



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MİKRODALGA VE OZMOTİK KURUTMA YÖNTEMİ İLE
KURUTULAN LİMON DİLİMLERİNİN KURUTMA
KOŞULLARININ İNCELENMESİ

SÜLEYMAN REYHAN

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MİKRODALGA VE OZMOTİK YÖNTEM İLE KURUTULAN LİMON
DİLİMLERİNİN KURUTMA KOŞULARININ İNCELENMESİ

SÜLEYMAN REYHAN

Danışman: Prof. Dr. ZEHRA YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Zehra YILDIZ
(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Funda KAHRAMAN

Üye: Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/.... /2023 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
.../.../2023

Doç. Dr. Ayşe ERGİN ÜNAL
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. / / 2023

Süleyman REYHAN

ÖZET

MİKRODALGA VE OZMOTİK KURUTMA YÖNTEMİ İLE KURUTULAN LİMON DİLİMLERİNİN KURUTMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ

SÜLEYMAN REYHAN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. ZEHRA YILDIZ

Aralık 2023, 86 sayfa

Mikrodalgaların elektromanyetik dalgalar ile suyu ısıtma etkisinin fark edilmesiyle birçok araştırmacı ısıtma ve kurutma konusunda mikrodalganın etkinliklerini ve kullanılabilirliğini araştırılmaya başlamıştır. Mikrodalga ile kurutmada, ısı gıdanın içine doğrudan nüfuz ettiği ve içten dışa doğru ısı transferi gerçekleştirdiği için kurutma işlemi diğer kurutma yöntemlerinden daha hızlı meydana gelir ve süreden tasarruf edilmiş olur. Ozmotik kurutma yöntemi ise birçok kurutma yöntemine göre enerjiye daha az ihtiyaç duyan ve ön işlem olarak etkili bir yöntemdir. Bu çalışmada limon dilimleri mikrodalga, ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga ile ozmotik dehidrasyonun birlikte olmak üzere üç farklı kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Bu çalışmada, dilim kalınlığı, çözelti derişimi, ozmotik dehidrasyon süresi, mikrodalga güç seviyesi ve mikrodalga kuruma süresi gibi değişkenlerin nem kaybı, kurutma hızı, çapsal büzülme oranı ve renk değişim parametreleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Ayrıca ozmotik dehidrasyon ön işleminin mikrodalga kurutma işlemine etkisi incelenmiştir. Mikrodalga ile ozmotik dehidrasyon birlikte kurutma koşulları Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile optimize edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile tasarlanan deneme setlerinin sonucunda en yüksek uyumun sağlandığı model kuadratik model olup R^2 değerleri nem kaybı için 0,9853, büzülme oranı için 0,9861, b renk değişimi için 0,9770 olarak belirlenmiştir. Optimum kurutma koşulları ise Ozmotik dehidrasyon süresi için 120dk, çözelti derişimi için %15, mikrodalga kurutma süresi için 4dk, mikrodalga kurutma gücü için 200W olarak belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon ön işlem olarak kullanıldığında ürünün kalitesinin artırdığı ve kurutma süresini düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga ile ozmotik dehidrasyon kurutma işlemlerinde kütle transfer katsayıları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrodalga kurutma, Ozmotik dehidrasyon, Limon, RSM.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DRYING CONDITIONS OF LEMON SLICES DRIED BY MICROWAVE ASSISTED OSMOTIC DRYING METHOD

SÜLEYMAN REYHAN

Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. ZEHRA YILDIZ

December 2023, 86 pages

With the realization of the effect of microwaves on water heating with electromagnetic waves, many researchers have begun to investigate the effectiveness and usability of microwaves in heating and drying. Since the heat in microwave drying directly penetrates into the food and transfers heat from the inside to the outside, the drying process takes place faster than other drying methods and saves time. The osmotic drying method, on the other hand, requires less energy than many drying methods and is an effective pretreatment method. In this study, lemon slices were dried by microwave assisted osmotic drying method and the slices were dried in a microwave oven by subjecting them to osmotic dehydration. In this study, the effects of variables such as slice thickness, solution concentration, osmotic dehydration time, microwave power level and microwave drying time on moisture loss, drying rate, diametrical shrinkage rate and color change parameters were determined. In addition, the effect of osmotic dehydration pretreatment on microwave drying was investigated. Optimum conditions are provided by optimizing the specified variables and parameters with the Response Surface Method (RSM). As a result of the trial sets designed with the response surface method, the model with the highest compatibility was the square model and the R^2 values were determined as 0.9853 for moisture loss, 0.9861 for shrinkage ratio, and 0.9770 for b color change. Optimum drying conditions were determined as 120 minutes for osmotic dehydration time, 15% for solution concentration, 4 minutes for microwave drying time and 200W for microwave drying power. It has been determined that when osmotic dehydration is used as a pretreatment, it increases the product quality and shortens the drying time.

Keywords: Microwave drying, Osmotic dehydration, Lemon, RSM.

ÖNSÖZ

Tarsus Üniversitesi bünyesinde yüksek lisans tezi olarak hazırlayıp sunmuş olduğum bu çalışma (Proje No: MF.21.007) Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) birimi tarafından finansal açıdan desteklenmiştir. Yapılan finansal katkılardan dolayı BAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmanın ortaya çıkmasında, oluşturulmasında ve tamamlanmasında beni destekleyen ve cesaretlendiren, azmimi kuvvetlendiren ve her daim tecrübe, bilgi ve birikimleri ile yoluma ışık tutan çok kıymetli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Zehra YILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Araştırmalarımaya yürekten verdikleri destekten ve her zaman her koşulda yanımda olduklarını hissettiren, çalışma azmim ve gayretimın kaynağı olan sevgili ve saygıdeğer annem Aysel REYHAN ve babam Vecih REYHAN'a tüm saygım ve sevgimle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1

BÖLÜM I

KURUTMA

1.1. Kurutma Mekanizması	4
1.2. Kurutma Yöntemleri	6
1.2.1. Doğal Kurutma	6
1.2.2. Teknik Kurutma	6
1.3. Kurutma Yöntem Seçimi.....	7
1.4. Isı Transferine Göre Kurutucu Çeşitleri	7
1.4.1. Konveksiyon Kurutucular	8
1.4.2. Kondüksiyon Kurutucular	9
1.4.3. Radyant Kurutucular	9
1.5. Kurutucu Seçimi.....	10

BÖLÜM II

MİKRODALGA

2.1. Mikrodalga Enerjisi.....	12
2.2. Gıda Sektöründeki Kullanım Alanları.....	12
2.2.1. Ön Isıtma ve Pişirme.....	13
2.2.2. Temperleme.....	13
2.2.3. Pastörizasyon ve Sterilizasyon	14

2.2.4. Mikrodalga İle Kurutma	14
2.2.4.1. Mikrodalga İle Kurutmanın Temel İlkeleri.....	15
2.2.4.2. Mikrodalga Kurutmanın Avantajları Ve Dezavantajları.....	16
2.2.4.3. Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga ile Yapılan Kurutma Çalışmaları	17
2.2.4.4. Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga Destekli Kurutma Çalışmaları	19

BÖLÜM III

OZMOTİK KURUTMA

3.1. Ozmotik Dehidrasyon Mekanizması.....	24
3.2. Ozmotik Dehidrasyonda Kütle Transfer Hızını Etkileyen Faktörler	26
3.2.1. Ozmotik Dehidrasyon İşleminin Sıcaklığı	26
3.2.2. Ozmotik Dehidrasyon Öncesi İşlemlerin Etkisi	26
3.2.3. Ozmotik Dehidrasyon Süresi	26
3.2.4. Ürünün Geometrik Şekli ve Boyutu.....	27
3.2.5. Çözelti/Hammadde Oranı	27
3.3. Ozmotik Dehidrasyonun Avantaj ve Dezavantajları.....	27
3.4. Mikrodalga Destekli Ozmotik Dehidrasyon	28

BÖLÜM IV

MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal.....	30
4.1.1. Kurutulacak Ürün.....	30
4.1.2. Mikrodalga.....	30
4.1.3. Kullanılan Ölçü Aletleri	31
4.2. Metot	32
4.2.1. Deneysel Yöntem.....	32

BÖLÜM V

BULGULAR

5.1. Ozmotik Dehidrasyon.....	35
5.2. Mikrodalga Kurutma	38
5.3. Mikrodalga ve Ozmotik Dehidrasyon Birlikte Kurutma.....	43
5.4. Kütle Transferi.....	47
5.4.1. Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi.....	47
5.5. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Analizi.....	51

SONUÇLAR.....	65
KAYNAKÇA.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	75



KISALTMALAR

a^* : Kırmızı- Yeşil arasında renk değeri

b^* : Sarı- Mavi arasında renk değeri

ΔL : Toplam Renk Farkı

L^* : Aydınlik

MD: Mikrodalga

OD: Ozmotik Dehidrasyon

R^2 : Regresyon Katsayısı

RSM: Yanıt Yüzey Metodolojisi

Y_{BO} : Büzülme Oranı Yanıtı

Y_{NK} : Nem Kaybı Yanıtı

Y_{RD} : Renk Değişimi Yanıtı

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1. Ozmotik dehidrasyon kurutmaya ait renk parametreleri	37
Tablo5.2. Mikrodalga Kurutma uygulanan limon dilimlerinin renk parametreleri.....	41
Tablo 5.3. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutulan limon dilimlerinin renk parametreleri	44
Tablo 5.4. MD. kurutma ile kurutulmuş limon dilimlerinin D_{eff} ve E_a değerleri	50
Tablo 5.5. OD. Ve MD ile birlikte kurutulmuş limon dilimlerinin D_{eff} ve E_a değerleri.....	51
Tablo 5.6. Değişkenlerin gerçek ve kod değerleri	52
Tablo 5.7. Box-Behnken deney koşulları ve alınan yanıtlar	54
Tablo 5.8. YYM için regresyon parametrelerinin ANOVA değeri	55
Tablo 5.9. Yanıt modelleri için ANOVA	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Mikrodalga Fırın	30
Şekil 4.2. Hassas Terazî	31
Şekil 4.3. Kumpas	31
Şekil 4.4. Renk Ölçüm Cihazı	32
Şekil 5.1. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi ile nem kaybı değişimi	36
Şekil 5.2. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi boyunca çapsal büzülme oranı değişimi	37
Şekil 5.3. Mikrodalga kurutmada nem kaybı değişimi	39
Şekil 5.4. Mikrodalga kurutmada çapsal büzülme oranı değişimi	40
Şekil 5.5. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma işleminde nem kaybı değişimi	42
Şekil 5.6. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutmada büzülme oranı değişimi	43
Şekil 5.7. Bağımsız değişkenlerin her birinin nem kaybı üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği	61
Şekil 5.8. Bağımsız değişkenlerin her birinin çapsal büzülme oranı üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği	62
Şekil 5.9. Bağımsız değişkenlerin her birinin renk değişimi üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği	63

GİRİŞ

Tarım sektörü, bir ülkenin ekonomik ilerleme sürecinde stratejik bir fonksiyon üstlenir. Gelişmiş ülkeler için ekonomik refahın sağlanmasında büyük rol oynarken, gelişmekte olan ülkeler için ekonomik gelişimin ayrıcalıklı bir yeri bulunmaktadır. Tarımın kalkınma bağlamındaki potansiyel rolü, tarım temelli ekonomilere yönelik olarak yoksulluğun azaltılmasına ve büyümenin desteklenmesine yöneliktir. Yetiştirilen birçok ürün arasında, narenciye üretimi de özel bir önem taşımaktadır. Üretilen malların dış satımın yanı sıra üretimin olduğu kesim için maddi kazançlar elde etmelerine olanak tanır. En fazla narenciye ihracatı gerçekleştiren iller analiz edildiğinde, Mersin ili ilk sırada kendisine yer bulmaktadır (Ege ve Caba,2018:2-3).

Meyve ve sebze üretiminde başta gelen Mersin meyve üretiminde ülkemizin genel üretim payının %10 unu oluşturmakta olup bu meyve üretiminin %25 payını da narenciye oluşturmaktadır. Mersin elde ettiği hasılatın ortalama %23-25 kadarını tarımdan elde etmektedir (Tarım Ürünleri Piyasa Raporu,2021:1-6).

Tarımsal gıda maddelerinin yetiştirilmesi kadar gıda maddelerinin verimli ve vaktinde tüketilmesi de önem arz eder. Özellikle mevsimlik meyve ve sebzeler bozulmadan yani deformasyona uğramadan tüketilmeli veya uygun koşullarda depolanmalıdır. Türkiye tarım ülkelerinin çoğunda olduğu gibi mevsimlik yaş sebze ve meyvelerin işlenmesindeki yetersizdir. Bu yetersizlik sebebi ile büyük ekonomik kayıplar yaşanmakta olup mevsimlik taze sebze ve meyvelerin yaklaşık %33-38'inin bozularak çöpe atıldığı bildirilmektedir (Karim ve Hawlader, 2005:1914-1925). Bu kayıpların önüne geçmek ve gıda maddelerinin ömrünü uzatabilmek için birçok farklı gıda işleme prosesleri üzerine çalışılmış ve geliştirilmiştir. Gıda maddelerinin dayanıklılığını artırabilmek için şoklama, dondurarak koruma, konserve yapıp depolama, kimyasal arıtma ve kurutma yöntemleri gibi işlemler uygulanmaktadır. Kurutma, gıda maddelerinin dayanıklılığını artırabilmek ve daha sonra kullanılabilmesi amacı ile ömrünü uzatıp saklamak gibi durumlar için kullanılan en eski yöntemlerdendir (Doymaz,1998:1-3).

Kuru ve kurutulacak meyveler dünya pazarında da oldukça önemlidir. Mevcut pazarın korunması ve yeni pazarların elde edilebilmesi için kurutma sektörünün kaliteli,

homojen ve hijyenik koşullarda geliştirilmesi önemli ve öncelikli bir durumdur. Geleneksel kurutma yöntemlerinde kurutma kontrolsüz olup yüksek enerji ihtiyacı duymakta ve kapladığı hacimde fazla olmaktadır. Geleneksel kurutma yöntemlerinin kısıtlamaları ve teknolojinin gelişimi, kurutma işlemlerinin geniş uygulama alanlarını sürekli olarak iyileştirilebilir ve düzenlenebilir kılmıştır. Bu durum, uzun yıllardır bilim insanların dikkatini çekmiş ve hala çekmeye devam etmektedir. Yapılan çalışmaların odak noktaları genellikle verimlilik, maliyet ve kalite gibi temel alanlara yönelmiştir.



BÖLÜM I

KURUTMA

Kurutma ısıt yöntemlerle bir maddeden suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Bu işlemin amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırmak, ürünlerde oluşabilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimini durdurmak ve ürünün nemini çoğalamayacak ölçüde azaltmak, gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmasını sağlamaktır (Güngör,2013:43-63).

Yüksek oranda nem içeren taze meyve ve sebzeler, mikrobiyal bozulma ve zararlı enzim reaksiyonlarına karşı hassastır, bu da ürünlerin raf ömrünü azaltır. Kurutma işlemi, mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyebilme özelliğinden dolayı ve aynı zamanda nem aracılı bozunma reaksiyonlarını en aza indirgeyerek taze meyve ve sebzelerin kalitesini ve dayanıklılığını muhafaza etmek için uygun ve yaygın bir hasat sonrası teknolojisidir. Bununla birlikte, kurutma işlemi sayesinde ürünlerin su aktivitesi ve mikrobiyal aktivitesi azaltılabilir, böylece paketlenme, depolama ve nakliye maliyetleri düşürülebilir; ayrıca depolama sürecinde ürünlerdeki fiziksel ve kimyasal değişiklikler en aza indirilebilir (Kovacı vd.,2018).

Kurutulmuş meyve ve sebzeler aynı zamanda besin öğelerinin kaybına uğrarlar ve kurutma işlemi sırasında sürekli değişen koşullar, en uygun çalışma değerlerini belirlemeyi ve işlem süresini tespit etmeyi zorlaştırır. Ürün kalitesinin yüksek olması, zaman ve enerjiden tasarruf bu endüstrisinden elde edilebilecek üç temel avantajdır. Yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle, günümüzde kurutma işlemi sırasında sıcaklık, ağırlık, güç, koku vb. gibi daha fazla parametre izlenebilir ve kontrol edilebilir hale gelmiştir. Araştırmacılar, çeşitli tarım ürünleri için optimum koşullarda kurutma yapabilmek adına farklı kurutma teknikleri veya bunların kombinasyonlarını kullanarak kurutma süresini, enerji tüketimini ve ürün kalitesini incelemişlerdir (Aktaş vd.,2017).

Kurutma işlemi, gıda ürünlerinin kurutulmasının ötesinde birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılan geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesine sahiptir. Deri ve tekstil ürünlerinin yanı sıra tarım ürünlerinin depolanasında, orman ürünlerinin niteliklerinin ve işlenebilir özelliklerinin geliştirilmesinde, kimyasal içerikli ürünlerin su aktivitesinin azaltılmasında, silah endüstrisinde barutun kurutulmasında ve daha pek çok alanda etkin bir biçimde kullanılmaktadır. (Ceylan,2002).

1.1.Kurutma Mekanizması

Bir katı ürünün kurutulması esnasında aynı anda iki işlem gerçekleşir. Bu işlemler sıvıyı buharlaştırmak için kurutulan maddeye ısı aktarma işlemi ve sıvı-buhar geçişi olarak gerçekleşen nem aktarma işlemidir.

Kurutma mekanizmasında kütle transferi, maddelerin yüzeyinden su buharının ayrılması veya buharın maddenin yüzeyine emilmesi gibi suyun madde ve çevresi arasındaki hareketini ifade eder. Bu, ıslak bir malzemenin kurutulma işlemi sırasında suyun havaya veya diğer gaz fazlarına geçişini içerir. Kurutma sırasında gerçekleşen bu su buharının hareketi, sıcaklık, nem ve basınç farklarına bağlı olarak meydana gelir. Bu süreç, suyun malzeme yüzeyinden buharlaşarak gaz fazına geçmesini veya tersi olarak buharın gaz fazından malzeme yüzeyine yoğunlaşmasını içerebilir. Kurutma mekanizmasında, malzemenin yüzeyindeki su molekülleri daha yüksek enerji seviyelerine ulaştıkça buharlaşır ve su buharı oluşur. Bu buhar daha sonra malzemenin yüzeyinden uzaklaşarak atmosferde yoğunlaşır veya dağılır. Bu kütle transferi, kurutma işleminin etkili bir şekilde gerçekleşmesi için önemlidir. Kurutma sürecinin hızı ve etkinliği, malzemenin yüzey sıcaklığı, havanın nem oranı, basınç ve hava akış hızı gibi faktörlere bağlıdır. Isıtma, hava sirkülasyonu ve uygun koşulların sağlanması, kurutma mekanizmasında suyun kütle transferini destekler ve kurutma sürecini hızlandırır (Nasıroğlu,2007).

Kurutma işlemlerinde ürünlere verilen ısı aşağıdaki yöntemler ile sağlanır:

Kondüksiyon (İletim): Kurutulacak ürün ısı üreten ısı kaynağı ile temas ettirilerek ürün indirgenir ve nemin buharlaşması için gereken ısı kurutulacak ürüne aktarılmış olur. Kondüksiyon, farklı maddeler arasında veya aynı madde içindeki farklı bölgeler arasında ısı enerjisinin iletimi veya transferi olarak tanımlanan bir ısı aktarım mekanizmasıdır. Isı, moleküllerin veya atomların kinetik enerjilerinin hareketi yoluyla bir noktadan diğerine taşınır. Bu mekanizma, doğrudan temas veya benzer yapıya sahip malzemeler arasında meydana gelir. Örnek olarak, bir metal çubuğun bir ucuna ısı uygulandığında, çubuğun diğer ucundaki bölge de zaman içinde ısınır çünkü moleküller arası etkileşim nedeniyle ısı enerjisi iletilir. Kondüksiyon, ısı transferinin mikroskobik düzeyde moleküler etkileşimlerle gerçekleştiği bir mekanizmadır ve katı, sıvı ve gaz

gibi çeşitli maddelerde görülebilir. Isı iletkenliği olarak da adlandırılan bu mekanizma, maddenin özelliklerine, sıcaklık farkına ve malzeme arasındaki temas yüzeyine bağlı olarak değişebilir (Nasıroğlu,2007).

Konveksiyon (Taşınım): Kurutulacak ürün ile ısı kaynağı arasında bir akışkanda bulunan akımlar yardımıyla ısı transferi gerçekleşir ve gereken ısı ürüne aktarılmış olur. Taşınım, ısının sıvı veya gaz gibi akışkan maddelerin hareketi ile transfer edildiği bir ısı aktarım mekanizmasıdır. Bu mekanizma, akışkan maddenin sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk farkları nedeniyle meydana gelir. Daha sıcak bölgelerdeki akışkan madde genellikle genişler, yoğunluğu azalır ve yukarı yönde hareket ederken, daha soğuk bölgelerdeki akışkan madde daha yoğun hale gelir ve aşağı yönde hareket eder. Örneğin, bir tenceredeki su ısıtıldığında, altındaki ısınan su yüzeyden yukarı doğru hareket eder ve daha soğuk su altına doğru iner. Bu hareket sonucunda ısı enerjisi, sıcak suyun yükselmesi ve soğuk suyun inmesi ile transfer edilir. Aynı prensip, atmosferdeki hava hareketleri ve okyanus akıntıları gibi doğal olaylarda da görülür. Taşınım mekanizması, sıvılar ve gazlar arasında ısı transferi sağlarken, katı maddelerde direkt temas yoluyla gerçekleşen kondüksiyon ve elektromanyetik radyasyon gibi diğer ısı transfer yöntemleriyle birlikte etkili bir rol oynar (Nasıroğlu,2007).

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak üründen nemi uzaklaştırmak için gereken ısı infraruj ışın kaynağından elektromanyetik dalgalar şeklindeki yayılım ile sağlanır ve kurutma gerçekleşir. Radyasyon, enerjinin elektromanyetik dalga veya parçacık biçiminde yayılarak transfer edilmesi durumunu ifade eder. Bu enerji, ısı ve elektromanyetik spektrumun çeşitli bölgelerinde bulunan fotonlar gibi enerji taşıyıcıları aracılığıyla iletilir. Radyasyon, genellikle boşlukta veya herhangi bir ortamda maddenin varlığına ihtiyaç duymadan yayılabilir. Elektromanyetik spektrum, farklı frekansta ve enerjideki elektromanyetik dalgaların sıralandığı bir yelpazeyi içerir. Bu spektrum, radyo dalgalarından mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole, X-ışınları ve gama ışınlarına kadar uzanır. Radyasyon, kaynaktan çıkan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar aracılığıyla enerji transferini sağlar. Günlük yaşamda, güneşten gelen ışık ve sıcaklık, elektromanyetik radyasyonun örneklerindendir. Mikrodalga fırınlar da mikrodalga radyasyonu kullanarak yiyeceklere enerji transferi sağlar. Tıp alanında ise X-ışınları ve gama ışınları gibi radyasyon türleri görüntüleme veya tedavi amaçlarıyla

kullanılır. Radyasyon, ısı transferi mekanizmalarından biridir ve enerji transferini, fiziksel temas veya akışkanlığa ihtiyaç duymadan gerçekleştirir (Nasıroğlu,2007).

1.2.Kurutma Yöntemleri

1.2.1 Doğal Kurutma

Doğal kurutma yöntemleri iki grupta incelenmekte olup bunlar; güneşte kurutma ve gölgede kurutma yöntemleri olarak incelenmektedir.

