



**SICAKLIK KONTROLLÜ BİR MİKRODALGA
KURUTUCU GELİŞTİRİLMESİ
VE PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ**

MUHAMMED TAŞOVA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Hakan POLATCI

2016

Her hakkı saklıdır

**T.C.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SICAKLIK KONTROLLÜ BİR MİKRODALGA KURUTUCU
GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

MUHAMMED TAŞOVA

**TOKAT
2016**

Her hakkı saklıdır



Bu tez çalışması;

**Gaziosmanpaşa Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırmalar Projeleri)
Koordinatörlüğü tarafından 2015/81 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Muhammed TAŞOVA tarafından hazırlanan “Sıcaklık Kontrollü Bir Mikrodalga Kurutucunun Geliştirilmesi ve Performansının Belirlenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 1 AĞUSTOS 2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / ~~Oy Çoğunluğu~~ İle Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü BİYOSİSTEM ANA BİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hakan POLATCI

H. Polat

Üye
Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ
Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Gazanfer Ergüneş

Üye
Yrd. Doç. Dr. Fatih KALKAN
Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Fatih Kalkan

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet Ali SAKİN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

04/08/2016

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Muhammed TAŞOVA

1 Ağustos 2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAKLIK KONTROLLÜ BİR MİKRODALGA KURUTUCU GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

MUHAMMED TAŞOVA

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. HAKAN POLATCI)

Kurutma, yaş sebze ve meyvelerin sahip oldukları nemi kalite özelliklerini koruyarak depolama koşullarına uygun seviyeye indirme işlemidir. Bu çalışmada Türkiye 'de ve Dünya 'da önemli üretim potansiyeline sahip olan elma meyvesinin sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu kullanılarak en uygun şartlarda kurutulması amaçlanmıştır. Uygulanan kurutma yöntemlerine ait kuruma süreleri, kuruma eğrileri ile en iyi tahmin eden kurutma modeli ve renk değişimleri belirlenmiştir. Kurutma yöntemleri olarak çalışma kapsamında imal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutma, etüvde kurutma, güneşte ve gölgede kurutma yöntemleri uygulandı. Kurutma işlemi elmalar sırasıyla dörde ve sekize dilimlenerek üçer tekerrür halinde gerçekleştirildi. Ayrıca kurutma sıcaklığı meyveler ve sebzeler için en uygun sıcaklıklar olan 50, 60 ve 70 °C olarak belirlendi. Kurutma yöntemlerine ait kuruma süreleri en kısa sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde; 0.5 saat, en uzun ise gölgede kurutma yönteminde 287 saat olarak belirlenmiştir. Renk kriterleri açısından taze elmanın renk özelliklerini en iyi muhafaza eden yöntemin sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Parlaklık ve kırmızılık renk değerleri açısından 70 °C sıcaklıkta dörde dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi uygun bulunurken sarılık değeri açısından 50 ve 60 °C sıcaklıkta dörde dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi uygun bulunmuştur. Kroma değeri açısından ise 50°C sıcaklıkta sekize dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi uygun bulunmuştur. Tüm kurutma yöntemleri arasında kuruma süreleri ve renk kriteri açısından sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi elma kurutma için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

2016, 54 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutucu, Elma kurutma, Kuruma Kinetiği, Renk değişimi

ABSTRACT

MASTER THESIS

DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE CONTROLLED MICROWAVE DRYER AND DETERMINATION OF PERFORMANCE

MUHAMMED TAŞOVA

GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOSYSTEMS ENGINEERING

(SUPERVISOR:.) ASST. PROF. DR.HAKAN POLATCI

Drying, of wet fruits and vegetables, they have moisture retaining the quality of storage requirements is the process to bring them back down. Applied to the dry time for methods of drying, drying drying model that estimates the best with curves and color changes. Drying methods within the scope of the work as the temperature-controlled microwave drying, drying oven drying in the Sun and in the shade, in drying methods applied. Drying process apples, sliced and served three four and eight respectively in the event that repeats itself.

Also the temperature of drying fruits and vegetables is the optimal temperatures for 50, 60 and 70 °C, respectively. The short drying time for methods of drying temperature-controlled microwave drying method; 0.5 hours, the longest in the shade drying method in 287 hours. Color the color of fresh Apple in terms of criteria that make the most of the characteristics of a temperature-controlled method that microwave drying method. In terms of brightness and color values red 70 °C suitable temperature-controlled microwave drying method is made, sliced and served to four while jaundice in terms of the value of 50 and 60 °C temperature controlled microwave drying method made four, sliced and served. Chroma value is 50 °C temperature in terms of temperature controlled microwave drying method made eight, sliced and served. All drying methods include drying time and temperature controlled microwave drying method in terms of the criterion of Apple as the most appropriate method for drying.

2016, 54 Pages

Keywords: Temperature Controlled Microwave dryer, Apple, Drying Kinetic, Color

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimime başladığım günden bugüne bilgi ve yol göstericiliğini hiçbir zaman esirgemeyen ayrıca yardımseverlik ve insanlık konusunda örnek bir kişiliğe sahip olan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan POLATCI 'ya teşekkürü bir borç bilir ayrıca tez çalışmalarım esnasında teknik anlamda yardımcı olan İlkay ERTEM Bey 'e çok teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi ve manevi desteğini hiç bir zaman esirgemeyen aileme ve eşim Rabia TAŞOVA 'ya sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Muhammed TAŞOVA

1 Ağustos 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Kurutulan Ürün.....	13
3.1.2. Kurutma Ortamları.....	13
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Kurutma Yöntemleri.....	20
3.2.2. Nem Tayini.....	20
3.2.3. Kurutmada Nem Değişiminin Belirlenmesi.....	21
3.2.4. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutma Yöntemi.....	21
3.2.5. Etüvde Kurutma İşlemi.....	22
3.2.6. Dış Ortamda Kurutma İşlemi.....	22
3.2.7. Kurutma Verilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	23
3.2.8. Renk Değerlerinin Belirlenmesi.....	24
4. BULGULAR Veya BULGULAR VE TARTIŞMA	26
4.1. Kurutma Performans Değerleri.....	26
4.2. Kurutma Verilerinin Modellenmesi.....	28
4.3. Renk Analizi.....	33
4.3.1. Parlaklık Değeri.....	34
4.3.2. Kırmızılık Değeri.....	36
4.3.3. Sarılık Değeri.....	37
5. SONUÇ (TARTIŞMA VE SONUÇ)	40
6. KAYNAKLAR	42
7. EKLER	47
8. ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
C	Santigrat
°	Derece
cm	Santimetre
ha	Hektar
m	Metre
sn	Saniye
W	Watt
kPa	Kilopaskal
kg	Kilogram
kb	Kuru baz
g	Gram
mm	Milimetre
Hg	Civa
m ³	Metre küp
dk	Dakika
lt	Litre
V	Volt
DC	Doğru akım
RH	Bağıl nem
L*	Parlaklık değeri
a*	Kırmızılık değeri
b*	Sarılık değeri
C*	Kroma değeri
h°	Hue açısı
BI	Kahverengilik değeri
yb	Yaş baz
p	Varyans değeri

R^2	Kararlılık değeri
k	Eşitlik katsayısı
PL	Güç seviyesi
h	Eşitlik katsayısı
RMSE	Ortalama kareler hatası
j	Eşitlik katsayısı
m	Eşitlik katsayısı
X^2	Standart hata

Kısaltmalar

Açıklama

TÜİK	Türkiye istatistik kurumu
FAO	Gıda tarım örgütü
BAP	Bilimsel araştırmalar projeleri

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Kurutma Denemelerinde Kullanılan Elma (<i>Malus domestica</i>).....	13
Şekil 3.2. Mikrodalga Fırının Yapısı.....	14
Şekil 3.3. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutucu.....	14
Şekil 3.4. Sensör Işınının Yelpaze Şeklinde Okuması.....	15
Şekil 3.5. Metal Parçasının Montajlı Görünümü	15
Şekil 3.6. Sensör Başlığının Montajlı Görünümü	16
Şekil 3.7. Sıcaklık Kontrol Panelinin İç Görünümü.....	16
Şekil 3.8. Sıcaklık Kontrol Panelinin Dış Görünümü	17
Şekil 3.9. Sıcaklık Kontrol Paneli.....	17
Şekil 3.10. Temassız Kızılötesi Sıcaklık Sensörü.....	18
Şekil 3.11. Denemelerde Kullanılan Kurutma Dolabı.....	19
Şekil 3.12. Denemelerde Kullanılan Diğer Kurutma Dolabı	19
Şekil 3.13. Kurutma Kafesinin Yapısı.....	20
Şekil 4.1. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalgada Kurutulan Elmaların Renk Değerleri.....	35
Şekil 4.2. Etüvde Kurutulan Elmaların Renk Değerleri.....	35
Şekil 4.3. Güneşte ve Gölgede Kurutulan Elmaların Renk Değerleri.....	35
Şekil 7.1. Kurutma Dolabına ve Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutma Yöntemlerine Ait Kuruma Eğrileri.....	46

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Kurutulan Elmaların Son Nem Oranları ve Kurutma Süreleri.....	26
Çizelge 4.2. Yağcıoğlu Eşitliğine Ait Sayısal Değerler.....	29
Çizelge 4.3 Midilli Küçük Eşitliğine Ait Sayısal Değerler.....	31
Çizelge 4.4. Page Eşitliğine Ait Sayısal Değerler	32
Çizelge 4.5. Renk Analizinin Ölçülen Değerleri.....	34
Çizelge 4.6. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalgada Kurutulan Elmaların Renk Değerleri.	38



1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun giderek artmasıyla tarımsal ürünlere olan talep de giderek artmaktadır. Tarım ürünlerinin bozulmasının önüne geçilerek gıda ürünlerini daha uzun süre kullanmak ve üretildiği mevsim dışında da yararlanabilmek için bazı muhafaza yöntemleri ve teknikleri üzerinde uzun zamandan beri yoğun şekilde çalışılmaktadır.

Tarım ürünleri hasattan sonra, canlılığını koruyup devam ettirme isteğinin bir gereği olarak kendi bünyesindeki besin değerlerini tüketmeye çalışır. Ayrıca, hasattan sonra mikrobiyal aktivitelerin olumsuz etkilerinden dolayı ürünler kısa sürede bozulma eğilimindedir. İnsanların gıda ihtiyaçlarını karşılamak, aynı zamanda da mevcut ürünlerinin nitelik ve nicelik kayıplarını en aza indirmek ve dayanım sürelerini artırmak için nemi azaltma işlemi ilk çağlardan beri kullanıla gelen en eski yöntemlerden birisidir (Yağcıoğlu, 1999).

Basit bir ifade ile ürünlerin muhafazası için bünyelerindeki nemin uzaklaştırılması anlamına gelen kurutma, ürünlerin hasat sonrası dayanımlarını artırmak için uygulanan bir yöntemdir.

Kurutma; ilk zamanlardan beri uygulanan eski bir ürün koruma yöntemi olan, gıda maddelerinin içerdikleri nemin büyük bir kısmını kontrollü koşullarda ısı yoluyla buharlaştırılarak (Tuğrul ve ark., 2001) tarımsal ürünlerin tüketilme anına kadar olan süre içerisinde ürünün besleyici özelliklerini kaybetmesine izin verilmeden ekonomik ömürlerini uzatmak ve ticari değer kazandırmak amacıyla uygulanan yöntemlerin başında gelen bir işlemdir (Doymaz ve ark., 2003; Özgen 2014).

Kurutma işleminde ürünün yüzey suyu ilk aşamada buharlaşarak uzaklaşır. Ancak ürünün iç kısmında bulunan mevcut su ise dış tabakaya taşındıktan sonra uzaklaşır. Taze sebze ve meyveler yaklaşık %80-90 nem içeriğine sahip olup, raf ömürleri kısa olan ürünlerdir. Bu nedenden dolayı bu ürünler kolay bozular ürünler olarak sınıflandırılır. Ürünü taze tutmak onun değerini korumak için depolama işlemi en iyi yoldur. Fakat çoğu kez yüksek maliyet gerektiren düşük sıcaklıklarda depolama yöntemi uygulanır.

Kurutma işleminin amacı, mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürmesine katkı sağlayan nemi,ürünün yaşamsal faaliyetlerinin azalacağı veya tamamen duracağı noktaya kadar uzaklaştırmaktır. Kurutma işlemi, üründen nemin uzaklaştırılması yanında ayrıca taze ürünün besleyici, tat, aroma, sertlik gibi fiziksel, kimyasal, özelliklerine de etki eder (Viboon Changrue, 2006).

Kurutma işlemindeki diğer bir amaç ise gıda maddeleri, hammadde, ara madde veya mamul maddeye istenilen fiziksel veya kimyasal özellik kazandırmak (Evranoz, 1988) ve ürün kalitesinde fiziksel ve kimyasal bozulmaya sebebiyet vermeden maksimum enerji tasarrufu ile minimum kuruma süresinde son nem değerine düşürülmesi amaçlanır (Polatçı ve Tarhan, 2009).

Kurutma işleminin sağladığı bu kazanımlarından dolayı tıbbi-aromatik bitkiler, meyveler, sebzeler ve tahıllar gibi birçok ürüne kurutma işlemi uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında da kurutma materyali olarak elma kullanılmıştır.

Elma, eski Türkçe 'de alma kelimesinden türetildiği ve meyve rengi olan kırmızı renginden o ismi aldığı bilinmektedir. Elma meyvesinin taksonomisi gülgillerden olup latincesi *Malus domestica* 'dır. Elmanın besin değeri bakımından çok zengin olup çok değerli vitamin ve elementleri içerir. İlk keşfedilen yer olarak Orta Asya' dan yayıldığı ve Türkiye, Güney Kafkaslar ve İtalya' da yaygın olarak yetiştirildiği bilinmektedir. Elmanın genel olarak çapı 5 - 8 cm aralığında olup sonbaharda olgunlaşan bir meyvedir. Elmaların türlerine göre de değişkenlik gösterdiği ancak genel olarak 5 - 12 cm aralığında yaprakları ve -35 °C soğuğa kadar dayanabilen bir meyve olduğu bilinmektedir. (Anonim, 2015).

Elma bir çok gıdanın imalatında yan ve ana gıda maddesi olarak kullanılmaktadır. Dünyada bir çok yerde yetiştirilmekte, muz, üzüm ve tüm tropik meyveler gibi en fazla üretimi yapılan meyveler arasındadır (Forsline ve ark., 2010; Zarein ve ark., 2013).

Türkiye meyvecilikte miktar ve çeşit olarak ciddi anlamda bir üretim merkezidir. Türkiye' de yetişen bir çok meyve, hem yurt içinde tüketilmekte, hem de birçok ülkeye ihracatı yapılmaktadır. Üretim anlamında ilk sıralarda yer alan elma bu meyvelerden sadece bir tanesidir (Anonim, 2007).

Dünyada ise Çin, ABD, Türkiye ve İtalya en fazla elma üreten ülkeler konumundadır. Verim bakımından birinci sırada Fransa (34.2 ton/ha), 2. sırada İran (33.6 ton/ha) gelmekte bu ülkeleri ABD, Almanya, Türkiye izlemektedir (Oğuz ve Karaçayır, 2009).

Elma üretiminde son yıllardaki veriler göz önüne alındığında Türkiye dünyada ciddi anlamda üretim potansiyeline sahiptir. 2014 yılı verilerine göre 2 480 444 ton olup bir önceki yıl ise 3 128 450 ton ile 1988 - 2014 yılları arasında miktar olarak en fazla üretilen yıllar olmuştur (TÜİK, 2014).

Elma taze tüketim yanında, kurutulmuş, meyve suyu yapılarak, sirke üretiminde, esans, marmelat, tatlı gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (Özçatalbaş ve ark., 2009).

Dünya'nın bir çok yerinde yetişmesi önemini artırırken ve yüksek nem içeriğine sahip olma özelliği, zedelenme ve ziyan olma ihtimallerini yükseltmesi elmanın kurutma, depolama ve paketleme gibi proseslerine olan dikkati de artırmaktadır (Simal ve ark., 1994; Meisami - asl ve ark., 2010).

