

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MUZ VE KİVİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN MİKRODALGA VE
KIZILÖTESİ- MİKRODALGA KOMBİNASYONU İLE KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Sevgi ÖZTÜRK

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

09.01.2014

Sevgi ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MUZ VE KİVİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN MİKRODALGA VE KIZILÖTESİ- MİKRODALGA KOMBİNASYONU İLE KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sevgi ÖZTÜRK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL

Bu çalışmanın amacı, muz (*Dwarf Cavendish*) ve kivi (*Actinidia deliciosa*) dielektrik özellikleri ile mikrodalga ve kombinasyon (mikrodalga-kızılötesi; MW-IR) kurutma karakteristikleri arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Kurutma deneyleri sırasında, farklı nem içeriğine sahip muz örnekleri farklı mikrodalga güçlerinde ve MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuştur. Mikrodalga gücünün artırılmasının kurutma hızını arttırdığı, kuruma süresini ise kısalttığı gözlemlenmiştir. Başlangıç nem miktarındaki artışın kurutma hızı üzerine pozitif etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Muz örneklerinin dielektrik özellikleri mikrodalga gücünün ve ürünün başlangıçtaki nem içeriğinin artması ile azalmıştır. Ürünlerin dielektrik özellikleri ile kurutma hızları ve bazı renk değerleri arasında korelasyon tespit edilmiştir.

Çalışmanın kivi örnekleri ile gerçekleştirilen ikinci bölümünde üç farklı başlangıç nem içeriği incelenmiştir. Kurutma işlemi için üç farklı mikrodalga gücü ve MW-IR kombinasyonu kullanılmıştır. Başlangıç nem içeriği yüksek olan örneklerde kurutma hızının daha yüksek ve işlem süresinin daha uzun olduğu saptanmıştır. Dielektrik özellikler mikrodalga gücü artışıyla azalmaktadır. Başlangıç nem içeriği arttıkça örneklerin dielektrik özellikleri de artmaktadır. Bu durum üzerinde kivi yapısı özelliklerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Kivi örneklerinin dielektrik özellikleri ile kuruma hızları ve bazı renk değerleri arasında korelasyon tespit edilmiştir.

Mikrodalga ve MW-IR kombinasyonu ile kurutma işlemi konvansiyonel kurutma ile kıyaslandığında muz örneklerinde nihai nem içeriği daha düşük ve ürün kalitesi yüksek ürünler elde edilmiştir. Bunun yanı sıra yaklaşık %63 zaman tasarrufu sağlanırken kivi örneklerinde yaklaşık %57 zaman tasarrufu elde edilmiştir. Çalışma bulguları değerlendirildiğinde mikrodalga ve kombinasyon kurutmanın umut veren alternatif teknolojiler olduğu düşünülmektedir.

Ocak 2014, 131 sayfa

Anahtar Kelimeler: mikrodalga, kızıl-ötesi, kurutma, dielektrik kayıp faktörü, dielektrik sabiti, nüfuz derinliği

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECT OF DIELECTRIC PROPERTIES OF BANANA AND KIWIFRUIT ON MICROWAVE AND INFRARED-MICROWAVE COMBINATION DRYING CHARACTERISTICS

Sevgi OZTURK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Food Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL

The aim of in this study was to investigate the relation between dielectric properties and microwave and combination (MW-IR) drying characteristics of banana (*Dwarf Cavendish*) and kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Banana samples with different initial moisture contents were dried by using different microwave powers and MW-IR combination. It was observed that an increase in microwave power resulted in an increase in drying rate and a decrease in processing time. It was also concluded that an increment in initial moisture content of bananas had an positive effect on the drying rate of samples. Dielectric properties of banana samples decreased with increasing microwave power and initial moisture content. Dielectric properties of products were found to be correlated with drying rates and some colour values .

In the second part of the study, three different initial moisture content of kiwifruit samples were investigated. Three different microwave power and MW-IR combination were used for drying process. It was determined that the drying rate was higher and the processing time was longer for samples with higher initial moisture content. Dielectric constant and dielectric loss factor were found to decrease with increasing microwave power. As the initial moisture content increased, the dielectric properties of samples were also increased. It is thought that the textural properties of kiwifruit is the main cause of these effects. A correlation between dielectric properties of kiwi samples and drying rates, and a correlation between dielectric properties and some color values were detected.

When microwave and combination drying of banana samples were compared with conventional drying, products with lower final moisture content and higher quality could be produced. Besides these new technologies provided 63% time saving. For kiwifruit this value decreased to 57%. In the light of the results of this study, it is thought that microwave and combination drying can be considered as promising alternative technologies.

January 2014, 131 pages

Key Words: microwave, infrared, drying, dielectric constant, dielectric loss factor, penetration depth

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince benden her konuda desteğini, yardımını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL' a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Tez çalışmam konusunda bilgi paylaşımını hiç kesmeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Aslı İŞÇİ' ye (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), bulgularımın istatistiksel olarak değerlendirilmesinde tecrübesini ve bilgisini paylaşan Prof. Dr. Ensar BAŞPINAR ve Araştırma Görevlisi Emel ÖZGÜMÜŞ' e (Ankara Üniversitesi Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı),

Hayatımın kıymetlisi biricik annem Hatice ÖZTÜRK başta olmak üzere aileme, 12 yaşında olup çalışmalarına yardımcı olmak için çabalayan yeğenim Sıla AYSEV' e ve çalışmalarım boyunca yanımda bulunan çok değerli dostlarıma içten teşekkürler.

Sevgi ÖZTÜRK

Ankara, Ocak 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Kivi.....	3
2.2 Muz.....	4
2.3 Kurutma.....	6
2.3.1 Kurutma işleminin tarihçesi.....	7
2.3.2 Kurutma yöntemleri	8
2.3.2.1 Doğal kurutma.....	8
2.3.2.2 Yapay kurutma	9
2.3.3 Kurutma işleminin prensipleri.....	9
2.3.4 Endüstriyel kurutucu tipleri	10
2.4 Mikrodalga	25
2.4.1 Mikrodalganın tarihçesi	26
2.4.2 Elektromanyetik dalgalar.....	27
2.4.3 Mikrodalga ısıtma	28
2.4.3.1 Mikrodalga ısıtma mekaniği	29
2.4.3.2 Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler	33
2.4.4 Mikrodalga fırın bileşenleri	35
2.4.5 Mikrodalga fırınlarda güvenlik standardı.....	38
2.5 Mikrodalga Kurutma.....	39
2.5.1 Mikrodalga ile gıdaların kurutulmasının avantajları ve dezavantajları.....	42
2.5.2 Kızılötesi ile mikrodalga kombinasyon methodu ile kurutma	44

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
3.1 Materyal	45
3.1.1 Denemelerde kullanılan örnekler	45
3.1.2 Kullanılan ekipmanlar	45
3.2 Yöntem	46
3.2.1 Örneklerin hazırlanması ve tepsili kurutucu ile kurutulması	46
3.2.2 Örneklerin mikrodalga ile kurutulması.....	46
3.2.3 Örneklerin kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması	47
3.3 Analizler	47
3.3.1 Nem içeriğinin belirlenmesi.....	47
3.3.2 Renk değerlerinin belirlenmesi	47
3.3.3 Dielektrik özelliklerin belirlenmesi	48
3.3.4 Kurutma hızının hesaplanması.....	48
3.3.5 İstatistiksel analiz	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1 Muz Örnekleri	50
4.1.1 Nem değişim bulguları.....	50
4.1.1.1 Farklı başlangıç nem miktarlarının etkisi	50
4.1.1.2 Farklı uygulamaların etkisi.....	61
4.1.2 Renk değişim bulguları.....	67
4.1.3 Dielektrik özellikler.....	70
4.1.4 Dielektrik özelliklerin kurutma parametreleri ile korelasyonu.....	73
4.2 Kivi Örnekleri	74
4.2.1 Nem değişimi bulguları	74
4.2.1.1 Farklı başlangıç nem miktarlarının etkisi	74
4.2.1.2 Farklı uygulamaların etkisi.....	85
4.2.2 Renk değişim bulguları.....	91
4.2.3 Dielektrik özellikler.....	93
4.2.4 Dielektrik özelliklerin kurutma parametreleri ile korelasyonu.....	96
5. SONUÇ.....	98
KAYNAKLAR	100

EKLER.....	110
EK 1 Muz örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları	111
EK 2 Kivi örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları	121
ÖZGEÇMİŞ.....	131

SİMGELER DİZİNİ

ϵ_r	permitivite
ϵ'	dielektrik sabiti
ϵ''	dielektrik kayıp faktörü
j	$\sqrt{-1}$ değeri
T	sıcaklık
t	zaman (s)
a	termal difüzivite (m^2/s)
r	yoğunluk (kg/m^3)
C_p	materyalin özgül ısısı ($J/kg.K$)
Q	maddenin birim hacmi başına ısı birikim oranı ($J/m^3.s$)
ϵ_0	serbest boşluğun dielektrik sabiti
f	fırının frekansı
E	elektrik alan yoğunluğu
M	toplam nem miktarı
α_m	nem difüzivitesi
δp	basınç değişim sabiti
P	basınç
$\tan \delta$	kayıp tanjant
W	Watt
M_t	t anında ürünün sahip olduğu nem içeriği
M_0	ilk nem içeriği
r	Korelasyon değeri
MHz	elektromanyetik dalga salınım hızı

Kısaltmalar

FDA	Food and Drug Administration
ANO	Ayrılabilir nem oranı ($kg\ su/ kg\ km.$)
I.T.U	Uluslararası Haberleşme Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması	11
Şekil 2.2 Pasif güneş enerjili kurutucu	12
Şekil 2.3 Aktif güneş enerjili kurutucu	13
Şekil 2.4 Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucu şematik gösterimleri	14
Şekil 2.5 Tünel tipi kurutucuya yüklenen kerevetlere ait görsel.....	15
Şekil 2.6 Bantlı kurutucu	17
Şekil 2.7 Akışkan yataklı kurutucu tipi şematik gösterimi	18
Şekil 2.8 Döner tip kurutucu	20
Şekil 2.9 Elektromanyetik spektrum	28
Şekil 2.10.a. Gelişigüzel hareket eden polar moleküller, b. Elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller	30
Şekil 2.11 Biyolojik malzeme ile mikrodalga'nın etkileşimi.....	32
Şekil 2.12 Mikrodalga fırın bileşenleri	35
Şekil 2.13 Magnetron salınım mekanizması	37
Şekil 2.14 Magnetronun iç yapısı.....	37
Şekil 4.1 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	51
Şekil 4.2 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.3 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANOVA değerleri ile değişimi	53
Şekil 4.4 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 4.5 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	55
Şekil 4.6 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANOVA değerleri ile değişimi	55
Şekil 4.7 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	56
Şekil 4.8 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	57

Şekil 4.9 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	58
Şekil 4.10 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	59
Şekil 4.11 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	60
Şekil 4.12 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	60
Şekil 4.13 Başlangıç nem miktarı %20 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	61
Şekil 4.14 Başlangıç nem miktarı %20 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	62
Şekil 4.15 Başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	63
Şekil 4.16 Başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	64
Şekil 4.17 Başlangıç nem miktarı %40 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	65
Şekil 4.18 Başlangıç nem miktarı %40 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	66
Şekil 4.19 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	75
Şekil 4.20 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	76
Şekil 4.21 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	77
Şekil 4.22 420 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	78
Şekil 4.23 420 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	79
Şekil 4.24 420 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	79
Şekil 4.25 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	80
Şekil 4.26 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	81

Şekil 4.27 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	82
Şekil 4.28 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi	83
Şekil 4.29 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi	84
Şekil 4.30 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi	84
Şekil 4.31 Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	85
Şekil 4.32 Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	86
Şekil 4.33 Başlangıç nem miktarı %40 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	87
Şekil 4.34 Başlangıç nem miktarı %40 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	88
Şekil 4.35 Başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi	89
Şekil 4.36 Başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Muz örneklerinin kurutma süreleri	67
Çizelge 4.2 Muz örneklerine ait renk değerleri	68
Çizelge 4.3 Muz örneklerinin dielektrik özellikleri	72
Çizelge 4.4 Kurutulmuş muzun dielektrik özellikleri ile kurutma karakteristiklerinin korelasyon faktörleri	73
Çizelge 4.5 Kivi örneklerinin kurutma süreleri.....	90
Çizelge 4.6 Kivi örneklerine ait renk değerleri	92
Çizelge 4.7 Kivi örneklerinin dielektrik özellikleri	95
Çizelge 4.8 Kurutulmuş kivin dielektrik özellikleri ile kurutma karakteristiklerinin korelasyon faktörleri	96

1. GİRİŞ

Meyve ve sebzeler insan sağığına faydalı fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonları yerine getiren biyolojik olarak aktif bileşikleri önemli miktarlarda içerirler. Son yıllarda fonksiyonel gıda kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavrama göre gıda beslenme gereksinimlerini karşılarken aynı zamanda bazı fizyolojik faydaları da sağlayabilir (Demirbaş 2010).

Meyveler, düşük miktarda kalori ve yüksek miktarda antioksidan içermelerinden dolayı mükemmel gıdalardır (Tavarini vd. 2008). Meyve ve sebzeler; çeşitli vitaminler, mineral maddeler, fenolik maddeler ve gıda lifi bakımından zengin olduklarından önemli bir yere sahiptirler. Ancak meyve ve sebzeler günlük enerji ve protein ihtiyacına fazla katkıda bulunmazlar. Birçok meyve ve sebze, belli vitaminleri önemli ölçüde içerirler. Diğer bazıları ise, insan için alınması zorunlu mineral maddelerin ana kaynağını oluştururlar. Ayrıca meyve ve sebzeler sindirime yardımcıdırlar, içerdikleri organik asitler ve selüloz nedeniyle özellikle taze meyveler doğal laksatif bir etkiye sahiptir (Demirci 2003). Meyve ve sebzeler yenilebilirliğinin ve lezzetinin artırılmasının yanı sıra raf ömrünü uzatmak için çeşitli metotlarla işlenirler (Oey vd. 2008). Isıl işlem görmüş gıdaların besin değerlerinin taze hammaddeye oranla daha düşük olduğu uzun süredir bilinmektedir. Günümüzde tüketiciler gıda güvenliği ve kalitesine daha fazla önem vermektedirler. Bunun bir sonucu olarak birçok tüketici daha az işlem görmüş ve kalitesi korunmuş gıdalara yönelmiştir. Organoleptik özellikleri ve besin kalitesi yüksek gıda üretiminde etkili bir ısıt işlem teknolojisi geliştirebilmek için ısıt işlem uygulanan gıdaların fonksiyonel değişimlerinin geniş çapta araştırılması gerekmektedir (Roy vd. 2007).

Ülkemizde kurutulan meyve ve sebzelerimiz çok çeşitlidir. Meyvelerden; her cins üzüm, erik, kayısı, zerdali, şeftali, dut, vişne, kiraz, elma, armut, incir, sert kabuklu meyvelerden; ceviz, badem, fındık kurutulmaktadır. Sebzelerden; bamya, patlıcan, biber, fasulye, kabak, soğan, sarımsak, hemen her çeşit tat ve koku veren maydanoz, nane, kekik, defne, ıhlamur gibi bitkiler, tüm tahıllar, baklagiller, pirinç ve mısır kurutulmaktadır.

Kuru ürün seklinde ihraç edilen ürünlerin ülke ekonomisine olan katkıları şüphesizdir. Bu nedenle sebze ve meyveler için uygulanacak kurutma yöntemleri son derece önemlidir. Uygun kurutma tekniklerinin kullanılmasıyla ihracat gelirlerini arttırmak mümkündür. Günümüzde çeşitli yöntemlerle kurutma yapabilen kurutma tesisleri çeşitli bölgelerde bulunmaktadır. Bu tür tesis ve sistemlerin yardımıyla çok çeşitli meyve ve sebzeler ticari nem oranlarına düşürülmekte ve istenilen kalitede kurutma yapılabilmektedir (Kara 2008).

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1 Kivi

Ülkemizde son yıllarda yetiştirilmeye başlanan kivi meyvesi özellikle Karadeniz Bölgesi tarımında çay ve fındıktan sonra yerini almıştır. Ayrıca ülkemizde geçmiş yıllarda taneyle piyasaya sunulan kivi meyvesi kiloyla satılır duruma gelmiştir. Bunun yanında üretimin artışı bazı depolama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Taze meyve olarak tüketimin yanında farklı dayanıklı ürünlere işlenmesiyle hem tüketimin daha geniş bir alana yayılması, hem de gıda sanayinde, ticarete çeşitlilik ve katma değer artışı sağlanmış olacaktır (Demirbaş 2010).

Kivi vitaminlerce ve aromatik maddeler bakımından çok zengin bir meyvedir. Kivinin meyve bileşimindeki en önemli ve dikkat çekici unsur C vitamini içeriğidir. Bu meyveye değer kazandıran ve aranan bir ürün haline gelmesini sağlayan etmenlerin başında bu özelliği gelmektedir (Özdemir ve Özyazıcı 2006). Taze kivide (100 g) 1,0-1,6 g organik asit ve 100–400 mg C vitamini bulunmaktadır. Kivi meyvesinin C vitamini içeriği elma, portakal ve şeftali gibi meyvelerden daha fazladır (Gültaş 2007). Kivi meyvesinin glukonik, galakturonik, oksalik, süksinik, fumarik, okzaloasetik, p-kumarik asit gibi asitleri içermesinden dolayı pH değeri 3 ile 4 arasında değişmektedir (Soufleros vd. 2001). Bu yüzden kivi yüksek asitli gıdalar arasında yer almaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra, kolay muhafaza edilebilmesi, değerlendirme çeşitliliği, geniş adaptasyon kabiliyeti ve meyve etinin dekoratif görünüşlü olması nedeni ile insanlar tarafından sevilmiş ve kısa sürede kivi üretimi hızlı bir şekilde artış göstermiştir (Özdemir ve Özyazıcı 2006).

Son yıllarda kivi üretimi uluslararası pazarda da ciddi bir artış göstermiştir. Besleyici değerinin yanında sağlık açısından faydalı özellikleri üzerinde durulmaktadır. Kivi genelde taze meyve olarak tüketilmektedir. İşlemeye yönelik uygulamalar ve bu konudaki bilimsel çalışmalar yeterli değildir. Bileşimlerinde bulunan maddeler meyvelerin işlenmesiyle depolanması sırasında kolayca kayba uğrarlar. Işık, şeker ve şekerin bozunma ürünleri, oksijen gibi birçok faktör bu kaybı artırmaktadır (Cemeroğlu 2004a).

Kivi; meyve suyu, dondurulmuş gıda, şarap, reçel, marmelat, konserve ve dilimlenerek kurutulmuş ürün gibi birçok şekilde değerlendirilmekte ve ayrıca eti yumuşatma amacıyla da kullanılmaktadır. Kivi meyvesinin C vitamini ve mineral maddeler yönünden zengin olması nedeniyle gıdalara besin değerini arttırmak üzere katılmasıyla tüketici açısından daha sağlıklı gıdaların üretimi mümkün olmaktadır. Kivi, unlu mamuller, şekerli ürünler, pudingler ve pasta soslarında da kullanılabilmektedir (Özdemir ve Özyazıcı 2006). Kivi, taze olarak tüketildiği gibi kurutularak da değerlendirilmektedir (Ergün 2012).

2.2 Muz

Musaceae familyasından olan muz, esas olarak tropik bir iklim meyvesi olmasına karşın, bazı mikro-klimalarda sub-tropik iklim koşullarında da yetiştirilebilmektedir (Pınar vd. 2007). Üretim alanı genellikle Ekvatorun 30° güney ve 30° kuzey enlem dereceleri arasına yayılmış olup anavatanı Güney Çin, Hindistan ve Hindistan ile Avustralya arasında kalan adalardır (Mendilcioğlu ve Karaçalı 1980). Dünya muz üretimi yaklaşık olarak 72 milyon ton olup 17 milyon ton ile Hindistan başı çekmektedir. Hindistan'ı 7 milyon ton ile Brezilya, 6 milyon ton ile Çin takip etmektedir. Türkiye ise 135.000 ton ile dünyadaki üretimin içinde yerini almaktadır (Anonim 2005). Üretilen ürünlerin büyük çoğunluğu yine bu ülkeler tarafından ihraç edilmektedir. Muz ülkemizde Anamur, Bozyazı, Alanya, Gazipaşa ve çevresinde, Toros Dağlarının koruduğu mikro klimalarda ve sınırlı alanlarda yetiştirilmektedir. Türkiye'de muz üretiminin yoğun olarak yapıldığı yerler bu ilçeler olmasına rağmen son yıllarda diğer tarımsal ürün desenlerine göre karlılık arz ettiğinden dolayı Silifke, Erdemli, Mersin, Manavgat, Serik gibi yerlerde de örtü altında az da olsa üretim başlamıştır. Örtü altında daha uygun yetiştirme ortamları sağlandığı takdirde Adana, Hatay, Erdemli ve Antalya'nın değişik ilçelerinde ekonomik olarak yetiştirilmesi olağan gözükmemektedir (Pınar vd. 2007).

Muz; meyvesi, lifi veya yaprakları için yetiştirilen tropikal iklim meyvelerinden biri olarak bilinir (Demirel ve Turhan 2002). Meyvesi için yetiştirilen tür olan *Dwarf Cavendish* yılda 50000 ton üretilir. Tümü yerel marketlerde taze olarak tüketilir (Pekmezci vd. 1998).

Muz hem üretici hem de üretici olmayan ülkelerde çok önemli bir besin ögesi haline gelen başlıca tropikal meyvelerdendir. Muz insanların beslenmelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Buna göre muz gevreği kuru tozunun 100 gramı başına besin değeri %70 su, %23 karbonhidrat, %1.2 protein, %0.2 yağ, %2.6 hamselüloz, %3 diğerleri ve 88 kalori içerir (Elkhoreiby 2003).

Taze muz çok çabuk bozulur ve hacimlidir (Taiwo ve Adeyemi 2009). Muzun 14 °C optimum depolama sıcaklığında ortalama depolama ömrü 7 ile 28 gündür (Chia ve Huggins 2003). Bu nedenle hasat sonrasında muzun kaybını en aza indirmek için verimli, düşük maliyetli teknolojiye ihtiyaç vardır. Muzun korunması için yaygın olarak sadece hava kurutma, güneşle birlikte kurutma veya güneşte kurutma uygulanır. Korunmasının yanı sıra kurutma muza değer katar. Muz cipsi, aperatif ve eşsiz bir tadı olan gevrek gibi tüketilen ve kahvaltılık tahıllarda bir bileşen olan katma değerli bir üründür. Muz bu şekilde ürün olarak tüketilebilir veya tatlandırıcı ile kaplama, yağda kızartma gibi daha fazla işlenebilir (Hermann 1997).

Gıda bilim adamları gıdanın nemini %10-20 arasına düşürerek gıdanın bakteri, maya, küf ve enzimler tarafından bozulmasından tamamen korunduğunu bulmuşlardır. Gıdaların kurutulması, gıdanın rengi, yapısı ve aromasının ciddi olarak etkilenmediği bir sıcaklıkta nem miktarının mümkün olduğu kadar hızlı olarak uzaklaştırılmasıdır. Eğer sıcaklık başlangıçta çok düşükse, gıda yeterince kurumadan önce mikroorganizmalar gelişebilir. Eğer sıcaklık çok yüksekse ve nem çok düşükse, gıda yüzeyinde sertleşme olabilir. Güneş kurutucular için önerilen sıcaklık 43°C civarı olmasına rağmen, etkin biçimde bakterileri öldürmek ve enzimleri inaktive etmek için gerekli kurutma sıcaklığı 37°C ve 71°C aralığında değişmektedir. (Kendall ve Allen 1998). Tropikal meyvelerin kurutulmasıyla ilgili piyasa değerlerini ve genel kabul edilebilirliğini azaltan ortak problemlerden bazıları hücrelerin küçülmesi, esmerleşme, rehidrasyon özelliğini kaybetme, ıslaklık ve sertleşme durumudur (Dalglish ve Andy 1988, McMinn ve Magee 1997, Singh vd. 2008).

Gıdaların korunmasında en eski koruma metodu olan geleneksel sıcak hava kurutma muz için yaygın olarak uygulanır (Pan vd. 2007).

Muzdaki yüksek şeker içeriği nedeniyle, bunların kurutulması normal olarak yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre gerektirir, kuruma süresi, son ürünün besin değeri, tekstürü, rengi ve aromasında ciddi olumsuz değişikliklere neden olabilir (Maskan 2000). Sıcak hava kurutmanın en önemli dezavantajları azalan hız dönemi boyunca düşük enerji verimliliği ve uzun kurutma süreleridir.

2.3 Kurutma

İnsanların beslenmesinde önemli yere sahip olan tarımsal ürünler, üretimden tüketime kadar çeşitli kayıplara uğramaktadırlar. Örneğin tahıllarda, hasattan kullanıma kadar meydana gelen kayıplar yıllık tahıl üretiminin %10'unu, kuru ot üretiminin ise %28'ini oluşturmaktadır. Meyve ve sebze üretimindeki kayıplar ise yıllık üretimin %35-40'ına ulaşmaktadır. Dünya toplam üretim rakamlarının büyüklüğü göz önüne getirilirse bu kayıpların ne kadar büyük değerlere ulaştığı anlaşılabılır. İnsanlık için besin maddelerinin yitirilmesinden ötürü karşılaşılan zararın yanı sıra, üreticinin ekonomik açıdan uğradığı kayıplar da küçümsenemeyecek boyutlara varır. Üretimden tüketime aktarılabilecek besin maddeleri miktarının en yüksek düzeyde kalmasını sağlamak amacıyla uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu uygulamalar tarladan sofraya kadar olan büyük bir alanı kapsamaktadır.

Tarımsal ürünlerin korunması ve kullanılabilir ekonomik ömürlerinin artırılmasında uygulanabilecek çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler;

- Pastörize (mikroorganizmaları yok etme veya geliştirmelerini durdurma)
- Soğutma (solunum miktarını azaltma)
- Atmosfer kontrolü (ürünün etrafındaki atmosfer koşullarında O₂ oranını azaltıp, CO₂ oranının artırılması)
- Kimyasal uygulamalar (propionik, asetik ve formik asit gibi organik asitler ve amonyak gibi maddelerin ürünlerin kurutulmasında kullanılması)
- Beta ve Gamma ışınları (bu ışınlarla mikroorganizmalar iyonlaştırılır veya öldürülür)
- Kurutma (ısı ve hava hareketi yardımıyla nemin uzaklaştırılması)'dır (Alibaş 2001).

Gıdaların kurutularak saklanması yöntemi insanların doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Meyve ve sebzeler bünyelerindeki fazla sudan dolayı uzun süre saklanamazlar. Çünkü fazla su, besinleri bozan mikroorganizmaların üreyip yaşaması için elverişli bir ortamdır. Bu zararlı ortamın yok edilmesi ancak meyve ve sebzelerin bileşimlerindeki fazla suyun uzaklaştırılmasıyla yani o besinlerin kurutulmasıyla mümkündür.

Kurutmanın yararlarını şöyle sıralayabiliriz;

- ✓ Kurutulan meyve ve sebzelerin hacimleri küçüleceği ve ağırlıkları azalacağı için ambalaj masrafları düşer, taşınmaları kolay olur,
- ✓ Kuru meyve ve sebzelerin kullanılma alanı daha geniştir,
- ✓ Kuru meyve ve sebzelerin raf ömürleri yaş meyve sebzelerden daha uzundur,
- ✓ Kuru meyve ve sebzeler konserve meyve ve sebzelerden daha ucuza mal olur,
- ✓ Kuru meyve ve sebzelerin besin ve kalori değeri aynı miktarlarda yenilen yaş meyve sebzelerden daha yüksektir (Kara 2008).

2.3.1 Kurutma işleminin tarihçesi

İnsanoğlu yıllarca değişik amaçlar doğrultusunda sürekli bir şeyleri kurutma uğraşı vermiştir. M.Ö. 20000 yıllarında Rusya’da, et dilimlendikten sonra güneşte kurutulmuştur. M.Ö. 10000’li yıllarda deniz suyunun güneşte kurutulması ile tuz elde edilmiştir.. Antik Mısır’da M.Ö. (2800–2300) elma, üzüm ve kayısı gibi meyveler güneş altında kurutulmuştur. Kurutma temelde çok eskilere dayanmasına karşın, esas olarak teknolojinin de gelişmesine paralel olarak 20. yüzyıldan sonra endüstriyel anlamda ortaya çıkmış bir süreçtir. Hızla gelişmekte olan kurutma süreçleri, 1960’lı ve 1970’li yıllardaki Ortadoğu krizi ile birlikte fırlayan enerji maliyetleri yüzünden durağan bir hale girmiş ve endüstriyel süreçler arasındaki liderliğini kaybetmiştir. Artan enerji maliyetleri endüstriyel süreçlerin maliyet analizlerinin yapılmasına yol açmıştır (Traub 2004).

Gıdaların kurutulması ile ilgili bilinen ilk kayıtlar 18. yüzyıla aittir. Daha sonraki dönemlerde Dünya’da çıkan savaşlar nedeniyle, kurutma endüstrisi gelişmeye

başlamıştır. İngiliz süvari birlikleri 1854–1856 yılları arasında Kırım’da iken, ülkelerinden kurutulmuş sebzeleri beraberlerinde getirmişlerdir. Boer Savaşı (1899–1902) süresince kurutulmuş sebzeler gemilerle Kanada’dan Güney Afrika’ya nakledilmiştir. Yine Birinci Dünya Savaşı süresince 4500 ton kurutulmuş sebze gemilerle taşınmıştır. 1919’lu yıllarda Amerika’da taze fasulye, lahana, havuç, kereviz, patates, ıspanak, tatlı mısır, şalgam ve çorbaya konulan sebzeler kurutularak işlenmeye başlamıştır (Vega-Mercado vd. 2001).

Bugün kurutulmuş ürünler taze ürün pazarına etkili bir alternatif olmuştur. Ülkemizde kurutularak değerlendirilen ürünlerin %63’ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve tüm ihracat gelirimizin %80’ini oluşturmaktadır. Kurutulmuş ürünler gerek kurutulmuş olarak tüketilmekte, gerekse hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Dünya’da kurutulmuş ürün üretimi her geçen gün artmakta olup, bu üretimin büyük bölümü ABD (297,557 ton) ve Türkiye’de (190,000 ton) gerçekleşmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya’da 7.6 milyar dolar (1998’den bu yana) ve Çin’de 800 milyon dolar (1990’ların başından bu yana) olarak belirlenmiştir. Bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artarak koruması beklenmektedir (Erbay ve Küçüköner 2008).

2.3.2 Kurutma yöntemleri

2.3.2.1 Doğal kurutma

Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yöntem "doğal kurutma" denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, önemli dezavantajlardır. Gıdaların doğal kurutulması için geniş alanlara gereksinim vardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle %15 su oranından daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Soysal 2004).

Adom vd. (1997) yapmış oldukları çalışmada, farklı 3 dilim kalınlığı için (5.0-10.0 ve 15.0 mm) bamya numunesinin güneşte kurutulması sırasında viskozite, mikrobiyal aktivite, toplam vitamin C değeri ve kül miktarı değerlerinin değişimlerini gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, 96 saat süren güneşte kurutma işlemi sonucunda, dilim kalınlığının; toplam vitamin C, viskozite, renk değişimi ve mikrobiyal aktivite üzerinde etkili olduğu, bunun yanında, toplam kül miktarını etkilemediği görülmüştür.

2.3.2.2 Yapay kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine "yapay kurutma" denir. Bu tanımda, yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir bölümünün ürünün özelliklerinde önemli değişiklikler yapmaksızın uzaklaştırılması kavramı yatmaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki başlıca ölçüt, kurutulmuş gıdaların rehidratasyonu halinde eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidratasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar önemsiz olmasıdır (Teymur 1999).

2.3.3 Kurutma işleminin prensipleri

Genel bir ifadeyle kurutma; ürünlerin içerdiği nemin, belli bir amaca bağlı olarak, belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılarak üründen alınmasına denir (Karaaslan ve Tunçer 2009).

Bir katı maddenin kuruması esnasında aynı anda iki işlem gerçekleşmektedir;

- Sıvının buharlaştırılması için ısısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi,
- Sıvı ve buhar geçişini içeren nem transfer işlemidir.

Gerekli olan ısı aşağıda sıralanan yöntemlerle verilebilir:

Isı iletimi (Kondüksiyon) : Kurutulacak olan gıda maddesi, ısı üreten kaynağa temas ederek gıdanın içerisindeki nemin buharlaştırılması için gerekli ısı gıda maddesine

taşıyarak kurutma sağlanır. En yaygın kullanılan sistem ise valsli (silindirik) kurutuculardır (Günerhan 2012).

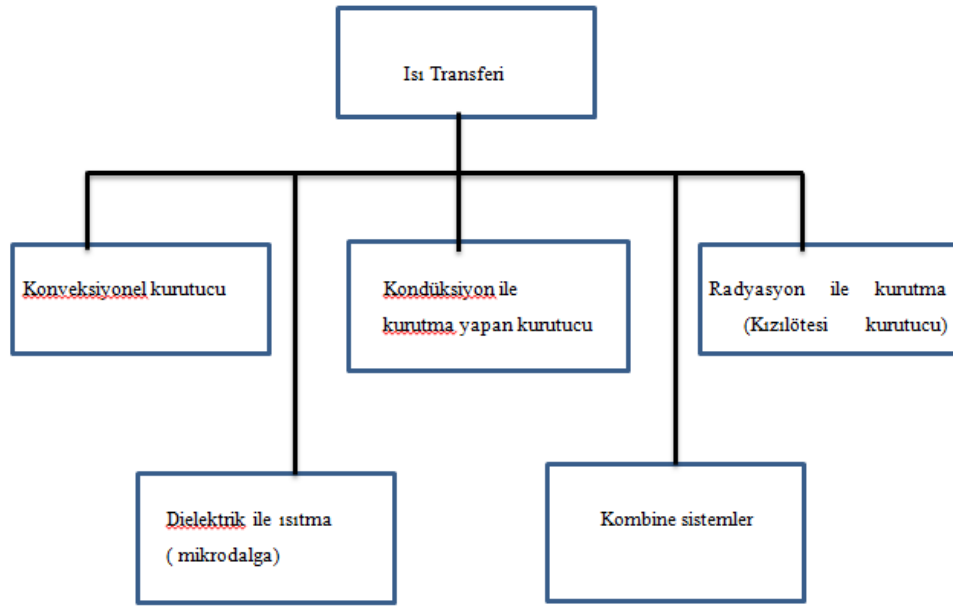
Isı taşınımı (Konveksiyon): Konveksiyonel kurutmada suyun buharlaştırılması için gerekli ısı hava vasıtası ile taşıyarak kurutma sağlanır. Bu yöntem sıcak hava kurutma yöntemi olarak da bilinmektedir. Hava ile gıda ürünü arasında ısı ve nem transferi birlikte gerçekleşir (Nasıroğlu 2007). En yaygın kullanılan sistemleri ise tünel kurutucular, akışkan kurutucular, püskürterek kurutanlar olup cihazın seçiminde kurutulacak olan gıda ürününün nitelikleri önem taşımaktadır (Günerhan 2012).

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak gıda maddesine ısı bir taşıyıcıya gerek olmadan gıda içerisindeki nemin uzaklaştırılması radyasyon kaynağı ile gerçekleştirilmektedir. Radyasyon kurutmada ile mikrodalga dielektrik veya infrared (IR) gibi elektromanyetik enerji çeşitlerinden faydalanılmaktadır (Nasıroğlu 2007).

Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler; ortam sıcaklığı, ortamdaki havanın nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınç olarak sıralanabilir (Anonymous 2004, Decareau 1985).

2.3.4 Endüstriyel kurutucu tipleri

Gıdaların kurutulması, ısı, kütle ve momentum transferini kapsayan karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Gıdaların tazeliklerini ve besin değerlerini koruyarak uzun süre saklanabilmesi açısından, kurutarak saklama yöntemi, diğer saklama yöntemlerine göre %10 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Endüstride 200'e yakın kurutucu kullanılmasına rağmen, bunlardan 20 kadarı gıdaların kurutulmasına elvermektedir (Baker 1997, Fellows 2000).



Şekil 2.1 Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması (Baker 1997)

Kurutucuların diğer bir sınıflandırılma çeşidi ise; operasyon cinsine göre (kesikli ve sürekli) olarak yapmak mümkündür. Kesikli reaktörler, küçük ölçekli (<50 kg/saat) durumlarda kullanılır. Ancak, her kurutucunun kesikli olarak kullanılması mümkün değildir. Özellikle sprej, fırın ve döner kurutucuların kesikli olarak kullanılmaları mümkün değildir. Bunun yanı sıra, akışkan yataklı sistemler, mikrodalga fırınlar ve konveksiyonel fırınların hem kesikli hem de sürekli olarak kullanılmaları mümkündür (Fellows 2000, Baker 1997).

Kurutucuların modellenmesi sırasında pek çok kademe ve işlem bulunmaktadır. Ancak, uygun olan proses parametrelerinin belirlenmesi sırasında, kurutulacak olan gıdanın içeriğinde bulunan besinlerin (proteinler, vitaminler, mineraller vb.) bozunmasına neden olabilecek sıcaklığın aşılmasına özen gösterilmelidir (Baker 1997).

Geleneksel yöntemlerle kapalı bir alan dolusu hava kurutma işlemi için bir miktar nem tutabilir. Uzaklaştırılmak istenen nem miktarı bunun üstündeyse geleneksel yöntemlerde ortam ısısını yükseltmek ya da ortamı havalandırarak nemli havanın dışarıdan gelen kontrolsüz havayla yer değiştirmesi sonucu oluşan farktan yararlanmak gibi alternatifler değerlendirilir. Çoğu proses de geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha ekonomik

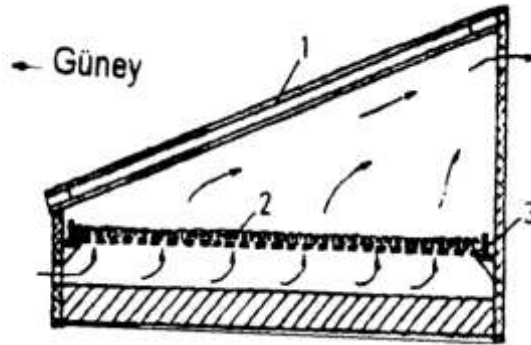
kurutma yapılması gereklidir. Bu sebeple kurutulmak istenen ürüne göre birçok kurutucu tipi devreye girer (Kartal 2011).

Akosman ve Kalender (2004), soya fasulyesinin tepsili konveksiyon tip kurutma yöntemiyle kurutma karakteristiğini araştırmışlar. 30-50 °C kurutma sıcaklığı ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kurutma hava hızlarında kurutma denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Kurutma hızının, hava hızı ve kurutma sıcaklığının yükselmesiyle arttığı görülmüştür.

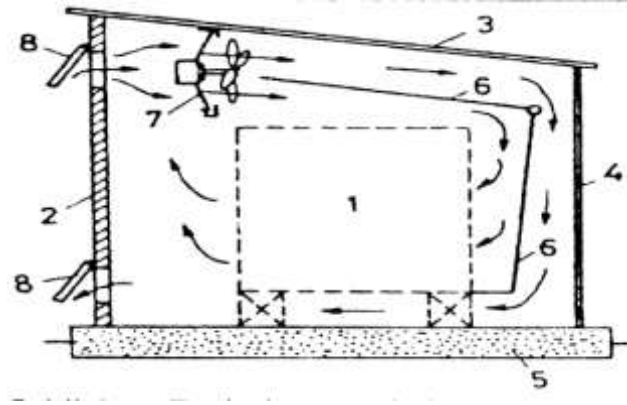
Yaygın olarak kullanılan kurutucu tipleri şöyle sıralanabilir:

Güneş enerjili doğal kurutucular

Bu tip kurutucular her hangi bir yardımcı enerji kaynağına gereksinim göstermediği için rahatlıkla kırsal kesimlerde kullanılırlar. Bu kurutucular kendi aralarında aktif ve pasif kurutucular olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Zhang vd. (2006)'nin çalışmalarında da tespit edilen **pasif tiplere**, şekil 2.2'de de örnek olarak görülebileceği gibi güneş kabinleri, çadır veya seraları, **aktif tiplere** ise güneş pilli bataryalar veya rüzgar enerjisi ile çalışan fana sahip olan kurutucu tiplerini gösterebiliriz (Kartal 2011, Şekil 2.3).



