

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE REYHAN KURUTMA SİSTEMİNİN
TASARLANMASI, İMALATI, DENEYSEL İNCELENMESİ VE
ALTERNATİF YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**



MERVE NUR POLAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ARALIK 2019

Tezin Başlığı: Güneş Enerjisi ile Reyhan Kurutma Sisteminin Tasarlanması, İmalatı,
Deneysel İncelenmesi ve Alternatif Yöntemlerle Karşılaştırılması

Tezi Hazırlayan: Merve Nur POLAT

Sınav Tarihi: 16.12.2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Ana Bilim
Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. İ.Gökhan AKSOY

İnönü Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÇITLAK

Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Kazım TÜRK

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güneş Enerjisi ile Reyhan Kurutma Sisteminin Tasarlanması, İmalatı, Deneysel İncelenmesi ve Alternatif Yöntemlerle Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

MERVE NUR POLAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE REYHAN KURUTMA SİSTEMİNİN TASARLANMASI, İMALATI, DENEYSEL İNCELENMESİ VE ALTERNATİF YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Merve Nur POLAT

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

57 + ix sayfa

2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tarkan KOCA

Gıdaların hijyenik şartlarda kurutulması büyük öneme sahiptir. Tarımsal ürünlerin açık alanda yere serilerek kurutulması aflatoksin gibi zararlı etkilerin oluşmasına sebep olmaktadır. Ürün kurutucuları ile ürün kalitesinin korunarak kurutulması amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi destekli reyhan kurutma sistemi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilerek mor reyhan bitkisi kurutma deneyleri yapılmıştır. Deneyler üç grup şeklinde gerçekleştirilmiştir. Birinci grup deneylerde 21 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar kurutma kabine konmuş ve sıcaklık istenen değere ulaştığında sabit tutularak kurumanın gerçekleşmesi sağlanmıştır. Farklı günlerde sıcaklıklar 45 °C, 50 °C, 55 °C 'ye ulaştığında sabit tutulmuş ve birer saat aralıklarla kütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İkinci grup deneylerde kurutma makinesinde sıcaklık 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C 'ye ulaştığında sabit tutularak 21 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar kurutma makinesinin içerisine konmuş ve kuruma gerçekleştirilmiştir. Üçüncü grup deneylerde ise kurutma fırını güneşte bekletilerek birinci grup deneylerdeki aynı sıcaklıklara ulaşıldığında 50 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar kurutma kabine konularak kurumaları sağlanmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda, sıcaklık artışına bağlı olarak kuruma süreleri 3 ile 7 saat arasında olmuştur. Kurutma işlemlerinin tamamlanmasının ardından kurutulan ürünlerin su aktivitesi ve renk analizi deneyleri yapılmıştır. Renk analizi deneyleri sonucunda taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulan reyhan yapraklarının L*, a*, b*, C*, H°, ΔE, BI değerlerine ulaşılmıştır. Deneyler sonucunda su aktivitesi değerleri 0,454 ile 0,405 aralığında bulunmuş ve literatürde belirtilen 0,6 değerinden küçük olduğundan üründe kuruma sağlanmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan diğer çalışmaların sonuçları ile kıyaslanmıştır. Analizler sonucunda imalatı gerçekleştirilen bu sistemin başarılı bir şekilde reyhanın kurutulmasına olanak sağladığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Mor Reyhan, Kurutma Sistemi, Güneş Enerjisi

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL STUDY, DESIGN AND PRODUCTION OF PURPLE BASIL DRYING SYSTEM WITH SOLAR POWER AND COMPARISON WITH ALTERNATIVE METHODS

Merve Nur POLAT

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

57 + ix pages

2019

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tarkan KOCA

Hygienic drying of food is of great importance. The spreading of agricultural products on the ground in the open area causes harmful effects such as aflatoxin. It is aimed to protect the product quality with product dryers. Within the scope of this study, solar energy supported basil drying system was designed and manufactured and purple basil plant drying experiments were carried out. The experiments were carried out in three groups. In the first group of experiments, the basins having an initial mass of 21 g were placed in the drying chamber and kept constant when the temperature reached the desired value. When the temperatures reached 45 °C, 50 °C, 55 °C on different days, the mass was measured at one hour intervals. In the second group of experiments, when the temperature reached 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C in the dryer, the basins having an initial mass of 21 g were put into the dryer and dried. In the third group of experiments, the drying oven was kept in the sun and when the same temperatures were reached in the first group of experiments, the basins having a starting mass of 50 g were placed in the drying cabinet and dried. As a result of these experiments, drying times were between 3 and 7 hours depending on the temperature increase. After the drying process, water activity and color analysis of the dried products were performed. As a result of color analysis experiments, L^* , a^* , b^* , C^* , H° , ΔE , BI values of fresh and dried basil leaves were obtained. As a result of the experiments, the water activity values were found to be between 0,454 and 0,405 and drying was provided in the product since it was smaller than 0,6 in the literature. The results obtained from the experiments were compared with the results of other studies in the literature. As a result of the analysis, it was found that this system, which was manufactured, enables the drying of the basil successfully.

KEYWORDS: Purple Basil, Drying System, Solar Energy

TEŞEKKÜR

Kurutma sistemleri ve reyhan kurutma ile ilgili yapılacak çalışmalar için faydalı bir referans olması temennisiyle...

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Tarkan KOCA' ya;

Tez numunelerinin deneyleri aşamasında yardımlarını esirgemeyen Gıda Bilimleri Anabilim Dalı başkanı sayın Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU' na;

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Arş. Grv. Sara ALTUN' a ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrencisi İmran EKİNCİ' ye;

FYL-2019-1500 numaralı proje ile desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne;

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her durum ve koşulda yanımda olan çok kıymetli aileme ve sevgili eşime;

teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. GIDA KURUTMA YÖNTEMLERİ	10
3.1. Güneşte Kurutma	10
3.2. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri.....	11
3.2.1. Sera tipi güneş enerjili kurutucular	11
3.2.2. Kolektörlü güneş enerjili kurutucular	12
3.3. Kabin Kurutucular	12
3.4. Tünel Kurutucular	13
3.5. Döner Kurutucular	14
3.6. Silindir Kurutucular	15
3.7. Püskürtmeli Kurutucular	15
3.8. Dondurarak Kurutma	16
3.9. Akışkan Yataklı Kurutucular	17
3.10. Kızılötesi (İnfrared) Işınımlı Kurutma.....	18
3.11. Mikrodalga Kurutma.....	18
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
4.1. Materyal	20
4.2. Yöntem.....	21
4.2.1. Güneş enerjisi ile reyhan kurutma sisteminin tasarlanması ve imalatı	22
4.2.2. Nem tayini.....	30
4.2.3. Su aktivitesi tayini.....	30
4.2.4. Renk analizi	31
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	33

5.1.	Kurutulacak Reyhan Bitkisinin Nem Tayini.....	33
5.2.	Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralıklarında Kütle Ölçümleri	34
5.3.	Kurutulan Reyhanların Belirli Zaman Aralıklarındaki Nem Oranları	38
5.4.	Kurutulan Reyhanların Belirli Zaman Aralıklarındaki Nem Oranı Grafikleri	40
5.5.	Su Aktivitesi Tayini Sonuçları	42
5.6.	Renk Analizi Sonuçları	44
6.	TARTIŞMA VE SONUÇ	47
7.	KAYNAKLAR	51
	ÖZGEÇMİŞ	57



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Akım
A_w	Su aktivitesi
BAP	Bilimsel Araştırma Projesi
BI	Kahverengileşme indeksi
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
COP	Performans katsayısı
dk	Dakika
g	Gram
h	Saat
Hz	Hertz
kb	Kuru baz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
m	Metre
mm	Milimetre
MER	Nem uzaklaştırma hızı (Moisture Exraction Rate)
Mk	Kuru kütle
Ms	Sıvı kütle
N	Nem
P	Gıdadaki suyun buhar basıncı
Pa	Pascal
P ₀	Saf suyun buhar basıncı
RH	Bağıl nem
s	Saniye
SMER	Spesifik nem uzaklaştırma hızı
V	Gerilim

W	Watt
y _b	Yaş baz
ΔE	Toplam renk değişimi
L*	Parlaklık
a*	Kırmızılık
b*	Sarılık
C*	Kroma
H°	Hue açısı
%	Yüzde



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Kurutma sistemleri diyagramı [37].....	12
Şekil 3.2.	Kabin kurutucu [21].....	13
Şekil 3.3.	Paralel akış tüneli [21]	14
Şekil 3.4.	Zıt akış tüneli [21].....	14
Şekil 3.5.	Döner kurutucu	15
Şekil 3.6.	Püskürtmeli kurutucu [39]	16
Şekil 3.7.	Akışkan yataklı kurutucu [45]	18
Şekil 4.1.	(a-b) Arapgir mor reyhanı.....	20
Şekil 4.2.	FANSAN marka alüminyum gövde radyal fan	23
Şekil 4.3.	FINEX marka redüktörlü minyatür asenkron motor.....	24
Şekil 4.4.	TENSE marka sıcaklık ve nem kontrol cihazı.....	24
Şekil 4.5.	(a-b) Tasarlanan reyhan kurutma sisteminin izometrik ve dimetrik görüşleri	25
Şekil 4.6.	(a-b) Dönel raf ve reyhan kurutma sisteminin üstten görüşü.....	25
Şekil 4.7.	İmal edilen deney setinin şematik görünümü	26
Şekil 4.8.	İmal edilen makinenin üstten görüşü	26
Şekil 4.9.	(a-b) İmal edilen makinenin genel görünümü.....	27
Şekil 4.10.	İmal edilen makinenin arkadan görüşü	27
Şekil 4.11.	(a-c)Delikli tepsinin boş ve üzerine reyhanların dizildiği halinin görünümü	28
Şekil 4.12.	Dönel rafın görünümü.....	29
Şekil 4.13.	(a-b) Fırın içerisine yerleştirilen hava yönlendirme kanalı ve kontrol ünitesi.....	29
Şekil 4.14.	Su aktivitesi ölçüm cihazı	30
Şekil 4.15.	Renk analizi ölçüm cihazı.....	31
Şekil 5.1.	(a-c) Kurutulmuş reyhan yaprakları.....	33
Şekil 5.2.	Sıcaklığın zamanla sabit değere ulaştığı ve başlangıç kütlesinin 21 gr olduğu deneylerin nem oranları	40
Şekil 5.3.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu ve başlangıç kütlesinin 21 gr olduğu deneylerin nem oranları.....	41
Şekil 5.4.	Sıcaklığın başlangıçta sabit tutulduğu ve başlangıç kütlesinin 50 gr olduğu deneylerin nem oranları	42
Şekil 5.5.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylere ait su aktivitesi tayini sonuçları	43
Şekil 5.6.	Sıcaklığın istenilen değere ulaştığında sabit tutulduğu deneylere ait su aktivitesi tayini sonuçları	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Güneşte kurutulan meyvelerin bazı özellikleri [34]	10
Çizelge 3.2.	Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma arasındaki farklar [43]	17
Çizelge 4.1.	Reyhan bitkisinin taksonomik sınıflandırılması [49]	21
Çizelge 4.2.	FANSAN marka alüminyum gövde radyal fan özellikleri.....	23
Çizelge 4.3.	FINEX marka redüktörlü minyatür asenkron motorun özellikleri	23
Çizelge 4.4.	TENSE marka sıcaklık ve nem kontrol cihazı teknik özellikleri	24
Çizelge 5.1.	Sıcaklığın 45 °C' ye ulaşp, 45 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	34
Çizelge 5.2.	Sıcaklığın 50 °C' ye ulaşp, 50 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	34
Çizelge 5.3.	Sıcaklığın 55 °C' ye ulaşp, 55 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	35
Çizelge 5.4.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 45 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	35
Çizelge 5.5.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 50 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	36
Çizelge 5.6.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 55 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	36
Çizelge 5.7.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 60 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)	37
Çizelge 5.8.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 45 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)	37
Çizelge 5.9.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 50 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)	38
Çizelge 5.10.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 55 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)	38
Çizelge 5.11.	Sıcaklığın zamanla sabit değere ulaştığı deneylerin nem oranları	39
Çizelge 5.12.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylerin nem oranları (21 gr).....	39
Çizelge 5.13.	Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylerin nem oranları (50 gr).....	39
Çizelge 5.14.	Renk analizinde ölçülen değerler	45
Çizelge 5.15.	Renk analizinde hesaplanan değerler	45