Elmanın insan sağlığı üzerine yapılan araştırmalar doğrultusunda kanser türlerinden olan prostat ve akciğer kanserlerine yakalanma riskini ve DNA hasarını azalttığını ve yüksek miktarlarda önemli antioksidanları barındırdığı bilgisine ulaşılmıştır. Yapısındaki zengin lif içeriğinden dolayı kalın bağırsağın çalışmasına olumlu etki ettiği, kalp hastalarına iyi gelmesi ve kilo vermede yardımcı olduğu bilinmektedir. Taze elmada bulunan antioksidanlar oksidatif stresin sebebiyet verdiği nörotoksiditeden koruduğu ve parkinsonizm ve alzheimer gibi unutkanlık etkisi gösteren hastalıklar üzerinde iyileştirme etkisi olduğu bilinmektedir (Anonim, 2015).

Bu çalışmada, kurutma açısından uygun bir çeşit olan *Golden Delicious* çeşidi elma araştırma materyali olarak seçilmiştir. Elmanın kuruma kinetiği üzerinde çalışılmış, taze ve kurutulmuş ürünlerde renk analizleri yapılmıştır. Kurutma denemeleri; proje kapsamında tasarlanmış olan sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutucuda, açıkta dış ortamda ve kurutma dolabında (etüvde) gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı elmanın sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda en uygun kurutulma şartlarının belirlenmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Clary ve ark., (2007), çalışmalarında sıcaklık kontrollü kombineli bir mikrodalga-vakum kurutucu imal ederek çekirdeksiz üzüm kurutmuşlardır. Kızılötesi termometre sensör aracılığı ile yüzey sıcaklığı ölçülmüş, belirli sıcaklıklardaki fiziksel, kimyasal özellikler belirlenerek ve güneşte kurutma yöntemine göre kalite kriterleri kıyaslanmıştır. Deneme işlemi sonunda veriler güneşte kurutma yöntemine göre kıyaslandığında kimyasal parametrelerin daha iyi korunduğu ifade edilmiştir.

Mikrodalga kombineli fırınlarda, sıcaklık kontrollü kurutma işlemi konusunda yapılan bu çalışmada mikrodalganın içten dışa doğru olan kurutma özelliğinden faydalanılarak diğer kurutma fırınlardaki dıştan içe doğru olan kurutma özelliğini bir arada kullanma avantajı gösterilmiştir. Ayrıca kombine tipli bu kurutucularda değişik sıcaklık kademelerinde sıcaklık kontrolü yapılabileceği gösterilerek bu alandaki temel konular tartışılmıştır (Sanchez ve ark., 2000).

Kouchakzadeh ve Shafeei (2010), çalışmalarında iki çeşit olan (Khany and Abasaliy) İran fıstıklarının mikrodalga kombineli konvektif kurutma cihazı ve laboratuvar ölçekli bir mikrodalga ile iki farklı kurutma çalışması yaparak kuruma oran eğrilerini incelemişlerdir. Çalışmada eğriler kuruma süresinin artması ile ilk başta hızlı bir şekilde yükselmiş ve daha sonra azalmıştır. Lineer olmayan regresyon modeli ile katsayılar ve ortalama kare sapmaları; Khany çeşidi için: 0.9612 ve 2.25×10^{-5} ve Abasaliy çeşidi için ise: 0.9997 ve 4.28×10^{-5} olarak belirlenmiştir.

Figiel ve Kita (2008), çalışmalarında ceviz kurutmak için, konvektif ve mikrodalgalı vakum kurutma sistemleri olmak üzere iki çeşit kurutma sistemi kullanmışlardır. Çalışmada kurutma sistemlerindeki kurutma parametreleri ise; Konvektif kurutucuda 55 °C ve 2 m/sn hızda mikrodalgalı vakum kurutucuda ise 480 W mikrodalga gücünde 4 kPa dan 6 kPa doğru değişen bir basınç altında kurutma işlemini yürütülmüştür Ceviz tanelerinin su aktivitesi ve nem içeriği arasındaki ilişkiyi üssel bir eşitlik yöntemi kullanarak açıklanmıştır. Çalışma sonunda ceviz tanelerinin fireleri 0.3kg/kg kb 'ye erişene kadar değişmiştir. Ayrıca ceviz tanelerinin gittikçe azalan nem içerikleri 0.46 kg/kg (kb) kadar azalması, eğilme dayanım testinde tahmin edilen kırılma gerilimi ve kırılma kuvvetinde önemsenir artışlar görülmüştür.

Kisselmina ve ark., (2013), kurutma işlemleri esnasında ürünün kalitesini iyileştirmek için sıcak hava destekli mikrodalga kurutucuda güç yoğunluğunun etkisi araştırmışlardır. Çalışmada kurutma işlemi esnasında üründe oluşan ısıdan kaynaklı sorunları çözmek amacıyla sıcak hava kontrollü bir mikrodalga geliştirilmiştir. Üç değişik güç yoğunluğunda (3, 5, 7 W/g) ve 40°C hava sıcaklığında güç kontrollü ve kontrolsüz olarak domates kurutulmuştur. En iyi ürün kalitesini belirlemek için kuru örneğe göre kıyaslama yapıldığında en iyi sonucu geri beslemeli güç kontrolündeki kurutma yönteminde elde edilmiştir.

Mikrodalga-vakum kurutma cihazı kullanılarak yapılan bir kurutma çalışmasında narı örten dokunun efektif nem dağılımı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan örnek ağırlığı 65 - 235 g aralığında olup, çalışılan vakum basıncı 25 - 195 mm Hg ve mikrodalga güçleri ise 25 - 95 W değerlerinde araştırma yapılmıştır. Efektif nem dağılımı 5.18×10^{-11} - 6.58×10^{-10} olarak belirlenmiştir (Dak ve Pareek, 2013).

Soya fasulyesinin mikrodalga destekli akışkan yataklı bir kurutucu da kuruma enerjisi ve iç enerji performanslarının simülasyonu çalışılmıştır. Ayrıca kuruma enerjisi ve iç enerji analizleri birkaç kurutma koşulunda yürütülmüştür. Kurutma işleminde, iç hava hızı, yatak kalınlığı, mikrodalga güç yoğunluğu, iç hava sıcaklığının etkileri tartışılarak simülasyon oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonunda kurutma sıcaklığının daha yüksek seviyelerde uygulanması daha yüksek iç enerji etkinliğine yol açtığı ifade edilmiştir (Ranjbaran ve Zare, 2013).

Wang ve ark., (2013), marul sapının, ürünün kalite kriterleri baz alınarak püskürtmeli tipte çalışan mikrodalga vakum kurutmada ürünün kuruma performansı araştırmışlardır. Çalışmada kurutma işlemi 2.4 W/g mikrodalga gücünde, 7-10 kPa basınçta, 5 cm' lik kurutma kalınlığı gibi kurutma kriterleri altında yapılmıştır. Araştırmalar sonunda püskürtmeli tip mikrodalga vakum kurutma sisteminde kurutulan ürünler, geleneksel mikrodalga vakum kurutma sisteminde kurutulan ürünlere göre kuruma daha üniform bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Taze acı biberin sıcak hava ve mikrodalga ile kuruma karakteristikleri üzerine ozmos ön uygulamasının etkisini araştırılmıştır. Çalışmada taze acı biberlere osmotik dehidrasyon uygulaması yapılmış ve yapılmamış olarak iki ayrı aşamada incelenmiştir. 60 - 180 W güçlerinde ve 50 -80 °C sıcaklıklarda kurutma çalışması yürütülmüştür. Kurutma işlemi esnasında ürünün efektif nem dağılımları hızlı bir şekilde lineer olarak artmış ve nem içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. Tüm işlemler arasında osmotik dehidrasyon uygulanmış örneklerde ön işlem sonrasında, 60 W güç uygulamasında mikrodalga kurutmada C vitaminin en fazla korunduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu güç kriterinde tazeye göre iyi renk uyumunun olduğu ve en az sürede kuruma işleminin gerçekleştiği bildirilmiştir (Zhao ve ark.,2013).

Akbudak ve Akbudak (2010), maydanozun konvektif kurutma, mikrodalga kurutma ve vakum kurutmada ürünün strüktürel yapısını incelemişlerdir. Çalışmada mikrodalgada kurutulan maydanoz örneklerinin renk değişimi, klorofil tutunabilirliği ve askorbik asit parametreleri araştırılmıştır. Askorbik asit değeri en az mikrodalga kurutmada, sonra sırasıyla vakum kurutma ve konvektif kurutmada oluşmuştur. Mikrodalga ile kurutulan örneklerde genel uygunluk değerlerinde ani değişimler görülmezken bu durum maydanozun genel kalitesinin en iyi korunduğu yöntem olarak belirlenmiştir.

Lombrana ve ark., (2010), ince şekilde kesilmiş mantar dilimlerini mikrodalgada sıcaklık ve basınç kontrolü altında kurutma işlemi yapılarak mikrodalganın kaliteye etkisini iki farklı yöntemle incelemişlerdir. Çalışmada; (I) sorpsiyon izotermi yöntemi ve (II) elektron mikroskobu tarama yöntemi ile yapılmıştır Kurutma kinetiklerinde ürünün nem dağılımını matematiksel modelleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları ışığında kurutma endüstrisinde sıcaklık ve/veya basınç kontrollü mikrodalga kurutmaların ciddi avantajlar sağladığı ve bu konuyu geliştirme adına çalışmaların yapılması gerekliliğini ifade etmişlerdir.

Beygi ve ark., (2008), dört farklı türe ait cevizlerin(Serr, Pedro, Z67, K38) 32 °C ve 43 °C sıcaklıklarda ve 1 ile 3 m/sn hava hızlarında kurutularak kurutma eğrileri oluşturmuşlardır. Çalışmada kurutma eğrilerinden uygun bir kurutma modeli araştırılmıştır. R², X² ve RMSE değerlerine göre en iyi modelin page modeli olduğu belirlenmiştir.

Konvektif kurutma yöntemi ile balkabağının kurutulması konulu bir çalışmada, 30 °C ve 70 °C sıcaklıklarda kuruma karakteristikleri belirlenmiş ve farklı kurutma modellerinde işlenmiştir. Sıcaklık, balkabağı için kimyasal özelliklerin değişmesinde önemli etki etmediği ancak fiziksel olarak kuruma süresini ciddi şekilde azalttığı bilgisine ulaşılmıştır. Belirli süre aralıklarında ağırlık değişimini gözlemleyebilmek için tartımları alınmıştır. Bu ağırlık değişimleri kullanılarak nem eğrisini tahmin eden en uygun modellerin page ve modified page modelleri oldukları bilgisine varılmıştır (Guiné ve ark., 2011).

Śledz ve ark.,(2013), çalışmalarında maydanoz, roka, keklik otu, nane ve reyhan bitkilerinin yapraklarının kuruma eğrileri oluşturularak en iyi tahmin eden modelin logistic modeli olduğunu belirlemişlerdir.Çalışmada kurutma işlemi 40 °C sıcaklıkta ve 300 W mikrodalga gücünde yürütülmüştür. Ayrıca ürünlerin polifenol bozunumları taksonomik olarak belirlenmiştir. Mikrodalga-konvektif kurutma işleminin, apiaceae ailesinden olan roka ve maydanoz otunun dışındakilerde polifenol bozunum önemli oranda olduğu ortaya çıkmıştır. Kurutma sonunda polifenol bozunumu en yüksek olan grup ise lamiaceae ailesinden olan keklik otu, nane ve reyhan bitkilerinin yapraklarında gözlemlenmiştir.

Kabin tip bir konvektif kurutucuda 60 °C sıcaklık ve 2 m/sn hava akış hızı değerlerinde brokoli kurutma denemesi gerçekleştirilmiştir. Ürünün kuruma karakteristikleri incelenip, kuruma verileri kullanılarak önce kuruma oranları belirlenip, on iki adet kurutma modeline uygulanarak en iyi tahmin eden model belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen verilerden Midilli ve ark, modeli en uygun model olduğu sonucuna varılmıştır. Deneme işlemin de sıcaklığı gittikçe artan bir suya daldırma işlemi yapıldıktan sonra kurutma işlemlerine geçilmiştir. Daldırma işleminin kuruma oranını artırıp kuruma süresini kısalttığı bilgisine ulaşılmıştır. Çalışmada efektif nem dağılım değeri de araştırılarak daldırma sıcaklığı değişimine göre $1.987 - 3.577 \times 10^{-8}$ aralığında değiştiği belirlenmiştir (Doymaz, 2013).

Doymaz ve ark., (2005), dereotu ve maydanoz bitkilerinin yapraklarını laboratuvar ölçekli bir kurutucuda kurutularak efektif nem dağılımı, renk değişimleri belirlenerek ve kuruma oranları değişik modellerde işlemişlerdir. Çalışmada kuruma eğrilerinin tahmini için en uygun model araştırılmıştır. Deneme çalışması 50 °C, 60 °C ve 70 °C

sıcaklıklarda, 1.1 m/sn sabit hızda yürütülmüştür. Denemenin sonunda renk kriteri açısından 60 °C sıcaklık değerinde yapılan kurutma çalışması için optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir.

Dereotu yapraklarının 30, 40, 50, 60 °C sıcaklıklarda konvektif bir kurutucuda kurularak kuruma oranları 12 değişik modelde işlenerek kuruma eğrileri oluşturulmuştur. Modeller arasında en iyi temsil eden modelin Midilli ve ark., modeli olduğu ortaya çıkmıştır. Dereotu yapraklarının kuruma modellerini ayrıca yapay sinir ağ çalışma yöntemi ile de tahminde bulunulmuştur (Motevali ve ark., 2012).

Gálvez ve ark., (2012), elma dilimleri üzerine kurutma hava sıcaklığı ve kurutma hava hızlarının materyalin kalite kriterlerine ve kuruma kinetiklerine olan etkilerini incelemiştir. Çalışmada bazı kalite kriterlerinin önemsenir değerlerde değiştiği ifade edilmiştir. Çalışma, 40, 60 ve 80 °C hava sıcaklıkları ile 0.5, 1.0 ile 1.5 m/sn hava hızlarında yürütülmüştür.

Aynı çalışmada, efektif nem difüzyonu değerleri, sıcaklığın ve hava hızının artması ile arttığı ve maksimum $15.30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sn}$ değerini aldığı ifade edilmiştir. Ayrıca toplam renk farklılık değerinin en yüksek olduğu sıcaklık değeri ise en yüksek kurutma sıcaklığı olan 80 °C sıcaklığında olduğu ifade edilmiştir. Kalite kriterleri olarak incelenen antioksidan değerinin, 40 °C sıcaklık ve 0.5 m/sn hava hızında en iyi korunduğu, toplam fenol değerlerinin ise sıcaklığın artması ile azaldığı gözlemlenmiştir.

Sıcak havalı kurutma, halojen ışıklı mikrodalga ve sade mikrodalga kurutucularda havuç dilimleri 0,47 g nem kuru baza kadar kurutulmuştur. Mikrodalga güç seviyesindeki artış kuruma süresini azalttığı bilgisine ulaşılmıştır. Sade ve halojen ışıklı mikrodalga kurutucular konvektif sıcak havalı kurutuculara göre kıyaslama yapıldığında %98 civarına kadar kuruma süresinde azalma ve yüksek kalitede kuruma gözlemlenmiştir. Kıyaslamalara renk değişimi açısından bakıldığında ise sade ve halojen ışıklı mikrodalga kurutucularda kurutulan havucun, taze havucun özelliklerine en yakın bu iki kurutucuda gözlemlenmiştir (Sumnu ve ark., 2004).

Zhenfeng Li ve ark., (2010), mikrodalga kurutma işlemlerinde güç kontrol stratejileri konulu çalışmalarında kuruyan örneğin ağırlık değişimini anlık bir şekilde ölçebilen,

örnek sıcaklığını, mikrodalga gücünü sürekli ve anlık şekilde kontrol edebilen bir mikrodalga kurutma sistemi geliştirmişlerdir.

Yine aynı çalışmada 55, 65, 75°C sıcaklıklarda elma kurutması yapılarak kuruma oranları ile gücün ilişkisi analiz edilmiştir. Çalışma esnasında üç sıcaklıkta çalışılmış ancak kuruma oranlarına bağlı olarak güç oranları değiştirilmiştir. Bu yöntemle ağırlık değişimleri anlık olarak ölçülmüş ve daha az enerji gereksinimi oluşarak daha iyi güç kontrolü sağlanmıştır.