Şekil 2.2 Pasif güneş enerjili kurutucu (Zhang vd. 2006)



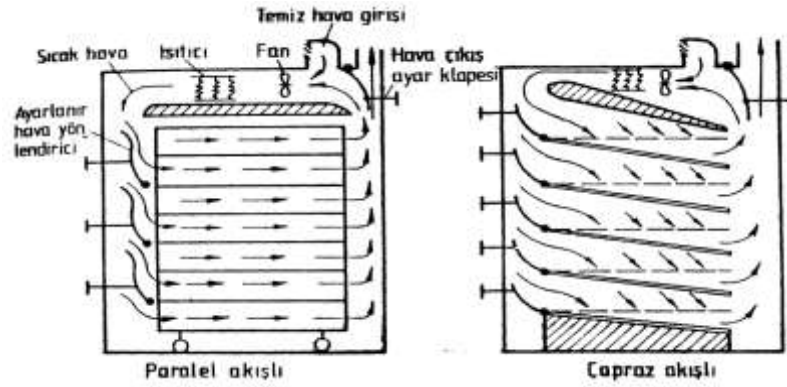
Şekil 2.3 Aktif güneş enerjili kurutucuya fanlı tip örneği (Zhang vd. 2006)

Kabin tipi kurutucu

Kurutulacak ürün, tabanı delikli veya ızgaralı tepsilere serildikten sonra, kabin içindeki raflara yerleştirilir. Kuru hava bu odalara fan yardımıyla verilir. Raflar ve tepsiler havanın dolaşımını engelleyemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gıdaların yüzeyini dolaşan hava aldığı nemle birlikte dışarı atılır. İnsan faktörü göz önünde bulundurularak doldurma ve boşaltmalarda zamandan ve iş gücünden tasarruf etmek için arabalı sistem yapılabilir. Kabin tipi kurutucular, kurutma havasının, kabin içinde dolaşımı sırasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak paralel ve çapraz akışlı olmak üzere farklı tiplerde tasarlanabilir (Şekil 2.4). Paralel akışlı kabin kurutucular hassas ürünler için kullanılır (Kartal 2011).

Şahin (2010), dört farklı kurutma yönteminin uygulandığı domateslerde karşılaştırmalar yapmıştır. Bu kurutma yöntemleri; güneşte kurutma, sıcak havalı kabin tipi kurutucuda kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutmadır. Kurutma uygulamaları, hem önışlemsiz, hem de önışlemliler olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde önışlem uygulaması olarak domatesler önce bütün halde %2 etil oleat+%4 potasyum karbonat karışımına daldırılmış, daha sonra dilimlenen domatesler iki gruba ayrılmış, bir grup %1 sitrik asit+%1 askorbik asit karışımına, diğer grup ise %2 sodyum metabisülfite çözeltisine daldırılmıştır. Hem kurutulmuş domateste, hem de taze domateste kaliteyi ve besin içeriklerini belirleyici çeşitli analizler yapılmıştır (renk ölçümü, toplam kuru madde içeriği, suda çözünür kuru madde içeriği, indirgen şeker, toplam şeker içeriği, pH, titrasyon asitliği değerleri, HMF içeriği, sodyum ve potasyum

içeriği, askorbik asit, likopen değerleri, su aktivite değerleri). Sonuç olarak önışlem uygulamalarının kuruma sürelerini oldukça kısalttığı saptanmıştır. En yüksek parlaklık değeri dondurarak kurutulan domatestede, en iyi kırmızılık değeri ise güneşte kurutulan domatestede saptanmıştır. Sodyum metabisülfite uygulaması bu iki değeri önemli ölçüde yükseltmiştir. Kırmızılık açısından güneşte kurutulan domatestede en yakın değerler 65°C sıcaklık 1.5 m/s hava hızında kurutulan domatestede görülmüştür. Dondurarak kurutma birçok kriter açısından en iyi sonuçları vermiştir. En yüksek askorbik asit, potasyum, likopen gibi besin değerleri bu yöntemle kurutulan domatestede saptanmıştır. Sıcak havalı kurutmada sürenin uzaması ve kurutma sıcaklıklarının yükselmesi likopen miktarlarında azalmalara neden olmuştur.



Şekil 2.4 Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucu şematik gösterimleri (Zhang vd. 2006)

Tünel tipi kurutucu

Kabin tipi kurutucuların geliştirilmiş şekilleridir. Kabin tipi kurutuculardan en önemli farkı, kerevet (raf) istiflerden oluşan arabaların bir tünel boyunca raylar üzerinde hareket etmesidir. (Şekil 2.5’de görüldüğü gibi) Ürün, kerevetler üzerinde üst üste dizilir ve bu kerevetler bir vagon içinde tünelin bir ucundan girer, diğer ucundan çıkıncaya kadar ters akım prensibine göre üflenerek sıcak hava akımı ile kurutulur (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996).

Tünel kurutma farklı boyutlarda ürünlerin aynı kurutma cihazı içerisinde kurutulmasına olanak sağlayan kurutma tiplerinden biridir. Tünel kurutma kanallarında sıcak havayı kurutma kanallarının içinde homojen olarak dağıtmak amacı ile belirli açılarda dönen ve

sayıları kurutmanın kapasitesine göre belirlenen sabit sirkülasyon fanları bulunmaktadır (Basunia ve Abe 2001).



Şekil 2.5 Tünel tipi kurutucuya yüklenen kerevetlere ait görsel (Sunjka ve Raghavan 2008)

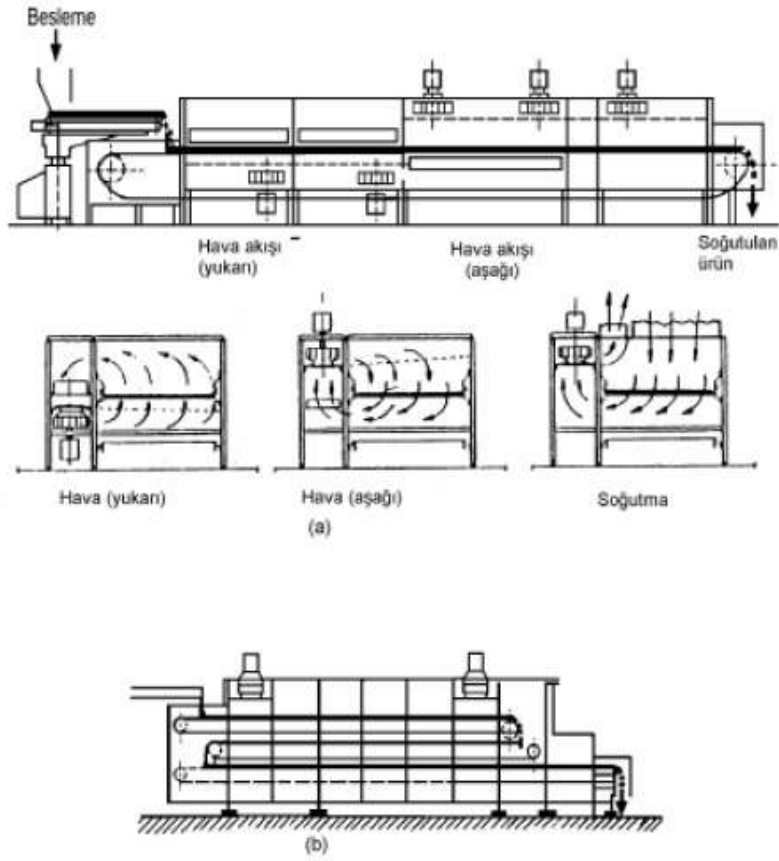
Davoodi vd. (2007), farklı kurutma metotlarının ve önışlemlerin, domates tozunun depolanması ve kalite karakteristikleri üzerine etkisini incelemişler, önışlem uygulaması olarak kalsiyum klorid, potasyum metabisülfid, kalsiyum klorid + potasyum metabisülfid ve sodyum klorid kullanmışlardır. Kurutma ortamı olarak güneşli kurutucu ve tünel tipi kurutucu kullanmışlardır. Tünel tipi kurutucuda 65°C hava sıcaklığı ve 1 m/s hava hızı uygulamışlardır. Ayrıca kurutma işlemlerinden sonra, farklı tiplerde paketleme materyalleri kullanarak 6 aylık bir depolama yapmışlardır. Kurutma uygulamalarının, nem içeriğı, şeker, titrasyon asitliğı, likopen içeriğı, rehidrasyon oranı, dehidrasyon oranı ve enzimatik olmayan kahverengileşme gibi kalite karakteristiklerini nasıl etkilediğini saptamışlardır. Sonuç olarak, kuru ürün kalitesi üzerine en koruyucu etkiyi kalsiyum klorid+potasyum metabisülfid kombinasyonunun sağladığını, tünel tipi kurutucuda kurutulan örneklerin; likopen içeriğı, kahverengileşme indeksi, rehidrasyon oranı ve dehidrasyon oranı açısından daha yüksek kalitede olduğunu saptamışlardır. 6 aylık depolama sonucunda en fazla likopen kaybı ve en fazla kahverengileşme, önışlemsiz örneklerde görülmüştür.

Düşük sıcaklıklı fırın kurutucu

Tuğladan yapılan bu fırınların çoğu, daire biçimindedir. Çapları 6 m kadar olan fırınlar, konik biçimi andırır. Kurutulacak ürün, fırının tabanına yayılır, 65°C'ı aşmayan sıcak hava vantilatörlerle fırın içinde dolaştırılır. Hava genellikle buhar dolu borularla ısıtılır. Bu fırınlar ahşap ya da betondan da yapılabilir. Şerbetçiotu vs gibi açık havada kurutulan, hassas ürünlerin kurutma süresini belirli ölçülerde kısaltmak için uygun kurutuculardır (Kartal 2011).

Bantlı kurutucu

Bantlı kurutma sistemi kurutma ve soğutma işlemlerinde kullanılır. Diğer hareketli sistemlere nazaran ürünün şeklinin önemli olduğu kurutma işlemlerinde seçilen bir kurutucu tipidir (Şekil 2.6). Şerit ve küp gibi belirli şekli olan ürünlerin kurutulmasında bantlı kurutucu kullanmak gerekebilir. Sistem kurutulacak ürünün bant üzerinde hareket ederken sıcak hava ile temas etmesi sonucu ürünün suyunun uzaklaştırılması prensibiyle çalışır. Ürünler sürekli kurutucu içinde dolaştığından sabit kurutma sistemlerinden daha düzgün bir kuruma sağlanır. Bantlı kurutucularda birden çok bant olabileceği gibi banttan banda düşmelerde problem yaşanan ürünlerde (kabuklu ürünler örn. domates) sistem tek bantlı olabilir. Basit olarak kuru ve sıcak hava giriş bölümü, nemli hava çıkış bölümü ve taşıyıcı banttandır. Gıda maddelerindeki kullanımıyla genelde %80 nem içeriği oranlarından %10 nem içeriği oranlarına geçişi sağlayan basit sistemlerdendir (Basunia ve Abe 2001).



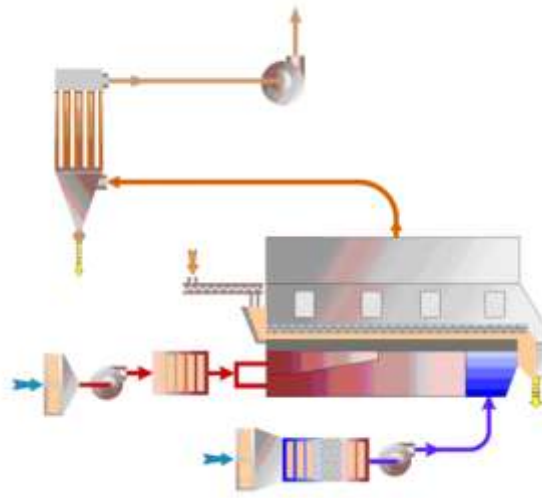
Şekil 2.6 Bantlı kurutucu (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996)

Bantlı kurutucu sisteminin üstünlükleri, konveyör kullanımıyla çeşitli şekilde alanlarda en yüksek alan kullanım performansını yakalamasıdır kurutma sistemi olarak çok büyük değişiklik göstermezler. Konveyörler sayesinde çeşitli şekillerde alanda dolaşan ürünün daha uniform kuruması sağlanır (Sunjka ve Raghavan 2008).

Akışkan yataklı kurutucu

Akışkan yataklı kurutucunun prensibi; havanın, ürün partikülleri arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla zorlanarak, partikülleri havada askıda tutmasıdır. Ürün, kurutma işlemi süresince havada askıda kalmakta ve aynı zamanda yatay olarak hareket etmektedir. Islak (yüksek nemli) besleme yatağa yapılır. Kuru ürün ise alt kenardan alınır. Şekil 2.7’de bir akışkan yataklı kurutucu tipi gösterilmektedir.

Ufak parçacıklar alttan gönderilen gazın çıkıştaki kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılır. Eğer kuru üründe ufak parçacıklar varsa bu beslemeden ya da kırılmalardan dolayı olabilir, önemli miktarda katı çıkış gazı ile taşınabilir. Ürün kaybını engellemek için siklonlar ve filtreler kullanılır. Çıkan küçük parçacıkların geri kazanımı siklon ve filtreler sayesinde yapılır. Genel olarak, bu uygulama sonunda ürünün nem içeriği oldukça düzgün bir dağılım gösterir. Partikülleri havada askıda tutmayı sağlayan hava hızları, üründen ürüne özellikle de partikül büyüklüğüne ve ürün yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Genel olarak hava hızları 0,05 m/s ile 0,75 m/s arasında değişmektedir (Yaldız vd. 2001).



Şekil 2.7 Akışkan yataklı kurutucu tipi şematik gösterimi (Yaldız vd. 2001)

Kolayca akışkanlaştırılamayan ürünler için, tasarımda taşıyıcının titreşimli olması gibi değişikliklere gidilebilir. Böylece, havada parçacık süspansiyonunun oluşmasına ve hatta daha düşük hava hızlarının kullanımına olanak sağlanır.

Akışkan yatak kurutucular granül yapılı maddeler (parçacık büyüklüğü 1-2 mm) için uygundur. Hızlı ve üniform ısı transferi, kısa kurutma süresi, kurutma kontrolü, taban alanı küçüklüğü açısından avantajlıdır. Güç gereksinimi diğer kurutuculara göre azdır. Bu avantajlara rağmen ilk yatırım maliyetleri sebebiyle çok tercih edilen bir kurutucu çeşidi değildir (Kartal 2011).

Burande vd. (2008), bezelyeleri 60–100°C hava sıcaklıkları arasında ön işlem uygulanarak (sıcak su ile haşlanarak ve kimyasal çözeltiler) bir akışkan yataklı kurutucuda kurutmuşlardır. Bu işlemten sonra rehidrasyon oranı, renk, doku ve görünüm gibi ürün kalite parametreleri belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Tüm proses değişkenlerini içeren ikinci dereceden polinom denklem kullanılarak prosesi ve ürün özelliklerini modellemişlerdir. Rehidrasyon oranı; ısıtma işlem süresinden, sıcaklıktan ve birim alan kütlesinden etkilenmiştir. Ön işlem, renk ve dokuyu önemli ölçüde etkilemiştir. Sonuç olarak, akışkan yatakta bezelye kurutma prosesi için en uygun kurutma havası sıcaklığı 79,4°C, en uygun ısıtma işlem süresi 35,8 dakika, en uygun birim alan kütlesinin 6,8 g/cm³ ve en uygun ön işlem çözeltisinin %2,5 NaCl ve %1 NaHCO₃ ile muamele olduğu belirtilmiştir.

Pnömatik kurutucu

Yüksek sıcaklık ve ürün tanecik yapısının fiziksel olarak değişmesinin problem oluşturmadığı durumlarda kullanılır. Kurutma bir kırıcı içerisinde ürünün mekanik ve pnömatik işlemle kırılarak ve ardından kurutulacak ürünün boru içerisinde pnömatik taşınmasıyla sağlanmaktadır. Son ürün toz halindedir. Ürünün çok kısa bir sürede kurutulması sebebiyle yüksek sıcaklıkta ürünün içyapısı minimum zarara uğramaktadır. Çok kısa sürede yüksek sıcaklıktan geçirildiği için sterilizasyon amaçlı olarak da kullanılabilir (Souraki ve Mowla 2008).

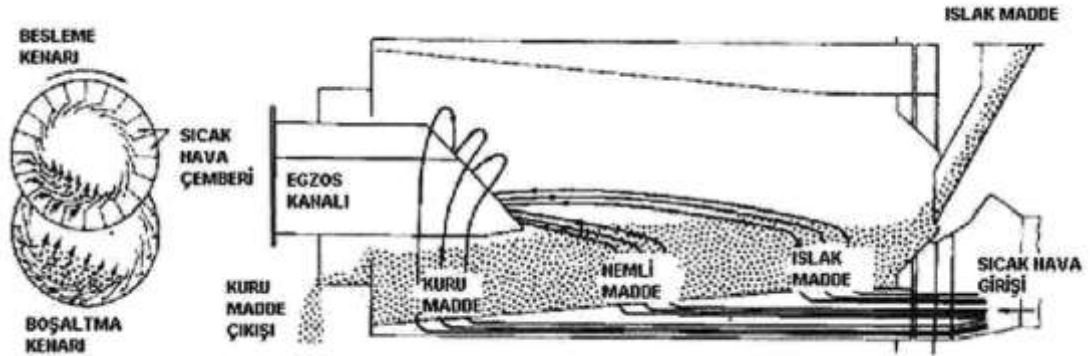
Püskürtmeli kurutucu

Püskürtmeli kurutucularda kurutulacak olan ürün, yüksek sıcaklıktaki akışkan içine (kurutma ortamı) pompalanarak fazla suyu uzaklaştırılır. Bu işlemde yüzey alanının artırılması kurutmanın etkinliğini arttıran ana etken olarak gözükmektedir. Ürün besleme, sıcak hava sistemi, atomlaştırıcı, toz ayrıştırma ve soğutma bölümleri püskürtmeli kurutucuların ana bölümlerini oluşturur. Filtre edilmiş hava 200°C'lere kadar ısıtılır. Atomize edilmiş (çok küçük zerrecikler haline getirilmiş) kurutulmak istenen ürün bu sıcak kurutma ortamına girerek hızlıca nemini kaybeder. Kuruyan parçacıklar genelde kurutma ortamının tabanına düşer ve buradan pnömatik sistemlerle

soğutma ünitesine taşınır. Daha küçük zerrecikler kurutma ortamı içerisinde askıda kalabilirler bunlar da havanın dışarı verilmeden filtre edilmesiyle geri kazanılabilir. Hızlı kurutma sayesinde son ürün kalitesi oldukça yüksektir. Son ürün olarak toz ürünlerin istendiği işlemlerde tercih edilir ancak kurulum maliyeti yüksek bir sistemdir. Başlıca süt, yumurta, bebek maması gibi hassas ürünlerin kurutulmasında kullanılır (Togrul 2005).

Döner kurutucu

Geniş çaplı uzun silindirik bir boru şeklinde olan kurutma ortamı ve ürünün boru içinde hareketini kolaylaştırmak için bu silindirik boruya gerekli açığı veren ayarlanabilen ayaklardan oluşan bir kurutucu sistemidir (Şekil 2.8). Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilir (Zhang vd. 2006).



Şekil 2.8 Döner tip kurutucu (Zhang vd. 2006)

İletimli (Temaslı) kurutucu

Isıtma gaz yardımıyla değil yüzey ısıtması olarak yapılır. Ürün ve ısıtma yüzeyi birbirine temas halindedir. Bu nedenle yanmayı önlemek için gerekli önlemlerin alınması gerekir. İnce katmanlı ürünlerin kurutulması için uygun sistemlerdir (kağıt gibi) yine de üniform kurutmanın gerçekleştirilmesi ve hızlı kurutma yapılması zor olan kurutucular olduğu için kullanımları sınırlıdır (Prabhanjan vd. 1995).

Vakum Kurutucu

Bu yöntemde kurutma bölmesindeki basınç normal atmosfer basıncının altında bir değere düşürülmüştür. Vakum ne kadar arttırılırsa o kadar düşük sıcaklıkta kurutma sağlanabilecektir. Bu yöntemle ısı değişimine karşı çok hassas olan gıdalar da kısa sürede besin kaybı yaşamadan kurutulabilir (Arslan ve Özcan 2008).

Wu vd. (2007), patlıcanın vakumla kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları bir çalışmada, 45x25x20 mm boyutlarında dikdörtgen seklinde dilimlenmiş patlıcanları üç farklı vakum basıncında (2,5, 5,0 ve 10 kPa) ve üç farklı kurutma havası sıcaklığında (30, 40 ve 50 °C) kurutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; vakum basıncının, kurutma işleminde önemli bir etkiye sahip olmadığını, kurutma sıcaklığının ise kurutma işleminde önemli derecede etkili olduğunu, sıcaklığın artmasıyla patlıcanların kuruma süresinin önemli ölçüde kısaldığını tespit etmişlerdir.

Cui vd. (2008), havuç ve elma cipslerini mikrodalga-vakum kombinasyonlu ve dondurarak kurutmuşlardır. İlk mikrodalga vakum kurutma ile serbest suyun çoğunu atıp sonra %7 den daha az neme kadar dondurarak kurutmuşlardır. Bu ürünlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini değerlendirmişler ve sonuçları her bir kurutma şekli için karşılaştırmışlardır.

Cui vd. (2003), sarımsağın mikrodalga-vakum kombinasyonlu ve sıcak hava ile kurutulmasını araştırmışlardır. Numune mikrodalga vakum kombinasyonunda %10 nem içeriğine kadar ve sonra geleneksel sıcak hava kurutmada 45°C’de %5’den daha az bir nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Renk, yapı ve rehidrasyon oranı bu metod ile kurutulan sarımsak dilimleri için değerlendirilmiş ve dondurarak kurutma ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmada sarımsak dilimlerinin kalitesinin dondurarak kurutmadan daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucu

Şoklama, hassas ürünlerin (eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılar, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt gibi) kurutulması için kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırıcı veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı iletilir (genelde kızılötesi ışınlama), uzaklaştırılmak istenen uçucu (genelde su) gaz haline gelir, yoğunlaşır veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurarak kurutma işlemi, düşük basınç altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur (Won vd. 2004).

Chang vd. (2006), taze domates, dondurularak kurutulmuş domates ve sıcak hava ile kurutulmuş domatesin antioksidan özelliklerinin karşılaştırılması üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında iki çeşit domates kullanmışlar, ürünü önce yıkamışlar ve 10x10x10 mm³ büyüklüğünde küp şeklinde kesmişlerdir. Yöntemler için 5 kg ürün kullanmışlardır. Dondurarak kurutmayı -50°C’de, 24 saat süre ile donmalı kurutucuda, sıcak havalı kurutmayı da fırın ortamında 80°C’de 2 saat, daha sonra 60°C’de 6 saat süre ile gerçekleştirmişlerdir. Kurutma işlemlerinden sonra ürünleri toz haline getirmişler, paketlemişler ve kullanıma kadar -40°C’de depolamışlardır. Yapılan analizler sonucunda sıcak hava ile kurutulan örneklerde, kurutulmamış domates ve dondurarak kurutulmuş domatese göre likopen, flavonoid ve fenolik içeriğinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Sonuçlar kurutma işlemlerinin domatesin besin değerini arttırabileceğini göstermiştir.

Huang vd. (2009), elma dilimlerinin dondurarak kurutulmaları sırasındaki enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yaptıkları çalışmalarında, dondurularak kurutulan ürünlerin diğer yöntemlerle kurutulan ürünlere göre şekil, renk, tat ve rehidrasyon kapasitesi gibi özellikler bakımından çok daha üstün olduklarını belirtmişlerdir. Fakat, dondurarak kurutma esnasında enerji tüketiminin çok daha yüksek olması sebebiyle, dondurarak kurutmadan önce veya sonra uygulanacak olan mikrodalga-vakum kurutma metodu ile enerji tüketiminin azaltılmasını amaçlamışlardır. Elma dilimlerini ilk olarak

8,28 saatte dondurarak kurutmuşlar, ardından bu dilimleri mikrodalga-vakum kurutma yöntemiyle kurutarak enerji tüketiminden %39,2 oranında tasarruf elde etmişlerdir. Elma dilimlerinin 6 saat süresince dondurarak kurutulması ve ardından mikrodalga-vakum yöntemiyle kurutulması sonucunda da enerji tüketiminden %54,02 oranında tasarruf sağlamışlardır.

Ozmotik Kurutucu

Ozmotik kurutma özellikle meyve ve sebze gibi ürünlerin, konsantre çözeltiler içinde sularının uzaklaştırılması işlemidir. Ozmotik kurutmada; aynı anda üründen çözeltiye doğru olan su akışı, çözeltiden ürüne (herhangi bir besin ögesi, koruyucu ya da duyuşsal kalite geliştiriciyi ürüne katmayı sağlamak için) çözünen aktarımı ve ürüne ait çözünenlerin çözeltiye geçmesi gibi üç farklı kütle aktarımı oluşur. Ürüne ait çözünenlerin çözeltiye geçmesi, su kaybı ve çözünen kazancının yanında nicelik bakımından çok az miktarlarda ise de, son ürünün bileşimi açısından önemlidir. Böylece ozmotik kurutmaya ürünün su uzaklaştırılması ve çözünür kuru madde katılımı ile formülasyon etkisi sağlanabilir. Diğer taraftan en önemli sınırlama, ürünün nem miktarının belirli bir orana kadar düşürülebilmesidir. Bu nedenle ozmotik kurutma dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön işlem olarak kullanılmaktadır (Doymaz 2004).

Shi vd. (1999), domates ve ürünlerinde farklı kurutma metotlarının (ozmotik basınç uygulama, vakum uygulama ile kurutma, hava akımı ile kurutma, her üçünün kombinasyonu) ürünün likopen kaybı ve prosesdeki optimizasyon üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, uygulanan tüm kurutma yöntemlerinin hem likopen hem de besinsel değer ve aroma kaybına neden oldukları, ancak likopen kaybına en az vakum kurutma uygulamasının, en fazla ise geleneksel hava akımında kurutmanın sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Morötesi Radyasyon Kurutucu

Elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı kurutucudur. Yüksek yatırım maliyeti sebebiyle çok sık rastlanan bir kurutma tipi değildir. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddelerin kurutulmasında etkin şekilde kullanılır (Drouzas vd. 1999).

Kızıl Ötesi Işınım Kurutucu

Isıl ışınlım, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Kızılötesi, sadece malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince katmanlı ürünler için uygundur (Drouzas vd. 1999).

Basman ve Yalçın (2011)'ın yapmış oldukları çalışmada IR kurutma sistemi ile erişte kurutulmuş ve konveksiyonel kurutma ile kuruma süresi karşılaştırılmıştır. Çalışmada halojen lamba kullanılmış ve IR kurutma yöntemi ile kuruma süresinin önemli düzeyde azaldığı ifade edilmiştir. IR kurutma sistemi ile kurutulan eriştelerin sırasıyla 909 W/m², 1127 W/m², 1309 W/m², 1545 W/m², 1673 W/m² radyasyon güçlerinde, kuruma sürelerinde sırasıyla %17.8, %27.8, %42.2, %46.7 ve %50 oranlarında azalma gözlemlendiği belirtilmiştir. Konveksiyonel kurutma ile kurutulan eriştelerin kuruma süreleri 45 °C de 22 saat iken kızılötesi kurutma sisteminde kullanılan en yüksek güçte (1673 W) kuruma süresinin 3 dakika 45 saniye olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, IR kurutma sistemi ile kurutulan eriştelerde pişme kaybı oranı, %2,82-3,75 arasında gözlemlenirken konveksiyonel kurutma ile kurutulan eriştelerde %4,39 olduğu belirtilmiştir.

Hebbar vd. (2004), sebzelerin kurutulması için infrared ve sıcak havalı kombine olarak çalışan kurutucu tasarımını amaçlamışlardır. Patates ve havuç örneklerinde yapılan bu çalışmada kombine kurutmada 80 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1m/s kurutma hava hızında diğer yöntemlere göre kurutma süresinin %48 azaldığı ve aynı zamanda enerji tasarrufunun diğer koşullara göre %63 azaldığı görülmüştür. Ayrıca, uygun sıcak hava sirkülasyonu ve hava akış hızının optimizasyonuna bağlı olarak enerji sarfiyatının daha

da azaltılmasının mümkün olduğu ve renk değişiminin belirtilen tekniklerin tek başlarına kullanılmasına nispeten daha az olduğu belirtilmiştir.

Mikrodalga kurutucu

Mikrodalga kurutucular, uygulama için kontrol kolaylığı, ürün seçicilikleri, kısa kurutma zamanı gibi olumlu özellikleriyle verimli kurutuculardan biridir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında “içten dışa doğru ısınma” sağladığı gibi yanlış bir kanı oluşmasının sebebi geleneksel yöntemlerdeki dıştan içe ısı aktarımı yerine mikroalgayı absorblayan her noktada eş ısınma sağlanmasıdır. Verilen enerjinin tamamı sadece ürünü ısıtıp kurutmada kullanıldığı için verimlidir. Bunların yanında mikrodalganın ürün içine nüfus etme derinliği sınırlı olduğu ve bazı ürünlerde belirli noktalarda enerji toplanması sonucu yanma olduğu için her ürün mikrodalga kurutmaya uygundur denilemez (Drouzas vd. 1999, Won vd. 2004).

Bazı araştırmacılar MW kurutmanın, IR kurutmaya oranla daha kısa kuruma süresi ve daha az renk degradasyonu ile sonuçlandığı tespit etmiştir (Chua ve Chou 2005). MW kurutma ve IR kurutma ile şeftaliler üzerinde yapılan bir çalışmada, her iki tekniğin karşılaştırılması yapılmış ve kurutmanın başlangıç aşamalarında IR kurutmada dehidrasyon oranının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Wang ve Sheng 2006). Bununla birlikte IR kurutmada; duysal özelliklerin en yüksek derecede korunduğu kurutma gücü 2,891 kW/kg; enerji tüketiminin en düşük olduğu kurutma gücü ise 2,860 kW/kg olarak belirlenirken MW kurutmada ise kurutma gücü arttıkça enerji tüketim oranının azaldığı ve duysal özelliklerin en yüksek derecede korunduğu kurutma gücünün 1,231 kW/kg olduğu tespit edilmiştir (Wang ve Sheng 2006).

2.4 Mikrodalga

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun bir parçası olup görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Mikrodalga sözcüğü elektromanyetik dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu anlamına gelir. Mikrodalgalar genellikle 300 MHz - 300 GHz frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalar olup ısıtma frekansları endüstriyel,

bilimsel ve tıbbi kullanımlar için belirlenmiştir (Kemahlıoğlu ve Baysal 2002, Özkan vd. 2007) . Mutfak tipi olarak kullanılan mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekansları uygun ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu frekansın seçimi suyun rezonans frekansı değeri olmasıdır. Mikrodalga kurutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilen frekanslar, 915 ve 2450 MHz'dir (Yağcıoğlu 1999).

2.4.1 Mikrodalğanın tarihçesi

Mikrodalga teknolojisi, ilk olarak 1921 yılında mikrodalga kaynağının Hill tarafından keşfedilmesi ile ortaya çıkmıştır (Knutson vd. 1987). II. Dünya Savaşı sırasında Randall ve Boot tarafından İngiliz ordusunun radar setlerine sürekli bir mikrodalga enerjisi kaynağı üretmek amacıyla yaptıkları çalışmada magnetronun keşfinden sonra (Reynolds 1989), mikrodalga enerjisi 1934 yılında, radar (radio detection and ranging) amacıyla Amerikalı deniz subayları Furth ve Tucker tarafından kullanılmıştır (Page 1962). Randall ve Boot tarafından bulunan magnetronların, Raytheon firması tarafından kopyası yapılmış ve elektrik mühendisi olan Spencer tarafından da daha fazla üretim için magnetron geliştirilmiştir (Erarslan 2006). Spencer 1942 yılında geliştirdiği bu magnetron için bir patent hazırlamış ve dokuz yıl sonra patentini alabilmiş, 1945 yılında ise yaptığı çalışmalar sonucunda mikrodalga enerjisi ile çeşitli maddeleri ısıtabildiğini keşfetmiştir. Aynı sene kapalı bir mikrodalga fırınına tarif ettiği 'gıda maddelerini muamele etme' methodu olarak adlandırdığı patent için başvurmuş ve 1950 yılında da bu patenti almıştır (Reynolds 1989). Bu method ise 1946 yılında Raytheon firmasının Kasım ayında piyasaya çıkardığı Radarange mikrodalga fırınının yapımında kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, mikrodalga frekanslarını (500 MHz'den 100 GHz'e kadar) ve yüksek güçte mikrodalga enerjisini üretebilen magnetronlar elde edilmiştir. Yüksek güçteki bu magnetronlar sayesinde mikrodalga ile ısıtma sistemlerinin verimliliği 900 MHz'de %90'lar, 2450 MHz'de %80'ler gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır (Meredith 1988). Savaş sonrasındaki yıllarda da mikrodalga ile ilgili gelişmeler devam etmiş ve mikrodalga enerjisi ısıtma amacıyla evlerde ve endüstride de kullanılmaya başlanmıştır. Gıda maddelerinin ısı ile muamelesinin, ilk olarak 1895 yılında Underwood ve Prescott ile başlamasının ardından birçok gelişme gösteren gıda sanayi, 1940'ların ortasında ilk mikrodalga fırının geliştirilmesi ile yeni

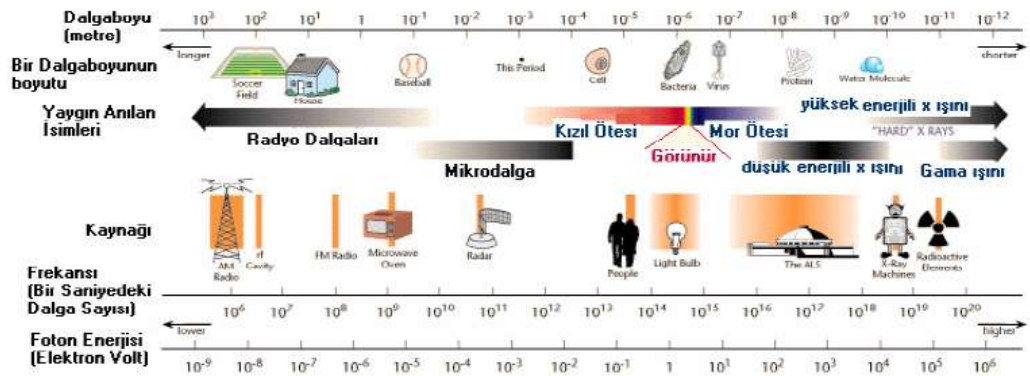
bir döneme başlamıştır. Bu tarihten sonra da mikrodalga enerjisinin ısıtma amacıyla kullanımı artmıştır (Decareau 1985).

Mikrodalga fırın pazarı 1960'ların sonuna doğru gelişme göstermeye başlamışken, gelişen teknoloji ve mikrodalga fiyatlarının azalması ile giderek ivme kazanmış ve ABD'de 1988'e gelindiğinde 12 milyon mikrodalga fırını satışı ile tavan yapmış ve daha sonraki yıllarda yılda yaklaşık 10 milyon ile sabit bir değere gelmiştir (Regier ve Schubert 2001).

Bütün bu gelişmelere rağmen yüksek güçte mikrodalga jeneratörlerinin gelişiminin yavaş ilerlemesi nedeniyle konveyör bantlı mikrodalga sistemlerinin uygulamalarına ancak 1962'lerde başlanmıştır (Decareau 1985).

2.4.2 Elektromanyetik dalgalar

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekansa bağlı olarak sınıflandırılır. Dalga boyu ve frekans birbirleriyle ters orantılı olan niceliklerdir. Frekans saniyedeki çevrim sayısı olarak tanımlanırken dalga boyu çevrimin uzunluğu olarak tanımlanır. Dalga boylarına göre elektromanyetik dalgalar şekil 2.9' da da görüldüğü gibi birçok alt başlık altında sıralanabilir. Bu dalgalardan gama ve x ışınları kimyasal bağları; mor ötesi, görünür ve kızıl ötesi dalgalar zayıf hidrojen bağlarını kırabilecek yeterli enerjiye sahiptir. Mikrodalgaların dalga boyu bu dalgalardan daha büyük olduğundan (daha küçük frekans değeri) kimyasal bağ kırabilecek enerjiye sahip değildir. Yani mikrodalgalar kimyasal bağ kıramaz. İyonizasyona sebep olur. İyonizasyon elektron iyonlarının kutuplaşmasıdır. Mikrodalga sayesinde uygulama alanı 2.45×10^9 kez titreşir. Dipol moleküller de mikrodalgaın bu hızlı hareketine ayak uydurmaya çalışırken oluşan sürtünmeyle ısınır. Isınma sonucu kimyasal bağlar kırılır. Bağların kırılma sebebi doğrudan mikrodalga değil, mikrodalga sonucu oluşan ısıdır (Kartal 2011).



Şekil 2.9 Elektromanyetik spektrum (Erdem 2007)

2.4.3 Mikrodalga ısıtma

Mikrodalga ısıtmada enerji ürünün her noktasından üretildiği için geleneksel ısıtmadan farklıdır. Isıtılan numunenin iç sıcaklığı daha yüksektir. İçten üretilme terimi mikrodalga için çok sık kullanılan bir tabir olmakla beraber ısının merkezden çevreye yayıldığı yanlışlığına sebep olur fakat durum bundan farklıdır. Enerji maddenin her yerinde eşit olarak üretilir. Sıcaklık eşit dağılım gösterdiği için numunede termal gerilmeler azalmaktadır (Afzal ve Abe 2000, Toğrul ve Pehlivan 2003).

Mikrodalga kaynaklarının sanayide ve evde kullanımı son yıllarda çarpıcı bir şekilde artmaktadır (Konak vd. 2009). Bir materyalin mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ya da moleküllerin polarizasyon-depolarizasyon mekanizması ile gerçekleşmektedir (Gwarek ve Celuch-Marcysiak 2004).

Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Mikrodalga materyalin içine penetrasyonu ile sağlanan kısa başlangıç süresi ve iç ısınma, randımanı arttırmakta ve proses süresini kısaltmaktadır. Sağlanan bu özellikler mikrodalgayı ilgi çekici bir ısı enerjisi kaynağı yapmaktadır.

Materyallerin dielektrik özellikleri permitivite ile ifade edilmektedir (Venkatesh ve Raghavan 2004). Permitivite aşağıdaki eşitlik (2.1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_r = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2.1)$$

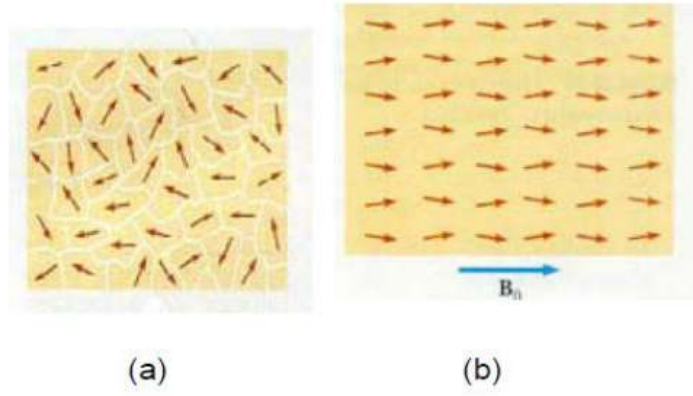
Permitivitenin gerçek kısmına dielektrik sabiti (ε') ve sanal kısmına ise dielektrik kayıp faktörü (ε'') denilmektedir. Dielektrik sabiti (ε') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü (ε'') materyalin oluşan enerjinin ne kadarını absorbe edip ısıya dönüştürebileceğini ve j 'de $\sqrt{-1}$ değerini ifade etmektedir (Wang vd. 2003).

Mikrodalga enerjisinin bir materyali aşarken uğradığı enerji kaybına, o materyalin 'kayıp faktörü' denilmektedir (Cemeroğlu 2005). Kayıp faktörü yüksek olan gıdalar mikrodalga etkisiyle daha çabuk ısınmaktadır (Giese 1992). Kayıp faktör değeri; elektromanyetik dalgaların frekansına, materyalin sıcaklığına, fiziksel durumuna ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Galema 1997).

2.4.3.1 Mikrodalga ısıtma mekaniği

Dipol Rotasyon

Gıdalar başta su olmak üzere çeşitli polar moleküller içermektedir. Bu moleküller gıda içerisinde geliğigüzel bir şekilde bulunurlar. Elektrik alanı uygulandığında gıda içerisindeki elektriksel olarak asimetric ve polar moleküller frekansa bağlı olarak polaritesi hızla değişen elektrik alanı nedeniyle dönme eğilimi (dipol rotasyon) göstermektedir. 2450 MHz'de çalışan ev tipi mikrodalga fırınlar da elektrik alanın yönü saniyede 2.45 milyar kez değişmektedir. Hızla değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için dönen polar moleküllerin, birbirleri ile ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünmelerinden dolayı ısı açığa çıkmaktadır (Uslu ve Certel 2006).



