artmış, fakat mikrodalga ünitenin

çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30; 45/30; 45/60 olan denemelerde enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin arttığı gözlemiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma süreleri diğer kombinasyonlara göre daha iyi vermiştir.

Özbek ve Dadalı (2007), mikrodalga giriş gücünün tek tabaka halinde serilmiş olan nane yapraklarının kurutulmasında nem oranı, ayrılabilir nem oranı, kuruma hızı ve kuruma süresi üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikrodalga giriş gücünün 180 W'tan 900 W' a çıkarılması halinde kuruma süresinin 12,5 dakikadan, 3 dakikaya düştüğünü belirtmişlerdir. Ürün yoğunluğunun 25 g'dan 100 g'a çıkarılması ile birlikte kuruma sürelerinin de sırasıyla 16,6 dakika ile 6,6 dakikaya çıktığını gözlemlemişlerdir

Nasıroğlu (2007), yaptığı çalışmada, kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızını belirlemek üzere yaptıkları çalışmada kızılötesi lamba gücünün ve hava hızının etkileri değerlendirmiş ve kuruma zamanı, özgül enerji tüketimi, renk (L, a, b, ΔE , kroma, hue acısı), büzülme, tekrar su alma oranı ve askorbik asit (C vitamini) gibi bazı parametreler üzerine kızılötesi lamba gücü ve hava hızının etkilerinin araştırmıştır. Kırmızı biber, elma ve pırasa dilimleri 3 farklı hava hızında ve 3 farklı kızılötesi lamba gücünde (1,0; 1,5; 2,0 m/s hava hızı ve 300, 400 ve 500 W kızılötesi lamba gücü) kurutulmuştur. Ürün kurutma süresi değerleri 1,0-2,0 m/s kurutma hava hızı aralığında ve 300, 400 ve 500 W kızılötesi lamba güçlerinde sırasıyla kırmızı biber için 315-455, 213-297 dakika ve 196-230 dakika, elma için 198-274, 171-261 ve 137-170 dakika ve pırasa için ise 305-341, 195-244, 183-241 dakika değerleri arasında olduğunu bildirilmiştir. Bu çalışma kapsamında özgül enerji tüketimi, renk değişimi ve büzülme oranları ölçülmüştür. Özgül enerji tüketiminin hava hızının artmasıyla arttığını bildirmiştir.

Wu ve ark. (2007), patlıcanın vakumla kurutma karakteristikleri incelemiştir. Kuruma denemeleri 2,5; 5 ve 10 kPa vakum değerlerinde ve 30-50 °C hava sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kuruma hızı ve kurumadan kaynaklanan büzülme üzerine kuruma basıncı ve sıcaklığının etkileri değerlendirilmiştir. Vakumla kurutmada nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi Fick difüzyon eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Kurutma odası basıncı kurutma işlemi

üzerinde önemli bir etki göstermezken, artan kurutma sıcaklığı vakumla birlikte kurutma sürecini hızlandırmıştır. Materyalin büzülmesinin kurutma sıcaklığından bağımsız olduğu, fakat kurutma odası basıncındaki artışla önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Büzülme oranı ve kuru bazda nem içeriği arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Staack ve ark. (2007), yaptıkları bu çalışmada kısa dalga boyu (NIR) ve orta dalga boyu (MIR) ışınım yayan kızılötesi ışınlı kurutucu ile farklı su aktivite değerlerinde ıslanmış olan toz biberin kurutulmasını incelemiştir. Araştırma kapsamında 1 ila 3 mm derinlikteki ısı akış ve sıcaklığı ölçülmüştür. Daha fazla su aktivitesinin olduğu denemelerde ısı transferinin daha homojen olduğu, fakat kurumanın daha uzun sürede gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Kısa dalga boylu ısı üreticinde ısı kaynağının sıcaklığının daha fazla olduğu, bu nedenle toz biber katmanındaki yüzey sıcaklığının daha çabuk yükseldiği bildirilmiştir. Fakat yüksek su aktivitesinin olduğu denemelerde kısa ve orta dalga boyu ile ısıtma arasındaki farkın azaldığı belirtilmiştir. 3 mm derinliğe kadar ısı transferinin ışınlı gerçekleştiği fakat 8 mm’de ısı transferinin tamamen kondüksiyonla gerçekleştiği bildirilmiştir.

Zhongli ve ark. (2008), yaptıkları bir çalışmada kızılötesi ışınlı ve dondurarak kurutma yöntemi ile muz dilimlerinin kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. 5 mm kalınlığındaki Cavendish muz dilimleri 3000, 4000 ve 5000 W/m² olmak üzere 3 farklı ışınlı düzeyinde 62,8 C°’de kurutulmuştur. 4000 W/m² ışınlı düzeyinde ön kurutma işlemi ile % 20-40 arasında kütle kaybı belirlenmiştir. Ön kurutma işleminde önce muz dilimleri ürün kalitesini artırmak için 10 g/l askorbik asit ve sitrik asit çözeltisine batırılmıştır. Kontrol grubu olarak ürünler dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Kalite parametreleri olarak renk, büzülme ve gevreklik özellikleri belirlenmiştir. Araştırma sonunda kurutma hızının IR yönteminde sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha yüksek olduğunu bildirilmiştir. % 40 kütle kaybına ulaşmak için, 4000 W/m² kızılötesi kurutma işleminde kurutma süresi 10 dakika iken sıcak hava ile kurutma işleminde bu süre 38 dakika olarak bildirilmiştir.

Kocabıyık ve Demirtürk (2008), yaptıkları çalışmada nane yapraklarının kızılötesi enerji ile kurutulmasında nanenin kuruma karakteristikleri, kuruma süresi, kuruma hızı, özgül enerji tüketimi ile ürünün renk özellikleri araştırmışlardır. 1080 W/m^2 kızılötesi radyasyon yoğunluğunda dört farklı hava hızında (0,5; 1,0; 1,5 ve 2,0 m/s) denemeler yapmışlardır. Bütün kuruma koşullarında kuruma süresi 64-180 dakika arasında bildirilmiştir. Hava hızının azalmasıyla kuruma hızının artış gösterdiği belirtilmiştir. 1 kg nemin buharlaşması için gereken enerji (özgül enerji) değeri tüm kuruma koşulları için 37,04 ile 106,58 MJ/kg arasında değiştiği bildirilmiştir. Kuru nanenin renk özellikleri 1,5 m/s hava hızında (ΔE) 23,74'la en yüksek, 0,5 m/s hava hızında ise 14,54 oranında değişime uğramıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Defne meyvesinin sabit yağ oranı açısından en yüksek değerlere Aralık ayında ulaştığı bilinmektedir (Erden, 2005). Bu nedenle denemeler Aralık ve Ocak ayları boyunca Hatay bölgesinden temin edilen ürünle gerçekleştirilmiştir. Meyveler nem içeriklerinin korunması için buzdolabında +4 °C’ de saklanmıştır.

3.1.1. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar

Defne meyvesinin kurutulması ve kurutma sonrası gerçekleştirilen yağ asitleri analizi işlemleri ile birlikte ön çalışmalar kapsamında yapılan defne meyvesinin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin belirlendiği çalışmalarda kullanılan alet ve ekipmanlar aşağıda verilmiştir.

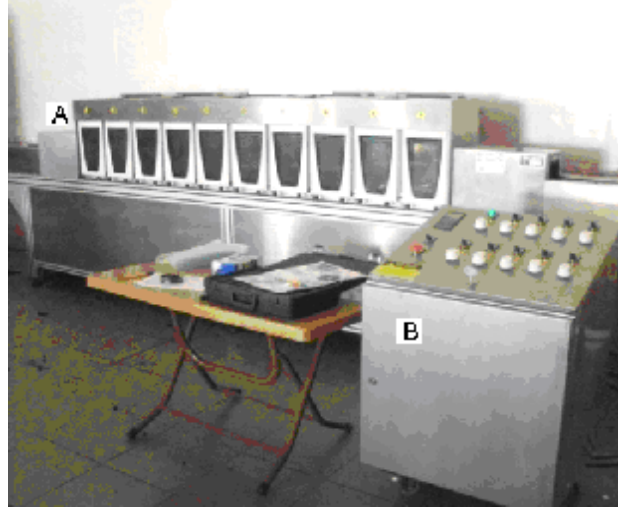
Mikrodalga bantlı fırın

Araştırma kapsamında mikrodalga enerji ile kurutma işlemlerinin yapılması amacıyla 5 m aktif bant uzunluğu ve 0,15 m aktif bant genişliğinde özel olarak imal edilen laboratuvar tipi bir bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır (Şekil 3.1, A). Kurutucunun aktif bant uzunluğuna denk gelen bölümünde eşit aralıklarla yerleştirilmiş 10 adet mikrodalga jeneratörü mevcuttur. Her jeneratörün maksimum giriş gücü 0,8 kW’tır. Bantlı kurutucu üzerinde bulunan mikrodalga jeneratörlerinin ve bant hızının kontrolü, ana kumanda paneli üzerinden sağlanmaktadır (Şekil 3.1, B). Kontrol paneli üzerindeki 10 adet kademe değiştirici ile kurutucu üzerindeki her mikrodalga ünitesinin giriş gücü 0,05 kW ile 0,8 kW arasında ayarlanabilmektedir. Mikrodalga üniteleri kurutma tüneli girişinden itibaren yan yana ve boşluk bırakmaksızın yerleştirilmiştir. Her üniteye ait mikrodalga üreticinin üst kısmında bulunan bir adet soğutma fanı dışarıdan emdiği havayı düşey ekseninde aşağı doğru iletmekte ve bu yolla mikrodalga üreteçleri soğutmaktadır. Mikrodalga üreteçlerden çıkan hava yine düşey ekseninde teflon örgüden yapılmış kurutucu bandından geçerek,

tünelin alt kısmından aşağıya, dış ortama ileilmektedir. Mikrodalga üreteçlerin ve soğutma fanlarının bu yerleşimi sayesinde hem mikrodalga üreteçlerin soğutulması, hem de bant üzerindeki ürünün üzerinde bulunan nemli, doymuş havanın kurutma tüneli alt bölümünden dışarı atılması amaçlanmıştır. Ancak sistem kullanılmaya başlandıktan sonra mikrodalga üretici soğutma fanlarının tünel içindeki nemli havayı dışarı atmakta beklenen faydayı sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle soğutucu fanların yönlendirme plakaları çıkarılmıştır.

Kurutma tünelinin giriş ve çıkış açıklıklarına iki adet aksiyal fan takılarak tünel içinde oluşan nemli havanın dışarı atılması sağlanmıştır (Şekil 3.2). Her biri 0,26 kW gücündeki bu fanların pervane çapı 0,17 m'dir. Bu fanları istenilen devirlerde çalıştırmak mümkünse de, fanın dönme hızı bir akım değiştirici ile tam açık pozisyonunda 2,30 m/s, yarı açık pozisyonunda 1,15 m/s hava hızı sağlamaktadır. Bu değerler 5 m olan aktif bant uzunluğunun tam ortasında ölçülmüştür.

Kurutma tünelinin giriş ve çıkış kısımlarına yakın olan bölgelerde hava hızları daha yüksek olmaktadır. Örneğin kurutma tünelinin giriş ve çıkış fanlarına yakın bölümlerinde yapılan hız ölçümlerinde 3-4 m/s arasında değişen değerleri tespit edilmiştir. Konvektif tip bantlı kurutucularda hava hızının kurutma tüneli içinde yüksek olması, havanın doyma kapasitesinden tam olarak yararlanamadan dışarı atılması anlamına gelir. Ancak mikrodalga kurutmada kütle transferi için gerekli enerji materyalin içindeki su moleküllerinin hareketlendirilmesi ile elde edildiğinden, bu kurutucu için tünel içindeki havanın doyma açığından yararlanamama endişesi oluşmamıştır.



Şekil 3.1. Mikrodalga bantlı fırın ve kumanda paneli



Şekil 3.2. Kurutucu tüneli giriş-çıkış bölümüne yerleştirilmiş fan

Nüve marka EN 500 model etüv

Sıcak hava ile kurutma denemeleri bu etüvde gerçekleştirilmiştir. İç hacmi 120 l olan etüv PID (oransal integral değişim) kontrollü olup, 500x490x550 mm iç ebatlarında ve 90 °C' e sıcaklığa kadar çalışabilen $\pm 1^{\circ}\text{C}$ duyarlılıktadır. Güç tüketimi 1 500 W olup, 220 VAC de 50 Hz şebeke geriliminde çalışmaktadır. Nem doğal havalandırma yoluyla dışarı atılmaktadır.

Medcenter marka VD 55 model vakumlu etüv

Vakumlu kurutma işlemlerinin yapıldığı vakumlu etüv (Şekil 3.3) 400x320x480 mm iç ebatlarında ve paslanmaz çelikten imal edilmiş ve 220 VAC' de 50 Hz şebeke geriliminde çalışmakta ve 0,4 °C duyarlılıktadır. Etüv PID kontrollü olup, 200 °C' ye kadar çalışabilmektedir. En yüksek vakum değeri 5 mbar olup, 100 °C'ye 65 dakika içerisinde ulaşabilmektedir.



Şekil 3.3. Vakumlu etüv

Kurutma odası (Kızılötesi ısıtıcılarla donatılmış)

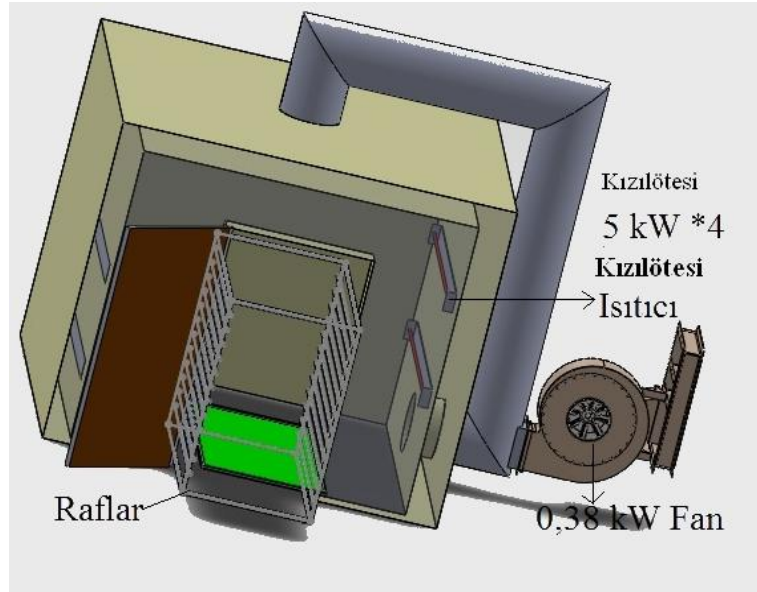
Çalışmanın ileri safhalarında ortaya çıkan yeni olanaklarla işletme ölçeğinde kurutma odası tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Defne meyvesi morfolojik yapısı itibarıyla zor kuruyan bir ürün olduğu için dielektrik kurutma yöntemlerinden mikrodalga enerjiden yararlanma düşüncesi araştırmanın en başında düşünülen bir seçenektir. Ancak, dielektrik ilkesine göre çalışan kurutucuların ilk yatırım ve hatta işletme masrafları diğer kurutuculara göre daha yüksek olabilmektedir. Üstelik mikrodalga ışıınının tekdüze dağılmamasındaki vb. teknik sorunlar nedeniyle bu yöntemi herhangi bir tarımsal ürün kurutucusunda uyarlamak ciddi bir Ar-Ge desteği gerektirir ki, bu yatırımı KOBİ düzeyindeki bir makine imalatçısının yapması güçtür. O halde, bu araştırmada özel olarak imal edilen mikrodalga bantlı kurutucudan yola çıkarak yatırımcılara

mikrodalga kurutma yöntemini önermek teknik olarak doğru, ancak finansman ve imalat açısından gerçekleştirilmesi güç bir öneridir. Diğer yandan defne meyvesinin yoğun olarak toplandığı Kasım-Aralık aylarında işletmelere tonlarla ifade edilen rakamlarda defne meyvesi gelmekte olup, bu ürünün sezon içinde kurutulması gerekir. Yüksek kapasiteli sıcak hava ya da mikrodalga kurutucu yatırımı yapamayan işletmeci gelen defne meyvelerini kalın tabaka halinde serip, hava koşullarına göre bazen aylarca kurumasını beklemektedir (Şekil 3.4). Bu nedenle defne meyvesi yağı üretmek isteyen işletmeler için örnek olmak üzere Kırıkhan-Hatay'da faaliyet gösteren bir işletmede bir kurutma odası tasarlanıp, imal edilmiştir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Bu tasarımda Ege Bölgesi'ndeki incir işletmeleri ile Karadeniz Bölgesi'nde defneyaprağı ve çay kurutma işletmelerinde görülen konvektif kurutma odalarındaki raflı sistemlerden esinlenilmiştir. 3 x 3 x 3 m boyutlarında ısı yalıtımlı malzemeden (Ytong) inşa edilen kurutma odasının duvarlarına karşılıklı olarak 5 kW'lık toplam 4 adet kızılötesi ısıtıcı yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Oda içindeki hava dışarıya yerleştirilen bir adet 0,38 kW'lık fan yardımıyla sirkülasyona tabi tutulmuştur. Hava dolaşım sisteminde bulunan kapak dışarıdan taze hava alma veya içerde biriken nemli havayı dışarı atma işlevini görmektedir. Defne meyvesi oda boyutlarına uygun olarak yapılan raflara ince tabaka halinde serilmiş ve raflar bir çatı üzerinde, üst üste gelecek şekilde odaya yerleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Defne meyvesinin sundurma altında kalın tabaka şeklinde serilerek kurutulması



Şekil 3.5. Kurutma odası ve rafların perspektif görünüşü



Şekil 3.6. Kurutma odası



Şekil 3.7. Kızılötesi ısıtıcılar

Hassas terazi

Defne meyvelerinin kurutulması aşamasında örneklerin kütlesinin tartıldığı hassas terazi Sartorius marka GM 1502 model olup, $\pm 0,01$ g duyarlılıkta ve maksimum 1 500 g' a kadar tartım yapabilmektedir.

Nem ölçer cihazı

Ürün nem içerikleri ayrıca Ohaus MB45 nem ölçer cihazı ile her deneme öncesinde tekrar kontrol edilmiştir. Nem ölçer 220 VAC' de 50 Hz şebeke geriliminde çalışmakta olup, 50-200 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Cihaz, 90 mm' lik bir ölçüm kabına sahip olup, 190x150x350 mm boyutlarında ve 0,001 g duyarlılıkta ölçüm yapabilmekte ve bu değerlerin zamana bağlı fonksiyonlarını ve standart sapmalarını hesaplayarak kaydedebilmektedir. Nem tayini, katı madde tayini, nem geri kazanım tayini yapılabilmektedir.

Kızılötesi sıcaklık ölçer

Ürün merkez ve yüzey sıcaklıkları -60 ile +500 °C arasında ölçüm yapabilen TFA marka 31.15 (Şekil 3.8) model kızılötesi sıcaklık ölçer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm duyarlılığı 0,5 °C olan cihaz aldığı verileri kaydedebilmekte ve ortalama

değer, en büyük ve en küçük değerleri ayrıca göstermektedir. Kullanılan sıcaklık ölçer (ısılcıft) ile -60 ile +1 400 °C arasında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.8. Kızılötesi sıcaklık ölçer ve probu

Vidalı pres ve Soksalet düzeneği

Kurutulmuş ürünlerden yağ çıkartılması için Şekil 3.9’da görülen Electrolux marka vidalı pres kullanılmıştır. Çapı 1,2 mm olan yağ çıkış delikleri bulunan ve 1- 3 l/h yağ çıkarma kapasiteli laboratuvar tipi bir makinedir. Makine 220 VAC 50 Hz şebeke geriliminde çalışmaktadır. Hazne içerisinde çapı 30 mm olan vida vardır. Hazne çıkış kısmında delik çapı 4-8 mm arasında değişen çıkış plakaları bulunmaktadır.



Şekil 3.9. Vidalı pres

Presten çıkan peletlerin yağ içeriği Behrlabor marka R254S model soksalet düzeneği kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.10). Soksalet cihazı 4 üniteli ve toplam 1 400 W ısıtma gücüne sahip olup 220 VAC' de 50 Hz şebeke geriliminde çalışmaktadır.



Şekil 3.10. Soksalet düzeneği

Sayısal anemometre

Kurutma esnasında iç ortam nemi, dış ortam nemi, ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerleri ile rüzgar hızı TSI 8334A model sayısal bir anemometre ile ölçülmüştür. AA alkaline 4 adet pille çalışmakta olup 220 VAC 50 Hz' de çalışan bir adaptörü bulunmaktadır. Kaydedilen veriler USB girişi yardımıyla bilgisayara aktarılabilmektedir. Sıcaklık ölçümü -60 ile +204 °C arasında yapılabilir. Bağıl nem ve hava hızı değerleri, basınç ve termal akışkanlık ölçümlerini de yapabilen bir cihazdır. Cihaz, 0,015 m/s duyarlılıkta hava hızı ölçümü yapabilmektedir. Sıcaklık ölçümlerinde ise $\pm 0,3$ °C duyarlılıktadır.