Argyropoulos ve ark., (2011), dondurarak kurutma, vakumlu mikrodalga ile kombine edilmiş sıcak havalı kurutma ve sade konvektif sıcak havalı kurutma yöntemleriyle mantar kurutma çalışması yapmışlardır. Çalışmada bazı ürün kalite kriterleri açısından kurutma yöntemlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Ürün kalite kriteri olarak ürünün renk, strüktür, porozite, rehidrasyon özellikleri incelenmiştir.

Aynı çalışmada, vakumlu mikrodalga kombineli sıcak havalı kurutma yönteminin mantar üzerindeki kalite kriter sonuçları değerlendirildiğinden de ise konveksiyonel sıcak havalı kurutmada daha üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutulan mantar dilimlerine özgü bir özelliği olan pufluluk ve gevreklik özelliği, kombine edilen kurutma yönteminde daha iyi oluştuğu gözlemlenmiştir.

Sousa ve Marsaioli Jr. (2004), çalışmalarında olgunlaşmış muz meyvesini ev tipi bir mikrodalga da kurutma çalışması yapmışlardır. Çalışmada kurutma işlemi 25 °C - 50 °C arası hava sıcaklığında ve 0,8 - 1,8 m³/dk artan hava akış oranı aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Muzun kuruma davranışının belirlenmesinde, değişik zamanlarda azalan ürün nem içeriği ve kuruma oran eğrileri hazırlanarak çalışılmıştır. Kuruma davranışları belirlenirken Fick difüzyon modeli de dahil olmak üzere on bir modele tabi tutulmuştur. Ayrıca kuruma süreleri de 200 - 290 dk arasında değişmiştir.

Aynı çalışmada kurutulan muzun genel tüketici kabul testleri açısından iyi sonuçlar verdiği ve 1 - 9 puan arasındaki puanlamada 5,46 - 7,23 puan aldığı bilgisine ulaşılmıştır. Kurutulan örneklerin strüktür, tatlılık ve renk gibi kalite kriterlerinin ideal kriterlere çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Konveksiyonel sıcak hava kurutucu ile kombine edilen mikrodalga sıcak havalı bir kurutucuda sarımsak yumrularının kurutma denemesi yapılmıştır. Denemede 100' er gr ürün kullanılmıştır. Kurutma 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklarda ve 1.0 ile 2.0 m/sn hızlarda yürütülmüştür. Kombine edilen sistemdeki istenilen nem değerine düşene kadar geçen süre normal kurutma yöntemlerine göre % 80 - 90 daha kısa sürdüğü ve ayrıca son ürün kalite değeri açısından da daha üstün olduğu ifade edilmiştir (Sharma ve Prasad, 2001).

Lüle ve Koyuncu (2015), üvez meyvesinin bilgisayar kontrollü paralel akışlı bir konvektif kurutucu ve değişik güç kademeleri uygulanarak mikrodalga kurutma da meyvenin kuruma karakteristikleri çalışılmışlardır.

Aynı çalışmada paralel akışlı kurutucu 0,3 m/sn hava akış hızı ve 50 ve 70 °C sıcaklıklarında kurutulmuştur. Konvektif kurutucuda her 5-10 dakikada bir ölçüm alınırken mikrodalga kurutma işleminde her 15-60 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Minimum enerji tüketimi konvektif kurutucu için 70 °C de iken mikrodalga da PL-3 güç seviyesinde olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Toplam renk değişim miktarı ve renk farklılıkları (L,a,b) açısından incelendiğinde konvektif kurutucu için 50 °C de iken PL-1 mikrodalga güç kademesinde olup ve tazeye göre renk özelliğini en iyi muhafaza eden kademe olarak belirlenmiştir.

Alibaş (2015), mango dilimlerinin mikrodalga tekniği kullanarak kurutma çalışması yapmıştır. Çalışmada 1000, 750, 500, 90 W güçlerinde ve aynı zamanda da 50 °C sıcaklıkta sıcak hava kurutma yöntemi kullanılarak mango dilimlerinin kuruma süreleri belirlenmiştir. Mikrodalga ile kurutmada kuruma süreleri sırasıyla 7.5, 12, 18.5 ve 111 dakika sürmüştür. 50 °C sıcaklıkta yapılan sıcak hava kurutma yönteminde ise 255 dakika sürmüştür. Ayrıca renk analizi de yapılarak taze ürüne en yakın kurutma yöntemleri belirlenmiştir. 750 ve 500 W güç seviyelerinde yapılan kurutma çalışmaları renk açısından en uygun kurutma yöntemleri olarak bulunmuştur.

Isı pompalı kurutucuların çalışma prensipleri, ürün kurutma işlemlerinde hangi tip ısı pompalı kurutucuların kullanıldığı ve ısı pompalı kurutucuların performans kriterlerinin ele alınarak bilgiler verilmiştir. Ayrıca bir ısı pompalı kurutucuda elma kurutularak kurutma çalışmasına ilişkin bazı bilgiler verilmiştir (Gürlek ve ark., 2015).

Kaya ve ark., (2015), Trabzon hurmasının 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda 0.5, 1, 1.5 m/sn hava hızlarında kurutma çalışması yapmışlardır.Çalışmada Lewis, Henderson-Pabis ve iki terimli eksponansiyel matematiksel modelleri kullanarak en iyi tahmin eden kuruma modelini belirlenmiştir. Trabzon hurmasının kurutma eğrisini en iyi tahmin eden modelin Henderson-Pabis ve iki terimli eksponansiyel modelleri oldukları bulunmuştur.

Gürel ve ark., (2015), ısı pompalı ve parabolik oluklu güneş kolektörlü bir akışkan yataklı kurutucuların deneysel analizi konulu bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada ısı pompalı kurutma sistemi için ısıtma tesir katsayısı ortalama 1.91 olarak belirlenirken parabolik oluklu kurutucu için ise ısıtma performans katsayısı 3 olarak belirlenmiştir.

Seçkin ve ark., (2015), yarı kurutulmuş meyve ve sebzeler konulu çalışmalarında gelişen gıda teknolojilerinde pH düşürülmesi, hafif ısıtma, koruyucu kullanımı gibi yöntemlerle taze ürünün özelliklerini daha iyi muhafaza ettiği ifade etmişlerdir. Çalışmada bu işlemlerle taze ürünler kurutularak yarı kurutulmuş veya orta nemli ürünler elde etme yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yarı kurutulmuş ürünlerin yeme kalitesi açısından tüketiciler tarafından da tercih edildikleri ifade edilmiştir.

Özaydın ve Özçelik (2015), *Williams ve Abate fetel* çeşidi armutların küp ve dikdörtgen şeklinde dilimleyerek güneşte ve endüstriyel tip bir kurutucuda kurutma çalışması yapmışlardır. Çalışmada kurutulan armutlar 0, 1, 3 ve 6 ay süre ile depolanarak nem, su aktiviteleri ve toplam bakteri sayılarındaki değişimleri araştırılmıştır.

Konuk ve Korel (2015), kabin tip kurutma sisteminde 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarında üzüm çekirdekleri kurutularak kurutma sıcaklığının antioksidan ve toplam fenolik madde miktarına olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada üç sıcaklıkta da üzüm çekirdeklerinin kriterler açısından aralarında önemli bir değişikliğin olmadığı ifade edilmiştir.

Çelen ve ark., (2015), mikrodalga bantlı kurutucuda farklı güç (1500W ve 2100W) ve bant hızların da (0.175, 0.210 ve 0.245 m/dk) 5 mm kalınlığında dilimlenen patateslere kurutma şartlarının, kurutma sürelerine, renk değişimlerine ve enerji tüketimlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada nem değişimini modellemek için dokuz farklı kurutuma modeli kullanılarak en iyi tahmin eden model belirlenmiştir.

Sezer ve Demirdöven (2015), meyve sebze işlemlerinde mikrodalga ile haşlama uygulaması hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmada mikrodalga ile haşlama yönteminin kurutma işlemlerinde bir ön uygulama olarak kullanılabilceği ve kurutma sonrasında da ürünün kalitesinde olumlu etkiler yapacağı ifade edilmiştir.

Baysal ve ark., (2015), farklı elma kurutma tekniklerinin elma dilimlerinin kalite özelliklerine ve enerji verimliliği üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada tepsili, ısı pompalı, dondurarak ve mikrodalga kurutucular kullanılmıştır. Renk açısından dondurarak ve mikrodalga kurutucular diğer kurutma yöntemlerine göre daha uygun bulunmuştur. Enerji tüketim açısından ise ısı pompalı kurutucunun daha az enerji harcadığı ifade edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kurutulan Ürün

Bu çalışmada kurutmalık elma türlerinden olan *Golden Delicious* çeşidi elma kullanılmıştır. Kurutma denemelerinde kullanılan elma örnekleri Tokat'ta yerel bir marketten temin edilmiştir. Hasat sonrası materyalin yaş baza göre ortalama nem içeriği % 84.54 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma denemelerinde kullanılan elma (*Malus domestica*)

3.1.2. Kurutma Ortamları

Yapılan çalışmada, tez projesi kapsamında tasarlanan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu yanında sıcaklık kontrollü kurutma dolabı (etiv) kullanılmış, ayrıca, dış ortamda güneş ve gölgede kurutma karşılaştırma amacıyla ele alınmıştır.

Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutucu

Kurutma işleminde kullanılmak üzere sıcaklık kontrollü bir mikrodalga kurutma sisteminin tasarımı için Gaziosmanpaşa Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırmalar Projeleri) Koordinatörlüğü tarafından 2015/81 nolu proje kapsamında alınan mikrodalga fırın, temassız kızılötesi sıcaklık sensörü ve mikro işlemcili kontrol kartı temin edilerek tasarımı ve montajı yapılmıştır.

Çalışmada kullanılacak olan mikrodalga fırın Kenwood marka olup 800 W çıkış gücü bulunmaktadır (Şekil 3.2). Fırın kullanılabilir 20 lt hacme sahip olup iç kısmında 2,45

cm kalınlığında cam tepsi mevcuttur. 5 adet güç kademesinde çalıştırılabilme özelliği ile 8 adet menü programı bulunmaktadır. Çalışma kapsamında mikrodalğanın güç kontrol ünitesi iptal edilmiştir.



Şekil 3.2. Mikrodalga fırının yapısı

Denemelerde kullanılmak üzere tasarlanan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun son hali Şekil 3.3' de görülmektedir.

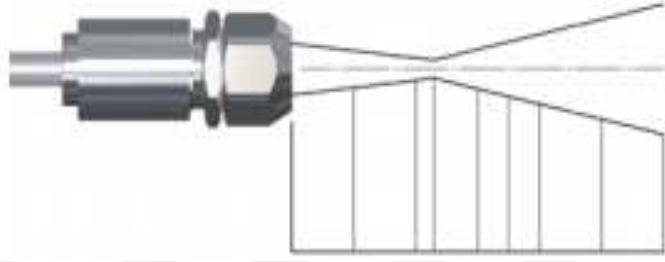


Şekil 3.3.Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu

Sıcaklık kontrollü mikrodalğanın tasarımında en önemli aşama kızılötesi sıcaklık sensörü ile mikrodalğanın uygun bir şekilde montajı ve mikro işlemcili kartın yazılım aşamalarıdır.

Çalışmada sensör ile fırının montaj işlemi için mikrodalğanın üst kısmından yukarıya doğru 5 cm yüksekliğinde bir metal yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Daha sonra metalin

orta kısmına 2,8 cm çapında delik açılarak sensörün okuma yapacağı başlık kısmının metal içerisine girilmesi sağlanmıştır. Bunun temel sebebi sensör okuma prensibinin yelpaze şeklinde olmasıdır. Sensör okuma ışını 5 cm mesafede en dar noktadan geçerek yelpaze oluşturmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sensör Işınının Yelpaze Şeklindeki Okuması

Böylece sıcaklık ölçüm sensörünün mikrodalga ışınlarından zarar görmemesi sağlanmıştır. Sensör başlığının metal içerisine takılıp çıkarma işlemleri kolay olması için metale kılavuz açılmıştır. Sensörün okuma başlığının mikrodalga içerisinde bulunan cam tepsinin orta noktasını görecektir şekilde sensör başlığının takıldıktan sonraki metal kısım boyunca orta noktasından 8 mm çapında delik açılmıştır. Bu işlemlerden sonra kızılötesi sıcaklık sensörü kılavuz yuvası boyunca yerleştirilmiştir.



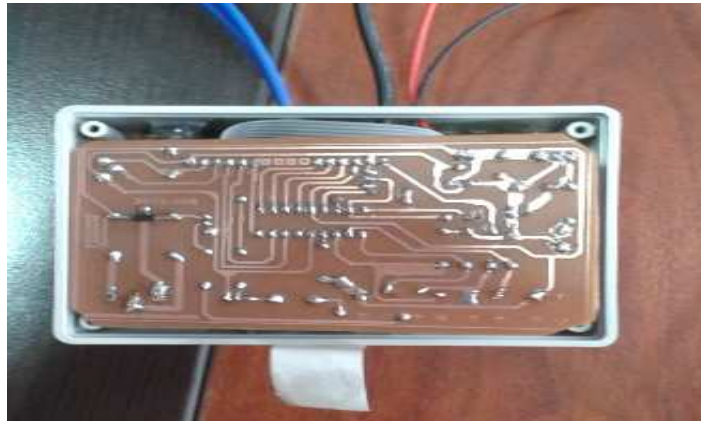
Şekil 3.5. Metal Parçasının Montajlı Görünümü



Şekil 3.6.Sensör Başlığının Montaj Görünümü

Daha sonra mikrodalga'nın istenilen sıcaklık aralıklarında ve mikrodalga'nın dinlenmesi için gerekli olan süre kontrollerinin gerçekleştirildiği kontrol paneli imal edilmiştir (Şekil 3.7 ve 3.8). Sıcaklık kontrol panelinin çalışmasını sağlayan mikro işlemcili kartın yazılımı gerçekleştirilmiştir. Yazılımdaki komutlar sıcaklık ve süre kontrolü şeklinde iki farklı şekilde yapılmıştır:

- I) Mikrodalga fırın içerisindeki ürünün sıcaklığı kurutma sıcaklığına ulaştığı an mikrodalga otomatik kapansın, ürün sıcaklığı kurutma sıcaklığının altına düştüğünde ise mikrodalga otomatik olarak çalışmaya başlasın şeklinde yazılımı gerçekleştirilmiştir.
- II) Ayrıca ürün sürekli mikrodalga ışına maruz kaldığında yanma ve kararma görülmektedir. Bu sebeple ürün istenilen sıcaklığa ulaştığında 10 sn süre ile bekleme süresi belirlenmiştir. Daha sonra mikrodalga otomatik olarak devreye girmektedir.



Şekil 3.7.Sıcaklık Kontrol Panelinin İç Görünümü



Şekil 3.8.Sıcaklık Kontrol Panelinin Dış Görünümü

Sıcaklık kontrol paneli (mikro işlemcili kontrol kartı), mikrodalga fırının çalışması esnasında üründe oluşan sıcaklığın temassız kızılötesi sensör tarafından ölçülerek sıcaklık değerinin iletiildiği bir kontrol elemanıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sıcaklık Kontrol Paneli

Kontrol panelinin içerisinde bulunan mikro işlemcili kontrol kartı bulunmaktadır. Bu mikro işlemcili karta sıcaklık ve süreyi kontrol etmek için yazılım oluşturulmuştur. Yazılımdaki komutlar ile ürünün sıcaklığını kurutma için istenilen üst ve alt sıcaklık aralığında tutmayı sağlamaktadır. Ürün sıcaklığı girilen üst sıcaklık değerine geldiğinde otomatik olarak mikrodalganın çalışmasını durdurmayı sağlayan ve ürünün sıcaklığı istenilen alt sıcaklık değerine düştüğünde ise otomatik olarak mikrodalgaya çalıştır komutu gönderen elemandır. Ayrıca mikrodalga otomatik olarak kapandıktan sonra

kurutma esnasında ürünün yanmaması için beklenilecek olan dinlenme süresinin de kontrol edilebildiği bir ara elemandır.

Sıcaklık kontrol panelinin programlanması ise şekil 3.3. 'te görüldüğü gibi veri okuma ekranının altında bulunan üç adet siyah düğme ile yapılmaktadır. Düğmelerden en soldaki ile girilecek olan sıcaklık değerinin ve dinlenme süresinin azaltılması yapılırken en sağdaki düğme ile ise girilecek olan sıcaklık değerinin ve dinlenme süresinin artırımı yapılır. Orta da bulunan düğme ile de menü geçişleri sağlanır ve aynı zamanda girilecek üst, alt sıcaklık değeri ve dinlenme sürelerinin kaydedebilmektedir.