Şekil 2.10.a. Gelişigüzel hareket eden polar moleküller, b. Elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller (Toraman ve Depçi 2007)

İyonik polarizasyon

Gıda içerisindeki çözülmüş tuzların iyonik bileşenleri, üzerlerindeki elektriksel yük nedeniyle uygulanan elektrik alanının polaritesine zıt istikamette hızlanarak hareket etmeye başlamaktadır (Şekil 2.10). İyonların birbirleriyle çarpışması hareket eden iyonların kinetik enerjilerinin termal enerjiye dönüşmesine neden olmaktadır (Uslu ve Certel 2006).

Mikrodalga ısıtma için enerji eşitliği ısı birikim terimini içerir, mikrodalga ısıtma için önerilen eşitlik (2.2) aşağıda verilmiştir (Demirkol 2007).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Q}{\rho C_p} \quad (2.2)$$

Eşitlikte T sıcaklık (K), t zaman (s), C_p materyalin özgül ısısı (J/kg.K) ve Q maddenin birim hacmi başına ısı birikim oranı (J/m³.s) olarak kullanılmıştır.

Metaxas ve Meredith (1983) tarafından gösterilen Maxwell'in elektromanyetik dalgalar eşitliği (2.3) biriken ısınn elektrik alan yoğunluğu (E) ile ilişkisini ifade etmektedir:

$$Q = 2\pi\epsilon_0\epsilon'' fE^2 \quad (2.3)$$

Eşitlikte gösterilen Q dönüştürülen elektromanyetik enerjiyi ifade eder. Bu eşitlikte gıda maddesinin manyetik kayıpları ihmal edilmiştir, ϵ_0 serbest boşluğun dielektrik sabiti, ϵ'' gıdanın dielektrik kayıp faktörü, f fırının frekansı ve E elektrik alan yoğunluğudur. Eğer gıda mikrodalga ile ısıtılırsa ısı ve kütle transfer kuvvetleri konvansiyonel metoda göre farklı olur. İç ısı birikimi mikrodalga alanından ısı absorpsiyonuyla oluşur ve iletim, yayılım ve buharlaşma ile transfer edilerek ısıtılan ürünün zaman sıcaklık profilinin temel sebebidir (Mudgett 1982). Ortam ısı gereksinimi ve mikrodalga fırının buharlaşma yüzünden sağladığı soğutma etkisi mikrodalga enerjisiyle ısıtılan gıdanın iç sıcaklığının yüzey sıcaklığından yüksek olmasına neden olur (Decareau 1992). Wei vd. (1985), gözenekli bölgenin içinin mikrodalga kullanıldığında daha sıcak olduğu, konvansiyonel ısıtmada ise bu bölgenin dışının daha sıcak olduğunu bulmuşlardır. Konvansiyonel ısıtma ile karşılaştırıldığında nem akışı, konsantrasyon ve basınç dereceleri mikrodalga ısıtmada önemli derecede avantajlı olmaktadır. Katı materyalin içinde oluşan nem buharında artış olması iç ısının miktarının artmasına ve bu durum da önemli iç basınç ve konsantrasyon derecesine neden olmaktadır (Datta 1990). Bu olumlu basınç artışı buhar ve sıvı akışının gıdadan çevreye doğru oluşmasıyla gözlemlenir. Mikrodalga sistemlerde kütle transferi eşitliği (2.4) aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \alpha_m \nabla^2 M + \alpha_m \delta_p \nabla^2 P \quad (2.4)$$

Eşitlikte M toplam nem miktarı (sıvı ve gaz faz) , α_m nem difüzivitesi, δ_p basınç değişim sabiti ve P basınçtır.

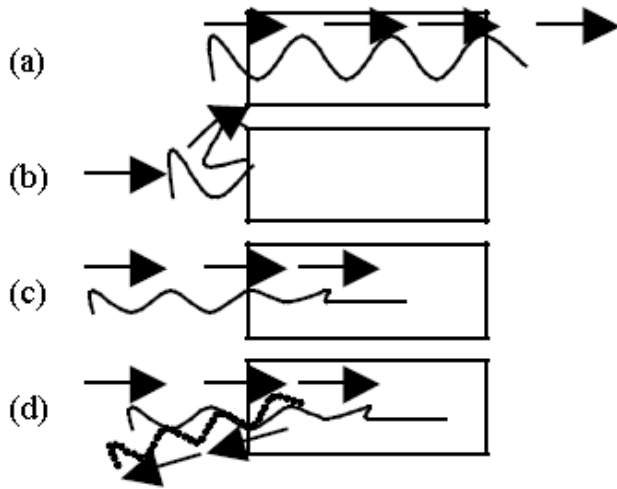
Mikrodalga ısıtmadan dolayı bir biyolojik malzemede depolanan termal enerji miktarı şu faktörlere bağlıdır:

- Elektrik alan gerilimi
- Mikrodalga'nın ısıtım frekansı
- Biyolojik malzemenin dielektrik özellikleri

Malzemeleri mikrodalga ile etkileşimleri bakımından üç kategoriye ayırmak mümkündür (Toraman ve Depçi 2007, Şekil 2.11).

- Mikrodalga'nın herhangi bir kayba uğramadan geçtiği geçirimli düşük kayıplı biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınmaz)
- Herhangi bir nüfuz olmadan yansıtan biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınmaz)
- Dielektrik kayıp faktörü değerine bağlı olarak mikrodalgayı absorbe eden (soğuran) yüksek kayıplı biyolojik malzemeler (biyolojik malzeme ısınır)

Bir biyolojik malzemenin farklı dielektrik özellikte iki veya daha çok faz içermesi durumunda, mikrodalga enerjinin geçirimli fazdan geçerken soğurucu fazı seçimli olarak ısıtabildiği dördüncü bir kategori (karma) oluşmaktadır (Artan 2003).



Şekil 2.11 Biyolojik malzeme ile mikrodalga'nın etkileşimi
a. geçirimli, b. yansıtıcı, c. soğurucu, d. karma

2.4.3.2 Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler

Frekans

Değişik şekillerde, çok geniş bir spektrumda elde edilebilen mikrodalgalarda kullanılan frekanslar ve dalga boyları endüstriyel, bilimsel ve tıbbi amaçlar için sınırlandırılmıştır. Gıda sanayiinde işleme ve pişirme için Uluslararası Haberleşme Birliği (I.T.U.) tarafından düzenlenen mikrodalga kullanım frekansları, 2450 ± 50 MHz ve 915 ± 15 MHz olarak öngörülmektedir (Yurdagel vd. 1994). Mikrodalga enerjisinin frekansı ve buna bağlı olarak değişen dalga boyu kurutulacak gıdanın işleme derinliğini direkt olarak etkilemektedir. Gıdaların içinde bulunan su için güç derinliği 2450 MHz frekansta 2-3 cm ve 915 MHz frekansta 20 cm'dir. Bu nedenle kurutulacak gıdanın boyutlarına göre seçilecek frekans da önem taşımaktadır. Genellikle geniş boyutlu gıdalar için, örneğin dondurulmuş balıkların eritilmesi gibi, 915 MHz frekansta çalışılmasının, daha küçük boyutlar için örneğin sosislerin pişirilmesi gibi 2450 MHz yeterli olacağı bildirilmiştir (Yurdagel vd. 1994).

Mikrodalga çıkış gücü ve ısıtma hızı

Birçok endüstriyel mikrodalga sistemi 5–100 kW arasında değişen mikrodalga çıkış gücünde çalışmaktadır. Güç akısının verilen kütle için yüksek olması, sıcaklığın hızla artmasına neden olur ve pişirme, fırınlama ve diğer bazı gıda işlemlerinde başlangıçta yükselen ısı etkisiyle bazı reaksiyonların hızlanması sonucu oldukça kompleks fizikokimyasal olaylar ortaya çıkabilmektedir.

Bu da kurutulan gıdanın renginin değişmesine, tadının kötüleşmesine ve kalitesinin düşmesine neden olur (Yurdagel vd. 1994).

Mikrodalga çıkış gücü dolayısıyla ısıtmanın hızlı olmasıyla yaratılan bir diğer problem homojen olmayan sıcaklık dağılımıdır. Bunun nedeni kısmen çabuk ısınan kısımlardan daha yavaş ısınan kısımlara ısı transferinin düşük hızda gerçekleşmesi, kısmen de ısıtılan materyalin şekli, örneğin köşeli bir gıda olmasıdır (Yurdagel vd. 1994).

Kurutulan gıdanın kütlesi

Genel olarak materyalin kütlesi büyüdükçe, sabit güçteki bir mikrodalgada ısıtmak için gerekli süre de artmaktadır. Bununla birlikte, ısıtmanın etkinliği de genellikle kütledeki artışla artmaktadır. Isıtılacak toplam kütle göz önüne alındığında, istenen ısıtmayı sağlayabilmek için kütle ile mikrodalga çıkış gücünün miktarı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Toplam kütle küçük ise kesikli bir sistem işlem için daha uygundur. Ancak kütle büyüdükçe bantlı sistemlerin kullanımı daha verimlidir. Bu gibi sistemlerde ısıyı homojen bir şekilde sağlamak da mümkün olmaktadır (Decareau 1992, Yurdagel vd. 1994).

Gıdanın su içeriği

Su genellikle mikrodalga enerjinin absorblanmasında önemli bir etkidir. Yüksek su içeriği, gıdanın yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip olmasını ve dolayısıyla da daha iyi ısınmasını sağlar. Ancak spesifik ısıdaki azalma sayesinde düşük su içeren gıdalar da mikrodalga ortamında işlenebilmektedirler. Mikrodalga ısıtma sırasında materyalin kurumasıyla daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjiyi absorblamaları daha kolay olmaktadır. Bu olay, özellikle kurutma işleminde önemli bir avantajdır. Genel olarak, gıdanın nem içeriği yüksekse dielektrik sabiti yüksek olur. Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriği %20–30 oluncaya kadar artış gösterir ve bazı durumlarda bu nem içeriğinden sonra azalma olabilir. Karışımın dielektrik sabiti karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer almaktadır (Yurdagel vd. 1994).

İletkenlik

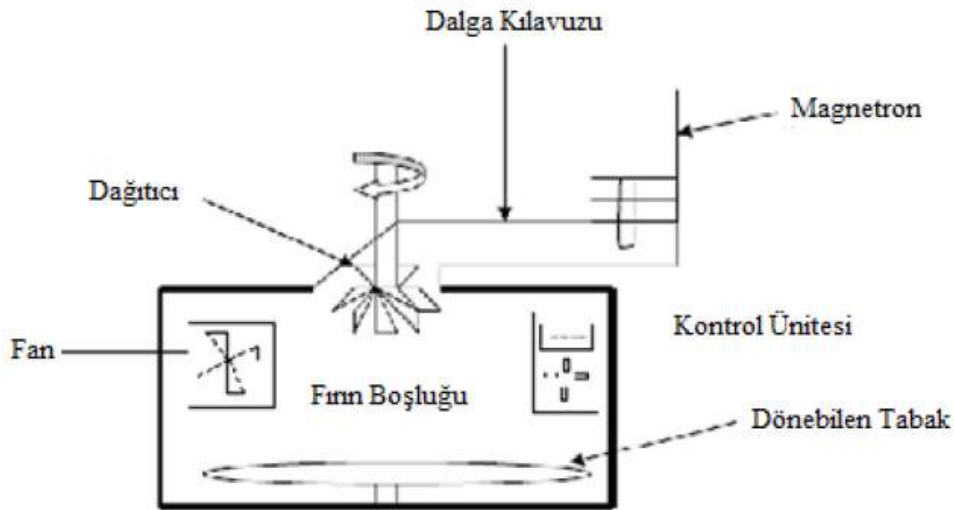
Mikrodalga sistemlerinde genellikle dipolar dönme, ısının oluşmasında etken mekanizma olurken, gıda maddelerinin ısınmasında çoğunlukla iyonik kondüksiyon esas rol oynamaktadır. Gıda maddelerine çoğunlukla tuz eklenmesi gıdanın mikrodalga ısıtılmasında etkili olup ısıtma oranını artırmaktadır. Gıdanın içeriğinde böyle bir değişiklik, mikrodalga sistemlerin kullanılması sırasında dikkatle yapılmalıdır. Tuz

katılması mikrodalga penetrasyon derinliğini doğrudan etkilemekte ve yüzeyde aşırı ısınmalara neden olabilmektedir (Yurdagel vd. 1994).

Spesifik ısı

Mikrodalga ısıtmada gıdanın spesifik ısısı genellikle ihmal edilen bir parametredir, ancak ısıtma işleminin uzun sürmesi durumunda dikkate alınması gereken bir etken olmaktadır. Spesifik ısı özellikle mikrodalga alanında ısıtmada düşük dielektrik kaybı olan materyallerin ısıtılmasında önemli rol oynamaktadır (Yurdagel vd. 1994).

2.4.4 Mikrodalga fırın bileşenleri



Şekil 2.12 Mikrodalga fırın bileşenleri (Demirekler 2004)

Güç ünitesi

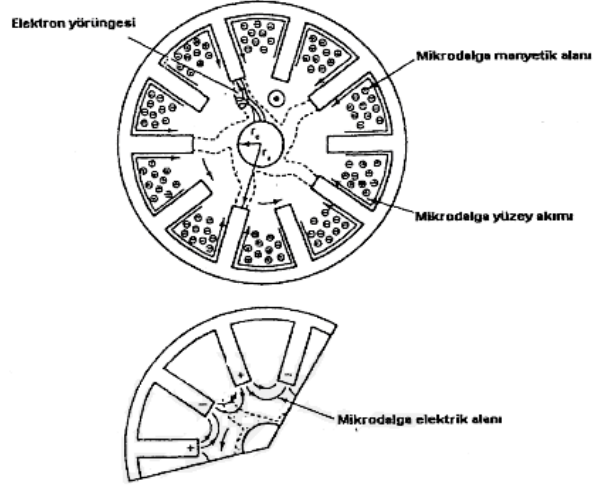
Mikrodalga fırınlarda bulunan güç ünitesinin görevi; şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışması için gerekli olan voltajı üretmektir. Magnetronlar genelde birkaç bin voltluk potansiyel farklarında çalışırlar (Singh ve Holdman 2001, Schubert ve Reiger 2005).

Magnetron

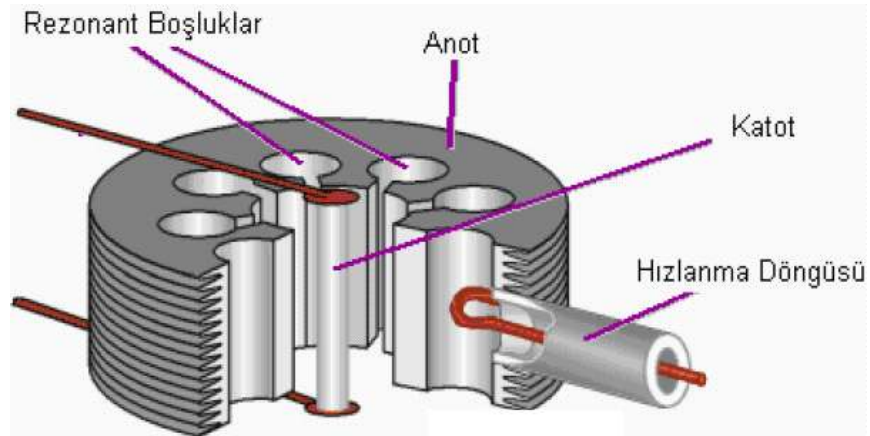
Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansındaki mikrodalga enerjisine çeviren elektronik bir tüptür. Küçüklük ve ucuzlukları yüzünden magnetronlar cisimleri ısıtmak için ticari fırınların hepsinde ve endüstriyel fırınların büyük bir bölümünde kullanılırlar (Mccabe vd. 2004). Magnetron elektriksel gerilimi mikrodalgada radyasyona çeviren diyot tipli bir elektronik tüptür. 1921'de Albert Wallece Huli tarafından ilk defa yapıldığından beri günümüze kadar temelde bir değişikliğe uğramamıştır. Günümüzde ticari fırınlarda kullanılan çok oyuklu Magnetron ilk defa 1940'da J.T. Randall ve H.A.H. Boot tarafından tasarlanmıştır. Bu magnetronlar 2450 Hz frekansında çalışmakta olup, yapısı ve çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır.

Genelde magnetronlar ekseninde silindirik içi boş bir anotla birlikte katot bulunan dairesel simetrik tüplerdir. Metalik silindir ve içindeki kanatçıklar, bir sıra trapezoid şekilli boşluk, katodu oluşturur (Şekil 2.13 - 2.14). Oyuklardan birinin içine giren anten mikrodalga enerjisini magnetrondan alarak sabitlemiş bir dalga kılavuzuna gönderir. Magnetron elektronların katottan anoda doğru akışını kontrol ederek çalışır. Bu işlem, merkezinde bulunan katot filamanının dışarıdan düşük gerilimi elektrik üreticiyle ısıtılması ve çalışma sıcaklığına ulaşması ile başlar. Sıcaklık artışı katottaki moleküler aktivite ile hızlanır ve elektronlar kaymaya başlar. Isıtma anotla beraber uygulanan potansiyel elektronları katottan radyal olarak anoda doğru hareketlendirir. Doğal veya elektromıknatıslar tarafından üretilen ve eksene paralel, elektronların yoluna dik olarak etkileyen manyetik alan elektronları katodun etrafına sanki dairesel bir yörüngede harekete zorlar. Anotta bulunan oyuklar elektronların periyodik olarak sıralanmasıyla hazırlanmalarına ve yavaşlamalarına neden olarak bir elektron bulutunun oluşmasına olanak verirler. Elektron bulutunun sürekli dönme hareketi her oyukta artı yükleri meydana getirir. Anodun oyuklarında sırası ile olan şarj vedeşarj olayı bir alternatif akım oluşmasına yol açar. Bu sayede oluşan elektromanyetik dalga anten aracılığı ile dışarıya verilir. Magnetronun üretmiş olduğu yüksek enerji bu anten yardımıyla dağıtıcılara aktarılır ve dağıtıcılar bu dalgaları fırın boşluğuna taşırlar Magnetronlar %60-65 verimle çalışırlar. Çıkış gücü katottaki doğru akım ve doğal veya

elektromanyetik alanla kontrol edilir ve anot sıcaklığına bağlıdır, anot ve katottaki ısıya dönüşen enerji kanatlarla ve fanla alınır (Çelen 2010).



Şekil 2.13 Magnetron salınım mekanizması (Çalışkan 2002)



Şekil 2.14 Magnetronun iç yapısı (Erdem 2007)

Dalga kılavuzu

Mikrodalga üretildikten sonra bu dalganın fırına verilmesi ve ısıtılacak maddeye yönlendirilmesi gereklidir. Genelde iki tane iletim cihazı bu iş için kullanılmaktadır. Bunlar iki adet tel ve bir kablodan oluşan iletişim hatları ve dalga kılavuzlarıdır. İletim hatları ile yayma genelde düşük frekansta uygulanmaktadır. Yüksek güçte çalışıldığı durumlarda ise, akım yoğunluğu yüksek olduğu için iletim kayıpları meydana

gelmektedir. Bunu önlemek için kesit alanlarının daha büyük olan içi boş tüpler (dalga kılavuzları) kullanılır. Optik dalga kılavuzlarında olduğu gibi, mikrodalga dalga kılavuzlarında da mikrodalgaları yaymak için yüksek yansıtma özelliğine sahip duvarlar bulunmaktadır (Schubert ve Reiger 2005) .

Karıştırıcı

Karıştırıcılar genellikle fan biçiminde şekle sahip olup aplikatöre gönderilen mikrodalga enerjisini dağıtmak amacıyla kullanılırlar. Karıştırıcılar durağan dalga şablonlarını bozarlar ve böylelikle aplikatör içinde daha düzgün bir enerji dağılımı sağlarlar (Schubert ve Reiger 2005).

Aplikatör

Aplikatörler (fırın oyuğu) elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzundan işlem görecektir maddeye geçirirler. İşlem gören maddenin içinde bulunduğu oyuk bu durumda aplikatör olarak tanımlanabilir. Aplikatörün büyüklüğü ve biçimi işlem yapılan frekans, işlem yapılan maddenin şekli, büyüklüğü ve özellikleri ve işlem tipi (sürekli, yığın) gibi özelliklere bağlıdır (Schubert ve Reiger 2005).

2.4.5 Mikrodalga fırınlarda güvenlik standardı

FDA kurumunun zorunlu kıldığı radyasyon güvenlik standardına 1971'den sonra üretilen bütün mikrodalga fırınlar sahiptirler. Mikrodalga radyasyonun güvenlik limiti, fırın yüzeyinden 5.08 cm uzaklık için 5 miliwatt/cm²'dir. Bu limit, insanlara zarar verdiği bilinen miktarın (10 miliwatt/cm²) çok altındadır. Bununla birlikte; ek bir emniyet sağlamak için, tüketici tipi ve endüstriyel tip mikrodalga fırınlarda sızmalar, fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıkta 1000 miliwatt/cm² olarak sınırlandırılmıştır. Bu standart ayrıca, tüm fırınlar için kapak mandalı serbest kaldığında ya da kapak açıldığında mikrodalga üretimini durdurmak için 2 adet birbirinden bağımsız emniyet sistemi olmasını zorunlu kılmaktadır. Buna ek olarak, denetleme sistemi emniyet sistemlerinden birisi ya da ikisi devre dışı kaldığında operasyona son vermektedir.

Mikrodalga üretimi sona erdikten sonra fırında herhangi bir radyasyon kalıntısı kalmamaktadır (Kanat 2001, Hebbar vd. 2004).

2.5 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ile kurutma işlemi ticari olarak ilk defa patates cipsinin son kurutma aşamasında kullanılmıştır. Ancak işlem sırasında farklı patates türlerinin kurutma sürelerinin ve son nem miktarlarının farklı olmasından dolayı mikrodalga cips sanayisinde kullanımında başarı sağlanamamıştır. Mikrodalga ile kurutma işleminin makarna üretiminde kullanılması günümüzde başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Bu proses üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla sıcak hava ile yapılan ön kurutma, mikrodalga ile kurutma ve dengeleme aşamalarıdır (Knutson vd. 1987). Gıda ve gıda bileşenlerinin mikrodalgada kurutulması yüksek nem içeren ürünlerde (%20 nemin üzerinde) nispeten ekonomik değildir. Bunun yerine geleneksel ısıtma yöntemleri tercih edilmektedir. Suyun yüksek dielektrik sabite ve yüksek özgül ısıya sahip olması mikrodalgayı kolayca absorblamasını sağlar. Eğer karışımın su içeriği fazla ise kurutmada sıcaklığı önemli miktarda artırmak için fazlaca mikrodalga enerjiye ihtiyaç vardır. Mikrodalga geleneksel işlemlerle karşılaştırıldığında özel ürünlerde veya temel proseslerde daha etkili hale gelebilmektedir.

Mikrodalga ile kurutma işlemi, kuruma hızının yavaşladığı son kurutma aşamasında daha etkilidir. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerle birlikte kullanılmakta, böylece kuruma süresini kısaltmakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Mikrodalga kurutma tekniğinin esası, kurutulacak materyal içindeki su moleküllerinin polarize edilerek hızla hareketlenmelerine olanak vermek ve buna bağlı olarak ortaya çıkan moleküler sürtünmeyle ısının ortaya çıkmasını sağlamaktır. Mikrodalga kurutmada enerji, materyalin derinliklerine kadar inebilmelidir. Aksi durumda kurutulacak ürünün sadece yüzeyi ısınır. Işınımın etkileyebildiği derinlik, dalga boyuna, ürünün dielektrik sabiti faktörüne bağlıdır. Dalga boyu küçüldükçe ve frekans arttıkça ışınımın ürüne girme derinliği azalmaktadır (Yağcıoğlu 1999).

Mikrodalga ışınlar ürünün iç enerjisini artırmasından dolayı, ürünün merkezinden başlayarak materyal içerisindeki molekülleri harekete geçirmekte ve moleküllerin birbirlerine sürtünmesi ile ısı açığa çıkarmaktadır. Ortaya çıkan ısı materyalin hücrelerinde bulunan suyu buharlaştırmakta ve ürünün sıcaklığının artmasını sağlayarak, ürünün ısınmasına neden olmaktadır. Bu olay ilk bakışta ısıtma işlemi gibi gözükse de, aslında bir çeşit üründen nemin uzaklaştırılması işlemidir.

Kurutma sırasında doğrudan su moleküllerinin ısıtılıp buharlaşması nedeniyle kurutma etkinliğinin yüksek olması, kurutmanın normal atmosfer basıncı altında ve düşük çevre sıcaklığında yapılmasından dolayı üründe yapısal bozulmaların oluşmaması, kurutma homojenliğinin yüksek olması, suyun ürünün içerisinde buharlaşıp, yüzeye kadar buhar fazında taşınmasından dolayı erimiş maddelerin taşınmadan oldukları yerde kalmaları ve kuruma süresinin diğer yöntemlere göre oldukça kısa olması gibi avantajlar mikrodalga kurutma yöntemini giderek daha çok tercih edilen bir kurutma yöntemi haline getirmiştir.

Mikrodalga kurutma sistemleri sıcak havalı kurutma sistemleriyle birlikte kullanılarak, kurutma süresi önemli ölçüde azaltılabilir.

Shivhare vd. (1990), tohumluk mısırı farklı güç seviyelerinde mikrodalga etkisine bırakarak kurutma sırasındaki davranışını incelemişlerdir. Yaş danenin gramı başına sırasıyla 0,25 W, 0,50 W ve 0,75 W mikrodalga güç seviyeleri uygulamışlardır. Uygulanan mikrodalga güç seviyesi 0,25 W/g'dan 0,50–0,75 W/g'a yükseltildiğinde, kuruma süresinin 5 saatten 3,5-2,25 saate kadar düştüğünü, bu sırada uygulanan mikrodalga güç seviyesinin artmasına bağlı olarak iç ortamdaki hava sıcaklığının da arttığını bunun da ürün kalitesinde bir azalma meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin geleneksel kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında, işlem sırasında zaman ve yer tasarrufu sağlaması, daha kaliteli ürünlerin elde edilmesi ve enerji sarfiyatını azaltması gibi avantajları vardır. Bu avantajlarının yanı sıra; sadece mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin üründe homojen olmayan ısıtmaya neden olması ve ürünün tekstüründe hasarlara yol açması gibi bazı temel dezavantajları da mevcuttur. Ayrıca mikrodalga'nın ürüne

penetrasyonunun sınırlı olması işlemin diğer bir dezavantajıdır. Mikrodalga ile yapılan kurutma işlemi diğer kurutma yöntemleri ile kombine edilerek, bu yöntemin tek başına uygulanması sırasında karşılaşılan sorunların üstesinden gelinmektedir (Vadivambal ve Jayas 2007).

Alibaş (2007), ısırgan otu yapraklarını mikrodalga, sıcak hava ve vakumla kurutmuştur. Enerji tüketim ve renk parametrelerini karşılaştırmıştır. Mikrodalga gücü olarak 500, 650, 750 ve 850W, hava sıcaklığını 50, 75, 100 ve 125°C, vakum basıncı olarak da 20 ve 50 mmHg almıştır. Deney sonuçlarını Page modele uygulamış ve optimum metodun 850W mikrodalga kurutmada olduğunu belirtmiştir.

Altan ve Maskan (2005), makarnanın kurutulmasında mikrodalga ve geleneksel sıcak hava ile kurutma metotlarını çalışmışlardır. Deneylerde farklı güçler (70W ve 210W) kullanılarak mikrodalga ve geleneksel sıcak hava ile kurutmadan kuruma zamanı olarak % 61,8 , 87, 61, 78 olarak azaldığını gözlemişlerdir.

Geleneksel kurutma yöntemlerinde karşılaşılan en büyük sorun yüzey sertleşmesi sonucu ısı ve kütle geçişinin yavaşlamasıdır. Mikrodalga kurutma işleminde;

- Sadece maddedeki su ısıtıldığından son sıcaklık kendiliğinden kontrol edilmekte ve kalan su tamamen uzaklaştırılmaktadır.
- Sıcaklık içeriden dışarıya doğru azaldığından içerideki su daha kolay uzaklaştırılmaktadır.
- Kondüsiyondan bağımsız bir ısı iletimi olduğundan kuruyan bölge ısı iletimini etkilememektedir.
- Yüzey sertleşmesi olmadığından kütle aktarımı yavaşlamamakta ve sabit debide kuruma periyodu uzun olmaktadır (İzgi 2012).

Bunlardan da anlaşılacağı gibi mikrodalga ile kurutma işlemi geleneksel kurutma yöntemlerinden, ürün kalitesi ve maliyet açısından üstündür. Mikrodalga ile kurutmada ısıнын meydana geldiği yer ürünün kendisidir. Bu nedenle büyük miktardaki ürünler daha kısa zamanda ve daha homojen ısı dağılımı ile kurutulabilmektedir. Mikrodalga ile

kurutmanın en büyük avantajı, normal kurutma zamanının %10'u kadar ve hatta daha da az sürelerde kurutma gerçekleşebilmesini sağlamasıdır (Regier ve Schubert 2001).

Mikrodalgada kurutma düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için yüksek sıcaklıkların getirdiği olumsuzluklarla karşılaşmaz (Schiffmann 2001).

Bazı ürünlerde ürün kalitesi artar. Gıda yüzeyinde meydana gelebilecek doku sertleşmesi engellenir (Schiffmann 2001).

Konvansiyonel kurutma ekipmanlarından daha az yer kaplar ve işçiliği azdır (Schiffmann 2001).

Mikrodalgada gıdanın içerisinden bir ısıtma sağladığından sıcaklık dağılımı daha homojen olur (Schiffmann 2001).

2.5.1 Mikrodalga ile gıdaların kurutulmasının avantajları ve dezavantajları

Özellikle gıdaların kurutulması için halk arasında yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma; kontaminasyon problemleri, düşük ısı ve kütle transferi sağlamaları, uzun süreli kurutma zamanları, kurutulmuş gıdanın kalitesinin düşük olması ve yüksek enerji sarfıyatı nedeniyle endüstriyel boyutta tercih edilmeyen kurutma sistemlerdir. Bu açıdan, mikrodalga ile kurutma alternatif kurutma yöntemi olarak gelişmiş ve yaygınlaşmıştır (Maskan 2000, Soysal ve Öztekin 2001). Mikrodalga ile kurutmanın avantajları şöyle sıralanabilir (Platts 1991, Decareau 1992, Ancos vd. 1999).

1. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği ısı üretiminin moleküler düzeyde başlaması ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır.
2. Mikrodalga ile kurutma kapalı bir kabinin içinde gerçekleştiğinden güneşte kurutmaya göre daha temiz ve steril son ürün eldesini sağlar.
3. Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır.
4. Isıtma çevrimi hızlı olduğundan gıda maddelerinin depolamasında çok fazla depo alanı gerekmez.

5. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen büzüşmeler daha azdır.
6. Özel ambalajlar kullanıldığı takdirde, ambalajlı gıdalara ısıtma işlemi uygulanabilir,
7. Mikrodalga ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir.
8. Mikrodalga ısıtmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmamaktadır. Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Geleneksel ısıtıcılarda %7 -14 arasında değişen ısı verimi mikrodalga ekipmanlarda %40'a kadar çıkmaktadır.
9. Mikrodalgalar içten ısıtma sağladığı için, sıcaklık dağılımı daha uniform gerçekleşebilir ve yüzeyin aşırı ısınması engellenir. Diğer taraftan mikrodalgaların absorpsiyonu elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, bazı gıda komponentleri diğerlerine göre daha hızlı pişer. Bu durum çok bileşenli gıdalarda farklı sıcaklık profillerini engeller ve farklı tabaklar için kullanımda kolaylık sağlar.
10. Mikrodalga teknolojisi birçok yeni ürün geliştirilmesinde olanak sağlamıştır.
11. Pazar imkânı geniştir.

Bunların yanında mikrodalga ile gıdaların kurutulmalarının dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

1. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir.
2. Mikrodalgaların absorblanması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli gıdalarda sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir.
3. Keskin köşe ve ince tabakalı gıdalarda, aşırı pişme ortaya çıkar ve büyük hacimli gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir.
4. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur.
5. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir. Tekrar ısıtılması gereken ve mikrobiyolojik yönden hassas ürünlerde (et ve süt ürünleri gibi), işlem süresinin çok kısa olması nedeniyle yeterli ve güvenli mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak zor olabilmektedir.
6. Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir (Dadalı 2007).

2.5.2 Kızılötesi ile mikrodalga kombinasyon methodu ile kurutma

Kızılötesi ısıtma, özellikle diğer ısıtma yöntemleri ile bir arada kullanıldığında, zaman ve enerji tasarrufu sağlayan bir ısıtma teknolojisidir. Kızılötesi ısıtmanın en çok kullanıldığı alanlardan biri kurutmadır. Kızılötesi-konvektif ısıtma kombinasyonunun ürün kalitesi ve enerji verimliliği açısından sinerji yarattığı belirtilmektedir (Afzal vd. 1999). Datta ve Ni (2002) çalışmalarında, gıda ürünlerinde konvansiyonel ısıtmaya alternatif olarak kızılötesi-mikrodalga ısıtmayı kullanarak, ısı ve nem transfer modellerini oluşturmuşlardır. Diğer yandan, gıda ürünlerinde yüzeyde esmerleşmenin sağlanması ve kırı yapının elde edilmesi amacıyla kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma kullanılarak bazı patentler yayınlanmıştır (Eck ve Buck 1980, Fujii ve Tsuda 1987, Jung ve Lee 1992). Sumnu vd. (2005) çalışmalarında, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtma teknolojisini kullanarak havuç kurutmuşlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın kullanıldığı bir diğer çalışmada, ekmek içi örneklerinin kurutma süresinin yaklaşık %97-99 oranlarında azaldığı bildirilmiştir (Tireki vd. 2006). Ayrıca kızılötesi-mikrodalga ısıtma ile kurutulan ekmek içi örneklerinin renk değerlerinin konvansiyonel fırında kurutulan örneklerin renk değerleriyle benzer olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kızılötesi-mikrodalga kombinasyon ısıtmanın ürün kalitesinden ödün vermeden zaman tasarrufu sağlaması avantajı, kurutma uygulamalarında açıkça görülmektedir (Özkoç 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Denemelerde kullanılan örnekler

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan muz ve kivi yerel marketlerden analiz günü tedarik edilmiştir.

3.1.2 Kullanılan ekipmanlar

Deneylerde kullanılan tepsili kurutucu İNOKSEN A.Ş. firması tarafından imal edilmiştir. Kurutucu sabit sıcaklığa geldikten sonra ürünler tepsilere yerleştirilmiştir. Tepsilere bağlı olan terazi yardımıyla ürünün kütle kaybı takip edilmiştir. Kurutucunun üzerine yerleştirilen taşınabilir nem cihazı (HT-86, China), sıcaklık ölçer (DualTemperature meter, Çin) ve anemometre (DT-8894, CEM, Çin) ile havanın nemi, sıcaklığı ve hızı kontrol edilmiştir.

Muz ve kivilerin mikrodalga kurutma denemeleri maksimum 900 W güç seviyesinde çalışabilen General Electric, GMOM 25 model (A.B.D.) ev tipi mikrodalga fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Muz ve kivi örneklerinin infrared kurutma denemelerinde maksimum 706 W güç seviyesinde çalışabilen mikrodalga fırın (General Electric, Advantium model, A.B.D) kullanılmıştır.

Kurutma sırasındaki üründe gerçekleşen kütle değişimini ölçmek için mikrodalga fırının yanına yerleştirilen hassas terazi (ATX-224, Shimadzu, Japonya) kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Örneklerin hazırlanması ve tepsili kurutucu ile kurutulması

Kivi örnekleri 5 ± 1 mm kalınlığında dilimlenerek $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ kurutma sıcaklığında ve sabit hava hızında (2 m/s) kütle değişim değerleri istenilen değerlere ulaşıncaya kadar (nem içeriği yaş bazda $\%30\pm 0,05$, $\%40\pm 0,05$ ve $\%50\pm 0,05$ olacak şekilde) kurutulmuştur.

Muz örnekleri 5 ± 1 mm kalınlığında dilimlendikten sonra %1 sitrik asitli çözeltiye daldırılmıştır. Çözeltide 1 dk bekletilen muz dilimleri bekletilmeksizin kurutma işlemine alınmıştır (Pan vd. 2007). Kurutmaya alınan muz örnekleri $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ kurutma sıcaklığında ve sabit hava hızında (2 m/s) kütle değişim değerleri istenilen değerlere ulaşıncaya kadar (nem içeriği yaş bazda $\%20\pm 0,05$, $\%30\pm 0,05$ ve $\%40\pm 0,05$ olacak şekilde) kurutulmuştur.

Kivi ve muz örneklerinin kontrol örnekleri ise $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ kurutma sıcaklığında kurutulmuştur. Son nem içeriği kivi örnekleri için kuru bazda 0,176 kg su/kg kuru madde ve muz örnekleri için kuru bazda 0,05 kg su/kg kuru madde olduğunda kurutma işlemi durdurulmuştur.

3.2.2 Örneklerin mikrodalga ile kurutulması

Muz ve kivi örnekleri doğrudan mikrodalga ile kurutmaya uygun olmayan ürünlerdir. Bu sebeple tüm örnekler mikrodalga kurutma öncesinde tepsili kurutucuda bir ön kurutmaya maruz bırakılmışlardır.

Ön kurutma işlemi yapılan tüm örnekler mikrodalgada 3 farklı güç seviyesinde yanmanın gerçekleştiği noktaya kadar kurutulmuşlardır. Mikrodalgada uygulanan güç seviyeleri belirlenirken, örneklerin kuruyabildiği en düşük güç ile yanmadan dayanabildiği en yüksek güç ön denemelerle belirlenmiştir. Buna göre;

Muz örnekleri 180, 270 ve 360 W;

Kivi örnekleri ise 350, 420 ve 490 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuşlardır.

3.2.3 Örneklerin kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması

Ön kurutma işlemi yapılan tüm örnekler kombinasyon kurutmada tek güç seviyesinde kurutulmuşlardır. Kızılötesi-mikrodalga kombinasyonu ile kurutmada uygulanan güç seviyesi belirlenirken, örneklerin kuruyabildiği en düşük güç ile yanmadan dayanabildiği en yüksek güç ön denemelerle belirlenmiştir. Buna göre;

Muz örnekleri üst halojen değeri 600 W, alt halojen değeri 600 W ve mikrodalga gücü 560 W,

Kivi örnekleri üst halojen değeri 600 W, alt halojen değeri 600 W ve mikrodalga gücü 420 W güçlerinde kurutulmuşlardır.

3.3 Analizler

3.3.1 Nem içeriğinin belirlenmesi

Tüm örneklerin kurutma işlemine tabi tutulmadan öncesi ve sonrasındaki nem miktarları, yaklaşık 5 g olacak şekilde tartım kaplarına alınarak, örnek ağırlıkları 105 °C’de sabit ağırlığa gelene kadar etüvde kurutma yapılarak belirlenmiştir. Tartımlar arasındaki farklar ile toplam kuru madde miktarları ve nem miktarları hesaplanmıştır (Schadle vd. 1983).

3.3.2 Renk değerlerinin belirlenmesi

Tüm örneklerin renk analizleri, renk ölçer cihazı (C-400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Kurutma öncesi ve sonrasında her bir örnekte 3 noktadan CIE L, a ve b değerleri ölçülmüş ve kayıt edilmiştir (Pan vd. 2007).

3.3.3 Dielektrik özelliklerin belirlenmesi

Tüm örneklerin dielektrik özelliklerini (dielektrik kayıp faktörü ve dielektrik sabiti) belirlemek için network analizörü ve 85070 dielektrik probu kullanılmıştır (Agilent Technologies model E5061B, USA). Dielektrik prob 500 MHz ile 3GHz aralığına ayarlanmış, su ve hava ile kalibre edilmiştir (Sipahioğlu ve Barringer 2003). Kurutma öncesi ve sonrasında her bir örnekte 10 noktadan ölçüm alınmış ve kayıt edilmiştir. Dielektrik özellikler kullanılarak nüfuz derinliği aşağıdaki eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır (Metaxas ve Meredith 1983):

$$Z = \frac{\lambda_0}{2\pi \sqrt{\epsilon'}} \left\{ \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right]^{0.5} - 1 \right\}^{-0.5} \quad (3.1)$$

Denklemde;

Z nüfuz derinliği (cm),

λ_0 serbest uzayda dalga uzunluğu (cm),

ϵ' dielektrik sabiti

ϵ'' dielektrik kayıp faktörü, olarak ifade edilmektedir.