1. GİRİŞ

Gıdaları bozmadan uzun süre muhafaza edebilmek için kalıcı veya geçici koruma yöntemleri uygulanmaktadır. “Geçici muhafaza, gıdayı soğutarak veya soğutucuda saklayarak, gıdanın nem ve hava ile temasını keserek sağlanabilir. Kalıcı ve daha uzun süreli koruma için ise uygulanabilecek en iyi yöntem gıdaların kurutularak muhafazasını sağlamaktır.” [1]. Kurutma ilk çağlardan beri gıdaları korumak için kullanılan bir yöntemdir. Kurutma işlemiyle gıda içeriğindeki nem seviyesinin mikroorganizmaların gelişimini engelleyecek düzeye getirilmesi amaçlanmaktadır. Kurutma genel anlamda maddenin içerdiği nemin alınmasını ifade etmektedir. Teknik anlamda ise katının içerdiği nemin, bir gaz akımı içinde buharlaştırılarak gaza geçirilmesiyle alınmasıdır [2].

Gıdaların kurutulmasının hijyenik şartlarda gerçekleştirilmesi büyük öneme sahiptir. Tarımsal ürünlerin açık alanda yere serilerek kurutulması aflatoksin gibi zararlı etkilerin oluşmasına sebep olmaktadır. Ürün kurutucuları ile ürün kalitesinin korunarak kurutulması amaçlanmaktadır. Her alanda olduğu gibi ürünün ürün kurutucularında kurutulmasının sağlanabilmesi için enerjiye ihtiyaç vardır. Enerji başta sanayi ve teknoloji olmak üzere yaşamımızın her alanında büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sanayi ve teknolojideki gelişmeler, enerji talebinin her geçen gün artmasına ve bu da, dünyada büyük bir enerji sorununun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtların çevreye yaydığı CO gibi zehirli gazlar küresel ısınmaya neden olmakta ve sonuç olarak çevreye ve insanlara zarar vermektedir. Doğaya verilen bu zararı azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin günümüzde kullanım alanı gittikçe artmaktadır. Bu yenilenebilir enerji türünü gıda kurutmada da kullanmak mümkündür.

Reyhan tıbbi ve aromatik bir bitkidir. “Tıbbi ve aromatik bitkilerin hassas yapılarından dolayı, ürüne uygun hassas kurutma yöntemlerinin seçimi ayrı bir önem arz etmektedir.” [3]. Yapılan çalışmalarda reyhan bitkisinin döner tamburlu kurutucuda, doğrudan değmeli kurutucuda, etüvde, mikrodalga fırınında, gölgede,

güneşte, dondurarak, fırında (konvektif) kurutma, CO₂ kurutma yöntemiyle, havalı kolektörler yardımıyla kurutulduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, mor reyhan bitkisinin, tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen güneş enerjisi destekli kurutma makinesinde kurutması sağlanarak; literatürde bulunan farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan reyhan bitkisinin kuruma performanslarının ve kalite özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonunda reyhan bitkisini kurutmak için hangi yöntemin en iyi kurutma yöntemi olduğunu belirtmek amaçlanmaktadır.

Mor reyhan bitkisinin çalışmada kullanılmasının en önemli sebebi Arapgir mor reyhanının Türkiye bitki çeşitliliğinde coğrafi işaret alan tek ürün olarak tarihe geçmesidir. Diğer bir sebebi ise mor reyhan özelinde yapılan kurutma çalışmalarının azlığıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Aktaş vd. [4], yaptıkları çalışmada güneş enerjili bir kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve domates kurutarak analiz etmişlerdir. Deney için gerekli olan ısı ve elektrik enerjisinin tamamını güneş enerjisinden sağlamışlardır. Kurutma için gerekli olan enerjinin fazlası sıcak su deposuna ısı enerjisi olarak, akülere de elektrik enerjisi olarak depolanıp gerekli durumlarda sistemin sürekli çalıştırılması amaçlanmıştır. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş domatesler 50 °C, 45 °C, 40 °C kurutma havası sıcaklığı ve ortalama 0,2 m/s hava hızında sırasıyla 6, 7 ve 8,5 saatte kurutulmuştur.

Dina vd. [5], bu çalışmada Endonezya’da yetiştirilen kakao bitkisinin çekirdeklerini kurutmak için güneş enerjisinden faydalanarak sürekli zamanlı olan kurutma makinesi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneyler, geleneksel güneş ışığında kurumanın 55 saatte gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu kuruma süresi, absorban tipi kurutucu kullanılarak 41 saate, emici tip kurutucu kullanılarak 30 saate düşürülmüştür.

Aktaş vd. [6], yaptıkları çalışmada kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda defne yaprağını kurutmuşlar ve sistem analizini yapmışlardır. Bu sistemde 40°C, 45 °C, 50 °C kurutma havası sıcaklıklarında 1 m/s ve 1,5 m/s kurutma havası hızlarında 6 farklı deney yapılmıştır. Deneylerin sonucunda en yüksek performans katsayısı (COP_{ts}) değerine 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1,5 m/s hava hızında ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Akman vd. [7], yaptıkları çalışmada güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin tasarımını yaparak imalatını gerçekleştirmişlerdir. Kurutma deneyi için kabak kurutulması tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda, sistem içindeki kurutma havası sıcaklığının 45 °C’ye kadar çıkabildiği, kolektöre giren hava sıcaklığının yaklaşık olarak 10-14 °C arttırılabildiği, ürün neminin yaklaşık %58’i uzaklaştırılarak kurutmanın 6 saatte gerçekleştirilebildiği gözlemlenmiştir.

Baysal vd. [8], yaptıkları çalışmada elma dilimlerini tepsili kurutucu, ısı pompalı kurutucu, dondurarak kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Bu kurutma tekniklerinin elma dilimlerinin kalite özellikleri ve enerji verimliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kurutma süreleri

mikrodalga, tepsili, ısı pompalı ve dondurarak kurutmada sırasıyla 20, 50, 90 ve 270 dakika olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elma dilimlerinin kalite karakteristiklerinin mikrodalga ve dondurarak kurutma işlemlerinde, tepsili ve ısı pompalı kurutucuda kurutma işlemine göre daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en düşük enerji tüketimi ve en yüksek SMER ve MER değerleri ısı pompalı kurutucuda elde edilmiştir.

Ceylan, vd. [9], tasarımını yapıp imal ettikleri güneş enerjili havalı kolektörlü bir kurutma fırınında elma kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. İmal edilen sistemin verimi ortalama % 40 olarak hesaplanmıştır. Elmaların kurutulmasında kütle değişimine bağlı olarak ürünlerdeki nem kontrolü, kurutma sırasında ve sonrasında duyuusal kontrol ile gözlemler yapılmıştır.

Aktaş [10], çalışmasında kırmızıbiberin güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir kurutucuda kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneysel olarak incelenen bu sistemde kurutma güneş enerjisinden faydalanılarak yapılmaktadır, sistem güneş enerjisi olmadığı vakitlerde kurutma işleminin ısı pompası desteğiyle devam edebileceği şekilde tasarlanmıştır. Kuruma sisteminde dışarıdan alınan taze havanın güneş kolektörü ve kondenserden geçirilmesiyle bağıl nemi düşürülmüş, böylece havanın nem alma kabiliyeti artırılmıştır.

Aktaş, vd. [11], güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutma sistemi tasarlayarak imal etmişlerdir. İmal ettikleri bu makinede kivi'nin kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kiviler, 35 °C, 40 °C, 45°C ve 50 °C kurutma havası sıcaklığında ve 0,1-1,0 m/s arasında değişen hava hızlarında sırasıyla 8,5; 7,5; 7,5 ve 6,5 saatte kurutulmuştur. Kivi kurutulması için en uygun kurutma havası sıcaklığı 50°C olarak belirlenmiştir. Sistemin ısı performans katsayısı (COP_{ts}) ortalama 2,27 olarak bulunmuştur.

Çakır [12], imal ettiği sera tipi kurutucuda Şanlıurfa ilinde yetiştirilen kırmızıbiberi kurutmuş ve aynı ışıınım şartlarında açık havada ayaklı tel örgülü tepsilerde kurutmuş olduğu ürünlerle kuruma zamanı, yüzde ağırlık kaybı ve ürünün kalitesi açısından karşılaştırmıştır. Kurutulan kırmızıbiberlerin rengi incelendiğinde kuruma süresi uzadıkça renkteki değişimin arttığı gözlemlenmiştir. İmal edilen kurutucunun açık havada yapılan kurutmaya oranla kısmen avantaj sağladığı

görülmüştür. Deneyler sonucunda en uygun kurutma sıcaklığı aralığının 54-60 °C, en uygun kurutma havası hızı aralığının 0,25 m/s – 1 m/s olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz [13], yaptığı derlemede güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını tanıtmış, ülkemizin potansiyeli hakkında bilgi vermiş ve üzüm özelinde gıda alanında kullanım olanaklarına değinmiştir. Yılmaz, Türkiye'nin ortalama günlük güneş enerjisi potansiyelinin 3,6 kWh/m² olup ortalama güneşlenme süresinin günde 7,2 saat olduğunu, jeotermal kaynaklarımızın da %94'ünün düşük ve orta sıcaklıkta %6'lık kısmın ise yüksek sıcaklıkta olduğunu belirtmiştir.

Romero vd. [14], 50 kg kapasiteli dolaylı bir güneş enerjili kurutma sisteminin imalatını gerçekleştirmişlerdir. İmal ettikleri bu sistemde vanilya bitkisini kurutmuş, kurutma işlemi ile ilgili deneysel verileri sunmuştur. Geleneksel kurutma yöntemiyle 3 ay süren vanilyanın kurutulması güneş enerjili kurutma sistemiyle ürün içerisinde bulunan nemin %61,25 oranında azaltılmasıyla 1 aya indirilmiştir.