Çalışmada Optris marka CT LT modeli temassız kızılötesi sıcaklık sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.10). Sensör -50 °C ile 975 °C arasında ölçüm yapabilmekte olup, ideal çalışma aralığı ise -20 °C ile 180 °C arasındaki sıcaklık değerleridir. Temassız kızılötesi sıcaklık sensörünün çalışma için gerekli olan güç ihtiyacı 8 - 36 V DC 'dir.



Şekil 3.10. Temassız kızılötesi sıcaklık sensörü

Sıcaklık sensörünün bir adet giriş bir adet çıkış noktası bulunmaktadır. Giriş noktası sıcaklık ölçümü yapan okuma başlığının bulunduğu nokta olup çıkış noktası ise ölçülen sıcaklık değerinin bilgisayar ortamına aktaracak olan elmanın çıkış yeridir. Ayrıca temassız kızılötesi sıcaklık sensörü 0/4 - 20 mA, 0 - 5 V, 0 - 10 V seçilebilir analog değerleri vardır.

Kurutma Fırını (Etüv)

Çalışmada nem tayini ve kurutma denemeleri için Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Kurutma Laboratuvarı'nda bulunan etüvlerden yararlanılmıştır. Araştırma kapsamında iki farklı kurutma dolabı (etüv) kullanılmıştır. Etüvler aynı markanın farklı tipleri olup sadece ebat olarak ve bazı teknik özellikleri açısından farklılığı vardır (Şekil 3.11 ve 3.12).



Şekil 3.11. Denemelerde kullanılan kurutma dolabı

Kurutma işlemlerinde kullanılan etüvler Şimşek Labortechnik marka olup ST - 055 ve ST - 120 tip modelleri kullanılmıştır. ST - 120 tipli etüv diğerine göre ebat olarak büyük olup 250 °C sıcaklığa kadar ayarlanabilme özelliği bulunmaktadır. ST - 055 tipli etüv ise küçük olup 150 °C sıcaklık değerine kadar ayarlanabilmektedir (Şekil 3.12).

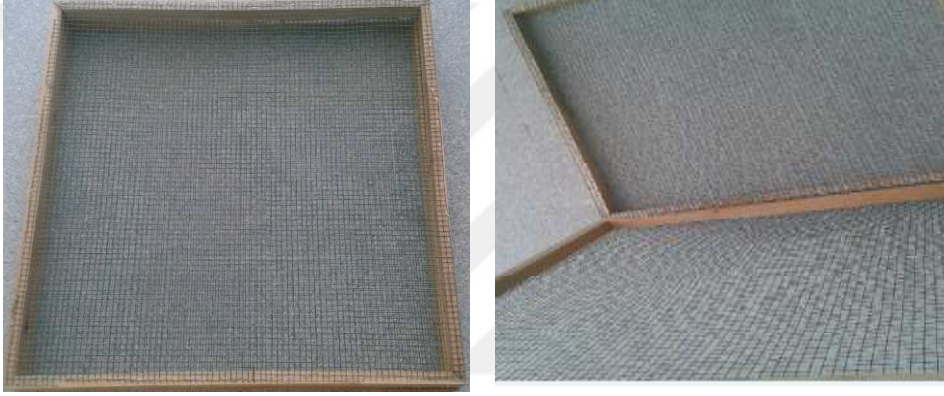


Şekil 3.12. Denemelerde kullanılan diğer kurutma dolabı

Dış Ortamda (Açıkta) Kurutma

Elma örneklerini dış ortamda güneşte ve gölgede kurutma işlemi için özel yapılmış kurutma kafesleri kullanılmıştır. Kurutma kafeslerinin kullanım amacı zararlı böceklerin ürüne konmasını ve kuşların ürüne zarar vermesini engellemek içindir. Kurutma kafesleri orta kısımlarından menteşeli olup açılır kapanır şeklindedir.

Dış ölçüleri 75×75 cm ve çitaların kalınlıkları ise 3,5 cm' dir. Kafeslerin kullanım alanlarının iç ölçüleri 70×70 cm olup dışarıya doğru olan çita paylar ise 2,5 cm 'dir.



Şekil 3.13.Kurutma kafesinin yapısı

3.2. Yöntem

3.2.1. Kurutma Yöntemleri

Kurutma amacıyla üç farklı yöntem kullanılmıştır. Denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Uygulanan yöntemler:

1. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma
2. Kurutma dolabında (etüvde) kurutma
3. Dış ortamda açıkta (Güneş ve Gölgede) kurutma

3.2.2 Nem tayini

Kurutma çalışmalarında elmalar değişik kurutma yöntemlerine tabi tutularak %10 - 13 gibi son nem değerlerine kadar düşürülmesi hedeflenmiştir. Ancak kurutma işleminde bu değerleri belirlemek için ürünün nem içeriği belirlenmesi gerekmektedir. Bu

çalışmada kurutma materyali olarak seçilen elmanın hasat sonrası ilk nem değeri belirlenmiştir. Nem tayini için 55 - 60 gr ağırlığında dörder tekerrür şeklinde örnekler kullanıldı. Nem tayini işlemi 70 °C sıcaklıktaki etüvde örneklerin son nem değerine ulaştığı ana kadar devam edildi.

3.2.3. Kurutmada Nem Değişiminin Belirlenmesi

Kurutma sürecinde nem değişimini belirlemek için, kurutulan ürün belirli aralıklarla tartılarak ağırlık değişimi belirlenmiştir. Bu amaçla, 0.01 g hassasiyetinde çalışan Sartorius marka BA3100P model elektronik terazi kullanılmıştır.

3.2.4. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutma Yöntemi

Sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutma işlemi tez projesi kapsamında tasarlanıp montajı yapılan kurutucu da gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma işleminde 60 - 70 gr kadar örnek kullanıldı. Kurutma 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda gerçekleştirildi. Hedeflenen kurutma sıcaklığında $\pm 4,5$ °C sapma meydana geldiği belirlendi. Kurutmada kullanılan elma örneklerinin aynı renk tonlarına sahip olmalarına dikkat edildi. Seçilen elmalar eş kalınlıklara sahip olmak üzere dörde ve sekize dilimlendi. Dilimlenen elmalar kağıt tabaklar üzerine konularak mikrodalga fırının içerisinde bulunan cam tabağın üzerine kurutma işlemi için yerleştirildi.

Mikrodalga fırın üzerine monte edilen kızılötesi sıcaklık sensörü kurutma işlemi boyunca materyali görecekte şekilde elmalar konumlandırıldı. Sıcaklık değerinin seçimi kontrol panelinden girilerek her tekerrür için ayrı ayrı gerçekleştirildi. Kurutma esnasında mikrodalganın aşırı ısınması ve ürünün kararıp yanmasının önüne geçilmesi için yine aynı kontrol panelinden dinlenme süresi girildi. 10 sn olarak belirlenen dinlenme süresi, ürünün sıcaklığı kurutma sıcaklığına eriştiği an mikrodalga otomatik olarak çalışmasını durdurarak bu arada bekleyeceği süreyi ifade etmektedir.

Kurutma işlemi için belirlenen sıcaklık ve dinlenme süreleri kontrol paneline girildikten sonra kontrol paneli üzerinde bulunan başlat komutu veren düğmeyi aktif hale getirerek kurutma işlemi başlatıldı.

Kurutma işlemi boyunca üründeki ağırlık değişimini belirlemek için hassas terazi ile tartım işlemi yapıldı. Çalışmaya başlamadan önce yapılan ön denemelerde 50 °C

sıcaklıktaki kurutma işlemi diğer sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerine göre daha uzun sürdüğü belirlendi. Bu sebeple 50 °C sıcaklıktaki kurutma işleminde ilk başlarda yarımşar saat aralıklarla tartım işlemi yapılırken daha sonra birer saat aralıklarda tartım işlemi gerçekleştirildi. Denemelerde 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde ise kuruma daha kısa sürelerde gerçekleştiği için tartım ilk başlarda onar dakika aralıklarla yapılırken daha sonra yirmişer dakika aralıklarla yapıldı.

Sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutma işleminde elmalar dörde ve sekize dilimlenerek her kurutma sıcaklıkları için dilim kalınlığının kurutma karakteristiklerine olan etkisi araştırıldı. İstenilen nem değerlerine ulaşan ürünlerin kuruma işlemi bittikten sonra ürünlerin bozulmaması için plastik tüpler içerisinde saklanmak üzere buz dolabına konuldu.

3.2.5. Etüvde Kurutma İşlemi

Elmalar etüvde kurutulurken dörde ve sekize dilimlenerek kurutma işlemi gerçekleştirildi. Kurutma işleminde ürünleri koymak için alüminyum folyo tabaklar kullanıldı. Kurutma için 50 - 60 gr kadar ürün kullanıldı. Kurutma 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarda kurutularak dörder tekerrür şeklinde gerçekleştirildi. Kurutma işlemi için Kurutma sırasında üründeki ağırlık değişimlerini görmek için hassas terazi ile tartımlar yapıldı. Üç sıcaklık değeri içinde kurutma işleminin ilk başlarında birer saat aralıklarla tartım yapılırken daha sonra ikişer ve üçer saat aralıklarla tartım yapıldı.

Son nem değerlerine erişen ürünlerin kuruma işlemi bitirildikten sonra bozulmaması için plastik tüpler içerisinde saklanmak üzere buzdolabına konuldu.

3.2.6. Dış Ortamda (Açıkta) Kurutma İşlemi

Dış ortamda yapılan denemeler güneşte ve gölgede gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, özel yapılı tel örgü raflar kullanılmıştır. Kurutma materyali olarak kullanılan elmalar diğer yöntemlerde olduğu gibi eş dilim kalınlıklarına sahip olacak şekilde dörde ve sekize dilimlenerek kurutuldu. Kurutma işleminde 50 - 60 gr kadar ürün kullanılarak dörder tekerrür şeklinde gerçekleştirildi. Kurutma materyalleri kağıt tabaklara konularak kurutma işlemi için raflara serildi.

Kurutma denemeleri süresince dış ortamın havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri bir data logger (HOBO tem/RH, HO8-003-02 tip) kullanılarak kaydedildi.

3.2.7. Kurutma Verilerinin Matematiksel Modellenmesi

Araştırma materyali olarak kullanılan elmaların kurutma işlemi esnasında zamana bağlı olarak üründen uzaklaştırılan nemi belirlemek için aşağıda verilen eşitlik kullanıldı.

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

ANO: Ayrılabilir nem oranı

M: Kurutulan materyalin anlık nem içeriği

M_e : Kurutulan materyalin verilen durumdaki denge nemi

M_0 : Kurutulan materyalin ilk nem içeriği

Kurutma işleminin nem değişimini modellemek için Yağcıoğlu, Midilli-Küçük ve Page modelleri kullanıldı. Kullanılan modellerin eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Yağcıoğlu (2)
 $f = k \cdot \exp(-h \cdot t) + j$

Midilli-Küçük (3)
 $f = h \cdot \exp(-j \cdot (t^k)) + (l \cdot t)$

Page (4)
 $f = \exp(-h \cdot (t^j))$

Çalışma üçer tekerrür halinde gerçekleştirilerek nem değişim değerlerinin ortalaması alındı. Üç tekerrüre ait ortalama değerden tek bir kuruma modeli oluşturuldu. Kurutma modellerini oluşturmak için paket program kullanıldı. Yukarıda verilen formüllerde kullanılan bazı katsayı değerleri programda girilerek kurutma eğrileri oluşturuldu. Kurutma eğrilerinin sonuç raporlarında, modellere ait formüllerin katsayıları ile modellere ait kuruma eğrilerinin (p) değerleri ve (R^2) değerleri verildi (Polatçı, 2012).

3.2.8. Renk Değerlerinin Belirlenmesi

Araştırmada kullanılan elmaların taze ve kurutulmuş hallerinin renk değerleri ölçüldü. Renk ölçümleri Minolta marka CR300 model renk ölçer ile yapıldı.

Elmalar kurutmadan önce ve kurutmadan sonra olarak her uygulama için on beşer adet renk ölçümü alındı. Renk ölçümleri dörde ve sekize dilimlenerek kurutulan elma dilimlerinin iç yanak kısımlarından yapıldı. Renk tayininde elmaların L, a, b değerleri belirlendi.

L, a ve b değerler şu bilgileri ifade etmektedir;

" L " materyalin parlaklık değerini ifade ederken 0-100 arasında değerler almaktadır. L değeri 0 olduğu durumda siyah renk yani yansımanın hiç olmadığını, L değeri 100 olduğu durumda ise ürün beyaz renkte olduğunu yani yansımanın tam olduğunu ifade eder. " a " kırmızı - yeşil, " b " sarı - mavi renkleri ifade ederken sırasıyla (+, -) değerleri alır. Renk değerleri a = 0 ve b = 0 olduğu durumda ise ürün renginin gri olduğunu gösterir (McGuire, 1992).

Hesaplanan renk değerlerinden kroma değeri ise rengin canlılığını ifade etmektedir. Solgun renklere ürünün kroma değeri düşük değerler alırken canlı renklere ise yüksek değerler alır. Çalışmada Kroma ve Hue açısı değerleri aşağıdaki verilen formüllerle hesaplandı.

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (6)$$

Ürün renginde meydana gelen değişimi tanımlamada kullanılan ikinci ifade ise kahverengileşme indeksidir. Kahverengileşme indeksi, kahverengi renginin saflığını temsil etmekte ve kahverengileşme reaksiyonlarının ürün renginde meydana getirdiği değişimleri tanımlamada önemli bir parametredir.

Ürünün kahverengileşme indeksini ifade eden " BI " değeri ve formülde bulunan " x " değeri ise;

$$BI = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,17} \quad (7)$$

$$x = \frac{a + (1,75 xL)}{[(5,645 xL) + (a - (3,012 xb))]} \quad (8)$$

formüllerle belirlendi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma kapsamında uygulanan her bir kurutma yöntemi için materyalin kuruma performans değerleri belirlenerek nem değişimleri matematiksel olarak modellendi. Ayrıca taze ve kurutulan elma dilimlerinin renk analizleri yapılarak sonuçlar ayrıntılı şekilde verildi.

4.1. Kurutma Performans Değerleri

Çalışmada kullanılan elmanın nem tayini sonunda ortalama %84,54 olarak belirlenen nem seviyesi yaş baza göre % 10-13nem seviyelerine kadar düşürüldü. Kurutma materyalinin dört farklı kurutma yöntemlerine ait toplam kuruma süreleri ile yaş baz göre ortalama son nem değerleri aşağıda Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge4.1. Kurutulan elmaların son nem oranları (% yb) ve kurutma süreleri

Kurutma Yöntemi		Ort. Son Nem (y.b.)	Kuruma Süreleri	
Etüv	50 °C	8 'e	12,86	21 Saat
		4 'e	9,41	41 Saat
	60 °C	8 'e	15,68	21 Saat
		4 'e	10,16	36 Saat
	70 °C	8 'e	14,71	9 Saat
		4 'e	16,24	18 Saat
Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutma	50 °C	8 'e	15,00	6 Saat
		4 'e	9,74	7 Saat
	60 °C	8 'e	14,41	4,5 Saat
		4 'e	13,35	6 Saat
	70 °C	8 'e	11,61	0,5 Saat
		4 'e	11,23	2 Saat
Açıkta – Güneş		8 'e	17,48	72 Saat
		4 'e	16,87	168 Saat
Açıkta - Gölge		8 'e	8,13	216 Saat
		4 'e	9,40	287 Saat

Çizelgede verilen farklı kurutma yöntemlerine ait kuruma süreleri ile ortalama nem (yb) değerleri üçer tekerrür halinde gerçekleştirilerek ortalama değerleri belirlendi. Çizelge 4.1.1 de en uzun kuruma287 saat ile gölgede 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde gerçekleşirken en kısa kuruma ise 70 °C sıcaklıkta sıcaklık kontrollü

mikrodalgada 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde gerçekleşmiştir. Kurutma yöntemlerini kuruma süreleri açısından ayrı ayrı incelendiğinde;

Etüv ile kurutma yönteminde en uzun kuruma 41 saat ile elmanın 50°C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde gerçekleşirken, en kısa kurumanın ise 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde gerçekleşmiştir.