3.3.4 Kurutma hızının hesaplanması

Kurumakta olan bir materyalin, birim zamanda kaybettiği nem miktarı, kuruma hızı olarak tanımlanmaktadır. Kuruma hızının belirlenmesinde farklı iki yöntemden faydalanılmaktadır (Yağcıoğlu 1986).

Birinci yöntemde, materyalin ölçüm yapılan ana kadar kaybettiği nem ile o ana kadar geçen süre dikkate alınmakta ve materyalden buharlaşan nem miktarı, materyalin kuru ağırlığı ve birim buharlaşma yüzey alanı cinsinden ifade edilmektedir.

Kurutma hızının belirlenmesinde yararlanılan ikinci yöntemde ise “Ayrılabilir Nem Oranı (ANO)” kavramı kullanılmaktadır. Boyutsuz bir terim olan Ayrılabilir Nem Oranı (ANO), aşağıdaki eşitlikte verilmiş bulunan genel kurutma denkleminin sol tarafında yer alan oransal bir büyüklüktür. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M_t) ürünün ilk nem içeriğine oranı olarak sadeleştirilebilen ayrılabilir nem oranı aşağıdaki eşitlik (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$(ANO = M_t / M_0) \quad (3.2)$$

Bu çalışmada, kurutma hızının hesaplanması için ikinci yöntemin kullanılması tercih edilmiştir.

Kurutma hızı aşağıdaki eşitlik (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır (Doymaz 2006, Karaaslan ve Tunçer 2009).

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (3.3)$$

Denklemde;

$\Delta M / \Delta t$: Kurutma hızı (kg su/(kg kuru madde:dak),

M_t : t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

$M_{t+\Delta t}$: t+ Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

t, Δt : süre (dak) olarak ifade edilmektedir.

3.3.5 İstatistiksel analiz

Bu çalışmadaki bulgularla ilgili istatistiksel analizler MINITAB 15.1.1.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Değişkenin etkisinin belirlenmesi için varyans analizi kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu, istatistiksel açıdan önemli bulunan değerler Tukey testi ile $p \leq 0,05$ önem derecesine göre belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Muz Örnekleri

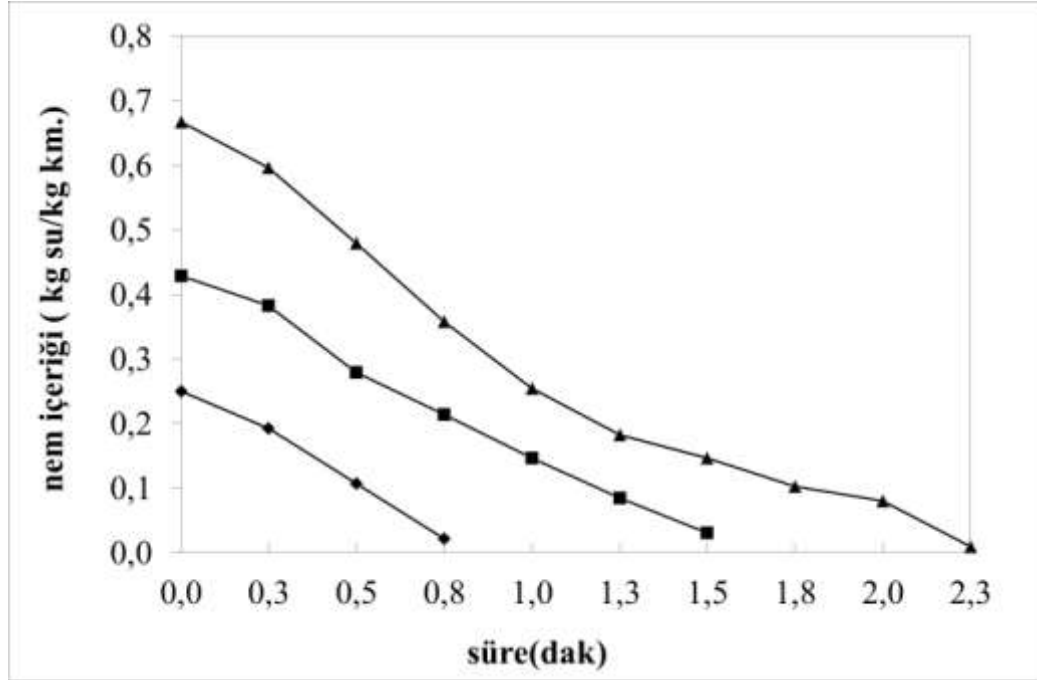
4.1.1 Nem değişimi bulguları

4.1.1.1 Farklı başlangıç nem miktarlarının etkisi

Muz örneklerinin ilk nem içerikleri yaş bazda ortalama $76 \pm 0,02$ olarak ölçülmüştür. Örnekler mikrodalga işleminde yanmaması için %20, %30 ve %40 nem içerecek şekilde ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön kurutma işlemi için, 5 mm kalınlığında dilimlenen örnekler tepsili kurutucuda sabit sıcaklıkta (70°C) kurutulmuştur. Başlangıç nemi belirtilen değerlerde sabitlenen örnekler daha sonra mikrodalga (180 W, 270 W ve 360 W) ve mikrodalga-kızılötesi (MW-IR) kombinasyonu (560 W mikrodalga gücü- 600 W üst halojen- 600 W alt halojen) uygulanmıştır. Nem değişimi değerleri 2 tekerrürün ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

180 W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) zamana bağlı değişimi şekil 4.1’de verilmiştir. Örneklerin ağırlık azalmaları 15 saniye aralıklarla ölçülmüştür. %20 nem içeren örneklerin mikrodalgada kurutulmaya başlarken nem içerikleri 0,250 kg su/kg km. iken 0,75 dk kurutma sonrasında 0,022 kg su/kg km.’ye düşmüştür. %30 nem içeren muz örnekleri başlangıçta 0,429 kg su/kg km. nem içeriğine sahipken 1,5 dk kurutulması sonucu nem içeriği 0,031 kgsu/kg km.’ye inmiştir. Aynı şekilde %40 başlangıç nemi bulunan örnekler uygulama öncesi 0,667 kg su/kg km. nem içermekteyken 2,25 dk sonunda 0,010 kg su/kg km. nem içermektedir. Başlangıç nem içeriği daha yüksek olan örnek mikrodalga işleminden daha fazla etkilenmiş ve nihai nemi daha düşük değerlere ulaşmıştır. Bu durum, mikrodalga-su interaksyonu ile açıklanabilir. Nem içeriği yüksek olan gıdaların mikrodalga enerjisini daha fazla absorbe edebildiği bilinmektedir. Kurutma sürelerindeki değişim başlangıç nem içeriğine bağlı olarak oluşmaktadır. Başlangıç nemi yüksek olan örneklerin kurutma işlemleri daha uzun sürmektedir. 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerin nem içeriği sonuçları değerlendirildiğinde başlangıç nem miktarındaki artışın

son ürün nem içeriği üzerine istatistiksel olarak azalan bir etkisi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1, EK1 Çizelge 1).

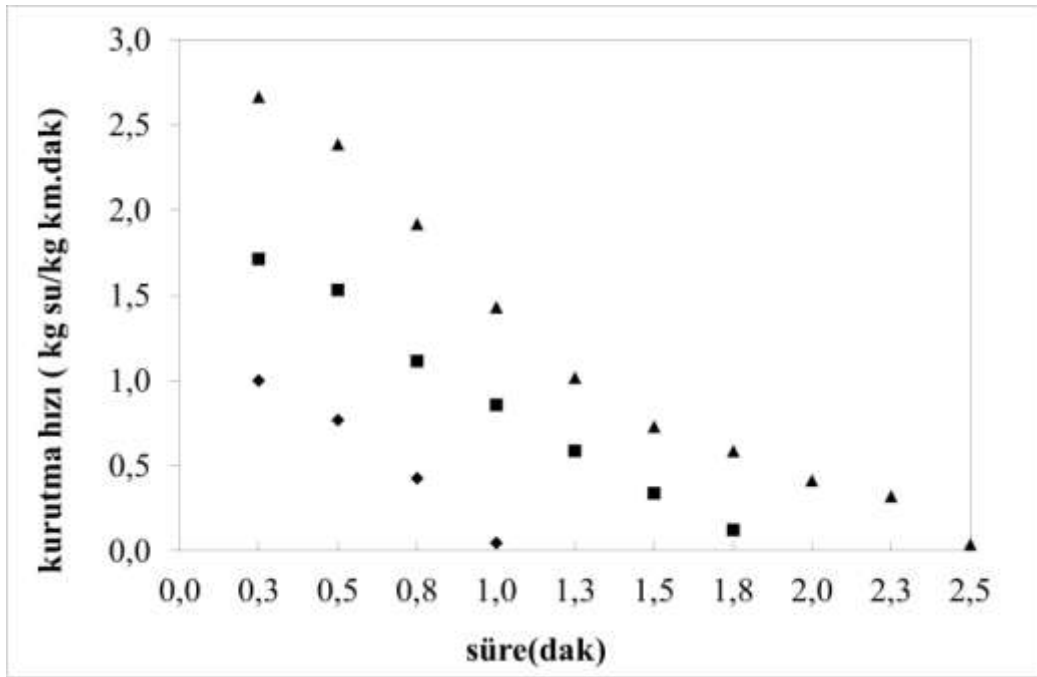


Şekil 4.1 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

◆ %20 nem içeren muz^(c), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

Farklı başlangıç nemine sahip örneklerin kurutma hızının zamana bağlı değişimi ise şekil 4.2’de verilmektedir. 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan örnekler için kurutma hızı değerlerindeki değişim başlangıç nem içeriğine göre değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. %20 nem içeren örneklerin ilk 0,25. dakikadaki kurutma hızı 1 kg su/kg km.dk iken 0,75 dakika sonraki hızı 0,05 kg su/kg km.dk değerine düşmüştür. %30 ve %40 nem içeren örneklerde sırasıyla ilk 0,25. dakikadaki kurutma hızı 1,71 ve 2,67 kg su/kg km.dk hesaplanırken analiz sonunda sırasıyla 0,12 ve 0,04 kg su/kg km.dk’ya düşmüştür. Ürün içindeki nem miktarı azaldıkça kurutma hızı da azalmaktadır. Grafikten de anlaşıldığı gibi muz örneklerinde sabit hızda kuruma görülmemekte ve tüm kuruma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir. Elde edilen bu sonuç iki sebebe bağlanabilir. İlk olarak daha önce belirtildiği gibi örnek içerisindeki su miktarının azalması mikrodalgalara karşı hassasiyetin azalmasına neden olmaktadır. Bu da kurutma hızında değer kaybı olarak sonuçlanmaktadır. İkinci sebep

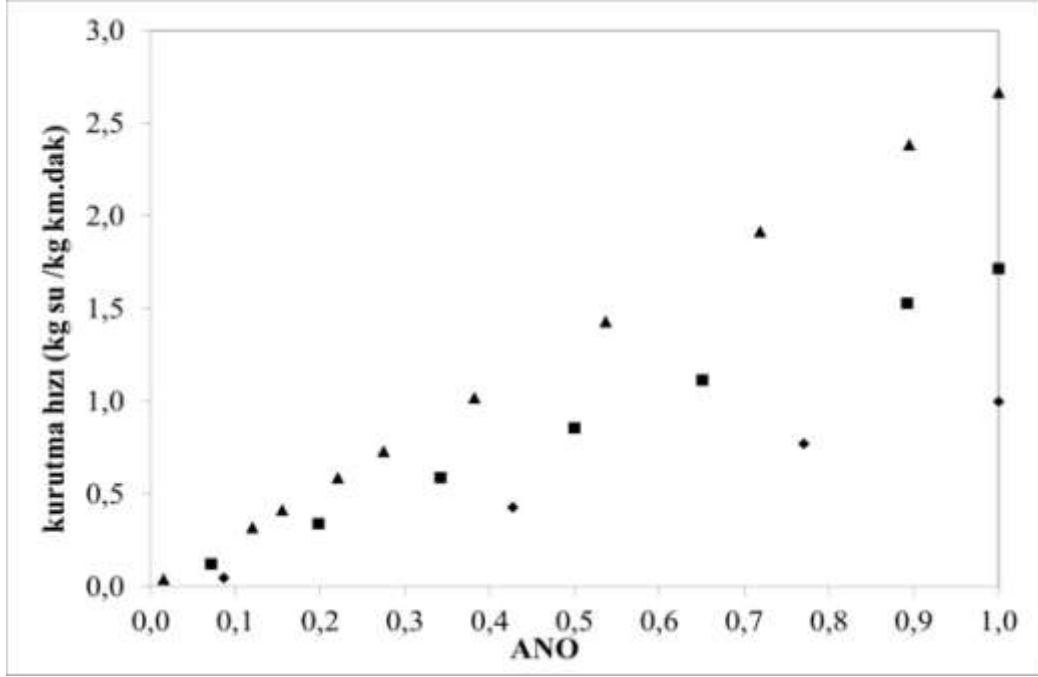
ise, kurutma hızını belirleyen en önemli parametrenin kütle aktarım hızı olmasıdır. Kütle aktarım hızı ise sürükleyici kuvvet olarak değerlendirilen konsantrasyon farkına dayanır. Örnekteki düşük nem konsantrasyonu aktarım açısından daha düşük sürükleyici kuvvete neden olacağı için nihai kurutma hızı üzerine negatif etkisi bulunmaktadır (EK1 Çizelge 2). Literatürde rapor edilen bir çalışmada, vişne örneklerinin farklı sıcaklıklardaki kurutma karakteristikleri incelenmiş ve sonuçta kurutma hızının nem içeriği ile azalan bir eğilim gösterdiği bulunmuştur (Aghbashlo vd. 2010).



Şekil 4.2 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

♦ %20 nem içeren muz^(b), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

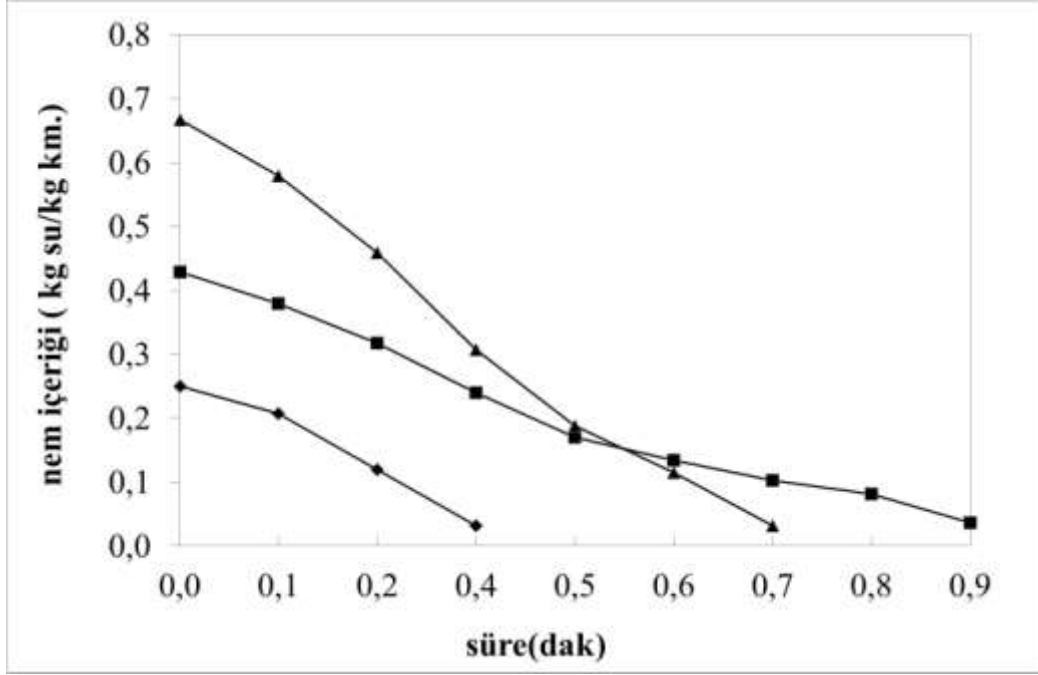
Kurutma hızı üzerine azalan nem içeriğinin negatif etkisi çalışmada elde edilen kurutma hızı ANOVA değişim verileriyle de desteklenmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

◆ %20 nem içeren muz^(b), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

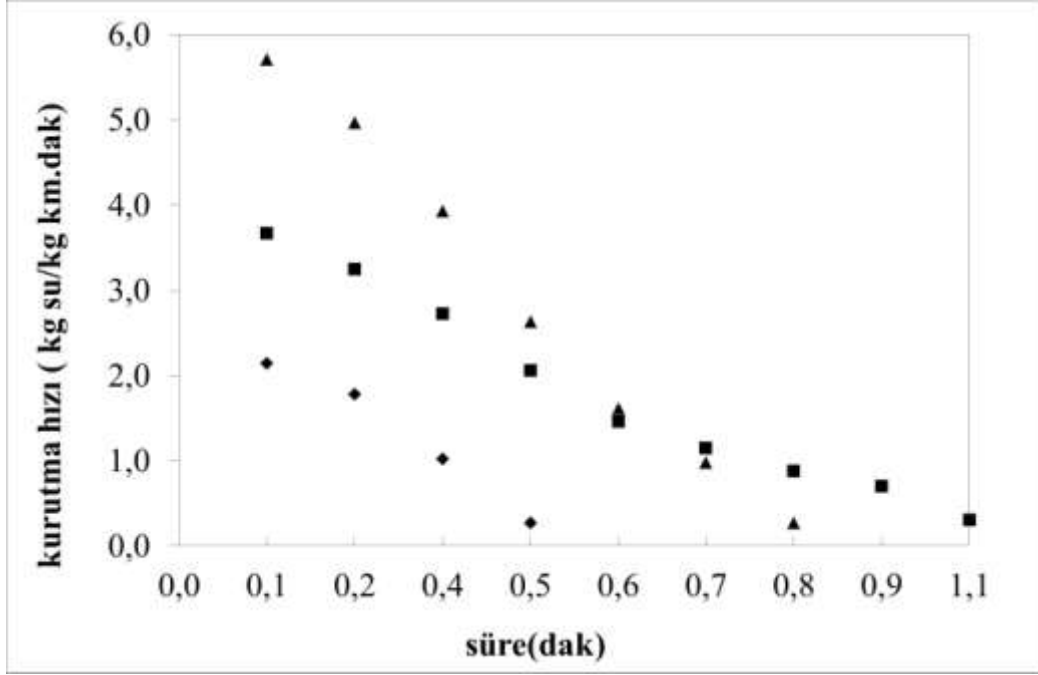
Başlangıç nem içeriği %20, %30 ve %40 olarak hazırlanan muz örnekleri 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuştur. Kurutma süresince 7 saniye aralıklarla ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde; başlangıç nemi %20 olan muz örneklerinin kurutma başlangıcında ilk nem içerikleri 0,250 kg su/kg km.'dir. 0,35 dk sonra aynı örneklerin nem içeriği 0,032 kg su/kg km.'ye düşmüştür. Başlangıç nem miktarı %30 olan örneklerde 0,429 kg su/kg km. olan nem içeriği 0,93 dk kurutma sonunda 0,036 kg su/kg km. seviyesine inmiştir. %40 başlangıç nem miktarı olan örneklerde ise nem içeriği 0,667 kg su/kg km. iken 0,70 dk kurutma sonrasında 0,031 kg su/kg km.'ye ulaşmıştır. 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş başlangıç nem içeriği yüksek olan muz örneklerinde daha düşük son nem gözlemlenmiştir (Şekil 4.4, EK1 Çizelge 1). Başlangıç nem içeriği daha yüksek olan örnek mikrodalga işleminden daha fazla etkilenmiş ve nihai nemi daha düşük değerlere ulaşmıştır. Bu durum, mikrodalga-su interaksyonu ile açıklanabilir. Nem içeriği yüksek olan gıdaların mikrodalga enerjisini daha fazla absorbe edebildiği bilinmektedir.



Şekil 4.4 270 W mikrodalgı gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağılı değışimi

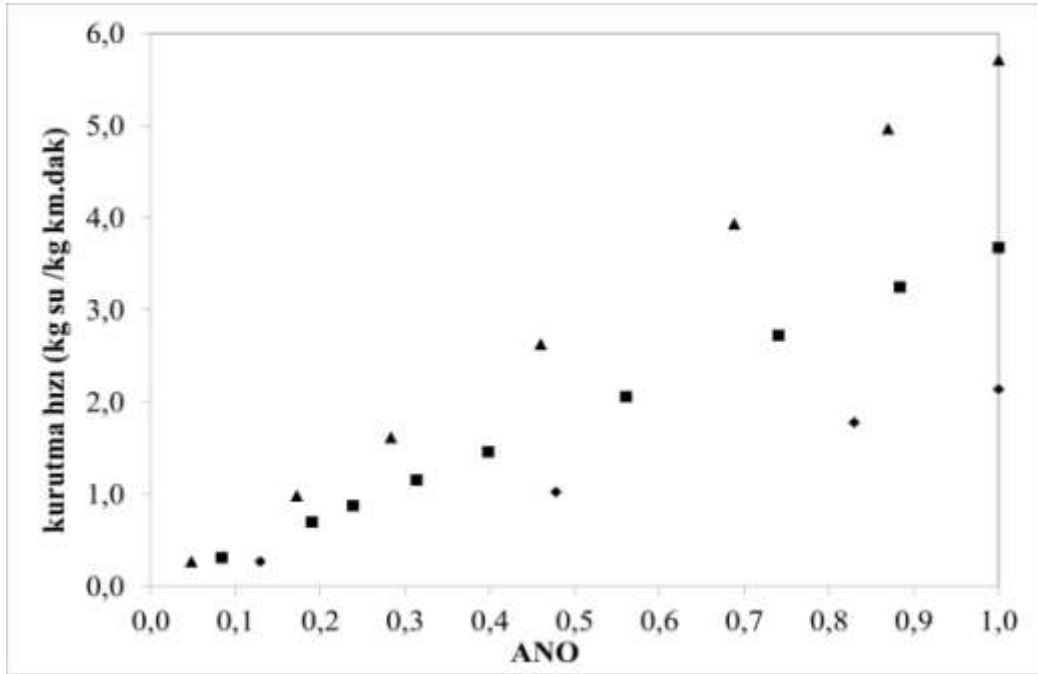
◆ %20 nem içeren muz^(c), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

270 W mikrodalgada kurutulan farklı başlangıç nem içeriğindeki muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağılı değışimi şekil 4.5'te gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde başlangıç nem içeriğı %20 olan örneklerin 0,12. dakikadaki kurutma hızı 2,14 kg su/kg km.dk olup kurutma sonunda 0,27 kg su/kg km.dk değıerine düşmüştür. Başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinde kurutma hızı 3,67 kg su/kg km.dk olarak ilk 0,12. dakikada kurutma başlamıştır. 0,93. dakikada ise kurutma hızı 0,31 kg su/kg km.dk'ya inmiştir. Aynı şekilde başlangıç nem içeriğı %40 olan muz örneklerinin 0,12. dakikadaki kurutma hızı (5,71 kg su/kg km.dk) 0,82 dakikada 0,27 kg su/kg km.dk'ya düşmüştür. Başlangıç nem içeriğı %20 ve %30 olan örneklerin kurutma hızları benzerlik gösterirken %40 nem içeriğine sahip örneklerin kurutma hızındaki artışın istatistiksel olarak önemli olduğı bulunmuştur (Şekil 4.5, EK 1 Çizelge 2). Kurutma hızı başlangıç periyodunda hızlı ancak kurutma prosesi boyunca son adımlarda yavaşlamaktadır. Bu sonuç kütle transfer hızının ve mikrodalgı hassasiyetinin ortak sonucudur. Azalan nem içeriğinin kurutma hızı üzerine negatif bir etkisinin olduğı şekil 4.6'da da görülebilmektedir.



Şekil 4.5 270 W mikrodalgada kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamanla değişimi

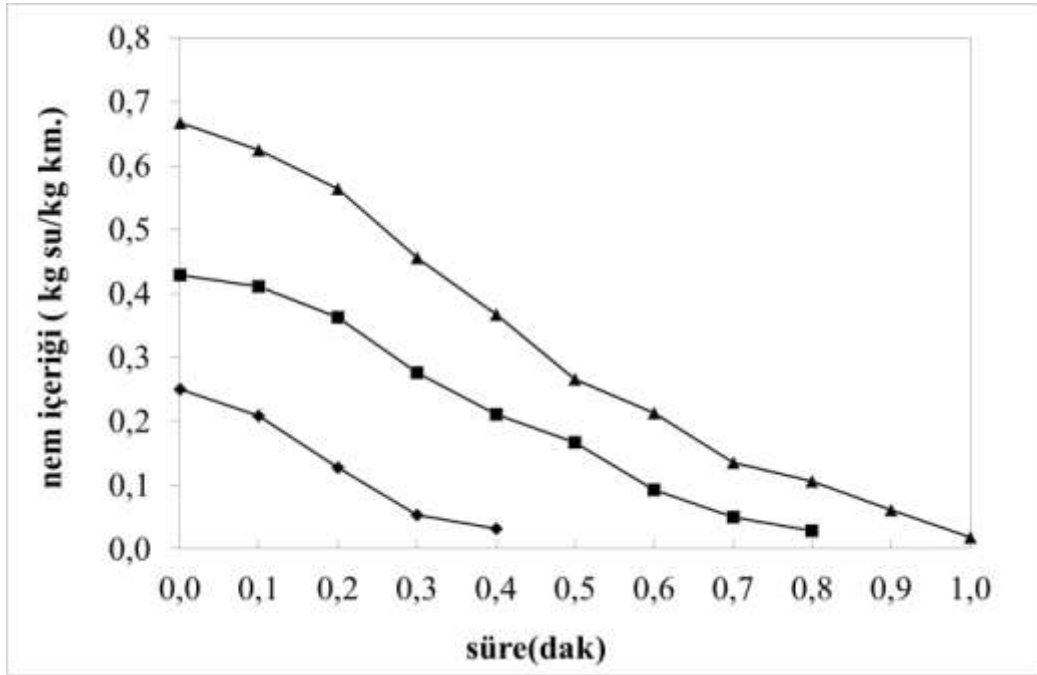
♦ %20 nem içeren muz^(b), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)



Şekil 4.6 270 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

♦ %20 nem içeren muz^(b), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

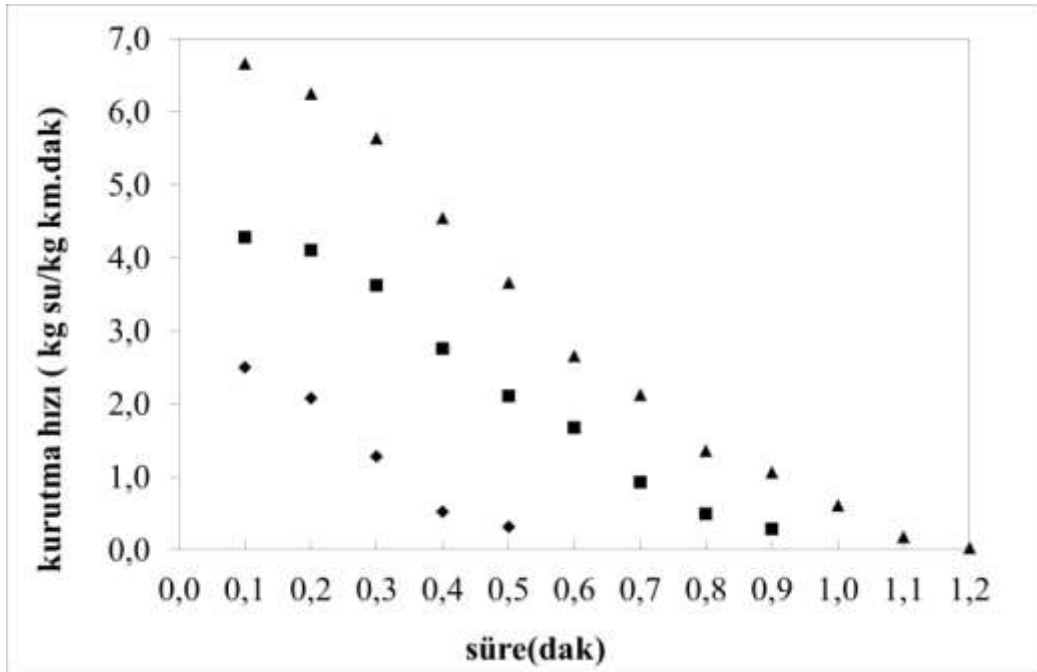
Şekil 4.7’de 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) zamana bağlı değişim sonuçları verilmiştir. Örneklerin 6 saniye aralıklarla ağırlık değişimleri ölçülmüş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. En düşük başlangıç nem içeriğine sahip muz örneklerinin kurutmanın ilk adımında nem içeriği 0,250 kg su/kg km. olup 0,4. dakika sonunda 0,032 kg su/kg km.’ye düşmüştür. Başlangıç nem içeriği %30 olan örneklerin proses başladığında nem içerikleri 0,429 kg su/kg km. iken 0,8. dakika sonunda 0,029 kg su/kg km’ye inmiştir. En yüksek başlangıç nem içeriğindeki muz örneklerinde ise kurutma başlangıcında ve 1,1 dakika sonraki nem içeriği sırasıyla 0,667 ve 0,003 kg su/kg k.m olarak bulunmuştur. Başlangıç nem içeriği ve son nem içeriği arasındaki bu negatif ilişkinin başlıca sebebi yüksek su konsantrasyonunda elde edilen yüksek mikrodalga performansdır (Şekil 4.7, EK 1 Çizelge 1).Bu durum daha önce de sözüedilen mikrodalga-su interaksyonunun bir neticesi olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.7 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

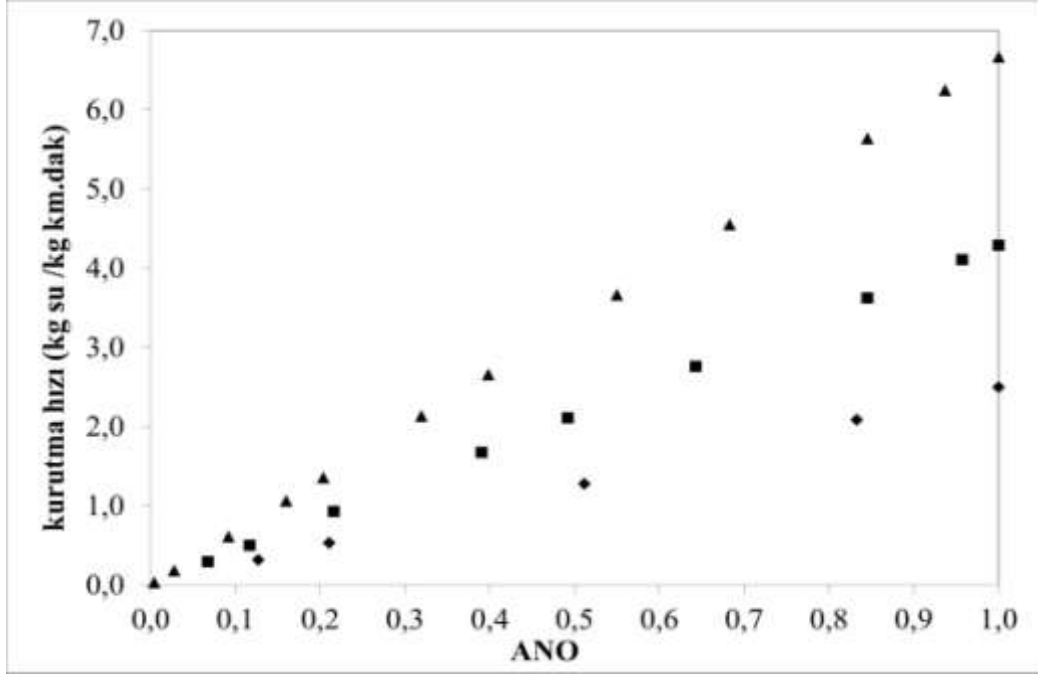
◆ %20 nem içeren muz^(c), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

Kurutma hızı değerleri incelendiğinde; kurutmanın ilk 0,1. dakikasında başlangıç nem içeriği %20, %30 ve %40 olan muz örneklerinin kurutma hızı sırasıyla 2,50, 4,29 ve 6,67 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. Başlangıç nem içeriği %20 olan örneklerin 0,4 dakika sonunda kurutma hızı 0,32 kg su/kg km.dk'ya düşerken %30 nem içeriğine sahip örneklerde 0,8. dakika sonunda kurutma hızı 0,29 kg su/kg km.dk olmuştur. Başlangıç nem içeriği yüksek olan muz örneklerinde ise 1,1 dakika kurutma boyunca hız 0,03 kg su/kg km.dk'ya inmiştir. Muz örneklerinin başlangıç nem içeriklerindeki artışın kurutma hızı üzerinde istatistiksel olarak pozitif bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.8, EK 1 Çizelge 2). Nem miktarının azalmasıyla kurutma hızı da azalmıştır. Elde edilen bu sonuç nem içeriği verileri ile de uyumludur. Kurutma hızı grafiği incelendiğinde muz örneklerinin azalan hızla kuruduğu gözlemlenmiştir. Kaymak ve Ertekin (2002), yeşil ve kırmızı biberleri akışkan yatak kurutucuda kurutmuş ve kuruma karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmada biber örneklerinin kurumasında sabit periyod gözlenmezken azalan hız periyodunda kuruma gerçekleştiği rapor edilmiştir. Kurutma hızının ANOVA değerleri ile değişim verileri de nem içeriğinin kurutma hızı üzerine tespit edilen negatif etkisini desteklemektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 360 W mikrodalgı gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağılı değişimi

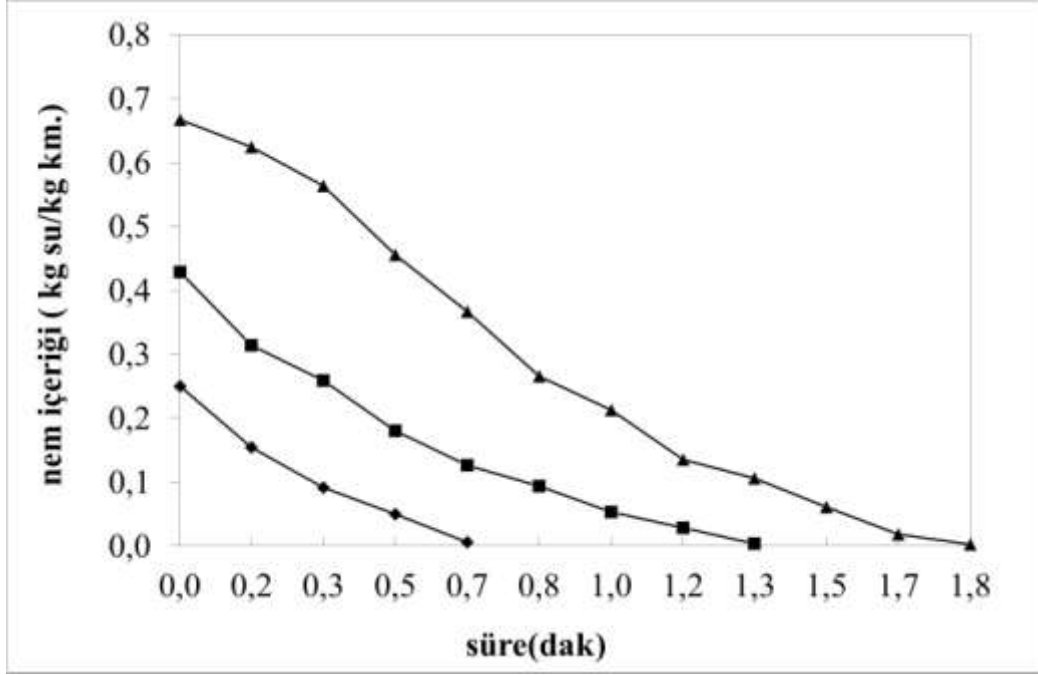
◆ %20 nem içeren muz^(b) , ■ %30 nem içeren muz^(b) , ▲ %40 nem içeren muz^(a)



Şekil 4.9 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

◆ %20 nem içeren muz^(b), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

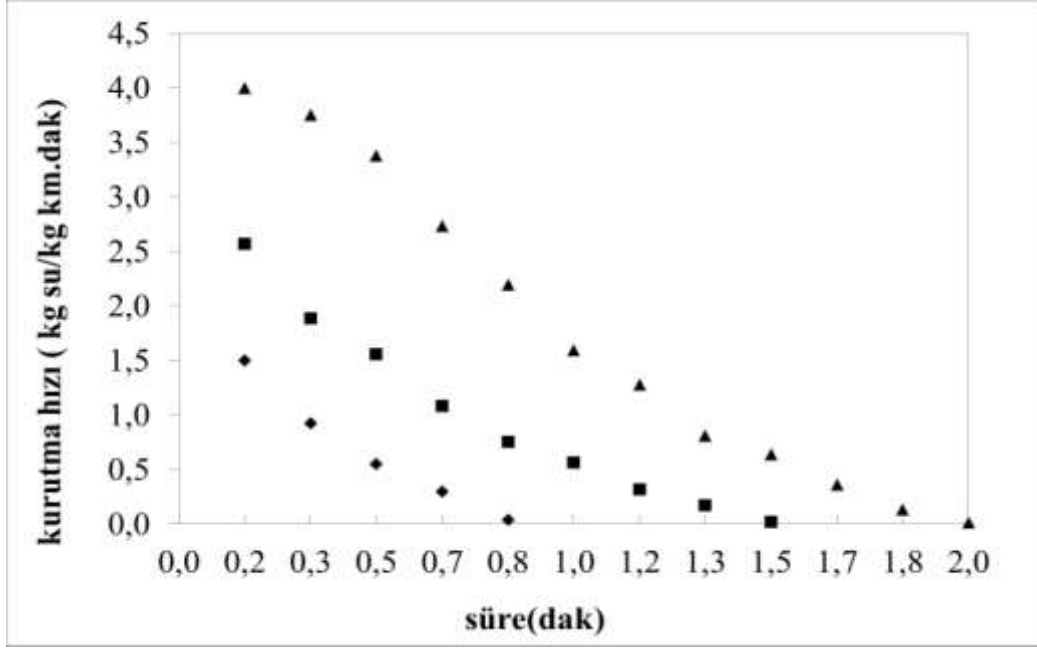
Muz örnekleri mikrodalga kurutma için hazırlandığı gibi başlangıç nem miktarı %20, %30 ve %40 olacak şekilde hazırlanıp mikrodalga–kızılötesi (MW-IR) kombinasyonu ile kurutulmuştur. Nem değişiminin incelenebilmesi için 10 saniye aralıklarla ölçüm alınmıştır (Şekil 4.10). Kurutma başlangıcında nem içeriği 0,250 kg su/kg km. olan %20 nem miktarına sahip örneklerde 0,7 dakika sonunda nem içeriği 0,006 kg su/kg km.’ye düşmüştür. Aynı şekilde; başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinde kurutma başlangıcında nem içeriği 0,429 kg su/kg km. olup 1,3 dakika kurutma sonunda 0,003 kg su/kg km. değerine inmiştir. Başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerde ise kurutmaya başlarken nem içeriği 0,667 kg su/kg km. iken 1,8 dakika kurutma sonunda 0,003 kg su/kg km. değerine düşmüştür. Uygulama bitiminde; yüksek nem içeriğine sahip örneklerin işlem sürelerinin uzun olması ve dolayısıyla daha fazla mikrodalga ve kızılötesi ışına maruz kalmaları nedeniyle daha düşük nem miktarına sahip oldukları saptanmıştır (Şekil 4.10, EK 1 Çizelge 1). Daha önceki bölümlerde de rapor edildiği gibi benzeri sonuç diğer mikrodalga uygulamalarında da gözlenmiştir.