Güneşte Kurutma Yöntemi: Açık havada herhangi başka bir kaynağa gerek olmayan, maliyeti düşük ve işçilik ihtiyacı optimum düzeyde olan önemli avantajlara sahip bir yöntemdir. Ancak kuruma süresi uzundur, serilerek kurumaya bırakılan ürünler hava koşullarından etkilenir, geniş kurutma alanları toz, toprak, böcek, kuş ve kemirgen gibi çeşitli kirleticilerin etkisi altındadır, küflenme riski yüksektir. Büyük kalite kayıplarının oluşması, açık havada zararlı olabilecek çeşitli gazlı emisyonların ürüne nüfuz edebilme olasılığının yüksek olması ve tarım arazilerinin bu yöntemde kullanılması süreç tamamlanana kadar tarımsal üretime sınırlayıcı etki yaratmak gibi dezavantajları da vardır (Özbay Doğu ve Sarıçoban,2015:109-123; Liu vd.,2019:2446-2457; Turan ve İslam,2019:1766-1772; Alibaş vd.,2021:897-908).

Gölgede Kurutma Yöntemi: Bu yöntem genel olarak aromatik tıbbi bitkileri ve baharatları kurutma için kullanılır. Diğer yöntemdeki gibi süreç tamamlanana kadar ek bir enerjiye ihtiyaç duyulmaması önemli bir avantajdır. Öte yandan kuruma süresinin uzun olması, besin içeriğinde ciddi kayıpların oluşması, ürünlerin sinek ve haşere gibi böcekler tarafından istila edilebilir olması, kapalı ortamlarda nem kontrolünün zorluğundan küf mantarının oluşabilmesi gibi dezavantajlar gölgede ve güneşte kurutma yöntemlerine talebin azalmasına ve bu yöntemler yerine yenilikçi yöntemlerin yer almasına imkan tanımıştır (Toğrul,2006:610-619; Alibaş,2012:43-53; Kara vd.,2014:85-90; Gürel vd.,2016:267-273).

1.2.2 Teknik Kurutma

Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel kurutma yöntemleri tarım ürünlerinin kurutulmasında yerini daha yenilikçi yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Sonraki bölümlerde kurutma yöntemlerine değinilecek olup kısaca yöntemler şunlardır;

konvektif kurutma yöntemi, sprey kurutma yöntemi, liyofilizasyon (dondurarak kurutma) yöntemi, vakumlu kurutma yöntemi, köpük kurutma yöntemi, puf kurutma yöntemi, kızılötesi kurutma yöntemi, elektrohidrokinamik kurutma, mikrodalga kurutma yöntemi, Ozmotik kurutma ve hibrit kurutma yöntemleridir (Arslan,2012:20-43).

1.3.Kurutma Yöntem Seçimi

Yöntem seçilirken ürünün kuruma hassasiyeti, elde edilen ürünün özelliği, işlemin nitelikleri ve kurutma aygıtının ya da yöntemin çalışma prosesi dikkate alınmalıdır.

Ürünün kuruma hassasiyeti olarak ifade edilen kriter, kurutulacak ürünün işlenmeden önceki nem içeriğini, neme tabi su, tabi olmayan su veya ikisi birden oluşu, ürünün işlemde sonraki nem miktarı, kurutmanın yapılacağı sıcaklık ve kurutma işleminin süresi gibi özellikler tanımlanır.

Elde edilecek kuru ürünün özelliklerine karşı kontrol ederken, partikül boyutu, akışkanlık, nem içeriği ve nemin homojenliği, korozyon, parlaklık, kırılabilirlik ve toksisite gibi ürün özellikleri önemlidir.

Kısmi veya sürekli kurutma kurutulacak ürünün kurutma işlemine girmeden önce veya sonra herhangi bir işlemde geçirilip geçirilmediği, ürünün kurutma ekipmanına giriş şekli, kurutulan ürünün dışarı alınma şekli, kurutma kapasitesi ve saatte ne kadar ürüne erişildiği kurutma işleminin nitelikleridir.

Yöntemi belirlemede en önemli ve son nokta aygıtın çalışma prosesidir. Aygıtın konumu, konulduğu yerde kaplayacağı bölge, aygıtın ürüne uygulayacağı havanın sıcaklığı, aygıtın temizliği, aygıtının konulduğu yerin nemi ve cihazın neme duyarlılığı, aygıtın ses ve vibrasyon düzeyi, uygulanacak havanın içerisindeki toz miktarı ve enerji kaynağı aygıtlarla ilgili değerlendirilmesi gereken önemli noktalardır (İzli,2012; Güngör,2013).

1.4.ısı Transferine Göre Kurutucu Çeşitleri

Kurutmak için çeşitli ürünlerin olması çeşitli kurutma teknikleri gerektirdiğinden yıllarca kurutucu konusu üzerine çalışmalar yapılmış, teknolojinin de katkısıyla birçok

çeşit kurutucu geliştirilmiştir. Endüstride 180-200'e yakın kurutucu çeşidi olmasına rağmen bunların 20 kadarı kullanıma uygundur (Oğulata vd.,1999; İzli,2012; Aktaş,2007).

Kurutucu çeşitlerinin sınıflandırması birçok alt başlıkta yapıldığından başlıca kurutma yöntemlerini aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz;

1.4.1. Konveksiyon Kurutucular

Kurutma işleminde kurutulacak ürün ile ısı kaynağı arasında bir akışkanda bulunan akımlar yardımıyla ısı transferi gerçekleştirme prensibine dayanır. Akışkan olarak hava veya başka bir gaz kullanılabilir. Örnek olarak kabinli ve bölmeli kurutucular, tünel kurutucular, konveyör kurutucular, döner kurutucular verilebilir (İzli,2012).

Kabinli ve bölmeli kurutucular: Bu kurutucu tipinde çok fazla çeşit bulunuyorsa da prensipte çalışırken hepsi aynıdır. Ürünler alttan ızgara yapısına sahip bir tepsi türüne koyulup tepsiler üst üste kabin içerisine yerleştirilir. İşlem boyunca tepsiler sabit olup sıcak kurutucu akışkan kabinin duvarlarından içeri verilerek tepsiler arasından geçmesi sağlanır. İşlemin ardından nemlenen akışkan dışarı atılıp kurutucuya ulaştırılır. En önemli dezavantajı her tepsi üzerinde aynı kurutma hızına ulaşamamasıdır. Bu kurutucu tipleri genel olarak az miktarda ürünün kurutulmasında tercih edilir (TC., MEB.,2012; Güngör,2013).

Tünel Kurutucular: Bu kurutucu tipleri sürekli çalışan yeniden tasarlanmış ve geliştirilmiş bölmeli kurutucu tiplerindendir. Isıtılmış akışkan gazlar fan aracılığı ile gezdirilir. Ürünler sürekli ya da kademeli bir şekilde tepsiler ya da bölmelerle tünel içinde hareket ettirilir. Bu kurutucu tipi için sebze ve meyvelerde kullanılan kurutma yöntemi zıt ve paralel akış tünelidir. Paralelde ürünler ile sıcak akışkan gaz aynı yönde gider, zıtta ise ürünler ile akışkan gaz ters yönlüdür. Özellikle yumuşak meyvelerde zıt akış tercih edilir (Akbaş,2007; TC., MEB.,2012).

Konveyör Kurutucular: Sürekli bant sistemi olarak da bilinir. Çalışma prosesi bakımından tünel kurutuculara benzer olup tepsi ve bölmeler yerine devamlı çalışan bant sistemi mevcuttur. Bant üzerinde bulunan ürünlerin altından ve üstünden olacak

şekilde iki yönden sıcak akışkan gaz gönderilir. Aynı üründen çok miktarda kurutmak istendiğinde tercih edilir (Güngör,2013).

Döner Kurutucular: Bu tip kurucular akışkan gazın malzemenin hareketine zıt ya da paralel yönde geçişin mümkün olduğu silindirik tamburdan oluşmaktadırlar.

Gıda kurutmada genellikle kullanılan kurutucu tipleri üstte bahsedilenlerdir. Bunlarla beraber konveksiyon kurutma yapan diğer tipler; püskürtmeli, hava sürmeli, pnömatik ve düşey silindirik kurutucu tipleridir (Güngör,2013; Güngör ve Özbalta,1997).

1.4.2. Kondüksiyon Kurutucular

Film Kurutucular: Bu kurutucu tipleri çoğunlukla püre tarzı yumuşak, hamur kıvamda ve sıvı ürünlerin kurutulması için kullanılırlar. En çok kullanılan çift ve tek silindirli tipleridir.

Dondurarak Kurutma: Şoklama olarak da bilinir. Bu tipler deniz, serum ve ecza ürünleri gibi malzemelerin kurutulmasında kullanılır. Ürünler önce dondurulur ardından kimyasal kurutucuya ya da yüksek vakum odasına koyularak infrared ışıyım ile ısı verilerek uçucu maddenin gaz haline gelmesi sağlanır ve yoğunur ya da kimyasal kurutucu ile vakumlanır. Yüksek maliyetli ve düşük hızlı olmasına karşın ısı konusunda hassas olan ürünler için tercih edilir.

Vakum Kurutucu: Atmosfer basıncı düşürüldükçe su kaynama noktası da düşmüş olur esası ile uygulanan kurutucu modelidir. Sıcak buhar ya da su ile ısıtılan rafların üzerinde koyulan ürünün kurutulması işlemidir. İlaç, kimya sanayi, meyve sebzelerin kurutulması işlemlerinde, genellikle de hassas ürünlerin kurutma işlemlerinde kullanılır. Vakumlu tepsi kurutucu ve döner kurutucu olmak üzere iki çeşittirler.

Silindir Kurutucu: İçlerinde bulunan silindirler ile uzun ve şerit halinde bulunan malzemelerin kurutulmasında kullanılır. En yaygın kullanım alanları tekstil sektörü ve kağıt sanayisidir (Aktaş,2007; Güngör ve Özbalta,1997).

1.4.3. Radyant Kurutucular

Kızılötesi kurutmanın temeli, malzemenin geniş yüzey alanına çarpan ışınların ısı enerjisine dönüşerek ince bir tabaka halinde kurumaya yol açması ilkesine dayanır.

Kızılötesi kurutma işleminde gıda materyallerinin nem içeriği, kuruma hızını büyük ölçüde etkileyebilir. Katı maddeler genellikle kızılötesi ışınları ince bir yüzey tabakası içinde emer. Ancak, gözenekli katı maddelerde ışınlar daha derinlere nüfuz edebilir. Gözenekli materyallerin iletim özellikleri nem içeriğine bağlı olarak değişebilir. Kuruma süreci boyunca malzemenin ışın emme özelliği, nem içeriğinin azalmasından kaynaklanan değişikliklere tabidir. Kızılötesi ışınlar, kısa dalga boylarında su içinde iletilirken, uzun dalga boylarında emilir. Kızılötesi kurutmanın konvektif kurutmaya kıyasla bazı avantajları vardır: Yüksek ısı transfer katsayısı, kısa işlem süresi ve düşük enerji gereksinimi gibi. Kızılötesi ışınlar hava tarafından geçirgen olduğundan, kurutma işlemi hava ortamında gerçekleştirilebilir. Kurutma ekipmanları kompakt yapıdadır ve işlem parametrelerinin yüksek düzeyde kontrol edilebilmesine imkan tanır (Alkaç,2019; Toğrul,2006; Nowak ve Lewicki,2004)

1.5.Kurutucu Seçimi

Kurutucu seçimi, kurutulacak materyalin tipi, özellikleri, kurutma hedefi ve işlem gereksinimleri gibi etmenlere önem gösterip büyük hassasiyet ve dikkat ile yapılması gerekir. İşte kurutucu seçimi sırasında göz önünde bulundurmanız gereken bazı faktörler:

Materyal Türü ve Nitelikleri: Kurutulacak materyalin türü (gıda, kimyasal ürün, tarım ürünü vb.), boyutu, yoğunluğu, nem içeriği gibi nitelikler, kurutucu seçiminde temel belirleyicilerden biridir.

Kurutma Amaç ve Hedefi: Materyalin kurutulma amacı, son ürünün hangi niteliklerde olması gerektiğini belirler. Örneğin, bazı materyaller tamamen kurutulurken, diğerleri yarı kurutulmuş olarak bırakılabilir.

Kapasite ve Üretim Hacmi: Kurutucunun işlem kapasitesi, üretim hacminizle uyumlu olmalıdır. İhtiyaca uygun bir kurutma kapasitesine sahip bir cihaz seçmek önemlidir.

Enerji Verimliliği: Enerji tüketimi kritik bir faktördür. Düşük enerji tüketimi ve verimli çalışma sağlayan bir kurutucu tercih edilmelidir.

Kurutma Hızı: İşlem hızı, materyalin ne kadar sürede kurutulması gerektiğine bağlıdır. Hızlı kurutma ihtiyacı olan durumlarda daha yüksek hava sirkülasyonu ve sıcaklık kontrolü sağlayan kurutucular tercih edilir.

Kurutma Ortamı: Kurutma işlemi için kullanılacak ortam (hava, gaz, vakum vb.) ve ortam sıcaklığı, materyal türüne göre seçilmelidir.

Ekipman ve Alan Gereksinimleri: Kurutucunun fiziksel boyutu ve kurulum gereksinimleri değerlendirilmelidir. Kurulum alanı ve diğer ekipmanlarla uyumluluk göz önünde bulundurulmalıdır.

İşlem Kontrolü ve Otomasyon: Kurutucunun işlem kontrolü ve gerektiğinde otomatik ayar yapma yeteneği de önemlidir. Kullanıcı dostu kontrol sistemleri, işletme kolaylığı sağlar.

Bakım ve Temizlik Kolaylığı: Kurutucunun temizlenmesi ve bakımı kolay olmalıdır ki verimliliği yüksek ömrü uzun olsun.

Maliyet: Kurutucu seçerken maliyet de önemlidir. Hem cihazın satın alırken ki maliyeti hem de işletirken ki maliyeti dikkate alınmalıdır.

Kurutucu seçimi yapılırken, materyal özelliklerine, üretim gereksinimlerine ve bütçeye uygun verilecek karar için uzmanların görüşlerini ve cihaz üreticilerinin önerileri değerlendirilmelidir (Aktaş,2007; McMinn ve Magee,1999).

BÖLÜM II

MİKRODALGA

2.1.Mikrodalga Enerjisi

Mikrodalga enerjisi, iyonların yer değiştirmesi ve dipollerin dönmesi yoluyla moleküler harekete neden olan iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak da ifade edilebilir. Bu bağlamda mikrodalga enerjisi ile ısı üretimi, iyonik polarizasyon ve dipol rotasyon olmak üzere iki ana kategori altında açıklanabilir.

İyonik Polarizasyon: Gıda maddelerine uygulanan elektrik alan maddelerin içerisinde bulunan iyonları hızlıca titreştirmeye başlar ve bu titreşimden kaynaklanan kinetik enerji ısıya dönüşür (Curnette,1980).

Dipol Rotasyon: Gıda maddeleri içerisinde rasgele yönlere sahip polar moleküllere elektrik alan uygulanmaktadır. Moleküller uygulanan elektrik alanın kutupsallığına uygun hareket ederler ve değişen kutupsallığa uymak için hareketlerine devam ederler. Bu hareketlilik sürtünmeye neden olur ve ısı açığa çıkar. Polar olmayanlarda yükler simetrik dağılmış olduğundan elektrik alan uygulandığında pozitif yüklere alan, negatif yüklere tersi yönde kuvvet uygulanıp yer değiştirmeleri ve polar olmaları sağlanır (Rosenthal,1992).

Mikrodalga enerjisi gıdaların yapılarında herhangi bir değişikliğe sebep olmadan yapıdaki iyon ve dipollerin hareketindeki kinetik enerjinin ısıya dönüşmesini sağlar (Rosenthal,1992).

2.2.Gıda Sektöründeki Kullanım Alanları

Mikrodalga'nın ısıtma özelliğinin keşfedilmesinden sonra endüstriyel olarak daha da önem kazanan bu sistem, gıda endüstrisinde ön ısıtma ve pişirme, temperleme, sterilizasyon ve pastörizasyon, kurutma alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (Regier ve Schubert,2001).

2.2.1. Ön Isıtma ve Pişirme

Günümüz endüstrisinde mikrodalga enerjisinin kullanımı çoğu zaman geleneksel yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. İlk önce nem oranı yüksek olan hamurlar

geleneksel yöntemle pişirilir, son aşamada mikrodalgada işlem görür (Schiffmann,2001).

Domuz eti ve tavuk ürünlerinde de yaygın olarak kullanılan mikrodalga teknolojisi, endüstriyel açıdan ilk kez 1960'lı yıllarda uygulamaya konulmuştur. Temizlenmiş ve parçalara ayrılmış tavuk eti büyüklüklerine göre ayrıştırılıp farklı güç ve enerjide ön pişirme işlemlerine geçmektedir (Schiffman,2001).

Mikrodalga teknolojisi ekmek, kek gibi ürünlerin yüzeylerinin renk değiştirmesi ve kabuk oluşması gibi problemlere çözüm olarak kullanılmasıyla birlikte kabarik ve gözenekli yapıyı oluşturmak için gereken karbondioksit ve buhar oluşumunu sağlamaktadır (Decareau,1986).

2.2.2. Temperleme

Temperleme donmuş olarak muhafaza edilen bir ürüne uygulanan ısı ile buzun donma sıcaklığının üstündeki derecelere çıkarma işlemidir. Mikrodalganın endüstriyel olarak kullanımının bulunduğu en geniş alanlardandır. Temperleme geleneksel yöntemlerle uzun sürelerde gerçekleşmekte olup mikrodalga kullanımında saatler süren işlemler dakikalara indirgenmiştir. Ayriyeten mikrodalga kullanımı ile depolanacak yer, zaman ve maliyetten de tasarruf edilmiş olunur (Ragier ve Schubert,2001).

Temperlemenin kullanıldığı başlıca endüstriler balık, et ve tereyağı endüstrileridir. Dondurulmuş etler temperleme odalarına koyularak çözündürme işlemi yapılır. Bu işlem 1 ile 4 gün arasında bir zaman gerektirir. Balık söz konusu olduğunda ise yakalanan balıklar limana yada muhafaza edilecek yerlere aynı gün içinde getirilemedikleri koşullarda dondurularak saklanır ve daha sonra çözündürme işlemleri için et gibi aynı koşullarda işleme tabi tutulur. Bu kontrolsüz koşullarda ürünlerde hijyen problemleri görülebilmektedir. Bu problemler mikrodalga ile temperleme işlemi yapılarak ortadan kaldırılabilir. Tereyağında ise bozulma ve acılaştırmanın önüne geçilmek için ürün dondurularak muhafaza edilir. Hacimsel olarak büyük olan ürünlerin satış ve kullanımını sağlamak için daha küçük boyutlara indirgenmesi gerektiğinden çözündürme işlemi yapılması gerekir. Mikrodalga ile yapılacak işlem üreticiye zamandan ve mekandan tasarruf sağlar (Schiffmann,2001).

2.2.3. Pastörizasyon ve Sterilizasyon

Mikrodalga enerjisi, istenen sıcaklığa ulaşma süresini azaltır, böylece işlemin toplam süresini kısaltır. Avrupa'da benimsenen yaklaşım, tüketime hazır gıdaların hava geçirmez kaplarda mikrodalgada pastörize edilmesi ve soğuk zincir kırılmadan dağıtılması, ürünün raf ömrünün uzatılması yönündedir. Süt ve süt ürünleri, meyve ve sebzeler, meyve suları, etler, ekmek, makarna gibi birçok gıda ürününde mikrodalga pastörizasyon denenmiştir. Hollanda'daki bir şirket, uçakta yemeye hazır yiyecekleri pastörize etmek için mikrodalga enerjisi kullanıyor. Amerika Birleşik Devletleri'nde paketlenmiş makarnanın pastörizasyonu mikrodalgalarla gerçekleştirilir. Bu yöntemin kullanımı Amerika Birleşik Devletleri'nde sınırlı olmakla birlikte Avrupa ve Japonya'da daha fazla ilgi görmektedir (Schiffmann,2001).

2.2.4. Mikrodalga ile Kurutma

Geleneksel olarak, yiyeceğin dışı sıcak hava ile ısıtılır. Isıtılmayan alanda, ısıtılan gıda yüzeyden ısı iletimi ile ısıtılır. Ancak gıda içerideki ısı iletimi çok yüksek olmadığı için gıdanın tamamının ısınması uzun zaman alır. Sıcak havayla kurutmada kurutma hızı, suyun gıdanın iç yüzeyinden dış yüzeyine yükselip buharlaşma hızı ile belirlenir. Yayılması ne kadar zorsa, o kadar yavaş kurur. Ortam sıcaklığındaki artış yüzey neminin buharlaşmasını hızlandıracığından kurumayı da hızlandıracaktır. Genel olarak, bu şekilde kurutmayı hızlandırmanın bazı dezavantajları vardır. Aşırı yüksek sıcaklıklar yiyeceklerin kurummasına, sert bir dokuya sahip olmasına ve çatlamasına neden olabilir. Ayrıca kuruma süresi ne kadar uzun olursa iç nemin yüzeye ulaşması o kadar zor ve yavaş olur. Mikrodalga kurutma tamamen farklı bir mekanizmaya sahiptir. Isıtarak yayılan enerji, gıda maddesinin derinliklerine nüfuz eder ve istenen etkiyi sağlar. Geleneksel yöntemlere göre sıcaklığa daha kolay ve daha kısa sürede ulaşabilmektedir. Mikrodalgaların gıdada oluşturduğu ısı enerjisi nedeniyle basınç oluşur ve bu basınç nedeniyle su molekülleri yüzeye pompalanır (Regier ve Schubert,2001).

2.2.4.1. Mikrodalga İle Kurutmanın Temel İlkeleri

Mikrodalga kurutma, genellikle magnetron ve klistron gibi cihazlar kullanılarak sürekli veya aralıklı dalga salınımı yoluyla üretilen elektromanyetik dalgaları içerir. Mikrodalgalar, kızılötesi ve radyo frekansları arasındaki bölgede yer alır ve dalga boyu 1 mm ile 1 m arasında değişirken, frekansı 300 MHz ile 300 GHz arasında değişmektedir. Ev tipi mikrodalga fırınlar genellikle 2.45 GHz frekansını kullanırken, endüstriyel süreçler, laboratuvar çalışmaları ve araştırma projelerinde 2.45 GHz veya 915 MHz frekansları tercih edilir. Mikrodalga kurutma sistemleri içinde, kurutma etkinliği, elektromanyetik dalgaların etkisi altında olan bir maddenin çeşitli fiziksel ve termal özelliklerinin yanı sıra özellikle malzemenin dielektrik özelliklerine, kullanılan magnetron gücü ve frekansına, aplikatör boyutları gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterir (Gölcü ve Şen,2014).

Deneyisel araştırmalarda, mikrodalga devreleri tasarlanmaktadır. Malzemeler, devre içinde "aplikatör" adı verilen bir bölümde ışığa maruz kalır. Aplikatör, boşluklu dalga kılavuzu veya boşluk yankılayıcısı gibi farklı tiplerde olabilir. Enerjinin tamamı materyal tarafından emildiğinde işlem tamamlanmış kabul edilir. Sürekli veya kesikli dalgalar aracılığıyla elektrik alan materyale iletilir. Sürekli sistemler, tek bir enerji seviyesiyle işlerken, farklı enerji seviyelerinin sisteme uygulanması, sistemin kesikli olarak çalıştığını gösterir (Ulçay vd.,2002).