Akoy ve Hörösten (2015) 'in sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda mango dilimlerinin kurutulması konulu çalışmalarında sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun konvektif kurutucuya göre kuruma süresini büyük oranda kısalttığı görülmüştür.

Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde en uzun kuruma 50 °C kontrol sıcaklığında 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma işleminde görülürken en kısa kurumanın ise 0,5 saatlik kuruma süresi ile 70 °C kontrol sıcaklığında 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde görülmüştür.

Cucurullo ve arkadaşları (2012) elmaların silindir şeklinde kesilerek sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda yaptıkları kurutma çalışmalarında sıcaklığın artması ile kuruma sürelerinde önemli miktarda azalmalar olduğu bulunmuştur.

Doğal kurutma yöntemleri olan güneşte ve gölgede yapılan kurutma yöntemlerindeki en kısa kuruma 72 saatlik kuruma süresi ile 8 'e dilimlenerek yapılan güneşte kurutma yönteminde gerçekleşmiştir. 287 saatlik kuruma süresi ile en uzun kurumanın gerçekleştiği gölgede 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemi olmuştur.

Çizelge. 4.1 'den tüm kurutma yöntemlerinde sıcaklığın elmanın kurumasına etki ettiği ve sıcaklığın artması ile de kuruma sürelerinin azaldığı görülmektedir.

Kaya ve arkadaşlarının (2015) Trabzon hurmasını farklı sıcaklar ve hava hızlarında kurutarak yaptıkları çalışmada kurutma sıcaklığının artması ile ürünün kuruma süresini kısalttığı görülmüştür.

Aynı çizelgeden tüm kurutma yöntemlerinde 8 'e dilimlenen elmaların kuruma süreleri 4 'e dilimlenen elmaların kuruma sürelerine göre daha kısa sürmüştür. Etüv kurutma

yönteminde elmanın 8 'e dilimlenmesi kuruma süresini yaklaşık yarı yarıya düşürdüğü görülmektedir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde ise dilim farklılıkları kuruma sürelerinde 1-1,5 saatlik değişiklik oluştururken, güneşte kurutma yönteminde 96 saat, gölgede kurutma yönteminde ise 71 saatlik bir kuruma süresinde değişikliğe sebep olmuştur.

Ayrıca gölgede ve güneşte kurutma işlemine aynı anda başlanılarak aynı sürelerde tartım işlemleri yapıldı. Buradaki amaç gölgede ve güneşte yapılan kurutma yöntemlerini karşılaştırmak ve aynı zamanın kurutmanın yapıldığı güneş ve gölge ortamlarının sıcaklık ve bağıl nem değerlerini görülmesidir.

Elmalar güneşte ve gölgede kurutulurken kurutma ortamının bağıl nem ve sıcaklık değerlerini belirlemek için bir bilgisayar programı aracılığı ile programlanan hobolar kullanılmıştır. Güneşte ve gölgede yapılan kurutma yöntemlerinde ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri sırasıyla 25 °C - % 35, ve 21 °C - % 48 olarak belirlenmiştir.

4.2. Kurutma Verilerinin Modellenmesi

Kurutma işlemlerinde kullanılan materyalin süreye bağlı olarak ayrılabilir nem oranı değişimini belirlemek için kuruma eğrileri oluşturulur. Bu araştırmada kurutma materyali olarak kullanılan elmanın kurutma eğrilerini oluşturulurken bir paket program kullanılmıştır.

Bu çalışmada kurutma eğrilerini modellemek için Yağcıoğlu, Midilli Küçük ve Page eşitlikleri kullanılarak varyans analiz sonuçları ile kararlılık katsayısı olan R^2 değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.2.1).

Uygulanan tüm modellemelerde modellerin güvenilir olması için varyans analiz sonucunu ifade eden p değeri 0,05 değerinden daha düşük belirlenmiştir. Kullanılan modellere ait katsayılar, varyans analizi ve R^2 sonuçları aşağıdaki tablolarda verilerek ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 4.2. Yağcıoğlu eşitliği parametrelerinin sayısal değerleri ve modele ait “ R² ” ve “ p ” değerleri

Kurutma Yöntemi		Dilim Şekli	k	h	j	R ²	p
Etüv	50 °C	8 'e	1,1183	0,0960	-0,1255	0,9997	<0,0001
		4 'e	1,1357	0,0509	-0,1285	0,9996	<0,0001
	60 °C	8 'e	1,2915	0,0700	-0,2777	0,9990	<0,0001
		4 'e	1,1557	0,0563	-0,1468	0,9994	<0,0001
	70 °C	8 'e	1,2347	0,1697	-0,2391	0,9989	<0,0001
		4 'e	1,1177	0,1153	-0,1122	0,9994	<0,0001
Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga	50 °C	8 'e	1,3549	0,2331	-0,3253	0,9896	<0,0001
		4 'e	1,1183	0,3550	-0,0952	0,9955	<0,0001
	60 °C	8 'e	1,4527	0,2779	-0,4063	0,9927	<0,0001
		4 'e	1,0493	0,5644	-0,0087	0,9969	<0,0001
	70 °C	8 'e	14,2950	0,1485	-13,2428	0,9682	<0,0001
		4 'e	0,9549	1,9393	0,0133	0,9914	<0,0001

Uygulanan tüm kurutma yöntemlerinde kuruma eğrilerini oluşturmak için Yağcıoğlu eşitliği kullanılmıştır. Çizelge 4.2.1 de Yağcıoğlu eşitliğine ait k, h, j gibi sayısal değerler ile eşitliklerin kararlılık değerini ifade eden R² ve varyans analiz değerleri verildi.

Kurutma yöntemlerine ait " k " değerleri incelendiğinde 0,9545 ile 14,2950 değerler arasında değişmiş. Bu değerler aynı zamanda en küçük ve en büyük değerler olup 70 °C sıcaklıkta 4 'e ve 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir.

" h " değerleri ise 0,0509 ile 1,9393 arasında değişerek en küçük ve en büyük değerleri almıştır. En küçük h değeri 50 °C sıcaklıkta etüvde 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde elde edilirken en büyük değer 70 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi.

" j " değerleri ise -13,2428 ile 0,0133 değerleri arasında değişmiş. En küçük j değeri 70 °C sıcaklıktaki 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde alırken en büyük j değeri ise yine aynı sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir.

Ölçülen değerler ile tahmin edilen değerlerin birbirine yakınlığını ifade eden R^2 değerleri 0 ile 1 arasında almaktadır. 0 değeri veriler arasında kararlılığın hiç olmadığını 1 değeri ise kararlılığın en yüksek olduğunu ifade eder.

Çizelge 4.2.1'de en yüksek R^2 değerinin 0,9997 olduğu ve 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan etüv kurutma yönteminde görülmektedir. Kararlılık değerinin en düşük olduğu değer ise 0,9682 olup 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde görülmektedir.

En yüksek R^2 değerinin etüv kurutma yönteminde olması diğer kurutma yöntemlerine göre ısı dağılımının ürün üzerine daha homojen şekilde yayıldığı tahmin edilmektedir. En düşük R^2 değerinin sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda görülmesinin nedeni ise kurutma seyri boyunca her tartım sonrası fırın içerisine tekrar konulduğunda kızılötesi sıcaklık sensörünün tam aynı noktasını görememesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Çizelgede kurutma yöntemlerine ait kuruma eğrilerinin Midilli-Küçük modeli uygulanarak oluşturulan eğriler görülmektedir. Ayrıca modele ait sayısal değerler, kararlılık değeri ve varyans analiz değerleri görülmektedir.

Midilli küçük modeline ait en büyük " k " değeri 2,5817, en küçük k değeri ise 0,7972 değerini alarak bu iki değer arasında değişmiştir. Bu değerlerin ikisi de 70 °C sıcaklıkta 8 'e ve 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi.

Çizelge 4.3. Midilli - Küçük eşitliği parametrelerinin sayısal değerleri ve modele ait “R²” ve “p” değerleri

Kurutma Yöntemi		Dilim Şekli	k	h	j	m	R ²	p
Etüv	50 °C	8 'e	0,9880	0,9964	0,1081	-0,0044	0,9996	<0,0001
		4 'e	1,0838	0,9953	0,0457	-0,0015	0,9997	<0,0001
	60 °C	8 'e	1,1120	1,0014	0,0693	-0,0050	0,9993	<0,0001
		4 'e	1,0924	0,9961	0,0508	-0,0019	0,9996	<0,0001
	70 °C	8 'e	0,9682	0,9997	0,2033	-0,0174	0,9990	<0,0001
		4 'e	1,0733	0,9967	0,1124	-0,0027	0,9996	<0,0001
Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga	50 °C	8 'e	1,4258	0,9932	0,2430	-0,0017	0,9960	<0,0001
		4 'e	1,2556	0,9952	0,3358	-0,0007	0,9994	<0,0001
	60 °C	8 'e	1,4371	0,9970	0,3177	-0,0068	0,9979	<0,0001
		4 'e	1,1579	1,0113	0,5336	0,0051	0,9987	<0,0001
	70 °C	8 'e	2,5817	1,0001	20,6315	-0,0157	0,9999	<0,0001
		4 'e	0,7972	0,9940	1,6287	-0,0229	0,9954	<0,0001

Modele ait en büyük " h "değeri 1,0113, en küçük h değeri ise 0,9932 değerini alarak bu iki değerler arasında değişmiştir. En büyük değer 60 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilirken en küçük değer ise 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcak kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi.

" j " ve " m " değerlerin en büyük ve en küçük değerleri sırasıyla 20,6315, 0,0457 ve 0,0051, -0,0229 olarak elde edildi.

Midilli Küçük modeline ait en büyük R²değeri en büyük 0,9999 değerini alırken bu değer70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde almıştır. Varyans analizi sonucunun ise modelin geçerlilik kriter değeri olan 0.05 değerinden küçük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Page eşitliği parametrelerinin sayısal değerleri ve modele ait “ R² ” ve “ p ” değerleri

Kurutma Yöntemi		Dilim Şekli	k	h	R ²	p
Etüv	50 °C	8 'e	0,0080	1,1048	0,9970	<0,0001
		4 'e	0,0402	1,1674	0,9982	<0,0001
	60 °C	8 'e	0,0595	1,2573	0,9968	<0,0001
		4 'e	0,0446	1,1845	0,9979	<0,0001
	70 °C	8 'e	0,1949	1,1862	0,9941	<0,0001
		4 'e	0,1074	1,1386	0,9986	<0,0001
Sıcaklık Kont. Mikrodalga	50 °C	8 'e	0,2499	1,4276	0,9958	<0,0001
		4 'e	0,3410	1,2534	0,9993	<0,0001
	60 °C	8 'e	0,3284	1,4777	0,9975	<0,0001
		4 'e	0,5093	1,1278	0,9977	<0,0001
	70 °C	8 'e	21,5904	2,6044	0,9999	<0,0001
		4 'e	1,8081	0,8678	0,9940	<0,0001

Çizelge 4.2.3 'de page eşitliği ile oluşturulan kuruma eğrilerine ait sayısal değerler, R² ve varyans analiz değerleri verildi. Çizelgeye göre " k " değeri en küçük 0,0080 ile en büyük 21,5904 değerleri arasında değişmiştir. " k " nın en küçük değeri 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek gerçekleştirilen etüv kurutma yönteminde elde edilirken en büyük değer ise 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek gerçekleştirilen yine aynı kurutma yönteminde elde edilmiştir.

0,8678 ile 2,6044 arasında değişen bu değerler eşitliğin en küçüğü ile en büyük " h " değerleridir. Bu değerlerin ikisi de 70 °C sıcaklıkta 4 'e ve 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda elde edilmiştir.

Page eşitliğinin kararlılık değerini ifade eden R² değeri en büyük 0,9999 değerini alırken bu değer 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek gerçekleştirilen sıcaklık kontrollü

mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi. En küçük R^2 değeri ise 0,9940 olup 70 °C sıcaklıkta 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde elde edilmiştir.

Etüv kurutma yönteminde 8 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için en uygun eşitliğinin Yağcıoğlu eşitliği olduğu görülmektedir. 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için ise en uygun eşitliğin Midilli Küçük eşitli olduğu görülmektedir.

Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde 8 ' e ve 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutmaların ikisi içinde en uygun eşitliğin Page eşitliği olduğu görülmektedir.

50 °C sıcaklıkta 8 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için Yağcıoğlu eşitliği 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için ise Midilli Küçük eşitliği en uygun eşitlik olarak görülmektedir.

60 °C sıcaklıkta 8 ' e ve 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutmaların ikisi içinde Midilli Küçük eşitliği en uygun eşitlik olarak görülmektedir.

70 °C sıcaklıkta 8 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için Page ve Midilli Küçük eşitliği 4 ' e dilimlenerek yapılan kurutmalar için ise Midilli Küçük eşitliği en uygun olduğu görülmektedir.

Kurutma işlemlerinde kullanılan bu üç eşitlik içerisinde en büyük R^2 değeri 0,9999 olup Page ve Midilli küçük modellerinde bulunmuştur. En küçük R^2 değeri ise 0,9914 olup Yağcıoğlu modelinde bulunmuştur.

4.3. Renk Analizi

Yapılan tüm kurutma yöntemlerinden sonra 15 ' er adet renk ölçümü yapılarak kurutma yöntemlerine ait ortalama L, a, b değerleri belirlenmiştir. Bu renk değerleri kullanılarak taze ve kurutma sonrası ürünlerin Kroma (C^*), Hue açısı (h°) ve kahverengilik (BI) değerleri hesaplandı.

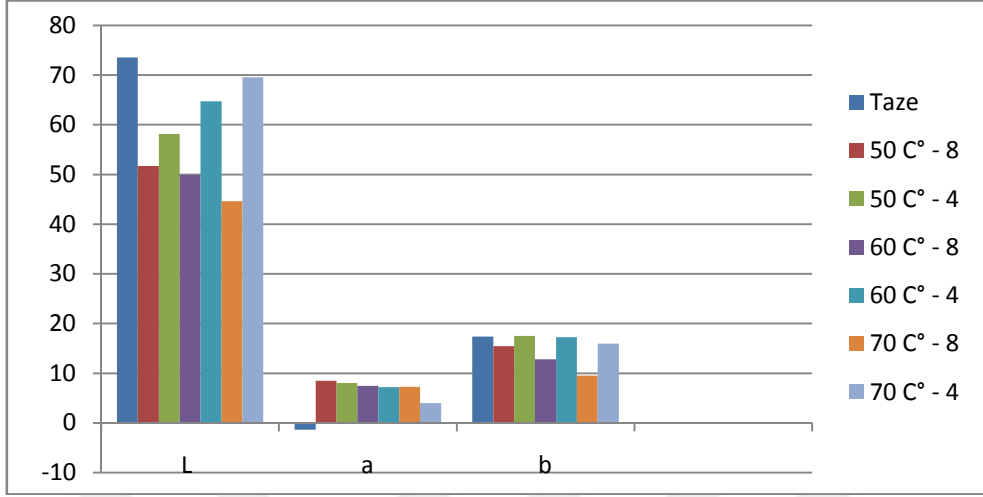
Ayrıca kurutma işlemlerinden sonra ölçülen renk değerlerinin taze elmanın renk değerleri arasındaki farkı görebilmek için SPSS programı kullanılarak duncan testine tabi tutuldu. Duncan testinde kurutma yöntemlerine ait renk değerlerinin farklılıklarını ifade etmek için harflendirme yapıldı.