Şekil 4.10 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

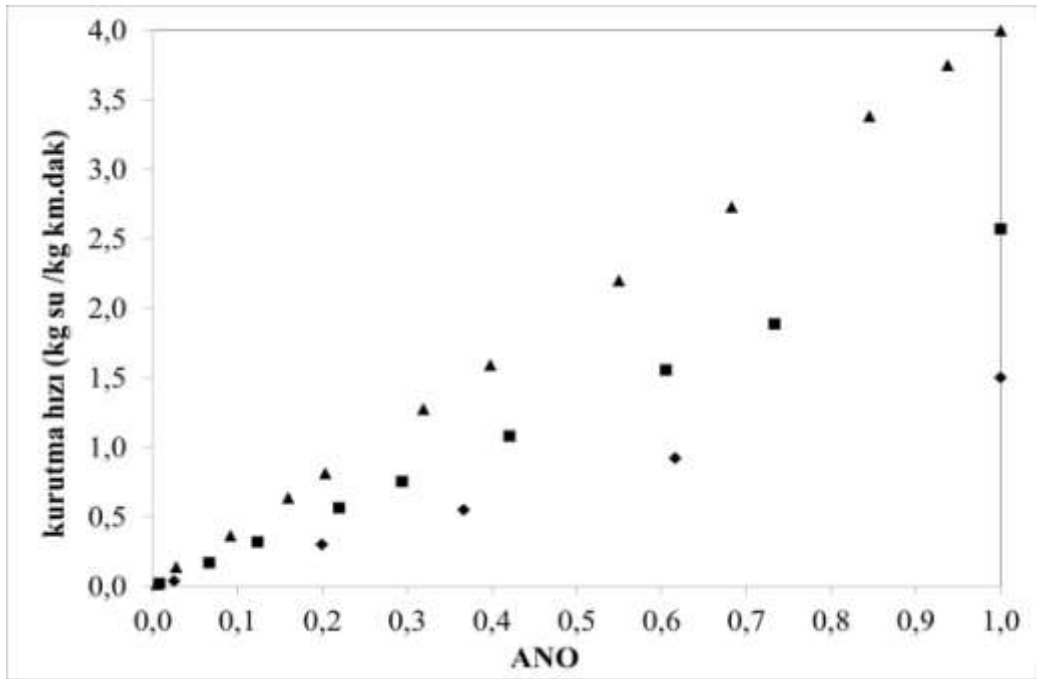
◆ %20 nem içeren muz^(c), ■ %30 nem içeren muz^(b), ▲ %40 nem içeren muz^(a)

Başlangıç nem içerikleri farklı olan muz örneklerinin MW-IR boyunca kurutma hızının zamana bağlı değişimi şekil 4.11’de gösterilmiştir. Veriler değerlendirildiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir. Başlangıç nem içeriği %20 ve %30 olan muz örneklerinin 0,17. dakikadaki kurutma hızı sırasıyla 1,5 ve 2,57 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. %20 nem içeriğine sahip örneklerin 0,7.dakika sonunda kurutma hızı 0,04 kg su/kg km.dk’ya, %30 nem miktarına sahip örneklerin 1,3 dakika sonunda kurutma hızı 0,02 kg su/kg km.dk’ya düşmüştür. Başlangıç nem içeriği %40 olan muz örneklerinin ise 0,17. dakikadaki ilk kurutma hızı 4 kg su/ kg km.dk iken 1,8 dakika sonunda 0,01 kg su/kg km.dk’ya inmiştir. %20 ve %30 başlangıç nem içeriğine sahip örneklerin kurutma hızındaki azalma benzerlik göstermiştir. Ancak yüksek nem içeriğine sahip örneklerin kurutma hızlarındaki artışın istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır (Şekil 4.11, EK 1 Çizelge 2). Kurutma hızı üzerine azalan nem içeriği verilerinin negatif bir etkisi olduğu şekil 4.12’de de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

◆ %20 nem içeren muz^(b) , ■ %30 nem içeren muz^(b) , ▲ %40 nem içeren muz^(a)

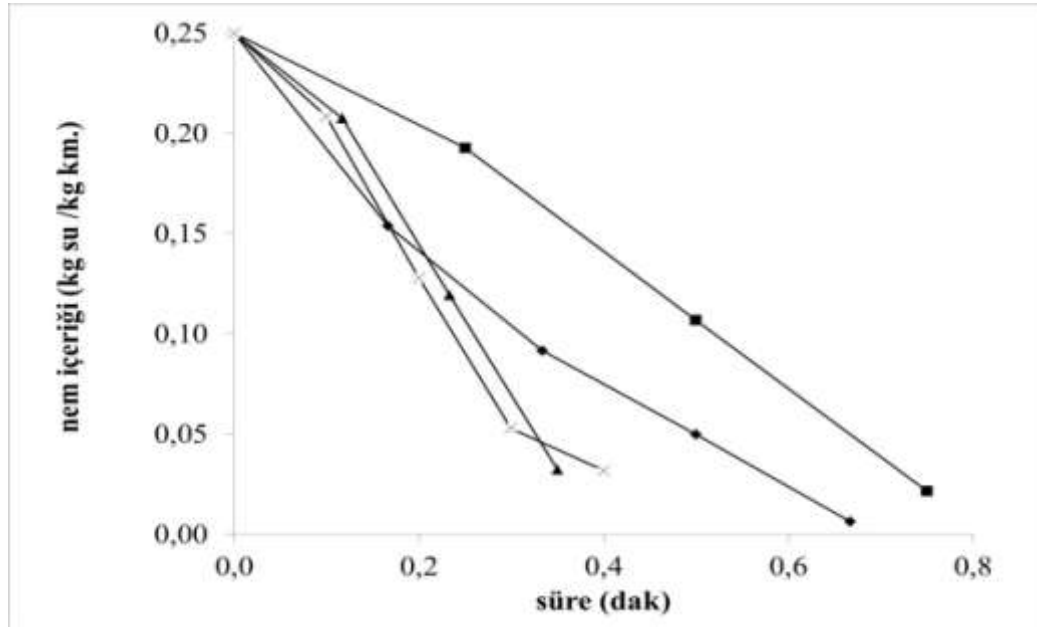


Şekil 4.12 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş muz örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

◆ %20 nem içeren muz^(b) , ■ %30 nem içeren muz^(b) , ▲ %40 nem içeren muz^(a)

4.1.1.2 Farklı uygulamaların etkisi

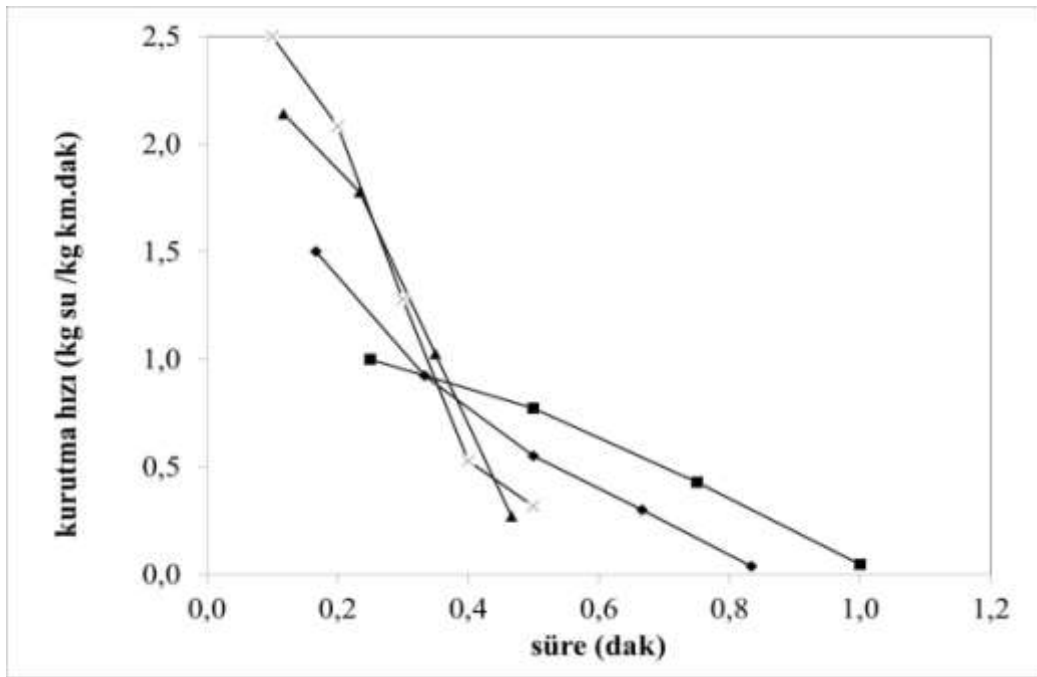
Başlangıç nem değeri %20 olan muz örneklerine ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde artan kurutma süresinin nem içeriğini azalttığı bulunmuştur (Şekil 4.13). Bu durum, kurutma süresindeki artışın örneğin daha fazla mikrodalga ile temas etmesine neden olması ile açıklanabilir. Benzeri sonuç farklı başlangıç nem miktarlarının etkisi tartışılırken de verilmiştir. Nem içeriği değişimi üzerine mikrodalga gücünün ve uygulama türünün etkisi değerlendirildiğinde istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı görülmektedir (Şekil 4.13, EK 1 Çizelge 1). Maskan (2000) tarafından muzlarla yapılan benzer çalışmada, mikrodalga gücünün nem kaybı üzerine etkisinin olmadığı belirtilmiştir. 180 W güç uygulamasında ortalama olarak 0,75 dakikada kurutma gerçekleşirken, 270 W, 360 W ve MW-IR uygulamalarında örnekler sırasıyla 0,35, 0,4 ve 0,7 dakikada kurumıştır. Düşük mikrodalga gücü ile daha uzun sürede kurumanın sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Şen (2010), kuşburnu meyvesinin farklı tekniklerle 540, 720 ve 900 W mikrodalga gücü kullanılarak kurutulması üzerine yaptığı çalışmada mikrodalga gücü arttıkça kurutma süresinin kısaldığı sonucuna ulaşmıştır.



Şekil 4.13 Başlangıç nem miktarı %20 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(a), ▲ 270 W^(a), × 360 W^(a), ◆ MW-IR^(a)

Başlangıçta %20 nem içeren muz örneklerine ait kurutma hızının zamana bağlı olarak azaldığı bulunmuştur (Şekil 4.14). Kurutma hızı değerleri üzerine mikrodalga gücü ve işlem türünün etkisi değerlendirildiğinde 180 W ve MW-IR uygulamalarının kurutma hızı ortalamaları sırasıyla 0,56 ve 0,66 kg su/kg km.dk iken 270 ve 360 W mikrodalga gücü ile kurutma işleminde hız 1,3 ve 1,34 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. Uygulanan mikrodalga gücü arttıkça kurutma hızı da yükselmiştir. Bu daha fazla mikrodalgaya maruziyetin beklenen bir sonucudur. Ayrıca düşük mikrodalga güç uygulaması ile MW-IR uygulamasının kurutma hızı ortalamaları benzerlik göstermektedir (EK 1 Çizelge 2).

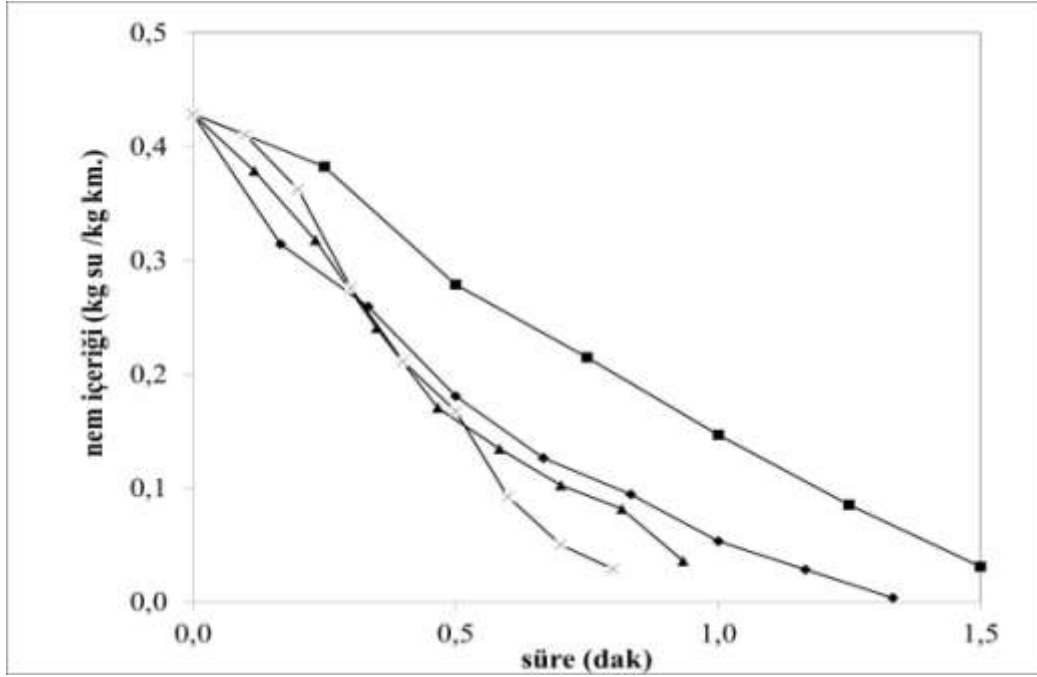


Şekil 4.14 Başlangıç nem miktarı %20 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(b) , ▲ 270 W^(a) , × 360 W^(a) ♦ MW-IR^(b)

Analiz başlangıcında nem içeriği miktarı %30 olan muz örneklerinin uygulamalar sonucunda zamana bağlı olarak değişen nem içerikleri Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Farklı mikrodalga güçleri (180 W, 270 W ve 360 W) ve MW-IR uygulamaları sırasıyla 1,5 dk, 0,93 dk, 0,8 dk ve 1,3 dk süreyle gerçekleştirilmiştir. Düşük güç uygulamasının en uzun işlem süresine sahip olduğu açıktır (Şekil 4.15). Uygulanan mikrodalga gücü yükseldikçe nem içeriği kaybının daha hızlı bir ivmeyle gerçekleştiği görülmektedir. Ancak nem içeriği ortalamasındaki azalmaların mikrodalga gücü ve uygulama türü

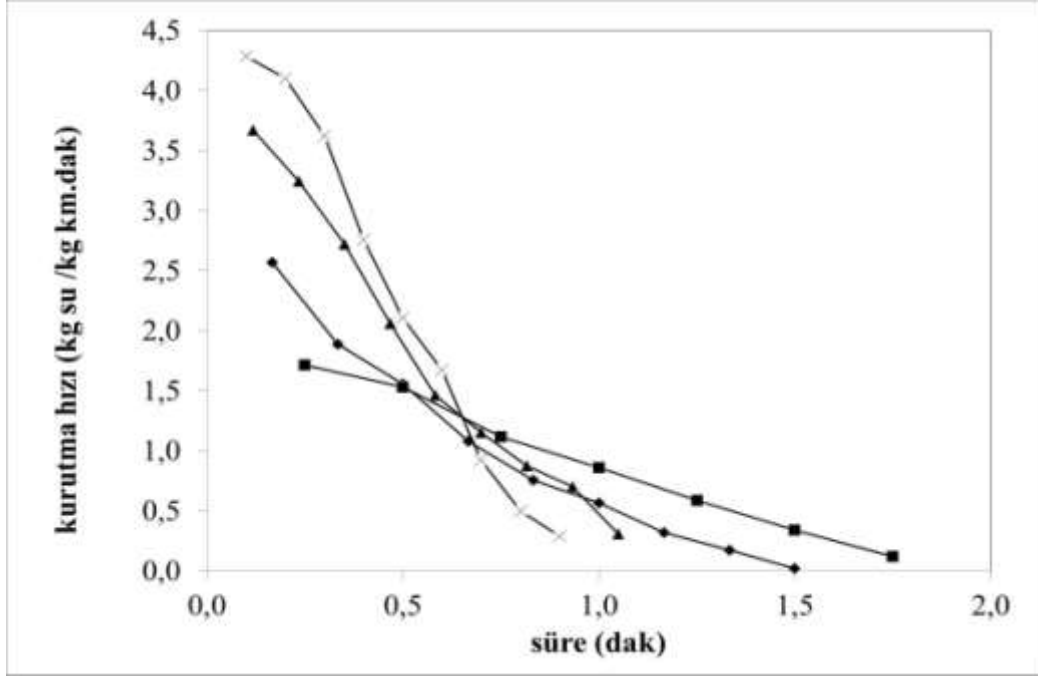
bakımından farklı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (EK 1 Çizelge 2). Benzeri bir sonuç yabanmersinin mikrodalga-vakum kombinasyonu ile kurutulması üzerine yapılan çalışmada da bildirilmiştir. Yongsawatdigul ve Gunasekaran (1996), yabanmersinine iki farklı mikrodalga gücü (250 ve 500 W), iki farklı basınç değeri (5,33 ve 10,67 kPa) uygulamıştır. Mikrodalga güçleri arasında farklılık olmadığı yapılan bu çalışmada da rapor edilmiştir.



Şekil 4.15 Başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(a), ▲ 270 W^(a), × 360 W^(a), ◆ MW-IR^(a)

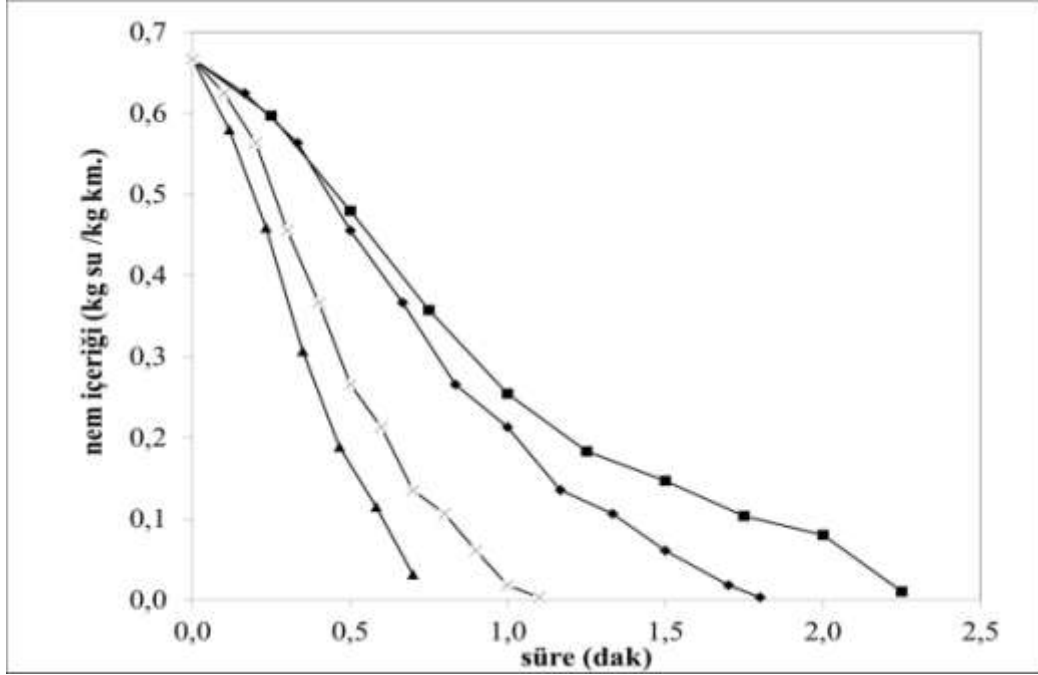
Başlangıç nem içeriği %30 olan muz örneklerinin zamana bağlı olarak değişen kurutma hızı incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 4.16). Mikrodalga gücü arttıkça kurutma hızı da sırasıyla 0,89, 1,80 ve 2,25 kg su/kg km.dk değerlerine ulaşmıştır. Gücün artırılması daha fazla enerjinin absorbe edilmesine ve böylece daha hızlı bir kuruma gerçekleşmesine neden olmaktadır (EK 1 Çizelge 2). Literatürde mikrodalga ile kurutulan yağsız süt, tam yağlı süt, kazein tozu, tereyağı ve makarna üzerine yapılan çalışmalarda kurutma parametreleri karşılaştırılmış ve benzer sonuç elde edilmiştir (Al-Duri ve McIntyre 1992).



Şekil 4.16 Başlangıç nem miktarı %30 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(b), ▲ 270 W^(a), × 360 W^(a), ◆ MW-IR^(b)

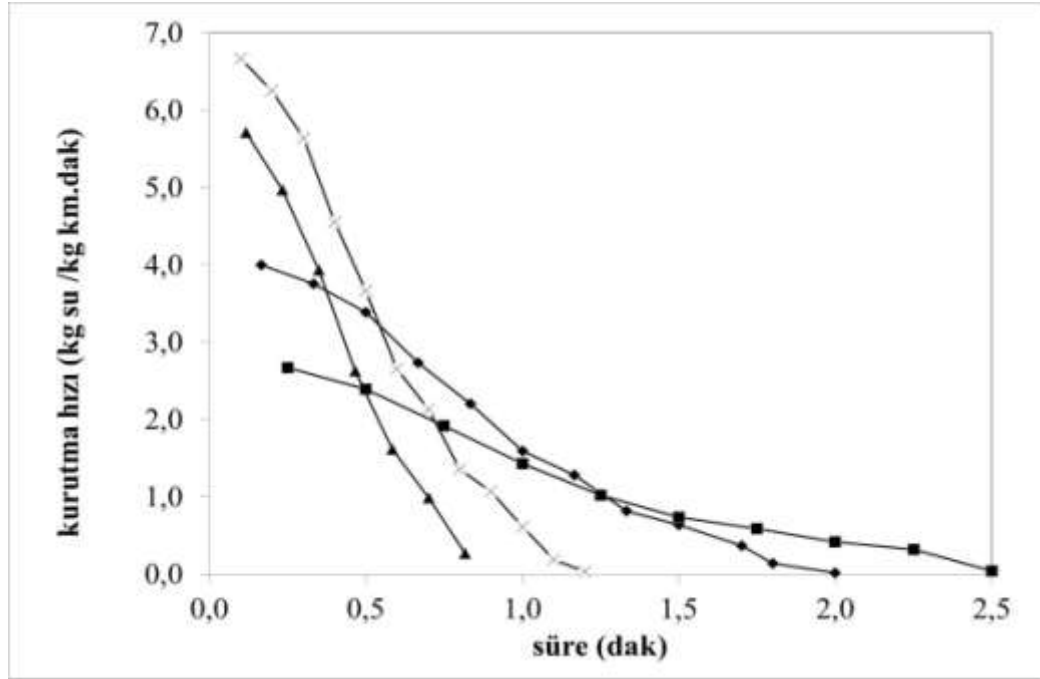
Şekil 4.17’de başlangıç nem değeri %40 olan muz örneklerinin farklı mikrodalga gücü ve MW-IR uygulaması boyunca nem içeriğinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. 180 W güç uygulamasında ortalama olarak 2,25 dakikada kuruma gerçekleşirken 270 W, 360 W ve MW-IR uygulamalarında sırasıyla 0,7, 1,1 ve 1,8 dakikada kuru ürün elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde, diğer nem içeriklerinde de belirtildiği gibi güç miktarı azaldıkça işlem süresinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Nem içeriğinin değişimi üzerine mikrodalga gücünün ve uygulama türünün etkisi incelenmiş ve istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (EK 1 Çizelge 1). Walde vd. (1997), karayagumun mikrodalga ile kurutulması üzerine yaptıkları bir çalışmada mikrodalga gücündeki artışın nem kaybı üzerine istatistiksel olarak bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.17 Başlangıç nem miktarı %40 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(a), ▲ 270 W^(a), × 360 W^(a), ◆ MW-IR^(a)

Diğer başlangıç nem değerlerinde olduğu gibi, %40 nem miktarı ile kurutma işlemine tabi tutulan muz örneklerinde de zamana bağlı olarak kurutma hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 4.18). 180 W ve MW-IR uygulamaların kurutma hız ortalamaları sırasıyla 1,15 ve 1,74 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. 270 ve 360 W uygulamalarda ise hız 2,87 ve 2,90 kg su/kg km.dk şeklinde giderek artmıştır. Mikrodalga güç miktarının artması kurutma hızının artmasında da etkilidir. Bu etkinin istatistiksel olarak önemli olduğu daha önce bahsedilen bulgularla paralellik göstermektedir (EK 1 Çizelge 2). Yüksek mikrodalga gücünde örnek daha fazla sıcaklık değişikliklerine uğramaktadır. Bu nedenle yüksek kurutma hızıyla kurur. Muzlarla yapılan başka bir çalışmada güç arttıkça kurutma süresi kısalmış ve kurutma hızı artmıştır (Pereira vd. 2007).



Şekil 4.18 Başlangıç nem miktarı %40 olan muz örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 180 W^(b), ▲ 270 W^(a), × 360 W^(a), ◆ MW-IR^(b)

Çizelge 4.1’de 70°C’de kurutulan kontrol örnekleri ile farklı nem içeriğindeki örneklerin uygulamalara göre kurutma süreleri gösterilmiştir. Başlangıç nem içeriğindeki azalmanın işlem süresi üzerine negatif bir etkiye sahip olduğu istatistiksel olarak belirtilmiştir (EK1 Çizelge 3). Ön işlem süresinin bu durumda etkisi olduğu son derece açıktır. Ön kurutma süreleri gözardı edildiğinde ise nem miktarı arttıkça işlem süresi artmıştır (EK1 Çizelge 4). Uygulama türleri incelendiğinde ise, kontrol örnekleri en uzun işlem süresine sahiptir. 180 W mikrodalga gücünde başlangıç nem miktarı %20, %30 ve %40 olan örneklerde kurutma sırasıyla 0,75 dk, 1,5 dk ve 2,25 dakika sürmüştür. 270 W gücü ile kurutmada ise başlangıç nem miktarı arttıkça örnekler sırasıyla 0,35, 0,93 ve 0,7 dakikada kurumuştur. 360 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminde ise, başlangıç nem miktarı %20, %30 ve %40 olan örneklerde kurutma sırasıyla 0,4, 0,8 ve 1,1 dakika sürmüştür. MW-IR kombinasyon uygulamasında ise nem miktarı %20, %30 ve %40 şeklinde arttıkça süre de 0,7, 1,3 ve 1,8 dakika olarak artmıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla işlem süresinin azalması arasında önemli bir ilişki vardır. MW-IR uygulamasının işlem süresi mikrodalga uygulamalarla benzer sonuçlar vermiştir. Benzer bir çalışmada elma dilimleri farklı

mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Düşük mikrodalga güç kullanılarak kurutulan örneklerde işlem süresinin yüksek mikrodalga gücü uygulamasına göre daha uzun olduğu rapor edilmiştir (Marzec vd. 2010). Sumnu vd. (2005)'nin yaptıkları çalışmada IR teknoloji ile havuç kurutulmuş olup IR'in kurutma süresini yaklaşık % 98 oranında kısalttığı belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 Muz örneklerinin kurutma süreleri

UYGULAMA	%20 nem*	%30 nem**	%40 nem ***
Kontrol	480 dakika	480 dakika	480 dakika
180 W	240,75 dakika	181,5 dakika	122,25 dakika
270 W	240,35 dakika	180,93 dakika	120,7 dakika
360 W	240,4 dakika	180,8 dakika	121,1 dakika
MW-IR	240,7 dakika	181,3 dakika	121,8 dakika

*Ön kurutma süresi 240 dakika, **Ön kurutma süresi 180 dakika, ***Ön kurutma süresi 120 dakika

4.1.2 Renk değişimi bulguları

Kurutma sırasındaki renk değişimleri genel olarak esmerleşme reaksiyonlarının bir sonucu olarak açıklanabilir (Anonim 2011). Enzimatik esmerleşme, polifenoloksidaz (PPO) olarak bilinen bir grup enzimin aktivasyonu sonucu oluşur. Polifenoloksidazın tüm bitkilerde bulunduğu ancak özellikle avokado, patates, armut, şeftali, elma, muz ve mantarda yüksek miktarda olduğu bildirilmiştir (Garcia ve Barette 2002). Daldırma uygulaması, meyve ve sebzelerde enzimatik esmerleşmeyi azaltmak için kullanılan etkin yöntemlerden biridir. Sitrik asit ve askorbik asit, gibi kimyasal bileşikler gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta ve iyi sonuçlar vermektedir (Demirel ve Turhan 2002, Doymaz 2004). Askorbik asit meyvenin kurutma boyunca kararmasını önleyen bir antioksidanttır. Sitrik asit de yaygın olarak kullanılan bir kararma önleyicidir (Zhu vd. 2007). Bu çalışmada da örnekler ön kurutma öncesi 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra %1'lik sitrik asitli çözeltiye daldırılmıştır (Pan vd. 2008). Çözelti içinde 1 dakika bekletildikten sonra bekleme süresinin tepsili kurutucuda sabit sıcaklıkta (70 °C) kurutulmuştur. Kurutma öncesinde ve sonrasındaki muz örneklerinden (farklı uygulamalar için) 5'er ölçüm alınarak 2'şer tekerrürden elde edilmiş renk değerleri çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Muz örneklerine ait renk değerleri

ÖRNEK	UYGULAMA	L	a	b
Taze muz	-	71,05±3,33	-0,61±1,04	20,32±0,88
Kontrol	-	50,07±3,77	2,94±0,91	14,27±1,07
%20 nem içeren muz	180 W	40,29±2,63 ^(b)	7,11±1,35 ^(b)	14,97±2,04 ^(d)
	270 W	38,39±3,04 ^(b)	7,72±0,28 ^(b)	14,24±2,85 ^(d)
	360 W	36,27±3,05 ^(b)	6,66±1,24 ^(b)	15,03±1,58 ^(d)
	MW-IR	44,07±4,51 ^(a)	7,33±1,18 ^(b)	18,10±1,73 ^(c)
%30 nem içeren muz	180 W	37,24±1,00 ^(b)	8,56±0,47 ^(a)	15,98±0,59 ^(b)
	270 W	39,63±2,39 ^(b)	7,71±1,03 ^(a)	16,63±0,85 ^(b)
	360 W	38,35±2,53 ^(b)	8,21±0,83 ^(a)	16,19±0,77 ^(b)
	MW-IR	49,61±2,33 ^(a)	5,07±1,23 ^(a)	19,36±0,65 ^(a)
%40 nem içeren muz	180 W	42,11±2,46 ^(b)	7,48±0,33 ^(b)	17,10±0,84 ^(b)
	270 W	43,74±3,38 ^(b)	6,41±0,37 ^(b)	16,35±2,29 ^(b)
	360 W	43,59±2,77 ^(b)	5,96±1,59 ^(b)	16,06±0,57 ^(b)
	MW-IR	42,15±2,97 ^(a)	7,27±1,61 ^(b)	16,27±1,38 ^(a)

Satırlarda bulunan farklı harfler(a,b,c,d,e,f) arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0,05$).

Taze muzun ortalama L değeri 71,05 ve kontrol örneğinde ise 50,07 olarak belirlenmiştir. Renk değerleri incelenirken müşteri tarafından albenisi olan piyasada satılan kuru muz örnekleri kontrol örneği olarak alınmıştır. Kurutma işlemi süresince L değerinde düşme olmuştur. Isıtmanın koyulaştırıcı etkisinden dolayı, renk açıklığını ve parlaklığını ifade eden L değerinde düşüş gözlenmiştir. En düşük L değeri ortalamasına (36,27) sahip örnekler %20 nem içeren 360 W mikrodalga gücünde kurutulan örnekler olarak tespit edilmiştir. Başlangıç nem içeriği %20 olan örneklerin farklı uygulamalarına ait L değerleri incelendiğinde, MW-IR uygulanan örneklerin L değerinin 44,07 olduğu ve bu değer kontrol örneğinin L değerine en yakın olduğu gözlenmiştir. %30 nem içeren örneklerde en düşük ve en yüksek L değerleri sırasıyla 180 W ve MW-IR uygulamalarında elde edilmiştir. Bu değerler 37,24 ve 49,61 olarak kaydedilmiştir. Başlangıç nem içeriği %40 olan muz örneklerinin L değerleri karşılaştırıldığında en yüksek L değerinin 270 W ve 360 W uygulamaları sonucu elde edildiği bulunmuştur. Örneklerin L değerlerinin kontrol örneğinden istatistiksel olarak farklı olduğu tespit edilmiştir. L değerleri üzerine başlangıç nem içeriği ve uygulama türünün etkisi incelendiğinde başlangıç nem içeriğinin etkisinin istatistiksel olarak

önemsiz olduğu uygulama türünün etkisinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır (EK 1 Çizelge 5). Farklı mikrodalga gücü uygulamaları arasında bir fark gözlemlenmezken MW-IR uygulaması L değerlerinde önemli bir artışa neden olmuştur (Çizelge 4.2). Benzer bir çalışmada konveksiyon, mikrodalga (350, 490 ve 700 W) ve konveksiyon devamında mikrodalga gücü kullanılarak muz örnekleri kurutulmuştur. Örneklerin L değerleri bakımından aralarında önemli bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir (Maskan 2000).

a (yeşillik/ kırmızılık) değeri üzerine uygulama türü ve başlangıç nem içeriklerinin etkisi incelenmiştir. Taze muzun ve kontrol örneğinin a değerlerinin sırasıyla -0,61 ve 2,94 olduğu tespit edilmiştir. Kurutma uygulanan örneklerin a değeri kuruma süresince artmıştır. Bu değişim gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir göstergesidir. Ortalama a değeri %20, %30 ve %40 nem içeren örneklerin sırasıyla 7,2, 8,0 ve 7,2 olarak ölçülmüştür. %20 ve %40 nem içeren örneklerin a değeri ortalamaları istatistiksel olarak farklılık göstermemektedir. %30 nem içeren örneklerin a değeri diğer nem değerlerinden önemli derecede yüksek çıkmıştır (EK 1 Çizelge 6). Kurutma işleminde uygulanan güç miktarı ve kombinasyon uygulaması a değeri üzerinde istatistiksel bir farklılığa yol açmamıştır. Ancak araştırmacılar tarafından yapılan benzer çalışmalarda mikrodalga gücü arttıkça a değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir (Maskan 2000, Dadalı vd. 2007). Kontrol örneğiyle incelendiğinde; farklı başlangıç nem içeriğine sahip farklı uygulamalardan elde edilen örneklerin a değeri bakımından istatistiksel olarak farklılık arz ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.2'den de görülebileceği gibi taze muzun b değeri 20,32 ve kontrol örneğinin ise 14,27 olarak kaydedilmiştir. Kurutma süresince b (sarılık/ mavilik) değeri düşmüştür. %20 nem içeren örneklerin b değeri ortalaması 15,6 olup taze örneğe en yakın değerler MW-IR uygulamasında, kontrol örneğine en yakın değer ise 270 W kurutmada elde edilmiştir. Uygulama türünün b değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (EK 1 Çizelge 7). Mikrodalga güçleri arasında bir farklılık gözlemlenmezken MW-IR uygulaması b değerlerinin artmasına neden olmuştur. Ancak yüksek mikrodalga güçlerinde kontrol örneğiyle istatistiksel olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Maskan (2000) kurutma üzerine yapmış olduğu bir çalışmada, mikrodalga gücündeki artışın b değerinde azalmaya neden olduğunu bu değişimin istatistiksel

olarak önemli olmadığını rapor etmiştir. Başka bir çalışmada ise, Dadalı vd. (2007) bamya örneklerinin mikrodalga gücünün artmasıyla b değerinin azaldığını bununda klorofil ve karotenoid pigmentlerinin dekompozisyonu, enzimatik olmayan Maillard esmerleşmesi ve kahverengi pigment oluşumuyla ilişkilendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Başlangıç nem içeriğinin b değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunduğu, başlangıç nem içeriğindeki artışın son ürüne ait b değerinin artmasına neden olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2). b değerinin artışı örnek üzerindeki sarı rengin belirginleşmesi anlamına gelmektedir. Bu durum kurutma işlemi sırasında yaşanan su kaybının bir sonucudur. Daha önce de tartışıldığı gibi başlangıç nem içeriğindeki artış mikrodalga su interaksyonu nedeni ile mikrodalga kurutma işleminin performansı üzerine pozitif etkilidir. Bu pozitif etki ürünün su kaybı değerinin artmasına dolayısıyla sarı rengin daha baskın gözlemlenmesine neden olmaktadır. Farklı başlangıç nem miktarına sahip örneklerin b değerlerinin kontrol örneğinden istatistiksel olarak farklı olduğu saptanmıştır.

4.1.3 Dielektrik özellikler

Gıdaların dielektrik ısıtma performansını etkileyen birçok faktör vardır. Su güçlü bir polar çözücü olduğu için yüksek nem içeriğine sahip gıdaların dielektrik sabiti yüksektir. Gıdaların dielektrik özellikleri elektromanyetik dalgalarla materyallerin nasıl etkileşimde olacağını belirler. Mikrodalga enerji, sulu materyallerin dipol rotasyon ve iyonik kondüksiyon mekanizmasının kombinasyonu ile hacimsel ısınmasına ve böylece kurutma prosesinin hızlanmasına sebep olur. Dielektrik özellikler, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp faktörü olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Gıdanın içinde depolanan enerji dielektrik sabitinden etkilenir ve bu enerjinin ısıya dönüşümü dielektrik kayıp faktörünün bir fonksiyonudur (Mudgett 1995). Bu iki parametre mikrodalga ısıtma süresince güç emilimini ve nüfuz derinliğini belirlemede önemlidir. Kurutma süresince nem içeriği azaldıkça dielektrik özellikler de değişmektedir. Bu değişim bulguları kurutulmuş gıda kalitesinde önemli bir parametredir.

Muz örneklerinin kurutma öncesinde ve kurutma işlemi sonrasındaki farklı uygulamalar için dielektrik özellikleri çizelge 4.3’de verilmiştir. Taze muzun dielektrik sabiti ortalama 79,79 ve önışlem uygulanmış örneklerin dielektrik sabiti 81,87 olarak kaydedilmiştir. Dielektrik sabiti verileri değerdendirildiğinde; tüm uygulamalar sonucunda %20, %30 ve %40 nem içeren örneklerin kurutulması sonrasında dielektrik sabiti sırasıyla 3,4, 2,8 ve 2,8 olarak ölçülmüştür. Başlangıç nem içeriğı arttıkça örneklerin dielektrik sabiti değerdeleri azalmaktadır (EK 1 Çizelge 8). %30 ve %40 nem içeren örneklerin dielektrik sabiti benzerlik göstermektedir. Nem miktarı değışimi incelenirken rapor edildiğı gibi başlangıç nem içeriğindeki artış nihai nem içeriğinin azalmasına ve dolayısıyla dielektrik sabitinin de azalmasına neden olmaktadır. Başlangıç nem içeriğı yüksek olan örnekler daha fazla mikrodalgaya maruz kaldığı için son nem içeriğı daha düşük ürün elde edilmiştir. Dielektrik sabitine katkısı olan gıdanın asıl bileşeni sudur. Su miktarı yükseldikçe gıdanın dielektrik sabiti de yükselmektedir. Kristiawan vd. (2009) yaptıkları çalışmada, farklı sebze ve meyvelerin dielektrik özelliklerini incelenmişler ve benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

180 W, 270W, 360 W ve MW-IR uygulamaları uygulanan muz örneklerinin ortalama dielektrik sabitleri sırasıyla 3,3, 3,1, 2,9 ve 2,7 olarak saptanmıştır. 180 W ve 270 W mikrodalga güçlerinde dielektrik sabiti diğer uygulamalara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksektir (EK 1 Çizelge 8). Mikrodalga güç uygulaması arttıkça dielektrik sabiti azalan bir eğilimdedir. MW-IR uygulaması yüksek mikrodalga uygulamaları ile benzer sonuçlar vermiştir. Birla vd. (2008), taze meyvelerin dielektrik özelliklerinin radyofrekans ısıtma karakterizasyonu ile etkilenmesi üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda uygulanan mikrodalga gücü arttıkça dielektrik sabiti değerdelerinin ve kayıp faktörlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.3 Muz örneklerinin dielektrik özellikleri

ÖRNEK	UYGULAMA	DİELEKTRİK SABİTİ (e')	KAYIP FAKTÖRÜ(e'')	NÜFUZ DERİNLİĞİ (mm)
Taze muz	-	79,79±2,72	20,25±0,61	0,09±0,0002
Önişlem uygulanmış muz	-	81,870±3,30	19,11±0,69	0,09±0,0001
%20 nem içeren muz	180 W	3,94±0,67 ^(a)	0,25±0,10 ^(a)	2,00±0,106 ^(d)
	270 W	3,54±0,65 ^(ab)	0,19±0,16 ^(b)	4,00±0,144 ^(cd)
	360 W	3,18±0,64 ^(bc)	0,18±0,16 ^(bc)	7,73±0,949 ^(cd)
	MW-IR	3,06±0,81 ^(c)	0,15±0,12 ^(c)	11,31±1,51 ^(c)
%30 nem içeren muz	180 W	2,99±0,61 ^(d)	0,20±0,07 ^(a)	1,86±0,08 ^(d)
	270 W	2,96±0,90 ^(de)	0,18±0,09 ^(b)	4,08±0,20 ^(cd)
	360 W	2,68±0,89 ^(ef)	0,13±0,15 ^(bc)	6,80±0,21 ^(cd)
	MW-IR	2,44±0,58 ^(f)	0,11±0,12 ^(c)	13,83±0,15 ^(c)
%40 nem içeren muz	180 W	2,93±0,87 ^(d)	0,19±0,07 ^(d)	8,95±0,05 ^(b)
	270 W	2,90±1,10 ^(de)	0,13±0,36 ^(e)	12,39±1,496 ^(ab)
	360 W	2,71±0,54 ^(ef)	0,11±0,15 ^(ef)	13,65±0,69 ^(ab)
	MW-IR	2,65±0,82 ^(f)	0,07±0,08 ^(f)	13,74±1,626 ^(a)

Satırlarda bulunan farklı harfler(a,b,c,d,e,f) arasındaki farklılık önemlidir (p≤0,05).