Polatçı H. [15], yapılan çalışmada reyhan bitkisi doğrudan değmeli kurutucuda kurutma, etüvde kurutma, güneşte kurutma, gölgede kurutma ve mikrodalgada kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur, kurutulan reyhanların kuruma performansı, kuruma kinetiği, renk analizi ve uçucu yağ analizi yapılmıştır. Doğrudan değmeli kurutucuda iki farklı karıştırma sıklığında yapılan kurutma işlemi 63-66 saat sürmüştür. Etüvde kurutma yöntemiyle üç farklı sıcaklıkta (35°C, 45 °C, 55 °C) kurutma gerçekleştirilmiş ve kurutma işleminin sırası ile 52, 50, 34 saat sürdüğü gözlemlenmiştir. Mikrodalgada kurutma 280 W, 595 W olarak iki farklı güç seviyesinde gerçekleştirilmiştir ve kurutma 9-22 dakikada tamamlanmıştır. Mikrodalgada kurutmanın reyhan bitkisinin kalite özelliklerini bozduğu gözlemlendiği için uygun bir kurutma yöntemi olmadığı sonucuna varılmıştır. Gölgede ve güneşte kurutmada reyhan bitkisinin 58 saatte kuruduğu görülmüştür. Gölgede ve güneşte kurutmada ürünün kalitesel özelliklerini bozulduğu için uygun bir kurutma yöntemi olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak doğrudan değmeli kurutucuda karıştırılarak yapılan kurutma işleminin kalite özellikleri açısından uygun bir kurutma yöntemi olduğu düşünülmektedir.

Korucu B. [16], yapılan çalışmada reyhan (*Ocimum Basilicum* L.) bitkisi, geliştirilen döner tamburlu kurutucuda farklı kurutma şartlarında kurutulmuştur.

Deneylerde döner tambur içerisine 15 kg kıyılmış taze reyhan konulup içerisinden ısıtılmış hava geçirilerek kurutma sağlanmıştır. Araştırma kapsamında sabit sıcaklıkta kurutma, kademeli sıcaklıkta kurutma, dalgalı sıcaklıkta kurutma ve azalan hava debisinde kurutma olarak dört farklı kurutma programı kullanılmıştır. Sabit sıcaklıkta kurutma denemeleri ortalama 39 saatte tamamlanırken kademeli sıcaklıkta kurutma denemeleri ortalama 25,5 saatte tamamlanmıştır. En fazla enerjinin 75,5 kWh olarak sabit sıcaklık profilinde kurutma denemelerinde, en az enerjinin ise 62 kWh olarak azalan hava debisi kurutma denemelerinde harcandığı gözlemlenmiştir.

İnan E. [17], yapılan çalışmada reyhan bitkisi doğrudan değmeli kurutucuda farklı kurutma şartlarında kurutulmuştur. Araştırma kapsamında sabit sıcaklıkta, kademeli sıcaklıkta, dalgalı sıcaklıkta ve havalandırma/karıştırmanın olmadığı kurutma olmak üzere dört farklı programda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde reyhanın kuruma süreleri, renk değerleri, uçucu yağ değerleri ve enerji tüketim miktarları belirlenmiştir. Kademeli ve dalgalı sıcaklıkta kurutma denemeleri ortalama 25,5 saat (en kısa sürede) tamamlanırken sabit sıcaklıkta ve karıştırma/havalandırmanın yapılmadığı kurutma denemeleri ortalama 31,5 saatte (en uzun sürede) tamamlanmıştır. En fazla enerjinin ortalama 44 kWh olarak havalandırma / karıştırmanın yapılmadığı kurutma denemelerinde, en az enerjinin ise ortalama 33,54 kWh olarak sabit sıcaklıktaki kurutma denemelerinde harcandığı gözlemlenmiştir.

Gülçimen F. [18], havalı güneş kolektörü, sirkülasyon fanı ve kurutma odasından oluşan deney düzeneği imal edilmiştir. Reyhan ve nane kurutma deneyleri yapılmıştır. Kurutucu akışkanın farklı kütleli debileri için kurutma parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

Çakmak G. [19], yapılan çalışmada, güneş enerjisi destekli dönel akışlı yeni bir kurutma sistemi tasarlanarak üzümlerin yapay olarak kurutulması sağlanmıştır. Üzümün kuruma parametreleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Üç farklı hava hızında yapılan kurutma deneylerinde kurutma havası hızının artmasıyla kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Doğal yöntemlerle gerçekleştirilen üzüm kurutulması 200 saatte tamamlanırken geliştirilen kuruma makinesinde yapılan deneylerde 0,5 m/s hava hızında 152 saatte, dönel eleman

olmadan 171 saatte, 1 m/s hava hızında 104 saatte, dönel eleman olmadan 123 saatte, 1,5 m/s hava hızında 80 saatte, dönel eleman olmadan 99 saatte ve FDM'li kolektör kullanılması durumunda 56 saatte kurumanın tamamlandığı gözlemlenmiştir.

Atalay H. [20], yapılan çalışmada güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli kurutma sistemi tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiş ve elma dilimleri kurutularak sistemde kurutucu performansına etki eden faktörler deneysel olarak incelenmiştir. Isıl enerjinin depolanması izolasyonlu çakıl taşı yatağı sistemi tasarlanıp imal edilerek gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemde elektrik enerjisinden yaklaşık olarak %76,8 tasarruf sağlanmıştır.

Sarsılmaz C. [21], imal edilen güneş enerjisi destekli döner sütunlu silindirik kurutucuda Elazığ'da yetiştirilen kayısının, kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir. İmal edilen kurutucuda kurutulan kayısının nem değişimi ile doğal yöntemlerle kurutulan kayılardan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Cesare vd. [22], çalışmalarında reyhan bitkisini 50 °C'de hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Kurutma sonunda renkteki ve uçucu yağ içeriğindeki değişimleri kıyaslamışlardır. Uçucu yağlar su distilasyonu yöntemiyle çıkarılmış ve analizi gaz kromatografisinde yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda mikrodalga ile kurutmanın, hava ile ve dondurarak kurutma yöntemlere göre daha kısa sürdüğü ve en iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir.

Özcan vd. [23], yapılan çalışmada reyhan bitkisi fırında kurutma ve güneşte kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Bitkinin ilk nem içeriği % 84,67 bulunmuştur. Son nem içerikleri ise 15 saat süre ile 50 °C de yapılan fırında kurutmada %17,31, 2 gün süre ile 30- 35 ° C arasındaki sıcaklıklarda güneşte kurutmada % 23,79 olduğu belirtilmiştir. Fırında kurutma yöntemiyle kurutulan reyhanların tüm mineral miktarları güneşte kurutma yöntemiyle kurutulan reyhan bitkisinde bulunan mineral miktarlarından yüksek olduğundan dolayı fırında kurutma yöntemi önerilmektedir.

Akpınar [24], Elazığ'da güneşte kurutma yöntemiyle tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasıyla ilgili deneyler yapmıştır. Deneylerde kurutulacak bitki olarak nane, reyhan ve maydanozu tercih etmiştir. Çalışmanın amacı kurutulan ürünlerin kurutma kinetiğinin belirlenmesi, difüzyon katsayısının hesaplanması ve

matematiksel model ile kurutma eğrilerinin tanımlanmasıdır. Nane, maydanoz ve reyhan bitkilerinin başlangıç nem değerleri sırasıyla % 86, % 84 ve % 87, son nem değerleri sırasıyla % 10, % 6 ve % 4 olarak bulmuştur. Nane ve reyhan bitkisi için Page 1 modelinin en uygun sonucu verdiğini sonucuna ulaşmıştır.

Müller [25], yapılan çalışmada reyhan, adaçayı ve ısırgan otu bitkileri incelenmiştir. Bitkiler ince tabaka halinde kurutma havası sıcaklığı 30-90 °C, kurutma havası bağıl neminin % 30-70, kurutma havası hızının 0,2 ve 0,6 m/s olduğu farklı kurutma şartlarında kurutulmuştur. 90 °C’de ürünün nemi % 40’a düştüğünde uçucu yağ kaybının % 11 olduğu gözlemlenirken 60 °C’de ürünün nemi %10’a düştüğünde uçucu yağ kaybı olmadığı gözlemlenmiştir. Renk ölçümlerinde hue açısı, parlaklık, kroma değerleri belirlenmiştir.

Diaz-Maroto vd. [26], yaptıkları çalışmada 45 °C’de fırında kurutma, oda sıcaklığında havayla kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle reyhan (*Ocimum basilicum* L.) kurutmuşlardır. Farklı kurutma yöntemlerinin kimyasal ve duyuşal açıdan kurutulan fesleğenin yapısal bütünlüğü üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Toplamda 27 uçucu bileşen tanımlandı, ana bileşen linalool, ardından öjenol oldu. Taze fesleğenin toplam uçucu madde miktarı fırın kurutma ve dondurarak kurutma sırasında önemli ölçüde azalırken, fesleğenin oda sıcaklığında havayla kurutulması sadece küçük uçucu bileşen kayıplarına neden olmuştur.

Demirhan ve Özbek [27], yapılan çalışmada mikrodalgada kurutma tekniğinin nem içeriği, nem oranı, kuruma hızı, kuruma süresi ve fesleğen yapraklarının (*Ocimum Basillium* L.) etkin nem difüzivitesi üzerine etkisi araştırıldı. Mikrodalga çıkış güçlerini 180’den 900 W’a artırınca kurutma süresi 28’den 6,5 dakikaya düşmüştür. Numune miktarlarını 25 gramdan 100 grama arttırılınca kurutma süresi 16’dan 44 dakikaya yükselmiştir. Kinetik parametrelerin belirlenmesi için, kurutma verileri, ilk ve son nem muhtevası ve denge nem muhtevası ile kuruma süresi arasındaki farkın oranlarına dayanarak çeşitli modellere uygulanmıştır. Önerilen modeller arasında yarı deneysel logaritmik model, uygulanan tüm kurutma koşullarına daha iyi uyum sağlamıştır. Aktivasyon enerjisi, Arrhenius denklemine dayanan üstel bir ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

Baritoux vd. [28] bu çalışmada reyhan 45 °C’de 12 saat boyunca kurutularak saklanmıştır. Üç, altı ve yedi ay muhafaza edildikten sonra uçucu yağ analizi

yapılmıştır. Esansiyel yağlarda bulunan eugenol, linalol gibi bileşenlerin zamanla değişip değişmediği araştırılmıştır.

Busic vd. [29] Ocimum basilicum L. bitkisini dondurarak, CO₂ kurutma yöntemiyle ve fırında kurutmuşlar. Taze, dondurulmuş ve kurutulmuş örneklerin biyoaktif ve duyuşal özelliklerini incelemişlerdir. Bitkinin dondurarak 0,005 bar basınç, 20 °C sıcaklıkta 4 günde, CO₂ kurutma yöntemi ile 40 °C sıcaklık, 80 ve 100 bar basınçta 2, 3 ve 4 saatte, fırında 40 °C sıcaklıkta 26 saatte kuruduğunu gözlemlemişlerdir. Bu üç kurutma yöntemi arasında dondurulmuş örneklerin antioksidan aktivitelerinin en yüksek olduğu, fırında kurutulan örneklerde antioksidan aktivitelerin en düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Calín-Sánchez vd. [30] Ocimum basilicum L. bitkisini konvektif, mikrodalga ve konvektif-mikrodalga kombine yöntemleriyle kurutmuşlardır. Taze bitkiler; otsu, tazelik, çiçeksi ve koku açısından, kurutulmuş bitkiler; baharat, samansı, tatlımsılık, toprağımsı, odunsu ve demlenme özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Taze örneklerin kurutulması ile baharat, samansı, tatlımsılık, demleme gibi özelliklerin arttığı gözlemlenmiştir. Artan sıcaklık ve mikrodalga gücünün duyuşal kaliteyi azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hassanpouraghdam vd. [31] Ocimum basilicum L. bitkisini fırında kurutma (40 °C ve 60 °C), gölgede kurutma ve güneşte kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Esansiyel yağ oranları sırasıyla gölgede kurutma %0,9; 40 °C'de fırında kurutma %0,8; güneşte kurutma % 0,5; fırında 60 °C'de % 0,4 olarak bulunmuştur. Gölgede kurutulan ürünün uçucu yağ içeriğı en yüksek bulunmuştur.