Çizelge 4.5. Renk analizinin ölçülen değerleri

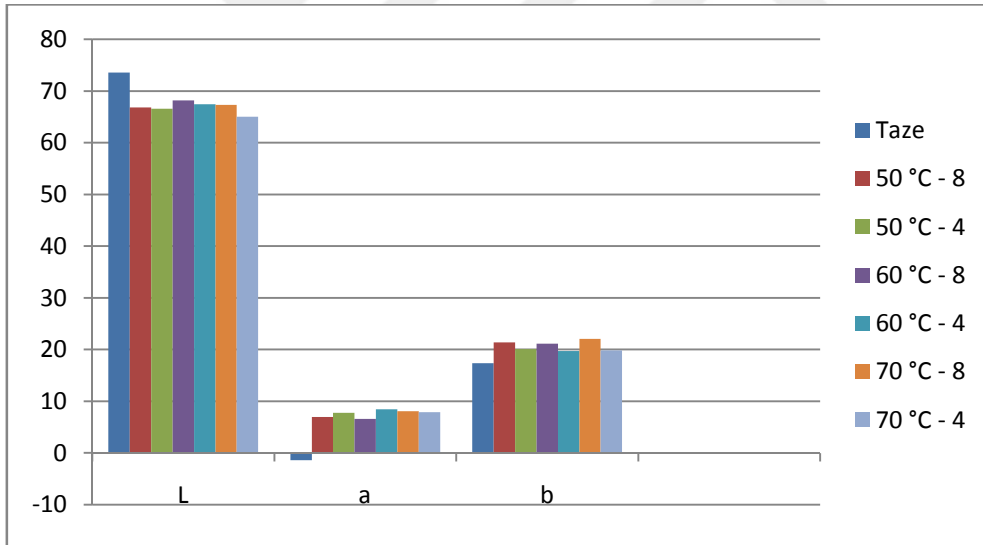
Kurutma Yöntemleri		L* (Parlaklık)	a* (Kırmızılık)	b* (Sarılık)	
Taze		73,57 ^a	-1,38 ^h	17,38 ^d	
Etüv	50 °C	4 ' e	66,55 ^b	7,75 ^{cde}	20,09 ^{bc}
		8 ' e	66,82 ^b	6,95 ^{ef}	21,39 ^{ab}
	60 °C	4 ' e	67,42 ^b	8,46 ^{cd}	19,73 ^{bc}
		8 ' e	68,16 ^b	6,60 ^f	21,11 ^{abc}
	70 °C	4 ' e	65,00 ^b	7,86 ^{cde}	19,83 ^{bc}
		8 ' e	67,33 ^b	8,10 ^{cde}	22,09 ^a
Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga	50 °C	4 ' e	58,15 ^c	8,07 ^{cde}	17,52 ^d
		8 ' e	51,75 ^{de}	8,50 ^{cd}	15,46 ^e
	60 °C	4 ' e	64,74 ^b	7,21 ^{ef}	17,24 ^d
		8 ' e	49,91 ^e	7,46 ^{def}	12,80 ^f
	70 °C	4 ' e	69,57 ^{ab}	4,01 ^g	15,94 ^{de}
		8 ' e	44,62 ^f	7,26 ^{ef}	9,54 ^g
Açıkta - Güneş		4 ' e	56,69 ^c	16,10 ^a	20,16 ^{bc}
		8 ' e	58,77 ^c	15,48 ^a	19,84 ^{bc}
Açıkta - Gölge		4 ' e	55,75 ^{cd}	9,96 ^b	19,36 ^c
		8 ' e	64,51 ^b	8,75 ^c	22,15 ^a

4.3.1. Parlaklık değeri (L*)

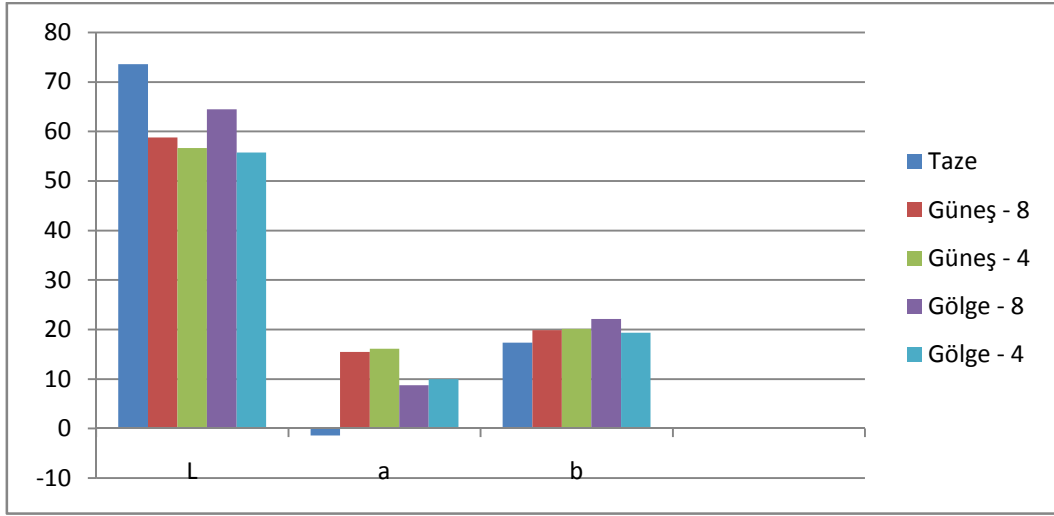
Renk analizi tablosuna bakıldığında L parlaklık değerinin taze üründe en yüksek değeri alırken en düşük parlaklık değerinin ise 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde aldığı görülmektedir. Aynı zamanda bu bilgi taze ürünün L parlaklık değerini en az koruyan kurutma yöntemi olduğu anlaşılmaktadır. Taze elmanın parlaklık değerini en iyi muhafaza eden yöntemin ise 70 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi.



Şekil 4.1. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalgada Kurutulan Elmaların Renk Değerleri



Şekil 4.2. Etüvde Kurutulan Elmaların Renk Değerleri



Şekil 4.3. Güneşte ve Gölgede Kurutulan Elmaların Renk Değerleri

Cuccurullo ve arkadaşları (2012) silindirik şekilde dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi ile yaptıkları elma kurutma çalışmalarında en yüksek parlaklık değerinin 70 °C sıcaklıkta yapılan kurutma yönteminde oluştuğunu bulmuşlardır.

Yapılan tüm etüv kurutma yöntemlerinde L parlaklık değerleri arasında farklılığın olmadığı görülmektedir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminin tüm sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde ise L parlaklık değerleri birbirlerinden farklı çıkmıştır. Güneşte kurutma yönteminde 8 'e ve 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma işlemlerinde L parlaklık değerlerinde büyük farklılıklar oluşmamıştır. Gölgede yapılan kurutma yönteminin ise kendi içinde ve güneşte kurutma yöntemi ile aralarında farklılıklar oluşmuştur.

4.3.2. Kırmızılık Değeri (a*)

Taze ve kurutulan elmalar arasında kırmızılık değerinin en büyük olduğu değer güneşte kurutma yönteminde 4 'e dilimlenerek gerçekleştirilen kurutma yönteminde elde edilirken en küçük değer taze elmada elde edilmiştir.

Taze elmanın kırmızılık değerine en yakın olan kurutma yönteminin 70 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir.

70 °C sıcaklıkta etüv kurutma yönteminin her iki dilimlenme şekline ait kurutma yöntemlerinde kırmızılık değerlerinde farklılık görülmezken 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda yapılan kurutmalarda farklılıklar oluşmuştur.

Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminin tüm sıcaklıklarında 4 'e ve 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemleri ile sıcaklık grupları arasında kırmızılık değeri açısından farklılıklar bulunmuştur.

4.3.3. Sarılık Değeri (b*)

Çizelge 4.3.1. 'den sarılık değerinin en büyük olduğu değer gölgede yapılan kurutma yönteminde elde edilirken en küçük sarılık değerin ise 70 °C sıcaklıkta sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde elde edildi.

Taze elmanın sarılık değerini en iyi muhafaza eden yöntem 60 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edildi.

Etüv kurutma yönteminin tüm sıcaklıklarına ait 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma işlemlerinde sarılık değerleri arasında farklılığın oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca etüv kurutma yönteminde 8 'e dilimlenerek yapılan tüm kurutma işlemleri arasında sarılık değeri açısından farklılığın oluştuğu görülmektedir.

Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemine ait 50 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemi ile 60 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemlerinin sarılık değerleri arasında farklılığın oluşmadığı görülmektedir.

Güneşte yapılan kurutma yönteminin 4 'e ve 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemlerinin sarılık değerleri arasında farklılık görülmemektedir. Gölgede yapılan kurutma yöntemi ile güneşte yapılan kurutma yöntemi arasında sarılık değerleri açısından farklılığın oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 4.3.1 de taze ve kurutulmuş elmaların temel renk değerleri olan L, a, b değerleri kullanılarak belirlenen kroma, Hue açısı ve kahverengilik değerleri verilmiştir. En büyük kroma değerine sahip olan kurutma yöntemi güneşte 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde elde edilmiştir. En küçük kroma değeri ise 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir. Yapılan kurutma işlemlerinin kalite açısından etkilerinin değerlendirilmesi taze ürünün özelliklerini ne kadar muhafaza ettiği ile ölçülür.

Çizelge 4.6. Renk analizinin hesaplanan değerleri

Kurutma Yöntemleri			C (Kroma)	h° (Hue açısı)	BI (Kahverengilik)
Taze			17,44	-85,46	24,86
Etüv	50 °C	4 'e	21,54	68,90	43,93
		8 'e	22,48	72,01	45,56
	60 °C	4 'e	21,47	66,79	43,30
		8 'e	22,12	72,63	43,55
	70 °C	4 'e	21,33	68,37	44,71
		8 'e	23,53	69,89	47,95
Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga	50 °C	4 'e	19,29	65,26	45,49
		8 'e	17,64	61,20	47,00
	60 °C	4 'e	18,69	67,31	38,66
		8 'e	14,81	59,75	40,13
	70 °C	4 'e	16,44	75,89	29,78
		8 'e	11,99	52,71	35,53
Açık - Güneş		4 'e	25,81	51,39	63,96
		8 'e	25,16	52,03	59,76
Açık - Gölge		4 'e	21,77	62,77	55,11
		8 'e	23,81	68,45	51,34

Çalışmada kurutma yöntemlerinin elmanın renk özelliklerine yaptığı etki Çizelge 4.3.2. de görülmektedir. Kroma değerleri açısından incelendiğinde kurutma yöntemleri içerisinde taze elmanın kroma değerini en iyi muhafaza eden yöntem 50 °C sıcaklıkta

8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir. Taze elmanın kroma değerini en az koruyan kurutma yöntemi ise güneşte 8 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde elde edilmiştir.

Kurutma sonrasında oluşan kahverengilik değerleri açısından değerler incelendiğinde ise kurutma yöntemleri arasından doğal kurutma yöntemlerinde en fazla büyük olduğu bulunmuştur. Doğal kurutma yöntemleri içerisinde de güneşte kurutma yönteminin 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yönteminde bulunmuştur.

Etüv kurutma yönteminde en büyük kahverengileşme değeri 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek gerçekleştirilen kurutma yönteminde bulunmuştur. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminde ise 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek gerçekleştirilen kurutma yönteminde bulunmuştur.

Cucurullo ve arkadaşları (2012) üç farklı sıcaklıkta elmaları dilimleyerek yaptıkları kurutma çalışmalarında sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemine ait en fazla kahverengileşme değerinin 50 °C sıcaklıkta yaptıkları kurutma yönteminde bulmuşlardır.

5. SONUÇ

Ülkemizde ve Dünya 'da yetişmekte olan birçok sebze ve meyve taze tüketiminin yanında bazı işlemler uygulanarak işlenmiş olarak tüketilmektedir (FAO, 2007; Tarhan ve ark., 2009).

Taze tüketimi yanında işlenmek suretiyle başka şekillerde tüketim olanağına sahip olan elmaların reçel, marmelat, meyve suyu, konserve ve kurutulularak alternatif tüketim imkanları da mevcuttur. Tüketim sürelerini artırarak daha kaliteli ürünler elde etmek amacıyla uygulanan kurutma yöntemlerinin tüketicinin beğeni kriterlerini tatmin edecek doğrultuda uygulamak ve geliştirmek gereklidir. Elma kurutma işlemlerinde en sık karşılaşılan sorun dilimlenerek kurutulan elmada oluşan renk değişimleri ve kararmalardır (Akyıldız ve Öcal, 2006; Krokida ve ark., 2000; Tarhan ve ark., 2009).

Elmaların dilimlenerek yapıldığı kurutma işleminin tüm kurutma yöntemlerinde renk değişimi olduğu görülmüştür. Uygulanan kurutma yöntemlerinden tazenin kroma değerini en iyi muhafaza eden yöntemin 50 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemin kroma kriteri açısından en uygun kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Kurutulan elmaların tazenin parlaklık ve kırmızılık değerlerini en iyi muhafaza eden yöntemin 70 °C sıcaklıkta 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi olduğu uygun bulunmuştur.

Taze ürünlerin sarılık değerinin en iyi muhafaza eden yöntemin 50 ve 60 °C sıcaklıklarda 4 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemleri olduğu uygun bulunmuştur.

Kurutma süreleri açısından incelendiğinde 70 °C sıcaklıkta 8 'e dilimlenerek yapılan sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemi kurutmanın en kısa sürede gerçekleştiği yöntem olarak bulunmuştur. Kurutmanın en uzun sürdüğü yöntem ise 287 saat ile gölgede 4 'e dilimlenerek yapılan kurutma yöntemi bulunmuştur.

Kurutma yöntemlerini grup olarak kendi aralarında değerlendirildiğinde renk kriterleri açısından en uygun sonucu veren ve kurutma süresi açısından da en kısa sürede

gerçekleşen yöntemlerin sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yöntemleri elma kurutma açısından uygun olduğu bulunmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Akbudak, N. ve Akbudak, B., 2013. Effect of vacuum, microwave, and convective drying on selected parsley quality. *International Journal of Food Properties*, 16:205–215.
- Akoy, E.O.M. ve Hörösten, D.V., 2015. Microwave Drying of Mango Slices at Controlled Temperatures. *ISSN 2028-9324*, 12 (2), 374-383.
- Akyıldız, A., Öcal, N.D., 2006. Effects of Dehydration Temperatures On Colour and Polyphenoloxidase Activitiy of Amasya and Golden Delicious Apple Cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86:2363-2368.
- Alibaş, İ., 2015. İnce tabaka mango dilimlerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 99-109.
- Anonim, 2015a. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elma>. (02.12.2015).
- Anonim, 2015b. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elma>. (02.12.2015).
- Anonim, 2015c. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elma>. (03.12.2015).
- Anonim, 2007. *Türkiye İstatistik Yıllığı*. TÜİK, Ankara.
- Argyropoulos, D.,Heindl, A. ve Müller, J., 2011. Assessment of convection, hot-air combined with microwavevacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 333–342.
- Baysal, T., Ozbalta, N., Gokbulut, S., Capar, B., Tastan, O. ve Gurlek, G., 2015. Investigation of Effects of Various Drying Methods on The Quality Characteristics of Apple Slices and Energy Efficiency. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 35, 1, 135-144.
- Changrue, V., 2006. hybrid (osmotic, microwave-vacuum) drying of strawberries and carrots. Department of Bioresource Engineering Macdonald Campus of McGill University Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec Canada.
- Clary, C.D., Mejia-Meza, E., Wang, S. ve Petrucci, V.E., 2007. Improving grape quality using microwave vacuum drying associated with temperature control. *Food Engineering and Physical Properties*, 72, doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00234.x.
- Cucurullo, G., Giordano, L., Albanase, D., Cinquanta, L. ve Matteo, D.M., 2012. Infrared thermography assisted control for apples microwave drying. *Journal of Food Engineering* 112, 319-325.
- Çelen, İ.H., Moralar, A., Buluş, H.N., Önler, E., 2015. Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Patatesin Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Electronic Journal of Vocational Colleges- Special Issue: The Latest Trends in Engineering*.
- Dak, M. ve Pareek, N.K., 2014. Effective moisture diffusivity of pomegranate arils undergoing microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 122 (2014) 117–121.
- Doymaz, İ., 2013. Effect of blanching temperature and dipping time on drying time of broccoli. *Food Science and Technology*, doi: 10.1177/1082013213476075.