Üç fazlı elektrik sayacı

Elektrik sayacı 50 Hz 380 VAC şebeke geriliminde ve -40 ile +70 °C arasında çalışabilen 0,25 A doğru akım ölçüm duyarlılığı olan 5 ile 80 A güç akımında ölçümler yapabilen üç fazlı elektrik sayacı ölçümlerde kullanılmıştır.

Renk ölçer

Fiziksel ölçümlerin yapıldığı denemelerde Minolta marka CR 100 sayısal renk ölçer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz 0 ile +40 °C arasında çalışabilmektedir. Çapı 8 mm olan bir alanı ölçebilmekte ve yapılan ölçümlerde CIELAB, XYZ, Yxy ve $L^* a^* b^*$ değerlerini vermektedir.

Sayısal kumpas

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde 0 -150 mm arasında 0,01 mm duyarlılıkta ölçüm yapabilen Vernier Calipper marka bir sayısal kumpas kullanılmıştır.

Lloyd materyal test cihazı

Test cihazı 1 kN ve 5kN' luk yük hücreleri ile 0,01 ile 2032 mm/d arasındaki hızlarda test yapabilen bir materyal test cihazıdır. Cihaz NEXYGEN yazılımı ile verileri bilgisayar ortamına aktarabilmektedir. Bozulma yükü, dayanım, yüzey gerilimi, kopma direnci, dinamik ve statik sürtünme katsayılarını ölçümleyip hesaplayabilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Lloyd materyal test cihazı

Gaz Kromatografisi

Gaz kromatografisi (Perkin Elmer Claurus 500 GC) yağ asitleri bileşimi ve serbest yağ asitleri analizinde kullanılmıştır.

3.2. Metod

Bu araştırmada defne meyvesinin yağının vidalı pres ve çözücü çıkarma yöntemi ile çıkarılması için en uygun kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 5 adet kurutma yöntemi uygulanmış, bu yöntemlerden elde edilen ürünlerin yağı mekanik ve kimyasal yöntemle çıkartılmıştır. Defne meyvesi açısından özgün olan yöntemler uygulamada kullanılan kısa tanımları ile aşağıda belirtilmiştir. Yöntemlere ilişkin teknik terminoloji parantez içinde verilmiştir. Yöntemler şunlardır:

- I. Defne meyvesinin kurutulması
 - i. Sıcak hava ile kurutma (*atmosferik konvektif kurutma*)
 - ii. Vakum kurutma (*vakum konvektif kurutma*)
 - iii. Mikrodalga (*dielektrik*) kurutma
 - iv. Sıcak hava ve mikrodalga ile kurutma (*atmosferik konvektif ön kurutma, dielektrik son kurutma*)
 - v. Kızılötesi ışınlama (*IR*) kurutma
- II. Defne meyvesinin yağının çıkarılması
 - i. Vidalı presle (*mekanik yöntemle*) yağ çıkarma
 - ii. Çözücü çıkarımla (*kimyasal yöntemle*) yağ çıkarma

Araştırmada uygulanan her kurutma yönteminden sonuçta elde edilen yağın yağ asidi içerikleri, geleneksel yöntemle elde edilmiş defne yağının yağ asidi içeriği ile karşılaştırılmıştır. Araştırmada ayrıca kurutulmuş ürünlerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.

3.2.1. Defne Meyvesinin Kurutulması

3.2.1.1. Sıcak Havayla Kurutma

Sıcak hava ile kurutma denemelerinde 50 g'lık ürünler bir petri kabına yerleştirilmiştir. Kurutma denemeleri; 50, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda etüvde gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde ürün kütle kaybı ve ürün yüzey ve iç sıcaklık ölçümleri her 4 saatte bir yapılmıştır.

3.2.1.2. Vakum Kurutma

Vakum kurutma denemeleri sıcak hava ile atmosferik etüvde yapılan kurutma denemelerine paralel olarak 50; 70 ve 80 °C aynı sıcaklıklarda olmak üzere 0,1; 0,2; 0,4 ve 0,6 atm' de vakumlu etüvde yapılmıştır. Denemelerde 50 g'lık ürünler petri kaplarına konularak tartılmış, kurutma sırasında ise vakum şartları kontrol edilerek her dört saatte kütle kaybı, ürün yüzey ve merkez sıcaklıkları ölçülerek kaydedilmiştir.

3.2.1.3. Dielektrik Kurutma

Bantlı mikrodalga kurutucuda uygun bant hızlarının belirlenmesi amacıyla yapılan ön denemelerde bant hızı tek başına dielektrik kurutma yöntemi için 3, 4 ve 5 Hz ve atmosferik taşınım ile ön kurutma, dielektrik (mikrodalga) son kurutma yöntemi için 8, 9 ve 10 Hz olmak üzere seçilmiştir. Bu frekanslar sırasıyla 6,2; 6,8; 8,1; 10,4; 11,9 ve 12,8 mm/s bant hızlarına karşılık gelmektedir. Denemeler, 400, 600 ve 800 W olmak üzere 3 farklı güç seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Denemeler öncesinde nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla üründen 3 adet 50 g'lık örnek alınarak, etüvde 105 C°'de 24 saat kurutulmuş ve kütleleri ölçülerek, başlangıç nem içerikleri yaş baza göre hesaplanmıştır.

$$X_{yb} = \frac{m_N}{m} 100 \quad (3.1.)$$

Burada;

X_{yb} : Yaş baza göre nem içeriği (%),

m_N : Üründeki su kütlesi (g),

m : Ürünün toplam kütlesi (g)'dir.

Denemelerde seçilen ve ayarlanan mikrodalga giriş gücünün fırın içindeki ürün üzerine gelen çıkış enerji değeri ile aynı olup olmadığı IMPI2 2-litre yöntemiyle kalorimetrik olarak belirlenmiştir (Buffle, 1993).

$$P = \frac{m C_p (\Delta T_1 + \Delta T_2)}{2 \Delta t} \quad (3.2)$$

Burada;

P : Mikrodalga çıkış gücü (W),

m : Saf suyun kütlesi (kg),

T_1 : Saf suyun giriş sıcaklığı (°C),

T_2 : Saf suyun çıkış sıcaklığı (°C),

t : Süre (s).

Kurutma denemeleri başlangıcında 30'ar gramlık 3 adet örnek petri kaplarına konularak tartılmıştır (Şekil 3.12). İçerisindeki ürün kütlesi bilinen petri kapları bant üzerine ince tabaka halinde serilmiş olan ürünün arasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.13). Kurutucu bandına ince tabaka olarak, yan yana tek sıra halinde serilen defne meyvesinin ürün yoğunluğu 6 kg/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Yaş ürün



Şekil 3.13. Ürünün bant üzerine ince tabaka şeklinde serilmesi

Kurutucu bandı aktif yüzeyinin ürünle kaplanmasından sonra kurutma tüneli içi ve dış ortama ilişkin sıcaklık, bağıl nem ve ürün sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Ürün sıcaklıkları materyalin yüzeyinden ve merkezinden olmak üzere iki noktadan kızılötesi sıcaklık ölçer ile tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Kurutma işlemi sonrasında örneklerin kütleleri tartılarak, çıkan ürünün son nem içeriği başlangıç nem içeriklerine bağlı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Ürün merkez sıcaklığının ölçüm yeri

3.2.1.4. Sıcak Hava ve Mikrodalga Kurutma

Bu yöntemde ürün önce etüvde % 20 nem düzeyine kadar kurutulmuş ve kalan nem mikrodalga bantlı kurutucuda alınmıştır.

3.2.1.5. Kızılötesi Işınım Enerjisi Kurutma

İşletmede inşa edilen kurutma odasında yapılan kurutma denemelerinde her raf üzerine konulan defne meyvelerinin ürün yoğunluğu 5 kg/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle petri kaplarına 40 g.lık ürünler kurutma odasındaki rafların en üstüne ortaya ve en alta gelecek şekilde yerleştirilmiş ve her 2 saatte bir olmak üzere ürün yüzey sıcaklığı, merkez sıcaklığı ile kütle kaybı ölçümleri yapılmıştır. Kurutma tamamlandıktan sonra ürünler tekrar tartılarak ürün son nemi hesaplanmış ve ayrıca etüv yöntemiyle kontrol edilmiştir.

İşletme ölçeğindeki kurutma odasında iki farklı çalışma modu seçilmiştir;

- I. Tam sirkülasyon: Kurutma odasındaki havanın doyma açığından tam olarak yararlanmak için sistemdeki havanın dış ortamdan izole olarak dolaşımı sağlanmış ve dışarıdan taze hava girişi yapılmamıştır. Bu durumda dolaşım sistemindeki hava alma kapağı kapalıdır. Kurutma başlatıldıktan sonra zaman zaman oda kapısı açılarak iç ortam ve kurumakta olan ürün kontrol edilmiştir.
- II. Taze hava destekli kısmi (yarı) sirkülasyon: Hava dolaşım kanalındaki kapak yarım açılarak, sistemde dolaşan nemli havanın kısmen dışarı atılması, keza dışarıdan daha az nemli havanın dolaşıma dahil edilmesi sağlanmıştır.

Sistem çalıştırılıp, istenen sıcaklık düzeyine ulaşıldıktan sonra raflara ince tabaka halinde serilmiş olan ürün, kurutma odasındaki taşıyıcı 2 adet dolap üzerindeki kızaklara yerleştirilmiştir (Şekil 3.15). Her bir taşıyıcı dolap üst üste sıralanmış 14 adet rafı taşımaktadır. (Şekil 3.16). Böylece 28 adet raf kurutma odasına alınmaktadır.



Şekil 3.15. Defne meyvesinin raflar üzerine serilmesi



Şekil 3.16. Rafların tekerlekli taşıyıcı dolap üzerindeki yerleşimi

3.2.2. Defne Meyvesi Yağının Çıkarılması

Araştırmada uygulanan sıcak hava ile kurutma yöntemleri (normal atmosfer ve vakum koşullarında) ile mikrodalga (dielektrik) kurutma ve kızılötesi ısıtım enerjisi ile kurutma yöntemlerinden kuruma süresi ve ürünün duyuşal özellikleri itibarıyla uygun olanı seçilmiş ve bu yöntemle kurutulmuş ürünün yağ verimi ve yağın bileşenlerindeki değişim belirlenmiştir. Seçilen yöntemlerle kurutulmuş ürünlerden vidalı pres ile sıkım ve ekstraksiyon yöntemi ile yağ çıkartılmış ve her yöntemden elde edilen yağların özellikleri belirlenmiştir. Keza işletme ölçeğinde kızılötesi ısıtım enerjisi ile kurutma yapılan kurutma odasından alınan örneklerden de yağ çıkartılmıştır. O halde; 4 farklı kurutma yöntemi ile elde edilen kurutulmuş defne meyvelerinden üretilen yağın nitelik ve niceliği, geleneksel yöntemle taze olarak kaynatılmış meyveden elde edilen yağ ile karşılaştırılmıştır.

Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalarda kurutma yöntemleri şunlardır;

- i. Atmosferik konvektif kurutma (normal etüv; $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- ii. Atmosferik vakum kurutma (vakumlu etüv; $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p = 0,02\text{ atm}$),
- iii. Dielektrik kurutma (bantlı mikrodalga kurutucu; $P = 800\text{ W}$, $v_{bant} = 0,0068\text{ m/s}$, $v_{fan} = 2,30\text{ m/s}$).
- iv. Kızılötesi Işınlıma kurutma (kurutma odası, yarı sirkülasyon modu)

Bu dört yöntemle kurutulan materyalden 3 tekrarlı 100'er gramlık örnekler alınmış, vidalı pres ve kimyasal yöntemle yağ çıkarma işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.17'de yağı sıkıldıktan sonra kapta toplanan peletler, Şekil 3.18'de de petri kabında toplanan defne meyvesi yağı görülmektedir. Defne meyvesinin vidalı preste sıkılması sonrasında elde edilen yağ ve peletler tartılmış ve çıkan yağın toplam işlenen ürüne oranı ile yağ miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır. Vidalı presten elde edilen yağ filtre kâğıtları kullanılarak filtre edilmiş ve daha sonra tartılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.17. Defne meyvesinin vidalı presle sıkılması



Şekil 3.18. Vidalı presle sıkım işlemi sonunda petri kabında toplanan yağ

Vidalı presten elde edilen ve yağ içeren peletlerden alınan örnekler bir mikserde toz haline getirilmiş ve daha sonra 10 g'lık 3 örnek alınarak tartılmıştır. Tartılan örneklerin içerisindeki son nemi bulmak üzere 2 saat süreyle etüvde bekletilmiştir. Bu ürün daha sonra desikatöre alınmıştır. Buradan alınan örnekler kartuşlar içerisine yerleştirilmiş ve 500 ml kapasiteli soksalet düzeneğine konularak 6 saat süreyle yağ tayin işlemi gerçekleştirilmiştir. Soksalet düzeneğinde çözücü olarak hekzan kullanılmıştır. Kimyasal ekstraksiyon işlemi sonrasında örnekler etüvde ve desikatörde 2'şer saat tutularak hekzan gazının uzaklaşması sağlanmıştır.

Örneklerin son kütlelerinin tartılmasıyla birlikte peletlerde kalan yağ miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. Vidalı preste sıkılan ve katı faz içeren yağın filtre edilmesi

Yağ asitleri analizi gaz kromatografisinde (Perkin Elmer Clarus 500) metilesterifikasyon işlemiyle belirlenmiştir. Yağ analizinde soğuk sıkımdan elde edilen yağ örnekleri kullanılmıştır.

3.2.3. Yağ Asitleri Analizi

Esterleşme yağ asitlerinin alkollerle reaksiyona girmeleri sonucu oluşur. Esterlerin genel formülü $C_nH_{2n}O_2$ dir. Aynı sayıda C atomu içeren monokarboksilli asitlerle izomerdirler. Uçuculuğu az olan ve bilinmeyen organik asitler çoğu zaman esterleştirilerek uçucu bir estere dönüştürülebilirler, bu da gaz kromatografisi, gaz-sıvı kromatografisi veya kütle spektrometrisi ile analiz edilebilir. Bu işlem için 1 damla yağ örneğine 2 ml isooktane eklenerek vortekste karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma 1,5 ml 0,5 M Metanolik NaOH eklenmiş ve karışım kaynatılmış su içerisinde 7 dakika bekletilmiştir. Hazırlanan solüsyon bilahare soğutulmuştur. 2 ml BF_3 konularak vortekste karıştırılmıştır. Bu karışım 5 dakika kaynar su içerisinde

bırakıldıktan sonra tekrar soğumaya bırakılmıştır. 5 ml doymuş NaOH çözeltisi solüsyona eklenmiş ve vortekste karıştırıldıktan sonra 10 dakika boyunca 4000 d/d'da santrifüj edilmiştir. Üst tabaka alındıktan sonra gaz kromatografisinde 2 ml enjekte edilmiştir.

Kromatograf Koşulları

SGE kolonu	: 30 m., 0,32 mmID.BPX20 0,25um
Kolon Sıcaklığı	: 140 °C'de 5 d, 4 °C'lik artışla 200 °C'ye ve 1 °C/d'a artışla 220 °C'ye getirilmiştir.
Enjeksiyon sıcaklığı	: 220 °C
Taşıyıcı gaz	: 16 psi
Split oranı	: 1/100
Dedektör	: FID
Dedektör sıcaklığı	: 280 °C
Örnek miktarı	: 2 µl

3.2.4. Özgül Enerji Tüketiminin Belirlenmesi

İşletmede inşa edilen infrared ısıtıcıların kullanıldığı kurutma odasında 4 adet her biri 5 kW'lık kızılötesi ısıtıcı ve bir adet 0,38 kW'lık fan kullanılmıştır. Buna göre kurutma odası için özgül enerji tüketimi Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır:

$$H_{ko} = \frac{h_1 + h_2}{W_e} \quad (3.4)$$

Burada:

H_{ko} : Kurutma odasının özgül enerji tüketim değeri (MJ/kg),

h_1 : Kızılötesi ısıtıcıların tükettiği enerji miktarı (MJ),

h_2 : Kullanılan fanın tükettiği enerji miktarı (MJ),

W_e : Kurutma esnasında uçurulan toplam su miktarıdır (kg).

Mikrodalga bantlı kurutucuda ise her biri 800 W çıkış gücünde 10 adet mikrodalga üretici kullanılmıştır. Bandı döndürmek için kullanılan motorun maksimum gücü 1,1 kW olup, düşük hızlarda kullanılması nedeniyle çektiği akım 0,20 A olarak ölçülmüştür. Mikrodalga üreteçlerin soğutulması için kullanılan fanların toplam gücü ise 1,2 kW'dır. Mikrodalga bantlı fırında tünel içindeki havayı emen ve tünele ortam havasını sevk eden fanların toplam gücü 0,52 kW'tır. Mikrodalga bantlı kurutucunun özgül enerji tüketimi Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır:

$$H_{mw} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{W_e} \quad (3.5)$$

Burada:

h_1 : Mikrodalga üreteçlerin tükettiği enerji miktarı (MJ),

h_2 : Mikrodalga bantlı fırın giriş ve çıkışındaki fanların tükettiği enerji miktarı (MJ),

h_3 : Mikrodalga üreteçlerin soğutulması için kullanılan fanların tükettiği enerji miktarı (MJ)

h_4 : Bandın döndürülmesi için kullanılan motorun tükettiği enerji miktarı (MJ)

W_e : kurutma esnasında uçurulan toplam su miktarıdır (kg).

3.3. Fiziksel Özellikler ve Ezilme Yükünün Belirlenmesi

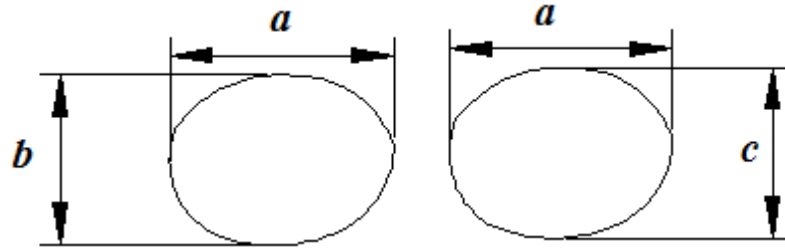
Fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için her bir varyanttan seçilen 100'er örnek kullanılmıştır. Her bir meyvenin genel boyutları uzunluk (a), genişlik (b), kalınlıkları (c) Şekil 3.22'de gösterildiği gibi sayısal ve 0,01 mm hassasiyete sahip BTS marka bir mikrometre ile ölçülmüştür (Çalışır ve ark., 2005). Meyvelerin kütleleri ise denemelerde kullanılan hassas terazi ile ölçülmüştür. Defne Meyvelerinin genel boyutları olarak uzunluk, genişlik, kalınlık yanında kütle, hacim, yoğunluk, geometrik ortalama çap, aritmetik ortalama çap, doğal yığılma açısı, statik sürtünme katsayısı, yuvarlaklık, izdüşümü alanı, ezilme yükü ve sertlik değerleri de ölçülmüştür.

Geometrik ortalama ap (D_g), aritmetik ortalama ap (D_a) ve yuvarlaklık (Φ) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Mohsenin, 1970; Sitkei, 1986; Guner, 2007).

$$D_g = (abc)^{1/3} \quad (3.6)$$

$$\Phi = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \quad (3.7)$$

$$D_a = \frac{(a+b+c)}{3} \quad (3.8)$$



şekil 3.20. Defne meyvesine ait genel boyutlar

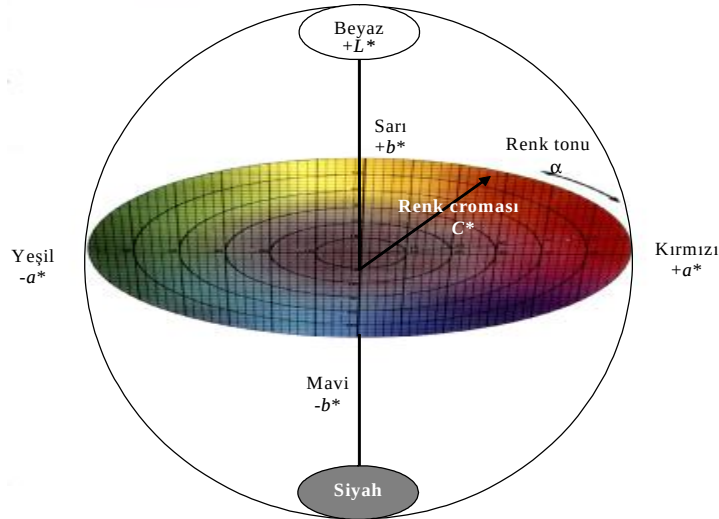
Meyvelerin hacim ve gerçek yoğunlukları (ρ_t) suyun yer değiştirme prensibine dayanarak belirlenmiştir (Mohsenin, 1978). Gerçek yoğunluk değerleri, meyvelerin kutlelerinin hacimlerine oranlanmasıyla hesaplanmıştır. rnlerin izdüşümü alanının hesaplanması için doğal pozisyonlarında tarayıcı ile taranmış resimleri AUTO-CAD yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Statik sürtünme katsayısı galvanizli sac, krom sac ve kontrplak olmak üzere 3 farklı yüzey kullanılarak belirlenmiştir. Bir grup ürün eğik düzlem üzerine yerleştirilerek ürünlerin hareket etmeye başladığı ana kadar eğik düzlem açısı değiştirilmiştir. rnlerin kaymaya başladığı andaki dik enin uzun ve kısa kenarı llmş ve daha sonra statik sürtünme katsayısı hesaplanmıştır (Ertekin ve ark., 2006).