Geleneksel kurutma işlemlerinde, ürünün kurutulması için gerekli olan ısı enerjisi, konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon gibi üç farklı mekanizma aracılığıyla iletilir. Bu üç transfer yönteminde, kuruma süresi, ortam sıcaklığı ile ürün sıcaklığı arasındaki farkın büyüklüğü ve ürün yüzeyinden içeriye doğru ısı iletim yeteneği gibi faktörlerden etkilenir. Ancak mikrodalga kurutma sisteminde, su molekülleri ürün içinde sürtünme yoluyla titreşerek ısı ürettiğinden, tüm ürün homojen bir şekilde ısıtılır (Karaaslan,2008).

Mikrodalga, dielektrik ısıtma tekniklerinden biri olarak hacimsel ısıtma sağlar. Hacimsel ısıtma, ısının malzemenin içinde oluşturulduğu bir yöntemdir. Mikrodalga ısıtma, ürünlerin içine nüfuz etme yeteneğinin yüksek olması ve su moleküllerinin bu dalgalar tarafından emilmesi nedeniyle, ürünleri hızla istenen sıcaklık seviyelerine getirir. Bu nedenle, mikrodalga yöntemiyle geleneksel yöntemlere göre daha kısa

sürede ısınma sağlanır. Enerji gereksinimi düşük olmasına rağmen enerji verimliliği yüksektir. Aynı zamanda, ekipmanlar kolayca temizlenebilir, az yer kaplar, ambalajlı gıdalara uygulanabilir ve besin değerini korur. Tüm bu nedenlerle, mikrodalga teknolojisi, geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılmaktadır (Başkaya-Sezer ve Demirdöven,2015).

Mikrodalgalar, gıda endüstrisinde pastörizasyon, sterilizasyon, buz çözme, kurutma, pişirme ve ısıtma gibi çeşitli işlemlerde farklı amaçlar için kullanılabilir. Gıdaların mikrodalga ile ısıtılmasında frekans, mikrodalga gücü, ısıtma hızı, sıcaklık, gıdanın ağırlığı, su içeriği, yoğunluğu, fiziksel şekli, elektriksel iletkenlik, dielektrik özellikler ve termal nitelikler gibi faktörler etkili olmaktadır (Konak vd.,2009).

2.2.4.2.Mikrodalga Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları:

Mikrodalga kurutmada ısıнын üretildiği yer ürünün kendisidir. Sonuç olarak, büyük miktarlarda ürün, daha eşit ısı dağılımı ile daha kısa sürede kurutulabilir. Mikrodalga kurutmanın en büyük avantajı kuruma süresinin normal kurutma süresinin %10'u hatta daha az olmasıdır(Regier ve Schubert,2001).

Kurutma düşük sıcaklıkta yapıldığından yüksek sıcaklığın olumsuz etkileriyle karşılaşmaz (Schiffmann,2001).

Bazı ürünlerde ürün kalitesi artırılmıştır. Gıda yüzeyinde olası doku sertleşmesini önler(Schiffmann,2001).

Proses koşulları ürüne göre belirlenebilmektedir(Karaaslan,2008).

Materyalin yada ürünün bulunduğu ortamın ısıtılmasına gerek olmaması(Karaaslan,2008).

Geleneksel kurutmaya göre yerden ve işçilikten tasarruf edilir(Karaaslan,2008).

Mikrodalga fırın, ısıtmayı gıdanın içinden sağladığından, sıcaklık dağılımı daha üniform ve homojen hale gelir(Schiffmann,2001).

Dezavantajları:

Mikrodalga ekipmanlarının tasarım maliyetlerinin yüksek olmasından kaynaklı yatırım maliyetlerinin yüksek olması

Şekilsiz gıdaların homojen bir şekilde ısıtılamaması

Bazı geometrik şekle sahip gıdalarda köşe ve kenar bölgelerinde yetersiz ısınması yada fazla ısınıp yanması gibi sorunlarla özetlenebilir(Karaaslan,2008).

2.2.4.3. Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga İle Yapılan Kurutma Çalışmaları

Mikrodalga yöntemiyle meyve ve sebzelerin kurutulmasına dair birçok araştırma bulunmaktadır.

%9.01 nem içeriğine sahip ıspanak yaprakları, mikrodalga fırında nem içeriğini %0.1'e kadar indiren bir kurutma işlemi görmüştür. Yapılan işlem için kullanılan mikrodalga fırınında sekiz güç seviyesinde işlem görmüş ve bu kurutma işlemi, mikrodalga gücüne bağlı olarak değişen süreler arasında tamamlanmıştır, bu süreler 290 ila 4005 saniye arasında değişmektedir. Mikrodalgayla kurutulan ıspanak örneklerinde, 750 W mikrodalga gücünün kullanılması, kurutma süresi, enerji tüketimi, askorbik asit ve renk değerleri açısından en iyi sonuçların elde edildiği vurgulanmıştır (Özkan vd.,2007).

Bir araştırmada, Amasya elma çeşidi 5 mm kalınlığında dilimlenerek çeşitli kimyasal çözeltilerde bekletilmiş ve ardından kurutulmuştur. Kurutma yöntemleri olarak açık havada doğal kurutma, 64 derece sıcaklıktaki etüv kurutma ve mikrodalga kurutma tercih edilmiştir. 70 saat süren kurutma işleminin sonunda, mikrodalga kurutmanın elma kurutma işlemi için uygun olmadığı, çünkü doğal kurutma ve yüzeydeki renk değişiklikleri nedeniyle uygun görülmediği belirtilmiştir. Sitrik asit çözeltisiyle işlenen elmaların 64 derece sıcaklıktaki hava ile kurutulması, kalite ve kurutma süresi (5 saat) açısından en iyi sonuçları vermiştir (Tarhan vd.,2009).

Başka bir çalışmada, domates dilimlerinin mikrodalga kurutma işlemi sırasında mikrodalga gücünün etkisini anlamak amacıyla kurutma hızı, enerji tüketimi ve kurutulmuş ürünün renk özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 90, 180, 360 ve 600 W mikrodalga güç seviyelerinde, mikrodalga gücündeki artışın kurutma süresini ve enerji tüketimini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, kuruma hızının başlangıçta arttığı ancak daha sonra azaldığı gözlenmiştir. Ürünün renk kalitesi ise mikrodalga gücünün artmasıyla olumsuz etki göstermiştir (Çelen ve Kahveci,2013).

Başlangıçta %75.35 (± 0.02) olan nem içeriğine sahip asma yaprakları, %9.13 nem seviyesine kadar 13, 15 ve 17 W/g mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Kurutma işlemi 210-270 saniye arasında tamamlanmıştır. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri, taze yapraklarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, tazeliğe en yakın renk ve askorbik asit içeriği, 15 W/g güç seviyesindeki mikrodalga kurutma sırasında elde edilmiştir (Alibaş, 2012).

Kivi meyvesinin 5.03 ± 0.24 mm kalınlığındaki dilimlerinin karakteristik özelliklerine olan etkisini araştırmak amacıyla sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma yöntemleri incelenmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinin kivi meyvesinin kurutma hızı ve kapasitesi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin hepsinde kurutma süresinin azaldığı gözlenmiştir. Mikrodalga enerjisi kullanarak gerçekleştirilen kurutmanın kuruma hızını artırdığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile kurutulan kivi dilimlerinin diğer kurutma yöntemlerine göre daha az kurutma kapasitesine sahip olduğu ve suyun daha hızlı absorbe edildiği bulunmuştur (Maskan, 2001).

Bu araştırma, zencefilî gölgede, güneşte, fırında ve mikrodalga fırında kurutarak elde edilen zencefil tozlarının besin içeriğindeki farklılıkları incelemiştir. İncelenen öğütülmüş örneklerde nem içeriği, güneşte kurutulan zencefil tozunda %3.55 ve gölgede kurutulan örnekte ise %3.78 olarak bulunmuştur. Protein, ham lif, yağ ve kül içerikleri sırasıyla %5.02 ile %5.82, %4.97 ile %5.61, %0.76 ile %0.90 ve %3.38 ile %3.66 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek β -karoten ve askorbik asit içeriği gölgede kurutulan zencefil tozunda tespit edilmiştir. Gölgede, güneşte, fırında ve mikrodalga fırında kurutulan örneklerin polifenol içerikleri sırasıyla 12.5, 11.8, 12.4 ve 12.4 mg/100 g olarak birbirine yakın bulunmuştur. Farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen zencefil tozunun hem tat duyusal özellikler hem de besin içeriği açısından iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. (Sangwan vd., 2014).

Başka bir araştırmada, dereotu üzerindeki etkileri incelemek amacıyla kabin ve mikrodalga kurutucular kullanılarak 40, 45, 50, 55, 60, 70°C sıcaklıklarında kurutma işlemi uygulanmıştır. Mikrodalga kullanıldığında kurutmanın daha kısa sürede tamamlandığı görülmüştür. Bununla birlikte iki şekilde de sıcaklıktaki artışın kurutma sürecini hızlandırdığı tespit edilmiştir. Her iki kurutma yöntemi de yüksek ısılarda

(<70°C), parlaklığın ve renkteki kalitenin korunma konusunda avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır (Tuğrul vd.,2001).

Ocimum basilicum yani reyhan bitkisinin kurutulması için gölge, güneş, etüv, mikrodalga ve kondüksiyonel yöntemler kullanılmıştır. Kondüksiyonel kurutucuda, ürün kalitesi ve kurutma süresine etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı karıştırma hızlarıyla kurutma gerçekleştirilmiş ve karıştırmanın sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Etüvde 45°C ve 55°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma süreleri sırasıyla 50 ve 34 saat iken, mikrodalgada kurutma süresi kısaldı 9-22 dakika arasında tamamlandığı tespit edilmiştir. Ancak, reyhan bitkisinin kalite özelliklerini korumak için mikrodalga kurutma yönteminin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, reyhan bitkisinin kalite özelliklerini olumsuz etkileyen güneşte ve gölgede kurutma yöntemleri gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, reyhan bitkisinin 45-55°C sıcaklıklı hava ile kurutulmasının en uygun seçenek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Polatçı ve Tarhan,2009).

Şeftali dilimlerinin kurutulması üzerine mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemlerinin etkisini araştırmak amacıyla mikrodalga ve kızılötesi kurutma sistemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, şeftali dilimlerinin aynı güç seviyesinde mikrodalga kurutma ile kızılötesi kurutma arasında, mikrodalga kurutmanın daha hızlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aynı ortamda mikrodalga enerjisinin nüfuz derinliğinin kızılötesi ışınlarla kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Wang ve Sheng,2006).

2.2.4.4. Meyve ve Sebzelerin İşlenmesinde Mikrodalga Destekli Kurutma Çalışmaları

Geleneksel kurutma yöntemlerinin zorluklarına çözüm bulmak amacıyla, diğer tekniklerle birlikte mikrodalga destekli kurutma işlemleri tercih edilmektedir. Mikrodalga, çeşitli kurutma sistemleriyle bir araya getirilebilen bir teknoloji olmasına rağmen, kurutucu tipi, kurutma sıcaklıkları, kuruma hızı ve ürün kalitesi ile yakından ilişkilidir. Bu sistemde, elektrikli ısıtıcıya hava sağlamak amacıyla santrifüj havalandırması kullanılmaktadır ve destek sağlamak için ev tipi, maksimum 700 W gücünde ve 2450 MHz frekansında çalışan bir mikrodalga kullanılmıştır (Reyes vd.,2007).

Patates ve havuç örneklerini kurutma amacıyla mikrodalga ve kızılötesi enerjisi kullanarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga enerjisi, kurutma süresinin toplam süre içindeki oranı olarak ifade edilen 1/9 ve 1/5 kesikli oranlarda uygulanmıştır. Sıcak hava ile gerçekleştirilen kurutmaya kıyasla, mikrodalga ve kızılötesi enerjisi kullanıldığında patateslerde kurutma süresinin %42, havuçlarda ise %31 oranında kısaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, üründe yanma olmadığı ve olumsuz renk değişiminin azaldığı gözlemlenmiş ve rapor edilmiştir (Chua ve Chou,2005)

Farklı bir araştırmada, elma dokularının konvansiyonel, mikrodalga-konvansiyonel ve kızılötesi-konvansiyonel kurutma yöntemleri kullanılarak kurutma sonrası ve 12 aylık depolama sürecindeki polifenol içeriği ve radikal tutma kapasiteleri incelenmiştir. Kurutma süresinin uzunluğuna bağlı olarak radikal tutma aktivitesi ve polifenol içeriği kurutma ve depolama süreci boyunca azalmıştır. Uygulanan yöntemle bağlı olarak, bu değerlerin değişimi mikrodalga ve mikrodalga-konvansiyonel kurutma uygulamalarında başlangıça göre radikal tutma aktivitesinde önemli farklılıklar göstermiştir ($p<0,05$) (Nowacka vd.,2014).

'Havuçlar, iki aşamalı mikrodalga destekli konvektif kurutma sisteminde farklı güç seviyeleri kullanılarak kurutulmuştur. İlk aşamada uygulanan 1.5 kW/kg güç seviyesinin, havuçların rehidrasyon oranını etkilediği belirlenmiştir. Diğer yandan, ikinci aşamada uygulanan 1.0 kW/kg güç seviyesinin ise hem rehidrasyon oranını hem de havuçların karoten miktarını etkilediği tespit edilmiştir (Wang ve Xi,2005).

Başka bir çalışmada, sarımsak dişleri mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutulmuştur. Mikrodalga destekli kurutma deneyleri, 40 W mikrodalga gücünün kullanıldığı farklı sıcaklık ve hava akış hızlarında (40°C, 50°C, 60°C ve 70°C; 1.0 ve 2.0 m/s) gerçekleştirilmiştir. Aynı boyuttaki örnekler için geleneksel sıcak hava akımı ile kurutma denemeleri de yapılmış ve burada kurutma sıcaklıkları ile hava akış hızları sırasıyla 60°C, 70°C ve 2.0 m/s olarak uygulanmıştır. Mikrodalga destekli kurutma yöntemi, geleneksel sıcak hava akımıyla karşılaştırıldığında kuruma süresini %80-90 oranında azalttığı ve ürünün tat ve renk özellikleri açısından daha yüksek kalitede olduğu gözlenmiştir (Sharma ve Prasad,2001).

Bu araştırmada, havuç dilimlerinin mikrodalga fırında, halojen lamba altında ve mikrodalga ile halojen lamba kombinasyonu ile kurutulması yöntemleri

incelenmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür. En yüksek güç seviyesi (560 W) uygulandığında, mikrodalga ve halojen lamba kombinasyonu ile yapılan kurutmanın, geleneksel sıcak hava ile yapılan kurutmaya göre kurutma süresini %98 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca mikrodalga kullanımıyla havuçların renk değerlerinde, geleneksel sıcak hava kurutmasına kıyasla daha az değişiklik olduğu gözlemlenmiştir (Sumnu vd.,2005)

Başka bir çalışmada, araştırmacılar ebegümeci yapraklarını başlangıçta 5.02 g nem içeriğine sahip kuru madde üzerinde mikrodalga, konvansiyonel ve vakum kurutma olmak üzere üç farklı kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Yapraklar, nem seviyeleri 0.10 g'a kadar düşene kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi; 6.67, 8.67, 10, 11.33 W mikrodalga güçlerinde; 50, 75, 100 ve 125°C konvansiyonel kurutma sıcaklıklarında; ve 3.7 kPa vakum koşullarında 50°C ile 75°C arasında gerçekleştirilmiştir. Kurutma süreleri sırasıyla mikrodalga, konvansiyonel ve vakum kurutma için 6-10, 26-150 ve 38-130 dakika aralığında uygulanmıştır. Nem difüzyon katsayıları mikrodalga, konvansiyonel ve vakum kurutma için sırasıyla 2.04×10^{-10} - 3.64×10^{-12} m² s⁻¹, 1.70×10^{-11} - 1.10×10^{-10} m² s⁻¹ ve 1.86×10^{-11} - 5.95×10^{-10} m² s⁻¹ aralıklarında değişmiştir. Askorbik asit içeriği ve renk parametrelerine göre, en iyi mikrodalga güç yoğunluğunun 6.5. dakikada 10 W/g olarak bulunduğu gözlenmiştir (Alibaş ve Köksal,2014).

Başka bir çalışmada, araştırmacılar ananas dilimlerine mikrodalga destekli ozmotik kurutma işlemi uygulamışlardır. Ozmotik kurutma işlemi, 40°C sıcaklıkta ve 90 dakika süreyle 55° Brikslik sakkaroz çözeltisi içinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan mikrodalga sistemi maksimum 1000 W gücünde ve 2450 MHz frekansta çalışabilir. Bu çalışma kapsamında, 30 ile 70°C arasındaki farklı giriş sıcaklıklarına yönelik değişken mikrodalga güç çıkış programları tasarlanmıştır. Mikrodalga güç seviyeleri, uygulamanın ilk 1.5 saatlik diliminde en etkili sonuçları ortaya koymuştur. Yüksek mikrodalga gücü ve düşük sıcaklıkların (30-50°C) kullanılması, uygulamanın kurutmanın ilk aşamasında avantaj sağladığı ancak işlemin ilerleyen aşamalarında kurutmayı yavaşlattığı belirlenmiştir (Botha vd.,2012).

Yaban mersini örneklerinde, enerji tüketimi ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri incelemek amacıyla dondurma ve mikrodalga destekli kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Dondurulmuş örneklerin kurutma süresi %29'a kadar azalmış ve enerji

tüketimi %27'ye kadar önemli ölçüde azalmıştır. Dondurulmuş örneklerin son ürün kalitesi değerlendirildiğinde, hiçbir ön işlem uygulanmamış örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek çığnenebilirlik ve sertlik özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir(Zielinska vd.,2015).

Farklı yöntemlerle kurutulmuş *Arania melanocarpa* meyveleri üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, Page modeli kullanılarak kuruma kinetikleri, mikro yapısı ve duysal özellikler incelenmiştir. En kısa kurutma süresi (54 dakika), mikrodalga destekli vakum kurutma işlemiyle elde edilmiştir. En fazla gözeneklilik sağlayan uygulamalar; dondurarak kurutma (%76) ve mikrodalga destekli vakum kurutma (%39) olarak tespit edilmiştir. 360 W mikrodalga gücünde gerçekleştirilen vakum destekli kurutma, en üstün duysal sonuçları ortaya koymuştur(Calin-Sanchez vd.,2015).

Tipik olarak mikrodalga kurutma işleminin final aşamasında kullanılan ve bu nedenle "son kurutma" olarak adlandırılabilen bir yöntem vardır. Bu aşamayı açıklamak için bisküvi kurutma sürecini örnek olarak ele alabiliriz. Mikrodalgada kurutulmuş gıdalardaki nemin yüzeye pompalanma işlemi, tüm işlem süresi boyunca gerçekleştirilebilir; bu uygulama örneğin makarna kurutma sürecinde görülebilir. Alternatif bir yöntem olarak, mikrodalga kurutma sıcak hava ile kurutmadan önce uygulanabilir. Bu sayede ürünün sıcak hava ile kurutulmadan önce önceden ısıtılması mümkün olur. Mikrodalga kurutma işlemi atmosferik basınç altında veya vakum altında gerçekleştirilebilir. Mikrodalga kurutma vakum ile birleştirildiğinde, daha yüksek kurutma hızları elde edilebilir; ayrıca üründe daha az büzülme ve çekme meydana gelir, bu da suda çözünen aromaların ve vitaminlerin daha iyi korunmasına olanak tanır ve daha yüksek kaliteli bir ürün elde edilir. Vakumlu mikrodalga kurutma öncelikli olarak kullanıldığında ve ardından hava kurutma işlemi uygulandığında, meyve ve sebzelerin kurutulması için en son teknoloji uygulanmış olur(Regier ve Schubert,2001).

Avustralya menşeli, sert kabuklu bir meyve olan *macadamia* fındığının mikrodalga ile kurutulması üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada, mikrodalga kurutma sonrasında depolanan örnekler üzerinde serbest yağ asidi, peroksit değeri ve duysal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlere göre, mikrodalga kurutmanın ürün kalitesi, geleneksel kurutma yöntemleriyle elde edilen ürünlere kıyasla daha üstündür.

Mikrodalga kurutma işlemi, geleneksel yöntemlere göre 144 saat süren kurutma süresini 4,5-5,5 saate kadar azaltabilmektedir(Silva vd.,2005).

BÖLÜM III

OZMOTİK KURUTMA

Sebze ve meyvelerin korunması için çeşitli teknikler bulunmaktadır. Ozmotik kurutma, bu yöntemlerden biri olup, özellikle tropikal meyveler gibi muz, ananas, mango ve yapraklı sebzelerin korunmasında ilgi çeken etkili bir yöntemdir. Bu basit işlem, sebzelerin ve meyvelerin aroma, besin, ve renk bileşenleri gibi doğal özelliklerini koruyarak işlenmelerine olanak tanır (Pokharkar ve Prasad,1998).

Ozmotik kurutma, gıdayı hipertonik bir çözeltiye daldırarak bitki dokusundan suyu kısmen çıkarmak için kullanılan bir ön işlemdir. Dehidrasyon, hücre zarlarında doğal olarak oluşan ve hücre hasarına neden olmayan ozmoz esasına dayanır. Suyun dokudan çözeltiye difüzyonunu sağlayan kuvvet, daha yüksek ozmotik basınca sahip hipertonik bir çözelti tarafından sağlanır. Suyun difüzyonuna, çözünen maddelerin ozmotik çözeltiden dokuya eşzamanlı difüzyonu eşlik eder. İşlem sırasında, dokudan su uzaklaştırıldığında ve dokuya şeker/tuz verildiğinde, iki bileşen arasında su aktivitesi dengesine ulaşıldığında dehidrasyon sona erer (Çınar,2009).

Hücrel bir katı madde hipertonik bir çözeltiye daldırıldığında, malzemenin ilk tabakasındaki hücreler hipertonik çözeltiye maruz kalır ve böylece hücreler su kaybetmeye ve büzülmeye başlar. Hücreler ve hipertonik çözelti arasındaki konsantrasyon farkı aynı zamanda ikinci tabakanın hücrelerinin turgor halinde olduğuna düşünülmektedir. Hücrelerin birinci duvarındaki su kaybının ardından birinci ve ikinci duvar arasında kalan su kimyasal potansiyel farkı oluşturur. İkinci tabakanın hücreleri daha sonra birinci tabakanın hücrelerine su pompalar ve ardından dokular kasılır. Malzemenin yüzeyinden merkezine doğru kütle transferi ve doku büzülmesi meydana gelir. Zaman içinde, malzemenin merkezi hücreleri de su kaybeder ve uzun süreli katı-sıvı temasında kütle transferi dengelenir. Kütle transferi ve doku büzülmesi aynı anda gerçekleşir. Bu nedenle, sürecin belirli bir aşamasında kütle transferi ve doku büzülmesi, materyalin sadece belirli bir bölümünü ilgilendirir. Su, hücre zarından hücreler arası boşluklara ve oradan ozmotik çözeltiye geçer. Hücre zarı yarı geçirgen olduğundan, hipertonik çözelti tarafından alınan çözünen madde yalnızca hücre dışındaki boşluklarda birikir. Farklı katmanlardaki hücreler, farklı şartlar altında su kaybı, katı büyüme ve doku büzülmesi yaşarlar; ancak aynı katmandaki hücreler aynı fiziksel koşullara sahiptir (Shi ve Le Maguer,2003).