- Doymaz, İ., Tuğrul, N. ve Pala, M., 2003. Maydanozun Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3: 1-8.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N. ve Pala, M., 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. Journal of Food Engineering, 77 (2006) 559–565.
- Evranuz, Ö., 1988. Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri. Tübitak-MAE, Kocaeli, 51-58.
- FAO, 2007. Dünya Elma Üretim Değerleri. <http://faostat.fao.org>.
- FAO, 2012. Dünya Yaş Meyve Üretiminde İlk 10 Ürün (Ton). www.fao.org/statistic/en/.
- Figiel, A. ve Kita, A., 2008. Drying kinetics, water activity, shrinkage and texture of walnut kernels. Acta Agrophysica, 11(1), 71-80.
- Forsline, P.L., Aldwinckle, H.S., Dickson, E.E., Luby, J.J. ve Hokanson, S.C., 2010. Collection, maintenance, characterization and utilization of wild apples of central asia. Horticultural Reviews: Wild Apple and Fruit Trees of Central Asia, John Wiley and Sons.
- Guiné, R.P.F., Pinho, S. ve Barroca, M.J., 2011. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). Food and Bioprocess Technology 89 (2011) 422-428.
- Gürel, A.E., Ceylan, İ., Yılmaz, S., 2015. Isı Pompalı ve Parabolik Oluklu Güneş Kollektörlü Akışkan Yataklı Kurutucuların Deneysel Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 35, 1, 107-115.
- Gürlek, G., Akdemir, Ö., Güngör, Ö., 2015. Gıda Kurutulmasında Isı Pompalı Kurutucuların Kullanımı ve Elma Kurutmada Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(9), 398-403.
- Hassan-Beygi, S.R., Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. ve Massah, J., 2009. International Agrophysics, 23, 129-135.
- Kaya, A., Kamer, M.S., Şahin, H.E., 2015a. Trabzon Hurmasının (*Diospyros Kakı L.*) Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi. Gıda 40 (1): 15-21. doi: 10.15237/gida.GD14047.
- Kaya, A., Kamer, M.S., Şahin, H.E., 2015b. Trabzon Hurmasının (*Diospyros Kakı L.*) Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi. Gıda 40 (1): 15-21. doi: 10.15237/gida.GD14047.
- Koné, K.Y., Druon, C., Gnimpieba, E.Z., Delmotte, M., Duquenoy, A. ve Laguerre, J.C., Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. Journal of Food Engineering, 119 (2013) 750–757.
- Konuk, D., Korel, F., 2015. Kurutma Sıcaklığının Üzüm Çekirdeklerinin Toplam Fenolik Madde İçeriği ve Antioksidan Kapasitesi Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(9), 404-407.
- Kouchakzadeh, A. ve Shafeei, S., 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. Energy Conversion and Management, 51 (2010) 2012–2015.

- Krokida, M.K., Kiranoudis, C.T., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris, D., 2000. Effect of Pretreatment on Colour of Dehydrated Products. *Drying Technology*, 18:1239-1250.
- Li, Z., Raghavan, G.S.V. ve Wang, N., 2010. Apple volatiles monitoring and control in microwave drying. *LWT - Food Science and Technology* 43 (2010) 684–689.
- Lombrana, J.I., Rodriguez, R. ve Ruiz, U., 2010. Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11 (2010) 652-660.
- Lüle, F. ve Koyuncu, T., 2015. Convective and microwave characteristic os sorbus fruits (*Sorbus domestica* L.). *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195 (2015) 2634-2643.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254 - 1255.
- Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A. ve Tabatabaefar, A., 2010. Determination of suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab). *Plant Omics Journal*, 3(3):103-108.
- Motevali, A., Younji, S., Chayjan, R.A., Aghilinategh, N. ve Banakar, A., 2013. Drying kinetics of dill leaves in a convective dryer. *International Agrophysics*, 27, 39-47 doi: 10.2478/v10247-012-0066-y.
- Oğuz, C. ve Karaçayır, H.F., 2009. Türkiye’de Elma Üretimi, Tüketimi, Pazar Yapısı ve Dış Ticareti. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2 (1):41-49, ISSN: 1308-3945.
- Özaydın, A.G., Özçelik, S., 2015. Farklı Kurutma Koşullarının Bazı Önemli Armut Çeşitlerinin Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, ISSN: 2148-0036. 3 (1) 37-44.
- Özçatalbaş, O., Turhanoğulları, Z. ve Kutlar, İ., 2009. Dünya Elma Üretim Sektörünün Genel Durumu ve Gelişmeler. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 2 (1):139-144, ISSN: 1308-3945.
- Özgen, F., 2014. Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makine*, 55, 656, 42-49.
- Polatcı, H., 2012. Farklı Kurutma Yöntemlerinin AVG (*aminoethoxyvinylglycine*) Uygulaması Yapılmış Black Beauty (*Prunus Salicina* L.) Erik Çeşidinde Kuruma Süresi ve Kalitesine Etkisi. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi* 8 (2), 171 - 178.
- 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.
- Ranjbaran, M. ve Zare, D., Simulation of energetic- and exergetic performance of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans. *Energy*, 59 (2013) 484-493.
- Sanchez, I., Banga, J.R. ve Alonso, A.A., 2000. Temperature control in microwave combination ovens. *Journal of Food Engineering*, 46 (2000) 21-29.

- Seçkin, G., Taşeri, L., 2015. Yarı-Kurutulmuş Meyve ve Sebzeler. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(9), 414-420.
- Sezer, D.B., Demirdöven, A., 2015. Meyve Sebze İşlemede Mikrodalga Haşlama Uygulamaları. Gıda 40 (3): 171-177. doi:1015237/gida.GD14048.
- Sharma, G.P. ve Prasad, S., 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. Journal of Food Engineering, 50 (2) 99-105.
- Simal, S., Rosello, C. ve Mulet, A., 1994. Heat and mass transfer model for potato drying. Chemical Engineer Science, 22 (49), 3739-3744.
- Sledz M., Nowacka M., Wiktor A. and Witrowa-Rajchert D., 2013. Selected chemical and physicochemical properties of microwave-convective dried herbs. Food Bioprod. Process 91(4), 421-428. DOI:10.1016/j.fbp.2013.02.010.
- Sousa, W.A. ve Marsaioli, A.J., 2004. Drying of bananas assisted by microwave energy. Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil, 22-25 August, C, 1946-1954.
- Sumnu, G., Turabi, E. ve Oztop, M., 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. LWT 38 (2005) 549-553.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A., 2009. Farklı Kurutma Koşullarının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkileri, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 2 (2):1-6, 2009, ISSN: 1308-3945.
- Tuğrul, N., Doymaz, İ. ve Pala, M., 2001. Dereotunun Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Gıda, 26 (6) : 403-407.
- TÜİK, 2014a. Konularına Göre İstatistikler, www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001. (02.12.2015).
- TÜİK, 2014b. Konularına Göre İstatistikler, www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001. (03.12.2015).
- Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü Tarım Ürünleri Dairesi Başkanlığı, 2014. Yaş Meyve ve Sebze Sektör Raporları, Emek/ANKARA.
- Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R. ve Di Scala, K., 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. Food Chemistry, 132 (2012) 51-59.
- Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Mothibe, K.J. ve Azam, S.M.R., 2013. Study of drying uniformity in pulsed spouted microwave-vacuum drying of stem lettuce slices with regard to product quality. Drying Technology, 31: 91-101, ISSN: 0737-3937.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536. Bornova, İZMİR.
- Zarein, M., Samadi, S.H. ve Ghobadian, B., 2013. Kinetic drying and mathematical modeling of apple slices on dehydration process. Food Processing and Technology, 4:7.

Zhao, D., Zhao, C., Tao, H., An, K., Ding, S. ve Wang, Z., 2013. The effect of osmosis pretreatment on hot-air drying and microwave drying characteristics of chili (*Capsicum annuum* L.) flesh. *International Journal of Food Science and Technology*,48, 1589–1595.

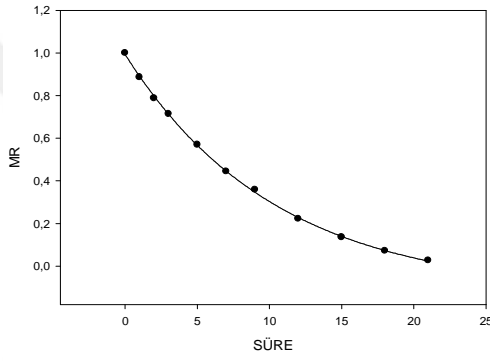


7. EKLER

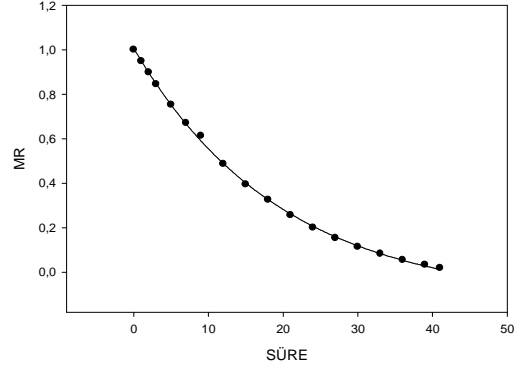
Etüvde ve sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma çalışmalarının kurutma eğrileri aşağıda verilmiştir.

Eğriler Page, Midilli - Küçük ve Yağcıoğlu eşitlikleri yardımıyla elde edilmiş olup, yapılan her iki kurutma yönteminin tüm kurutma şekilleri için ayrı ayrı verilmiştir.

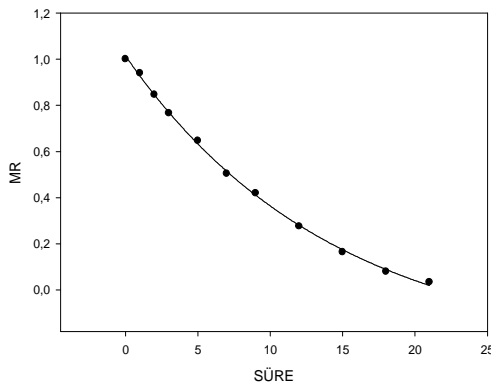
Kurutma Dolabı (Etüv) yöntemine ait kuruma eğrileri;