Doğal yığılma açısı (θ) zel olarak dizayn edilmiş 300x190x130 mm ölçülerine sahip prizmatik kutu kullanılarak belirlenmiştir. rnler kutu içerisine

doldurulduktan sonra taşınabilir yüzey dikkatlice kaydırılarak ürünlerin doğal bir şekilde yığılması sağlanmıştır. Daha sonra yığılma uzunluğu ve yığılma yükseklikleri ölçülerek doğal yığılma açısı hesaplanmıştır (Akçalı ve ark., 2006).

Ölçümler Minolta C-100 marka renk ölçer cihazının C konumunda $L^*a^*b^*$ uygulamasında yapılmıştır. Değerlendirmede, CIE tarafından 1976 yılında geliştirilen $L^*a^*b^*$ renk koordinatları kullanılmıştır (Şekil 3.23). Renk ölçümleri sırasında ürün renk değişimi de gözlemlenerek kaydedilmiştir. Üründeki renk sapmalarını belirlemek amacıyla Δa^* , Δb^* , ve ΔL^* değerleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.21. $L^*a^*b^*$ renk uzayının şematik görünümü (Soysal, 2000)

$$\Delta L^* = L^* \text{ örnek} - L_0^* \quad (3.9)$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ örnek} - a_0^* \quad (3.10)$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ örnek} - b_0^* \quad (3.11)$$

Defne meyvelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Lloyd marka materyal test cihazı (LRX Plus) 5 000 N'luk bir yük algılayıcısı ile birlikte kullanılmıştır (Şekil 3.24). Meyveler uzun eksen ve yatay eksen olmak üzere iki konumda yüke tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla her örnek iki plaka arasına yerleştirilmiş ve 8 mm/min hızla deforme oluncaya kadar yük altında

bırakılmışlardır. Bozulma anındaki yük ve ezilme değerleri grafik olarak elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kurutma

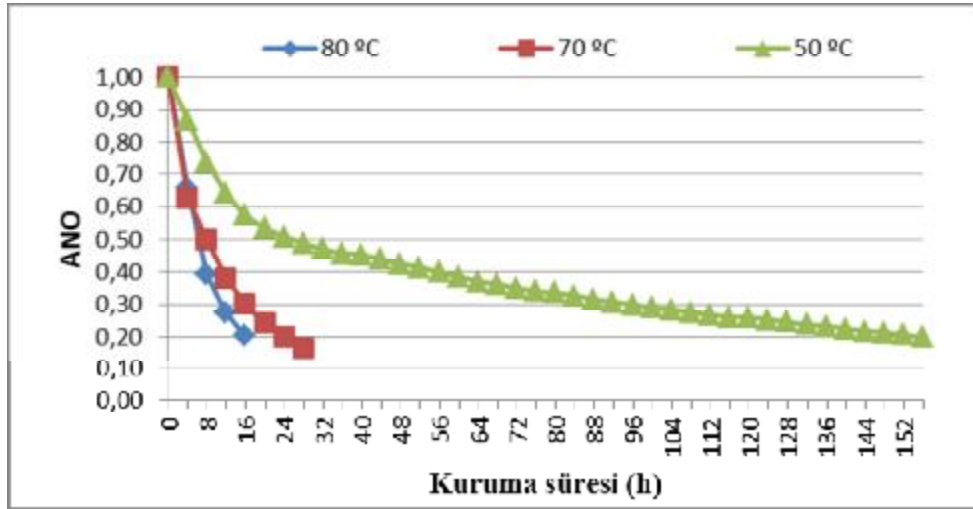
4.1.1. Sıcak Havayla Kurutma

Sıcak hava ile kurutma işlemleri tıbbi ve aromatik bitkiler için uygun sıcaklık değerleri de göz önünde bulundurularak 3 farklı sıcaklık düzeyinde; 50, 70 ve 80 °C’de gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava ile kurutma işlemine ait sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kurutma sıcaklığının 50 °C’den 80 °C’ye çıkarılması durumunda istenilen nem düzeyine 9,75 kat daha az sürede ulaşılmıştır. 70 ila 80 °C sıcaklıklar arasında da yaklaşık 2 kat süre farkı mevcuttur. Bu durumda defne meyvesinin 80 °C sıcaklığın altında kurutulmasının pratik olarak uygun olmadığı kanaatine varılmıştır. Kuruma hızı değerlerine bakıldığında artan ve azalan olmak üzere iki ayrı evre görülmektedir. Bu durum ısı transferinin yüzeyden merkeze doğru hızla azaldığını göstermektedir.

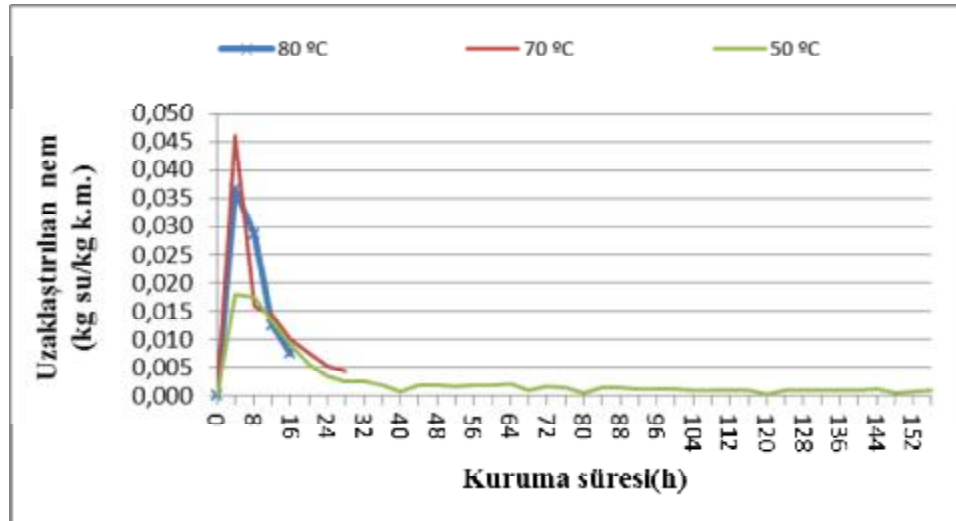
Çizelge 4.1 Sıcak hava ile kurutmaya ilişkin sonuçlar

Hava sıcaklığı (°C)	Ürün giriş nemi (%, y.b.)	Ürün çıkış nemi (%, y.b.)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)	Ürün merkez sıcaklığı (°C)	Kuruma süresi (min)
50	35,08	9,70	47,1	39,1	9 360
70	33,09	7,52	64,8	42,4	1 680
80	30,01	8,01	75,8	55,6	960

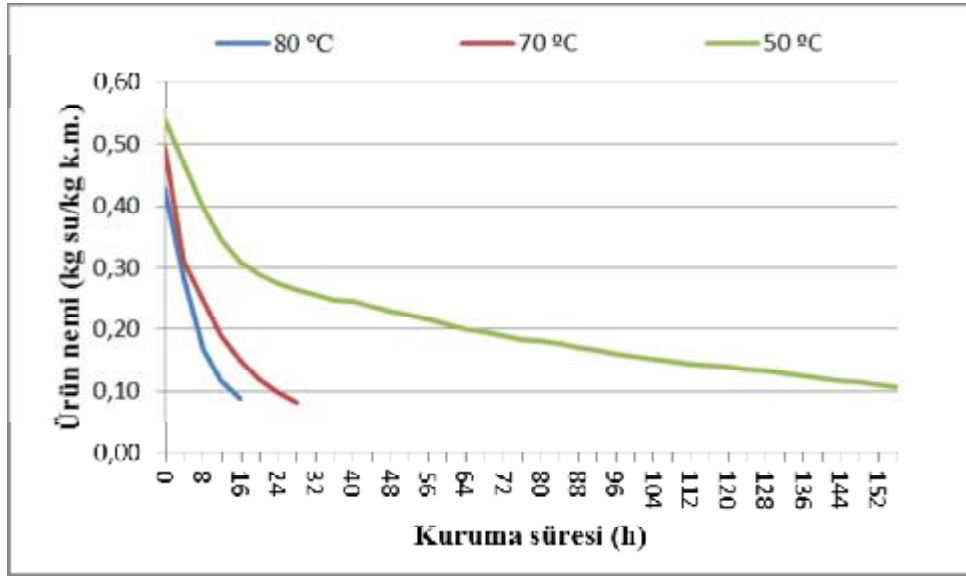
Sıcak hava ile kurutma yapılan denemelere ait ayrılabilir nem oranları (ANO) değerleri ve kuruma hızı ve ürün nemi değerleri Şekil 4.1; 4.2 ve 4.3 ’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı



Şekil 4.2. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri



Şekil 4.3. Sıcak hava ile kurutma denemelerinde ürün nemli

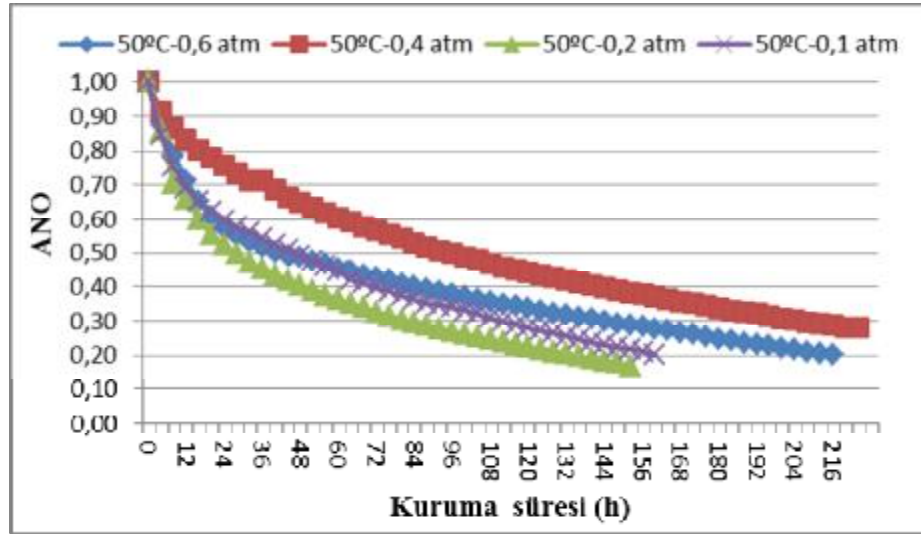
4.1.2. Vakum Kurutma

Vakum kurutma denemelerinde seçilen her sıcaklık düzeyi için 4 farklı vakum düzeyinde çalışılmıştır (Çizelge 4.2). Vakum düzeyleri 0,1; 0,2; 0,4 ve 0,6 atm olarak seçilmiştir. Çizelge 4.2'den görüldüğü üzere kurutma sıcaklığının 50 °C'den 80 °C'e çıkarılması kuruma süresini 9 günden, 12 saate kadar düşürmüştür. Vakum düzeyinin artması aynı sıcaklıklarda genelde olumlu bir etki yaratmıştır. 80 °C için vakum düzeyi 0,6 atm'den 0,1 atm'e düşürülmesi ile kuruma süresi 1 440 dakikadan 720 dakikaya azalmıştır. Benzer sonuçlar Pinedo ve Murr'un (2009) ön işlem uygulanmış havucun vakum koşullarında sıcak hava ile kurutulması araştırmasında da tespit edilmiştir. Bu çalışmada 60 °C'de, 5 kPa ve 25 kPa vakum düzeylerinde gerçekleşen denemelerde kuruma süreleri sırasıyla 2,5 ve 5,2 saat olarak bildirilmiştir. Vakumla kurutma denemelerinde elde edilen ayrılabilir nem oranları ve kuruma hızı ürün nemine ilişkin grafikler sırayla Şekil 4.4 ile Şekil 4.12 arasında 50, 70 ve 80 °C'de yapılan denemelere bağlı olarak verilmiştir. Vakum kurutma yönteminde grafikler incelendiğinde görülmektedir ki, aynı ayrılabilir nem oranlarına aynı sıcaklıktaki 0,4 ve 0,6 atm vakum altında daha uzun sürelerde ulaşılmıştır. Kuruma hızının en yüksek olduğu seçeneğinin ise aynı sıcaklıktaki 0,1 atm uygulaması olduğu görülmektedir. Sıcak hava ile kurutma işlemlerine göre

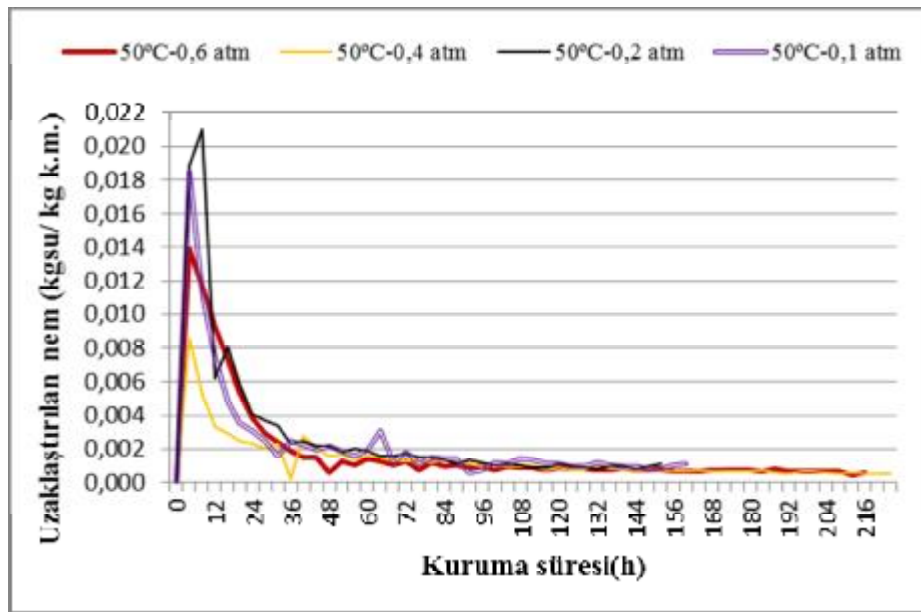
kuruma hızındaki artış 80 °C’de 0,1 atm vakum altında aynı sıcaklıktaki atmosferik koşullarda yapılan kurutmaya göre % 33 oranında artmıştır.

Çizelge 4.2 Vakum kurutmaya ilişkin sonuçlar

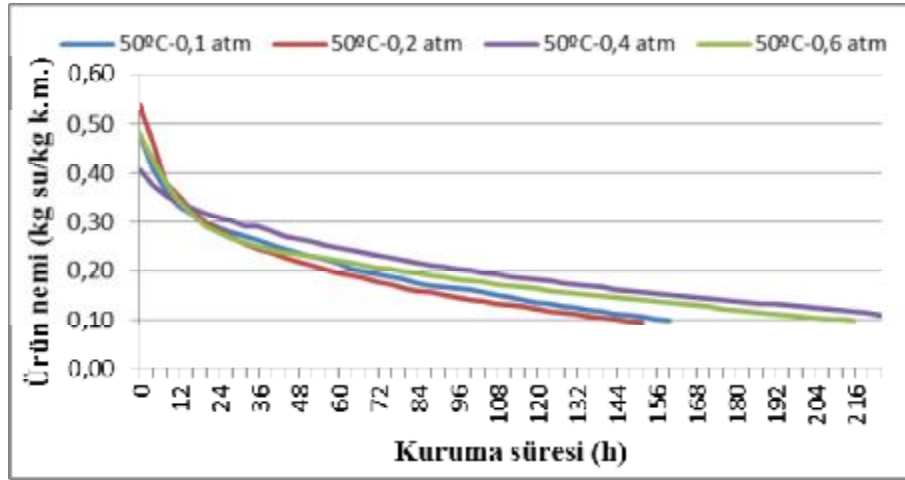
Hava sıcaklığı (°C)	Vakum düzeyi (Atm)	Ürün giriş nemi (%, y.b.)	Ürün çıkış nemi (%, y.b.)	Kuruma zamanı (min)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)	Ürün iç sıcaklığı (°C)
50	0,6	32,58	8,92	12 960	45,6	39,2
	0,4	29,02	9,86	13 440	46,2	37,8
	0,2	35,08	8,41	9 120	47,1	39,1
	0,1	32,58	8,61	9 600	46,3	40,6
70	0,6	30,01	7,10	1 920	64,7	51,9
	0,4	30,01	7,78	1 920	64,1	51,8
	0,2	32,79	9,70	2 640	64,3	54,1
	0,1	32,79	6,92	1 920	66,0	48,9
80	0,6	29,52	8,32	1 440	77,4	54,3
	0,4	29,52	7,43	1 200	76,5	50,4
	0,2	29,52	8,27	960	75,4	52,9
	0,1	30,01	8,75	720	73,8	54,1



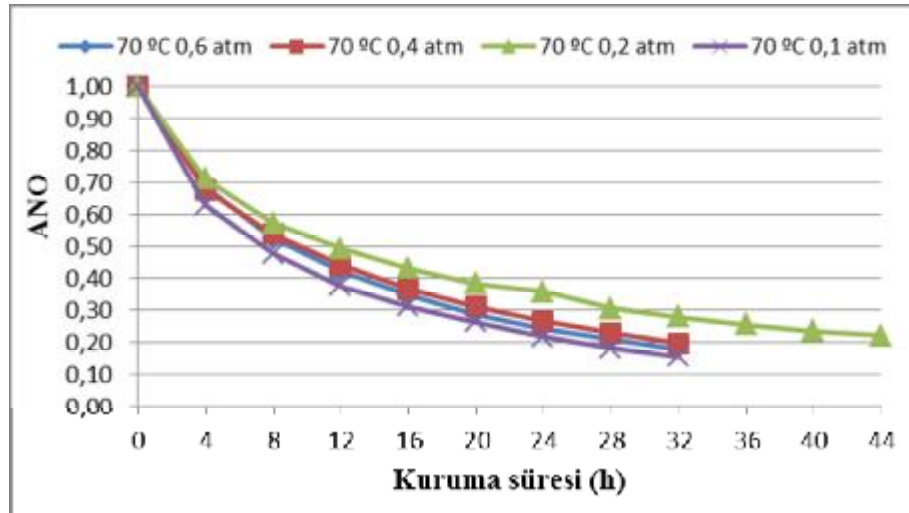
Şekil 4.4. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı



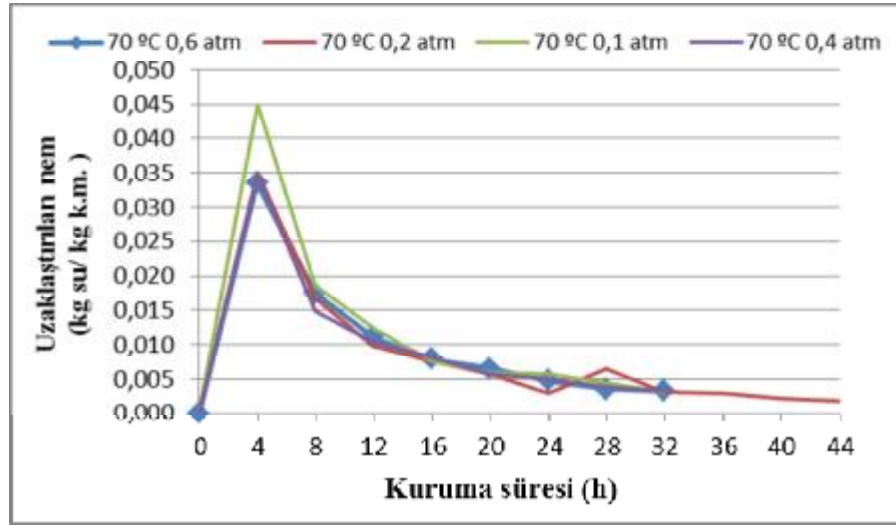
Şekil 4.5. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri



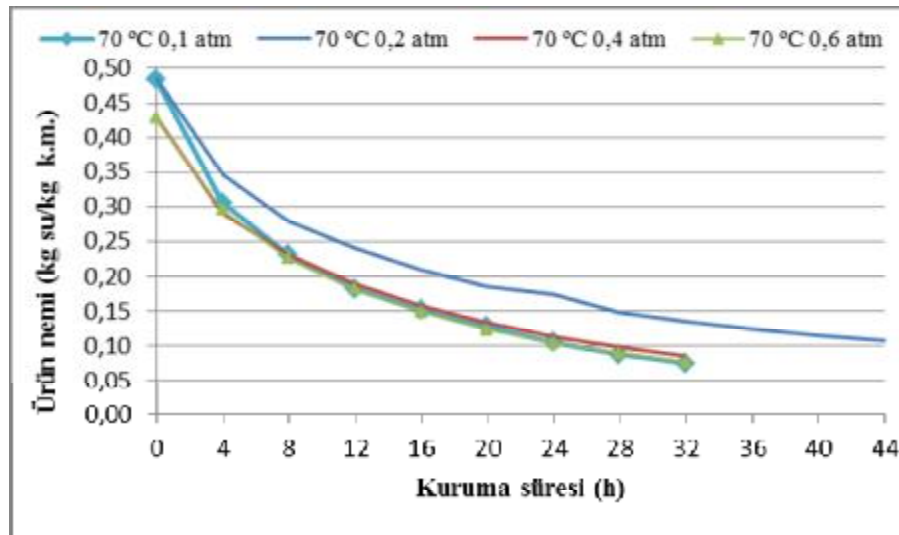
Şekil 4.6. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi



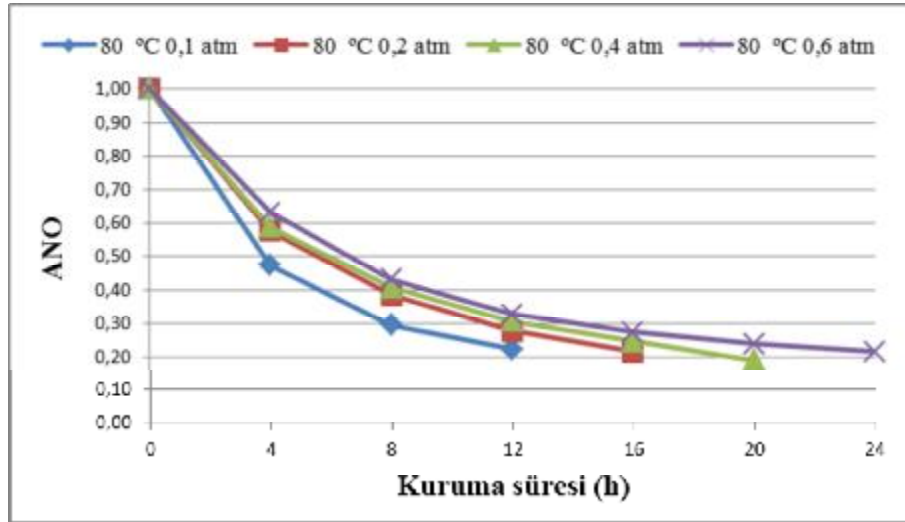
Şekil 4.7. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı değerleri



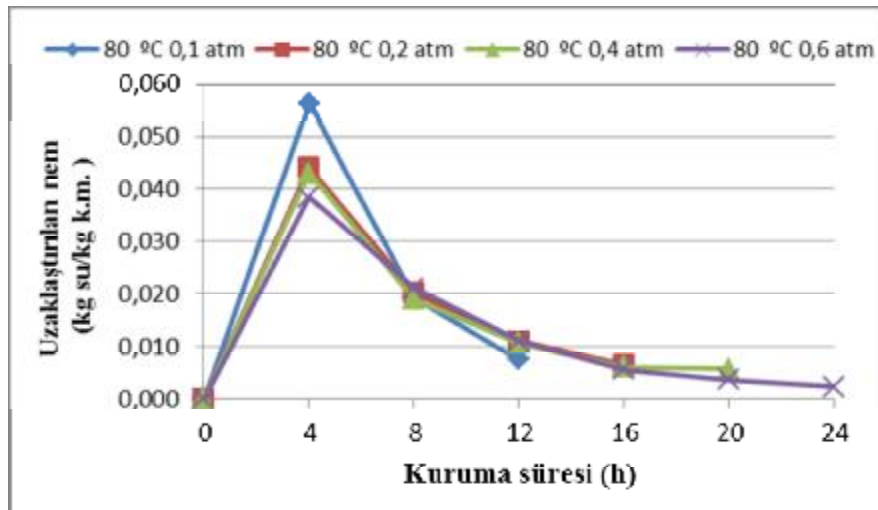
Şekil 4.8. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri



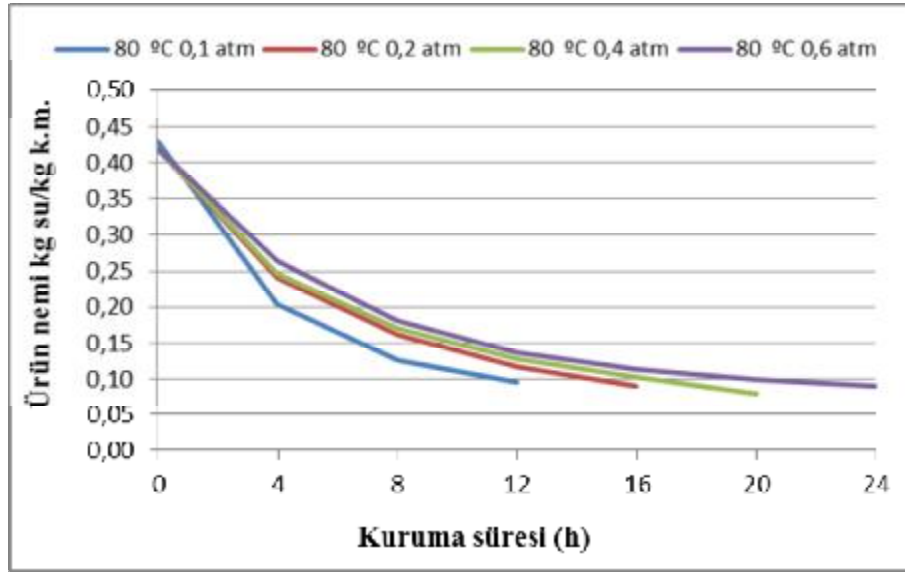
Şekil 4.9. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi



Şekil 4.10. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ayrılabilir nem oranı değerleri



Şekil 4.11. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde kuruma hızı değerleri



Şekil 4.12. Vakumlu konvektif kurutma denemelerinde ürün nemi

4.1.3. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga bantlı kurutucuda yapılan denemelerde her mikrodalga üreticinin sahip olduğu soğutma fanının tünel içindeki nemli havanın dışarı atılmasına yeterli olabileceği düşünülmüştür. Bu kapsamda ilk deneme serisinde ürünlerdeki nemin tamamının bantlı mikrodalga kurutucuda alınması yöntemi uygulanmıştır (Çizelge 4.3).

İkinci deneme serisinde % 30,66 (y.b.) olan ürün başlangıç nemi etüvde yapılan ön kurutma ile % 20 seviyesine indirilmiş ve son kurutma bantlı mikrodalga kurutucuda gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4).

Araştırma sonuçlarına göre önce konvektif sıcak hava ile % 20 neme kadar ön kurutması yapılan ürünün kalan nemi 0,8 kW mikrodalga gücü ve 10,4 m/s band hızında, 8 dakika kurutma süresi sonunda % 9,89' a kadar azaltılmıştır. Buna karşın, 0,4 kW ve 0,6 kW mikrodalga güç seviyesinde; 10,4, 11,9 ve 12,8 mm/s band hızlarında soğuk sıkım için gerekli olan % 10 nem düzeyinin altına inilememiştir. Ürünlerin % 45 ila % 35 başlangıç neminden % 20 nem içeriğine sadece mikrodalga enerji ile kurutulması; 0,4; 0,6 ve 0,8 kW güç seviyelerinde ve 8,1, 6,8 ve 6,2 band hızlarında sırasıyla 10,15; 12,15 ve 13,15 dakikalık kurutma sürelerinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında % 45-35 arasındaki ürünlerin % 20

neme ulaşınca kadar geçen süreler, % 20 nemden, % 10 ve altında bir değere ulaşmak için gereken sürelerden daha uzun olmuştur. Bu sonuçlar mikrodalga enerjinin önce mi, yoksa daha sonra mı uygulanması gerektiğine ışık tutabilir. Sıcak hava ile % 20 neme düzeyine kadar kurutulan ürünlerin kalan neminin mikrodalga enerji ile alınması, istenen sonuç nemine en kısa sürede ulaşmak için daha uygun bir yöntem olarak görünmektedir.

Çizelge 4.3. Bantlı mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma denemeleri

Kurutma yöntemi	Mikrodalga güç kademesi (kW)	Bant hızı (mm/s)	Ürün girişi nemi (%)	Ürün çıkışı nemi (%)	Kurutma süresi (min)	Tünel içi bağıl nem (%)	Dış ortam sıcaklığı °C/ bağıl nemi (%)	Ürün merkez sıcaklığı (°C)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)
Mikrodalga kurutma	0,4	6,2	37,65	17,02	13,15	79,4	19,1 / 57,6	81,1	84,0
		6,8	45,58	17,70	12,15	85,7	17,7 / 70,6	75,1	86,4
		8,1	45,56	20,34	10,15	84,6	19,3 / 59,3	81,6	84,3
		6,2	35,16	18,22	13,15	82,4	19,5 / 53,1	98,3	136,8
	0,6	6,8	45,36	17,31	12,15	76,5	18,1 / 61,1	95,4	97,6
		8,1	45,36	23,31	10,15	76,5	18,1 / 63,6	89,6	106,5
		6,2	35,66	16,73	13,15	61,1	18,4 / 35,0	100,9	184,7
		6,8	35,79	20,08	12,15	76,6	18,4 / 35,0	98,1	122,8
	0,8	8,1	35,79	20,20	10,15	78,2	20,8 / 51,3	91,3	118,8

Çizelge 4.4. Sıcak hava ile ön kurutma ve bantlı mikrodalga kurutucuda yapılan nihai kurutma denemeleri *

Kurutma yöntemi	Mikrodalga gücü (kW)	Bant hızı (mm/s)	Ürün girişi (%)	Ürün çıkışı (%)	Kuruma zamanı (min)	Tünel içi bağıl nem (%)	Dış ortam sıcaklığı °C / bağıl nem (%)	Ürün merkez sıcaklığı (°C)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)
Sıcak hava ile ön kurutma	0,4	10,4	20,09	15,64	8,0	91,4	13,6 / 84,5	83,8	110,1
		11,9	20,09	15,25	7,0	90,6	14,8 / 78,6	84,2	106,8
		12,8	20,09	16,07	6,5	91,3	12,7 / 79,2	77,1	111,4
Bantlı mikrodalga kurutucu ile son kurutma	0,6	10,4	20,09	9,89	8,0	84,6	12,7 / 68,1	84,9	118,6
		11,9	20,09	13,87	7,0	86,6	12,4 / 75,5	93,0	118,1
		12,8	20,09	14,48	6,5	84,1	13,2 / 74,0	89,4	123,8
		10,4	20,09	9,20	8,0	73,7	16,9 / 43,4	95,9	135,9
	0,8	11,9	20,09	13,17	7,0	74,9	20,5 / 46,1	91,8	136,5
		12,8	19,94	10,72	6,5	60,0	20,0 / 46,1	84,1	124,4

* Kurutma tünelindeki nemli havanın uzaklaştırılmasında sadece mikrodalga üreteçlerinin soğutma fanlarından yararlanılmıştır.

Çizelge 4.3 ve 4.4’de belirtilen her iki deneme serisinde de ürün yüzey ve merkez sıcaklıklarında artışlar tespit edilmiştir. Örneğin ön kurutmanın sıcak hava ile yapıldığı, kalan nemin mikrodalga bantlı kurutucuda uzaklaştırıldığı denemede (Çizelge 4.3) ürün yüzey sıcaklığı 136,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer Çizelge 4.4’de verilen deneme koşullarında (salt bantlı mikrodalga kurutucunun kullanıldığı yöntemde) 184,7 °C’ye kadar yükselmiştir. Yine sadece mikrodalga kurutma yönteminin uygulandığı denemelerde vidalı presle sıkım işlemi için gerekli olan % 10 nemin altına düşülememiştir. O halde; bantlı mikrodalga kurutucuda tünel içinde oluşan nemli havanın dışarı atılmasında ve materyalin soğutulmasında mikrodalga üretici soğutma fanları muhtemelen yeterli olmamıştır. Nitekim denemenin ilerleyen evrelerinde materyalin morfolojik yapısı ve mikrodalga enerjinin yapısından kaynaklanan düzensiz ısıtım ve yansımalar nedeniyle yukarda vurgulanan sıcaklık artışları tespit edilmiştir. Mikrodalga enerjinin üründe yoğunlaşmasından meydana gelen bu gibi sıcaklık artışlarının üründeki yağın kalitesine olumsuz etki yapması istenmez. Bu bulgu özellikle işletme ölçeğinde mikrodalga enerji ile çalıştırılan kurutucuların tasarım ve imalatında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır.

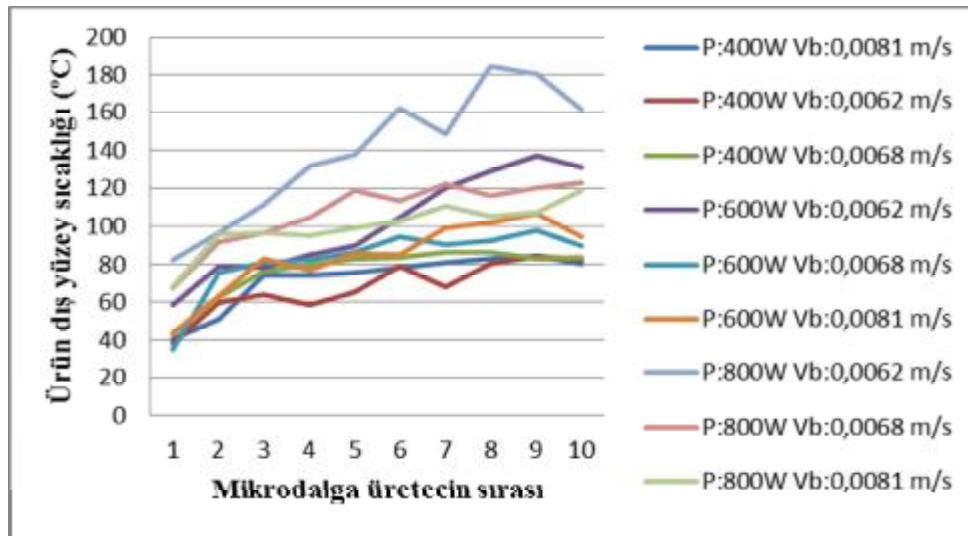
Bantlı kurutucunun giriş (dış ortam havasını emerek tünele basan) ve çıkış ağızlarına (tünel içindeki doymuş havayı dışarı atan) iki adet fan yerleştirildikten sonra yapılan deneme sonuçları Çizelge 4,5’de verilmiştir. Bu denemede herhangi bir ön kurutma yapılmamış olup, ürün neminin tamamı bantlı mikrodalga kurutucuda uzaklaştırılmıştır.

Çizelge 4.5. Bantlı mikrodalga kurutucuda tünel giriş ve çıkışı fanlı halde yapılan kurutma denemeleri*

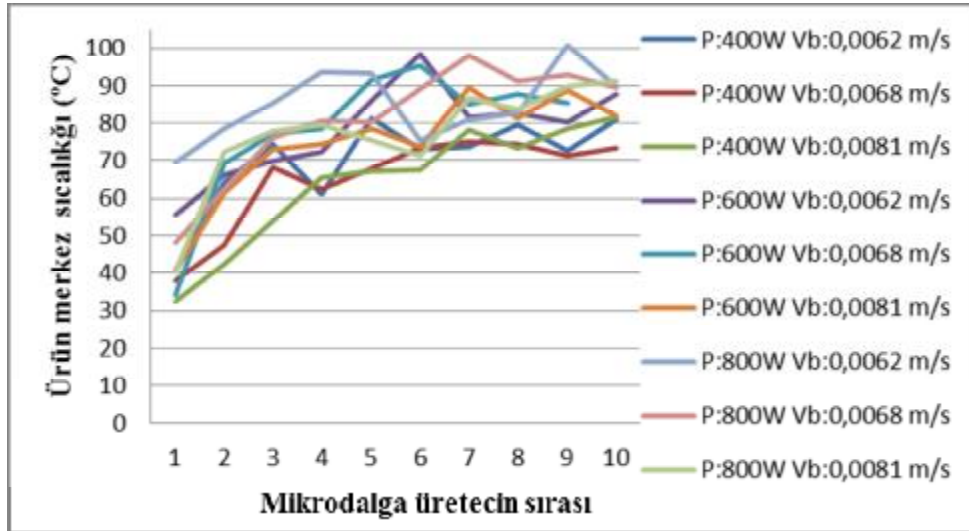
Kurutma yöntemi	Hava hızı (m/s)	Mikrodalga gücü (W)	Mikrodalga giriş hızı (mm/s)	Ürün girişi nemi (%)	Ürün çıkışı nemi (%)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)	Ürün merkez sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (min)	Fırın içi bağıl nem (%)	Dış ortam sıcaklığı C° /bağıl nemi (%)
Mikrodalga kurutma	2,30	400 : 6,2	400 : 6,8	31,80	14,36	111,8	88,8	13,15	61,5	18,4/55,9
				31,80	16,01	106,4	78,9	12,15	71,6	21,0/48,6
				31,80	21,36	106,1	91,6	10,15	50,3	23,4/39,6
				30,82	17,28	181,1	91,3	13,15	74,0	14,0/62,2
	1,15	400 : 6,8	400 : 6,8	30,82	21,86	147,4	87,1	12,15	68,3	15,3/ 64,0
				30,82	26,00	140,7	91,4	10,15	76,3	15,2/64,3
				31,80	13,87	114,6	89,4	13,15	37,7	17,9/37,7
				31,80	18,70	116,8	85,4	12,15	36,6	17,9/31,0
	2,30	600 : 6,8	600 : 8,1	31,80	18,90	118,3	90,9	10,15	21,1	21,0/31,2
				30,82	16,06	159,9	83,3	13,15	72,4	13,6/62,9
Mikrodalga kurutma	1,15	600 : 6,8	600 : 8,1	30,82	14,02	157,5	85,6	12,15	83,6	16,7/57,5
				30,82	18,50	142,8	92,9	10,15	82,7	15,4/64,7
				30,82	7,22	193,3	96,2	13,15	74,3	16,4/55,7
				30,82	7,63	155,9	103,2	12,15	56,9	17,1/45,5
	2,30	800 : 6,8	800 : 8,1	30,82	14,64	158,3	91,8	10,15	46,7	16,3/39,4
				30,82	10,65	194,4	178,0	13,15	82,2	14,3/65,6
				30,82	10,80	255,0	125,7	12,15	87,7	16,4/59,1
				30,82	17,02	157,8	87,1	10,15	84,1	15,6/63,3

* Kurutma tüneli giriş ve çıkışlarına iki adet fan monte edilmiştir. Tünel içinde kurutma sırasında oluşan nemli hava dış ortama atılmıştır.

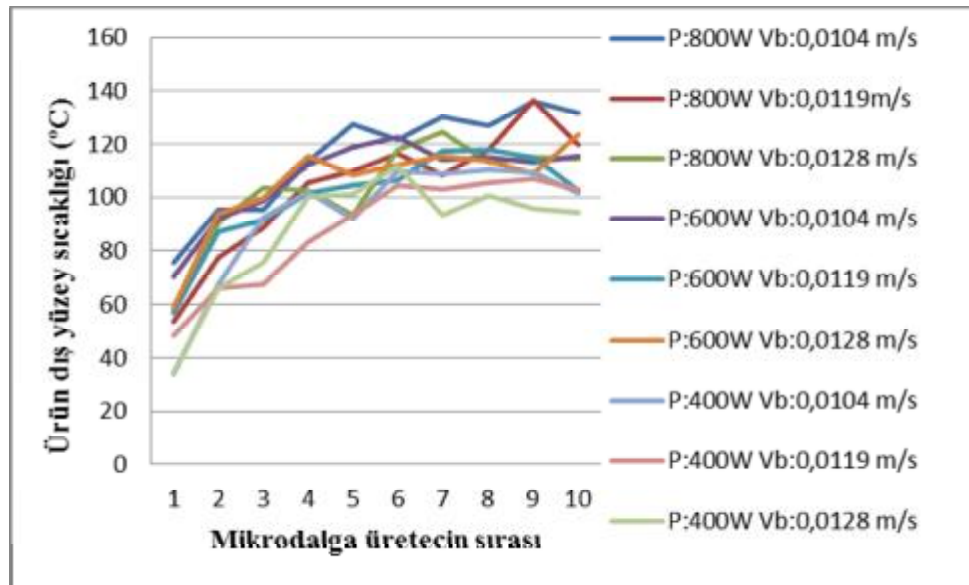
Çizelge 4.5 incelendiğinde hava hızının 1,15 m/s olduğu denemelerde ürün yüzey ve merkez sıcaklıklarının yüksek olmasına rağmen nem düzeyinin % 7-9 aralığına gelmediği görülmüştür. Hava hızı 2,30 m/s seçildiğinde istenilen son neme ulaşılmış, ürün yüzey sıcaklıkları da diğer denemeden daha düşük düzeyde seyretmiştir. Bu durum tünel içerisindeki nemin etkin bir şekilde dışarı atılması ürünün kurummasına katkı sağlarken aynı zamanda mikrodalga enerjinin fırın iç yüzeylerinde tutulmasını azaltmıştır. Bu sayede ürün yüzeyine gelen enerji artmış ve kuruma hızlanmıştır. Mikrodalga kurutma yönteminde ürün yüzey sıcaklıkları ile ürün merkez sıcaklıklarına ait değişimler Şekil 4.13 ile 4.20 arasında verilmiştir. Şekillerde yatay eksen sıcaklık ölçümü yapılan mikrodalga üreticinin kurutma tüneli başından itibaren konumunu (kaçıncı sırada olduğunu) belirtmektedir. Söz gelimi; yatay eksendeki 1 numara kurutma tüneli başındaki birinci mikrodalga üretici, 10 numara sonuncu mikrodalga üretici vb. göstermektedir.