Meyvenin karmaşık hücre yapısı, meyvede suyun difüzyonuna karşı ek bir engel olarak işlev gören yarı geçirgen bir zar içerir. Bu zarlar, ozmotik işlem anında kütle transferine direnç göstermek adına içerde ve dışarda olacak şekilde iki bariyer oluşturur. Katı-sıvı arayüzündeki akışkan dinamiği dış direnci yönlendirse de, iç direnç hücre yapısıyla ve farklı kütle akışları arasındaki etkileşimden etkilenir. Genel çalışma koşullarında, dış direnç, iç dirence kıyasla neredeyse göz ardı edilebilir bir seviyededir (Çınar,2009; Derossi vd.,2008).

3.1. Ozmotik Dehidrasyon Mekanizması

Ozmotik dehidrasyonun tam mekanizması bilinmemekle birlikte, yaygın olarak kullanılan iki yaklaşım makroskopik ve mikroskobik kütle aktarım mekanizmalarıdır.

Makroskobik perspektife göre, tarım ürünleri, hücresel yapısı ve yarı geçirgen hücre duvarına sahip olduklarından, hipertonic çözeltilere maruz bırakıldığında, ürün ile çevre arasındaki ozmotik basınç farkından dolayı ürünlerdeki su, ozmotik çözeltiye doğru difüzyonla geçer. Difüzyonun itici gücü, konsantrasyon ve basınç farklarıdır; bu fark ne kadar büyükse, belirli bir düzeydeki geçiş o kadar hızlı gerçekleşir(Derossi vd.,2008). Suyun çözeltiye difüzyonu sürecinde, ozmotik maddeler aynı anda çözüldükten ürüne doğru hareket eder. Hücre duvarının yarı geçirgenliği sayesinde, su ve ozmotik madde, diğer çözülmüş maddelerle birlikte, organik asitler, tuzlar ve mineraller gibi, ozmotik çözeltiye geçer. Hücre yapısının korunmasını sağlayan temel mekanizma, suyun ve çözülmüş maddelerin geçişini mümkün kılan osmoz ve hücre duvarının geçirgenliğidir(Toreggiani ve Bertolo,2004).

Mikroskobik bir yaklaşımla, hücresel düzeyde gıda kütle transferinin mekanizmaları apoplasmik, soplasmik ve transmembrandır (Derossi vd.,2008; Fito vd.,1996). Mikroskobik bir yaklaşımla, gıda ozmotik bir çözelti ile temas ettiğinde, ozmotik bir maddenin hücre içi ve hücreler arası transferi gerçekleşir, bu transfer gıda ve çözeltinin özellikleri, su ve madde arasındaki kimyasal potansiyel farkı ve dehidrasyon parametrelerine göre gerçekleşir. Gıdaların kurutulması sırasında gözlenen kimyasal bileşimdeki değişiklikler aynı zamanda büzülme, azalan gözeneklilik ve hücre parçalanması gibi yapısal değişikliklerle sonuçlanır.

Literatürde bahsedilen bir diğer mikroskobik yakınsama mekanizması hidrodinamik mekanizmadır. Bu mekanizmada, farklı gıdaların aynı ozmotik dehidrasyon koşullarında suya farklı etkili difüzyon katsayıları vermesi, gıdanın

gözeneklerdeki kılcal basınç farkı ile açıklanır ve basınç ozmotik dehidrasyonun itici gücüdür (Derossi vd.,2008).

3.2. Ozmotik Dehidrasyonda Kütle Transfer Hızını Etkileyen Faktörler

Ürünün çeşit ve olgunluğu, ön işlemler, sıcaklık, Ozmotik madde konsantrasyonu ve niteliği, ürünün geometrisi, karıştırılması, çözelti oranı, kimyasal özellikleri, basınç gibi faktörler transfer hızını etkileyebilecek faktörlerdir (Ramaswamy,2007; Ponting vd.,1966).

3.2.1. Ozmotik Dehidrasyon İşleminin Sıcaklığı

Ozmotik çözeltinin sıcaklığının belli bir sınıra kadar artması, ozmoz hızını artırır. Çözeltinin sıcaklığı yükseldikçe, genellikle daha düşük viskoziteli bir çevre oluşur ve yüzeyde daha etkili kütle transferi gerçekleşir, bu da daha fazla su kaybına yol açar. Sıcaklık daha fazla yükseldikçe, hücre zarının yarı geçirgenliği değişir ve ozmoz oranı azalır. Aynı zamanda, hücre zarı hasar gördükçe ürünün yapısal özellikleri değişir ve katı madde miktarı artar. Bu nedenle sınır sıcaklığı 60 °C olarak belirlenmiştir. Ancak, 49°C'nin üzerinde enzimatik reaksiyonlar ve aroma kaybı gözlemlenmiştir (Le Maguer,1988; Ramaswamy,2007; Ponting vd.,1966).

3.2.2. Ozmotik Dehidrasyon Öncesi İşlemlerin Etkisi

Meyveyi enzimatik kararmaya karşı korumak için kurutma öncesi ön işlemlerden biri olan %1'lik sitrik asitte ıslatma kullanılmıştır. Meyveler kurutulmadan önce yağ esterlerinin alkali veya asidik çözeltilerine batırılarak renk bozulmasına karşı korunur (Hussain vd.,2004, Sunjka ve Raghavan,2004). Torreggiani (1993), meyve ve sebzelerin kurutulmadan önce ağartma veya kimyasallarla (SO₂ vb.) ön muameleye tabi tutulmasının renk kaybını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Kaynamanın veya donmanın, su kaybının yanı sıra katılardaki artış oranını arttırdığı bildirilmiştir. Bu, hücre duvarının geçirgenliğinin artması ve seçiciliğinin azalması ile açıklanmaktadır (Ponting,1973; Torreggiani,1993).

3.2.3 Ozmotik Dehidrasyon Süresi

Ozmotik kurutma işlemi, uzaklaştırılan su miktarı en fazla ve katı madde miktarı en düşük seviyeye ulaşana kadar sürdürülebilir, bu şekilde dehidrasyon süresi belirlenir. Optimal dehidrasyon süresi, ürünün yapısı, boyutları ve işlem koşulları tarafından etkilenir. Özellikle yüzey geçirgenliği düşük olan meyvelerde, işlem süresi daha uzun

olabilir. Süzkroz çöztisinde ozmotik dehidrasyonun üzümlerdeki sıvının %30'u uzaklaştırmak için 48 saat ve %60'ı uzaklaştırmak için 144 saat gerektirdiği belirtilmiş olup ozmotik işlem süresinin uzatılmasının ürünlerin duysal özelliklerinde ve raf ömürlerinde önemli bir avantaj getirmediği tespit edilmiştir (Maftoonazad,2010).

3.2.4. Ürünün Geometrik Şekli ve Boyutu

Kurutma sürecindeki kütle transfer hızı, örnek geometrisi ve boyutlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu değişimler, birim hacmin yüzey alanına bağlı olarak meydana gelir. Kurutulan malzemenin yüzey alanı arttıkça su kaybı da artar, ancak dilim kalınlığı arttıkça kütle kaybı daha az olur. Bir araştırmada, aynı kurutma şartlarında, elma dilimlerinin kalınlığı 10 mm'den 5 mm'ye indirildiğinde, ağırlık kaybının yaklaşık olarak 1,3 kat arttığını göstermişlerdir (Contreras ve Smyrl,1981).

Farklı bir çalışma da ise yüzey alanı baz alınarak yapılan deneyde yüzey alanın kalınlığa olan oranı arttıkça su kaybının arttığđı dolayısı ile katı kazanımının da arttığđı daha sonradan ise azaldığđı belirtilmiştir (Lerici vd.,1985).

3.2.5. Çözteli/Hammadde Oranı

Bazı araştırmacılar işlem sürecinde çözteli konsantrasyonunun düşmemesi için çözteli/hammadde oranının yüksek olması gerektiğini belirtmiştir (Chandra ve Kumari,2015). Ancak başka bir çalışma, çok miktarda çözteli kullanımının pratik uygulamalar için ekonomik olmadığı sonucuna varmış ve ozmotik kurutmada kullanılan optimum çözteli/hammadde oranının 4-6 arasında olması gerektiğini önermiştir. Ayrıca, ozmotik kurutma sırasında seyreltik çözteleri konsantre etmenin ve yeniden kullanmanın ekonomik avantajları olabileceği de kaydedilmiştir (Garcia-Martinez vd.,2002).

Bir diğer çalışmada ise su kaybının orana bağlı değiştğini fakat katı kazancının kaideye alınmayacak kadar az değiştğini belirtmiştir (Flink,1980).

3.3. Ozmotik Dehidrasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar:

İşlemin düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesinden dolayı aroma ve renk kaybı en düşük seviyededir.

Ön işlem olarak kullanıldığında bir sonraki işlemde maliyetten tasarruf edilir.

Katı kazanımı ile ürünün yoğunluğu arttırılmaktadır.

Diğer işlemlere göre ürünlerin raf ömrü daha fazla arttırılmaktadır.

İşlemlerde basit ekipmanlar kullanılmakta buda maliyetin çok düşük olmasını sağlamaktadır.

Kısmi kurutma yapılan ürünlerin rehidrasyonundan sonra yapısal özellikleri daha iyi olmaktadır.

Enerji tüketimi çok azdır.

Dezavantajlar:

Uzun zaman alabilen bir işlemdir.

Bazı kombine işlemlerde maliyeti artmaktadır.

İşlem sonrası kazanılan ürünlerin su aktivitesi daha yüksek olmaktadır.

Asit seviyesinin azalması karakteristik tadın azalmasına sebep olur.

İşlem sonrası yüzeydeki suyun hızlı bir şekilde giderilmesi gerekir (Garcia-Martinez vd.,2002; Flink,1980).

3.4. Mikrodalga Destekli Ozmotik Dehidrasyon

Ozmotik kurutma, meyve ve sebzeleri ozmotik bir çözelti içinde tutarak su oranını düşürme uygulamasıdır. Ozmotik kurutmada üründen su uzaklaştırma miktarını ve hızını farklı faktörler etkiler. Osmoz ile meyve ağırlığı kaybı; uygulama süresi ve sıcaklığı, çözelti/meyve oranı ve meyve özgül yüzey alanı eşdeğerliği arttıkça ozmotik çözelti konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir (Cemeroğlu,2004). Ozmotik kurutma, diğer kurutma yöntemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmekte, bu sayede ürünlerdeki renk ve aroma maddelerinin kaybı en aza indirilmekte, kuruma süresi ve enerji tüketimi azaltılmaktadır. Genel olarak, ozmotik dehidrasyondan sonra kurutulmuş numunelerin rehidrasyon özellikleri iyileştirildi; ürünlerin renk, doku ve görünüm açısından çok yüksek kaliteli ürünler olduğu ve aroma ve tat açısından kabul edilebilir seviyelerde olduğu belirtilmiştir. Venkatachalapathy and Raghavan(1999), %2 etil oleat ve %0.5 NaOH solüsyonunda maserasyon ile ön işleme tabi tutulan çilek

örnekleri, ozmotik olarak kurutuldu ve işlenmemiş örneklerle karşılaştırıldı. Ön işlem görmüş ve kurutulmuş numuneler, ön işlem görmemiş numunelerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Ozmotik kurutmadan sonra çilek örnekleri sıcak hava kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma ile kurutuldu. Rehidrasyon oranı, yapı ve renk gibi kriterlere göre kalite değerlendirmesi yapılır. Mikrodalgada kurutulmuş örnekler, dondurularak kurutulmuş çilek örneklerine göre daha kısa kuruma sürelerine ve benzer kalite parametrelerine sahipti. (Beaudry ve diğ.,2004), Kısmen kurutulmuş kırmızı yabanmersini, az miktarda nem içerecek şekilde sıcak hava, mikrodalga konveksiyonla kurutma, dondurarak kurutma ve vakumla kurutma ile kurutulur. Tüm ürünler yapı, renk, su aktivitesi, görünüm, tat ve rehidrasyon oranı gibi kriterler dahil olmak üzere kalite açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Renk ölçüm ve su aktivitesinde önemli bir fark bulunmamıştır (Venkatachalapathy ve Raghavan,1999).

Farklı bir araştırmada mantarlar kullanılmış, mikrodalga ile gerçekleştirilen kurutma öncesinde mantarlara ozmotik kurutma işleminin faydaları belirlenmiştir. Bu bağlamda, ozmotik kurutma yöntemi kullanılarak mantarların içerdiği katı madde miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, mantarların dielektrik özelliklerinde değişim meydana gelerek kurutma süresini kısaltmış ve büzülmeyi azaltmıştır. Bununla birlikte, gözenekli yapıyı iyileştirerek ve tekrar su emme yeteneklerini artırarak mantarların homojen bir biçimde ısınmasına yardımcı olmuştur.

Başka bir incelemede elma parçaları kullanılmış, mikrodalga ile kurutma işlemi öncesinde elma parçalarına ozmotik kurutma işleminin etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada, ozmotik işlemin sonradan gerçekleştirilen mikrodalga kurutma süresini kısaltıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutma öncesinde ozmotik kurutma işleminin ürünün kalitesini artırdığı belirlenmiştir (Suna vd.,2015).

BÖLÜM IV

MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Kurutulacak Ürün

Lamas, Türkiye'nin en eski ve ünlü limon türlerinden biridir. Adını, Mersin ili Erdemli ilçesine bağlı Limonlu Beldesi'nde bulunan Lamas Çayı ve Vadisi'nden almıştır. Bu limon türünün meyveleri parlak sarı renklidir. Son derece yüksek kaliteli meyvelere sahip olan Lamas limonu, bol su içeriğiyle dikkat çeker ve özellikle aroması belirgindir. Kabuğu pürüzsüz ve ortalama kalınlıktadır. Meyve şekilleri uzun ve silindriktir, stil ucunda belirgin bir görünüm vardır, bu nedenle meyveler belirgin bir sivri görünüm sergiler. Meyve suyu içeriği %34,96 iken asit miktarı %7,19'dur. Her bir meyvede ortalama 8-9 çekirdek bulunur. Ağaçları sağlam ve dayanıklıdır. Meyveler erken olgunlaşma eğilimindedir ve hasat işlemi Kasım ayının başında başlar. İhtiyaca bağlı olarak dikenli yapısı mevcuttur ve uzun süre muhafaza edilebilme özelliği gösterir. Bu olumlu özelliklerine rağmen, Lamas Çeşidi oldukça ekolojik koşullara seçici bir türdür. Yetiştirme alanının dışında, uygun olmayan ekosistemlerde meyve kalitesi düşebilir. Bu nedenle, Lamas limonu geniş çapta yetiştirilmeyen bir çeşittir.

4.1.2. Mikrodalga

Deneydeler de kullandığımız mikrodalga fırın şeklindeki Samsung MW5100J mikrodalga fırındır. 489*275*338 mm boyutunda, 23L kapasiteye, 288mm döner tablaya sahiptir. 6 farklı güç seviyesi 800W çıkış gücü vardır.



Şekil 4.1. Mikrodalga Fırın

4.1.3. Kullanılan Ölçü Aletleri

Denemeler sırasında limon dilimlerinin belirlenen süreler içerisindeki ağırlık ölçümleri İSOLAB marka arkadan aydınlatmalı ve geniş LCD göstergeli hassas terazi ile yapılmıştır. Kefe çapı 85 mm olan hassas terazinin boyutları 280x210x275 mm'dir. 0,001 hassasiyetinde olan bu terazinin tartım kapasitesi 320 gramdır.



Şekil 4.2. Hassas Terazi

Dilim kalınlığı ve çap genişliklerinin ölçümlerinde ise 0,01 mm hassasiyetinde paslanmaz çelik gövdeli dijital kumpas kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Kumpas

Limon dilimlerinin renk ölçümleri için ise Colormeter pro renk ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Renk Ölçüm Cihazı

4.2. Metot

4.2.1. Deneysel Yöntem

Deneylerde ozmotik dehidrasyon ön kurutma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış lamas cinsi limon dilimleri kurutulmuştur. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma işlemi için ozmotik dehidrasyon işleminden sonra limon dilimleri çözeltiden süzülerek çıkarılmış ve daha sonra mikrodalga fırına dizilerek kurutulmuştur. Ozmotik dehidrasyon işlemi oda sıcaklığında yapılmış olup, yapılan ön denemeler sonunda en uygun dilim kalınlığı 10 mm, katı/çözelti oranı 1/10, sodyum klorür çözelti derişimi %20 (w:v) ve ozmotik dehidrasyon süresi üç saat olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi, Samsung marka Ms23J5133At/tr model solo mikrodalga fırında kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi için kurutma süresi üst sınırı limon dilimlerinin yanmadığı sekiz dakika olarak belirlenmiş olup, her iki dakikada bir ölçüm alınmıştır. Mikrodalga kurutma işleminde mikrodalga güç seviyeleri, 100 W, 200 W ve 300 W olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, mikrodalga kurutma süresi ve güç seviyesi gibi kurutma parametrelerinin kurutma performans ölçütleri olan nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve renk parametreleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Deneylerde kurutma işlemi öncesi ve sonrası ölçümler, üç örnek için

yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Çapsal büzülme oranı, kurutma öncesi ve kuruyuma sonrası çap ölçümlerinden yararlanarak eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Eşitlik 1’de yer alan D_0 ve D_t ise kurutma öncesi ve kurutma sonrası örnek çapını (mm) ifade etmektedir (Aboud,2013; Darıcı,2012; Pandya ve Yadav,2014; Polatçı vd.,2018).

$$\text{Çapsal büzülme oranı} = \frac{D_0 - D_t}{D_0} \quad (1)$$

Nem kaybı eşitlik 2 deki gibi kurutmadan önceki ve sonraki kütle farkından yararlanarak hesaplanmıştır (Aboud,2013; Darıcı,2012; Pandya ve Yadav,2014; Polatçı vd.,2018). Bu eşitlikte yer alan M_0 ve M_s sırasıyla kurutma işlemine tabi tutulacak gıda dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrası ağırlıklarını (g) simgelemektedir.

$$\text{Nem Kaybı} = \frac{M_0 - M_s}{M_0} \quad (2)$$

Renk değişimi, FRU marka WR18 model renk analiz ölçüm cihazı ile L, a ve b renk parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen L, a ve b değerleri ürün hakkında tek başına bir anlam ifade etmezken bu değerler kullanılarak renk değeri açısından önemli olan kroma, kahverengileşme indeksi, renk değişim ve hue açısı hesaplanmıştır. L parlaklık (aydınlık) değeri olup 0 ile 100 arasında değerler alır. Değerin 100 olması beyaz, 0 olması ise siyah rengi belirtir. a değeri -60 ile +60 değerleri arasında değişir. a negatif değeri, yeşil rengi belirtirken, pozitif değeri kırmızı rengi belirtir. b pozitif değeri sarı rengi belirtirken, negatif değeri ise mavi rengi belirtir (Polatçı vd.,2018, Polatçı ve Taşova,2017).

Kroma değeri (K), eşitlik 3 ile hesaplanmıştır (Altuntas vd., 2020).

$$K = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3)$$

Hue renk açısı (h), a ve b nin pozitif veya negatif olma durumuna göre eşitlik 4 den eşitlik 7 ye kadar olan uygun denklem seçilerek hesaplanmıştır (Çetin vd.,2019).

$$h = \arctan (b/a), (a > 0 \text{ ve } b \geq 0) \quad (4)$$

$$h = 180 + \arctan (b/a), (a < 0 \text{ ve } b \geq 0) \quad (5)$$

$$h = 180 + \arctan (b/a), (a < 0 \text{ ve } b < 0) \quad (6)$$

$$h = 360 + \arctan (b/a), (a > 0 \text{ ve } b < 0) \quad (7)$$

Toplam renk değışim değeri (ΔE), eşitlik 8 ile hesaplanmıştır (Polatcı vd.,2018).

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L^2) + (\Delta a^2) + (\Delta b^2)]} \quad (8)$$

Kahverengileşme indeksi (BI), eşitlik 9 ile x katsayısı hesaplanarak eşitlik 10 da yerine konularak belirlenmiştir (Polatcı vd.,2018).

$$x = [a + (1,75xL)] / [(5,645xL) (a(3,012xb))] \quad (9)$$

$$BI = 100(x - 0,31) / 0,17 \quad (10)$$

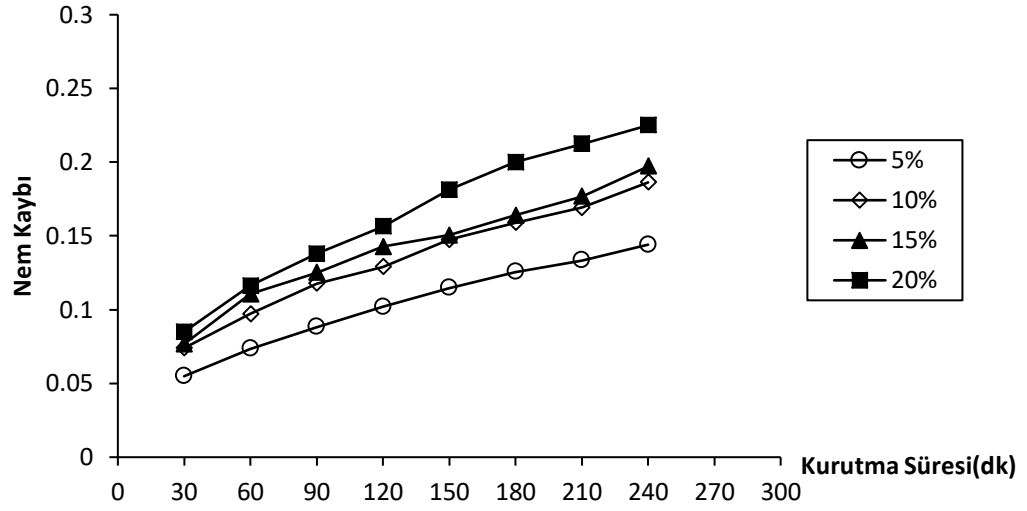
BÖLÜM V

5. BULGULAR

Belirli bir dilim kalınlığına sahip limon halkaları, her yöntemin etkisini incelemek amacıyla ayrı ayrı üç farklı yöntem kullanarak kurutulmuştur: ozmotik dehidrasyon, mikrodalga kurutma, ve mikrodalga destekli ozmotik dehidrasyon. Sonrasında, mikrodalga destekli ozmotik dehidrasyon kurutma işleminin en uygun koşullarını belirlemek için yanıt yüzey yöntemi kullanılarak deneysel bir tasarım yapılmıştır. Deneyler sonucunda ozmotik dehidrasyonun kurutma süresi, mikrodalga kurutma süresi, mikrodalga güç seviyesi, dilim kalınlığı, çözelti konsantrasyonu gibi faktörler ile birlikte nem kaybı, büzülme oranı ve renk değişimi gibi parametreler incelenmiş ve en uygun kurutma koşulları belirlenmiştir.