Örneklere ait dielektrik kayıp faktörü değerleri de dielektrik sabitine benzer şekilde başlangıç nem içeriğiyle ters orantılı olarak değişmektedir. Taze muz ve önişlem uygulanmış muzda kayıp faktörü 20,25 ve 19,11 olarak kaydedilmiştir. %20, %30 ve %40 nem içeren örneklerin kayıp faktörü ortalamaları sırasıyla 0,2, 0,2 ve 0,1 değerine düşmüştür. Kayıp faktörünün azalmasında başlangıç nem içeriği değerlerinin istatistiksel olarak pozitif bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Nelson (1978), mısır ile yaptığı çalışmada gıdanın dielektrik özelliklerinde su içeriğinin benzer etkilerinin olduğunu tespit etmiştir.

Uygulanan mikrodalga gücü arttıkça muz örneklerinin kayıp faktörü azalmıştır (EK 1 Çizelge 9). MW-IR uygulaması sonucu dielektrik sabitin değerlendirilmesine paralel olarak en yüksek mikrodalga uygulamasına benzer etki elde edilmiştir.

Taze muzlarda nüfuz derinliği 0,09 mm olarak ölçülmüştür. Başlangıç nem içeriği %20, %30 ve %40 olan örneklerin nüfuz derinliği sırasıyla 6, 7 ve 12 mm olarak ölçülmüştür. Nüfuz derinliği başlangıç nem miktarının azalmasıyla önemli miktarda azalmıştır (EK 1 Çizelge 10). Başlangıç nem içeriği en yüksek olan örneklerde (%40) en yüksek nüfuz derinliğine ulaşılmıştır. Dielektrik özellikler ve nüfuz derinliği arasındaki negatif ilişki daha önce literatürde de rapor edilen bir olgudur (Demirkol 2007). Nüfuz derinliği artmasıyla mikrodalga kullanılarak toplu olarak ürünün homojen şekilde ısınması mümkün olmaktadır. 180 W mikrodalga gücünde nüfuz derinliği en düşük (4 mm) miktardadır. 270 W, 360 W ve MW-IR uygulamalarında sırasıyla 7, 9 ve 13 mm nüfuz derinliği elde edilmiştir. Üç mikrodalga uygulaması arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (EK 1 Çizelge 10). En yüksek nüfuz derinliğine MW-IR uygulamasında ulaşılmıştır. Ancak kombinasyon uygulaması, 270 W ve 360 W mikrodalga uygulamalarıyla benzer sonuçlar vermiştir.

4.1.4 Dielektrik özelliklerin kurutma parametreleri ile korelasyonu

Muz örneklerinin dielektrik özelliklerinin kurutma parametreleri ile arasındaki ilişki çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Kurutulmuş muzun dielektrik özellikleri ile kurutma karakteristiklerinin korelasyon faktörleri

	Kurutma hızı	Nem içeriği	L	a	b
Dielektrik sabiti	r=-0,572*	r=0,588*	r=-0.03	r=-0.779*	r=-0.246
Kayıp faktörü	r=-0,172	r=0,131	r=0.747*	r=0.24	r=0.77*

*p≤0.05

Çizelge 4.4 incelendiğinde; dielektrik sabitinin başlangıç nem içeriği ile arasında pozitif ve kurutma hızı ile arasında ise negatif bir korelasyon bulunduğu söylenebilir. Bu durum maddenin dielektrik özelliğinin su içeriğine bağlı oluşuyla açıklanabilir. Kurutma hızı artışı nem içeriğinde azalmaya ve eş zamanlı olarak dielektrik sabitinde de azalmaya neden olmaktadır. Dielektrik sabiti ile renk değerlerinden L ve b değerleri arasında bir korelasyon bulunmadığı ancak a değeriyle arasında ters orantılı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Dielektrik sabiti düştükçe (ürün kurudukça) a değeri artmaktadır. Renk değerleri tartışılırken belirtildiği gibi a değerindeki pozitif değişim kurutma işleminin etkisiyle renginin kahverengiye dönmesi anlamına gelmektedir. Örneğin nem değeri ne kadar azalırsa rengi de o oranda kahverengileşecektir. Yine benzer şekilde örneğin nem değerindeki negatif değişim dielektrik sabitinin de azalmasına neden olacaktır. Bu iki olgu eş zamanlı düşünüldüğünde a değeri ve dielektrik sabiti arasındaki negatif korelasyon açıklanabilir.

Kayıp faktörü ile kurutma hızı ve nem içeriği arasında bir korelasyon tespit edilmemiştir. Literatürde, kayıp faktörünün dielektrik sabiti gibi nem içeriği ile doğru orantılı olarak arttığı rapor edilmiş olmasına rağmen bu çalışmada farklı bir sonuca ulaşılmıştır. Muz örneklerinin kayıp faktörü ile a değeri arasında bir korelasyon bulunmazken; L ve b değerleriyle arasında doğru orantılı bir korelasyon saptanmıştır.

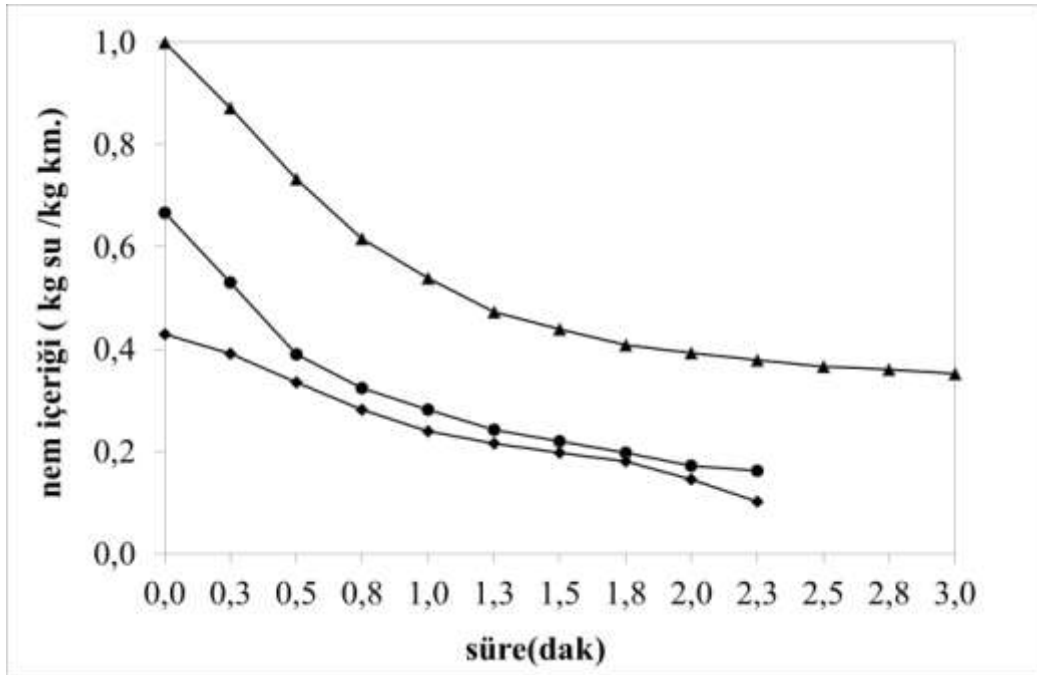
4.2 Kivi Örnekleri

4.2.1 Nem değişimi bulguları

4.2.1.1 Farklı başlangıç nem miktarlarının etkisi

Kivi örneklerinin ilk nem içerikleri yaş bazda ortalama $85 \pm 0,02$ olarak ölçülmüştür. Kivi örnekleri muz örneklerinde olduğu gibi 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra tepsili kurutucuda sabit sıcaklıkta (70 °C) kurutulmuştur. Başlangıç nem içerikleri %30, %40 ve %50 değerlerine sabitlenmiştir. Bu nem değerlerine ulaşan örneklerle daha sonra mikrodalga (350 W, 420 W ve 490 W) ve mikrodalga-kızılötesi (MW-IR) kombinasyonu (420 W mikrodalga gücü- 600 W üst halojen- 600 W alt halojen) uygulanmıştır.

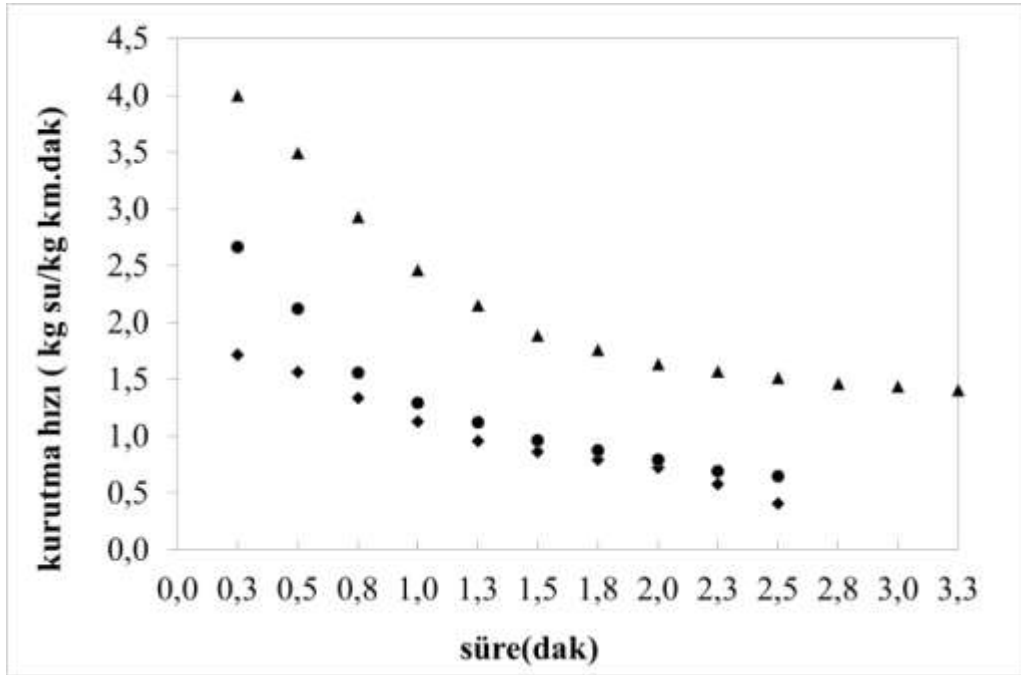
350 W mikrodalga gücü ile kurutulan kivi örneklerinin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) zamana bağlı değişimi şekil 4.19'da gösterilmiştir. 15 saniye aralıklarla örneklerin ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Başlangıç nemi %30 olan kivi örnekleri mikrodalgada kurutulmaya başladığında nem içeriği 0,429 kg su/kg km. iken 2,25 dk kurutma sonrası nem içeriği 0,102 kg su/kg km.'ye düşmüştür. Başlangıç nem içeriği %40 olan örneklerin kurutma başlangıcında ve 2,25 dk sonraki nem içerikleri sırasıyla 0,667 ve 0,162 kg su/kg km. olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin kurutma başlangıcında 1,00 kg su/kg km. olan nem içeriği 3 dk sonunda 0,352 kg su/kg km.'ye inmiştir. Başlangıç nem miktarı en düşük olan örneklerden kurutma sonunda nem içeriği en az olan örnekler elde edilmiştir. Başlangıç nem içeriği yüksek olan örneklerin kurutma işlemleri daha uzun sürmektedir. Uygulama süresi nem oranı arttıkça artmıştır. 350 W mikrodalga gücü ile kurutulan örneklerin nem içeriği sonuçları incelendiğinde başlangıç nem miktarındaki azalmanın son ürün nem miktarı üzerine istatistiksel olarak artan bir etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.19, EK 2 Çizelge 1).



Şekil 4.19 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

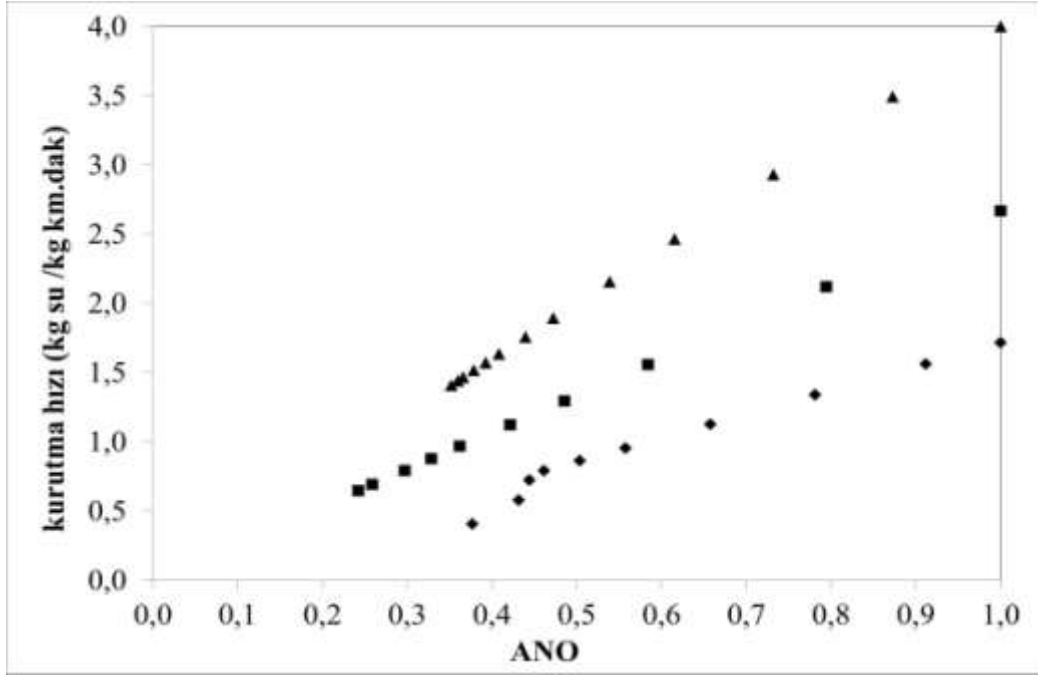
◆ %30 nem içeren kivi^(c), ● %40 nem içeren kivi^(b), ▲ %50 nem içeren kivi^(a)

Şekil 4.20’de aynı mikrodalga gücü uygulanan farklı başlangıç nem içeriğine sahip örneklerin kurutma hızının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Kurutmanın ilk 0,25. dakikasında başlangıç nem miktarı %30, %40 ve %50 olan örnekler sırasıyla 1,714, 2,667 ve 4,00 kg su/kg km.dk kurutma hızında kurumaya başlamıştır. Başlangıç nem miktarı %30 olan örneklerin 2,25. dakikada kurutma hızı 0,407 kg su/kg km.dk’ya düşerken aynı sürede %40 nem içeren örneklerin kurutma hızı 0,646 kg su/kg km.dk’ya inmiştir. Başlangıç nem içeriği %50 olan kivi örneklerinin 3 dakika sonundaki kurutma hızı 1,407 kg su/kg km.dk seviyesine inmiştir. Örneklerin ihtiva ettiği nem miktarı azaldıkça kurutma hızı da azalmaktadır (EK 2 Çizelge 2). Bu durum mikrodalgaya ürünün hassasiyetinin kuruma boyunca azalmasının ve kütle aktarımının yavaşlamasının bilinen bir sonucudur. Örnekler muz örneklerinde de gözlemlendiği gibi azalan hız periyodunda kurumaktadır. Kurutma hızı üzerinde nem miktarının azalmasının negatif bir etkisinin olduğu şekil 4.21’de kurutma hızının ANO değeri ile değişimini gösteren grafikte de göze çarpmaktadır. Tulasidas vd. (1995), mikrodalga ile üzüm kurutma çalışmalarında, benzer olarak, kurutmanın azalan periyotta gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Başlangıç nem miktarının artmasıyla kurutma hızı istatistiksel olarak artmıştır (Şekil 4.20, EK 2 Çizelge 2).



Şekil 4.20 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

◆ %30 nem içeren kivi^(c), ● %40 nem içeren kivi^(b), ▲ %50 nem içeren kivi^(a)

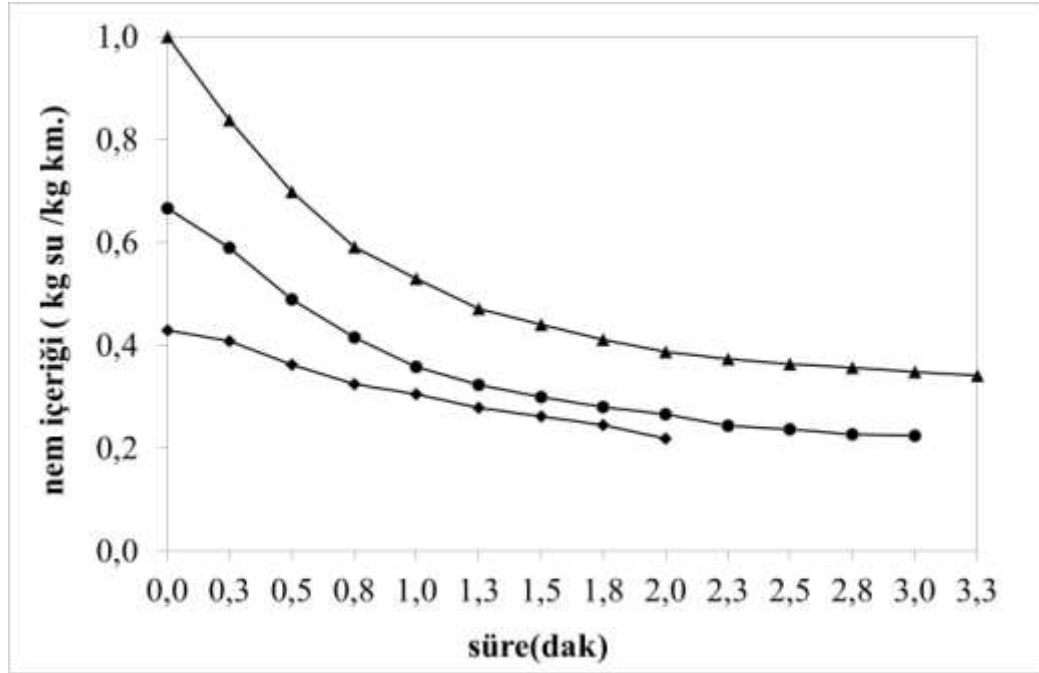


Şekil 4.21 350 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

♦ %30 nem içeren kivi ^(c), ● %40 nem içeren kivi ^(b), ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)

Başlangıç nem içeriği %30, %40 ve %50 olarak hazırlanan kivi örnekleri 420 W mikrodalgada kurutulmuştur. Kurutmada elde edilen nem içeriklerinin zamana bağlı olarak değişimi şekil 4.22’de verilmiştir. Başlangıç nem içeriği %30 olan örneklerin 2 dakika kurutma sonunda nem içeriği 0,429 kg su/kg km.’den 0,219 kg su/kg km.’ye düşmüştür. Başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerde ise 3 dakikalık kurutma esnasında 0,667 kg su/kg km. olan nem içeriği 0,223 kg su/kg km.’ye inmiştir. Aynı şekilde başlangıç nem miktarı %50 olan örneklerin 1,00 kg su/kg km. olan nem içeriği 3,25 dakika kurutmayla 0,34 kg su/kg km.’e inmiştir. Yüksek nem içeriğine sahip örneklerin kurutma süreleri de uzun olmuş ancak son ürün nem miktarı yüksek olan örnekler elde edilmiştir. Maskan (2001a), kivilerle yaptığı çalışmada kivilerin iki azalan fazda kurutulduğunu belirtmiştir. Yüksek nem içeren örneklerin ağırlık azalmasının sabitlendiği noktada kurutmanın durdurulmasında bu durumun etkili olabileceği düşünülmektedir. Kivi örneklerinin nem içeriği verileri değerlendirildiğinde azalan

başlangıç nem miktarının kurutma boyunca nem içeriğinin değişimi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4.22, EK 2 Çizelge 1).

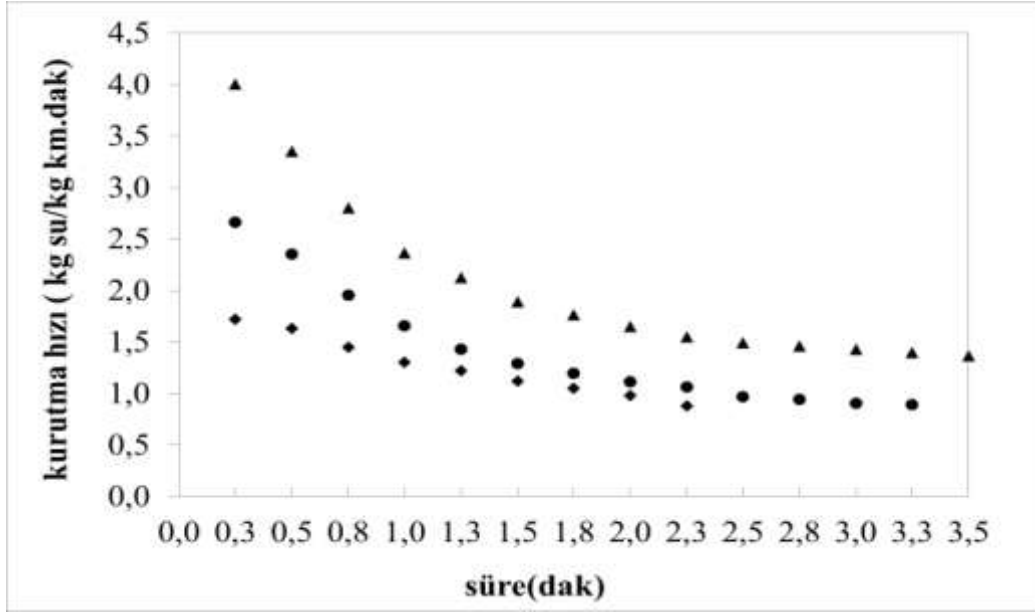


Şekil 4.22 420 W mikrodalgada kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

♦ %30 nem içeren kivi^(c), • %40 nem içeren kivi^(b), ▲ %50 nem içeren kivi^(a)

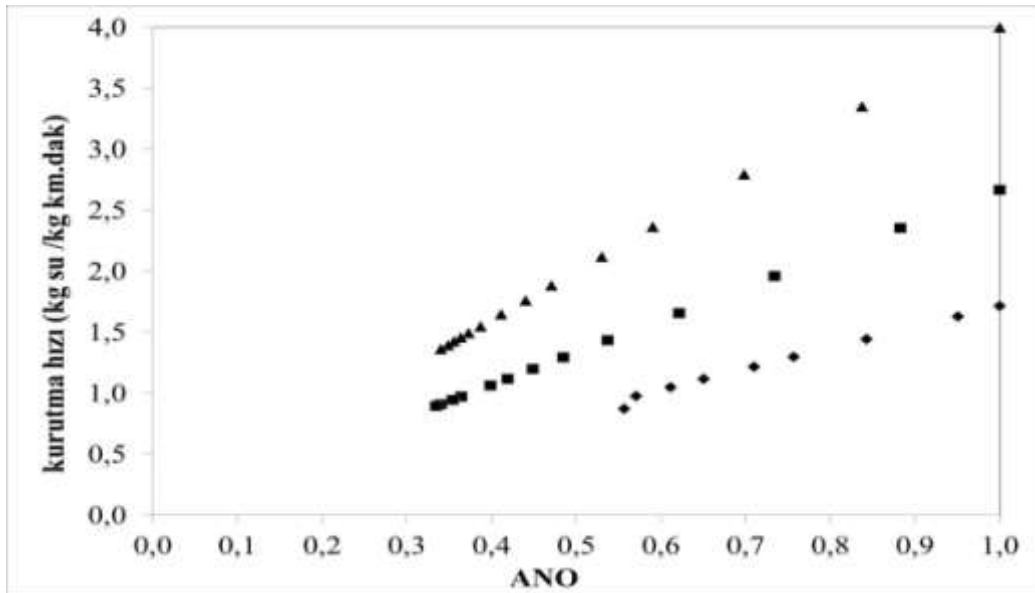
420 W mikrodalgada kurutulan farklı başlangıç nem miktarına sahip kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Şekil 4.23 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Başlangıç nem miktarı %50 olan örnekler 4,00 kg su/kg km.dk kurutma hızında kurumaya başlamış ve 3,25 dakikada kurutma hızı 1,36 kg su/kg km.dk’ya inmiştir. %40 başlangıç nem miktarına sahip kivilerde hız 2,667 kg su/kg km.dk olarak kuruma başlamış ve 3. dakikada kurutma hızı 0,893 kg su/kg km.dk’ya düşmüştür. Aynı şekilde başlangıç nem miktarı %30 olan örnekler 1,714 kg su/kg km.dk kurutma hızıyla kurumaya başlarken 0,874 kg su/kg km.dk kurutma hızına geldiğinde kuruma bitmiştir. Yüksek nem içeriğine sahip örnekler daha hızlı şekilde kurutulmuştur. Bu durum daha öncede değinildiği gibi mikrodalga hassasiyeti ve kütle transfer hızının bileşkesi olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıç nem miktarının artışıyla kurutma hızı arasında istatistiksel olarak pozitif bir etkinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.23, EK 2 Çizelge 2). Sacilik ve Elicin

(2006)'in elma dilimleri üzerine yaptığı kurutma çalışmasında da paralel sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 4.24'de kurutma hızının ANO ile değişiminde de azalan nem içeriğiyle kurutma hızının azaldığı gösterilmiştir.



Şekil 4.23 420 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

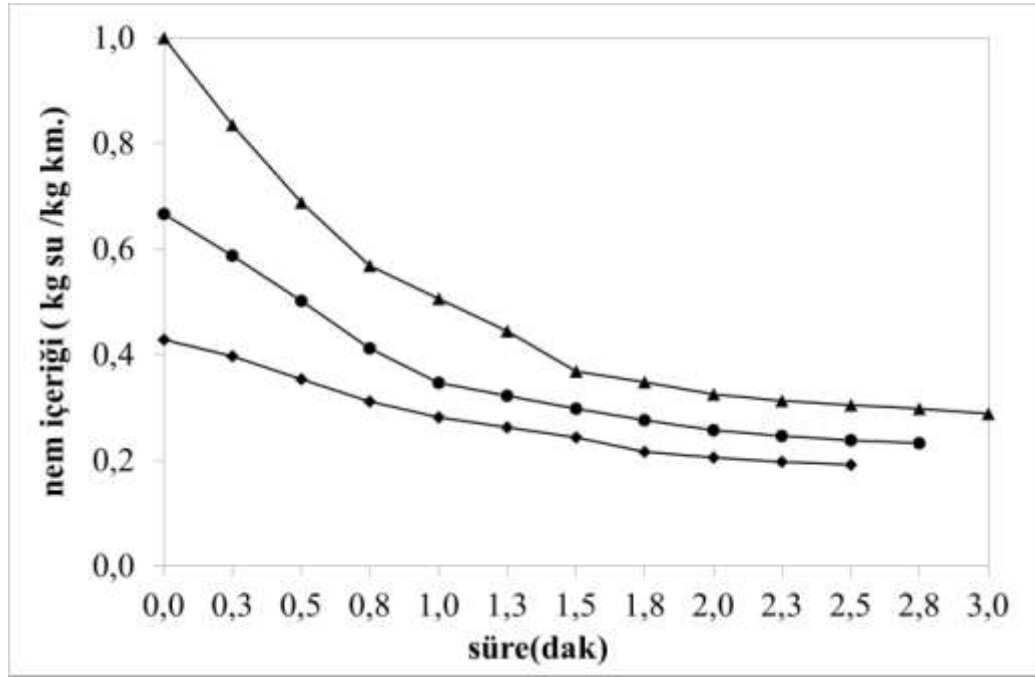
♦ %30 nem içeren kivi ^(c) , ● %40 nem içeren kivi ^(b) , ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)



Şekil 4.24 420 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

♦ %30 nem içeren kivi ^(c) , ● %40 nem içeren kivi ^(b) , ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)

490 W mikrodalga gücü ile kurutulan kivi örneklerinin nem içeriklerinin (kg su/kg kuru madde) zamana bağlı değişimi sonuçları şekil 4.25'te gösterilmiştir. Örneklerin 15 saniye aralıklarla ağırlık değişimleri ölçülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin nem içeriği 0,429 kg su/kg km. iken 2,5 dakika kurutma sonunda 0,191 kg su/kg km.'ye inmiştir. %40 başlangıç nem içeriğine sahip örnekler 2,75 dakika kurutma boyunca 0,667 kg su/kg km. olan nem içeriğinin 0,435 kg su/kg km.'ni kaybetmiştir. Başlangıç nem miktarı %50 olan kivilerde 3 dakikalık kurutma esnasında nem içeriği 1,00 kg su/kg km.'den 0,288 kg su/kg km.'ye düşmüştür. Başlangıç nem miktarı düştükçe kurutma işleminin süresi kısalmıştır. Başlangıç nem miktarlarındaki artış son ürün nem miktarı üzerinde artan bir etkiye sahiptir (Şekil 4.25, EK 2 Çizelge 1).



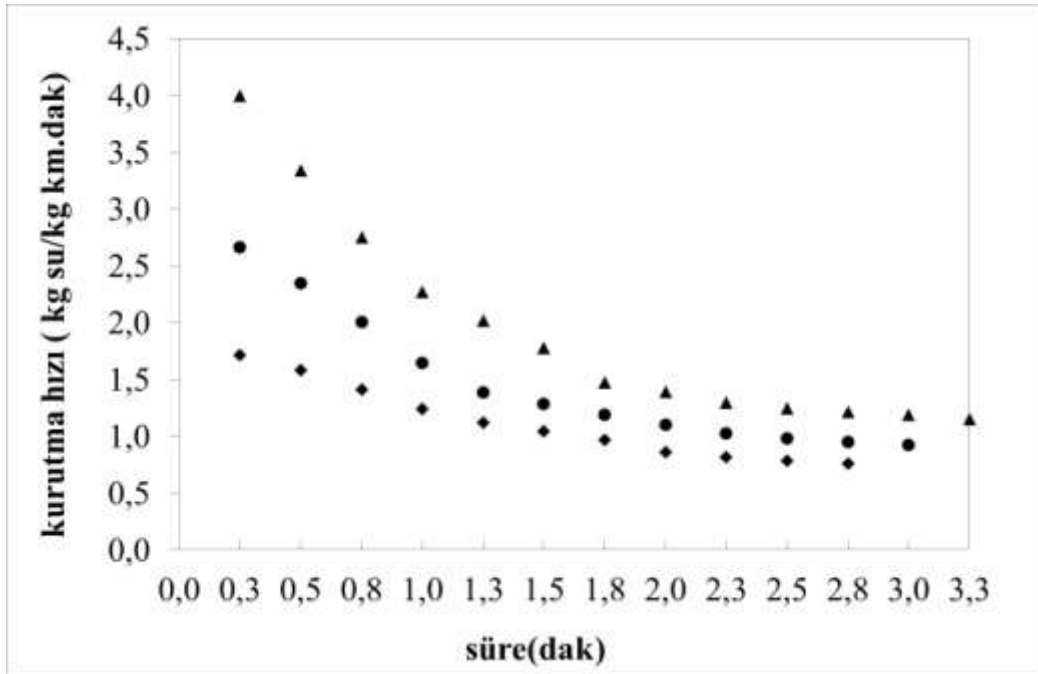
Şekil 4.25 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

◆ %30 nem içeren kivi^(c), • %40 nem içeren kivi^(b), ▲ %50 nem içeren kivi^(a)

Farklı nem içeriğine sahip örneklerin zamana bağlı olarak değişen kurutma hızı verileri şekil 4.26'da verilmiştir. Başlangıç nem içeriği %30 olan kivi örneklerinde 1,714 kg su/kg km.dk hızda başlayan kuruma 2,5 dakika sonunda 0,763 kg su/kg km.dk'ya yavaşlamıştır. %40 başlangıç nem içeriğine sahip örneklerde başlangıç kurutma hızı 2,667 kg su/kg km.dk iken 2,75 dakika sonunda 0,927 kg su/kg km.dk'ya düşmüştür.

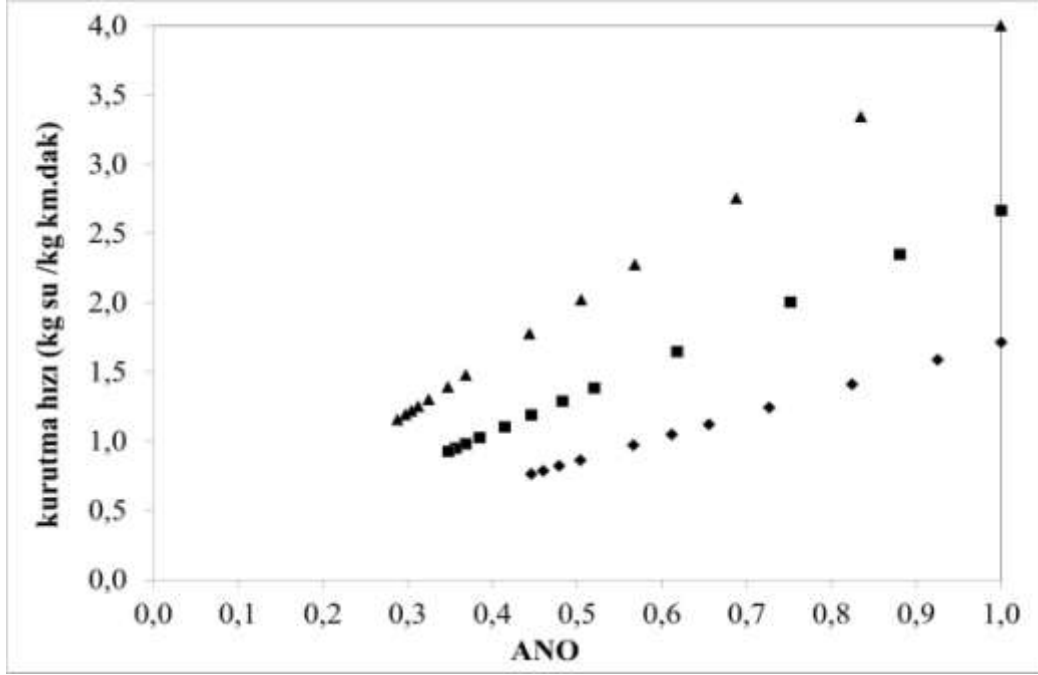
Aynı şekilde başlangıç nem miktarı %50 olan kivilerde kurutma hızı 3 dk kurutma boyunca zamanla azalmış ve sırasıyla 4,00 ve 1,153 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. Başlangıç nem miktarındaki değişim kurutma hızı verilerini de pozitif yönde değiştirmiştir (EK 2 Çizelge 2). Kurutma süresi ilerledikçe kurutma hızındaki düşüş şekil 4.26'da açıkça görülebilmektedir. Maskan(2001a)'ın kivi örnekleri ile yaptığı çalışmayla benzer olarak kuruma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. İşlem süresi arttıkça kurutma hızı da azalmıştır.

Kurutma hızının azalan nem içeriğiyle azaldığı şekil 4.27'de kurutma hızının ANOVA ile değişimi grafiğinde de gösterilmiştir.



Şekil 4.26 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

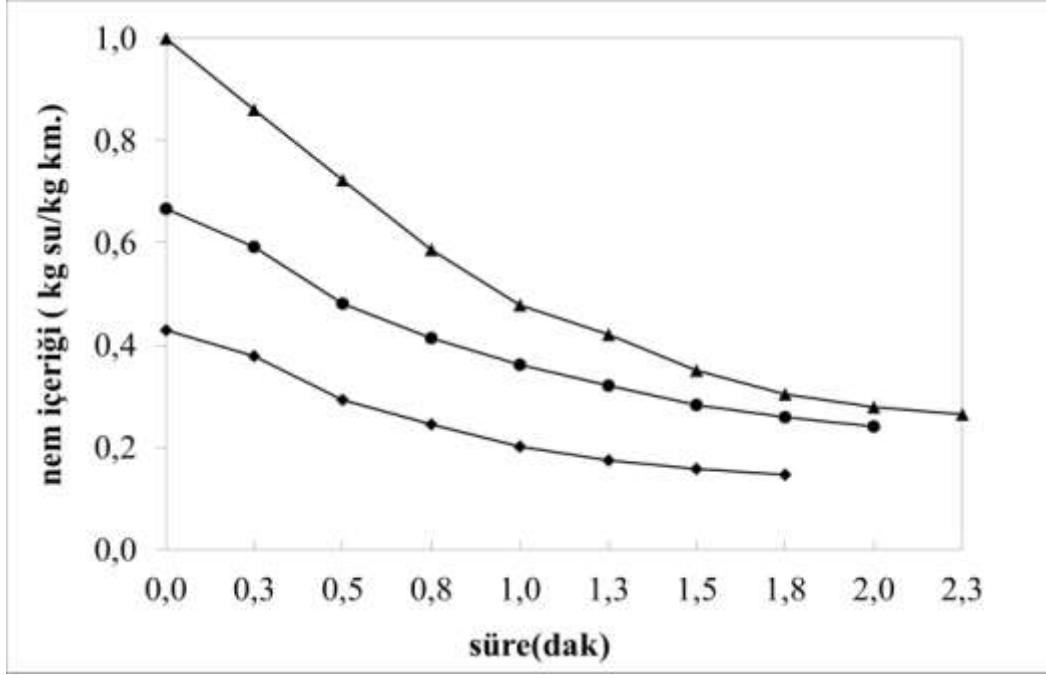
◆ %30 nem içeren kivi ^(c) , ● %40 nem içeren kivi ^(b) , ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)



Şekil 4.27 490 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANO değerleri ile değişimi

◆ %30 nem içeren kivi ^(c), ● %40 nem içeren kivi ^(b), ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)

Kivi örnekleri farklı güçteki mikrodalga kurutma için hazırlandığı gibi başlangıç nem miktarı %30, %40 ve %50 olacak şekilde hazırlandıktan sonra 15 saniye aralıklarla MW-IR kombinasyonunda kurutulmuştur. Bu kurutma esnasındaki örneklerin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi şekil 4.28’de gösterilmiştir. Kurutma başlangıcında nem içeriği 0,429 kg su/kg km. olan kivi örnekleri (başlangıç nemi %30) 1,75 dakika kurutma sonunda 0,147 kg su/kg km. nem içermektedir. Başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerde nem içeriği 0,667 kg su/kg km.’den 2 dakika sonunda 0,241 kg su/kg km.’ye inmiştir. %50 başlangıç nem miktarı olan örneklerde ise nem içeriği 1,00 kg su/kg km.’den 2,25 dakika kurutma esnasında 0,264 kg su/kg km.’ye düşmüştür. Sonuçlar incelendiğinde kurutma süresi ve son ürün nemi açısından mikrodalga kurutmaya benzer sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Kivi örneklerinden yüksek nem içeren örneklerin uzun maruziyet sonunda daha düşük nem içermesi beklenilmiş ancak zıt bir sonuç elde edilmiştir. Bu durum üzerinde kivi meyvesinin fiziksel özelliklerinin ve olgunluk düzeyinin bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Başlangıç nem miktarı artışının kurutma bitiminde elde edilen örneklerin nem içerikleri üzerinde istatistiksel olarak artan bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.28, EK 2 Çizelge 1).