Tarakemeh ve Aboutalebi, [32] en yüksek uçucu yağ verimini sağlayan yöntemi bulabilmek için Ocimum basilicum L. bitkisini güneşte, gölgede ve 45 °C'de fırında kurutmuşlardır. En yüksek uçucu yağ içeriğı gölgede kurutulan ürünlerde, en düşüğü ise güneşte kurutulan ürünlerde bulunmuştur.

Yousif vd. [33] Ocimum basilicum L. bitkisini sıcak hava yardımıyla 48 °C sıcaklık, 2,3 m/s hava hızı, % 25 bağıl nemde 11,5 saatte, 0,5 kW, 1 kW ve 3,2 kW mikrodalga gücü ile sırasıyla 1 dk, 6 dk ve 12 dk süreyle kurutmuşlardır. Mikrodalgada kurutulmuş ürünlerin nem içeriğı %7,1 yb, 48°C sıcak hava ile kurutulmuş ürünlerin nem içeriğı 7,8 yb olarak bulunmuştur.

3. GIDA KURUTMA YÖNTEMLERİ

Gıdaların kurutularak uzun süre muhafazası ilk çağlardan beri uygulanmaktadır. Bu olay çoğu zaman güneş enerjisiyle kendiliğinden gerçekleşmektedir. Bütün ürünlerin doğrudan güneşte kurutulması doğru bir yöntem değildir. Ürünlerin doğrudan güneşte kurutulmasıyla aflatoksin gibi zararlı maddeler oluşmaktadır. Doğrudan güneşte kurutma yönteminde ürün üzerinde toz, kir, hayvan atıkları gibi maddelerin birikmesi bir dezavantajdır. Bu gibi dezavantajları ortadan kaldırmak için güneş enerjisinden veya farklı kaynaklardan elde edilen ısı yardımıyla birçok kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Genel olarak kurutmayı güneşte kurutma ve yapay kurutma olarak iki ana başlığa ayırabiliriz. Güneşte kurutma; ürünün direk açık havada güneşte bırakılarak kurutulması işlemidir. Yapay kurutma ise farklı tekniklerin kullanılması sonucu ısıtılan hava yardımıyla yapılan kurutma işlemidir.

Kurutma sistemi, kurutulacak ürüne göre seçilmektedir. Kurutulacak ürünün fiziksel özelliklerine ve ürün kuruması için en uygun şartların olgunlaşmasını sağlayan sisteme göre farklı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Tezin bu bölümünde literatürde bulunan farklı kurutma yöntemlerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır.

3.1. Güneşte Kurutma

Ürünlerin açık havada güneş enerjisinden faydalanarak kurutulduğu yöntemdir. “Tabii kurutma” olarak da isimlendirilir. Meyvelerin güneşte kurutulması ortalama 8-10 günde tamamlanmaktadır [34]. Çizelge 3.1’ de güneşte kurutulan meyvelerin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1.Güneşte kurutulan meyvelerin bazı özellikleri [34]

Meyve Türü	Verim(%)	Son Üründe Su Oranı (%)	Kuruma Süresi (gün)
Çekirdeksiz üzüm	25-28	12-15	8-10
Kayısı	20-30	15-20	5-6
Erik	25-30	16-19	7
Elma	11-12	3-5	15-18

Meyve ve sebze gibi gıda ürünleri güneş enerjisinden yararlanarak açıkta kurutulurken yağmur, toz, toprak, çeşitli hayvanların olumsuz etkilerine uğramakta ve ürün kalitesi düşmektedir. Bu gibi olumsuzlukların önüne geçebilmek için güneşte kurutmaya alternatif olarak birçok yapay kurutma yöntemleri geliştirilmiştir.

3.2. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Enerji tüketiminin giderek artması, her alanda olduğu gibi kurutma alanında da bizleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmiştir. Kurutma alanında güneş enerjisinin kullanımı konusunda 1950 yıllarından günümüze birçok ülkede çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda bu enerjinin depolanması, kullanma verimliliğinin artırılması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Güneş enerjili sistemlerin ömürleri uzun, işletme ve bakım maliyetleri düşük olduğundan uzun vadeli yatırım için oldukça avantajlıdır.

Güneş enerjili sistemlerle kurutma yapılması düşünüldüğünde, kurutmanın yapılacağı bölgenin iklim özellikleri ve güneş radyasyonu incelenmelidir. Bölgenin iklim özellikleri ve güneş radyasyonu kolektör verimini ve dizaynını önemli ölçüde etkilemektedir [21].

Güneş enerjili kurutucular, sera tipi güneş enerjili kurutucular ve kolektörlü güneş enerjili kurutucular olarak sınıflandırılabilir.

3.2.1. Sera tipi güneş enerjili kurutucular

Sera tipi kurutucularda, kurutma bölmesinin çatı kısmı ve/veya yan yüzeyleri güneş ışınlarının geçmesini sağlamak için saydam örtü malzemesi ile kaplanır. Saydam örtüden geçen güneş ışınları, örtünün alt kısmındaki yapı elemanlarınca absorbe edilerek içerideki hava ısıtılır. Isıtılan bu hava ısı taşıyıcı akışkan olarak kurutulacak ürüne ulaştırılır. Güneş enerjisiyle ısıtılan hava yardımıyla kurutulacak üründen uzaklaştırılan nem, yine aynı hava yardımıyla kurutma bölgesinden uzaklaştırılır. Sera tipi kurutucularda güneş ışınlarının toplandığı yüzey, kurutucunun bir parçası olduğundan kurutucunun geometrisine uygun bir şekilde dizayn edilmelidir. Basit bir yapıya sahip olduğundan verimleri güneş enerjili kolektörlü kurutuculara kıyasla düşüktür, kurutma süreleri uzundur. Isı kayıpları fazla olduğundan saydam örtü çift katlı olmalıdır. Isıtılan hava kurutma bölgesinde sürekli

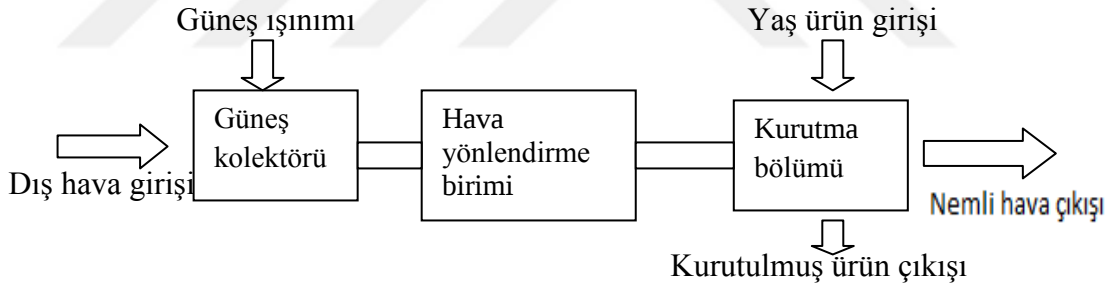
sirküle ettirildiğinden hava içerisindeki toz vs. gibi parçacıkların örtü malzemesi altında birikmesi verimi düşürecektir. Verim düşmesine engel olmak için belirli aralıklarla kurutma bölmesinin temizlenmesi gerekmektedir [9,21].

3.2.2. Kolektörlü güneş enerjili kurutucular

Kolektörlü güneş enerjili kurutucularda, kolektörler kurutma kabininin ayrı birer parçasıdır. Fırının geometrisine bağlı kalınmayacağından kolektör dizaynında daha esnek davranılabilmektedir. Kolektörlerde güneş ışınları yardımıyla toplanan enerji, su veya hava vasıtasıyla kurutulacak malzemeye iletilir. Bu sistemde kurutma işleminin kontrolü sağlanabilir. Bu fırınların tasarımı sera tipi kurutuculara göre daha karmaşıktır ve maliyeti daha yüksektir [36].

Güneş kolektöründe ısıtılan hava fan yardımıyla kurutma bölümünde sirküle edilerek kurutulacak ürünün üzerinden geçirilir ve ürünün nemi bu yöntemle uzaklaştırılır ve kuruma sağlanır [9,21].

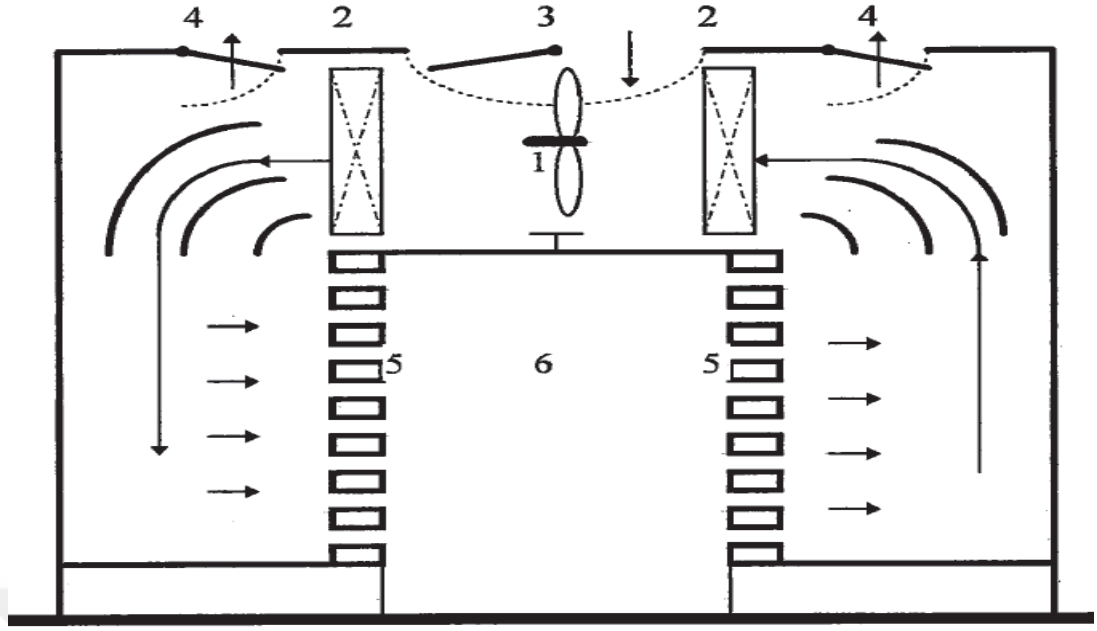
Şekil 3.1’ de güneş enerjili kurutma sistemlerinin blok diyagramı çizilmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma sistemleri diyagramı [37]

3.3. Kabin Kurutucular

Kabin, genellikle oda şeklinde duvarları yalıtılmış bir kurutma fırınıdır. Kabin kurutucular; delikli tepsiler, vagonlar ve kurutma odasından oluşmaktadır [39]. Dışarıdan emilen havanın ısıtılması kabin içerisindeki ısıtıcılarla sağlanmaktadır. Isıtılan havanın sirkülasyonu fanlar yardımıyla sağlanır. Kurutulacak ürünün yüzeylerinde dolaşıp ürünlerdeki nemi alan hava dışarı atılır. Şekil 3.2’de kabin (kompartıman) kurutucu gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kabin kurutucu [21]