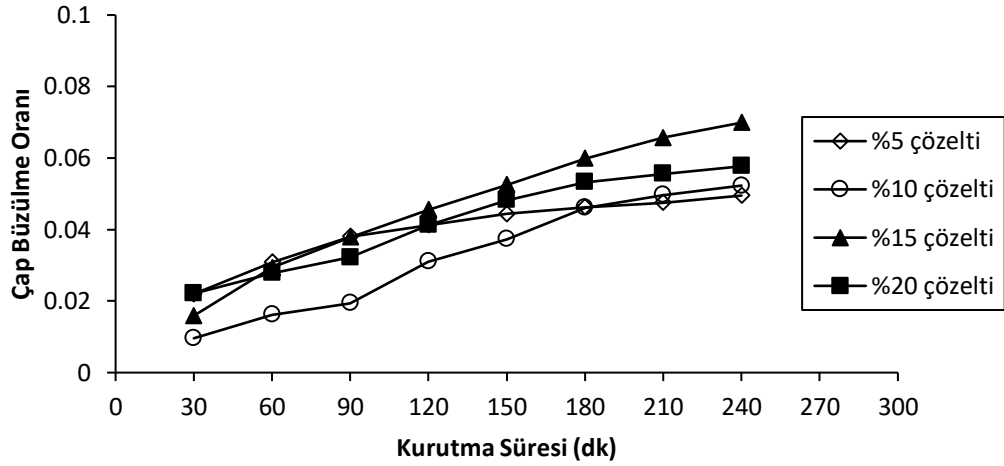
5.1. Ozmotik Dehidrasyon

Limon dilimleri, ozmotik dehidrasyon yöntemiyle kurutulmuştur. Kurutma süresi boyunca su kaybı, çapta meydana gelen büzülme oranı ve renk değerlerindeki değişim izlenmiştir. Aynı zamanda, L, a ve b renk parametrelerinden türetilen toplam renk değişimi, kromatiklik, kahverengileşme indeksi ve ton değeri değerlendirilerek analiz edilmiştir. Şekil 5.1'de, farklı çözelti derişimlerinde nem kaybının değişimi gösterilmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresi boyunca, su kaybı çözelti derişiminin artmasıyla birlikte artmıştır. Örneğin, %10 tuz derişimindeki nem kaybı, 4 saat sonra %14.4 iken, %20 derişiminde bu değere yaklaşık 1.5 saat içinde ulaşılmıştır. Derişimdeki artışla birlikte kurutma süresi kısalma eğilimindedir. Nem kaybı ve tuz alımı, ozmotik dehidrasyonun ilk aşamasında hızlı bir şekilde gerçekleşmiş ve daha sonraki aşamalarda kademeli olarak azalmıştır (Deepika ve Sutar,2017).



Şekil 5.1. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi ile nem kaybı değişimi

Şekil 5.2. de ozmotik dehidrasyon süresi boyunca farklı ozmotik dehidrasyon derişimleri boyunca çapsal büzölme oranı değişimi verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresince çapsal büzölme oranı artmıştır. Bu artış en fazla %15 derişimde gözlenmiştir. Nem kaybı artarken büzölme ozmotik dehidrasyon etkisiyle azalmıştır. Hipertonik çözelti konsantrasyonundaki artışla ozmotik dehidrasyon hızı artar. Bunun nedeni, ürün solüsyon arayüzü arasındaki ozmotik basıncın, çözünen konsantrasyonundaki artışla artmasıdır. Denge koşullarına ulaşmak için gereken süre, daha yüksek ozmotik konsantrasyon durumunda daha yüksektir. Ayrıca, ürüne NaCl göçü, numunenin çevresinde nemin uzaklaştırılması için bir bariyer oluşturan bir alt yüzey oluşturmuş olması olabilir (Deepika ve Sutar,2017).



Şekil 5.2. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi boyunca çapsal büzülme oranı değişimi

Tablo 5.1 de ozmotik dehidrasyon için kullanılan tuzun derişimi ve ozmotik dehidrasyon süresi ile kroma, kahverengileşme indeksi, hue açısı ve toplam renk değişimi değerlerindeki değişim verilmiştir. Kroma değeri tüm derişimlerde ozmotik dehidrasyon süresi ile azalmıştır. Kroma da azalma rengin donuklaşmasını göstermektedir. Kroma da en az değişim %20 tuz deriminde görülmüştür. Hue açısı, 95.631 ile 100.342 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi boyunca hue açısı azalmıştır. Hue açısında en az değişim %15 derişimde gözlenmiştir. Toplam renk değişimi, ozmotik dehidrasyon süresi ile artmıştır. En az değişim %15 derişimde olduğu görülmüştür. Kahve rengileşme indeksi, ozmotik dehidrasyon süresi boyunca negatif yönde artmıştır. Kahverengileşme indeksinde en az değişim %15 derişimde görülmüştür. Renk parametrelerinin korunmasında %15 tuz derişiminin etkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.1. Ozmotik dehidrasyon kurutmaya ait renk parametreleri

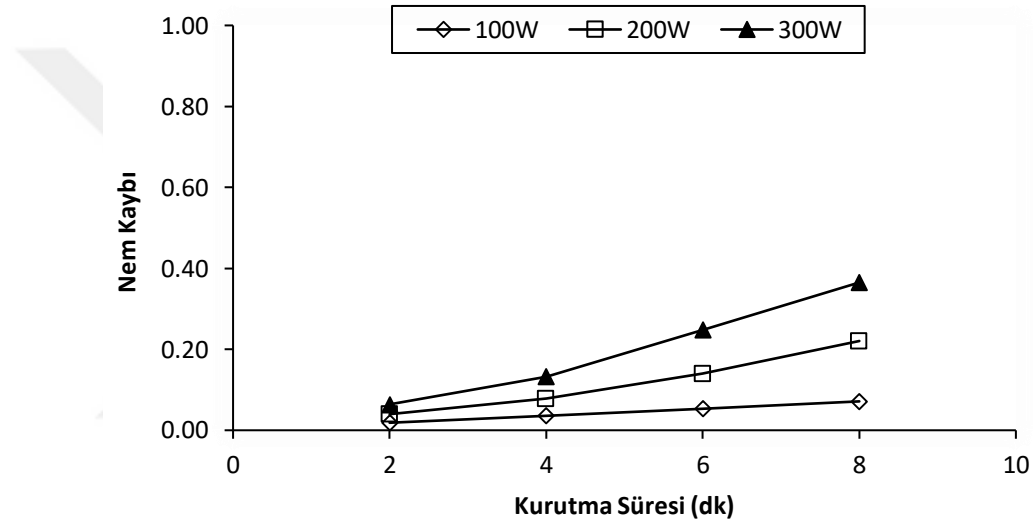
K	t(dk)	Çözelti Derişimi			
		5%	10%	15%	20%
	0	17.032	15.618	17.935	16.534
	30	16.506	15.125	17.526	16.323
	60	16.095	14.320	16.832	16.013
	90	15.472	13.926	16.534	15.704
	120	14.864	13.613	16.323	15.505
	150	14.354	13.416	16.224	15.195

	180	14.029	13.005	15.926	14.986
	210	13.818	12.560	15.616	14.677
	240	13.495	12.347	15.406	14.269
HUE	0	99.462	99.583	97.046	97.297
	30	99.063	99.898	96.882	97.038
	60	98.936	100.054	97.167	96.814
	90	98.549	100.342	97.297	96.582
	120	98.512	100.154	97.038	96.667
	150	98.412	100.305	97.081	96.423
	180	97.784	100.187	97.214	96.129
	210	97.485	99.162	96.988	95.866
	240	96.809	98.852	96.710	95.631
AE	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	30	0.336	0.206	0.276	0.276
	60	0.422	0.381	0.355	0.385
	90	0.568	0.433	0.394	0.471
	120	0.642	0.509	0.465	0.490
	150	0.694	0.529	0.480	0.557
	180	0.759	0.590	0.501	0.615
	210	0.794	0.704	0.567	0.671
	240	0.853	0.743	0.619	0.727
BI	0	-183.600	-183.820	-183.859	-184.068
	30	-183.739	-183.869	-183.968	-184.178
	60	-183.833	-184.020	-184.035	-184.312
	90	-184.027	-184.068	-184.066	-184.463
	120	-184.175	-184.181	-184.175	-184.490
	150	-184.332	-184.208	-184.186	-184.663
	180	-184.592	-184.351	-184.221	-184.843
	210	-184.754	-184.734	-184.359	-185.067
	240	-185.121	-184.903	-184.501	-185.346

5.2. Mikrodalga Kurutma

Limon dilimleri ozmotik dehidrasyon uygulanmamış sadece mikrodalga kurutma (MD) ve mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma (MOD) olmak üzere iki farklı kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Mikrodalga kurutma yönteminde üç farklı mikrodalga güç seviyesinde kurutma süresi boyunca nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve renk değerlerinin değişimi belirlenmiştir. Ayrıca L, a ve b renk parametrelerinden toplam renk değişimi, kroma, kahverengileşme indeksi ve hue değeri belirlenerek değerlendirilmiştir.

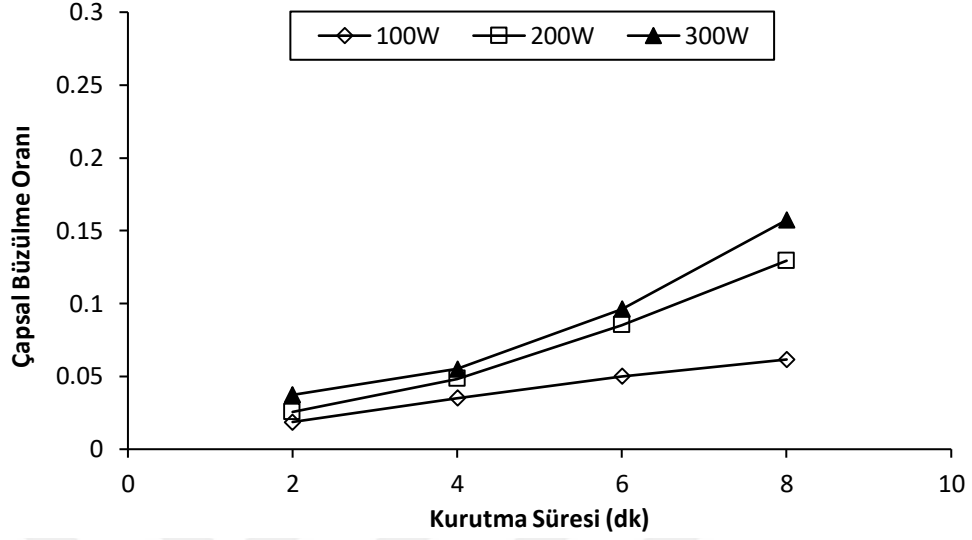
Şekil 5.3 de kurutma süresi boyunca farklı mikrodalga güç seviyelerinde nem kaybı değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere mikrodalga kurutma yönteminde nem kaybı, kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi ile artmıştır. Ancak 100 W mikrodalga gücünde kurutma süresi boyunca önemli bir artış olmamıştır. Kurutma periyodu sonunda en yüksek mikrodalga gücü 300 W mikrodalga gücünde nem kaybı %36.51 ve en düşük mikrodalga gücü 100 W da nem kaybı %7.14 bulunmuştur. 300 W mikrodalga gücünde iki dakika kurutma süresi sonunda nem kaybına 100 W mikrodalga gücünde kurutma periyodu sonunda ulaşılmıştır. Mikrodalga uygulamalarında artan nem kaybıyla ürün miktarı azalır ve absorbe edilen güç miktarı artar dolayısıyla kurutma işlem süresi kısalmıştır (Sezer ve Demirdöven,2015; Dinçer vd.,2021).



Şekil 5.3. Mikrodalga kurutmada nem kaybı değişimi

Şekil 5.4 de mikrodalga kurutma süresince farklı mikrodalga güç seviyelerinde çapsal büzülme oranı değişimi verilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde büzülme oranı, kurutma süresi boyunca ve mikrodalga güç seviyelerinde nem kaybına bağlı olarak artmıştır. Üründeki nem içeriği azalırken yoğunluğu artmış ve ürün büzülmüştür (Talla vd.,2004). 100 W mikrodalga gücünde iki dakika mikrodalga kurutma süresinde büzülme oranı 0.019 iken sekiz dakika kurutma süresi sonunda 0.06 dır. Kuruma işleminin uzun sürmesi durumunda yoğunluk artışıyla birlikte büzülme oranı artmıştır (Heybeli ve Ertekin,2007). 100 W mikrodalga gücünde sekiz dakikalık kurutma süresi

sonunda büzülme oranı 300 W güç seviyesinde yaklaşık dört dakika sonunda elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Mikrodalga kurutmada çapsal büzülme oranı değişimi

Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma işleminde, 10 mm dilim kalınlığında limon dilimleri oda sıcaklığında 1/10 katı/çözelti oranı, %20 (w:v) derişiminde sodyum klorür çözeltisinde üç saat bekletilmiş daha sonra limon dilimleri çözeltiden süzülerek çıkarılarak mikrodalga fırına dizilerek kurutulmuştur. Şekil 5.5 de Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma süresi boyunca nem kaybı değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma yönteminde kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi ile nem kaybı artmıştır. 100 W mikrodalga gücünde kurutma süresi boyunca önemli bir artış olmamıştır. Nem kaybındaki artış en fazla 300 W da olmuştur. Mikrodalga ile birlikte ozmotik kurutmada nem kaybı, ozmotik dehidrasyon ön kurutma işleminden dolayı mikrodalga kurutmaya göre daha fazla olmuştur. Bu sonuç, mikrodalga kurutma öncesi uygulanan ozmotik dehidrasyon ile nemin bir kısmının giderildiğini göstermektedir.

Tablo 5.2. Mikrodalga Kurutma uygulanan limon dilimlerinin renk parametreleri

		Kurutma Süresi	Mikrodalga Güç Seviyesi		
			100 W	200 W	300 W
Mikrodalga Kurutma	K	Taze	14.269±0.015	14.525±0.022	12.454±0.016
		2	13.762±0.013	13.793±0.013	11.297±0.015
		4	12.847±0.027	13.186±0.012	10.806±0.015
		6	12,341±0,021	12,479±0,019	10.474±0.022
		8	10.631±0.021	10.966±0.017	9.489±0.013
	h	Taze	84.369±0.047	82.484±0.058	78.419±0.054
		2	84.579±0.068	83.339±0.069	79.287±0.054
		4	85.088±0.050	83.468±0.057	78.794±0.052
		6	85.352±0.044	83.558±0.059	79.548±0.053
		8	85.684±0.055	83.718±0.055	82.126±0.053
	ΔE	Taze	0	0	0
		2	0.082±0.002	0.166±0.005	0.189±0.006
		4	0.238±0.004	0.235±0.005	0.218±0.005
		6	0.322±0.004	0.305±0.006	0.301±0.006
		8	0.504±0.006	0.447±0.005	0.547±0.005
	BI	Taze	-184.108±0.004	-183.613±0.004	-183.467±0.004
		2	-184.317±0.004	-183.937±0.004	-183.824±0.005
		4	-184.850±0.005	-184.125±0.005	-183.893±0.005
		6	-185.220±0.005	-184.364±0.005	-184.114±0.003
		8	-186.534±0.005	-185.035±0.004	-185.219±0.004

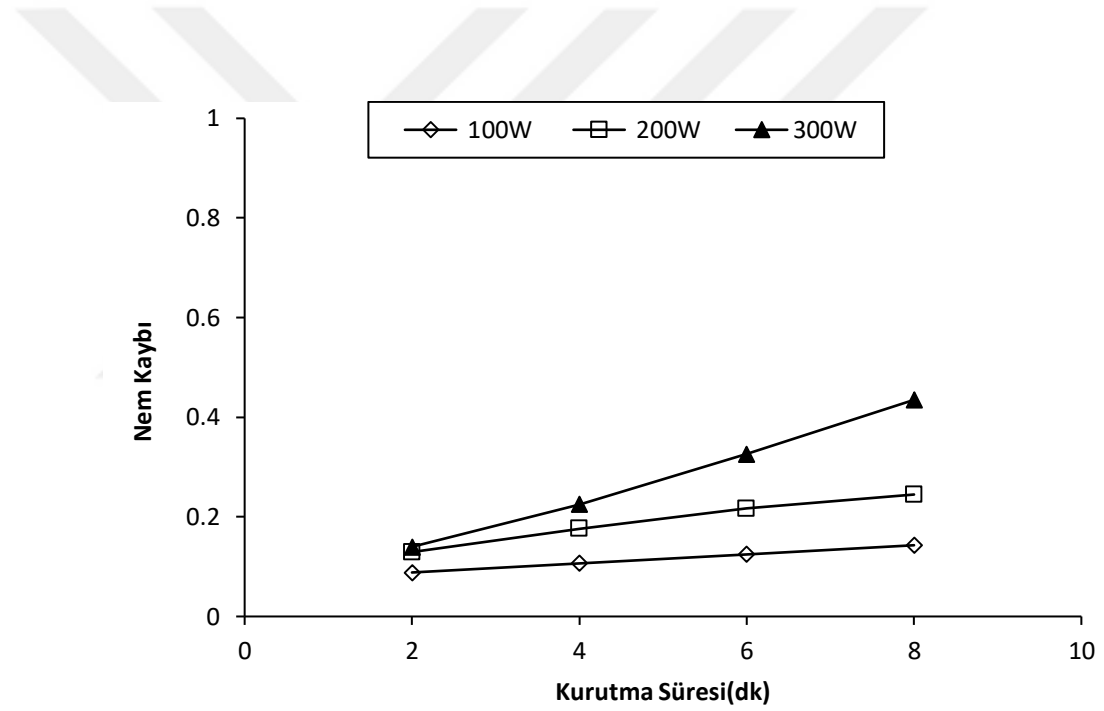
Kroma değeri (K), renklerin canlılığının göstergesi olup bu değerin azalması ile ürünün kurutulmasından sonraki evrede renklerin tazeliğini ne kadar koruduğu konusunda önemli fikirler verir bu durum ürünün son kalite değerleri açısından da önemlidir. Mikrodalga kurutma süresi ve güç seviyesi artıkça kroma değeri almaktadır. En belirgin değişim 300W güçte olurken, taze değere yakın olan değer 100W güçte 2 dk kurutma süresinde saptanmıştır.

Hue açısında(h), ise 100W ve 200W güçte önemli bir değişim gerçekleşmemiş taze ürün değerine yakın değerler gözlenmiştir ancak 300W güçte ve 8 dk da önemli bir değişim olup taze ürün değerinden diğer kurutma sürelerine göre daha fazla uzaklaşmıştır.

ΔE , toplam renk değişim değerleri farklarını belirlemek için hesaplamalara eklenir. 3 farklı güçte de yani güç değişimi ya da güç artırımı fark etmeksizin 2.dk da önemli bir fark meydana gelmiş olup daha sonraki kurutma sürelerinde önemli bir değişim olmamıştır.

BI, kahverengileşme değeri taze ürüne göre en belirgin değişim 100W güçte 8.dk gözlemiştir. 100w güçte 8.dk dan önce, 200W ve 300W güç seviyesinde taze ürüne göre kahverengileşme değerinde önemli bir fark gözlenmemiştir.

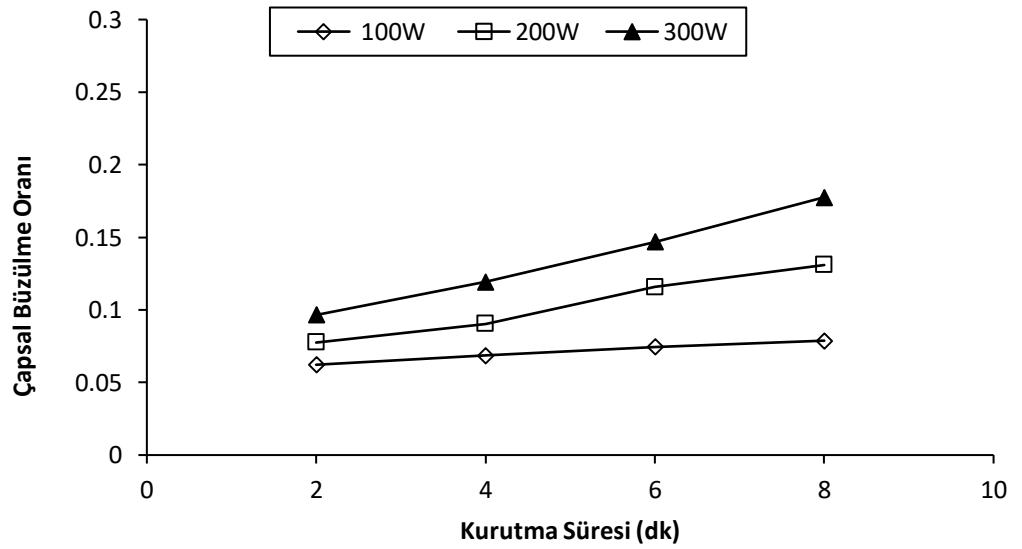
5.3. Mikrodalga ve Ozmotik Dehidrasyon Birlikte Kurutma



Şekil 5.5. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma işleminde nem kaybı değişimi

Şekil 5.6 da mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma süresince farklı mikrodalga güç seviyelerinde çapsal büzülme oranı değişimi verilmiştir. Çapsal büzülme oranı, kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi nem kaybına bağlı olarak artmıştır. Ancak büzülme oranındaki bu artış, mikrodalga kurutmadakinden daha azdır. Nem kaybı artarken ozmotik dehidrasyon ön işleminden dolayı katı kazanımı ile büzülme oranı

azalmıştır. 100 W mikrodalga gücünde büzülme oranında kurutma süresiyle önemli bir değişim olmazken 200 W ve 300 W da artış olmuştur. 300 W güç seviyesinde iki dakika sonundaki büzülme oranı, 100 W mikrodalga gücünde sekiz dakikadan daha fazladır. Ozmotik dehidrasyon ön kurutma işlemi uygulanan üründen su difüzyonla taşınırken ve çözülebilir maddeler ise taşınım ile ozmotik çözeltiye geçer ve ozmoaktif ajanın ürüne geçişinden dolayı daha az büzülme görülür (Taiwo ve Adeyemi,2009). Ayrıca ürünün mikrodalga ile kurutulması işlemine ozmotik ön işlem uygulanması, katı madde miktarının artması ile dielektrik özellikleri değişmesine dolayısıyla büzülmenin azalmasına, kurutma süresinin azalmasına, tekrar su almayı ve gözenekliliği iyileştirerek homojen ısı dağılımını sağlamaktadır (İzli,2012; Yağcıoğlu,1994; Tunçer,1990).



Şekil 5.6. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutmada büzülme oranı değişimi

Hunter renk parametreleri L^* , a^* ve b^* renk kaybının belirlenmesinde öncelikle ürünlerdeki kalite kontrol için başvurulacak değerlerdir (Maskan,2001). Mikrodalga gücü ile a^* değerindeki negatif yönde meydana gelen artış yeşilliğin arttığını göstermektedir. b^* değerinin azalması sarılıktan uzaklaşma anlamına gelir. Yüksek güç değerinde yapılan kurutma işlemi ürünün sarılık değerinin muhafazasına olumsuz etki ederken düşük güç değerinde yapılan kurutma işleminin ise olumlu etki ettiği belirlenmiştir (Polatçı ve Taşova,2018). L^* değerindeki azalış esmerleşme reaksiyonlarına işaret etmektedir.

Yüksek mikrodalga gücü, mikrodalga kurutma süresi düşük L^* ye dolayısıyla daha mat görünüşe sebep olmaktadır (Turgut ve Topuz,2020; Sezer ve Demiröven,2015). Limon dilimleri beyaz sarı arasında renk tonuna sahip olduğundan özellikle L^* ve b^* renk değerleri önemlidir. Tablo 5.2 de verilen kroma (K), hue açısı (h), toplam renk değişimi (ΔE) ve kahverengileşme indeksi (BI) gibi renk parametreleri tazeye göre L^* , a^* ve b^* değerlerinin değişmesiyle farklılaştığı belirlenmiştir.