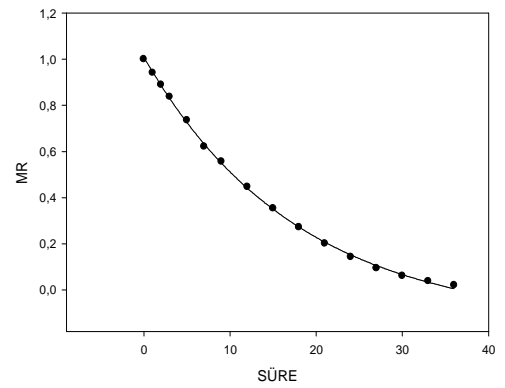
Şekil 7.1. Yağcıoğlu 50 °C 8 'e



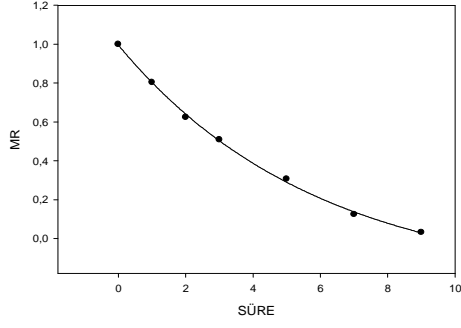
Şekil 7.2. Yağcıoğlu 50 °C 4 'e



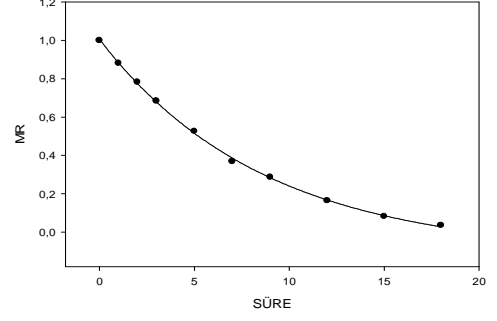
Şekil 7.3. Yağcıoğlu 60 °C 8 'e



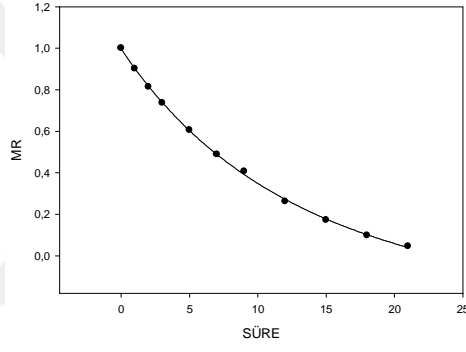
Şekil 7.4. Yağcıoğlu 60 °C 4 'e



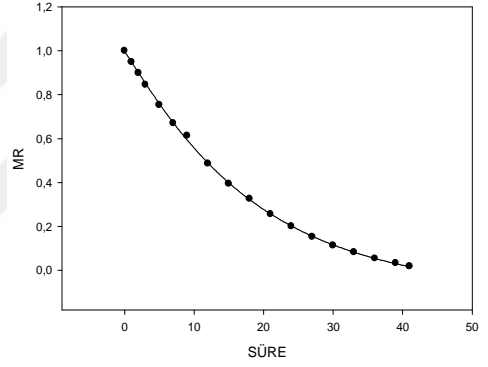
Şekil 7.5. Yağcıoğlu 70 °C 8 'e



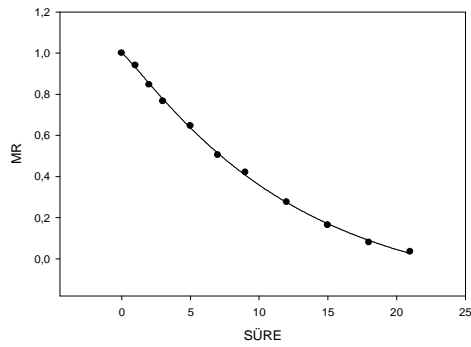
Şekil 7.6. Yağcıoğlu 70 °C 4 'e



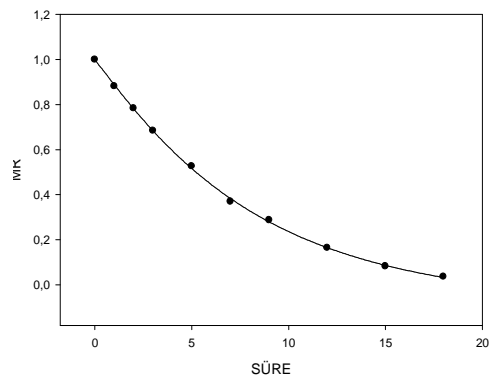
Şekil 7.7. Midilli küçük 50 °C 8 'e



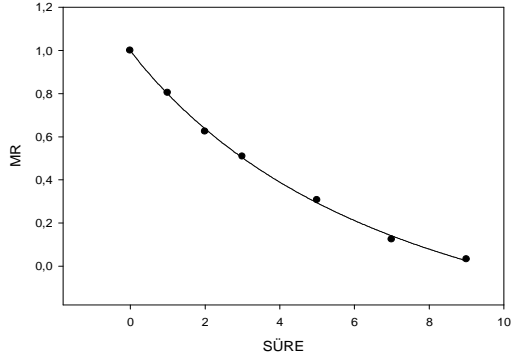
Şekil 7.8. Midilli küçük 50 °C 4 'e



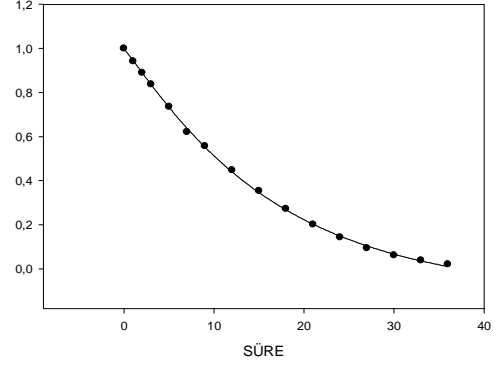
Şekil 7.9. Midilli küçük 60 °C 8 'e



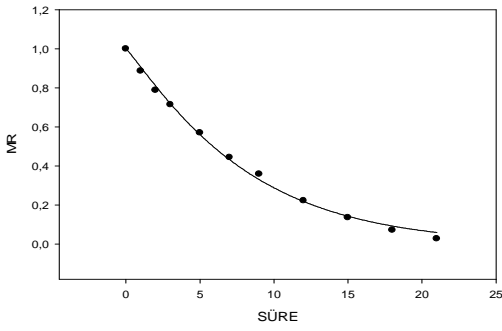
Şekil 7.10. Midilli küçük 60 °C 4 'e



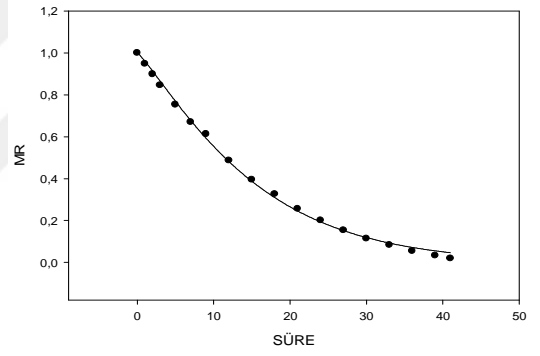
Şekil 7.11. Midilli küçük 70 °C 8 'e



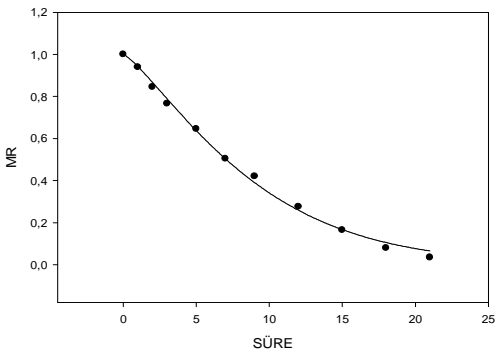
Şekil 7.12. Midilli küçük 70 °C 4 'e



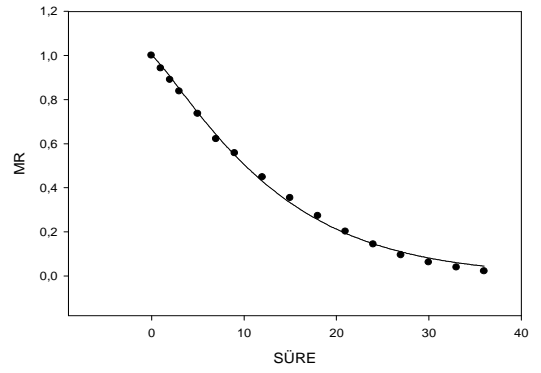
Şekil 7.13. Page 50 °C 8 'e



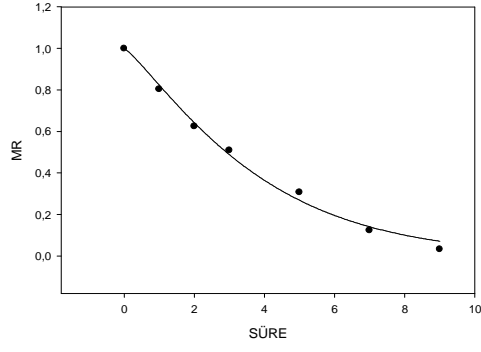
Şekil 7.14. Page 50 °C 4 'e



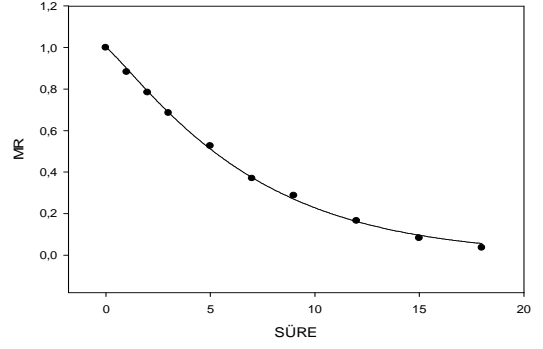
Şekil 7.15. Page 60 °C 8 'e



Şekil 7.16. Page 60 °C 4 'e

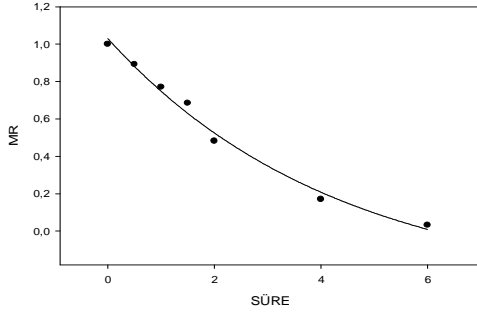


Şekil 7.17. Page70 °C 8 'e

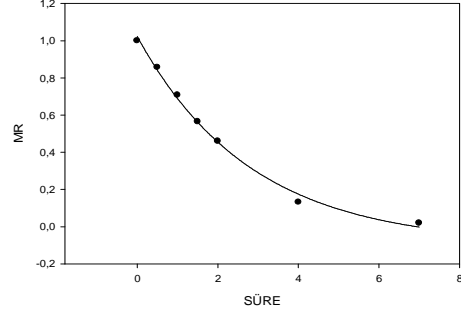


Şekil 7.18. Page70 °C 4 'e

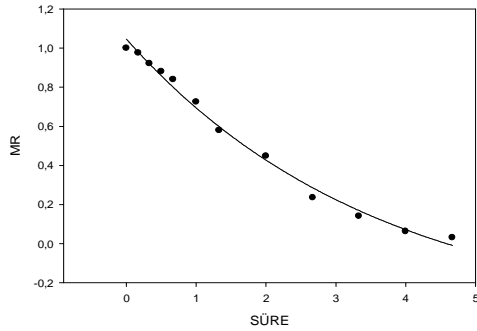
Sıcaklık kontrollü mikrodalga ile kuruma yöntemine ait kuruma eğrileri



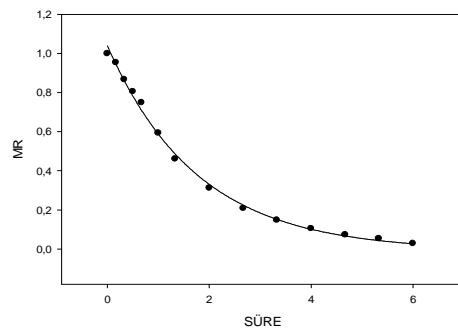
Şekil 7.19. Yağcıoğlu 50 °C 8 'e



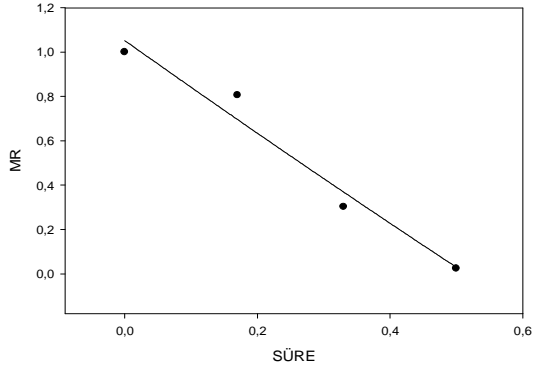
Şekil 7.20. Yağcıoğlu 50 °C 4 'e



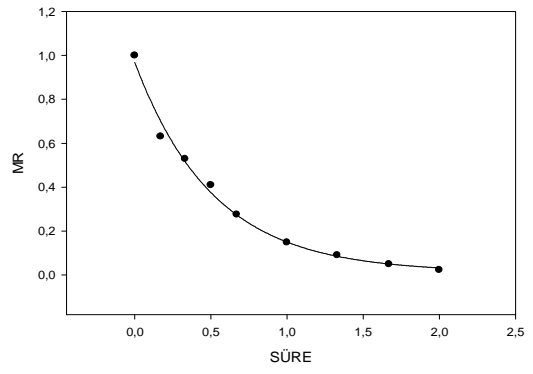
Şekil 7.21. Yağcıoğlu 60 °C 8 'e



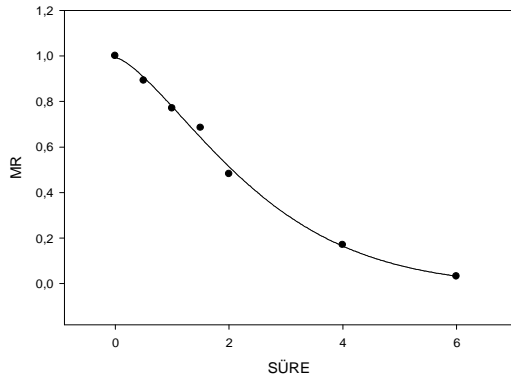
Şekil 7.22. Yağcıoğlu 60 °C 4 'e



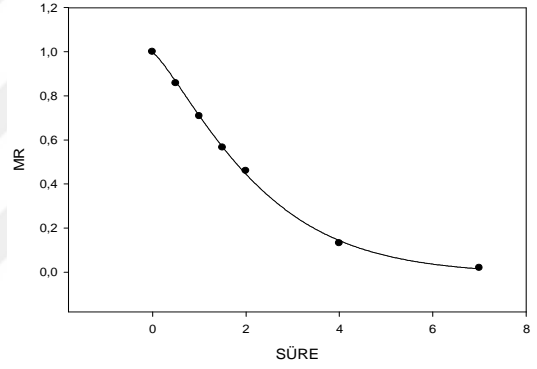
Şekil 7.23. Yağcıoğlu 70 °C 8 'e



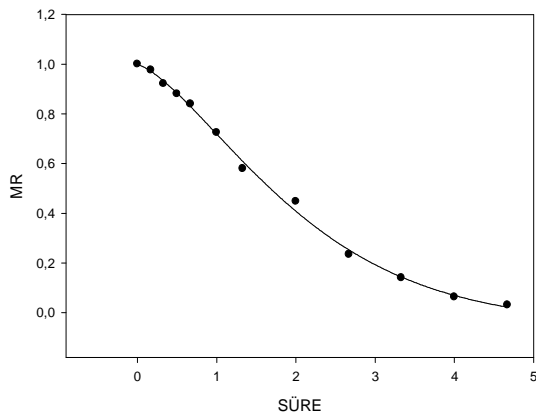
Şekil 7.24. Yağcıoğlu 70 °C 4 'e



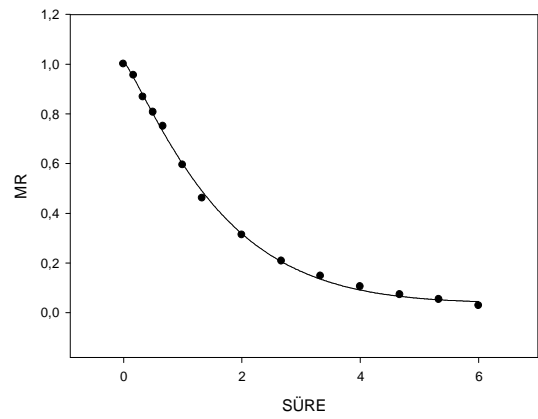
Şekil 7.25. Midilli küçük 50 °C 8 'e



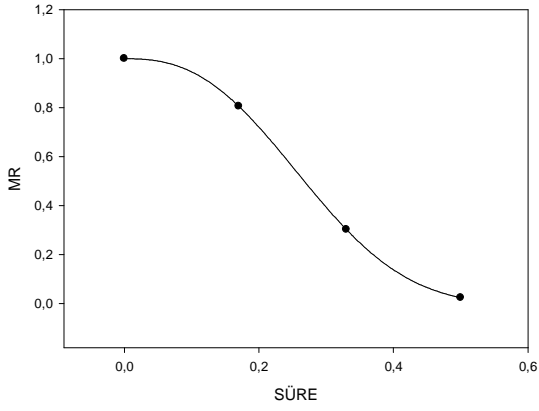
Şekil 7.26. Midilli küçük 50 °C 4 'e



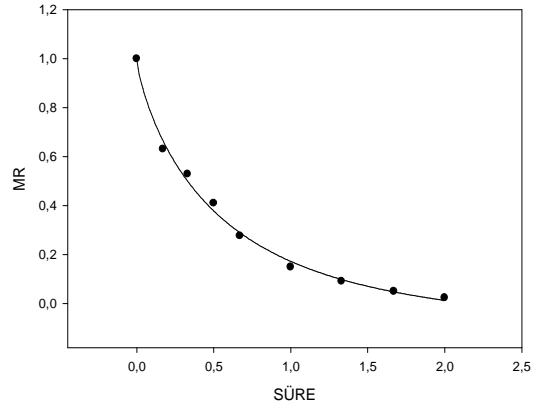
Şekil 7.27. Midilli küçük 60 °C 8 'e



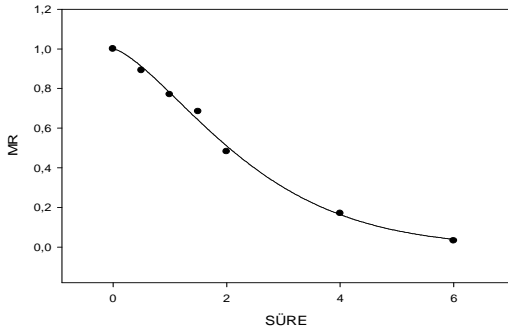
Şekil 7.28. Midilli küçük 60 °C 4 'e



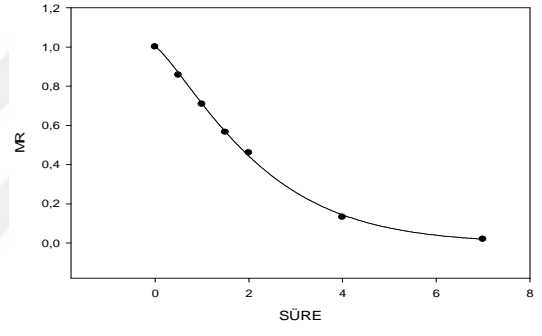
Şekil 7.29. Midilli küçük 70 °C 8 'e



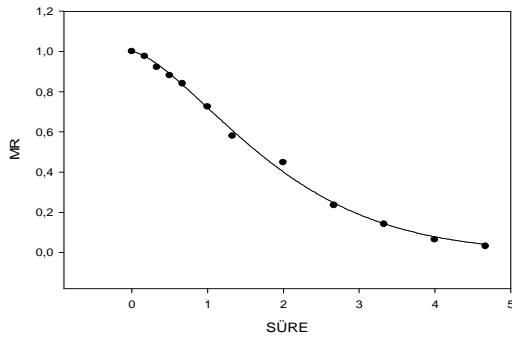
Şekil 7.30. Midilli küçük 70 °C 4 'e



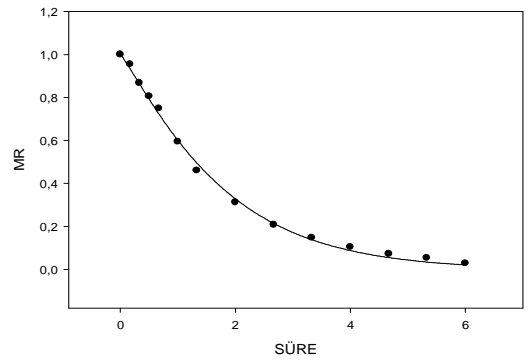
Şekil 7.31. Page 50 °C 8 'e



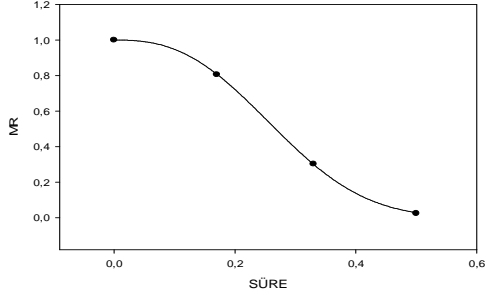
Şekil 7.32. Page 50 °C 4 'e



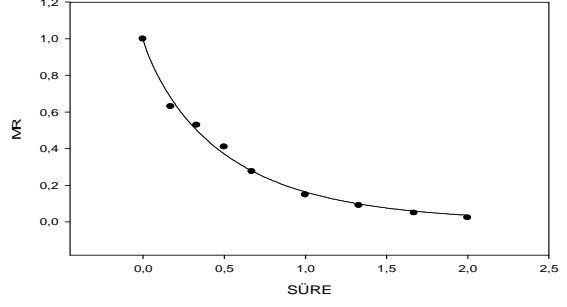
Şekil 7.33. Page 60 °C 8 'e



Şekil 7.34. Page 60 °C 4 'e



Şekil 7.35. Page 70 °C 8 'e



Şekil 7.36. Page 70 °C 4 'e



8. ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Tokat 'ın Erbaa ilçesinde doğdum. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimlerimi Erbaa 'da tamamladıktan sonra 2013 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünden Bölüm İkincisi olarak lisans eğitimimi tamamladım. Aynı yıl tarımda makine Sistemleri bilim dalında yüksek lisans eğitimime başladım. Eğitimim süresinde 9 ay TÜBİTAK projesinde bursiyer öğrenci olarak çalıştım. 2015 yılında tarımda enerji sistemleri bilim dalında açılan araştırma görevliliği kadrosunu kazandım. Hala aynı bilim dalında araştırma görevlisi olarak devam etmekteyim.