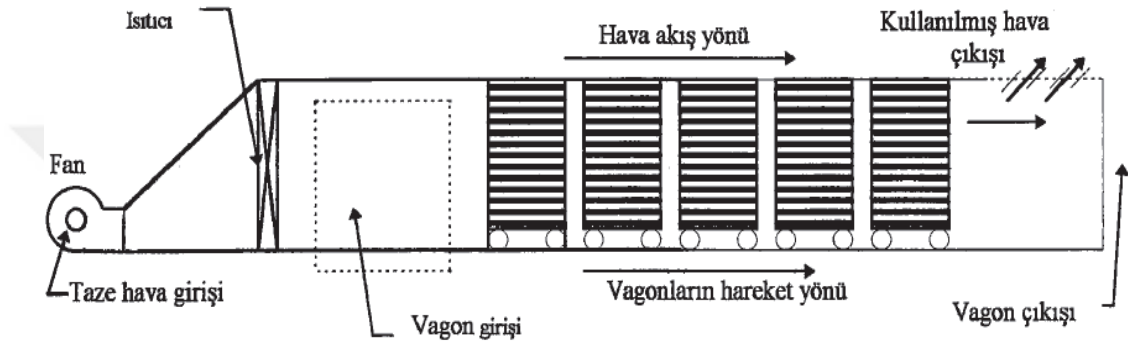
(1) Sirkülasyon fanı, (2) Isıtıcı, (3) Taze hava girişi, (4) Kullanılmış hava çıkış kapısı, (5) Aralıkları ayarlanabilen panjur tipi yan duvarlar, (6) Vagon boşluğu.

Kabin tipi kurutucular fındık, ceviz, mantar, erik, elma gibi taneli veya dilimlenmiş ürünler için uygundur. Ürünler kabin içerisindeki raflara serilerek kurutulur. Bu tip kurutucularda hava hızı ürünün türüne göre uygulanmaktadır. Ürün kısa kuruma süresine sahiptir [38].

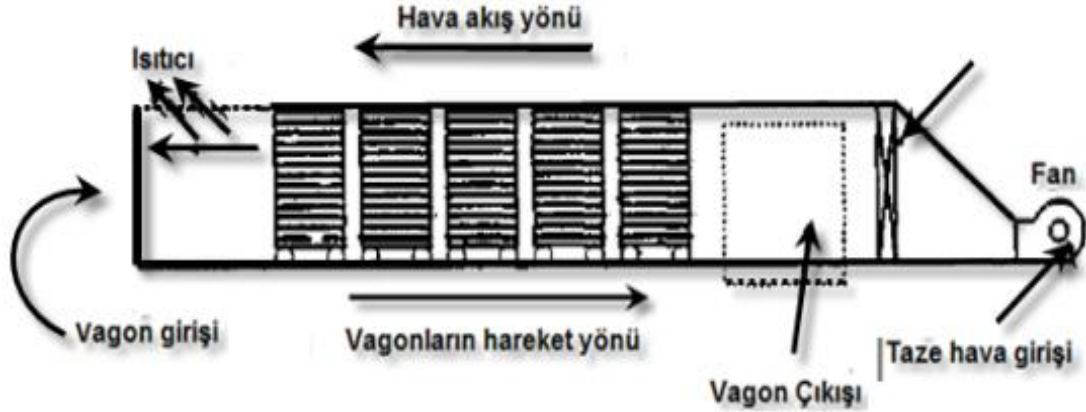
3.4. Tünel Kurutucular

Tünel kurutucularda kurutulacak madde tepsilere konarak uzun olan tünelin içerisinden geçirilir. Bu tip kurutucularda hava akımı vagona paralel, zıt veya dik olarak uygulanabilir. Tünel içerisindeki sıcak hava fanlar yardımıyla dolaştırılır. Tünel tipi kurutucular paralel akış tüneli ve zıt akış tüneli olarak iki gruba ayrılabilir. Paralel akış tünelinde (Şekil 3.3) sıcak hava ile ürün aynı yönde hareket eder. Bu tünelde ürün ile hava aynı yerden girer. Ürün ile hava aynı yerden girdiği için sıcak hava önce taze ürünle karşılaşır daha ileride kurumuş ürüne temas eder. Hava kurumuş ürünle ilerlerken gittikçe soğuyup nemi artar. Zıt akış tünelinde (Şekil 3.4) sıcak hava ile ürün birbirlerine zıt yönde hareket eder. Paralel akışın tersine sıcak hava önce kuru ürüne temas ederken en sonunda ıslak ürüne temas eder.

Paralel akış tüneline ürün ve sıcak hava aynı yerden girdiğinden dolayı ürün yüzeyi çok hızlı kurur ve üründe çok az bir buruşma olur. Fakat ürün içerisinde boşluk ve çatlaklar oluşur. Zıt akış tüneline ise kurumanın ilk aşaması soğuk ve nemli hava ile gerçekleştiğinden, kurutulan üründe nem dağılımındaki farklılık fazla olmadığından, tam ve düzenli bir buruşma olur. Bu iki yönetime ilaveten çapraz akışlı tüneller de kullanılmaktadır. Çapraz akışlı tünel zıt akış tüneli ile kabin kurutucuların birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu yöntemde daha homojen bir kuruma sağlanır [21].



Şekil 3.3. Paralel akış tüneli [21]

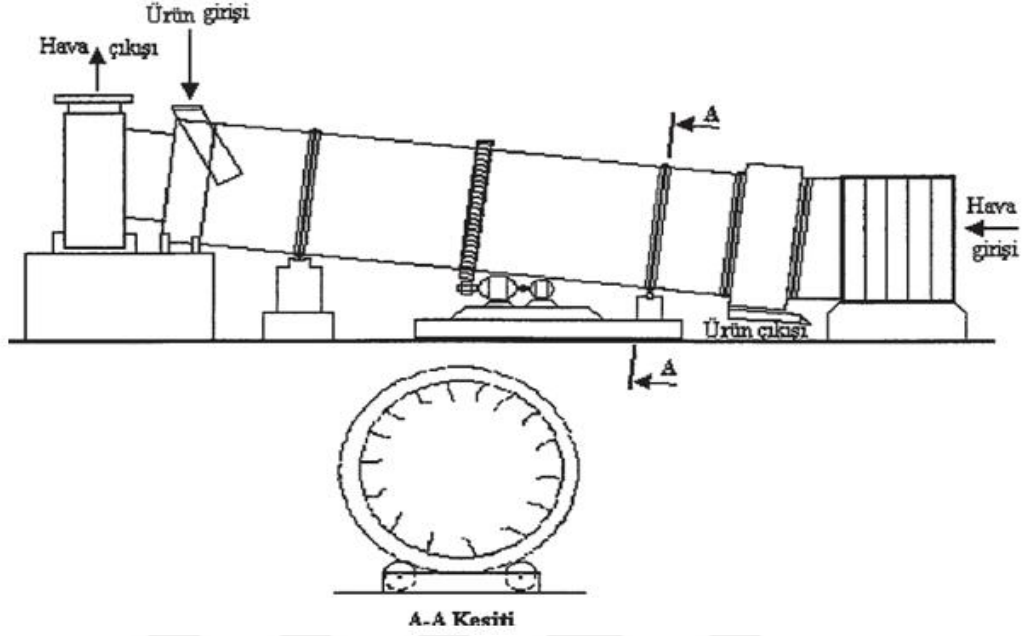


Şekil 3.4. Zıt akış tüneli [21]

3.5. Döner Kurutucular

Döner kurutucular taneli veya kristal yapıdaki, kurutucunun duvarına yapışmayan ürünlerin kurutulması için uygun bir yöntemdir. Döner tip kurutucular silindirik bir gövdeye sahiptir ve eksenleri yatayla küçük bir açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.5' de görüldüğü gibi kurutulacak ürün kurutucuya üst kısımdan konur sıcak hava da aşağıdan yukarıya gönderilir gövde döndükçe iç

kısımdaki kanatlar sayesinde ürün aşağıya doğru ilerler ve sıcak hava ürünün içerisinden geçerek ürünü kurutur. Böylece kurutucunun alt kısmında kuru ürün elde edilirken üst kısımdan da hava nemlenmiş bir şekilde dışarı atılır [21,40].



Şekil 3.5. Döner kurutucu

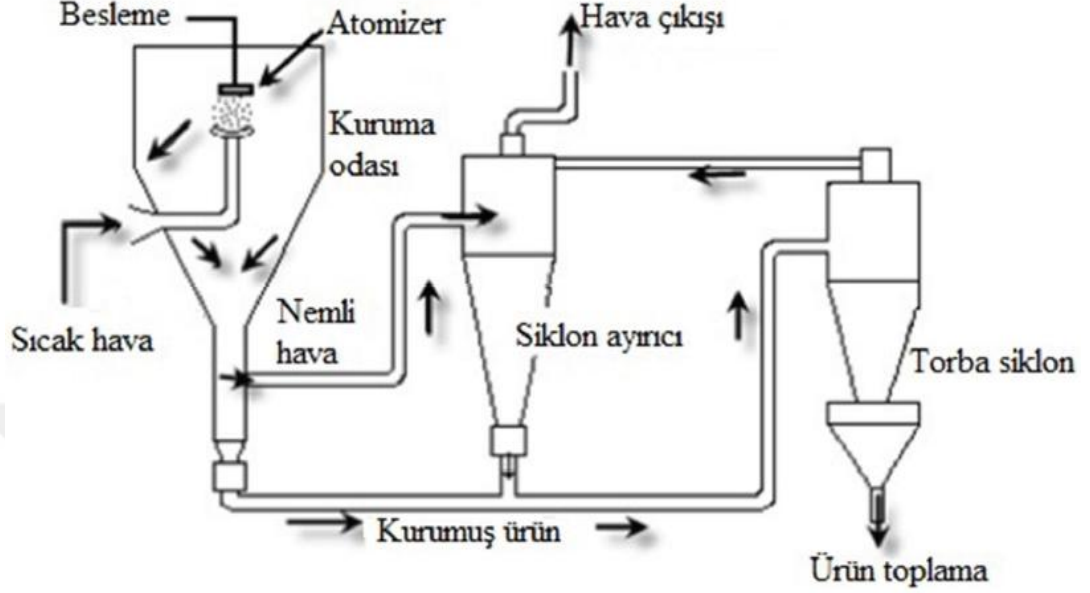
3.6. Silindir Kurutucular

Bu kurutucular çok sayıda buharla ısıtılmış olan silindirlerden oluşmaktadır, ürün bu silindirler üzerinden geçirilerek kurutulur. Bu yöntem genellikle kağıt ve tekstil ürünlerinin kurutulmasında kullanılır [21].

3.7. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular ilaç, süttozu, kahve gibi viskozitesi düşük, atomize edilebilir ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Püskürtmeli kurutucular, sıcak hava üretim bölümü, ürünün parçacıklar haline getirildiği kısım, küçük parçacıklar haline getirilmiş ürünle sıcak havanın bir arada olduğu kısım ve kurutulmuş ürünün toplandığı kısım olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Gaz sıcaklığının 93 °C ile

760 °C arasında değişmesiyle ürün 5-15 saniye gibi kısa bir sürede kurumaktadır [39,41]. Şekil 3.6’ da püskürtmeli kurutucu sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Püskürtmeli kurutucu [39]

3.8. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma yönteminde kurutulacak madde önce dondurulur daha sonra uzaklaştırılmak istenen uçucu (genellikle su) süblime edilir. Bu yöntem pahalı olmasına karşın kalite açısından en iyi kurutma yöntemlerinden biridir [42]. Dondurarak kurutma, eczacılık ürünleri, aşılar, deniz ürünleri, kahve ve çay esansları, et ve süt gibi hassas ürünlerin kurutulmasında kullanılan bir yöntemdir [43].