Tablo 5.3. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutulan limon dilimlerinin renk parametreleri

Renk Parametreleri			Kurutma Süresi (dk)	Mikrodalga Güç Seviyesi (W)		
				100 W	200 W	300 W
	Mikrodalga İle Ozmotik Kurutma	K	Taze	14.599±0.024	18.697±0.023	14.073±0.036
2			13.653±0.020	17.449±0.022	12.876±0.027	
4			13.231±0.021	16.731±0.032	12.249±0.031	
6			12.771±0.020	16.021±0.024	11.328±0.026	
8			12.192±0.013	15.208±0.020	10.517±0.024	
h		Taze	83.313±0.080	84.168±0.033	81.006±0.068	
		2	84.958±0.064	85.727±0.054	83.758±0.059	
		4	86.101±0.068	86.573±0.060	84.848±0.029	
		6	87.756±0.071	87.138±0.035	85.951±0.028	
		8	89.061±0.071	88.116±0.030	86.731±0.024	
ΔE		Taze	0	0	0	
		2	0.302±0.003	0.324±0.003	0.374±0.002	
		4	0.482±0.001	0.487±0.003	0.518±0.002	
		6	0.719±0.004	0.601±0.003	0.668±0.003	
		8	0.901±0.003	0.765±0.002	0.774±0.002	
BI		Taze	184.755±0.002	-184.029±0.005	-184.276±0.003	
		2	186.003±0.004	-184.988±0.005	-185.668±0.003	
		4	187.386±0.004	-185.934±0.005	-186.796±0.002	
		6	191.776±0.005	-187.036±0.006	-188.975±0.004	
		8	207.115±0.005	-190.269±0.004	-191.881±0.003	

Kurutulmuş ürünlerin son kalite değerleri hakkında kroma değeri önemli bir fikir vermektedir (Polatçı ve Taşova,2020). Kroma değeri, rengin saflığını veya doygunluğunu göstermektedir. Soluk renklerde kroma değerleri düşerken canlı

renklerde ise kroma değeri yükselmektedir (Mutlu ve Güneş,2008). Tablo 5.1'e göre mikrodalga kurutmada, kroma değerleri kurutma süresinin artması ile tazeye göre azaldığı belirlenmiştir. Kroma değeri, 100 W ve 200 W mikrodalga güç seviyesinde önemli bir değişim olmazken 300 W da düşmüştür. Kroma değeri açısından kurutulmuş ürünler kendi aralarında kıyaslandığında tazeye en yakın değer 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada kroma değerleri, mikrodalga kurutmadakine göre daha fazladır. Kroma değerleri, kurutma süresinin artması ile azalmıştır. Kurutulmuş ürünlerin kroma değerlerinin taze ürünün kroma değerine göre tüm kurutma güç değerlerinde uzaklaştığı belirlenmiştir. Bunun nedeni a^* ve b^* değerlerindeki değişimdir. Güç değerinin artması ile kroma değeri azalmıştır. Uygulanan en yüksek güç değerinde tazeye göre kroma değerinde en fazla uzaklaşmanın gerçekleştiği kurutma şartı olarak belirlenmiştir.

Hue açısı, renk tonunu ifade etmektedir. a ve b değerlerinin 360° 'lik bir renk dairesi içerisinde 0° açısı değeri, kırmızı-mor, 90° açısı değeri sarı rengi, 180° açısı değeri mavimsi-yeşil, 270° açısı değeri ise mavi rengi göstermektedir (Altuntas vd.,2020). Mikrodalga kurutmada hue açısı, 94-101 arasında değişmiştir. Hue açısında, 100 W ve 200 W da mikrodalga kurutma süresi ile önemli bir değişim görülmezken, sabit kurutma süresinde mikrodalga gücü ile artış gözlenmiştir. Tablo 5.1 den görüldüğü gibi mikrodalga kurutmada taze ürüne göre hue açısında sadece 300 W ve 8 dk da önemli fark olmuştur, diğer koşullarda hue açısında önemli bir değişim olmamıştır. Taze ürünün hue renk değerinden en az uzaklaşmanın ise 100 W ve 2 dk değerinde yapılan kurutma işlemi olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada hue açısı, 90-99 arasında değişmiştir. Taze ürüne göre hue açısında kurutma süresi ile mikrodalga kurutmaya göre daha fazla bir azalma görülürken mikrodalga gücü ile kısmen artış olmuştur. Hue açısındaki düşüş, a^* ve b^* değerlerindeki düşüş ile beraber kahverengileşmeyi göstermektedir (Turgut ve Topuz,2020). Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada hue açısı 90° a kadar düşmüş olup, 90° değeri sarılığı ifade etmektedir. Hue değerinin 90° dan 180° e doğru gidildikçe yeşil rengin baskınlaşmaktadır (Şelem vd.,2021). Dolayısıyla mikrodalga kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon işleminin limon dilimlerinin sarı rengi koruyarak hue açısına olumlu katkısı olduğu görülmüştür.

ΔE değeri, kurutma süresince ürün renginin referans alınan noktadan uzaklaşmasının ölçüsüdür (Zorlügenç ve Fenerlioğlu,2012). ΔE değeri, taze ürünün renk değerlerine göre kurutma şartlarının etki ettiği toplam renk farklılık değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Çizelge 1’de görüldüğü üzere mikrodalga kurutma süresi ile ΔE değerleri artmıştır. Mikrodalga gücün artmasıyla 2. dk dan sonra önemli bir değişim olmamıştır. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada kurutma süresi ile ΔE renk değişimi artmış ancak mikrodalga güç seviyesi ile önemli bir artış görülmemiştir. ΔE renk değişimi en az mikrodalga kurutma da 100 W ve 2 dk kurutma koşullarında görülmüştür. Düşük mikrodalga güçlerinde L^* değerinin artmasıyla ürün parlaklaşıp, ΔE değeri düşmüştür (Sezer ve Demiröven,2015). Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutmada renk değişimi mikrodalga kurutmaya göre daha fazla olmuştur.

Tablo 5.2 de görüldüğü gibi mikrodalga kurutmada taze ürünün kahverengileşme değerleri sabit mikrodalga gücünde kurutma süresiyle artmış ve sabit kurutma süresinde artan mikrodalga güçle azalmıştır. 200 W ve 300 W mikrodalga güç seviyesinde ürünün kahverengileşme değerlerinde önemli bir fark görülmemiştir. Taze ürüne göre kahverengileşme değerindeki en fazla değişim 100 W güç değerinde ve 8 dk kurutma süresinde olduğu belirlenmiştir. Kurutma süresi boyunca tüm mikrodalga güç seviyelerinde 8 dk ya kadar kahverengileşme indeks değerleri arasında önemli bir fark görülmemiştir. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma da gücünün ve kurutma süresi ile kahverengileşme indeksi değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ayrıca mikrodalga kurutmaya göre mikrodalga destekli ozmotik kurutmada kahverengileşme indeksi değeri daha fazladır.

Mikrodalga kurutmada ısı merkezden yüzeye doğru transfer edildiğinden ürünlerdeki su içeriden yüzeye gelir ve yüzeyden buharlaşır. Bu işlem, yüzeyde aşırı ısınmaya neden olmadan kurumayı sağlar. Bu nedenle mikrodalga kurutma da konduktif ve konvektif kurutma yöntemlerinden yüzeysel olarak renk bozulması daha az olup, ürün rengi daha iyi korunur. Mikrodalga kurutma daha az kızarıklık artışına neden olur, bu da ürünlerin geleneksel hava ile kurutulmuş ürünlerden daha az kahverengi olduğu anlamına gelir (Darvishi vd.,2014). Düşük mikrodalga güçlerinde daha az renk değişimi gözlemlenmiştir (Polat vd.2020). Bunun nedeninin yüksek güç değerinde ürünün hızlı kuruyarak renk değerini muhafaza edememesidir (Polatcı ve Taşova,2018). Mikrodalgayla kurutulmaları sırasında ürünlerin L değerlerinde mikrodalga destekli

ozmotik dehidrasyona göre önemli derecede azalmanın gerçekleştiğini, ozmotik ön işlem gören örneklerin tazelerine göre parlaklıklarının azaldığı belirlenmiştir (Zorlugenç ve Fenerlioğlu,2012). Ozmotik dehidrasyon ön işlemi kurutma süresince renkteki bozulmaları engellediği ve diğer kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında renk değişiminin daha az etkilendiği belirlenmiştir. Ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında kuru madde kazanımı ile sarılık değerinin daha az etkilendiği görülmüştür.

5.4. Kütle Transferi

5.4.1. Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi

Bu çalışmada ozmotik dehidrasyon işlemi için tuz çözeltisi kullanılmıştır. Nem kaybı ve tuz alımı ozmotik dehidrasyonun ilk aşamasında hızlı ve daha sonra kademeli olarak azalır (Deepika ve Sutar,2017). Ozmotik dehidrasyon sırasında, üründen su difüzyon hızı ilk birkaç saat hızlıdır daha sonra dengeye ulaşana kadar kademeli olarak azalır aynı zamanda nem kaybı azaldığında ürüne doğru çözünen alım hızı artar (Prosapio ve Norton,2017).

Hipertonik çözelti konsantrasyonundaki artışla ozmotik dehidrasyon hızı artar. Bunun nedeni, ürün solüsyon arayüzü arasındaki ozmotik basıncın, çözünen konsantrasyonundaki artışla artmasıdır. Denge koşullarına ulaşmak için gereken süre, daha yüksek ozmotik konsantrasyon durumunda daha yüksektir. Ayrıca, ürüne NaCl göçü, numunenin çevresinde nemin uzaklaştırılması için bir bariyer oluşturan bir alt yüzey oluşturabilir (Deepika ve Sutar,2017). Ürünün NaCl çözeltisine batırılması, numune içindeki nem hareketliliğini ve dolayısıyla numuneden ozmotik çözeltiye su transferini artırır. Ürün önemli ölçüde su kaybeder ve kuru madde içeriği artar. Bu durum, sodyum ve klorür iyonlarının, daldırma sırasında bitki dokusuna nüfuz ettiği, büzülme azaltan dolayısıyla kütle transferini ve kuruma hızını artıran numune içindeki artan nem hareketliliği hücresel bölmeler içinde NaCl kristalleri olarak yeniden birleşmesiyle açıklanmaktadır (Al Harahsheh vd.,2009).

Ozmoz süresinin artmasıyla birlikte enerji verimliliği önemli ölçüde artar. Bu artış, ozmoz süresinin artmasıyla nem kaybının ve kuru madde miktarının artması ile açıklanabilir. Bu sonuç, numunenin daldırılması sırasında sodyum ve klorür iyonlarının sarı dokuya nüfuz etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca NaCl kristalleri daldırılan

ürünün hücresel kısımlarına nüfuz ettikçe hücreler uyarılır ve büzülme azalır (Azadbakht vd.,2018).

Gıda maddelerinde kuruma süresi boyunca nemin uzaklaşması azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir. Nemin uzaklaştırılmasında difüzyon, kapilarite ve taşınım gibi kütle transferi mekanizmaları rol oynamaktadır. Gıda maddelerinde efektif nem difüzyon katsayısının belirlenmesinde eşitlik 11'deki ikinci Fick yasası kullanılmaktadır (Kıpçak ve Yalçın,2019). Fick'in difüzyon modelinde konsantrasyon değişkeni yerine ürün ayrılabilir nem oranı (ANO) değeri kullanılmıştır (Göztok ve İçier,2017). Kurutma esnasında ürünün herhangi bir anda içerdiği nem içeriğindeki değişim, ANO ile ifade edilip, aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır. Burada, M herhangi bir andaki kuru baza göre ürünün nem içeriği, M_0 kuru baza göre ürünün ilk nem içeriği olup, $ANO = \frac{M}{M_0}$ dir (Tarhan ve ark.,2009; Ertuğrul ve Tarhan,2017).

$$\partial M / \partial t = \nabla [D_{eff} (\nabla M)] \quad (11)$$

Eşitlik 11 küresel koordinatlarda kararsız hal difüzyon için sadece nem transferinin difüzyondan kaynaklı olduğu, difüzyon katsayısının kurutma süresince sabit sıcaklıkta büzülmenin ihmal edilmesiyle aşağıdaki eşitlik 12 elde edilmektedir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$ANO = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{eff} \times t}{r^2} \right) \quad (12)$$

Eşitlik 12 de D_{eff} (m^2/s) etkin nem difüzyon katsayısı, r limon diliminin yarıçapı (m) ve t kurutma süresi (s) dir. Uzun kuruma süreleri için eşitlik 12'de ihmal edilebilecek kadar küçük olan bazı terimler ($n > 1$) ihmal edildiğinde eşitlik 13 elde edilir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$ANO = \frac{6}{\pi^2} \exp \left(-\pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} t \right) \quad (13)$$

Eşitlik 13'ün logaritmik basitleştirilmesi sonucu lineer formda eşitlik 14 elde edilmektedir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$\ln (ANO)= \ln \left(\frac{6}{\pi^2}\right)-\left(-\pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (14)$$

Eşitlik 14, yardımıyla $\ln (ANO)$ 'a karşılık çizilen t grafiğinin eğimi eşitlik 15'i vermektedir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$Eğim= \pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} \quad (15)$$

Eşitlik 15'den D_{eff} değerinin çekilmesi durumunda eşitlik 16 elde edilmekte ve bu eşitlikten D_{eff} değeri kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Efektif difüzyon katsayısına bileşim, nem miktarı, kurutma sıcaklığı ve gözeneklilik etki etmektedir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$D_{eff} = \frac{Eğim \times r^2}{\pi^2} \quad (16)$$

Mikrodalga kurutma işleminde sıcaklığın direkt olarak ölçülmesi mümkün olmadığından, mikrodalga kurutma prosesi için Arrhenius eşitliği, mikrodalga gücü ve numune kütesine bağlı olarak eşitlik 17 şeklinde ifade edilmiştir (Kıpçak ve Yalçın,2019).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a \times m}{P}\right) \quad (17)$$

Eşitlik 17, bulunan m yaş numune miktarı (kg) ve P mikrodalga cihazının gücünü (W) temsil etmektedir. m/P değerlerinin $\ln (D_{eff})$ e karşı grafiğe geçirildikten sonra bulunan eğim aktivasyon enerjisini vermektedir.

Bu çalışma da ozmotik dehidrasyon ile birlikte mikrodalga kurutma ve sadece mikrodalga kurutma ile kurutulmuş limon dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi ile ilgili veriler tablo 5.4 ve tablo 5.5 de verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon işlemi oda sıcaklığında yapılmış olup, yapılan ön denemeler sonunda en uygun dilim kalınlığı 10 mm, katı/çözelti oranı 1/10, sodyum klorür çözelti derişimi %20 (w:v) ve ozmotik dehidrasyon süresi üç saat olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi, Samsung marka Ms23J5133At/tr model solo mikrodalga fırında kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi için kurutma süresi üst sınırı

limon dilimlerinin yanmadığı sekiz dakika olarak belirlenmiş olup, her iki dakikada bir ölçüm alınmıştır. Mikrodalga kurutma işleminde mikrodalga güç seviyeleri, 100 W, 200 W ve 300 W olarak belirlenmiştir. Deneylerde kurutma işlemi öncesi ve sonrası ölçümler, üç örnek için yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

Tablo 5.4 te görüldüğü gibi 100, 200 ve 300 W mikrodalga güçleri için kurtulmuş limon dilimlerinin D_{eff} değeri 0.9576×10^{-7} - $2.3691 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ aralığında bulunmuştur. Bütün limonların kurutulması ile ilgili benzer bir çalışmada 50°C , 60°C ve 75°C arası sıcak hava kurutmalı kurutucuda sabit hava hızında 1 m/s kurutulması sırasında D_{eff} değerleri 0.163 - $9.008 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ arasında değişmiştir (Compaoré vd.,2022). Mikrodalga gücünün artmasına bağlı olarak D_{eff} değerinin arttığı gözlenmiştir. Yüksek mikrodalga güçlerinde su molekülleri daha fazla ısınır (Nizamlioğlu,2022). Mikrodalga gücündeki artış, üründe hızlı bir şekilde sıcaklığın ve basıncın artmasına neden olur. Böylece D_{eff} değeri artar (Kıpçak ve Yalçın,2019).

Eşitlik 17'nin logaritması alınarak $\ln(D_{eff})$ değerleri, m/P değerlerine karşılık grafiğe geçirilmiş ve eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi (E_a) 5.9286 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.4. MD. kurutma ile kurutulmuş limon dilimlerinin D_{eff} ve E_a değerleri

W	R ²	D_{eff}	E_a (kW/kg)
100	0.9935	0.9576×10^{-7}	
200	0.9623	1.2603×10^{-7}	5.9286
300	0.9875	2.3691×10^{-7}	

Ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga ile birlikte kurutma için limon dilimleri %20 tuz çözeltisinde 180 dk bekletildikten sonra 100, 200 ve 300 W mikrodalga güç seviyelerinde mikrodalga fırında kurutulması sırasında D_{eff} değerleri tablo 5 de görüldüğü gibi sırasıyla 3.3157×10^{-7} , 3.6416×10^{-7} ve $4.4356 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. Aktivasyon enerjisi 2.2128 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga ile birlikte kurutmanın D_{eff} değerleri sadece mikrodalga ile kurutmaya göre daha büyüktür. Diğer taraftan aktivasyon enerjisi daha küçük çıkmıştır. Daha büyük D_{eff} 'i daha az aktivasyon enerjisini belirtmektedir dolayısıyla daha hızlı kuruma gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca mikrodalga güç seviyesi arttıkça D_{eff}

değeri artmış ve bu artış sadece mikrodalga ile kurutmaya göre daha az olmuştur. Kurutma işleminde aktivasyon enerjisi ne kadar düşük olursa ürünün yapısından su moleküllerinin ayrılması daha kolay olmakta ve dolayısıyla kurutma işlemi daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca düşük E_a , kurutma işleminde daha yüksek nem difüzyonunu ve kuruma hızını gösterir. Yapılan çalışmalarda mikrodalga kurutma yönteminde diğer kurutma yöntemlerine kıyasla aktivasyon enerjisinin daha düşük olduğu ve bu sayede gıda maddelerinin kurutulmasının daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Nizamlioğlu,2022).

Ozmotik dehidrasyonla ürün su kaybederken kuru madde içeriği artar. Ozmotik dehidrasyon çözeltisi içerisinde sodyum ve klorür iyonları, daldırma sırasında bitki dokusuna nüfuz eder, kütle transferini ve numune içindeki artan nem hareketliliği hücresel bölmeler içinde NaCl kristalleri olarak yeniden birleşmesiyle kuru madde miktarı artar (Al Harahsheh vd.,2009).

Tablo 5.5. OD. ve MD. ile birlikte kurutulmuş limon dilimlerinin D_{eff} ve E_a değerleri

W	R ²	D_{eff}	E_a (kW/kg)
100	0.9661	3.3157E-07	
200	0.9929	3.6416E-07	2.2128
300	0.9826	4.4356E-07	

5.5. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Analizi

Bu çalışmada limon dilimleri mikrodalga destekli ozmotik kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Limon dilim kalınlığı, çözelti derişimi, ozmotik dehidrasyon süresi, mikrodalga güç seviyesi ve mikrodalga kuruma süresi gibi değişkenlerin nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve b renk değişimi üzerine etkileri belirlenmiştir. Kurutma deneyleri, Yanıt Yüzey Yöntemi (YYM) ile tasarlanmıştır. Bu çalışmada Box- Behnken deneysel tasarım yöntemi ile 29 gibi az sayıda deneyle optimum sonuca ulaşılmıştır. Deney sonuçlarıyla uyumlu bir matematiksel modeller elde edilmiş ve bu modelin ANOVA istatistiksel analizi yapılmıştır.

Mikrodalga destekli ozmotik kurutma işlemi için ozmotik dehidrasyon işleminden sonra limon dilimleri çözeltiden süzülerek çıkarılmış ve daha sonra

mikrodalga fırına dizilerek kurutulmuştur. Mikrodalga kurutma işlemi, Samsung marka Ms23J5133At/tr model solo mikrodalga fırında kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. 489*275*338 mm boyutunda, 23 L kapasiteye, 288 mm döner tablaya sahiptir. 6 farklı güç seviyesi ve maksimum çıkış gücü 800W'dır. Denemeler için Mersin'in Erdemli ilçesinde yetişen Lamas cinsi limon kullanılmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi oda sıcaklığında yapılmış olup, dilim kalınlığı 10 mm ve katı/çözelti oranı 1/10 olarak sabit alınmıştır. Deneylerde kurutma işlemi öncesi ve sonrası ölçümler, üç örnek için yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

Mikrodalga kurutucudaki kurutma işlemin deneysel tasarımı için Design Expert 13.0.trial kullanılmıştır. Deney tasarımında, dört değişken üç seviye için yanıt yüzey yönteminin Box-Behnken tasarımına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. 17 deney gerekli model noktası, 2 deney ek model noktası, 5 deney eksiklik noktası ve 5 deney tekrar olmak üzere toplam 29 deneme içeren bir tasarım oluşturulmuştur (Nurkhoeriyati ve ark., 2021). Tablo 5.5 te bağımsız değişkenlerden olan A ozmotik dehidrasyon kuruma süresi (60-180 dk), B çözelti derişimi (10-20 %w/v), C mikrodalga kurutucuda kurutma süresi (2-6 dk) ve D mikrodalga kurutucuda kurutma gücü (100-300 W) ifade etmektedir. Giriş değişkenlerinin seviyelerinin kod değerleri -1, 0, 1 olarak tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 5.6. Değişkenlerin gerçek ve kod değerleri

Bağımsız Değişkenler	Semboller	Kod Seviyeleri		
		-1	0	1
Ozmotik Dehidrasyon Kurutma Süresi (dk)	A	60	120	180
Çözelti Derişimi (%w/v)	B	10	15	20
Mikrodalga Kurutucudaki Kurutma Süresi (dk)	C	2	4	6
Mikrodalga Kurutucunun Kurutma Gücü (W)	D	100	200	300

Yanıt olarak (çıkış değişkenleri) uzaklaştırılan su kaybı (Y_{NK}), büzülme oranı (Y_{BO}) ve b renk değişimi (Y_B) seçilmiştir. Nem kaybı eşitlik 1 deki gibi kurutmadan önceki ve sonraki kütle farkından yararlanarak hesaplanmıştır (Darıcı,2012;

Aboud,2013; Pandya ve Yadav,2014). Bu eşitlikte yer alan M_0 ve M_s sırasıyla kurutma işlemine tabi tutulacak gıda dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrası ağırlıklarını (g) ifade etmektedir.