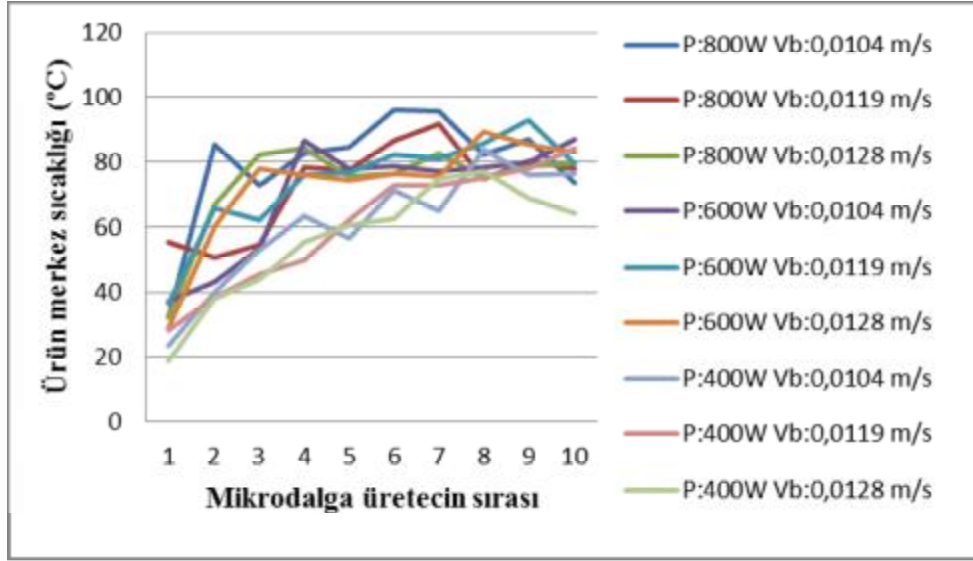
Şekil 4.13. Mikrodalga kurutma yönteminde ürün yüzey sıcaklıkları



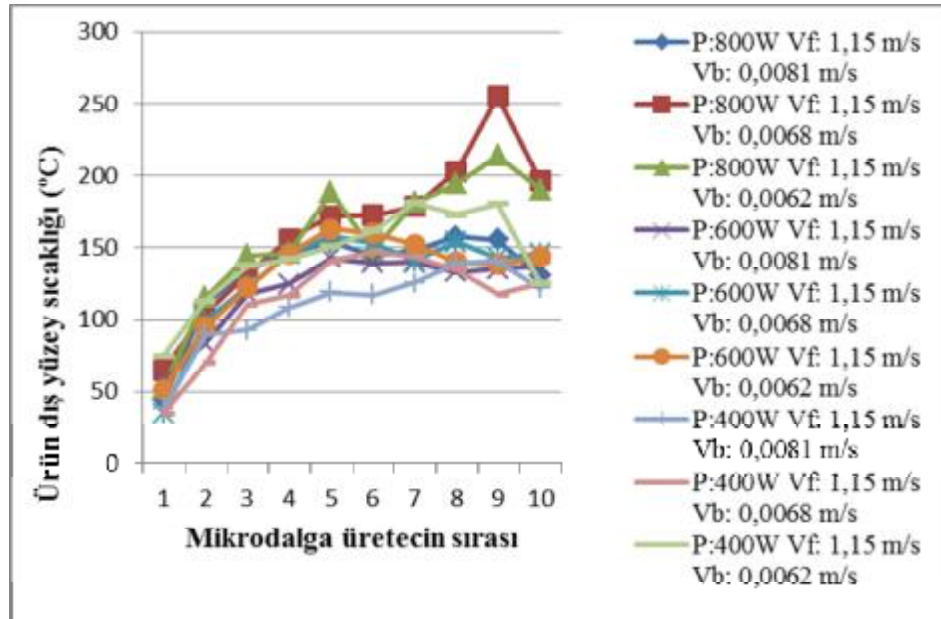
Şekil 4.14. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları



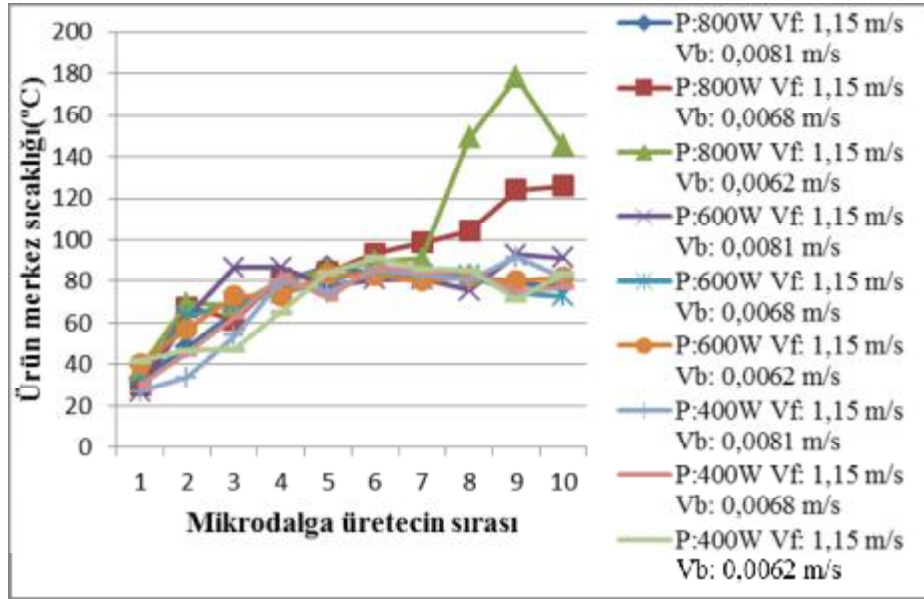
Şekil 4.15. Sıcak hava ile ön kurutma ve mikrodalga enerji ile son kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları



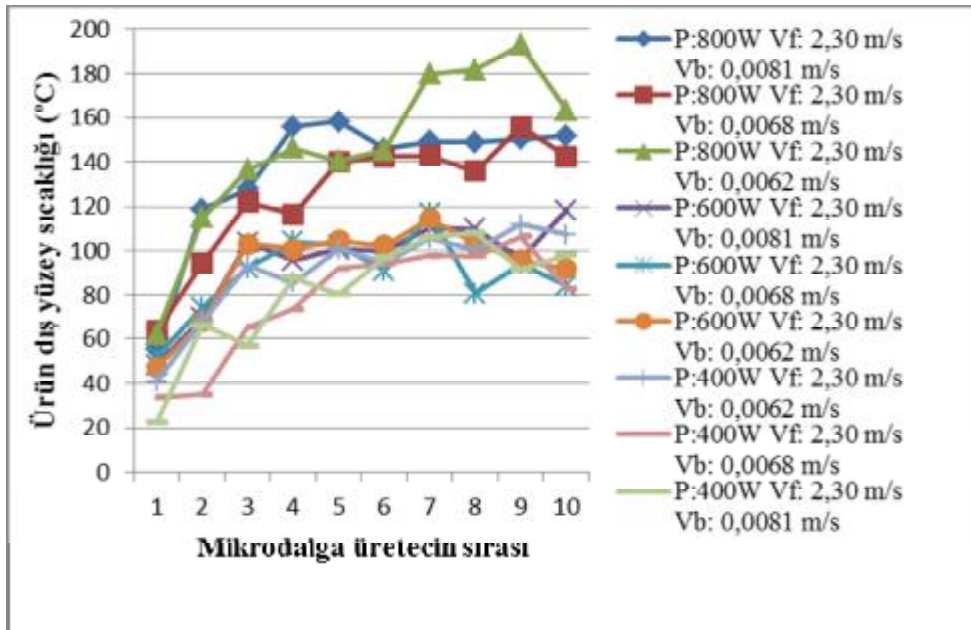
Şekil 4.16. Sıcak hava ile ön kurutma ve mikrodalga enerji ile son kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları



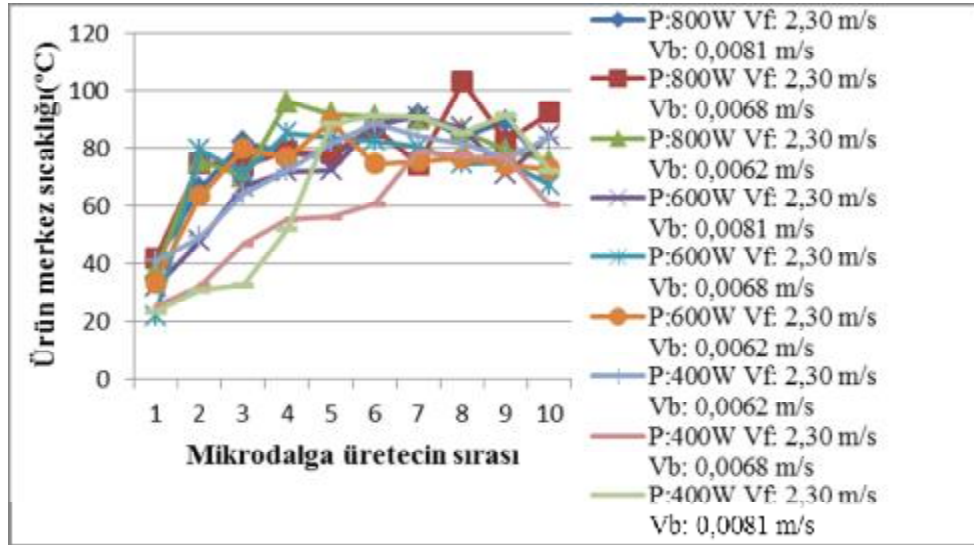
Şekil 4.17. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 1,15 m/s)



Şekil 4.18. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 1,15 m/s)



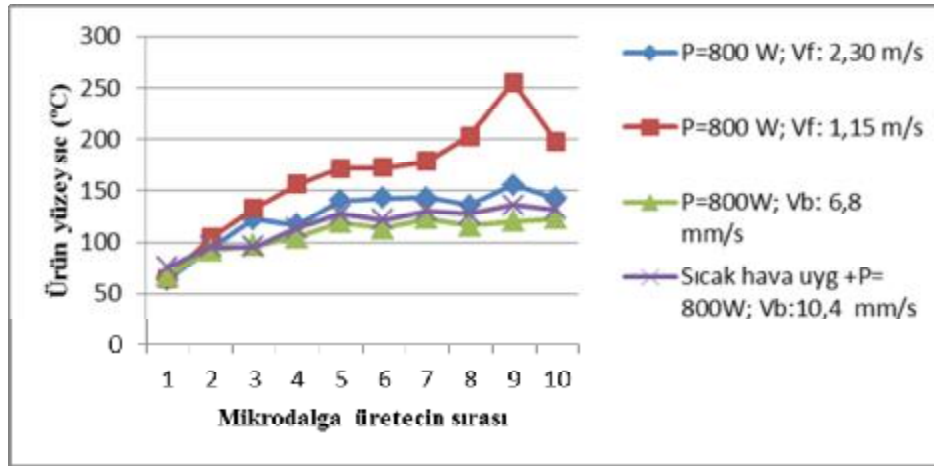
Şekil 4.19. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün yüzey sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 2,30 m/s)



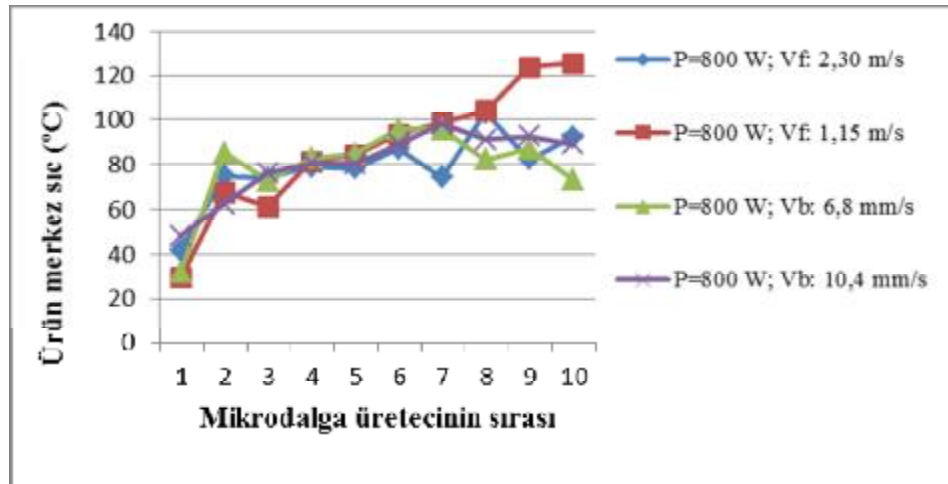
Şekil 4.20. Mikrodalga kurutma denemelerinde ürün merkez sıcaklıkları (tünel içinde hava hızı 2,30 m/s)

Çizelge 4.5'deki veriler değerlendirildiğinde mikrodalga güç seviyesi 800 W, bant hızı 6,8 mm/s ve tünel içindeki hava hızı 2,30 m/s olarak seçildiğinde yapılan mikrodalga uygulaması defne meyvesini yağının çıkarılması için gerekli olan % 7-9 nem aralığına getiren uygun bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Mikrodalga güç seviyesi ve bant hızı aynı kaldığında hava hızının 1,15 m/s olarak seçilmesi durumunda ürün nemi % 10'un hemen üzerinde seyretmiştir. Bu ürünlerin bir iki gün beton zemine serilerek dinlendirilmesi halinde ürün neminin % 10'nun da altına çekilmesi mümkün olabilir. Ancak ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıkları 1,15 m/s hava hızı uygulamalarında daha yüksek olması nedeniyle yağın kalitesi üzerine olumsuz etkisi olabilir. Genel prensip olarak kurutmada yüksek sıcaklıklardan kaçınmakta yarar olduğu bilinmektedir. Şekil 4.17 ve 4.19 incelendiğinde hava akış hızının artması ürün yüzey sıcaklıkları 250 °C'den 186 °C' e kadar düşürmüştür. Ürün merkez sıcaklıkları da buna paralel olarak 178 °C'den 104 °C'ye kadar düşmüştür(Şekil 4.18, 4.20). Ürün yüzey ve dış sıcaklıkları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.21 ve 4.22'de verilmiştir. Bu bulgunun kuramsal temeli şöyle açıklanabilir. Kurutma tüneline fanlar çalıştırılarak sağlanan konveksiyon akımı aynı zamanda üründen uzaklaştırılan nemi tünel iç duvarlarına tutunarak, mikrodalga enerjiyi gereksiz yere emmesini engellemektedir. Yapılan araştırmalarda tünel içindeki havanın hareketsiz olması durumunda üründen uzaklaştırılan nem tünel duvarlarında

birikmekte/tutulmakta ve bu kütle aynı zamanda mikrodalga enerjinin de gereksiz yere burada tüketilmesine neden olmaktadır (Marialuci, 2005). Kurutma tünelinin sonunda 10. mikrodalga üreticinin altında ürün yüzey sıcaklıklarında meydana gelen azalmalar tünelin çıkış ağzında bulunan hava emiş fanından kaynaklanmaktadır. 10. mikrodalga üreticinin altında ölçülen hava hızı tünel ortalama hava hızından daha yüksek olduğu için buradaki ürünün daha hızlı bir şekilde soğutulmasına yardımcı olmakta ve ürün sıcaklıkları belirgin bir şekilde düşmektedir. O halde; işletme ölçeğinde tasarlanacak bir bantlı mikrodalga kurutucuda tünel uzunluğu boyunca nemli havanın fanlarla dışarı atılmasına özen gösterilmesi önerilir.



Şekil 4.21. 800 W mikrodalga güç seviyesindeki denemelerde tünel içindeki hava hızının ürün yüzey sıcaklığına etkisi



Şekil 4.22. 800 W mikrodalga güç seviyesindeki denemelerde tünel içindeki hava hızının ürün merkez sıcaklığına etkisi

Bantlı mikrodalga kurutucularda mikrodalga üreticinin kurutucu tüneli içindeki yerleşim yeri ile ürünün fırın içerisindeki konumu doğal olarak ürün yüzeyine olan mikrodalga akışını doğrudan etkiler. Dolayısıyla daha iyi tasarlanmış ve hava akış hızı optimize edilmiş bir mikrodalga kurutucuda kurutulacak ürünlerin yüzey ve merkez sıcaklıklarını daha düşük seviyelerde tutmanın mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda mikrodalga enerji ile kurutulan ürünlerden elde edilen yağların kalitesini geliştirmek mümkündür. Örneğin kurutucu bant uzunluğunu artırarak, uygulanan mikrodalga enerjisi miktarını azaltmak ve bu yolla daha düşük sıcaklıklarda kurutma yapmak mümkündür. Bu yorumların ışığında vurgulanması gereken önemli bir noktada hangi enerji seçilirse seçilsin, kurutucuların kurutulan ürüne özel olarak tasarlanması zorunluluğudur. Herhangi bir mikrodalga kurutucu ile ya da sıcak havalı bantlı bir kurutucu ile defne meyvesini kurutmak mümkün olmakla birlikte en az kurutma maliyeti ve en iyi ürün kalite parametrelerine ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu nedenle kurutucu tasarımının ürün bazında ele alınması gerekliliği vardır. Uygulamada ülkemizdeki imalatçılar kendilerine götürülen her hangi bir ürünün kuruma davranışını genellikle model bir kurutucu üzerinde test ederler. Oysa bu yolla ürünün kuruduğunu görmek tek başına yeterli bir kanaat oluşturmaz. Söz gelimi gerçek boyutlardaki kurutucularda kurutma beklendiği ölçüde hızlı olmayabilir veya daha kötüsü birim ürünün kurutma maliyetleri, ürünün ham madde maliyetini bile aşabilir. Uygulamada sık karşılaşılan bu sorunlar bir yandan uzun süreli hukuksal sorunlara neden olurken, diğer yandan kişisel ve ulusal sermayenin kullanılmadan bir köşede atıl durumda heba olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yatırımcı kişi ve kuruluşların ticari beklentisi olmayan araştırma kurumlarından destek alması son derece gereklidir.

Denemelerde ayarlanan mikrodalga çıkış gücünün ürün üzerine gelen değerle aynı olup olmadığını belirleyen saf su testi sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir. Bu değerlere göre 400 ve 800 W ayarlanan değerlerin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Lakin 600 W seçeneğinde gerçekleşen çıkış gücü değerinin ayarlanan değerden % 13 oranında bir sapma gösterdiği gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.6. Saf su testi ile mikrodalga çıkış gücü hesaplanması

Nominal güç (W)	Hesaplanan güç (W)
400	396±12
600	520±8
800	790±13

4.1.4. İşletme Ölçeğinde Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma

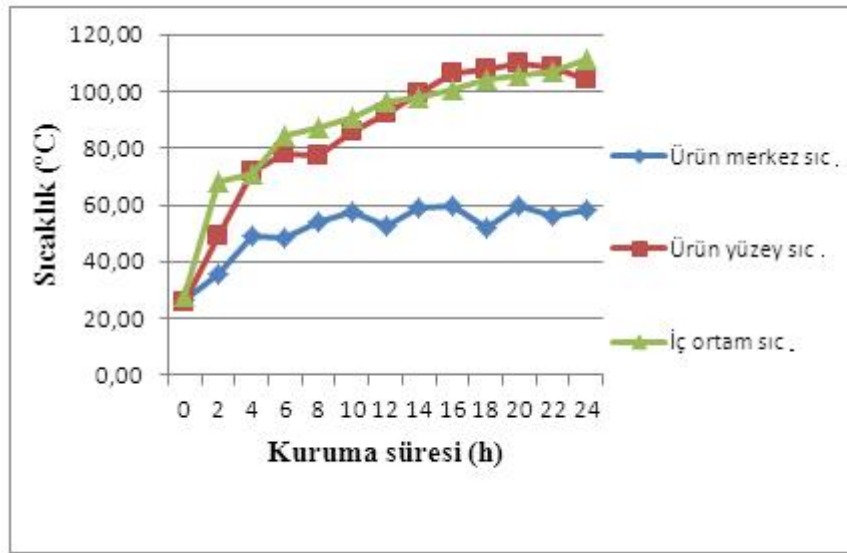
Kurutma odasına ait kuruma parametreleri Çizelge 4.7’ de verilmiştir. Kurutma odasında bulunan kızılötesi ısıtıcılar çalıştırıldıktan 6 saat sonra iç ortam sıcaklığı 80 °C düzeyine ulaşmaktadır. İç ortam sıcaklığı kuruma süresinin sonuna dek 120 °C’nin altında seyretmiştir. Ürün yüzey sıcaklığının ise iç ortam sıcaklığına paralel olarak seyrettiği tespit edilmiştir. Tam sirkülasyon uygulamasında dış ve iç ortam bağıl nem düzeyleri % 50’nin altında olmasına karşın uzun bir kuruma evresi olmuştur. Bunun nedeni kurutma odası içerisinde ısınan havanın yukarı çıkması nedeniyle alt raflarda bulunan ürünlerin daha geç kuruması olabilir. Bu sorun kurutma odası içinde, raflar arasında hava hareketini sağlayacak ayrı bir aksiyal fan ile çözülebilir.