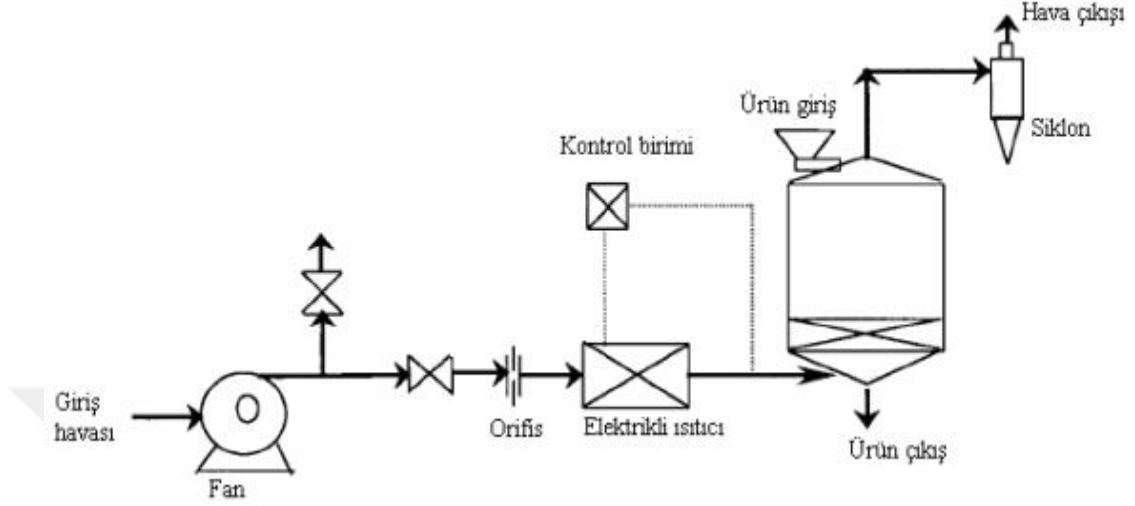
Çizelge 3.2. Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma arasındaki farklar [43]

Sıcak Hava ile Kurutma	Dondurarak Kurutma
Sebze ve tane gibi kolay kuruyan ürünlerde başarılıdır.	Birçok üründe başarılı olarak uygulanabilmesine rağmen, diğer yöntemler ile kurutulamayan gıdalar ile uygulaması sınırlıdır.
Et ürünlerinde başarılı değildir.	Pişmiş ve ham etin kurutulmasında başarıyla kullanılabilir.
Sıcaklık 37° ile 93°C arasında değişebilir.	Sıcaklık donma noktasının altında olabilir.
Atmosferik basınçta gerçekleşir.	Basınç oldukça düşüktür (27-133 Pa)
Suyun gıda yüzeyinden evaporasyonu ile gerçekleşir.	Buzun süblimasyonu (katı fazdan direk buhar fazına geçiş) ile gerçekleşir.
Katı madde hareketinden kaynaklanan yüzey sertleşmesi gerçekleşebilir.	Katı madde hareketi minimum seviyededir.
Ürün üzerindeki stresten dolayı yapısal bozulmalar ve büzülme meydana gelir.	Büzülme ve yapısal değişimler minimum seviyededir.
Kurutulan ürünün rehidrasyonu minimum seviyededir.	Hızlı rehidrasyon meydana gelir.
Koku ve aroma çoğunlukla değişmektedir.	Koku ve aroma muhafaza edilebilmektedir.
Ürünün rengi genellikle kurutma sonunda daha esmerdir.	Ürün rengini muhafaza edebilmektedir.
Kurutma maliyeti düşüktür.	Kurutma maliyeti sıcak havaya göre genellikle 4 kata kadar daha fazladır.

3.9. Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklı kurutucularda kurutulacak ürün aşağıdan gönderilen sıcak hava yardımıyla askıya alınır ve akışkan bir yatak halinde bulunur. Ürünün askıda tutulabilmesi için havanın belli bir hızda uygulanması gerekmektedir [21]. Bu tip kurutucular birbirine yapışarak kitle haline dönüşen meyve gibi ürünlerin

kurutulması için elverişli değildir. Akışkan yataklı kurutucularda bezelye, havuç, et, kahve, kakao, tuz gibi ürünler kurutulmaktadır [44]. Şekil 3.7’ de akışkan yataklı kurutma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Akışkan yataklı kurutucu [45]

3.10. Kızılötesi (İnfrared) Işınım Kurutma

Kızılötesi kurutucular enerji ışıınım prensibine göre çalışırlar. Ürün elektromanyetik radyasyona maruz bırakılır. Bu ışınlar üründeki su moleküllerini harekete geçirerek daha az enerjiyle su moleküllerinin ürünü terk etmesi sağlanır. İnfrared kurutma sıcak hava kurutma tekniklerine göre zamandan tasarruf sağlanmasına imkân tanıdığı ve enerji sarfiyatını azaltması gibi avantajlarının olması nedeniyle son yıllarda kullanımı yaygınlaşmıştır [21,40].

3.11. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutmanın temel prensibi; üründeki polar molekülleri uyarak elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesinin sağlanmasıdır. Sanayide mikrodalga ile vakumun birleştirilerek oluşturulduğu sistemde diğer metotlara kıyasla daha kısa sürede kurutma gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutmada ürünün rengi, kokusu, tadı gibi yapısal özelliklerinin daha fazla korunması sağlanmaktadır. Bu metot başlangıç nemi yüksek olan ürünlerin kurutulmasında oldukça başarılıdır. Genellikle gıda, tekstil, ağaç ve seramik

sanayinde yaygın olarak kullanılır. Mikrodalga kurutma enerji verimliliği, hızlı işlem, maliyet ve kurutulmuş üründe yüksek kalite gibi önemli özelliklere sahiptir. Diğer kurutma işlemlerine göre kontrol edilebilir şartlar, yüksek verimlilik, yüksek kurutma hızı, uygulama kolaylığı gibi üstünlüklere sahiptir [21,39,40].



4. MATERİYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu çalışmada, Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından 15/08/2017 tarihli, 2017/11 Sayılı Resmi Coğrafi İşaret ve Geleneksel Ürün Adı Bülteni'nde Arapgir Mor Reyhanı (*Ocimum bacilicum* L.) menşee adı ile coğrafi işaretlenen Malatya ili Arapgir ilçesinde yetiştirilen mor reyhanlar kurutulmuştur. Kurutma deneylerinde kullanılacak reyhanlar Arapgir belediyesi tarafından temin edilmiştir. Şekil 4.1'de deneylerde kullanılan Arapgir mor reyhanı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. (a-b) Arapgir mor reyhanı

Reyhan bitkisi (*Ocimum basilicum* L.), Lamiacea familyasının, Ocimoideae alt familyasından *Ocimum* cinsinin bir türüdür [3]. Dünyada 65'in üzerinde [46] türe sahip olan *Ocimum* bitkisinin tek ve çok yıllık türleri Asya, Afrika ve Orta Amerika'da doğal yayılış göstermektedir. *Ocimum* türleri, Türkiye'de fesleğen veya reyhan olarak adlandırılmaktadır. Bitki Türkiye florasında doğal olarak bulunmamaktadır. Bitkinin kültür formları yetiştirilmektedir [47].

“King of the herbs” olarak bilinen *Ocimum* cinsinin popüler bir türü olan reyhanın taksonomik sınıflandırılması Çizelge 4.1' de verilmiştir. Farklı dillerde farklı şekillerde adlandırılan reyhan bitkisi İngilizcede “basil” olarak adlandırılmaktadır [48].

Çizelge 4.1. Reyhan bitkisinin taksonomik sınıflandırılması [49]

Sıralama	İsim
Alem	Plantae (Bitkiler)
Bölüm	Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)
Sınıf	Magnoliopsida (İki çenekliler)
Familya	Lamiaceae (Ballıbabagiller)
Cins	<i>Ocimum</i> (Fesleğenler)
Tür	<i>Ocimum basilicum</i> L.

Yapılan araştırmalarda reyhan bitkisinin insan sağlığı için birçok yararının olduğu tespit edilmiştir. Reyhan yapraklarının idrar söktürücü ve uyarıcı olarak kullanıldığı, öksürüğü kestiği, baş ağrısını giderdiği belirtilmiştir[50]. İshal, kronik dizanteri, solunumla ilgili rahatsızlıkların, ağız ve diş hastalıklarının, mantar hastalığının tedavilerinde kullanıldığı belirtilmiştir [47].

4.2. Yöntem

2019 yılı Eylül ve Ekim aylarında hasat edilen mor reyhanlar kurutma deneyleri gerçekleştirilene kadar +4 °C 'de muhafaza edilmiştir. Kurutulacak reyhan yaprakları yıkanarak temizlenmiş, sap ve çiçeklerinden ayıklanmıştır. Ayıklanan reyhan yapraklarının aynı boyutlarda seçilmesine özen gösterilmiştir. Tasarlanıp imalatı gerçekleştirilen güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde reyhan yapraklarının kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deneyler 21 g ve 50 g olmak üzere farklı ağırlıklarda reyhanlar kurutularak gerçekleştirilmiştir. Kütle artışının kuruma sürelerini etkileyip etkilemediği araştırılmış, 45 °C, 50 °C, 55 °C ve 60 °C 'de deneyler gerçekleştirilerek farklı sıcaklıklardaki kuruma sürelerinin kıyası yapılmıştır. Kurutulmuş reyhanların su aktivitesi, renk analizi gibi analizleri yapılmış ve literatürde bulunan diğer çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Deneyler üç grup şeklinde gerçekleştirilmiştir. Birinci grup deneylerde 21 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar saat 09:00 'da kurutma kabine konmuş ve sıcaklık istenen değere ulaştığında sabit tutularak kurumanın gerçekleşmesi sağlanmıştır. Farklı günlerde sıcaklıklar 45 °C, 50 °C, 55 °C 'ye ulaştığında sabit tutulmuş ve birer saat aralıklarla kütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İkinci grup

deneylerde kurutma fırını güneşe konmuş ve sıcaklık 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C ‘ye ulaştığında sabit tutularak 21 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar içerisine konmuş ve kuruma gerçekleştirilmiştir. Üçüncü grup deneylerde ise kurutma fırını güneşe konmuş ve istenen sıcaklığa ulaşıldığında 50 gr başlangıç kütlesine sahip reyhanlar kurutma makinesine konularak kurumaları sağlanmıştır. Bu deneylerde de sıcaklıklar 45 °C, 50 °C, 55 °C ‘de sabit tutulmuştur. Kütle artışının kuruma zamanını etkileyip etkilemediği araştırılmıştır.

4.2.1. Güneş enerjisi ile reyhan kurutma sisteminin tasarlanması ve imalatı

Güneş enerjisi destekli kurutucu İnönü Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen FLY-2019-1500 numaralı proje kapsamında tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kurutucu sanayide imal edilerek İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarına getirilmiştir. Deney seti, bölüm laboratuvarının dışına, güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılabilecek şekilde kurulmuştur.