Yanıt Yüzey Yöntemi (YYM), kurutma alanında yaygın olarak kullanılan deneysel tasarım yöntemlerinden biri olup, deneme setlerinden türetilen basit ampirik modelleri kullanılarak optimuma ulaşır (Koç ve Ertekin,2010). Yanıt yüzey yönteminde bir faktörün etkisinin veya diğer faktörlerle etkileşiminin yanıt değişkeni üzerine etkisini model regresyon analizi belirler. YYM de en çok kullanılan deneysel tasarımlar, Merkezi Bileşik Tasarımı (CCD) ve Box-Behnken tasarımıdır. Box-Behnken tasarımında, merkezi bileşik tasarımlara kıyasla daha az sayıda deney yapıldığı için daha ekonomik bir tasarım yöntemidir (Öney ve Samanlı,2017; Serin vd.,2019). Box Behnken tasarımları 3^k faktöriyel tasarımlara bir alternatiftir. Tasarım 2^k faktöriyel ve tamamlanmamış blok tasarımlarının kombinasyonundan oluşmuştur. Box- Behnken tasarımları küresel bir tasarım olmasından dolayı her faktörün minimum, orta ve maksimum seviyelerinden oluşmak üzere sadece 3 düzeyde incelenir (Özden,2020). Box Behnken tasarımının en önemli avantajları, deneyin sayısının daha az olması ile zaman ve paradan tasarruf sağlaması ve faktör limitlerinin kolayca ayarlanabilmesidir (Deveci vd.,2019; Özcan ve samanlı,2017).

Tablo 5.6 da dört faktör üç seviye için Box-Behnken tasarımına göre göre belirlenen 29 deneye ait çalışma koşulları ve deneyler sonucunda alınan yanıtlar verilmiştir. YYM dizaynına göre yapılan deneylerin sonuçlarına göre Y_{NK} 0.0804-0.4466 arasında, Y_{BO} 0.0399-0.1612 ve Y_B 0.0245-0.1362 aralıklarında değişmektedir. 9. deneyde nem kaybı, b renk değişimi ve büzülme oranı için en düşük değerleri veren deney koşullardır. Ozmotik dehidrasyon süresi 60 dk, çözelti derişimi %15, mikrodalga kurutma süresi 4 dk, mikrodalga gücü 100 W olan koşullardır. En düşük nem kaybı, büzülme oranı ve b renk değişimi sırasıyla 0.0804, 0.0399 ve 0.0245. Nem kaybı, büzülme oranı ve b renk değişimi en yüksek gözlendiği deney ise 8. deneydir. Bu deney koşullarında, ozmotik dehidrasyon süresi 120 dk, çözelti derişimi % 15, mikrodalga kurutma süresi 6 dk, mikrodalga gücü 300W tır. En yüksek yanıtların elde edildiği koşullar nem kaybı, büzülme oranı ve b renk değişimi sırasıyla 0.4466, 0.1612 ve 0.1362 dir.

Tablo 5.7. Box-Behnken deney koşulları ve alınan yanıtlar

Deney							
No	A	B	C	D	Y_{NK}	Y_{BO}	Y_B
1	60	10	4	200	0.1232	0.0589	0.0485
2	180	10	4	200	0.1566	0.0771	0.0729
3	60	20	4	200	0.1387	0.0634	0.0591
4	180	20	4	200	0.1532	0.0702	0.0649
5	120	15	2	100	0.0959	0.0412	0.0278
6	120	15	6	100	0.1549	0.0743	0.0695
7	120	15	2	300	0.2455	0.0984	0.0837
8	120	15	6	300	0.4466	0.1612	0.1362
9	60	15	4	100	0.0804	0.0399	0.0245
10	180	15	4	100	0.1412	0.0678	0.0616
11	60	15	4	300	0.2603	0.1098	0.0937
12	180	15	4	300	0.3292	0.1269	0.1178
13	120	10	2	200	0.1163	0.0478	0.0365
14	120	20	2	200	0.1359	0.0617	0.0552
15	120	10	6	200	0.2548	0.1035	0.0862
16	120	20	6	200	0.2755	0.1122	0.0989
17	60	15	2	200	0.1219	0.0498	0.0403
18	180	15	2	200	0.1229	0.0514	0.0437
19	60	15	6	200	0.2159	0.0962	0.0814
20	180	15	6	200	0.2584	0.1065	0.0894
21	120	10	4	100	0.1085	0.0445	0.0324
22	120	20	4	100	0.1282	0.0598	0.0512
23	120	10	4	300	0.2892	0.1147	0.1028
24	120	20	4	300	0.3251	0.1218	0.1139
25	120	15	4	200	0.1869	0.081	0.0785
26	120	15	4	200	0.1841	0.0808	0.0781
27	120	15	4	200	0.1863	0.0799	0.0794
28	120	15	4	200	0.1848	0.0804	0.0791
29	120	15	4	200	0.1854	0.0801	0.0786

Lineer, 2FI, kuadratik ve kübik modeller içerisinde en yüksek uyumu (R^2) veren kuadratik denklem seçilmiştir (R^2 değerleri nem kaybı için 0,9853, büzülme oranı için 0,9861 ve b renk değişimi için ise 0,9770). Tablo 5.8’de kurutma işlemi için önerilen kuadratik modellerin varyans analizi (ANOVA) tablosu yer almaktadır. ANOVA tablosunda da görüldüğü üzere modelin F değeri ve düşük olasılık değeri ($P<0,0001$) yanıtlar için modellerin anlamlı olduğunu ifade etmektedir (Bilen vd.2018).

Tablo 5.8. YYM için regresyon parametrelerinin ANOVA değeri

Yanıt	Regrasyon	f	R^2	F	Pr > F
Nem Kaybı	Lineer	4	0.8577	36.17	< 0.0001
	2FI	6	0.8860	0.7433	0.6221
	<u>Kuadratik</u>	4	0.9853	23.69	< 0.0001
	Kübik	8	0.9979	4.54	0.0409
	Artık	6			
	Toplam	29			
Çapsal Büzülme Oranı	Lineer	4	0.9065	58.16	< 0.0001
	2FI	6	0.9198	0.4987	0.8011
	<u>Kuadratik</u>	4	0.9861	16.62	< 0.0001
	Kübik	8	0.9978	4.10	0.0512
	Artık	6			
	Toplam	29			
b Renk Değişimi	Lineer	4	0.9108	61.24	< 0.0001
	Çapraz				
	çarpım	6	0.9195	0.3237	0.9159
	<u>Kuadratik</u>	4	0.9770	8.75	0.0009
	Kübik	8	0.9989	14.28	0.0022
	Artık	6			
	Toplam	29			

Yanıt yüzey yönteminde yer alan giriş değişkenleri ve yanıtlar arasında uygun bir matematiksel bağıntı kurulmuş ve bu model kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Eşitlik 18 de verilen denklemde, i ve j doğrusal ve ikinci dereceden katsayılar; b regresyon katsayısı, k optimize edilen faktörleri ve e hatayı tanımlamaktadır. Kurutma

koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan kod değerlerine göre matematiksel modeller Y_{NK} için eşitlik 19, Y_{BO} için eşitlik 20 ve Y_{BD} için eşitlik 21 ile verilmiştir.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \sum_j^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (18)$$

Tablo 5.7 de verilen koşullarda yapılan deneyler sonucunda alınan yanıtlara göre kurutma koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan kod değerlerine göre matematiksel modeller aşağıdaki eşitliklerle verilmiştir.

$$Y_{NK} = 0,1855 + 0,0184A + 0,0090B + 0,0640C + 0,0989D + 0,0047AB + 0,0104AC + 0,0020AD + 0,0003BC + 0,0040BD + 0,0355CD - 0,0249A^2 - 0,0120B^2 + 0,0179C^2 + 0,0379D^2 \quad (19)$$

$$Y_{BO} = 0,0804 + 0,0068A + 0,0035B + 0,0253C + 0,0338D - 0,0028AB + 0,0022AC - 0,0027AD - 0,0013BC - 0,0020BD + 0,0074CD - 0,0071A^2 - 0,0049B^2 + 0,0037C^2 + 0,0107D^2 \quad (20)$$

$$Y_{BD} = 0,0787 + 0,0086A + 0,0053B + 0,0229C + 0,0318D - 0,0046AB + 0,0011AC - 0,0033AD - 0,0015BC - 0,0019BD + 0,0027CD - 0,0101A^2 - 0,0071B^2 - 0,0038C^2 + 0,0045D^2 \quad (21)$$

Bu modellerde görüldüğü üzere nem kaybı üzerine mikrodalga kurutma süresi ile mikrodalga gücün daha fazla olduğu ve olumlu etkilediği belirlenmiştir. Kurutma devam ettikçe numune içindeki nem içeriği azalır, böylece mikrodalga gücünün emilimi azalır ve kurutma sonuna doğru nem kaybı düşer (Harahsheh vd.,2009). Büzülme oranı ve b renk değişimi mikrodalga kurutma süresi, mikrodalga gücü ve ozmotik dehidrasyon kuruma süresi ile artmıştır.

Kurutulmuş ürünün görünür hacmi ve gözenekliliği, mikrodalga gücündeki artışla azalma eğilimindedir (Pereira vd.,2007). Ozmoz süresi ile nem kaybının ve kuru madde miktarının artması ile enerji verimliliği önemli ölçüde artar. Bu sonuç, numunenin daldırılması sırasında sodyum ve klorür iyonlarının sarı dokuya nüfuz etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca NaCl kristalleri daldırılan ürünün hücrel

kısımlarına nüfuz ettikçe hücreler uyarılır ve büzülme azalır. Dokuda sodyum klorür bulunması, sudan daha iyi mikrodalga ısı karakteristiğine sahip iyonik bir çözelti olan ürünün dokusunda su artışına ve üründe ısı emiliminin artmasına neden olur. Ayrıca ozmoz süresinin artmasıyla üründe sıcaklık emilimi de artarak üründen daha hızlı su uzaklaşmıştır. Sonuç olarak, kurutma süresinde azalmaya ve mikrodalga kurutucunun enerji verimliliğinde bir artış olur (Azadbakht vd.,2018). Dehidrasyon hızı mikrodalga güç seviyesi ile artar. Sonuçta kurutma esnasında yüksek mikrodalga gücünde örnek içerisinde daha fazla ısı oluştuğundan kütle transferi artar. Mikrodalga fırında daha az sürede yüksek basınç ve derişim değişimi ile gıdadan sınıra sıvı akışı artar (Ghanem,2012).

Ozmotik dehidrasyon proses değişkenlerine bağlı olarak gerçekleşen renk değişikliklerini engeller (Moreno vd.,2000). Limon dilimleri açık sarı rengine olup, sarılığı gösteren *b* değeri kurutmanın optimizasyonunda yanıt olarak seçilmiştir. Daha yüksek *b* değerleri kurutulan üründe daha sarı olduğunu gösterir. Mikrodalga gücündeki artışla limon dilimlerinin rengi kahverengileşme sebebiyle sarıdan kırmızıya doğru kayar (Darvishi ve ark.,2014). Kurutma sırasında kahverengileşme reaksiyonu nedeniyle sarılık sıcaklık ile artarken aydınlık azalır (Salehi ve Kashaninejad,2018). *b* değişimindeki düşüş, sarı rengi veren flavonoidlerin ve karotenoid pigmentlerin yıkımına ve ısıl işlem sonrası kabuklarda kalan farklı karotenoidlerin miktarlarına bağlıdır. Kurutma sırasında renk bozulmasının başlıca nedenleri, enzimatik olmayan esmerleşme, karotenoid kaybı, pigment bozulması ve L-askorbik asit oksidasyonudur. Bitki hücrelerindeki yarı geçirgen zar, çevreden tam bir izolasyon sağlamayabilir ve ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında mineraller, vitaminler ve pigmentler çözeltiye geçerek kısmi renk kaybına neden olabilir (Ghanem,2012).

Y_{NK} , Y_{BO} ve Y_B yanıtları için oluşturulan modelin ANOVA sonucunda, *P* değeri alması modelin önemini ortaya koymaktadır. ANOVA, *P* değerinin 0,0001'den küçük olduğu yerlerde modelin anlamlı olduğunu ileri sürmektedir. Katsayıların her birinin önemini kontrol etmek için bir araç olarak kullanılan *P* değerleri, değişkenler arasındaki etkileşim şeklini göstermektedir. Değişkenlerin her bir yanıt üzerindeki etkisi ANOVA tabloları ile verilmiştir. *P* değerleri, bağımsız değişkenler arasında ortak etkileşimli modelleri tanımlamak için gerekli olan katsayıların önemini vurgulamaktadır. *P* değeri 0,0001'den küçük olması modelin önemli olduğunu göstermektedir. Tablo 5.9'de $P<0,0001$ 'deki yanıtlar için istatistiksel olarak önemli olan bazı değişkenler

bulunmaktadır. Her katsayının ve etkileşimlerin önemi Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Nem kaybı için C, D, CD, A², C² ve D² değişkenlerinin, büzülme oranı üzerine A, C, D, D² değişkenleri ve b değişimi üzerine ise A, C, D, A² değişkenlerinin etkisi önemli olduğu görülmüştür.

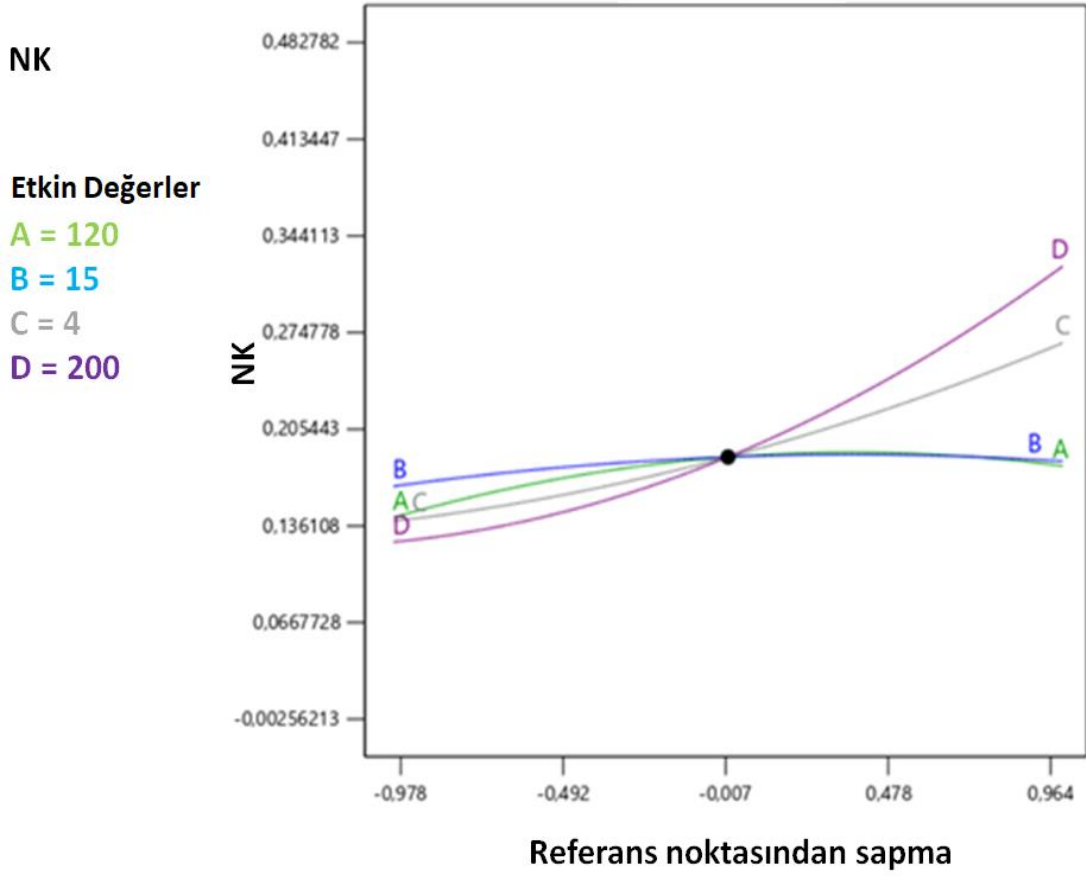
Tablo 5.9. Yanıt modelleri için ANOVA

Faktör	Kareler Toplamı	f	Kareler Ortalaması	F-değeri	p>F
Y_{NK}					
Model	0.1971	4	0.0141	67.14	< 0.0001
A	0.0041	1	0.0041	19.43	0.0006
B	0.0010	1	0.0010	4.64	0.0492
C	0.0491	1	0.0491	234.26	< 0.0001
D	0.1174	1	0.1174	559.85	< 0.0001
AB	0.0001	1	0.0001	0.4260	0.5246
AC	0.0004	1	0.0004	2.05	0.1738
AD	0.0000	1	0.0000	0.0782	0.7838
BC	3.025E-07	1	3.025E-07	0.0014	0.9702
BD	0.0001	1	0.0001	0.3129	0.5847
CD	0.0050	1	0.0050	24.08	0.0002
A ²	0.0040	1	0.0040	19.25	0.0006
B ²	0.0009	1	0.0009	4.48	0.0528
C ²	0.0021	1	0.0021	9.89	0.0072
D ²	0.0093	1	0.0093	44.55	< 0.0001
Artık	0.0029	4	0.0002		
Model Uyumsuzluğu	0.0029	0	0.0003	231.63	< 0.0001
Hata	5.060E-06	4	1.265E-06		
Toplam	0.2000	8			
R ²	0.9853				
Y_{BO}					
Model	0.0240	4	0.0017	70.70	< 0.0001
A	0.0006	1	0.0006	23.03	0.0003

B	0.0002	1	0.0002	6.23	0.0256
C	0.0077	1	0.0077	316.52	< 0.0001
D	0.0137	1	0.0137	564.09	< 0.0001
AB	0.0000	1	0.0000	1.34	0.2666
AC	0.0000	1	0.0000	0.7797	0.3921
AD	0.0000	1	0.0000	1.20	0.2915
BC	6.760E-06	1	6.760E-06	0.2786	0.6059
BD	0.0000	1	0.0000	0.6927	0.4192
CD	0.0002	1	0.0002	9.09	0.0093
A ²	0.0003	1	0.0003	13.50	0.0025
B ²	0.0002	1	0.0002	6.40	0.0240
C ²	0.0001	1	0.0001	3.62	0.0779
D ²	0.0007	1	0.0007	30.56	< 0.0001
Artık	0.0003	4	0.0000		
Model Uyumsuzluğu	0.0003	0	0,0000	159.10	< 0.0001
Hata	8.520E-07	4	2.130E-07		
Toplam	0.0244	8			
R ²	0.9861				
Y_B					
Model	0.0210	4	0.0015	42.44	< 0.0001
A	0.0009	1	0.0009	24.89	0.0002
B	0.0003	1	0.0003	9.62	0.0078
C	0.0063	1	0.0063	177.33	< 0.0001
D	0.0121	1	0.0121	342.06	< 0.0001
AB	0.0001	1	0.0001	2.44	0.1403
AC	5.290E-06	1	5.290E-06	0.1495	0.7048
AD	0.0000	1	0.0000	1.19	0.2930
BC	9.000E-06	1	9.000E-06	0.2544	0.6219
BD	0.0000	1	0.0000	0.4189	0.5280
CD	0.0000	1	0.0000	0.8241	0.3793
A ²	0.0007	1	0.0007	18.88	0.0007

B ²	0.0003	1	0.0003	9.14	0.0091
C ²	0.0001	1	0.0001	2.61	0.1284
D ²	0.0001	1	0.0001	3.73	0.0738
Artık	0.0005	4	0.0000		
Model Uyumsuzluğu	0.0005	0	0.0000	187.95	< 0.0001
Hata	1.052E-06	4	2.630E-07		
Toplam	0.0215	8			
R ²	0.9770				

Şekil 5.7 de ozmotik dehidrasyon kurutma süresi, çözelti derişimi, mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücü ile nem kaybının değişimi pertürbasyon grafiği etkin değerler ile verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon süresi (120 dk) ve (% 15) çözelti derişimin de limon dilimleri doygunluk seviyesine gelene kadar çözelti ürüne nüfuz etmeye devam etmekte ve ürünün içindeki nemi dışarı atmaktadır. Atılan nemle doğru orantılı olarak çözelti ürüne nüfuz ettiğinde bu iki bağımsız değişkende referans noktasından çok büyük sapmalar geręekleşmemiřtir. Ancak mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi (4 dk) ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücün de (200W) nem kaybı yüksek olduğundan referans noktasından önemli ölçüde sapmalar geręekleşmiřtir. Genel grafiğe bakıldığında her bir bağımsız değişkenin değeri artırıldığında nem kaybı artmakta, aynı şekilde her bir bağımsız değişkenin değeri azaldığında nem kaybı azalmaktadır.



Şekil 5.7. Bağımsız değişkenlerin her birinin nem kaybı üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği

Şekil 5.8 de ozmotik dehidrasyon kurutma süresi, çözelti derişimi, mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücü ile çapsal büzülme oranının değişimi pertürbasyon grafiği etkin değerler ile verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi etkin değeri (120dk) ve çözelti derişimi etkin değeri (%15) incelendiğinde çapsal büzülme oranı artmakta ancak referans noktalarından önemli sapmalar geçekleşmemektedir. Bu durum ozmotik kurutma sürecinde üründen uzaklaşan nemin yerini çözelti ile değiştirmesindendir. Mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi etkin değeri (4dk) ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücü etkin değeri (200W) incelendiğinde referans değerinden önemli derecede sapmalar meydana gelmiştir. Bu durum nem kaybının yüksek olmasından kaynaklı olarak büzülmenin de bir o kadar yüksek olmasındandır. Genel grafiğe bakıldığında her bir bağımsız değişkenin değeri yükseldiğinde çapsal büzülme oranı da artmaktadır ve aynı şekilde her bir bağımsız değişkenin değeri azaldığında çapsal büzülme oranı da azalmaktadır.