Çizelge 4.7. İşletme ölçeğinde yapılan kurutma denemesi sonuçları

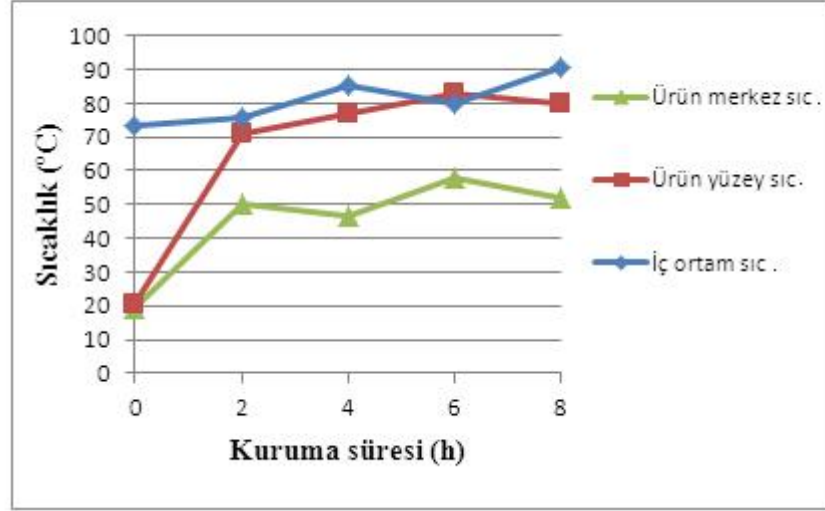
Kurutma modu	Ürün giriş nemi (%, y.b.)	Ürün çıkış nemi (%, y.b.)	Ürün yüzey sıcaklığı (°C)	Ürün merkez sıcaklığı (°C)	Kuruma zamanı (min)
Tam sirkülasyon	36,03	9,90	109,6	59,7	1 140
Yarı sirkülasyon	36,03	6,83	123,0	69,8	960
Tam sirkülasyon	20,28	6,43	83,0	58,1	480
Yarı sirkülasyon	20,28	5,85	113,0	68,1	480

Elde edilen deneyimlere göre ısınmanın sağlandığı ilk 4 saat boyunca hava sirkülasyonuna gerek olmadığı söylenebilir. Çünkü iç ortam bağıl nemi % 60'ın altında olduğu için fanın çalışması nedeniyle gereksiz bir enerji tüketimi olacaktır.

Tam sirkülasyon uygulamasında iki farklı ürün neminde kurutma odası sıcaklığı ve ürün sıcaklıkları Şekil 4.23 ile Şekil 4.24'de verilmiştir. Burada beklendiği üzere ürün yüzey sıcaklıkları kurutma ortamı hava sıcaklığı ile paralel seyretmiştir. Yüksek ürün neminde ürün merkez sıcaklıkları ise, ürün yüzey sıcaklığından yaklaşık 40 °C civarında daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir (Şekil 4.22). Düşük ürün neminde ise ürün yüzey ve merkez sıcaklıkları arasındaki fark yaklaşık 30 °C civarında gerçekleşmiştir (Şekil 4.23).

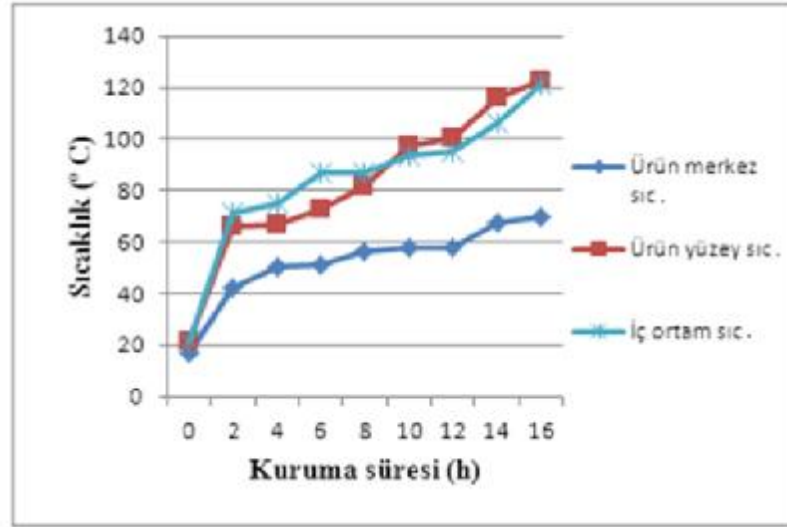


Şekil 4.23. Tam sirkülasyon konumunda % 36,03 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları

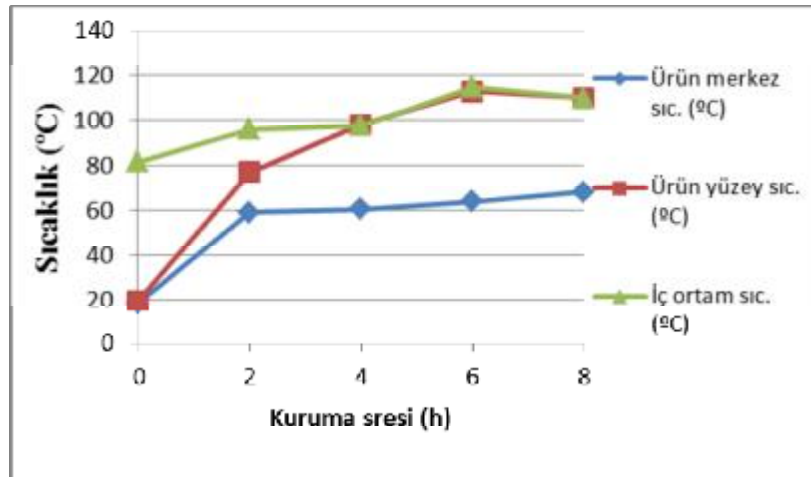


Şekil 4.24. Tam sirkülasyon konumunda % 20,28 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları

Yarı sirkülasyon uygulamasında yine iki farklı ürün neminde kurutma odası sıcaklığı ve ürün sıcaklıkları Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da verilmiştir. Burada da yine ürün yüzey sıcaklıkları kurutma ortamı hava sıcaklığı ile paralel seyretmiştir. Yüksek ürün neminde ürün merkez sıcaklıkları ise, ürün yüzey sıcaklığından yaklaşık 50 °C civarında daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir (Şekil 4.24). Düşük ürün neminde ise ürün yüzey ve merkez sıcaklıkları arasındaki fark yaklaşık 40 °C civarında gerçekleşmiştir (Şekil 4.25).

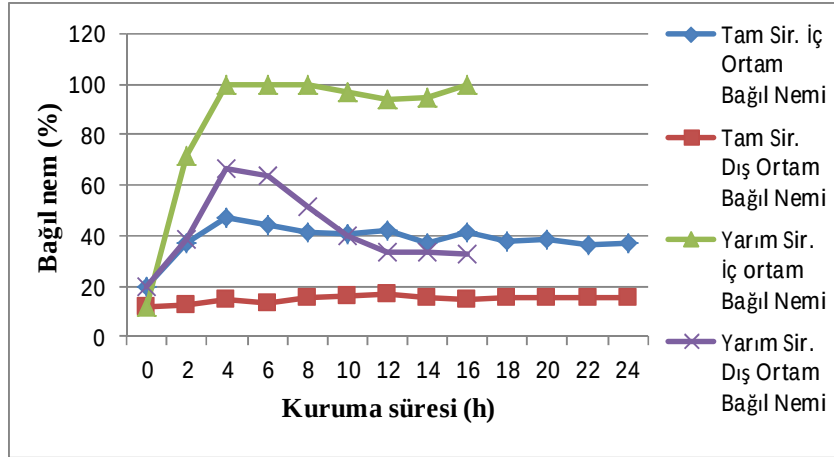


Şekil 4.25. Yarı sirkülasyon konumunda % 36,03 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları

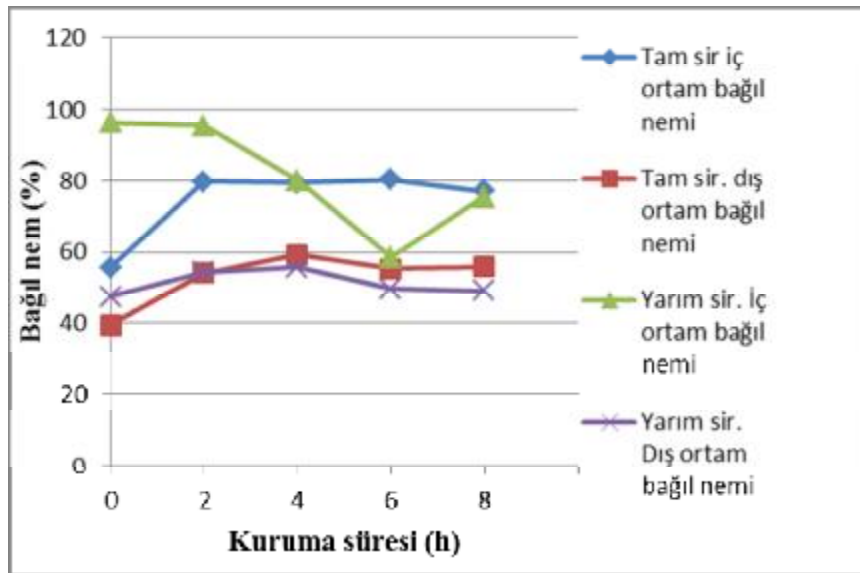


Şekil 4.26. Yarı sirkülasyon konumunda % 20,28 (y.b.) ürün neminde kurutma odası ve ürün sıcaklıkları

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de iki farklı ürün neminde tam ve yarı sirkülasyon uygulamasında yapılan kurutma denemelerine ilişkin iç ortam bağıl nemi değerleri verilmiştir. Burada tam dolaşım uygulamasında iç ortam bağıl nem değerleri % 50 civarında iken, yarı dolaşım uygulamasında % 100’e ulaşmaktadır (Şekil 4.27).



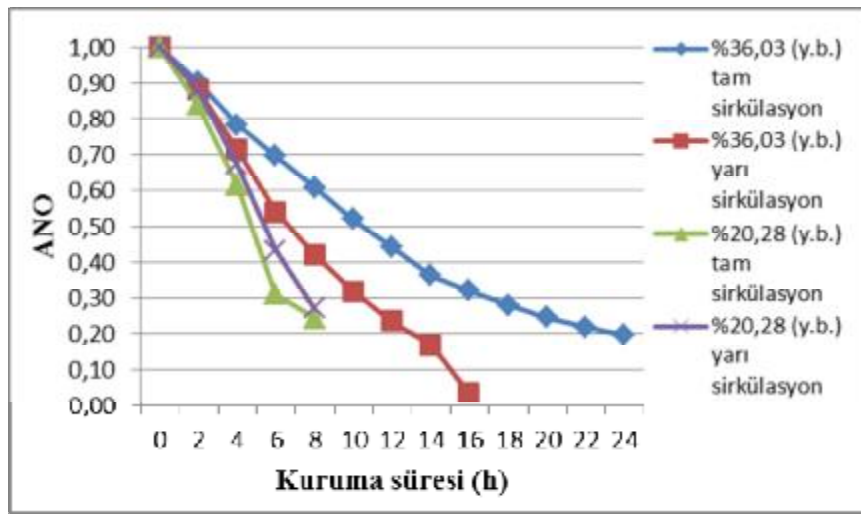
Şekil 4.27. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde % 36,03 (y.b.) ürün neminde dış ve iç ortam hava bağıl nemleri



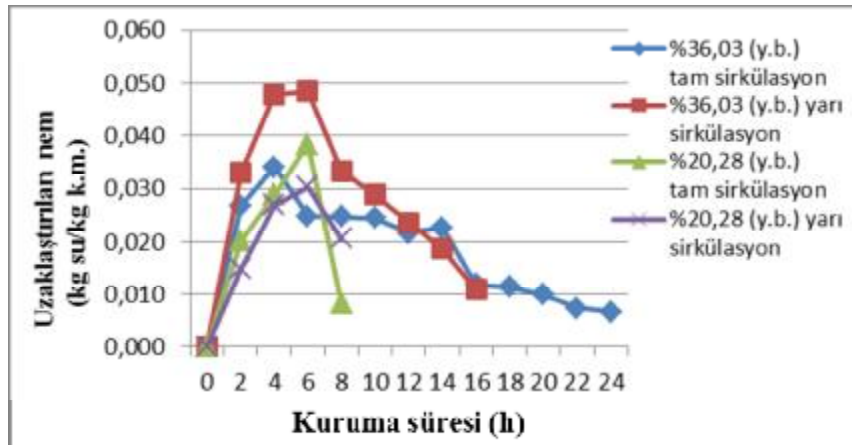
Şekil 4.28. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde % 20,28 (y.b.) ürün neminde dış ve iç ortam hava bağıl nemleri

Ürün başlangıç neminin % 36,03 ve % 20,28 olduğu denemelerde kurutma odasına konan ürünün tam ve yarı sirkülasyonlu uygulamalarda ayrılabilir nem oranı değerleri ve kuruma hızı değerleri Şekil 4.29 ve Şekil 4.30' da verilmiştir. Nem düzeyinin % 36,03 olduğu denemelerde kuruma hızının üç aşamalı olarak artan, sabit ve azalan değerler aldığı görülmektedir. Bu durum kızılötesi ışınlama ile kurutma da daha önceki çalışmalarda bahsedilen 3 ile 8 mm ürün kalınlığında etkin kurutma sağladığı görüşünü desteklemektedir. Son aşamada ürünün merkezinde kalan nemin

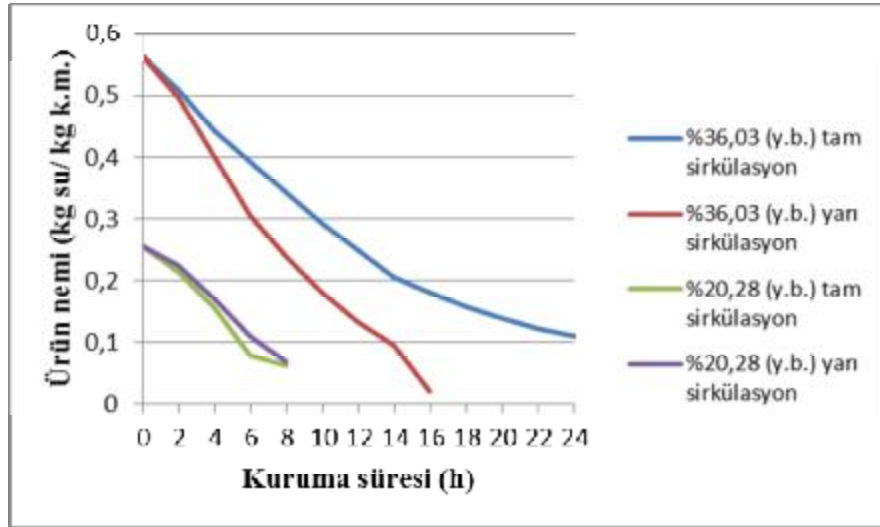
atılması kondüksiyonla gerçekleştiği için kuruma hızı değerlerinde olağan bir şekilde azalan bir eğri göstermiştir. Kuruma hızı değerlerinin ürün nemi ile ilişkisi de her iki nem düzeyinde meydana gelen değişikliklerde görülmektedir. Kuruma hızında % 36,03 nem düzeyinde sabit kuruma hızı evresi görülürken % 28,08 nemdeki ürünlerde sabit kuruma hızı evresi görülmemiştir. Kuruma hızının yarı sirkülasyon uygulamalarında daha yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Şekil 4.31' de ürün nem değerleri ve kuruma sürelerine ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.29. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde ayrılabilir nem oranı değişimi



Şekil 4.30. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde kuruma hızı değerleri

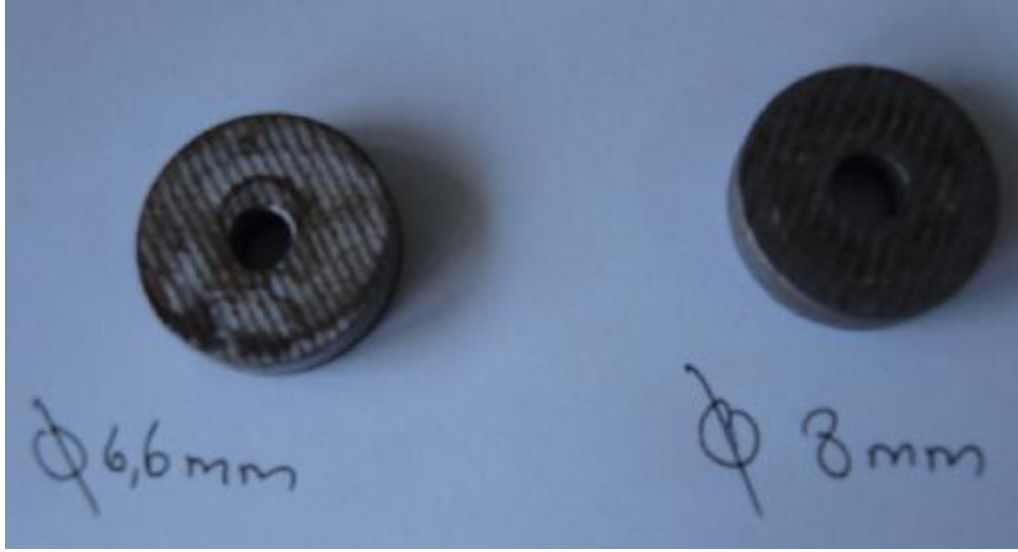


Şekil 4.31. Tam ve yarı sirkülasyonlu denemelerde ürün nemi değişimi

4.2. Yağ Üretimi

Kurutma işlemlerinin tamamlanması ile birlikte uygulanan kurutma yöntemlerinden duysal özellikler ve kurutma süresi dikkate alınarak üzerinde karar kılınan kurutma yöntemi ile kurutulan ürünler önce vidalı presle yağları çıkarılmıştır. Vidalı presten çıkan peletlerde kalan yağ çözücü ile çıkarma yöntemiyle alınmıştır. Bu yolla uygulanan her kurutma yöntemi için vidalı presle ve çözücü ile çıkarma yöntemiyle elde edilen yağ miktarları Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

Yapılan önceki çalışmalarda soğuk sıkım yönteminde kullanılan pelet çıkış deliğinin çapının 6-8 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Ferchau, 2000). Bu çalışma kapsamında 8 mm’lik pelet çıkış plakaları ile denemler yapılmış fakat en küçük vida devri 47 d/d olan vidalı pres ile ürün üzerinde yeterince pres sağlanamadığından pelet oluşmamıştır. Bu aşamadan sonra daha küçük delik çapı olan 6,6 mm’lik bir plaka kullanılarak aynı devirde çalışılmış ve istenilen peletlerin oluştuğu gözlemlenince denemelere bu çapta ve devirde devam edilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Pelet çıkış plakaları ve delik çapları

Taze defne meyvesinden üretilen defne meyvesi yağı yoğun klorofil içeriği nedeniyle açık sarı yeşil bir renge sahiptir. Kurutulmuş ürünlerden elde edilen defne meyvesi yağının rengi ise açık sarı tonlarda elde edilmektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Kurutulmuş ürünlerden mekanik sıkım yöntemiyle elde edilen defne meyvesi yağı

Çizelge 4.8.'de verilen değerler incelendiğinde ilk üç yöntemde, yani vakum, sıcak hava ve mikrodalga yöntemi ile kurutulan ürünler arasında soğuk sıkımla elde edilen yağ miktarları arasında istatistiksel yönden bir fark yoktur ($p < 0,05$). Ancak,

işletme ölçeğindeki raflı kurutucuda kurutulan üründen soğuk sıkım yöntemi ile alınan yağ miktarı, yukarda belirtilen üç yöntemden daha az olup, bu fark % 5 önem seviyesinde önemli bulunmuştur. Raflı kurutucuda vidalı presle elde edilen yağ miktarının az olmasının nedeni, kurutma odasında bulunan ve karşılıklı iki duvara monte edilmiş olan kızılötesi kurutucuların yaydığı ışıının doğrudan ürünle temas ederek, meyve kabuğunda oluşturduğu gevrekleşmedir. Bu durum siyah cisimlerin kızılötesi ışıını soğururken diğer cisimlerden daha fazla ışıını soğurması ve daha az yansıtması ile açıklanabilir. Kabukların bu denli gevrek olması soğuk sıkım esnasında yağın dışarı çıkacağı gözenekleri tıkamakta ve bu nedenle çıkan peletlerin yağ miktarı diğer yöntemlerden çıkan peletlerden alınan yağ miktarından fazladır. Kurutma odasında meyvenin iç bölgelerinde nem miktarı yüzeye göre daha fazladır. Kuşkusuz işletme ölçeğindeki raflı kurutucudan laboratuvar şartlarında olduğu gibi homojen bir kurutma beklenmeyebilir. Ancak önceden de belirtildiği üzere işletmede bir kurutma odası tasarlanması fikri, ticari kurutucular için kaynak ayıramayacak yatırımcılara bir ara çözüm olarak düşünülmektedir. Kızılötesi ısıtıcıların ucuz olması ve bu tür bir kurutma odasının işletme maliyetlerinin diğer kurutma ekipmanlarına nazaran daha az olması bu tür bir kurutma odasının küçük işletmeler için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.8’de çıkarma tekniğinin uygulandığı sütuna bakılırsa; bu kez 2 (sıcak hava) ve 3 (mikrodalga) no’lu yöntemler arasında istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir. Vakum yönteminden bu iki yönteme nazaran daha fazla yağ çıkarma tekniğinde elde edilmiştir. Bu aynı anda vakum koşullarında kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin vidalı presle sıkım yönteminde herhangi bir avantaj sağlamadığını göstermektedir ($p<0,05$). İlginç olan çözücü çıkarım yöntemi ile en çok verim raflı kurutucuda kurutulan üründe alınmıştır. Bu nedenle de toplam verim açısından en yüksek değer raflı kurutucunun olduğu işletme ölçeğindeki kurutma odasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Kurutma yöntemine bağlı olarak elde edilen yağ miktarları

Kurutma Yöntemi	Mekanik sıkım (%)	Ekstraksiyon (%)	Toplam (%)
Vakum ($t= 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P= 0,01\text{ atm}$)	25,6 ^a	13,2 ^b	38,8 ^{ab}
Sıcak hava ($t= 80\text{ }^{\circ}\text{C}$)	23,7 ^a	12,4 ^c	37,7 ^b
Mikrodalga ($P= 800\text{ W}$, $v_{band}= 6,8\text{ mm/s}$, $v_{fan}= 2,30\text{ m/s}$)	25,4 ^a	11,6 ^c	37,5 ^b
Kurutma odası-raflı kurutucu (Çalışma modu: yarı sirkülasyon)	17,9 ^b	24,6 ^a	42,5 ^a

Not: Aynı sütunlarda aynı harflerle belirtilen değerler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunamamaktadır.