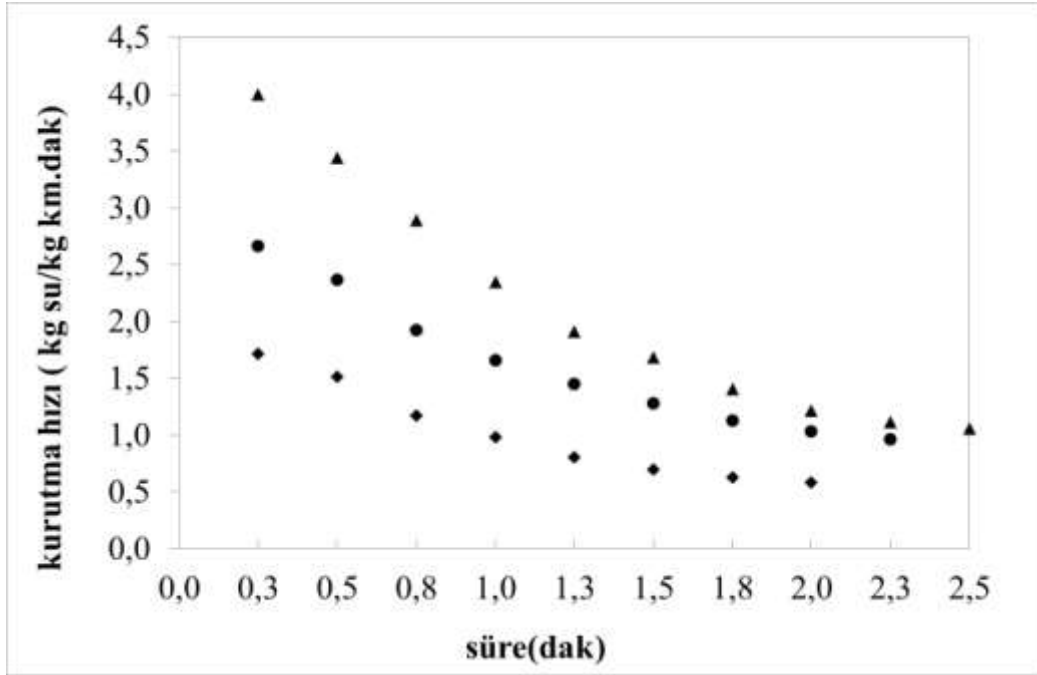


Şekil 4.28 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

◆ %30 nem içeren kivi^(c), ● %40 nem içeren kivi^(b), ▲ %50 nem içeren kivi^(a)

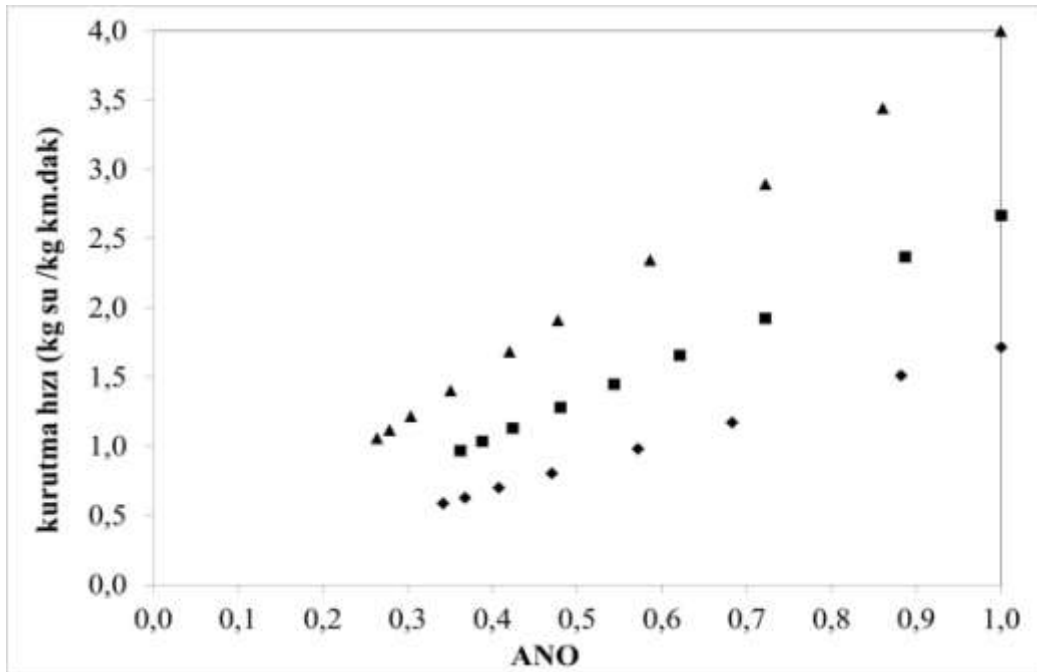
MW-IR uygulamasıyla kurutulan farklı başlangıç nem içeriğine sahip örneklerin kurutma hızının zamana bağlı değişimi şekil 4.29’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örnekleri kurutma başlangıcında 1,714 kg su/kg km.dk hızda kururken 1,75 dakika sonunda kurutma hızı 0,586 kg su/kg km.dk’ya gerilemiştir. %40 başlangıç nem içeriğine sahip örneklerde 2,667 kg su/kg km.dk olan başlangıç kurutma hızı 2 dakika sonunda 0,965 kg su/kg km.dk’ya yavaşlamıştır. Yüksek başlangıç nem içeriğine sahip kivilerde ise 4,00 kg su/kg km.dk hızında başlayan kurutma 2,25 dk sonunda 1,056 kg su/kg km.dk seviyesine gelmiştir. Artan zamanla kurutma hızının yavaşladığı ve bunun sonucunda analizin azalan hız periyodunda gerçekleştiği görülmüştür. Başlangıç nem içeriği artan örneklerin kurutma hızlarındaki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4.29, EK 2 Çizelge 2). Simal vd. (2005), kivi meyvesiyle yaptığı çalışmada kurutma karakteristiği ile ilgili olarak benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

Kurutma hızının nem miktarının azalmasıyla doğru orantılı olduğu şekil 4.30’da da verilmiştir.



Şekil 4.29 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı değişimi

◆ %30 nem içeren kivi ^(c) , ● %40 nem içeren kivi ^(b) , ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)

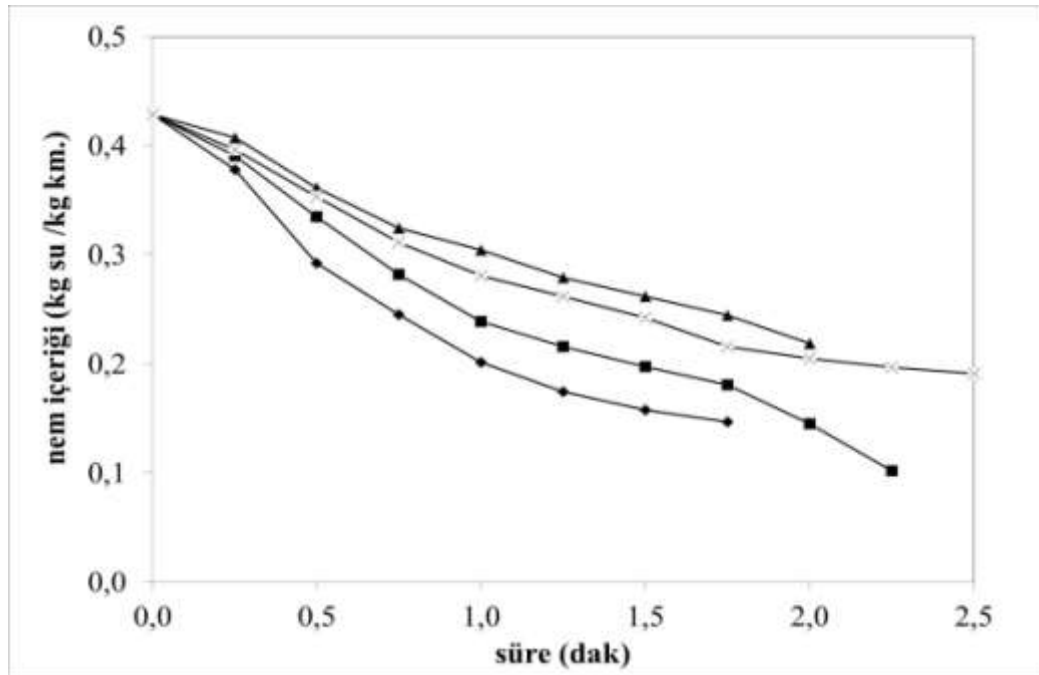


Şekil 4.30 MW-IR kombinasyonu ile kurutulmuş kivi örneklerinin kurutma hızının ANOVA değerleri ile değişimi

◆ %30 nem içeren kivi ^(c) , ● %40 nem içeren kivi ^(b) , ▲ %50 nem içeren kivi ^(a)

4.2.1.2 Farklı uygulamaların etkisi

Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalar sonucunda nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi şekil 4.31’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde mikrodalga gücü azaldıkça kurutma süresinin uzadığı görülmektedir. Kurutma süresi arttıkça nem içeriğinin azaldığı daha önceki sonuçlarda da belirtilmiştir. Ancak uygulama gücünün artması ve türünün değişmesinin nem içeriğinin değişimi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (EK 2 Çizelge 1).

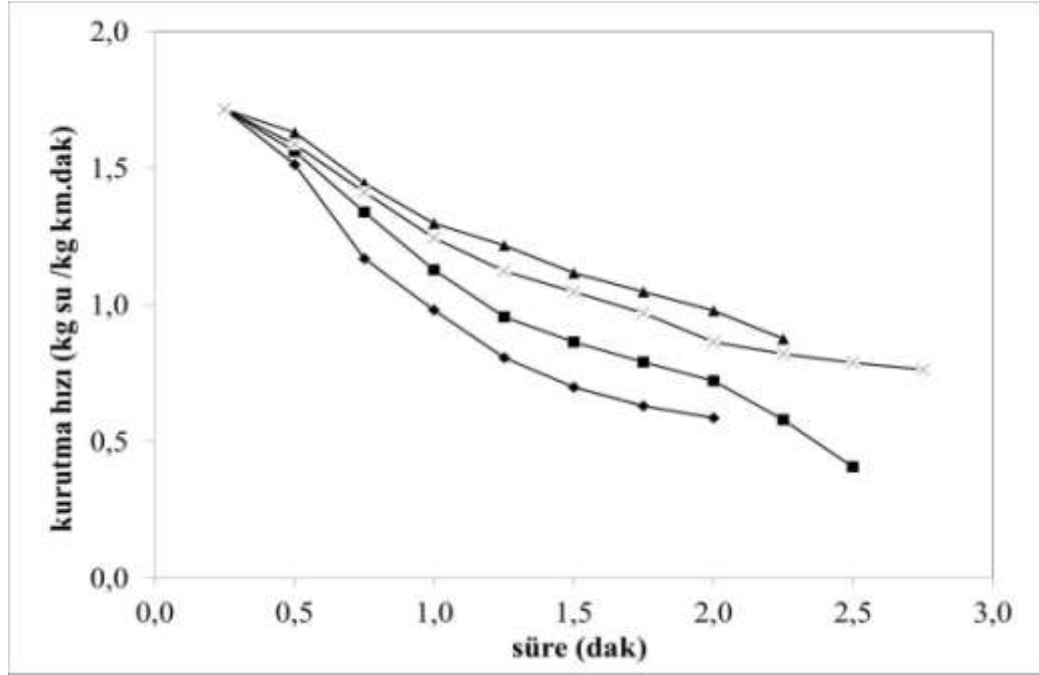


Şekil 4.31 Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a), ▲ 420 W^(a), × 490 W^(a) ♦ MW-IR^(a)

Aynı nem miktarına sahip örneklerde zamana bağlı olarak değişen kurutma hızının grafiksel gösterimi şekil 4.32’de verilmiştir. Tüm uygulamalarda ölçümler aynı süre aralığında alındığı için ilk kurutma hızları 1,714 kg su/kg km.dk olarak kurutma başlamıştır. 350 W mikrodalgada 2,25 dakikada kurutulan örneklerde kurutma hızı 0,407 kg su/kg km.dk’ya düşmüştür. Mikrodalga gücü 420 W’da yapılan 2 dakikalık kurutma da kurutma hızı 0,874 kg su/kg km.dk, 490 W kurutmada ise 2,5 dakika sonunda 0,763 kg su/kg km.dk’ya gerilemiştir. MW-IR uygulamasında 1,75 dakikalık uygulamada kurutma hızı 0,586 kg su/kg km.dk’ya inmiştir. Mikrodalga gücünün ve

uygulama süresinin artmasına rağmen kurutma hızının azalmasına neden olan negatif etkinin kivi meyvesinin yapısal özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat uygulamalar arasında istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir (EK 2 Çizelge 2). Daha önce benzer sonuçlara ulaşan çalışmalar yapıldığından bahsedilmiştir. Ancak bu sonucun aksine Drouzas ve Schubert (1996) tarafından yapılan çalışmada, muz dilimlerinin kurutulmasında mikrodalga gücünün etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

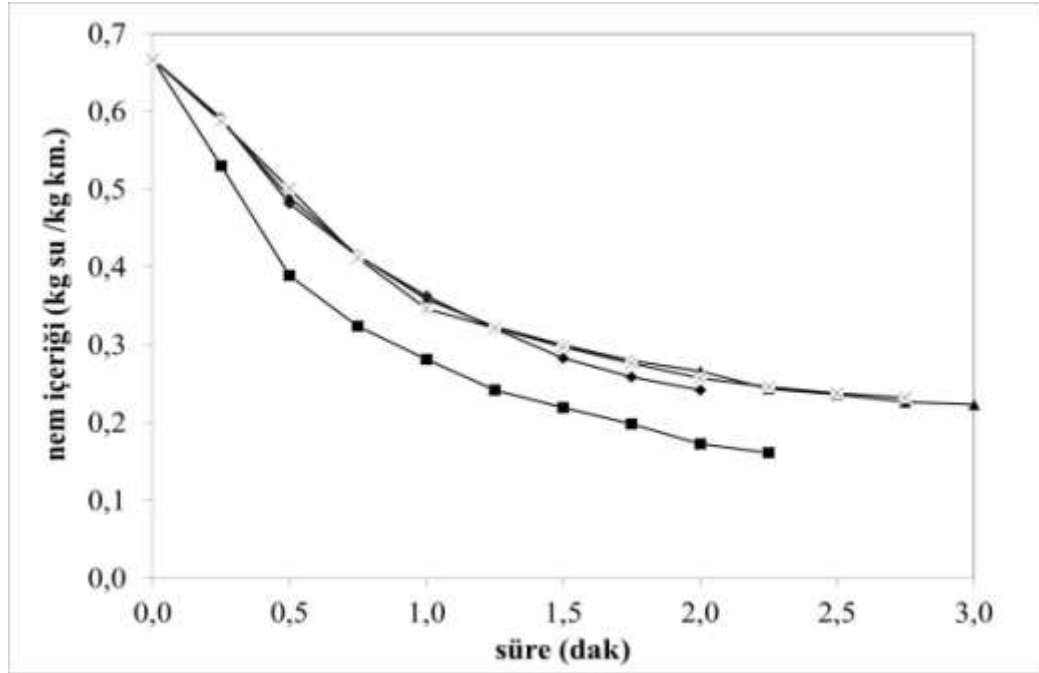


Şekil 4.32 Başlangıç nem miktarı %30 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a), ▲ 420 W^(a), × 490 W^(a), ◆ MW-IR^(a)

Kivi örneklerinin başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerine uygulanan işlem türlerinin nem içeriği üzerine etkisinin zamana bağlı olarak değişimi şekil 4.33'de verilmiştir. 350 W ve MW-IR kombinasyon uygulama süreleri sırasıyla 2,25 ve 2 dakika olarak belirlenirken 420 ve 490 W gücünde örnekler 3 ve 2,75 dakika süreyle kurutulmuştur. Başlangıç nem içeriği %30 olan kivi örneklerinde olduğu gibi mikrodalga gücü arttıkça uygulama süresinin de arttığı görülmektedir. Nem içeriğinin azalması üzerine mikrodalga gücü ve uygulama türünün etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (EK 2 Çizelge 1). Bu durum ürünün nem içeriğinin yüksek olmasına ve iç yapısına bağlanmaktadır. Walde vd. (1997)'nin karayagumın mikrodalga kurutulması

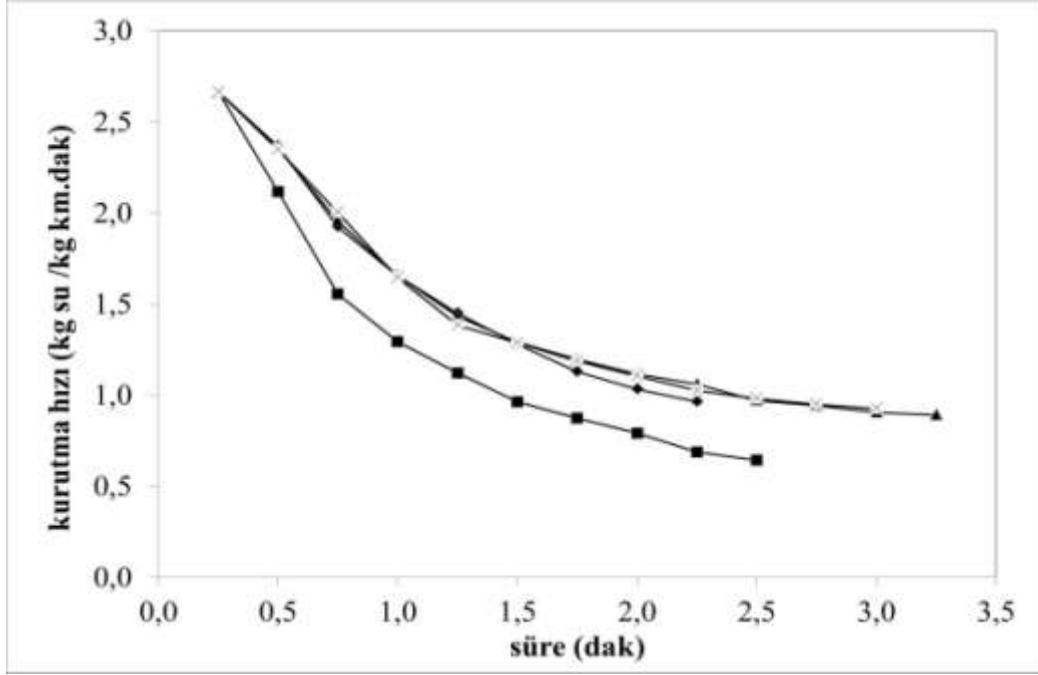
üzerine yaptıkları çalışmada benzer sonuçlara ulaşıldığından daha önce de bahsedilmiştir.



Şekil 4.33 Başlangıç nem miktarı %40 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a), ▲ 420 W^(a), × 490 W^(a) ♦ MW-IR^(a)

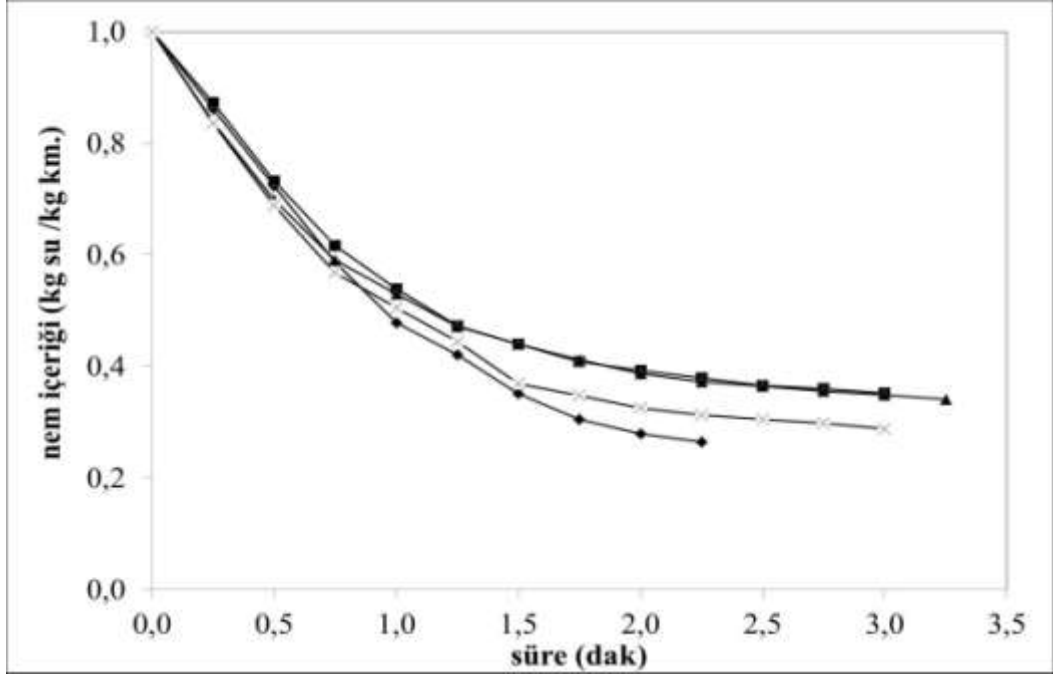
Şekil 4.34’de başlangıç nem miktarı %40 olan kivi örneklerinin kurutma hızının zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde uygulama gücünün ve türünün kurutma hızı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.34, EK 2 Çizelge 2). Kivi örneklerinin birbirine yakın mikrodalga güçlerinde kurutulmasının bu sonuçta etkili olduğu düşünülmüştür. Şen (2010), kuşburnu meyvesini üç farklı mikrodalga gücünde kurutmuş iki mikrodalga gücü arasında fark olmadığını (540W ve 720 W) ancak en yüksek güç (900 W) uygulamasının kurutmayı hızlandırdığını bulmuştur.



Şekil 4.34 Başlangıç nem miktarı %40 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a) , ▲ 420 W^(a) , × 490 W^(a) , ◆ MW-IR^(a)

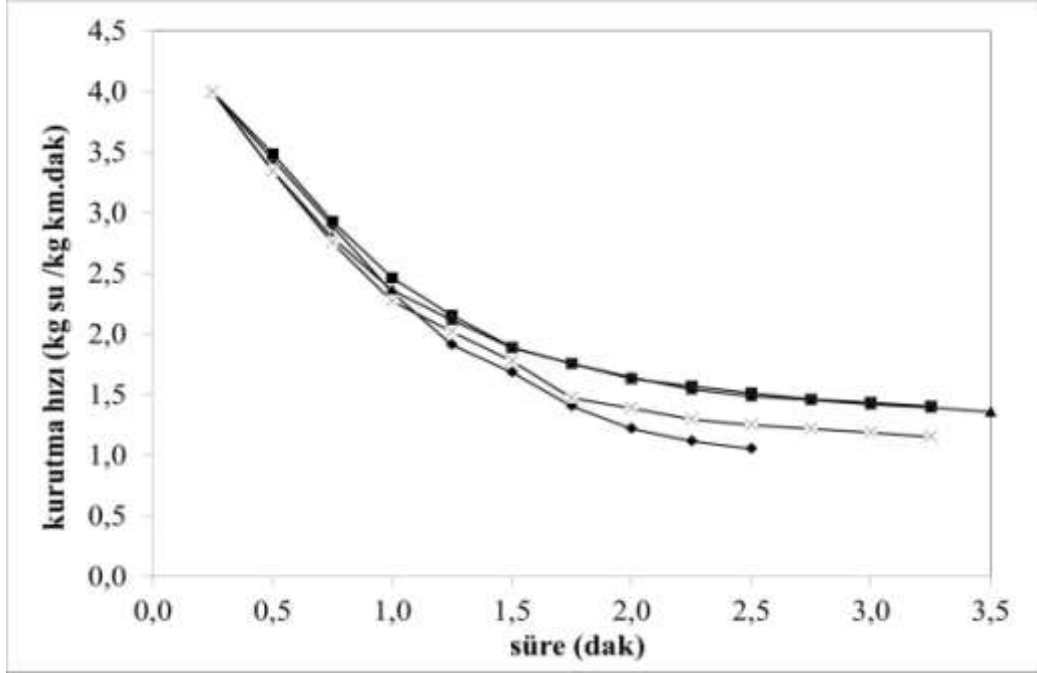
Başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalar sonucunda kurutulmasıyla nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi şekil 4.35’de verilmiştir. 350 W uygulanan kivi örneklerinin nem içeriği 0,352 kg su/kg km. değerine düşerken 420 W uygulanan örneklerde 0,340 kg su/kg km.’ye inmiştir. 490 W uygulanan kivi örneklerinin 3 dk kurutma sonunda nem içeriği 0,288 kg su/kg km’ye ulaşmıştır. MW-IR kombinasyonun 2,25 dakikalık uygulaması sonucunda nem içeriği 0,264 kg su/kg km. olarak bulunmuştur. Uygulama değişimleri ve süreler incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.35, EK 2 Çizelge 1).



Şekil 4.35 Başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a), ▲ 420 W^(a), × 490 W^(a) ♦ MW-IR ^(a)

İşlem öncesi nem içeriği %50'ye düşürülen örneklerin farklı uygulamalarla kurutulması sırasındaki kurutma hızının zamana bağlı olarak değişimi şekil 4.36'da gösterilmiştir. Kurutma boyunca zamanla azalan hızda kuruma görülmüştür. Tüm uygulamaların ilk 0,25 dakikalık kuruması boyunca hızı 4,00 kg su/kg km.dk olarak hesaplanmıştır. Kurutma hızının zamanla değişimi incelendiğinde uygulama miktarı ve türünün değişmesinin kurutma üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.36, EK 2 Çizelge 2).



Şekil 4.36 Başlangıç nem miktarı %50 olan kivi örneklerinin farklı uygulamalardaki kurutma hızının zamana bağlı değişimi

■ 350 W^(a), ▲ 420 W^(a), × 490 W^(a), ◆ MW-IR^(a)

Çizelge 4.5’ te geleneksel yöntemle kurutulan kivi dilimlerinin kuruma süreleri kontrol örneği olarak verilmiştir. Mikrodalga gücü ve MW-IR uygulamaları geleneksel yönteme göre yaklaşık %57 zaman tasarrufu sağlamaktadır. Farklı uygulamaların işlem süreleri birbirlerine yakın olmakla beraber kontrol örneğinden istatistiksel olarak farklı olduğu görülmektedir. Nem miktarı azaldıkça işlem süresinin artışı da önemli miktarda olmaktadır (EK 2 Çizelge 3). Literatürde maydanoz yapraklarının mikrodalga gücü arttıkça kurutma süresinin önemli derecede azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Soysal 2004).

Çizelge 4.5 Kivi örneklerinin kurutma süreleri

UYGULAMA	%30 nem*	%40 nem**	%50 nem ***
Kontrol	490 dakika	490 dakika	490 dakika
350 W	272,25 dakika	212,25 dakika	153 dakika
420 W	272 dakika	213 dakika	153,25 dakika
490 W	272,5 dakika	212,75 dakika	153 dakika
MW-IR	271,75 dakika	212 dakika	152,25 dakika

*Ön kurutma süresi 270 dakika, **Ön kurutma süresi 210 dakika, ***Ön kurutma süresi 150 dakika

Ön kurutma süreleri gözardı edilerek uygulamalar karşılaştırıldığında ise MW-IR uygulamasının 350W mikrodalga uygulaması ile benzer olarak daha kısa sürede kurutma özelliğinden bahsedilebilir. Mikrodalga gücü artışı olmasına rağmen uygulama zamanları değerlendirildiğinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir (EK 2 Çizelge 4). Bu çalışmadan farklı olarak, Özbek ve Dadalı (2007), 5 farklı mikrodalga güç değerinde nane yapraklarının kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla bir kurutma çalışması yapmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla ürünün kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür. Bu farklılık ürünlerin nem içeriklerinin ve yapısal özelliklerinin farklılığına bağlanabilir.

4.2.2 Renk değişim bulguları

Kurutulmuş ürünlerde renk bir kalite göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Renk ölçümü esnasında L, a ve b değerleri elde edilmiş olup, L değeri parlaklıktan koyuluğa, +a kırmızılığa, -a yeşillığe, +b sarılığa ve -b ise maviliğe gidişi göstermektedir (Gould 1977).

Antosiyanin içeren meyve ve sebze ürünlerinin rengi, çeşitli etkenlerle antosiyaninlerin parçalanması sonucu değişmektedir. Bu hususta sıcaklık, askorbik asit, şekerler ve parçalanma ürünleri, hatta enzimler, oksijen, ışık gibi birçok faktör rol oynamaktadır (Cemeroğlu 2004b). Kurutma öncesinde ve sonrasındaki kivi örneklerinin farklı uygulamalar için renk değerlerinin ortalamaları çizelge 4.6'da verilmiştir.

Muz örneklerinde olduğu gibi kontrol örnekleri olarak piyasada satılan kurutulmuş kivi örnekleri kullanılmıştır. Kurutulan kivi örneklerinin renk değerleri incelendiğinde; ortalama L (matlık/ parlaklık) değerinin kurutma boyunca azaldığı görülmüştür. Başlangıç nem içeriği %30 olan örneklerde kontrol örneğine en yakın L değeri MW-IR uygulanan örneklerde tespit edilmiştir. Başlangıç nem içeriği %40 ve %50 olan örneklerde kontrol örneğine yakın L değerleri 490 W mikrodalga gücünde ölçülmüştür. Tüm uygulama miktarı ve türleri değerlendirildiğinde uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmemiştir (EK 2 Çizelge 5). Bu durumun mikrodalga güçlerinin birbirine çok yakın olması sebebiyle olabileceği düşünülmüştür. Bu

çalışmanın aksine, Dadalı vd. (2007a) bamya örnekleri ile yaptıkları çalışmada mikrodalga gücü arttıkça örneklerin L değerinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Tüm değişkenlerde L değeri değerlendirildiğinde; kontrol örneğinden istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Kivi örneklerine ait renk değerleri

ÖRNEK	UYGULAMA	L	a	b
Taze kivi	-	56,85±3,53	-3,66±1,17	13,07±3,12
Kontrol	-	46,71±3,77	-3,08±1,10	8,02±0,96
%30 nem içeren kivi	350 W	50,93±4,19 ^(a)	2,71±1,46 ^(b)	22,16±2,65 ^(a)
	420 W	56,05±3,79 ^(a)	1,37±0,61 ^(b)	21,31±1,09 ^(a)
	490 W	50,91±0,57 ^(a)	3,39±1,45 ^(b)	18,68±1,28 ^(b)
	MW-IR	46,91±2,28 ^(a)	6,18±1,39 ^(b)	20,38±1,61 ^(ab)
%40 nem içeren kivi	350 W	46,01±2,88 ^(ab)	3,64±0,69 ^(a)	19,88±0,53 ^(a)
	420 W	51,59±2,93 ^(ab)	6,16±0,86 ^(a)	25,01±2,70 ^(a)
	490 W	47,48±3,38 ^(ab)	4,09±0,76 ^(a)	20,02±2,18 ^(b)
	MW-IR	56,69±0,38 ^(ab)	5,15±0,62 ^(a)	20,74±3,42 ^(ab)
%50 nem içeren kivi	350 W	55,39±1,82 ^(b)	2,86±1,13 ^(a)	21,63±1,73 ^(a)
	420 W	49,45±1,09 ^(b)	4,63±1,56 ^(a)	21,92±1,08 ^(a)
	490 W	45,69±2,98 ^(b)	4,60±1,53 ^(a)	19,34±1,39 ^(b)
	MW-IR	40,90±2,52 ^(b)	6,58±2,44 ^(a)	18,27±1,03 ^(ab)

Satırlarda bulunan farklı harfler(a,b,c,d,e,f) arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0,05$).

Farklı nem içeriklerinin ve uygulama türlerinin ürün renginde a değeri üzerine etkisi incelenmiştir. Taze kivi ve kontrol örneklerinin (-) a değerine sahip olduğu çizelge 4.6'da görülmektedir. Kuru olan kontrol örneklerinin (-) a değerine sahip olmasında ithal olarak satışa sunulan örnekler olması ve ısıtma işlemi yanı sıra kimyasal bir işlem uygulanması sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Kontrol örneklerinin a değerleri ile elde edilen ürünlerin a değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık görülmüştür. Kurutma uygulanan örneklerin a değeri işlem boyunca artmıştır. Bu değişim kivi

örneklerinin renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir göstergesidir. 350 W, 420 W ve 490 W uygulamalarda üründe a değeri sırasıyla 4,1, 3,7 ve 4,0 tespit edilirken MW-IR uygulamasında 4,3 olarak ölçülmüştür. Ancak sonuçlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır. Başlangıç yüksek nem içeriğine sahip örneklerin a değeri üzerine pozitif bir etkisi olduğu görülmektedir (EK 2 Çizelge 6). Bu durum yüksek nem içeren örneklerin daha uzun süre kurutulması ve bunun sonucunda da daha koyu renge sahip örneklerin elde edilmesi sonucunda olduğu düşünülmektedir. Çizelge 4.6 incelendiğinde L ve a değerlerinin uygulanan işlemde önemli miktarda etkilenmediği bulunmuştur.

b değeri üzerine uygulama türü ve başlangıç nem miktarının etkisi incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Nem miktarının azalmasıyla b değeri artmıştır. Farklı başlangıç nem içeriğine sahip örneklerin b değeri üzerine etkisi bulunmamıştır. Mikrodalga gücü arttıkça b değeri azalmıştır. MW-IR kombinasyonunda ise yüksek mikrodalga gücüne yakın değerler elde edilmiştir. b değeri üzerine uygulanan işlemin etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır (EK 2 Çizelge 7). Daha önce de belirtildiği gibi b değerinin kurutma süresince artması sarı rengin belirginleşmesinin bir sonucudur. Bu değişiklik kurutma işleminde su kaybı olmasının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Kontrol örneğiyle elde edilen ürünlerin b değerleri incelendiğinde ise aralarında istatistiksel olarak farklılık olduğu saptanmıştır.

Maskan (2000), muz örnekleri ile yaptığı çalışmada mikrodalga gücüne bağlı olarak L, a ve b değişiminin dolayısıyla renk değişiminin gerçekleşmediği sonucuna ulaşmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı sonuçlara da rastlanmıştır. Maskan (2001b), kivi meyvesinin renk değişim kinetiklerini araştırmış, L ve b değerlerinin kuruma süresince azaldığını, a değerinin ise arttığını rapor etmiştir. Tüm parametrelerin kurutma koşullarından etkilendiği belirtilmiştir.

4.2.3 Dielektrik özellikler

Dielektrik özellikler mikrodalga veya yüksek frekanslı elektromanyetik alanda dielektrik ısıtma uygulamalarının parametrelerini belirlemek için kullanılabilir. Dielektrik ısıtmada enerji absorpsiyonuyla materyalin ısınmasına dielektrik özelliklerinin

etkisi uzun zamandır bilinmekte ve birçok uygulaması araştırılmaktadır (Metaxas ve Meredith 1983). Ürünün nem içeriğinin ölçümünde dielektrik özelliklerinden yararlanılmaktadır.

Kivi örneklerinin kurutma öncesinde ve kurutma işlemi sonrasındaki farklı uygulamalar için dielektrik verileri çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Taze kivinin dielektrik sabiti ortalama olarak 84,95 olarak ölçülmüştür. Kurutma boyunca dielektrik sabiti azalmıştır. Çizelge 4.7 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Başlangıç nem miktarı %30 olan örneklerin farklı mikrodalga gücü (350 W, 420 W ve 490 W) ve MW-IR uygulaması sonucunda dielektrik sabiti sırasıyla 3,91, 3,76, 3,46 ve 3,47 olarak bulunmuştur. Başlangıç nem içeriği %40 olan kivi örneklerinin ise dielektrik sabiti sırasıyla 4,08, 3,9 3,73 ve 3,66 olarak kaydedilmiştir. %50 başlangıç nem içeriği olan örneklerde ise 350 W mikrodalga gücünde 4,7 dielektrik sabiti ölçülürken 420 W, 490 W ve MW-IR uygulamasında sırasıyla 4,62, 4,21 ve 4,16 değerleri kaydedilmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça dielektrik sabiti azalmış ve MW-IR uygulamasında en yüksek mikrodalga gücü uygulamasına yakın sonuçlar elde edilmiştir (EK 2 Çizelge 8). Başlangıç nem miktarındaki artış dielektrik sabiti değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Başlangıç nem miktarı ve dielektrik sabiti arasındaki bu ilişki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (EK 2 Çizelge 8). Kivi örneğine ait nem değişim verileri incelendiğinde başlangıç nem miktarının nihai nem içeriği üzerine pozitif etkisi bulunduğu, dolayısıyla dielektrik sabitini de pozitif yönde etkilediği söylenebilir. Bu bulgular yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir. Kristiawan vd. (2009), elma, çilek, kivi, muz meyveleri ve soğan, brokoli sebzelerinin farklı nem içeriğinde kurutulmuş örneklerinin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünü incelemiş ve yüksek nem içeriğine sahip örneklerin dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün de doğrusal olarak arttığını saptamışlardır.

Taze kivi $85 \pm 0,02$ nem içeriğine sahipken kayıp faktörü 15,66 ölçülmüştür. Başlangıç nem içeriği %30 olan kivi örneklerinde 350 W uygulamada kayıp faktörü 0,30 bulunmuştur. 420 W ve 490 W güçlerinde kurutmada kayıp faktörü 0,23 olarak eşit kaydedilmiştir. MW-IR kombinasyonunda kurutulan örneklerde kayıp faktörü 0,22 değerine ulaşmıştır. Başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerde 350 W, 420 W, 490 W ve MW-IR uygulamalarında kayıp faktörü sırasıyla 0,30, 0,29, 0,27 ve 0,27 olarak

kaydedilmiştir. Başlangıç nem içeriği en yüksek olan örneklerin kayıp faktörü 350 W gücünde 0,49 iken 420 W, 490 W ve MW-IR uygulamalarında sırasıyla 0,47, 0,47 ve 0,42 değerine ulaşmıştır. Uygulamalar arasında farklılıklar gözlenmiş ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak başlangıç nem içeriğinin artmasının kayıp faktörü üzerinde istatistiksel olarak pozitif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (EK 2 Çizelge 9). Dielektrik sabiti ve kayıp faktörü nem içeriğiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Önceki çalışmalarda yüksek ($a_w = 0.95-0.99$) veya düşük ($a_w = 0.40-0.60$) nem içeren gıdalarda gıdanın dielektrik özelliklerinde su içeriğinin benzer etkileri bulunmuştur (mısır (Nelson 1978), üzüm (Tulasidas vd. 1995), elma (Feng vd. 2002) ve baklagil unu (Guo vd. 2010)).

Çizelge 4.7 Kivi örneklerinin dielektrik özellikleri

ÖRNEK	UYGULAMA	DİELEKTRİK SABİTİ (ϵ')	KAYIP FAKTÖRÜ (ϵ'')	NÜFUZ DERİNLİĞİ (mm)
Taze kivi	-	84,95±4,28	15,66±1,73	0,1±0,0009
%30 nem içeren kivi	350 W	3,91±0,89 ^(e)	0,30±0,11 ^(b)	1,2±0,03 ^(b)
	420 W	3,76±0,89 ^(e)	0,23±0,16 ^(b)	1,3±0,07 ^(ab)
	490 W	3,46±0,75 ^(f)	0,23±0,12 ^(b)	1,4±0,10 ^(a)
	MW-IR	3,47±0,89 ^(f)	0,22±0,13 ^(b)	1,6±0,05 ^(a)
%40 nem içeren kivi	350 W	4,08±0,83 ^(c)	0,30±0,12 ^(b)	1,1±0,08 ^(b)
	420 W	3,9±0,94 ^(c)	0,29±0,1 ^(b)	1,3±0,03 ^(ab)
	490 W	3,73±0,91 ^(d)	0,27±0,11 ^(b)	1,5±0,06 ^(a)
	MW-IR	3,66±0,91 ^(d)	0,27±0,16 ^(b)	1,7±0,07 ^(a)
%50 nem içeren kivi	350 W	4,7±1,09 ^(a)	0,49±0,10 ^(a)	0,4±0,04 ^(d)
	420 W	4,62±0,81 ^(a)	0,47±0,15 ^(a)	0,8±0,02 ^(cd)
	490 W	4,21±0,9 ^(b)	0,47±0,13 ^(a)	0,8±0,24 ^(c)
	MW-IR	4,16±0,91 ^(b)	0,42±0,14 ^(a)	0,9±0,17 ^(c)

Satırlarda bulunan farklı harfler(a,b,c,d,e,f) arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0,05$).

Nüfuz derinliği, absorbe edilen gücün dağılımını tahmin edebilmek için nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Kivi örneklerinin nüfuz derinliği sonuçları çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Taze kivide nüfuz derinliği 0,0113 cm olarak kaydedilmiştir. 350 W gücünde kurutulan %30 başlangıç nem miktarına sahip kivi dilimlerinde nüfuz derinliği 0,12 cm’dir. Aynı nem içeriğine sahip örneklerin 420 W, 490 W ve MW-IR uygulamalarında nüfuz derinliği sırasıyla 1,3, 1,4 ve 1,6 mm’dir. Başlangıç nem miktarı %40 olan örneklerde 1,1 mm nüfuz derinliği 350 W mikrodalga gücünde kurutmayla elde edilirken; 420 W ve 490 W mikrodalga gücünde 1,3 ve 1,5 mm olarak ölçülmüştür. MW-IR uygulamasında ise 1,7 mm nüfuz derinliğine ulaşılmıştır. Başlangıç nem içeriği %50 olan kivi örneklerinin nüfuz derinliği mikrodalga gücünün artmasıyla artmıştır. MW-IR uygulamasında en yüksek mikrodalga gücünden daha yüksek nüfuz derinliği elde edilmiştir. Başlangıç nem içeriğindeki düşüşün nüfuz derinliğini arttırdığı saptanmıştır. Bu durum dielektrik özelliklerin azalmasıyla açıklanabilir. Uygulanan mikrodalga gücü artarken hesaplanan nüfuz derinliği değerlerindeki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu ve MW-IR uygulamasında en yüksek mikrodalga gücüyle benzer sonuçlara ulaşıldığı bulunmuştur (EK 2 Çizelge 10).