ÇBO

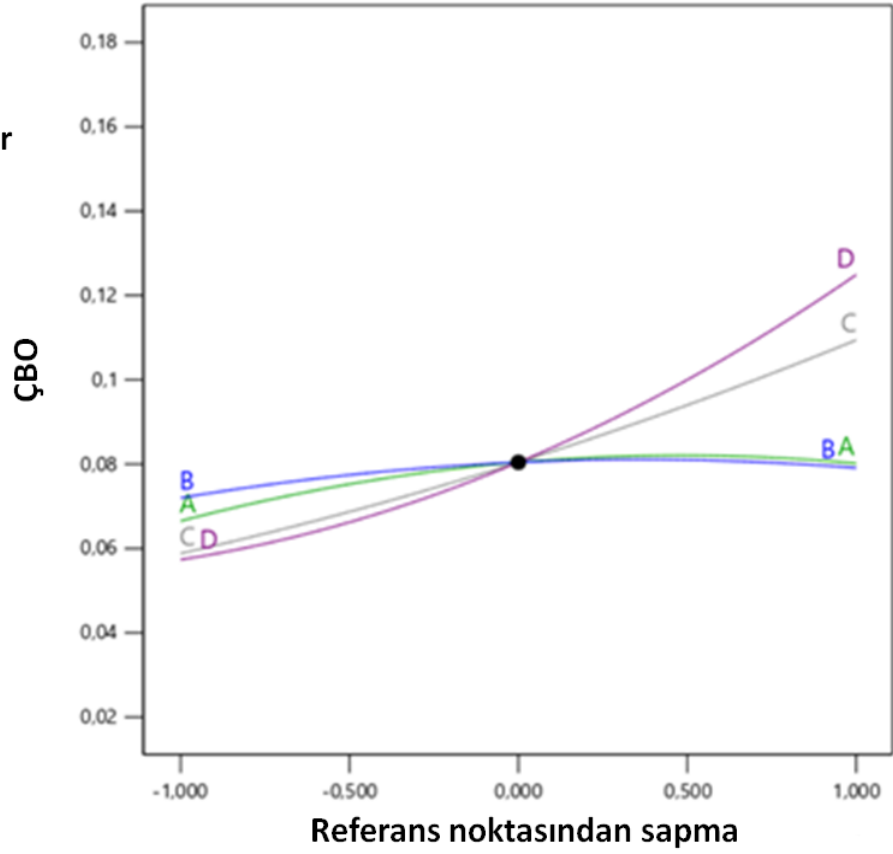
Etkin Değerler

A = 120

B = 15

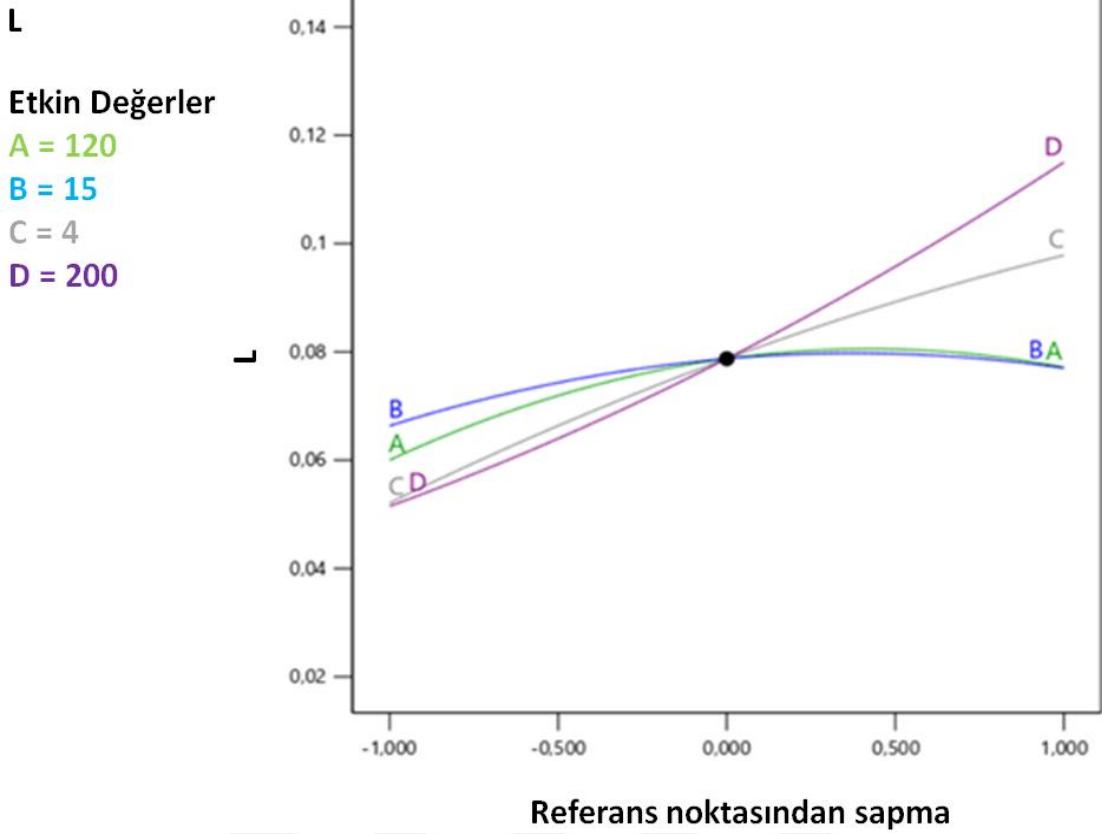
C = 4

D = 200



Şekil 5.8. Bağımsız değişkenlerin her birinin çapsal büzülme oranı üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği

Şekil 5.9 da ozmotik dehidrasyon kurutma süresi, çözelti derişimi, mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücü ile renk değişimi pertürbasyon grafiği etkin değerler ile verilmiştir. Ozmotik dehidrasyon kurutma süresi etkin değeri (120dk) ve çözelti derişimi etkin değeri (%15) incelendiğinde önemli bir renk değişimi gözlenmemiş referans noktalarından önemli derecede sapmalar gözlenmemiştir. Mikrodalga kurutucudaki kurutma süresi etkin değeri (4dk) ve mikrodalga kurutucunun kurutma gücü etkin değeri (200W) incelendiğinde renk değişimlerinde önemli ölçüde değişimler olduğu ve referans değerlerinden saptıkları gözlenmektedir. Genel grafiğe bakıldığında ozmotik kurutma süresince renk parametreleri korunmuş ancak mikrodalga kurutma sürecinde etkin ve güçlü kurutma geręekleřtięinden renk değişimi meydana gelmiştir.



Şekil 5.9. Bağımsız değişkenlerin her birinin renk değişimi üzerindeki etkisini gösteren pertürbasyon grafiği

YYM programı tarafından belirlenen deney koşullarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen yanıtlar değerlendirilerek arzu edilebilirlik değeri 1 olan on deney seti belirlenmiştir. Bu çözümlerin arasından maliyet kıstasları çerçevesinde seçimler yapılmıştır. Çalışmanın endüstriyel uygulama safhasında en büyük maliyet enerji olacağı öngörülerek en düşük mikrodalga güç seviyesi ve mikrodalga süresi değerleri seçilmiştir. Buna göre optimum değişken seviyeleri, ozmotik dehidrasyon kurutma süresi 120 dk, çözelti derişimi % 15, mikrodalga kurutma süresi 4 dk ve mikrodalga kurutma gücü 200 W bulunmuştur. Limon dilimlerinin ozmotik dehidrasyon işleminin oda sıcaklığında optimum koşulları ozmotik dehidrasyon kurutma süresi 120 dk ve çözelti derişimi %15 bulunmuştur. Limon dilimlerinin ozmotik dehidrasyonu için optimum koşulları belirlemek için yapılan bir çalışmada, 30°C'de ozmotik dehidrasyon süresi 180 dk ve çözelti konsantrasyonu %20 olarak bulunmuştur. Düşük konsantrasyonlarda, tuz kazanımı ile birlikte daha yüksek nem kaybı elde etmek için gereken sürenin 4 saatten fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, düşük konsantrasyonda

kütle transferini hızlandırmak için, işlem maliyetini artıran çalkalama gerekli olduğu belirtilmiştir (Deepika ve Sutar,2017).

Mikrodalga kurutma koşulları altında nem oranına karşı ozmotik ön işlemin kuruma hızına etkisi, aynı zamanda, bağlı olmayan suya sahip dokuda sodyum klorürün varlığı, suya kıyasla daha iyi mikrodalga ısıtma özelliklerine sahip iyonik bir çözelti oluşturur. Bunun nedeni, mikrodalga enerjisinin hacimsel absorpsiyonu ile orantılı olan bu çözeltinin daha yüksek kayıp faktörüdür. Bu, ozmotik ön-işlem yapılmayanla karşılaştırıldığında gelişmiş bir kuruma hızına yol açar. Bununla birlikte, kurutma işleminin sonuna doğru, daha yüksek ozmotik çözelti konsantrasyonu ile işlenen numuneler için daha düşük kuruma hızıyla bu durum tersine dönmüştür. Bunun nedeni, ozmotik maddenin bağlayıcı etkisi olup, suyun uzaklaştırılmasının sona doğru daha zor olmasına neden olur. Artan mikrodalga çıkış gücü ve ozmotik konsantrasyon ile kurutma işleminin süresi azalır (Harahsheh vd.,2009).

SONUÇLAR

Limon dilimlerinin mikrodalga kurutma ile kurutulması öncesi uygulanan ozmotik dehidrasyon ön kurutma işlemi ile nem kaybını artırmıştır. Ayrıca mikrodalga destekli ozmotik kurutmada, nem kaybı artarken çapsal büzülme oranında önemli bir artış gözlenmemiştir. Mikrodalga gücü ve kurutma süresi ile nem kaybı ile çapsal büzülme oranı artmıştır. Düşük mikrodalga güçlerinde ise renk kaybı daha az olmuştur. 100 W mikrodalga gücünde tazeye yakın renk parametre değerleri elde edilmiştir. Mikrodalga kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon işleminin limon dilimlerinin sarı rengi koruyarak renk parametrelerinden kroma değeri ve hue açısının korunmasına katkısı olmuştur. Kroma değeri açısından tazeye en yakın değer, Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma yönteminde 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda olduğu belirlenmiştir. En iyi hue açısı Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma yönteminde 100 W ve 8 dk da elde edilmiştir. Tazeye en yakın kahverengileşme indeksi ve ΔE renk değişimi, mikrodalga kurutma yönteminde 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda olduğu belirlenmiştir.

Limon dilimlerinin mikrodalga ve ozmotik dehidrasyon ile birlikte kurutma işleminde seçilen dört değişken ve üç seviye için YYM nin Box-Behnken deneysel tasarım yöntemin göre 29 deney yapılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre her bir yanıt için en yüksek uyumu veren modelin R^2 değerleri nem kaybı için 0,9853, büzülme oranı için 0,9861 ve b renk değişimi için ise 0,9770 değerlerini veren kuadratik model olduğu görülmüştür. Bu modellere ait ANOVA tablosu incelendiğinde mikrodalga gücü ve mikrodalga süresinin nem kaybı, büzülme oranı ve b değişimi için önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca büzülme oranı ve b değişimi için ozmotik dehidrasyon süresinde etkili olduğu belirlenmiştir. Arzu edilebilirliğin maksimum yapan değişkenlerin optimum seviyeleri ozmotik dehidrasyon kurutma süresi için 120 dk, çözelti derişimi için % 15, mikrodalga kurutma süresi için 4 dk ve mikrodalga kurutma gücü için 200 W olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- About A, (2013). Drying characteristic of apple slices undertaken the effect of passive shelf solar dryer and open sun drying. *Pakistan journal of nutrition*, 12(3): 250-254.
- Aktaş, M., Khanlari, A., Amini, A. ve Şevik, S. (2017). Performance analysis of heatpump and infrared–heat pump drying of grated carrot using energy-exergymethodology. *Energy Conversion and Management*, 132, 327-338.
- Alibaş, İ. ve Köksal, N. (2014). Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and askorbik acid values of Threedrying methods. *food science and technology*, 34(2): 358-364.
- Alibaş, İ., Yılmaz, A., Günaydın, S. ve Arkain, B., (2021). Kurutma yöntemlerinin deveci armudunun kurutma kinetiği ve renk parametreleri üzerine etkisi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5):897-908.
- Alibaş, İ., (2012). Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1): 43-53.
- Alkaç SP, (2019). Isı pompalı infrared kurutucuda dilimlenmiş limonun kurutulmasının performans analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Altuntaş E, Gül EN, Gök H, (2020). Menengiç meyve ve tohumlarının Fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, *Ksü Tarım ve Doğa Dergisi* 23 (6): 1518-1528.
- Arslan, N., (2012). İnfrared kurutma yönteminin kurutulmuş mantı kalitesi üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 20-43.
- Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Noshad, F., & Rokhbin, A. (2018). Application of artificial neural network method for prediction of osmotic pretreatment based on the energy and exergy analyses in microwave drying of orange slices. *Energy*, 165, 836-845.
- Başkaya-Sezer, D. ve Demirdöven, A., (2015). Meyve sebze İşlemede mikrodalga haşlama uygulamaları. *Gıda*, 40(3): 171-177.

- Botha, G.E., Oliveria, J.C. ve Ahrne, L., (2012). Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. *Journal of Food Engineering*, 108: 304-311.
- Calin-Sanchez, A., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A. ve Tsotsas, E., (2015). Drying kinetics and microstructural and sensory properties of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as affected by drying method. *Food Bioprocess Technology*, 8: 63-74.
- Ceylan, İ., (2002). Güneş enerjili kurutma fırınında havası neminin kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- 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.
- Compaoré, A., Ouoba, S., Ouoba, K. H., Simo-Tagne, M., Rogaume, Y., Ahouannou, C., & Koulidiati, J., (2022). A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of “Violet de Galmi” Onion drying. *Advances in chemical engineering and science*, 12(3), 172-196.
- Çelen, S. ve Kahveci, K., (2013). Microwave drying behaviour of tomato slices. *Journal of food science*, 31(2): 132-138.
- Çetin N, Sağlam C, Demir B, (2019). Effects of different drying conditions on physical changes of apple (*Malus communis* L.). *MKU. Tar. Bil. Derg.* 24 (Özel Sayı) :71-77.
- Darıcı, S. (2012). Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 20(130), 51- 58.
- Darvishi, H., Khoshtaghaza, M. H., & Minaee, S. (2014). Drying kinetics and colour change of lemon slices. *International agrophysics*, 28(1).
- Deepika, S., Sutar, P. P. (2017). Osmotic dehydration of lemon (*Citrus limon* L.) slices: Modeling mass transfer kinetics correlated with dry matter holding capacity and juice sac losses. *Drying Technology*, 35(7), 877-892.

- Deveci, E. Ü., Gönen Ç., Çetin, G. (2019). Mısır koçanında sülfürik asit, hidrojen peroksit ve ultrasound ön işlemleri ile çözünmüş şeker üretiminin optimizasyonu, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (4), 183-198.
- Dinçer C, Çınar A, Elmasulu S, (2021). Farklı mikrodalga güç seviyelerinde ve farklı fırın sıcaklıklarında kurutulan hibiskus çanak yapraklarının kuruma karakteristiklerinin ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, *GIDA* 46(3):647-659
- Doymaz, İ. (1998). Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Y. T. Ü., Fen-Bilimleri Enstitüsü, 127 s. Elektrik işleri etüt idaresi ulusal enerji merkezi tasarruf merkezi, Sanayii de enerji yönetimi esasları, Cilt 4, 1999.
- Ertekin, C., Yıldız, O. (1998). Bazı sebze, meyve ve baharatlı bitkilerin kurutulma yöntemleri ve kullanılan güneş enerjili kurutucular. *Tarımsal Mekanizasyon*, 18, 17-18.
- Ertuğrul M., Tarhan S. (2017). Farklı kurutma havası sıcaklık profillerinin melisa (*Melissa officinalis* L.) bitkisinin kuruma kinetiği ve enerji tüketimine etkisi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, Cilt 6, No 6, 1-10.
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Mihoubi, N. B. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177.
- Gölcü, M. ve Şen, F. (2014). Mikrodalga ile ıslak viyolün kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(20): 111-115.
- Göztok, S. P., & İçier, F. (2017). Karbon fiber destekli kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda elma dilimlerinin kurutulmasının incelenmesi: kurutma karakteristikleri ve performans değerlendirmesi. *Akademik Gıda*, 15(4), 355-367.
- Güneş Enerjili Kurutucular, *Tarımsal Mekanizasyon* 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ, 673-693.

- Güngör, A., Özbalta, N. (1997). Endüstriyel kurutma sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 737-747.
- Güngör A (2013). Sebze Ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular Ve Kurutma Teknolojileri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 43-63, İzmir.
- Gürel, A.E., Ceylan, İ. ve Aktaş, M., (2016). Meyve ve sebzelerin kurutma parametrelerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(4): 267-273.
- Heybeli N, Ertekin C, (2007). Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği. *Tarım Makineleri Bil. Derg.* 3(3): 179-187.
- İzli N, (2012). Bazı tarımsal ürünlerin mikrodalga konvektif kurutma yöntemiyle ince tabaka kurutma kuramına göre kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi.
- Kara, N., Baydar, H., Kayaalp, Ö., Boyar, S. ve Bayhan, A.K., (2014). Güneşte ve gölgede kurutmanın çördük Otu (*Hyssopus Officinalis L.*) uçucu yağ oranı ve kompozisyonuna etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1):85-90
- Karaaslan, S. (2008). Sebze ve endüstri bitkilerinin mikrodalgayla kurutulması üzerine çalışmalar, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Karaaslan S, (2008). Kırmızıbiberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi.
- Karim, M. A., Hawlader, M.N.A., (2005). Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. *int. J. heat mass tran.*, 48, 4914-4925.
- Kıpçak, A. S., Yalcin, B. S., (2019). The investigation of the drying kinetics of vitis labrusca L. Type grape by using microwave method. *Turkish journal of agriculture-food science and technology*, 7(4), 631-638.
- Konak, Ü.İ., Certel, M. ve Helhel, S., (2009). Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3): 20-31.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme

Uygulamaları. Gıda, 35(1), 1-8.

- Kovacı, T., Dikmen E., Şahin A., (2018). Kurutma Sistemleri, enerji Tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı, *Isparta teknik bilimler Dergisi*, 8(2), 25-39.
- Liu, H., Liu, J., Lv, Z., Yang, W., Zhang, C., Chen, D. ve Jiao, Z., (2019). Effect of dehydration techniques on bioactive compounds in hawthorn slices and their correlations with antioxidant properties. *Journal of Food and Science Technology*, 56(5): 2446-2457.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana, *Journal of Food Engineering* 44, 71-78
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48: 177-182.
- Maskan M, (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of FoodEngineering* 48:169-175.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., Serra, J. A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed trawberries. *Food Research International*, 33(7), 609-616.
- Mutlu A, Ergüneş G., (2008). Tokat'ta Güneş Enerjili Rafli Kurutucu İle Domates Kurutma Koşullarının Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 1 (1): 61-68.
- Nasıroğlu Ş. (2007). Kırmızı biber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared kurutma tekniğinin kullanılması. Y. Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Nizamlioğlu N.M.(2022). Farklı sıcaklık ve mikrodalga güçlerinde kurutulan elma dilimlerinin kurutma özellikleri, *Akademik Gıda* 20(3): 253-262
- Nowacka, M., Sledz, M., Wiktor, A.W. ve Rajchert, D. (2014). Changes of radical scavenging activity and polyphenols content during storage of dried apples. *international journal of food properties*, 17: 1317-1331.

- Nowak, D., Lewicki, P.P., (2004). Infrared drying of apple slices, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 353-360.
- Nurkhoeriyati, T., Kulig, B., Sturm, B., & Hensel, O. (2021). The effect of pre-drying treatment and drying conditions on quality and energy consumption of hot air-dried celeriac slices: optimisation. *Foods*, 10(8), 1758.
- Oğulata T, Kadem F, Koç E (1999). Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları. 4. ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi, 803-810, İzmir.
- Özbay Doğu, S. ve Sarıçoban, C., (2015). Et kurutma teknolojisi ve dünyada tüketilen bazı kurutulmuş et ürünleri. *Gıda ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3): 109-123.
- Özcan, Ö., Samanlı, S. (2017). Kütahya/Altıntaş grafitlerinin kaba flotasyon parametrelerinin Box-Behnken deney tasarımı kullanılarak optimizasyonu ve modellenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(56), 532-542.
- Özden, E. (2020). Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarımı yöntemleri ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pandya, R, Yadav, K.C. (2014). Study on effect of pretreatments and microwave drying on banana chips. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(7) ,04-10.
- Pereira, N. R., Marsaioli Jr, A., & Ahrné, L. M. (2007). Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 79-87.
- Polat A, Kurtulmuş F, İzli N, (2020). Sürekli Ve kesikli mikrodalga yöntemleriyle kurutulan elmanın renk değişim analizi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Haziran, 34(1): 149-165.
- Polatcı, H. ve Tarhan, S. (2009). Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1): 61-70.

- Polatcı H, Taşova M, (2018). Mikrodalga fırın ile kurutulan yenidünya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi, *Anadolu J Agr Sci* 33:124-130.
- Polatcı H, Taşova M, Saraçoğlu O, Taşkın O, (2018). Şeftali (*Prunus persica* L.) posasının farklı sıcaklıklarda kuruma parametrelerin belirlenmesi. *Tarım makinaları bilimi dergisi*, 14 (3): 149-156.
- Polatcı, H., Taşova M. (2017). Mikrodalga yöntemi ile kurutulan dereotu yapraklarının (*anethum graveolens* l.) kurutma kinetiği ve renk değerlerinin belirlenmesi, *GBAD* 17(6), 42-51
- Prosapio, V., Norton, I. (2017). Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. *LWT*, 80, 401-408.
- Reyes, A., Ceron, S., Zuniga, R. ve Moyano, P. (2007). A Comparative Study of Microwave-Assisted Air Drying Of Potato Slices. *Biosystems Engineering*, 98(13): 310-318.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. (2018). Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum rying. *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 516-523.
- Sangwan, A., Kawatra, A. ve Sehgal, S. (2014). Nutritional Composition of Ginger Powder Prepared Using Various Drying Methods. *Journal of Food Science*, 51(9): 2260-2262.
- Schiffmann, R.F. (1986). Food product development for microwave processing. *food technology*, 40 (6) 94-98.
- Serin, G., Kahya, M., Özbayoğlu, M., Ünver, H. Ö. (2019). TI6AL4V malzemesinin tornalama işleminde özgül kesme enerjisi ve yüzey pürüzlüğünün incelenmesi Ve yapay sinir ağları temelli tahmin modeli geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 517-536.
- Sezer DB, Demirdöven A, (2015). Meyve sebze işlemede mikrodalga haşlama uygulamaları, *Gıda* 40 (3): 171-177.

- Sharma, G.P. ve Prasad, S. (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of food engineering*, 50, 99-105.
- Sumnu, G., Turabi, E. ve Oztop M. (2005). Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. *LWT-Food science and technology*, 38(5): 549-553.
- Suna S., Sinir Özcan G., Karabacak Özkan A., (2015). Mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutmanın çeşitli meyse ve sebzelerin kalite parametreleri üzerine etkisi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt 29, sayı 2, 125-135.
- Taiwo KA, Adeyemi O, (2009). Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slice. *African journal of food science* 3(10): 307-315.
- Talla A, Puiggali JR, Jomaa W, Jannot Y, (2004). Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: Application to banana. *J. Food Eng.* 64(1): 103-109.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A. (2009). Farklı kurutma koşullarının amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2): 1-6.
- Tarhan S., Ergüneş G., Güneş M., Mutlu A., (2009) .Farklı kurutma Koşullarının amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2 (2):1-6.
- Toğrul, H., (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of food Engineering*, 77: 610-619.
- Tuğrul, N., Doymaz, İ. ve Pala M. (2001). Dereotunun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *Gıda*, 26(6): 403-407.
- Tunçer İK, (1990). Characterization and drying of vegetables by hot air and microwave energy. In Proceedings of The 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 1-4 October,
- Turan, A. ve İslam, A., (2019). Fındığın geleneksel ve suni kurutulması arasındaki hasat sonrası farklılıkları. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11):1766-1772.

- Turgut DY, Topuz A, (2020). Depolama süresinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş kamkat dilimlerinin bazı kalite özelliklerine etkisi. Yüzüncü yıl üniversitesi tarım bilimleri dergisi. 30 (1): 44-56
- Ulçay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 1(7): 93-116.
- Wang, J. ve Xi, Y.S. (2005). Drying characteristics and drying quality of carrot using a Two-stage microwave process. *Journal of food engineering*, 68: 505-511.
- Yağcıoğlu A, (1999). Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir. 121-248.
- Zielinska, M., Sadowski, P. ve Blaszcak, W. (2015). Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries. *Food science and technology*, 62: 555-563.
- Zorlugenç FK, Fenercioğlu H, (2012). Ozmotik dehidrasyon ve sıcak hava ile kurutma işleminin Trabzon hurması meyvelerinin renk özellikleri üzerine etkileri, *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(5): 149-159.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Süleyman REYHAN

E-mail :

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2020
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2023

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- YILDIZ, Z., & REYHAN, S. (2023). Mikrodalga Kurutma ve Ozmotik Dehidrasyon ile Birlikte Kurutulan Limon Halkalarının Renk Analizi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 66-73. <https://doi.org/10.54975/isubuzfd.1216249>
- YILDIZ, Z., & REYHAN, S. (2023). Ozmotik Dehidrasyon ve Mikrodalga Kurutma ile Birlikte Limon Halkalarının Kurutma Koşullarının Optimizasyonu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 845-856. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1222365>