4.3. Yağ Asitleri Analizi

Duyusal özellikler ve kuruma süresi dikkate alınarak uygun olduğuna karar verilen yöntemlerle kurutulan defne meyveleri soğuk sıkıma tabi tutulmuş ve elde edilen yağlar metilesterifikasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu amaçla 3 tekrarlı çalışılan örnekler Perkin Elmer Clarus 500 gaz kromatografisinde incelenmiştir. Yağ asitleri içeriğine ilişkin değerler Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Yağ Asitleri İçeriği

Yağ asidi içeriği	Mikrodalga kurutma		Kızılötesi ışımla Geleneksel	
	Vakum kurutma	Sıcak hava ile kurutma	kurutma	kaynatma
	$t = 80^{\circ}\text{C}$	$t = 80^{\circ}\text{C}$	yarı sirkülasyon	yöntemi
	$p = 0,01 \text{ atm}$	$P = 800 \text{ W}$ $v_{\text{hava}} = 0,068 \text{ m/s}$ $v_{\text{fan}} = 2,30 \text{ m/s}$		
C12:0 laurik asit	9,820 ^b	9,585 ^b	11,670 ^a	11,660 ^a
C14:0 myristik asit	0,425 ^b	0,385 ^c	0,590 ^a	0,585 ^a
C16:0 palmitik asit	20,600 ^a	17,955 ^b	17,020 ^b	17,015 ^b
C16:1 palmitoleik asit	1,165 ^a	1,125 ^a	1,030 ^a	1,030 ^a
C18:0 stearik asit	1,285 ^a	1,060 ^c	1,100 ^b	1,080 ^c
C18:1n9 oleik asit	40,570 ^a	37,425 ^b	41,690 ^a	41,705 ^a
C18:2n6 linoleik asit	22,790 ^b	21,355 ^c	24,960 ^a	25,050 ^a
C18:3n3 linolenik	0,835 ^b	0,765 ^b	0,910 ^a	0,900 ^a
C20:0 araşidik asit	0,345 ^a	0,345 ^a	0,440 ^a	0,420 ^a

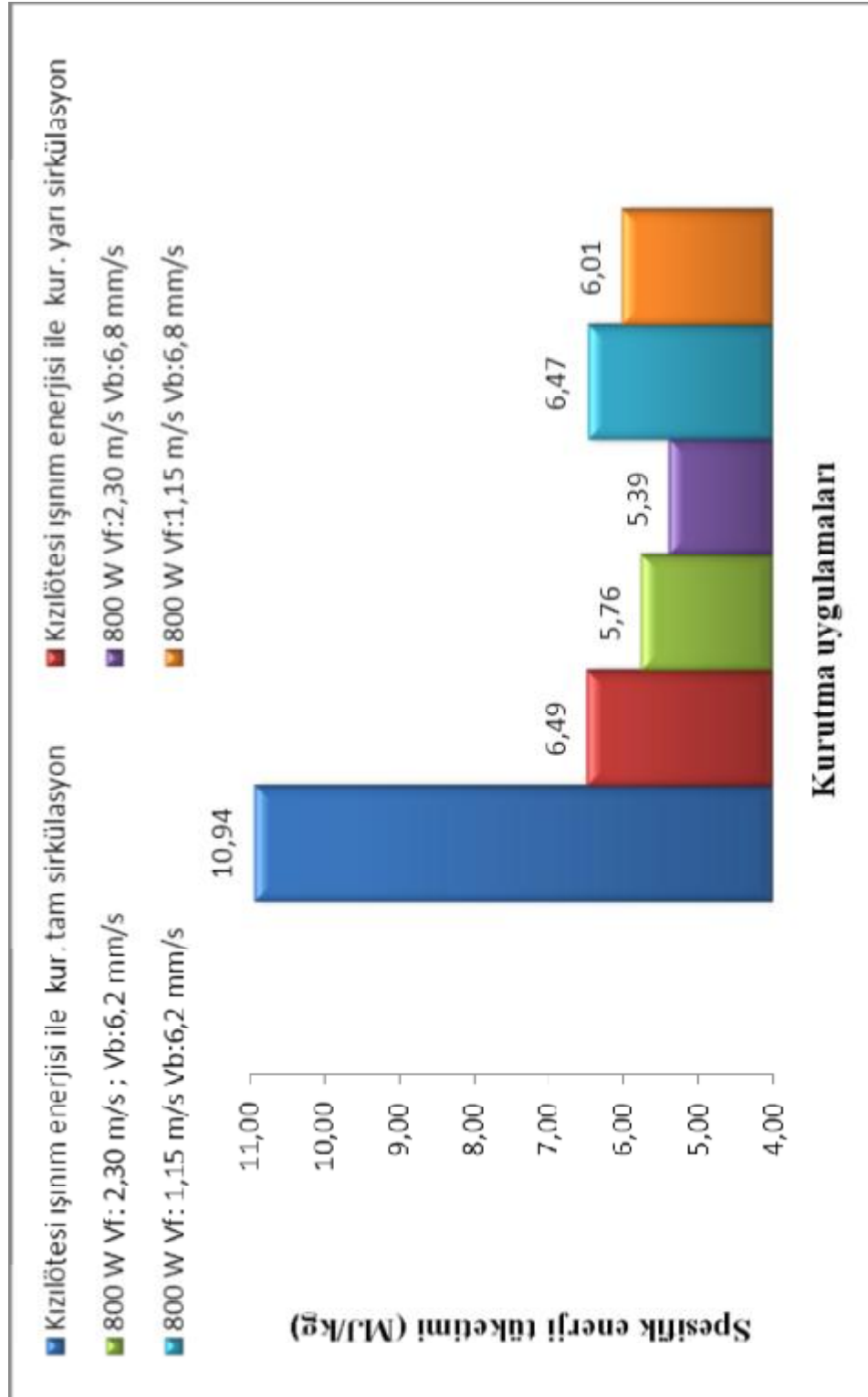
Aynı satır üzerinde aynı harflerle belirtilmiş denemeler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır ($p < 0,05$).

Yağ asitleri analizine göre geleneksel yöntemle kaynatılmış ve kurutma odasında yapılan kurutma denemelerinde elde edilen ürünlerin diğer kurutma yöntemlerinde elde edilen ürünlere göre özellikle Laurik ve Miristik asit miktarlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere bu iki asit defne meyvesinin yağ olarak sabun yapımı için kullanılmasında önem arz eden iki önemli bileşendir (Çelik ve Yılmaz, 1996). Mikrodalga ile kurutma yöntemi ise diğer gruplara göre bu asitler açısından daha düşük değerler vermiştir. Mikrodalga ile kurutma yönteminde çıkan yüksek sıcaklıklar nedeniyle bazı bileşenlerin değerlerindeki düşüşler beklentiler içerisinde gerçekleşmiştir. Vakum yöntemi ise sıcak hava ile kurutmada elde edilen ürünlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ana bileşenler kıyaslandığında Laurik asit açısından geleneksel kaynatma ve raflı kurutucuda kurutulan ürünler ile diğer yöntemlerle (sıcak hava, vakum, ve mikrodalga) kurutulan ürünler arasında istatistiksel olarak fark önemli olarak tespit edilmiştir ($p>0,05$). Palmitik asit değerlerinde ise vakum kurutma yöntemi ile diğer yöntemler arasında istatistiksel fark önemlidir ($p>0,05$). Oleik asit değerleri ise mikrodalga yönteminde diğer yöntemlerden daha düşük bulunmuştur ve fark %95 seviyesinde önemlidir. Linoleik asit değerlerine göre ise geleneksel kaynatma yöntemi ile raflı kurutucuda kurutulan ürünlerden elde edilen yağın diğer gruplardan farklı olduğu görülmektedir. Burada mikrodalga yöntemi ile elde edilen ürünlerin Linoleik asit içerikleri en düşük düzeyde bulunmuştur. Bu sonuçlara göre işletme ölçeğindeki raflı kurutucu ile geleneksel kaynatma metodu arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Dolayısıyla işletme ölçeğindeki raflı kurutucu diğer teknik kurutma yöntemlerine göre ön plana çıkmaktadır.

4.4. Özgül Enerji Tüketimi Değerleri

Özgül enerji tüketimi değerleri uygulamaya daha yakın olması ve daha sağlıklı fikir verme amacıyla işletme ölçeğindeki raflı kurutucu ile bantlı mikrodalga kurutucu için hesaplanmıştır (Şekil 4.33). Bu yöntemlerle yapılan kurutma yöntemleri işletme ölçeğinde ve ona yakın kurutuculardır. Ayrıca yine bu iki yöntem halen diğer bazı tarım ürünleri için kullanılmaktadır. Özgül enerji tüketimi raflı

kurutucuda yarı sirkülasyon uygulamasında 6,49 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga uygulamasında ($P= 800$ W, $v_{band}= 0.068$ m/s, $v_{fan}= 2,30$ m/s) ise bu değer 5,39 MJ/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere bakıldığında mikrodalga enerji ile kurutma ile kızılötesi ışınlama kurutma arasında enerji tüketimi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülür. Kızılötesi ışınlama kurutma tekniğinin ilk yatırım maliyetlerinin mikrodalga kurutma tekniğine nazaran çok daha düşük maliyetli sistemler olması, bu değerler ışığında bu sistemin mikrodalga yöntemine göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu işletme ölçeğinde kurulmuş olan kurutma odasının daha iyi bir planlama ve eksikliklerinin giderilmesi (iç duvarların alüminyum panel ile kaplanması) ile özgül enerji tüketim değerlerinin daha aşağıya çekilmesi olasıdır.



Şekil 4.34. Özgül enerji tüketimi

4.5. Defne Meyvesinin Fiziko-Mekanik Özellikleri

Ön denemeler kısmında defne meyvesinin sıcak ve mikrodalga enerji ile kurutulmasının genel olarak hangi sonuçları doğuracağını gözlemlemek amacıyla defne meyvesinin fiziksel özellikleri ve bozulma yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Çizelge 4.10’ da verilen değerler göz önüne alındığında sıcak hava ile kurutma yöntemi ile kurutulan ürünler mikrodalga enerji ile kurutulan ürünlere nazaran daha sert ve hacimsel olarak daha küçüktür. Sıcak hava ile kurutulan ürünlerin gerçek yoğunluk değerleri 60, 70 ve 80 °C’de sırasıyla 0,98, 1,00 ve 1,12 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Taze ürünlerdeki yoğunluk değerleri ise 0,92 g/cm³ tür. Bu yoğunluk değerleri taze ürünlere kıyasla 80 °C’de % 21 oranında artışa karşılık gelmektedir. Bu değerlere bağlı olarak bozulma yükü yani ürünün şeklinin bozulduğu ve kırılma ve kopmaların meydana geldiği andaki yükün taze ürünlerin bozulma yüküne oranla düşey eksen konumunda 215,96 N, yatay eksen konumunda ise 209,94 N tür. Mikrodalga enerji ile kurutulan ürünlerin hacimleri daha büyük ve sertlikleri daha azdır. Burada 360 W mikrodalga enerji ile kurutulan ürünler için bozulma yükleri yatayda ve düşeyde 59,11 N ve 84,75 N ile taze ürünlere yakın bir değerdedir. Mikrodalga çıkış gücü 360 W seçildiğinde ürün yoğunluğu 0,88 g/cm³ olarak bulunmuştur. Oysa sıcak hava ile yapılan denemelerde 50 °C’de düşey eksen 204,89 N olan bozulma yükü yatay eksen 179,10 N olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre mikrodalga enerji ile kurutulan ürünlerin fiziko-mekanik özelliklerin tümünde sıcak hava ile kurutma işlemlerine göre daha az renk kaybına uğramış, daha hacimli ve gevrek ve daha kolay ezilebilen ürünler elde edilmiştir. Bu durum mikrodalga enerji ile kurutmanın defne meyvesinin mekanik sıkım işlemi sırasında daha az enerji tüketimi ile birlikte vidalı preslerde sıkça rastlanan motorun aşırı zorlanması ile yanması ve vidaların bozulmasını önleyebilecek sonuçlardır.

Çizelge 4.10. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerinin defne meyvesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi

Fiziksel özellikler	Taze	Mikrodalga Kurutma					Sıcak Hava ile Kurutma		
		180 W	360 W	540 W	720 W	900W	50°C	70°C	80°C
Nem içeriği (% v.b.)	40	8.55	7.57	8.48	9.20	7.18	8.3	9.36	9.81
Yağ miktarı		28 ^a	27.6 ^{ab}	27.4 ^b	25.8 ^d	25.8 ^d	25.8 ^d	27.8 ^{ab}	27.00 ^c
Uzunluk (mm)	14.26 ^a	14.08 ^a	14.23 ^b	14.18 ^c	14.18 ^c	14.16 ^d	13.78 ^f	13.49 ^g	13.78 ^f
Genişlik (mm)	12.22 ^a	11.07 ^f	11.37 ^d	11.44 ^b	11.17 ^e	11.39 ^c	10.42 ⁱ	10.46 ^h	10.61 ^g
Kalınlık (mm)	10.86 ^c	10.65 ^a	10.99 ^b	10.99 ^b	10.75 ^d	11.01 ^a	9.94 ^h	9.98 ^g	10.08 ^f
Geometrik ortalama çap (mm)	12.36 ^a	11.87 ^f	12.11 ^d	12.18 ^c	11.93 ^e	12.24 ^b	11.25 ^h	11.20 ⁱ	11.37 ^g
Aritmetik ortalama çap (mm)	12.44 ^a	11.97 ^f	12.20 ^d	12.27 ^c	12.03 ^e	12.35 ^b	11.38 ^h	11.31 ⁱ	11.49 ^g
Yuvarlaklık	0.86 ^a	0.84 ^{bc}	0.85 ^{ab}	0.85 ^{ab}	0.84 ^{bc}	0.84 ^{bc}	0.82 ^d	0.83 ^{cd}	0.83 ^{cd}
Kütle (gr)	1.27 ^a	0.74 ^e	0.73 ^e	0.67 ^g	0.70 ^f	0.70 ^f	0.80 ^c	0.76 ^d	0.82 ^b
Hacim (cm ³)	1.38 ^a	0.82 ^d	0.82 ^d	0.91 ^b	0.86 ^c	0.91 ^b	0.81 ^d	0.76 ^f	0.79 ^e
Gerçek yoğunluk (gr/cm ³)	0.92 ^d	0.90 ^e	0.88 ^f	0.73 ⁱ	0.81 ^g	0.77 ^h	0.98 ^c	1.00 ^b	1.12 ^a
İzdüşüm alanı (mm ²)	149.31 ^a	106.63 ^e	112.07 ^b	108.72 ^c	102.43 ^f	108.54 ^d	93.49 ^g	90.90 ⁱ	91.01 ^h
Bozulma vükü düşev eksen (N)	52.91 ^a	113.25 ^f	59.11 ^b	79.52 ^e	79.14 ^d	74.85 ^c	204.89 ^g	215.8	215.96 ⁱ
Bozulma vükü vata eksen (N)	97.99 ^e	125.74 ^f	84.75 ^b	85.17 ^c	85.37 ^d	79.04 ^a	179.17 ^h	177.8	209.94 ⁱ
Doğal eğilme açısı (°)	29.54 ^a	24.15 ^c	21.61 ^g	22.59 ^e	22.01 ^f	23.62 ^d	19.96 ⁱ	21.54 ^h	25.04 ^b
Statik sürtünme katsayısı									
Galvanizli sac	26.57 ^a	29.66 ^d	28.07 ^b	30.06 ^f	29.22 ^c	30.68 ^h	29.86 ^e	31.73 ⁱ	30.46 ^g
Krom sac	25.06 ^a	29.11 ^e	29.09 ^d	32.60 ⁱ	28.75 ^c	27.17 ^b	31.98 ^h	31.12 ^f	31.83 ^g
Kontrol plak	25.32 ^a	30.94 ^d	31.25 ^e	32.36 ^f	29.22 ^b	30.68 ^c	33.48 ^g	37.00 ^h	37.53 ⁱ
Renk parametreleri									
L (parlaklık)	44.26 ^a	37.49 ^d	35.29 ^e	37.37 ^d	43.01 ^b	39.23 ^c	28.4 ^f	27.39 ^f	28.84 ^g
a (Kırmızı)	-10.06 ^a	4.26 ^g	4.7 ⁱ	4.47 ^h	4.05 ^f	3.38 ^e	2.08 ^c	2.88 ^d	1.96 ^b
b (vesil)	26.72 ^a	13.79 ^d	12.99 ^f	13.28 ^e	19.21 ^b	15.05 ^c	4.19 ^h	4.37 ^g	1.51 ^a

İstatistiksel analizler SPSS 17,0 programı ile "Duncan Çoklu Karşılaştırma Test" metodu kullanılarak yapılmıştır. Aynı satırdaki aynı harflerle gösterilen yöntemler arasında istatistiksel olarak fark yoktur ($p < 0,05$).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Defne (*Laurus nobilis* L.) ağacı yaprak ve meyvesinden yararlanılan odun dışı orman ürünü olarak tanımlanır. Yaprakları drog veya uçucu yağ üretiminde kullanılırken, meyveleri geleneksel kaynatma yöntemiyle kaynatılarak, defne meyve (tohum) yağı elde edilir.

Bu araştırma kapsamında oluşturulan üç aşamalı defne meyvesi yağ çıkarma tekniği defne meyvesi açısından tamamen özgündür. Bu yöntem işletme ölçeğinde rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Ancak defne toplama sezonu kış mevsimine denk geldiği için ürünü sundurma altında, yere kalın tabaka halinde sererek kurutan işletmecilerin kütleli kurutma taleplerinin karşılanması gerekir.

Sonuçlar incelendiğinde sıcak havayla yapılan denemelerde en kısa kuruma süresi 960 dakika ile 80 °C’ de yapılan kurutma denemelerinde ulaşılmıştır. Vakum altında sıcak hava ile kurutma denemelerinde 0,1 atm. vakum koşulunda kuruma süresi ancak 720 dakikaya düşmüştür. Buna karşın mikrodalga ile kurutmada kuruma süresi 13 dakika olarak gerçekleşmiştir. Bu süre kitlesel olarak defne meyvesinin kurutulmasında önemli bir parametredir. Kızılötesi ışınlama kurutma yapılan denemelerde yarı hava dolaşımı uygulamasında 960 dakikada kuruma gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde kurutulan toplam ürün miktarı 550 kg dır. Dolayısıyla yaklaşık olarak saate 45 kg ürün kurutulmuştur. Mikrodalga ile kurutma işleminde 13 dakikada 5-6 kg ürün kurutulduğu düşünülürse 1 saate kurutulan ürün miktarı 25-30 kg olarak gerçekleştiği görülür.