4.2.4 Dielektrik özelliklerin kurutma parametreleri ile korelasyonu

Kurutulmuş kivi örneklerinin dielektrik değişiminin yapılan analizler sonucunda elde edilen kurutma parametreleri ile arasındaki ilişki çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Kurutulmuş kivinin dielektrik özellikleri ile kurutma karakteristiklerinin korelasyon faktörleri

	Kurutma hızı	Nem içeriği	L	a	b
Dielektrik sabiti	r=-0,809*	r=-0.395	r=-0.402	r=-0.739*	r=-0.009
Kayıp faktörü	r=-0.587*	r=-0.544	r=0.702*	r=-0.777*	r=0.242

*p≤0,05

Çizelge 4.8 incelendiğinde; dielektrik sabiti ile kurutma hızı arasında negatif bir korelasyon olduğu görülmektedir. Muz verileri tartışılırken de belirtildiği gibi bu negatif

korelasyon dielektrik sabitinin örneğin nem miktarına bağlı oluşundan kaynaklanmaktadır. Kurutma hızındaki artış örneğin nem içeriğinde azalmaya ve eş zamanlı olarak dielektrik sabitinde de azalmaya neden olmaktadır. Dielektrik sabiti ile renk değerlerinden L ve b değerleri arasında bir ilişkinin olmadığı saptanmıştır. Dielektrik sabiti ile a değeri arasında negatif bir korelasyon tespit edilmiştir. Dielektrik sabiti düştükçe (ürün kurudukça) a değeri artmaktadır. Bu değer artışının örnek kurudukça (nem miktarı düştükçe) kahverengi rengin daha baskın oluşundan kaynaklandığı renk değerleri tartışılırken belirtilmiştir. Örneğin nem değeri ne kadar azalırsa rengi de o oranda kahverengileşecektir. Yine benzer şekilde örneğin nem değerindeki negatif değişim dielektrik sabitinin de azalmasına neden olacaktır. Bu iki olgu eş zamanlı düşünüldüğünde a değeri ve dielektrik sabiti arasındaki negatif korelasyon açıklanabilir.

Kayıp faktörü ile L değeri arasında pozitif bir korelasyon mevcutken a değeriyle arasında negatif bir korelasyon bulunmaktadır. Kivi örneklerinin kuruma hızı arttıkça L değeri düşmekte a değeri artmakta ve kayıp faktörü azalmaktadır. Tespit edilen korelasyonlar da bu durumun açık bir göstergesidir. Ancak kayıp faktörü ile nem içeriği ve b değeri arasında korelasyon bulunmamıştır.

5. SONUÇ

Bu araştırmada mikrodalga ve kızılötesi teknolojilerinin kurutma endüstrisinde yeni bir yöntem olarak kullanılması üzerine muz ve kivi örnekleri ile çalışılmıştır. Meyve çeşitleri üç farklı mikrodalga gücü ve mikrodalga-kızılötesi kombinasyonu ile kurutulmuş ve kurutma karakteristikleri incelenmiştir. Mikrodalga işleminde en önemli faktör olan gıdanın dielektrik özellikleri de irdelenmiş ve kurutma karakteristikleri ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Gıdaların dielektrik özellikleri ve nüfuz derinliği mikrodalgaya karşı tepkilerini anlamada yararlı olan özelliklerdir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, çalışmadan elde edilen veriler mikrodalgada kurutulan gıdaların geliştirilmesinde faydalı olabilecektir.

Kurutma işleminde son ürünün nem değerinin çok düşük olması ürünün raf ömrü esnasında küflenmesini önlemek için önemlidir. Bu yüzden son nem içeriği ürünün kalite parametrelerinden biri olarak değerlendirilebilir. Muz ve kivi örneklerinde mikrodalga güçleri ve işlem türü arasında önemli bir farklılığa rastlanmazken ilk nem içeriğinin son nem üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan işlemler kurutma prosesini kısaltmaktadır. Mikrodalga gücünün artması ve başlangıç nem miktarının azalması işlem süresinin kısalmasında etkilidir. Son nem içeriğine ulaşmada kurutma hızı da önemli bir kriterdir. Muz örneklerinde kurutma hızı mikrodalga gücü arttıkça artmış, MW-IR uygulamasında en düşük mikrodalga gücüne benzer bir kurutma sağlanmıştır. Ancak kivi örneklerinde işlemler arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir.

Kuru üründe renk önemli bir kalite parametresidir. Muz örneklerinin renk değeri incelendiğinde, MW-IR uygulamasında kontrol örneğine en yakın L ve b değerleri elde edilirken a değeri üzerine işlemler arasında farklılığın bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Her üç renk değeri için de muz ve kivi örneklerinin başlangıç nem içeriği etkin bir faktör olarak bulunmuştur.

Muz örneklerinde mikrodalga gücü ve uygulama türü kurutma hızı, işlem süresi, renk parametreleri (L ve b), dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve nüfuz derinliği üzerine; başlangıç nem miktarı ise kurutma hızı, nem içeriği, işlem süresi, a ve b değeri,

dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ve nüfuz derinliği üzerine etkisi önemli bulunan değişkenlerdir. Dielektrik sabiti ile nem içeriği, kurutma hızı ve a değeri arasında; dielektrik kayıp faktörü ile L ve b değeri arasında korelasyon tespit edilmiştir.

Kivi örneklerinde mikrodalga gücü ve uygulama türü işlem süresi, b değeri, dielektrik sabiti ve nüfuz derinliği üzerine; başlangıç nem miktarı ise kurutma hızı, nem içeriği, işlem süresi, L, a ve b değerleri, dielektrik sabiti, kayıp faktörü, nüfuz derinliği üzerine etkisi bulunan parametrelerdir. Dielektrik sabiti ile kurutma hızı ve a değeri arasında; dielektrik kayıp faktörü ile kurutma hızı, L ve a değeri arasında muz örneklerinde olduğu gibi korelasyon tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada muz örnekleriyle elde edilen ürünlerde nem miktarı kontrol örneğinden (0,05 kg su/kg km) daha düşük ve dolayısıyla mikrobiyolojik açıdan daha güvenli ürünler elde edilirken kivi örneklerinin yapısal özellikleri nedeniyle bu sonuca ulaşılammıştır. Kivi örneklerinin çekirdekli yapısı, mikrodalga enerjisinin küresel cisimler etrafında odaklanma özelliğinden dolayı, kurutma işleminin çok daha yüksek nem değerlerinde durdurulması gerekliliğini doğurmuştur.

Günümüz gıda endüstrisinde hijyenik ve güvenilir gıda üretmek amaçlanmaktadır. Bu amacı gerçekleştirirken kullanılan teknoloji önemlidir. Mikrodalga ve kızıl-ötesi mikrodalga kombinasyonunun kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışma zaman tasarrufu sağlayarak kaliteli, güvenilir gıda üretimi yapılabileceğini desteklemektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken en önemli unsur işlenen gıdanın yapısal özellikleridir.

KAYNAKLAR

- Adom, K.K., Dzogbefia, V.P. and Ellis, W.O. 1997, "Combined effect of drying time and slice thickness on the solar drying of okra", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73:315-320.
- Afzal, T.M. and Abe, T. 2000, Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26 (2), 137-145.
- Afzal, T.M., Abe T. and Hikida, Y. 1999. Energy and quality aspects of combined FIR-convection drying of barley. *J Food Eng*, 42: 177-182.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. and Beygi, S.R.H. 2010. Drying and Rehydration characteristics of sour cherry(*Prunus Cerasus L.*) *Journal of food processing and preservation*, Vol.34; pp:351-365.
- Akosman, C. ve Kalender, M. 2004. Soya Fasulyesinin Kuruma Karakteristiklerinin Tepsili Kurutucuda İncelenmesi. *F.U. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16(2), 243-251.
- Al-Duri B. and McIntyre, S. 1992. Comparison of drying kinetics of foods using a fan-assisted convection oven. *Journal of Food Engineering*, 15, 139-155.
- Alibaş, İ. 2007. Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices. *Science Direct LWT* 40 pp. 1445-1451.
- Alibaş, İ. 2001. Bazı sebze ve meyvelerin mikrodalga ışınlarla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. Yüksek lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, s.10. Bursa.
- Altan, A. and Maskan, M. 2005, "Microwave Assisted Drying Of Short-Cut (Ditalini) Macaroni: Drying Characteristics and Effect Of Drying Processes On Starch Properties" *Food Research International*, 38 (7),pp. 787-796.
- Ancos, B., Cano, M.P., Hernandez, A. and Monreal, M. (1999), "Effects of microwave heating on pigment composition and colour of fruit pureest", *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 79: 663-670.
- Anonymous, 2004. United Nations Industrial Development Organization. "Preservation of Fruits and Vegetables by Drying", III UNISWORK, Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- Anonim, 2005. FAO Internet Webpages. <http://www.fao.org>. 21.10.2013.
- Anonim. 2011. Web sitesi: <http://forum.gidagundemi.com/mikrodalga-teknigi-mikrodalga-kurutma-t23817.html>, 27.10.2013.
- Arslan D., Özcan M. M., 2008, Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves, *Energy Conversion and Management* 49, 1258-1264.
- Artan, E. T. 2003 "Isı ve Nem Transferinin İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Doktora tezi, İstanbul

- Baker, G.J.C. 1997, Industrial Drying of Foods, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York, Amerika.
- Barbosa-Canovas, G.V. and Vega-Mercado, H. 1996, Dehydration of Foods, Eds. Barbosa- Canovas, G.V.Basunia, M.A.; Abe, T.,2001, Thin layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. Journal of Food Engineering, Vol. 47, pp. 295–301
- Basman, A. and Yalcin S. 2011. Quick-Boiling Noodle Production by Using Infrared Drying. Journal of Food Engineering, 8774(11): 00275-5.
- Birla, S.L., Wang, S., Tang, J. and Tiwari, G. 2008. Characterization of radio frequency heating of fresh fruits influenced by dielectric properties Journal of Food Engineering 89 390–398.
- Burande, R.R., Kumbhar, B.K., Ghosh, P.K. and Jayas, D.S. 2008, “Optimization of Fluidized Bed Drying Process of Green Peas Using Response Surface Methodology”, Drying Technology, 26: 920-930.
- Cemeroğlu, B., 2004a. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Cilt 1. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, Ankara, 480s.
- Cemeroğlu, B., 2004b. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 650s.
- Cemeroğlu, B.(ed) 2005. Dondurulmuş Ürünlerin Çözülmesi. Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler, Başkent Klîşe Matbaacılık, s. 278-281, Türkiye.
- Chang C H, Lin H Y, Chang C Y, Liu Y C ,2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air dried tomatoes. Journal of Food Engineering, 77: 478-485.
- Chia, C.L. and Huggins, C.A. 2003. Bananas. Community fact sheet BA-3(A) fruit. Hawaii Cooperative Extension Service, CTAHR, University of Hawaii.
- Chua K.J. ve Chou S.K., 2005. A Comparative Study Between Intermittent Microwave and Infrared Drying of Bioproducts. International Journal of Food Science and Technology 40: 23-39.
- Cui, Z.W., Xu, S.Y. and Sun, D.W., 2003. “Dehydration Of Garlic Slices By Combined Microwave–Vacuum And Air Drying” Drying Technology, Cilt No 21, Sayı No 7, Sayfa No 1173–1185.
- Cui, Z. W., Li, C. Y., Song, C. F. and Song, Y., 2008. “Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips” Drying Technology, Cilt No 26, Sayfa No 1517-1523.
- Çalışkan, M. K., 2002. “Mikroalg Enerjisi ile Kurutma” İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Çelen, S. 2010. Mikroalg ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi. Doktora tezi. Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, s.38 . Edirne.

- Dadalı, G. 2007. Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi , Kimya mühendisliği anabilim dalı, s.25 . İstanbul.
- Dadalı, G., Apar, D. and Özbek, B.2007. “Color Change Kinetics of Okra Undergoing Microwave Drying Drying Technology” Drying Technology, 25: pp.925–936.
- Dadalı, G. and Özbek, B. 2007. “Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment”. Journal of Food Engineering 83 (2007) 541–549
- Dalgleish, J.N. and Andy , N.M. 1988. Dehydration and Dried Products. Food Industries Manual. M.D. Ranken (Ed). Blackie Glasgow.
- Datta, A.K. and Ni, H. 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. J Food Eng, 51: 355-364
- Datta, A. K. 1990. Heat and mass transfer in the microwave processing of food. Chemical Engineering Progress, 86, 47-53.
- Davoodi, M.G., Vijayanand, P., Kulkarni, S.G. and Ramana, K.V.R. 2007. Effect of different pretreatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. LWT, 40: 1832-1840.
- Decareau, V.R. 1985. Microwaves in The Food Processing Industry, Academic Press, Inc.,London.
- Decareau, V.R. 1992. “Encyclopaedia of Food Science and Technology”, 3:1772-1778.
- Demirbaş, M. 2010. Kivi Reçelinde Depolamanın Bileşim Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 14 s. Erzurum.
- Demirci, M., 2003. Gıda Kimyası. Rebel Yayıncılık, 219 s, Tekirdağ
- Demirekler, P., 2004. Optimization of Microwave-Halogen Lamp Baking of Bread, Master of Science Thesis, METU Science Pure and Applied Science, 118 p.
- Demirel, D. and Turhan, M. 2002. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. Journal of Food Engineering 59 (2003) 1–11.
- Demirkol, Ö. “Investigation of Physical Properties of Different Cake Formulations During Baking With Microwave and Infrared Microwave Combination”. The Degree Of Doctor Of Philosophy In food Engineering, 2007.
- Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G. D. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. Journal of Food Engineering, 39(2), 117–122.
- Drouzas, A.E. and Schubert, H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. Journal of Food Engineering, 28, 203–209.
- Doymaz, İ. 2006. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. Journal of Food Engineering, 74: 370–375
- Doymaz, İ. 2004. Convective air-drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, 61 (3), 359–364.

- Eck, P. and Buck, R.G. 1980. Method of browning food in a microwave oven. US Patent 4, 396, 817.
- Elkhoreiby, A.M. 2003. Banana Production: Egypt and Arabian Countries. El-Dar Elarabia publishers and distributors, Egypt, pp:180.
- Erarslan, D. 2006. Fındıkta Mikrodalga ile Kurutmanın *Aspergillus Flavus* Küfüne Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 37. İstanbul
- Erbay, B. ve Küçüköner E. 2008. “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Erdem, T. 2007. “Ozon Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi Ėle Kurutulması” Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ergün, K. 2012. Dondurularak Kurutulmuş Kivi Püresi Tozu Kullanılarak Hazırlanan Keklerde Pişirme Yöntemi ve Formülasyonun Kalite Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 21 s. İzmir.
- Fellows, P.J. 2000. Food Processing Technology, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge, İngiltere.
- Feng, H., Tang, J. and Cavalieri, R.P. 2002. “Dielectric properties of dehydrated apples as affected by moisture and temperature” American Society of Agricultural Engineers Vol. 45(1): 129–135
- Fujii, M. and Tsuda, T. 1987. Microwave heating and infrared ray heating appliance. US Patent 4, 803, 324.
- Galema, S.A. 1997. Microwave chemistry. Chem Soc Rev, 26, 233-238.
- Garcia, E. and Barette, D.M. 2002. Preservation treatments for fresh cut fruits and vegetables. In Lamikanra, O. (ed.). Fresh Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology and Market. CRC Press, pp. 267- 303.
- Giese, J. 1992. Advances in Microwave Food Processing. Food Technol, 46 (9), 118-123
- Gould, A.W. 1977. Food Quality Assurance, The AVI Publishing Company Inc. USA, 314p.
- Guo, W., Wang, S., Tiwari, G., Johnson, J. A. and Tang, J. 2010. Temperature and moisture dependent dielectric properties of legume flours associated with dielectric heating. LWT - Food Science and Technology, 43(2), 193-201.
- Güldaş, M. 2007. Peeling and the physical and chemical properties of kiwi fruit, Journal of Food Processing and Preservation, 27(4):271-284
- Günerhan, E. 2012. Endüstriyel Kurutma Sistemleri Web sitesi : <http://www.ttmd.org.tr/userfiles/dergi/ek36.pdf>.

- Gwarek, W.K. and Celuch-Marcysiak, M. 2004. A review of microwave power applications in industry and research. *Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2004. 15th International Conference*, 3, 843-848.
- Hebbbar, H. U., Viswanathan, K. H. and Ramesh, M.N. 2004. Development of Combined Infrared and Hot Air Dryer for Vegetables. *Journal of Food Engineering*. 65, 557-563.
- Hermann, G. 1997. Adding value to bananas. *Food Chain*, 21,7.
- Huang, L., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Sun, D., Tan, G. and Tang, S. 2009. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices, *Drying Technology*, 27: 938-946.
- Jung, K.H. and Lee, S.Y. 1992. Microwave ovens with infrared rays heating units. US Patent 5, 310, 979.
- İzgi, C. 2012. Farklı Kurutma Metodlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi. Yüksek lisans tezi. Namık Kemal Üniversitesi, s.20 . Tekirdağ
- Kanat, A. 2001. "İ.T.Ü. Kosgeb’de Geliştirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma" İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul
- Karaaslan, S. ve Tunçer, İ.K. 2009. "Kırmızı Biberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ile Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 12(2):9-16.
- Kara, T. 2008. Muzun Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, 12 s. Konya.
- Kartal, A.S. 2011. Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi; Gıda Mühendisliği anabilim Dalı, s. 32. İstanbul.
- Kaymak-Ertekin, F. 2002. "Drying and Rehydrating Kinetics of Green and Red Peppers", *Journal of Food Science*, 67:168-175.
- Kendall, P. and Allen, L. 1998. Drying Vegetables: Food and Nutrition Series-Preparation. Colorado State University Cooperative Extension Service Publication 10 /-1998.
- Kemahlıoğlu, K. ve Baysal, T. 2002. Hububat Ürünlerinin İşlenmesinde Mikrodalga Uygulamaları, <http://www.usd.org.tr/bildiri/Bildiri/S1.pdf>.
- Knutson, K.M., Marth, E.H. and Wagner, M.K. 1987. Microwave heating of food, *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*, 20:101-110.
- Konak, Ü. İ., Certel M. and Helhel, S. 2009. Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 4, No: 3, 20-31

- Kristiawan, M., Sobolik, V., Klima, L. and Allaf, K. 2009. Effect of expansion by instantaneous controlled pressure drop on dielectric properties of fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering* 102 (2011) 361–368
- Marzec, A., Kowalska, H. and Zadrozna, M. 2010. Analysis Of Instrumental and Sensory Texture Attributes Of Microwave–Convective Dried Apples. *Journal of Texture Studies* 41 (2010) 417–439
- Mudgett, RE. 1995. Electrical properties of foods. In Rao, MA, and Rizvi, SSH, editors. *Engineering Properties of Foods*. 2nd ed. New York: Marcel Decker, Inc. p 389-455.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
- Maskan, M. 2001a. “Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying” *Journal of Food Engineering* 48 (2001) 177±182
- Maskan, M. 2001b. “Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying” *Journal of Food Engineering* 48 (2001) 169±175
- McCabe, W., Smith, J. and Harriott, P. 2004. *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw Hill.
- Mcminn, W. A. M. and Magee, T.R.A. 1997. Physical Characteristics of Dehydrated Potatoes. *Journal of Food Engineering*. 33(1-2): 37-48.
- Mendilcioğlu, K. and Karaçalı, İ. 1980. *Muz. Yardımcı Ders Kitabı*, E.Ü.Z.F. Yayınları, İzmir No 377, 74 s.
- Meredith, R. 1988. “Engineers” *Handbook Of Industrial Microwave Heating*” Chapter 2, Sayfa No 19-51, The Institution of Electrical Engineers, London.
- Metaxas, A.C. and Meredith, R.J. 1983. *Industrial microwave heating*. London. Peter Peregrinus.
- Mudgett, R.E. 1982. Electrical properties of foods in microwave processing. *Food Technology*, 36, 109-115.
- Nasıroğlu, Ş. 2007. *Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Nelson, S.O. 1978. Frequency and moisture dependence of the dielectric properties of high-moisture corn. *J Microwave Power* 13(2):213-8.
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A. and Hendrickx, M. 2008. Effect of high pressure processing on colour, texture and flavour of fruit and vegetable-based food products a review. *Trends in food science & technology*, 19, 320-328.
- Özdemir, O. and Özyazıcı, M.A. 2006. Samsun yöresinde kiviinin azotlu gübre ihtiyacı, *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(3):303-309.

- Ozkan, İ., Akbudak, A. and Akbudak, N. 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach, *Journal of Food Engineering*, 577 – 583 pp.
- Özkoç, S.Ö. 2009. Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı, *GIDA* (2010) 35 (3): 211-218.
- Page, R.M. 1962. The origin of radar. Anchor Books, New York. Alınmıştır: Decareau, R. V., 1985. Microwaves in the food processing industry, Academic Pres, Florida.
- Pan, Z., Shih C., Mchugh, T.H. and Hirschberg, E. 2008.”Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying”. *LWT - Food Science and Technology* 41.1944-1951.
- Platts, J. 1991. Microwave Ovens, M.C Print, Londra, İngiltere
- Prabhanjan, D.G.; Ramaswamy, H.S. and Raghavan, G.S.V. 1995. Microwave assisted convective air-drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 25, 283–293.
- Pekmezci, M., Gubbuk, H. And Erkan, M. 1998. Investigations on growing possibilities of banana in Turkey. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 490, 599–603.
- Pereira, N., Marsaioli, A. and Ahrne, L. 2007. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, 81, 79–87.
- Pınar, H., Türkay, C. ve Canan, İ. 2007. Türkiye’de Muz Yetiştiriciliği, Sorunları ve Çözüm Önerileri , *Alatarım Dergisi* Cilt 6, Sayı 2, s.15-20.
- Regier, M. ve Schubert, H. 2001. Microwave processing in Thermal Technologies in Food Processing ed. Richardson, P., Woodhead Publishing, England.
- Reynolds, L. 1989. The History of the Microwave Oven, *Microwave World*, 10, 11–15.
- Roy MK., Takenaka, M., Isobe, S. and Tsushida, T. 2007. Antioxidant potential, antiproliferative activities, and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: Effects of thermal treatment. *Food chemistry*, 103, 106-114.
- Sacilik, K. and Elicin, A.K. 2006. “The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices”, *Journal of Food Engineering*, 73:281-289.
- Schadle, E., Burns, E.E. and Talley, L.J. 1983. Forced air drying of partially freeze-dried compressed carrot bars. *Journal of Food Science*, 48 (1), 193-196.
- Schiffmann, R. F. 2001. Microwave Processes for the Food _ndustry in Handbook of Microwave technology for Food Applications, ed. Datta, A. K., Anantheswaran, R. C., 299-335. Marcel Dekker Inc, New York.
- Schubert, H. and Reiger, M. 2005. The Microwave Processing of Foods, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington.

- Shivhare, U. S., Raghavan, G.S.V. and Bosiso, R. G. 1990. Microwave drying of seed – quality corn in packet bed using surface wave applicator (SWA). Paper – American Society of Agricultural Engineers No. 90 – 6057, 21 pp. (EN, 17 ref.) Department of Agricultural Engineering, Macdonald Collage, 21 111 Lakeshore Road, Ste Anne de Bellevue, Que H9X 1CO, Canada. P. 21.
- Shi, J., Maguer, M.L., Kakuda, Y., Liptay, A. and Niekamp, F. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32: 15-21.
- Singh, R.P. and Holdman, D.R. 2001. *Introduction to Food Engineering 2nd Edition* Academic Press, London.
- Singh, U., Jain, S.K., Doshi, A., Jain, K.H. and Chahar, K.V. 2008. Effects of Pretreatments on Drying Characteristics of Button Mushroom. *International Journal of Food Engineering*, The Berkeley Electronic Press. 4(4).
- Simal, S., Femenia., A. Carcel, J.A. and Rossello, C. 2005. Mathematical modelling of the drying curves of kiwi fruits: influence of the ripening stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 425-432.
- Sipahioğlu, O. and Barringer, S.A. 2003. Dielectric properties of vegetables and fruits as a function of temperature, ash and moisture content. *Journal of food Science* Vol.68,Nr.1,s 234-239.
- Souraki, A.B. and Mowla, D. 2008. Experimental and theoretical investigation of drying behaviour of garlic in an inert medium fluidized bed assisted by microwave, *Journal of Food Engineering* 88, 438–449
- Souflerosa, E.H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakisb, M., Mermelas, Boukouvalas, G. and Tsimitakisb, E. 2001. Instrumental analysis of volatile and other compounds of Grek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition, *Food Chemistry*, 75:487-500
- Soysal , Y. ve Öztekin, S., 2001. Technical and Economic Performance of a Tray Dryer for Medicinal and Aromatic Plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79 (1), 73-79
- Soysal, Y. 2004. “Microwave Drying Characteristics of Parsley”, *Biosystems Engineering*, 89:167-173.
- Sunjka, P.S. and Raghavan G.S.V. 2008. Microwave /vacuum Drying of Cranberries, *American Journal of Food Tech* 3., 100-108
- Şahin, F.H. 2010. Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Şen, E. 2010. Kuşburnu meyvesinin vakum ve mikrodalga tekniği ile kurutulması ve kuruma özelliklerinin belirlenmesi. Y.Lisans Tezi. GaziOsmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları anabilim Dalı ,Tokat.
- Şumnu, G., Turabi, E. and Öztop, M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens *LWT* 38 (2005) 549–553

- Taiwo, K.A. and Adeyemi, O. 2009. Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices. *Afr. J.Food Sci.*,3:307-315.
- Tavarini, S., Degl'Innocenti, Remorini, E., Massai, Dd. and Guidi, I. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food chemistry*, 107, 282-288.
- Teymur, N. 1999. Maydanoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tireki, S., Sumnu, G., Esin, A. 2006. Production of breadcrumbs by infrared-assisted microwave drying. *Eur Food Res Technol*, 222: 8-14.
- Traub, H., 2004. Drying-The Cinderella of the Process Industry, Drying 2004- Proceedings of the 14th International Drying Symposium, 22-25 August, Sao Paulo.
- Togrul, H. 2005. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering* 71, 311–323
- Togrul, I.T. and Pehlivan, D. 2003. Modeling of thin layer drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23–32
- Toraman, Ö.Y. ve Depçi, T. 2007. “Kömürde Mikroalga Uygulamaları” *Madencilik*, Cilt No 46, Sayı No 3, Sayfa No 43-53.
- Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V., van de Voort, F. And Girard, R. 1995. Dielectric properties of grapes and sugar solutions at 2.45 GHz. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 30(2), 117e123.
- Uslu, M.K. ve Certel, M. 2006. “Dielektrik Isıtma Ve Gıda İşlemede Kullanımı” *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt No 3, Sayfa No 61-69.
- Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. *Biosyst Eng*, 98, 1-16.
- Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M.M. and Bárbosa-Canovas, G.V. 2001. “Advances in Dehydration of Foods”, *Journal of Food Engineering*, 49:271-289.
- Venkatesh, M.S. and Raghavan, G.S.V. 2004. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. *Biosyst Eng*, 88 (1), 1-18.
- Walde, S.G., Balaswamy, K., Shivaswamy, R., Chakkaravarthi, A. And Rao, D.G. 1997. Microwave drying and grinding characteristics of gum karaya *Sterculia urens*. *Journal of Food Engineering*, 31, 305±313.
- Wang, J. ve Sheng, K. 2006. Far-Infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT* 39: 247-255.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E. J., Hansen, D., Hallman, G., Drake, S.R. and Wang, Y. 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments. *Biosyst Eng*, 85 (2), 201–212

- Wei, C.K., Davis, H. R. and Davis, E. A. 1985. Heat and mass transfer water-laden sand stone: microwave heating. American Institute of Chemical Engineers Journal, 31, 842-848.
- Won, K. H., Jonathan, C. and Kim, H.E. 2004. Hydroxyapatite and gelatin composite foams processed via novel freeze-drying and crosslinking for use as temporary hard tissue scaffolds. J Biomed Mater Res; 72:136-45
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa, A. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. Journal of Food Engineering, 83: 422-429.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği (I. Basım), Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No. 536, 348 s. Bornova- İzmir.
- Yağcıoğlu, A. 1986. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Yayınlanmış Yüksek Lisans Notları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, İzmir
- Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I. 2001,.Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy - An International Journal, 26, 457-465.
- Yurdagel, Ü., Baysal, T. ve Hepçimen, A.Z. 1994. Gıda İşlemede Mikrodalga Enerji, II.Gıda Mühendisliği Kongresi, Gaziantep, 21-23 Eylül, s.294, TMMOB, Kimya Mühendisliği Odası.
- Yongsawatdigul, J. and Gunasekaran, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I.energy use and efficiency. Journal of Food Processing and Preservation, 20,121-143.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S. and Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 17, 634-641
- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T.H. and Hirschberg, E. 2007. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. LWT - Food Science and Technology 41 (2008) 1944-1951
- Zhu, Y., Pan, Z. and McHugh, T.H. 2007. Effect of dipping treatments on color stabilization and texture of apple cubes. Journal of Food Processing and Preservation, 31, 632-648.

EKLER

EK 1 Muz örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları

EK 2 Kivi örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları

EK 1 Muz örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları

Çizelge 1 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre nem içeriğinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,002260	0,002260	0,000753	1,95	0,223
NEM İÇERİĞİ	2	0,067024	0,067024	0,033512	86,59	0,000*
Error	6	0,002322	0,002322	0,000387		
Total	11	0,071607				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
180 W	3	0,2	A
270 W	3	0,2	A
360 W	3	0,2	A
MW-IR	3	0,2	A
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	4	0,3	A
%30	4	0,2	B
%20	4	0,1	C

Çizelge 2 Muzların nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre kurutma hızının Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	3,1053	3,1053	1,0351	21,18	0,001*
NEM İÇERİĞİ	2	3,1941	3,1941	1,5970	32,68	0,001*
Error	6	0,2932	0,2932	0,0489		
Total	11	6,5926				

Tukey Simultaneous Tests

<u>İŞLEM</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
360 W	3	2,2	A
270 W	3	2,0	A
MW-IR	3	1,2	B
180 W	3	0,9	B

<u>NEM İÇERİĞİ</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
%40	4	2,3	A
%30	4	1,5	B
%20	4	1,0	B

Çizelge 3 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre işlem süresinin (önışlem dahil) değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	5	Kontrol, 180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
NEM İÇERİĞİ	2	35659	35659	17829	371305,28	0,000*
İŞLEM	4	137112	137112	34278	713854,20	0,000*
Error	8	0	0	0		
Total	14	172772				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
KONTROL	3	480,0	A
180 W	3	181,3	B
MW-IR	3	181,2	B C
360 W	3	180,8	B C
270 W	3	180,7	C

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%20	5	288,4	A
%30	5	228,9	B
%40	5	169,0	C

Çizelge 4 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre işlem süresinin (önışlem hariç) değışiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
NEM İÇERİĞİ	2	1,15182	1,15182	0,57591	22,47	0,002*
İŞLEM	3	0,92277	0,92277	0,30759	12,00	0,006*
Error	6	0,15378	0,15378	0,02563		
Total	11	2,22837				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
180 W	3	1,3	A
MW-IR	3	1,2	AB
360 W	3	0,8	B C
270 W	3	0,7	C

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	5	1,3	A
%30	5	1,1	A
%20	5	0,6	B

Çizelge 5 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre L değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	46,927	46,927	15,642	17,27	0,002*
NEM İÇERİĞİ	2	3,635	3,635	1,818	2,01	0,215
Error	6	5,434	5,434	0,906		
Total	11	55,996				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	44,3	A
270 W	3	39,9	B
180 W	3	39,9	B
360 W	3	39,4	B

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	4	41,6	A
%20	4	40,5	A
%30	4	40,5	A

Çizelge 6 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre a değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,31549	0,31549	0,10516	1,23	0,378
NEM İÇERİĞİ	2	2,06512	2,06512	1,03256	12,06	0,008*
Error	6	0,51388	0,51388	0,08565		
Total	11	2,89449				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
180 W	3	7,7	A
MW-IR	3	7,4	A
360 W	3	7,4	A
270 W	3	7,3	A

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%30	4	8,0	A
%20	4	7,2	B
%40	4	7,2	B

Çizelge 7 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre b değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	17,0075	17,0075	5,6692	16,00	0,003*
NEM İÇERİĞİ	2	5,3009	5,3009	2,6504	7,48	0,023*
Error	6	2,1265	2,1265	0,3544		
Total	11	24,4349				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	18,6	A
180 W	3	16,0	B
360 W	3	15,8	B
270 W	3	15,7	B

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%30	4	17,0	A
%40	4	16,9	A
%20	4	15,6	B

Çizelge 8 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre dielektrik sabiti değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,60230	0,60230	0,20077	9,39	0,011*
NEM İÇERİĞİ	2	1,11982	1,11982	0,55991	26,19	0,001*
Error	6	0,12825	0,12825	0,02137		
Total	11	1,85037				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
180 W	3	3,3	A
270 W	3	3,1	A B
360 W	3	2,9	B C
MW-IR	3	2,7	C

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%20	4	3,4	A
%30	4	2,8	B
%40	4	2,8	B

Çizelge 9 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre kayıp faktörü değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,0164917	0,0164917	0,0054972	20,83	0,001*
NEM İÇERİĞİ	2	0,0091500	0,0091500	0,0045750	17,34	0,003*
Error	6	0,0015833	0,0015833	0,0002639		
Total	11	0,0272250				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
180 W	3	0,2	A
270 W	3	0,2	B
360 W	3	0,1	BC
MW-IR	3	0,1	C

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%20	4	0,2	A
%30	4	0,2	A
%40	4	0,1	B

Çizelge 10 Muzların ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre nüfuz derinliği değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	180 W, 270 W, 360 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%20 ,%30 ,%40

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	1,08580	1,08580	0,36193	5,64	0,035*
NEM İÇERİĞİ	2	0,87852	0,87852	0,43926	6,85	0,028*
Error	6	0,38497	0,38497	0,06416		
Total	11	2,34929				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	1,3	A
360 W	3	0,9	A B
270 W	3	0,7	A B
180 W	3	0,4	B

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	4	1,2	A
%30	4	0,7	B
%20	4	0,6	B

EK 2 Kivi örneklerine ait istatistiksel analiz tabloları

Çizelge 1 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre nem içeriğinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
NEM İÇERİĞİ	2	0,116847	0,116847	0,058424	57,21	0,000*
İŞLEM	3	0,001514	0,001514	0,000505	0,49	0,699
Error	6	0,006128	0,006128	0,001021		
Total	11	0,124489				

Tukey Simultaneous Tests

<u>İŞLEM</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
MW-IR	3	0,4	A
420 W	3	0,4	A
490 W	3	0,4	A
350 W	3	0,4	A
<u>NEM İÇERİĞİ</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
%50	4	0,5	A
%40	4	0,4	B
%30	4	0,3	C

Çizelge 2 Kivilerin nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre kurutma hızının Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
NEM İÇERİĞİ	2	1,87164	1,87164	0,93582	57,35	0,000*
İŞLEM	3	0,02443	0,02443	0,00814	0,50	0,696
Error	6	0,09790	0,09790	0,01632		
Total	11	1,99398				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	1,6	A
420 W	3	1,6	A
490 W	3	1,5	A
350 W	3	1,5	A
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%50	4	2,1	A
%40	4	1,4	B
%30	4	1,1	C

Çizelge 3 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre işlem süresinin (ön kurutma süresi dahil) değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	5	Kontrol, 350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	4	106683	106683	26671	3560,05	0,000*
NEM İÇERİĞİ	2	36848	36848	18424	2459,28	0,000*
Error	8	60	60	7		
Total	14	143591				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
KONTROL	3	423,3	A
420 W	3	212,8	B
490 W	3	212,7	B
350 W	3	212,5	B
MW-IR	3	212,0	B
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%30	5	315,7	A
%40	5	254,0	B
%50	5	194,3	C

Çizelge 4 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre işlem süresinin (ön kurutma süresi hariç) değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	1,12500	1,12500	0,37500	6,00	0,031*
NEM İÇERİĞİ	2	1,12500	1,12500	0,56250	9,00	0,016*
Error	6	0,37500	0,37500	0,06250		
Total	11	2,62500				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
490 W	3	2,8	A
420 W	3	2,8	A
350 W	3	2,5	A B
MW-IR	3	2,0	B
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%50	4	2,9	A
%40	4	2,5	A B
%30	4	2,1	B

Çizelge 5 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre L değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	33,579	33,579	11,193	2,99	0,118
NEM İÇERİĞİ	2	71,255	71,255	35,628	9,51	0,014*
Error	6	22,481	22,481	3,747		
Total	11	127,315				

Tukey Simultaneous Tests

<u>İŞLEM</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
420 W	3	52,4	A
MW-IR	3	51,2	A
350 W	3	49,3	A
490 W	3	48,0	A
<u>NEM İÇERİĞİ</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
%30	4	53,5	A
%40	4	49,6	A B
%50	4	47,6	B

Çizelge 6 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre a değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,5173	0,5173	0,1724	0,37	0,776
NEM İÇERİĞİ	2	11,2374	11,2374	5,6187	12,13	0,008*
Error	6	2,7787	2,7787	0,4631		
Total	11	14,5334				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	4,3	A
350 W	3	4,1	A
490 W	3	4,0	A
420 W	3	3,7	A
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	4	4,8	A
%50	4	4,7	A
%30	4	2,7	B

Çizelge 7 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre b değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	9,5104	9,5104	3,1701	8,72	0,013*
NEM İÇERİĞİ	2	0,3426	0,3426	0,1713	0,47	0,645
Error	6	2,1801	2,1801	0,3634		
Total	11	12,0332				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
420 W	3	21,7	A
350 W	3	21,6	A
MW-IR	3	20,1	A B
490 W	3	19,7	B

NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%40	4	20,9	A
%30	4	20,9	A
%50	4	20,5	A

Çizelge 8 Kivi örneklerinin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre dielektrik sabiti değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,46137	0,46137	0,15379	40,86	0,000*
NEM İÇERİĞİ	2	1,29362	1,29362	0,64681	171,8	0,000*
Error	6	0,02258	0,02258	0,00376		
Total	11	1,77757				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
350 W	3	4,2	A
420 W	3	4,1	A
490 W	3	3,8	B
MW-IR	3	3,8	B
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%50	4	4,4	A
%40	4	3,8	B
%30	4	3,7	C

Çizelge 9 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre kayıp faktörü değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,004110	0,004110	0,001370	2,10	0,202
NEM İÇERİĞİ	2	0,107642	0,107642	0,053821	82,33	0,000*
Error	6	0,003922	0,003922	0,000654		
Total	11	0,115675				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
350 W	3	0,4	A
420 W	3	0,3	A
490 W	3	0,3	A
MW-IR	3	0,3	A
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%50	4	0,5	A
%40	4	0,3	B
%30	4	0,2	B

Çizelge 10 Kivilerin ilk nem içeriği ve uygulanan işlemlere göre nüfuz derinliği değerinin değişiminin Two way ANOVA istatistik yöntemi ve Tukey testi kıyaslanması verileri

Factor	Type	Levels	Values
İŞLEM	fixed	4	350 W, 420 W, 490 W, MW-IR
NEM İÇERİĞİ	fixed	3	%30 ,%40 ,%50

ANOVA Results

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
İŞLEM	3	0,0033292	0,0033292	0,0011097	10,29	0,009*
NEM İÇERİĞİ	2	0,0112075	0,0112075	0,0056038	51,95	0,000*
Error	6	0,0006472	0,0006472	0,0001079		
Total	11	0,0151839				

Tukey Simultaneous Tests

İŞLEM	N	Mean	Grouping
MW-IR	3	0,1	A
490 W	3	0,1	A
420 W	3	0,1	A B
350 W	3	0,1	B
NEM İÇERİĞİ	N	Mean	Grouping
%30	4	0,1	A
%40	4	0,1	A
%50	4	0,1	B

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevgi ÖZTÜRK

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 14.06.1983

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu Kurum ve Yıl:

Lise :Bahçelievler Deneme Lisesi (2000)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü (2005)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı (Şubat 2011-
Ocak 2014)

Çalıştığı Kurum ve Yılı :

Aytaç Dış Yat. San. AŞ. (08.2005-06.2007)

Selka Gıda ve Kimyevi Maddeler San Ve Tic Ltd Şti (08.2007-04.2008)

Udem Uluslar Arası Belgelendirme (09.2008-07.2009)

Simit Sarayı (07.2009-09.2009)

Adese AVM. (10.2009- 01.2013)