Makinenin kurutma kabini 850x850x780 mm ölçülerinde metal sacdan imal edilmiştir. Kabin içerisine beş katlı döner bir raf yerleştirilmiştir. Rafların dönmesini sağlayarak fan yardımıyla içeriye alınan havanın kurutulmak istenen reyhanların üzerine eşit dağılımını sağlamak için rafları döndürmek amacıyla FINEX marka redüktörlü minyatür asenkron motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun dönme hızı 10 d/dk’ dır. Döner raf sistemine beş adet 600x400 mm boyutlarında delikli tepsi yerleştirilmiştir. Delikli tepsinin tercih edilmesinin sebebi reyhanların sıcak hava ile temas eden yüzey alanını artırmaktır. Sistemde hava sirkülasyonunu sağlamak ve içeriye sıcaklığını istenen düzeyde sabit tutmak için FANSAN marka alüminyum gövde radyal fan kullanılmıştır. Sıcaklığın istenilen değerlerde sabit tutulmasını sağlamak için fanın otomatik kontrol yardımıyla devreye girmesi sağlanmıştır. Fan yardımıyla içeriye alınan havanın raflara homojen üflenmesini sağlamak amacıyla kurutma bölmesi içerisinde belli aralıklarla delikler açılarak bir kanal oluşturulmuştur. İç, dış sıcaklık ve nemi ölçmek için TENSE marka sıcaklık ve nem kontrol cihazı kullanılmıştır. Taşıma kolaylığı sağlamak amacıyla makinenin dört ayağına kilitli teker takılmıştır. Güneş ışınlarından maksimum düzeyde faydalanabilmek için makinenin tavan kısmı ve açma kapama kapağının bir kısmı temperli camdan imal edilmiştir. Güneş enerjili reyhan kurutma sistemi tasarlanırken,

pasif güneş sistemleri aracılığıyla güneşten enerji kazanılması yönteminden faydalanılmıştır.

Çizelge 4.2’ de makinenin bir parçası olan fanın bazı özellikleri, Şekil 4.2’de ise fanın fotoğrafı verilmiştir.

Çizelge 4.2. FANSAN marka alüminyum gövde radyal fan özellikleri

Model	Güç (W)	Gerilim (V)	Debi (m ³ /h)
DRS 120 A 120-60 Alm. Gövde Saly. Fan	90	230	380



Şekil 4.2. FANSAN marka alüminyum gövde radyal fan

Çizelge 4.3’ te asenkron motorun bazı özellikleri, Şekil 4.3’te ise motorun görseli verilmiştir.

Çizelge 4.3. FINEX marka redüktörlü minyatür asenkron motorun özellikleri

ELEKTRİKSEL VERİLER	
Model	C1610-6-2B
Güç	6W
Voltaj	1PH 220V
Frekans	50 Hz
Dönüş hızı (d/dk)	1350
Kondansatör (µF/VAC)	0,8/450
Akım (A)	0,074
Başlangıç momenti (N.M)	0,055
Anma momenti (N.M)	0,042



Şekil 4.3. FINEX marka redüktörlü minyatür asenkron motor

Çizelge 4.4'te sıcaklık ve nem kontrol cihazının teknik özellikleri, Şekil 4.4'te ise cihazın görseli verilmiştir.

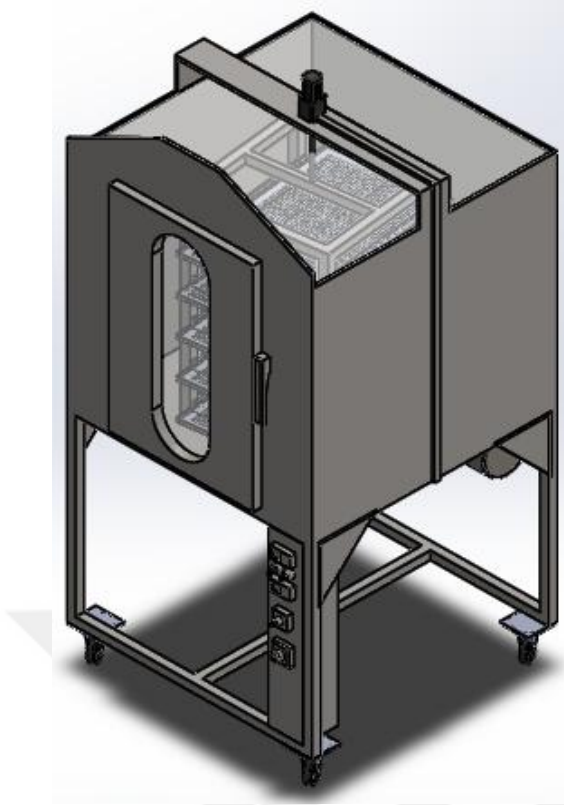
Çizelge 4.4. TENSE marka sıcaklık ve nem kontrol cihazı teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Ebat	35x77mm
Gösterge	3 Hane 7 Segment
Sensör	Dijital Sıcaklık / Nem Sensörü
Ölçme Skalası	-19,9..+80,0 °C, 5.. 95 %RH
Duyarlık	±0,1 °C, ±1 %RH
Doğruluk	± %1 (°C), ±%3 (%RH); tam skalanın
Besleme Voltajı	100..240VAC, 2A, Rezistif yük
Güç Tüketimi	<6VA
Çalışma Sıcaklığı	0 .. 50 °C

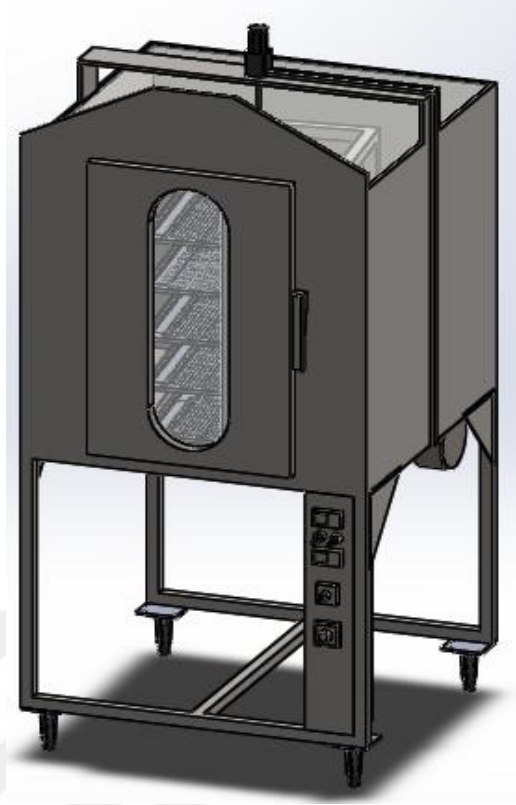


Şekil 4.4. TENSE marka sıcaklık ve nem kontrol cihazı

Güneş enerjisi ile reyhan kurutma sisteminin tasarımı, SolidWorks 2014 programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.5 - 4.7'de tasarımı yapılan güneş enerjili reyhan kurutma sisteminin farklı görünüşleri verilmiştir. Şekil 4.8 – 4.13'de imal edilen reyhan kurutma sisteminin farklı görünüşleri verilmiştir.

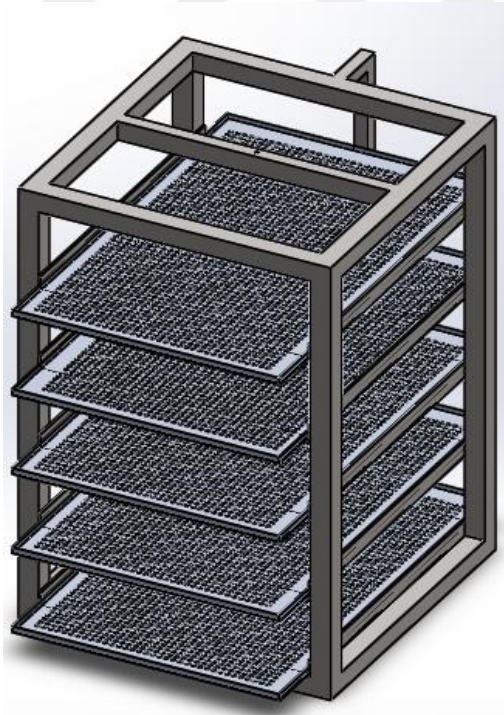


a

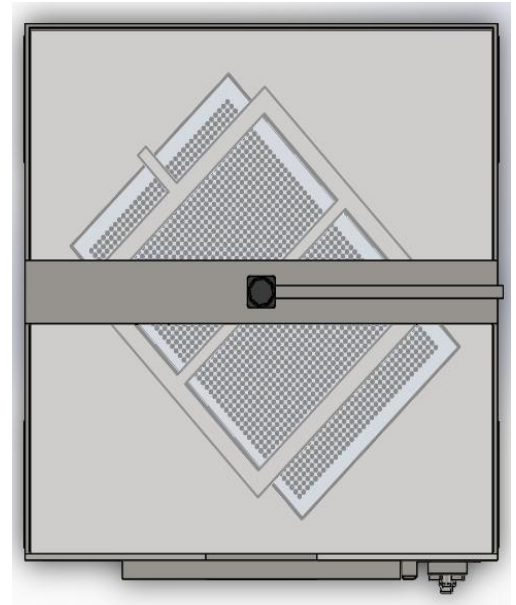


b

Şekil 4.5. (a-b) Tasarlanan reyhan kurutma sisteminin izometrik ve dimetrik görüşleri