Kurutma yöntemleri içinde kurutma için gereken sıcak havayı vakum koşullarında uygulamak kuşkusuz kurutma süresini kısaltmakta ve yağın kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Ancak vakumlu kurutucuların yüksek ilk yatırım maliyetleri, küçük ölçekli işletmeciler için sorun teşkil etmektedir. Sıcak hava ile kurutma yönteminde ise hem kurutma yöntemi daha uzun hem de elde edilen yağ miktarı (% 23,7) düşüktür. Buna karşın mikrodalga yöntemi ile daha kısa sürede kuruma sağlandığı görülse de, kızılötesi ışınlama yapılan kurutma denemelerine göre daha düşük miktarlarda yağ asidine sahip ürünler elde edilmiştir. Kızılötesi ışınlama enerjisi ile kurutma tekniğinde ise toplam yağ miktarı (% 42,5) yüksek olmasına

karşın soğuk sıkım yöntemi ile elde edilen miktar % 17,9 dur. Kızılötesi ısıtım enerjisi ile kurutma yönteminde özgül enerji tüketim değeri (6,49 MJ/kg) mikrodalga kurutma yöntemi (5,39 MJ/kg) ile birbirine yakın seviyede gerçekleşmiştir.

Tüm bu değerlerden yola çıkılarak uygulamalarda karşılaşılan sorunlar göz önüne alınarak kurutma yöntemlerine ve tüm işleme sürecine yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Ø Sıcak hava ile kurutma ve vakum altında kurutma yöntemleri defne meyvesinin kurutulmasında en son düşünülecek yöntemler olmalıdır.
- Ø Mikrodalga ile kurutmada, ürün sıcaklıkları çok fazla yükselmekte dolayısıyla yağ kesecikleri patlayarak yağ dışarı çıkmaktadır. Bu durum toplam yağ verimini düşürür. Mikrodalga uygulamalarında daha düşük güç uygulamaları ile birlikte mikrodalga üreteçlerin daha uzun süreli pasif kalmalarını sağlayarak sıcaklıklar düşürülebilir.
- Ø Mikrodalga kurutucuda band üzerinde sıcak ve soğuk bölgelerin oluşması band üzerine yerleştirilecek bir tarak ile aşılabılır.
- Ø Yüksek nem düzeyindeki ürünlerin başlangıçta sıcak hava veya kızılötesi ısıtım ile belli bir nem düzeyine kadar kurutulduktan sonra son nemin mikrodalga enerji ile alınması ürün iç ve yüzey sıcaklıklarının daha düşük olmasına katkı sağlayacaktır.
- Ø Kurutma odasında ısınan havanın yükselmesi nedeniyle alt raflar ile üst raflar arasında ürün nemi ve kuruma süresi bakımından farklılıklar oluşmaktadır. Bu nedenle oda içerisinde havayı hareketlendirecek bir fana ihtiyaç bulunmaktadır.
- Ø Kurutma odası duvarları yitong ısı yalıtımlı bir madde ile örülmüştür. Fakat bu yapı malzemesinin ışık yansıtma özelliği beyaz cisimlere göre düşüktür. Dolayısıyla kurutma odasının duvarları ışık yansıtma özelliği daha yüksek olan sac levhalarla kaplanabilir.
- Ø Kurutma odasında iç ortamın bağıl nemi bazı uygulamalarda % 100' e ulaşmıştır. Bu nedenle kurutma odasının havasının etkin bir şekilde sirkülasyonu için kullanılan fan büyütülmelidir.

- Ø Nem ve sıcaklık değerleri hava sirkülasyonu ile doğrudan orantılıdır. Yarı sirkülasyonlu uygulamada kuruma hızı en yüksek değere ulaşmıştır. Bu nedenle iç ortamın bağıl nem değerleri tam sirkülasyona göre yüksektir. Bu sorunu çözmek için kurutma odasının otomasyonu sağlanmalıdır.
- Ø Defne meyvesinin yağının çıkarılmasında kullanılan soğuk sıkım makinesi laboratuvar ölçekli olup, en düşük 47 d/d' lık vida devrinde çalışabilmektedir. İşletme ölçeğinde daha büyük preslerde uygun pelet çıkış plaka ve deliklerinde daha düşük devirlerde işlenmesi halinde soğuk sıkım yöntemi ile elde edilen yağ miktarlarının artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ADU, B., OTTEN, L., BROWN, R.B., 1994. Modelling thin layer microwave drying of soybeans. Canadian. Agricultural Engineering. Cilt No 36, Sayı No 3, Sayfa No135-141.
- AKCALI, I. D., INCE, A., GUZEL, E., 2006. Selected physical properties of peanuts. International Journal of Food Properties. Volume 9, Issue 1, p 25 - 37 DOI: 10.1080/10942910500471636.
- AKPINAR, E., K., BİÇER Y., 2003. Siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi. G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi 16, 159-169.
- ALİBAŞ, İ., 2001. Bazı sebze ve meyvelerin mikrodalga ışınlarla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- ANONİM, 2011a. http://www.efri.gov.tr/yayinlar/Son_defne_elkitabı.pdf (erişim tarihi 18.06.2011)
- ANONİM, 2011b. <http://guide.ceit.metu.edu.tr/thinkquest/thist-d1.htm>
- ANONİM, 2011c. <http://www.globalapptec.com/files/IR-the-facts.pdf>
- ANONİM, 2012d. http://en.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_extractor (Erişim tarihi: 09.12.2012)
- ANONİM, 2012e. http://tr.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_Ekstrakt%C3%B6r%C3%BC (erişim tarihi 18.01.2012)
- BEAUDRY, C., RAGHAVAN, G., S., V., RATTI, C., RENNIE, T. J., 2004. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. Drying Technology, 22 (3):521-539.
- BEIS, H.S. AND DUNFORD N.T., 2006. Supercritical fluid extraction of daphne (laurus nobilis l.) seed oil. JAOCS, 83 (11), 953-957.
- BİLGİN, F., ŞAFAK, İ., KİRACIOĞLU, Ö., 2004. Ege bölgesinde defne (laurus nobilis l.) üreticiliğinin sosyo-ekonomik önemi ve üretici profilinin belirlenmesi. Bakanlık Yayın No: 260 Müdürlük Yayın No : 37 Teknik Bülten No: 28. (ODC:892)

- BUFFLER, C., R., Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist. Avi Book, New York,. (1993), pp: 6, 39, 54
- CASTILHOA, P., C., COSTAA, M., RODRIGUESB, A., PARTIDÁRIO, A., 2005. Characterization of laurel fruit oil from Madeira Island, Portugal. JAOCS, Vol. 82, no. 12 pg 863-867
- CALISIR, S., MARAKOGLU, T., OGUT, H. ve OZTURK, O., 2005. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.) Journal of Food Engineering, 69(1); 61-66.
- ÇELİK, S., YILMAZ, Ö., 1996. Defne (*Laurus Nobilis* L.) Yaprak ve meyvesinin yağ asitleri bileşimi. Gıda dergisi 21(6), 477-483.
- DELİ, S., FARAH M., M., TAJUL A., Y., WAN N., W. A., 2011. The effects of physical parameters of the screw press oil expeller on oil yield from *Nigella Sativa* L Seeds. International Food Research Journal 18(4): 1367-1373.
- DOYMAZ, I., 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Eng., 61: 359-364.
- DOYMAZ, I., 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. Journal of Food Eng., 69; p275-279.
- DROUZAS, A.E., TSAMI, E. VE SARAVACOS, G.D., 1999. Microwave/Vacuum drying of model fruit gels. Journal of Food Eng., Cilt No 39, Sayı No 2, Sayfa No 117-122.
- ERDEM, T., 2007. Ozon su ile yıkanan kırmızı pul biberin mikrodalga enerjisi ile kurutulması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- ERDEN, Ü, 2005. Akdeniz Defnesi'nde (*Laurus nobilis* L.) mevsimsel varyabilite ve optimal kurutma yöntemlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, 57 s.
- ERTEKİN, C, YALDIZ, O., 2001. Möhlbauer, W. İncirin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışının belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 405 411, Şanlıurfa. (2001).

- ERTEKİN, C., YALDIZ, O., 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Eng.*, 63, 349-359.
- ERTEKİN, C. , S. GÖZLEKÇİ, Ö. KABAŞ, S. SÖNMEZ VE İ. AKINCI. 2006. Some physical, pomological and nutritional properties of two plum cultivars. *Journal of Food Eng.*, Vol.75(4) pp.508-514.
- FERCHAU, E. 2000. Equipment for decentralized cold pressing of oil seeds. Folkecenter for Renewable Energy. <http://www.folkecenter.dk/> (Erişim Tarihi;15/02/2012.)
- FUNEBO T., OHLSSON T., 1998a. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Eng.*, 38 (1998) 353-367
- FUNEBO, T., OHLSSON, T., 1998b. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom, *Journal of Food Eng.*, 63, 349-359. 1998.
- GOCMEN, D., GURBUZ, O., ROUSEFF R., L., J., SMOOT, M., A.. DAGDELEN., F., 2004. Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma active compounds in sun-dried and vacuum-dried tarhana. *European Food Research and Technology*, 218 (6):573-578.
- GUNASEKARAN, S., 1989. Pulsed Microwave Drying Of Corn. *Transactions Of The American Society Of Agricultural Engineers*, Cilt No.89, Sayı No 3, Sayfa No 14-18.
- GÜLER, S., 2006. Defne (*Laurus nobilis* L.) Yaprığı Verimi Üzerinde Etkili Faktörlerin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar (Antalya-Manavgat–Yaylaalan Örneği) (Yüksek Lisans Tezi). Fen bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- GÜNER, M., 2007. Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds. *Journal of Food Engineering*, 80, 904–913.
- JAYA, S., H. DAS., 2003. Vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21 (7):1215-1234.
- KARAASLAN, S., 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- KEMAHLIOĞLU, K., BAYSAL, T., 2002. Hububat Ürünlerinin İşlenmesinde Mikrodalga Uygulamaları. HUBUBAT 2002 Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi. Gaziantep. 3–4 Ekim 2002
- KOCABIYIK, H., DEMİRTAŞ, B., S., 2008. Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi; Journal of Tekirdag Agricultural Faculty. Sayı: 5(3)
- KONUKÇU, M., 2001. Ormanlar ve Ormancılığımız. Devlet Planlama Teşkilatı, Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı, Yayın No. DPT: 2630, 238 s.
- KROKIDA, M., K., KARATKANOS, V., T., MAROULIS, Z., B., MARINOS-K., D., (2003). Drying kinetics of some vegetables. Journal of Food Engineering, 59, 291 – 403.
- KROKIDA, M. K., Z. B. MAROULIS, G. D. SARAVACOS., 2001. The Effect of the Method of Drying on the Colour of Dehydrated Products. International Journal of Food Science and Technology, 36:53-59.
- KUZGUNKAYA, E., H.; HEPBAŞLI, A., 2007. Exergetic evaluation of drying of laurel leaves in a vertical ground-source heat pump drying cabinet. Int Journal of Energy Research 31,245-258.
- LIN T. M., DURANCE T. D., SCAMAN C. H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. Food Research International, 31 (2): 11-117.
- MADAMBA, P. S., DRISCOLL R. H., BUCKLE K. A. 1996. The thin-layer drying charecteristics of garlic slices, Journal of Food Engineering, 29, 75 – 97.
- MADAMBA, P. S. 2002. The response surface methodology: an application to optimize dehydration operations of selected agricultural crops. Lebensm.-Wiss- u. Technol., 35:584-592.
- MARIALUCI F.,A., 2005. Modeling İnfrared And combination of infrared-microwave heating of foods in an oven. Cornell University PhD Thessis.
- MARTINOV M., ÖZTEKİN S., MÜLLER J., 2007. Drying in: medicinal & aromatic plants: harvesting, drying, processing. The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY 13904-1580 USA 607-722-5857

- MARZOUKİ, H., ALESSANDRA, P., BRUNO, M., ANTONELLA, R., and ASSUNTA, D., 2008. Extraction and separation of volatile and fixed oils from berries of laurus nobilis l. by supercritical CO₂. *Molecules*, 13, 1702-1711; DOI: 10.3390/molecules13081702
- MCMINN, W., A., M., 2004. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72 (2004) 113–123.
- MENGES, H. O., C. ERTEKİN, C. AYDIN., 2004. Elma kurutmada kurumanın çeşitli modellerle açıklanması. *Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi Bildirisi*. Aydın, 08-10 Eylül 2004, sayfa 33.
- METHAKHUP, S., N. CHIEWCHAN, S. DEVAHASTIN., 2005. Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Kinetics and Quality of Indian Gooseberry Flake. *Lebensm.- Wiss- u. Technol.*, 38(6): 579-587.
- MIDILLI, A., 2001. Determination of pistachio drying behavior and conditions in a solar drying system, *Int J. of Energy Reserch*, 25, p 715-725.
- MIDILLI, A., OLGUN H., AYHAN T., 1999. Experimental studies of mushroom and polen drying. *Int. Journal of Energy Research*, 23, 1143-1152
- MOHSENIN, N., N., 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York.
- MOHSENIN, N., N., 1978. Physical properties of plant and animal materials, New York, Gordon and Breach Science Publishers.
- MUJUMDAR, A. S., 2000. Fundamentals of industrial drying. In: *Short Course Notes on Industrial drying Technology: Princeples and Applications* (Mujumdar A. S. and Dinçer, İ. Eds), June 12 – 15, İzmir, Turkey, pp. 102 – 128
- MWITHIGA, G., OLWAL, J.O., 2005. The Drying Kinetics of Kale in A Convective Hot Air Dryer, *Journal of Food Sci.* 71:373-378.
- NASIROĞLU, Ş., 2007. Kırmızıbiber, elma ve pırasanın kurutulmasında kızılötesi kurutma tekniğinin kullanılması. Çanakkale 19 Mayıs üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.

- NOWAK, D., LEWICKI, P., P., 2004. Ifrared drying of apple slices. Innovative Food Science and Emerging Technologies 5 (2004) 353– 360.
- NURBAŞ, M., BAL, Y., 2005. Recovery of fixed and volatile oils from laurus nobilis l.fruit and leaves by solvent extraction method Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C. XVIII, S.2, Eng.&Arch.Fac. Eskişehir Osmangazi University, Vol. XVIII, No: 2.
- ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ HATAY İŞLETMESİ, 2012. Sözlü bidiriş.
- OWUSU., A., Y., J., Advances in microwave drying of foods and food ingredients. J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment, 24 (3/4), 102-107,
- ÖZBEK, B., DADALI, G., 2007. Thin-Layer Drying Characteristics And Modelling Of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. Journal of Food Eng. , Volume 83, Issue 4, Pages 541-549.
- PARK, K.J., VOHNIKOVA, Z., BROD, F.P.R., 2002. Evaluation drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (menta crispa), Journal of Food Engineering, 51, 193-199.
- PANFILIS F., D., TOSCHI T., G., LERCKER G., (1998). Quality control for cold-pressed oils. Inform 9:212-221.
- PINEDO, A., A., MURR, F., E., X., 2007. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. Journal of Food Engineering Volume 80, Issue 1, May 2007, Pages 152-156
- PRABHANJAN D.G., RAMASWAMY, H.S., RAGHAVAN, G.S.V., 1995. Microwave-Assisted Convective Air Drying Of Thin Layer Carrots. Journal of Food Engineering, Volume 25, Issue 2, 1995, Pages 283–293.
- REN, G., CHEN, F., 1998. Drying Of American Ginseng (Panax Quinquefolium) Roots By Microwave-Hot Air Combination. Journal Of Food Engineering, Cilt No 35, Sayfa No 433-443.
- SANDU, C., 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. Biotechnology Progress. 2: 109-119.
- SARSAVADIA, P., SAWHNEY, R., PANGAVHANE, D.R., VE SINGH, S.P., 1999. Drying behaviour of brined onion slices. Journal of Food Engineering, 40, 219-226.

- SHAM, P., W., Y., SCAMAN, C., H., DURANCE T. D., 2001. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *Journal of Food Science*, 66 (9):1341-1347.
- SHARMA,G.P., PRASAD S., 2001 Drying of garlic cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering* 50 pp:99-105.
- SHIVHARE U.S., RAGRAVAN G.S.V., BOSISIO R., G., 1992. Microwave drying of corn I. Equilibrium Moisture content. *ASAE* 1992 35(3) pp:947-950.
- SITKEI, G., 1986. *Mechanics of agricultural materials*. Academia Kiado, Budapest.
- SINGH, M. S., 1984. Mathematical modelling of basic design and criteria for sunflower of oil expeller. Proquest Dissertations and Thesis; 1984. <http://search.proquest.com/pqdtft/docview/303321059/13730DA5CE0711CB7C/1?accountid=15725> (Erişim 2012)
- SINGH, J, BARGALE, P., C., 2000. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. *Journal of Food Engineering*, 43: 75-82.
- SINGH, K., K., JHAMB, S., A., KUMAR, R., 2010. Effect of pretreatments on performance of screw pressing for flaxseeds. *Journal Of Food Processing Engineering*. DOI:10.1111/j.1745-4530.2010.00606.x
- SKJÖLDEBRAND, C., 2001 *Infrared heating*. Swedish Institute of Food Research, Tumba. Pp:1-21 Woodhead Publishing Ltd.
- STAACK, N., AHRNE, L., KNORR, D., 2007. Study of heat Transfer in paprika powder (capsicum annum) by infrared heating. <http://www.biopowders.net/papers/partec%20P9.pdf>
- SOYSAL, Y., 2000. İşletme ölçeğinde çeşitli tıbbi ve aromatic bitkilerin kurutulmasına yönelik bir araştırma. Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
- SOYSAL, Y., 2004. Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, Cilt No 89, Sayı No 2, Sayfa No 167-173.

- SOYSAL, Y., AYHAN, Z., EŞTÜRK, O., 2009. Mikrodalga ile meyve ve sebze kurutmada enerji kullanım verimliliğinin ve ürün kalitesinin artırılmasında ileri kurutma tekniklerinin uygulanması üzerine araştırmalar. Tübitak Proje No:105O547.<http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ&ano=119639>.
- ŞENTÜRK S., 2010. Zorla güzellik olur mu demeyin. 26.11.2010-Zaman Gazetesi
- TOĞRUL, H., TOĞRUL, İSPİR. A., 2005a. Mantarların ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.
- TOĞRUL, H., TOĞRUL, ., İSPİR, A., 2005b. İnfrared kurutucuda muzun kuruma kinetiğinin incelenmesi. III.Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.
- WADSWORTH, J.I., VELUPILLAI, L., VERMA, L.R., 1990. Microwave–vacuum drying of parboiled rice. Transactions Of The Asae, Cilt No 33, Sayı No 1, Sayfa No 199–210.
- WANG, Z., JUNHONG, S., CHEN, F., LIAO, X., HU, X., 2006. Mathematical modelling on thin layer microwavedrying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of ;Food Eng. Volume 80, Issue 2, Pages 536-544.
- WANG, J., SHENG, K. 2006. Far İnfrared and microwave drying of peach. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 39, 247-255.
- WALDE, S., G., BALASWAMY, K., VELU, V., RAO, D., G., 2002. Microwave drying and grinding characteristics of wheat (triticum aestivum). Journal of Food Engineering 55 (2002) 271–276
- WU, L., ORIKASA T., YUKIHARU O., TAGAWA A., 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. Journal of Food Engineering 83 (2007) 422-429.
- YAGCIOĞLU, A., DEGIRMENCIOĞLU, A., ÇAGATAY, F.,1999. Drying characteristics of laruel leaves under different drying conditions, 7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, 565-569, Adana.
- YAĞCIOĞLU, A. 1999. Tarım ürünlerini kurutma tekniği. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No:536, 348 s.

- YALDIZ, O., 2001. Havuç ve pırasa kurutulmasında kurutma havası özelliklerinin kuruma karakteristiklerine etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 412 417 Şanlıurfa.
- YAZICIOGLU, T., KARAALI, A. 1983. Fette. Seifen Anstrichm. 85:23-29.
- YONGSAWATDIGUL, J., GUNASEKARAN S., 1996a. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. Journal of Food Processing and Sıkırmervation, 20:121-143. (1996).
- YONGSAWATDIGUL, J., GUNASEKARAN S., 1996b. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evalvation. Journal of Food Processing and Sıkırmervation, 20:145-156.
- ZHONGLI, P., CONNIE, S., TARA H., M., EDWARD H., 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. Swiss Society of Food Science and Technology. Published by Elsevier Ltd

ÖZGEÇMİŞ

16.06.1977 tarihinde Niğde ili Ulukışla ilçesi Kılan beldesinde doğdu. İlk öğretimini sırasıyla Ulukışla İnkılap İlköğretim Okulu ve Ulukışla Lisesinde tamamladı. Orta öğrenimini Adana M. Kemal TUNCEL lisesinde bitirdi. 1997-1998 öğretim yılında Çukurova üniversitesi Tarım Makinalarında lisans eğitime başlayarak bu programdan 2002-2003 sezonunda mezun oldu. 2004-2005 öğretim yılında Erasmus Öğrenci Değişim programı kapsamında bir yarıyıl eğitime “Çek Cumhuriyeti Yaşam Bilimleri Üniversitesinde” yüksek lisans öğrenimine devam etti. 2007’de “Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması” isimli Yüksek lisans tezini tamamlayarak doktora eğitime başladı. Halen Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.