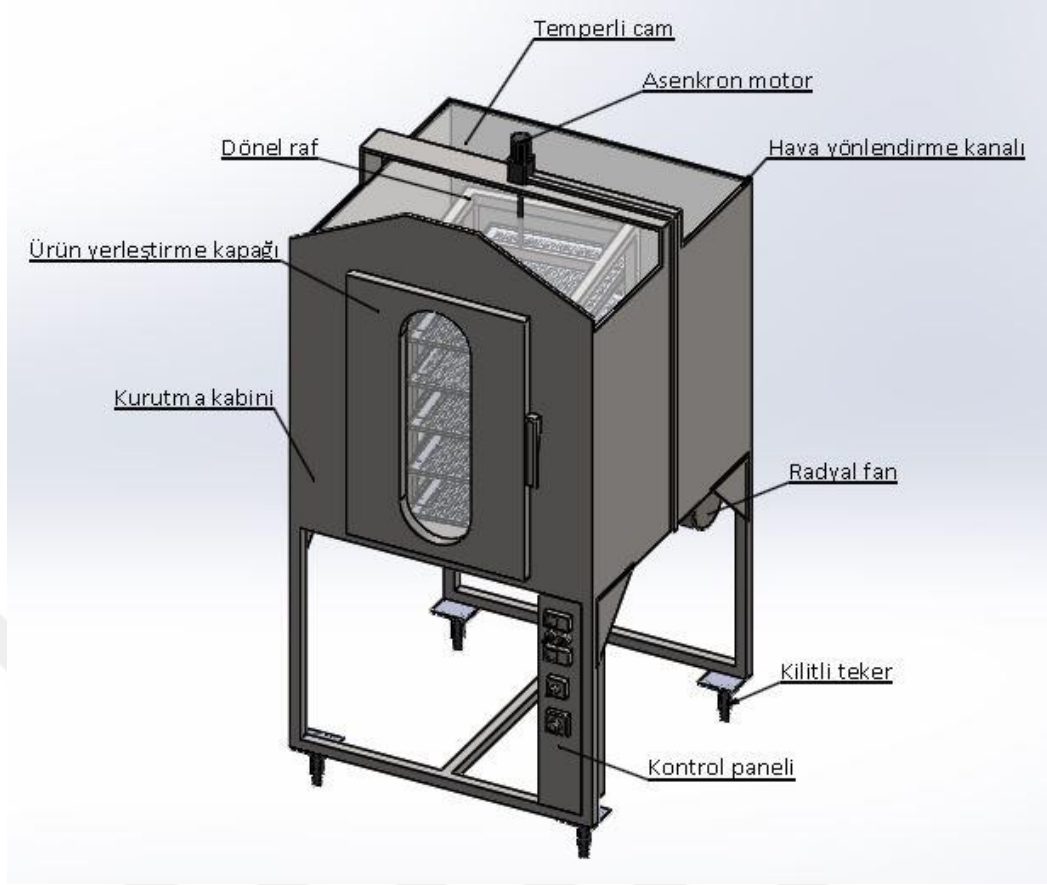


a



b

Şekil 4.6. (a-b) Dönel raf ve reyhan kurutma sisteminin üstten görüşü



Şekil 4.7. İmal edilen deney setinin şematik görünümü



Şekil 4.8. İmal edilen makinenin üstten görünüşü



a

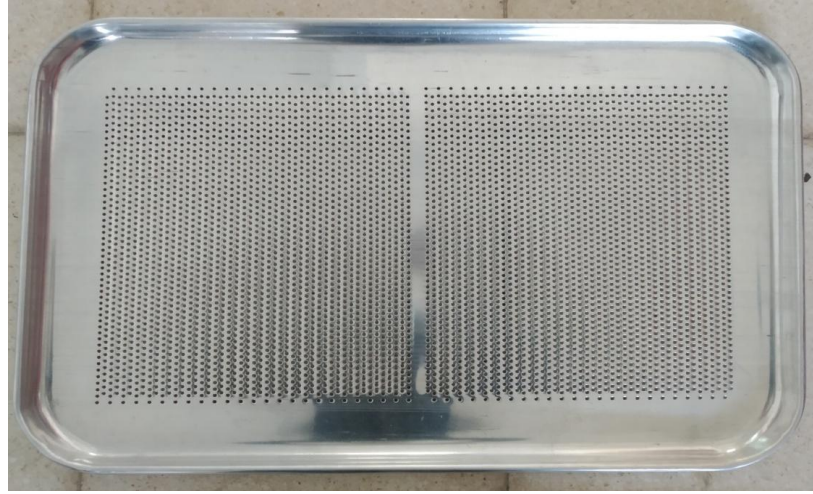


b

Şekil 4.9. (a-b) İmal edilen makinenin genel görünümü



Şekil 4.10. İmal edilen makinenin arkadan görünüşü



a



b



c

Şekil 4.11.(a-c)Delikli tepsinin boş ve üzerine reynhanların dizildiği halinin görünümü



Şekil 4.12. Dönel rafın görünümü



a

b

Şekil 4.13. (a-b) Fırın içerisine yerleştirilen hava yönlendirme kanalı ve kontrol ünitesi

4.2.2. Nem tayini

Taze reyhan yapraklarının nem tayini, örneklerin 105 °C’de etüvde (Nüve, Türkiye) tutulması ile gerçekleştirilmiştir.

Saat başı tartılan ürünlerin nem oranı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Nem oranlarını belirlemek için RADWAG, Polonya marka hassas terazi kullanılmıştır.

$$\% \text{ yaş baza göre nem içeriği: } \%N_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\% \text{ kuru baza göre nem içeriği } \%N_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \times 100 \quad (4.2)$$

4.2.3. Su aktivitesi tayini

Reyhan tozlarının su aktivitesi değerleri ± 0.001 hassasiyete sahip, LabTouch, Novasina, İsviçre marka su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Su aktivitesi değeri (4.3) numaralı formül ile hesaplanmaktadır. Şekil 4.14’ te su aktivitesi ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Su aktivitesi ölçüm cihazı

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (4.3)$$

P; gıdadaki suyun buhar basıncı

P₀; saf suyun buhar basıncı

4.2.4. Renk analizi

Reyhan tozlarının renk değerleri ölçümü Konica Minolta Colorimeter CR-5, Japonya marka ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Renk analizi ölçümlerinde CIE L*, a* ve b* renk sistemi kullanılmıştır. Şekil 4.15’ te renk ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Renk analizi ölçüm cihazı

“L*” 0 ile 100 arasında değer alabilmekte ve parlaklığı ifade etmektedir. 0 değerini siyah renkte alırken 100 değerini beyaz renkte almaktadır [53].

“a*” ifadesinin pozitif değer alması kırmızılığı temsil ederken negatif değer alması yeşil rengi temsil etmektedir. Sıfır değer alması ise griliği temsil etmektedir [53].

“b*” ifadesinin pozitif değer alması sarılığı temsil ederken negatif değer alması maviliği temsil etmektedir. Sıfır kesim noktası griliği yani renksizliği temsil etmektedir[53].

“C*” (kroma değeri) renk doygunluğunu ifade etmektedir. Rengin canlılığı arttıkça kroma değeri de artmaktadır. Kroma değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$C^*(Kroma) = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (4.4)$$

H° değeri bir renk dairesi olarak tanımlanmaktadır. Hue açısı kırmızı-mor renklerini 0° ve 360° açı değerlerinde, mavimsi yeşil rengi 180° ve 270° açı değerinde, sarı rengi ise 90° açı değerinde almaktadır. Hue açısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$H^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4.5)$$

Toplam renk değişimi (ΔE), kahverengileşme indeksi (BI) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Taze reyhan yapraklarına ait referans değerleri L_0 , a_0 , b_0 ile ifade edilmiştir.

$$\Delta E = \sqrt{((L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2)} \quad (4.6)$$

$$BI = \frac{100 \times (x - 0,31)}{0,17} \quad (4.7)$$

$$x = \frac{a^* + 1,75L^*}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (4.8)$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kurutulacak Reyhan Bitkisinin Nem Tayini

Taze reyhan yapraklarının nem tayini, örneklerin 105 °C’de etüvde (Nüve, Türkiye) tutulması ile gerçekleştirilmiştir. Taze reyhan yapraklarının nem içerikleri $\%86.61 \pm 1,03$ (yb) olarak bulunmuştur [3]. Şekil 5.1’de kurutulan reyhan yaprakları ve analizler için kullanılacak reyhan tozları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. (a-c) Kurutulmuş reyhan yaprakları

5.2. Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralıklarında Kütle Ölçümleri

Reyhan kurutma deneyleri Eylül 2019 ve Ekim 2019 tarihleri arasında, imal edilen kurutma makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kurutulan reyhanların kütleleri birer saat aralıklarla ölçülerek nem oranları belirlenmiştir. Kurutma sisteminde elde edilen değerler ve ölçülen kütle değerleri Çizelge 5.1 – 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.1. Sıcaklığın 45 °C’ ye ulaşp, 45 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları
(21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:00	21	34,4	11	19
10:00	15,45	45	5	11
11:00	11,87	45	5	8
12:00	9,12	45	5	6
13:00	6,65	45	5	6
14:00	4,89	45	5	5
15:00	3,95	45	5	5
16:00	3,26	45	5	5
17:00	3,26	45	5	5

Çizelge 5.2. Sıcaklığın 50 °C’ ye ulaşp, 50 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları
(21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:00	21	32	17	30
10:00	19,76	50	14	18
11:00	15,06	50	5	10
12:00	8,38	50	5	9
13:00	4,82	50	5	5
14:00	3,12	50	5	5
15:00	2,64	50	5	5
16:00	2,64	50	5	5
17:00	2,64	50	5	5

Çizelge 5.3. Sıcaklığın 55 °C' ye ulaşp, 55 °C' de sabit tutulduğu deney sonuçları
(21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:00	21	34	14	27
10:00	16,45	47,3	5	21
11:00	11,29	55	5	14
12:00	5,5	55	5	14
13:00	3,48	55	5	11
14:00	3,04	55	5	5
15:00	3,04	55	5	5
16:00	3,04	55	5	5
17:00	3,04	55	5	5

Çizelge 5.4. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 45 °C' de sabit tutulduğu deney
sonuçları (21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:00	21	45	5	12
10:00	15,43	45	5	5
11:00	11,5	45	5	5
12:00	7,94	45	5	5
13:00	4,24	45	5	5
14:00	3,29	45	5	5
15:00	2,93	45	5	5
16:00	2,93	45	5	5

Çizelge 5.5. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 50 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:30	21	50	5	14
10:30	11,4	50	5	15
11:30	6,97	50	5	8
12:30	4,63	50	5	5
13:30	3,74	50	5	5
14:30	3,4	50	5	5
15:30	3,4	50	5	5
16:30	3,4	50	5	5

Çizelge 5.6. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 55 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
10:30	21	55	5	5
11:30	6,98	55	5	5
12:30	3,51	55	5	5
13:30	3,09	55	5	5
14:30	2,92	55	5	5
15:30	2,92	55	5	5
16:30	2,92	55	5	5
17:30	2,92	55	5	5

Çizelge 5.7. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 60 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (21 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
11:00	21	60	5	15
12:00	7,34	60	5	9
13:00	3,61	60	5	13
14:00	3,3	60	5	6
15:00	3,3	60	5	5
16:00	3,3	60	5	5
17:00	3,3	60	5	5
18:00	3,3	60	5	5

Çizelge 5.8. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 45 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
09:30	50	45	5	5
10:30	29,22	45	5	5
11:30	20,77	45	5	5
12:30	15,1	45	5	5
13:30	10,33	45	5	5
14:30	8,32	45	5	5
15:30	6,97	45	5	5
16:30	6,97	45	5	5

Çizelge 5.9. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 50 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
10:00	50	50	5	14
11:00	24,73	50	5	12
12:00	16,68	50	5	5
13:00	10,15	50	5	5
14:00	6,5	50	5	5
15:00	5,66	50	5	5
16:00	5,66	50	5	5
17:00	5,66	50	5	5

Çizelge 5.10. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren 55 °C’ de sabit tutulduğu deney sonuçları (50 gr)

ZAMAN (saat)	KÜTLE (gr)	İÇ SICAKLIK (°C)	İÇ NEM (%RH)	DIŞ NEM (%RH)
10:30	50	55	5	5
11:30	17,9	55	5	5
12:30	13,51	55	5	5
13:30	7,46	55	5	5
14:30	6,9	55	5	5
15:30	6,9	55	5	5
16:30	6,9	55	5	5
17:30	6,9	55	5	5

5.3. Kurutulan Reyhanların Belirli Zaman Aralıklarındaki Nem Oranları

Kurutulan reyhanların birer saat aralıklarla kütle ölçümleri yapılarak Çizelge 5.1 – 5.10 ‘da verilen değerlere ulaşılmıştır. Ürün içerisindeki nem oranlarını hesaplamak için (4.2) numaralı denklem kullanılmıştır. İlk nem oranı %100, son nem oranı %0 kabul edilerek ulaşılan değerler Çizelge 5.11, 5.12, 5.13’te verilmiştir.

Çizelge 5.11. Sıcaklığın zamanla sabit değere ulaştığı deneylerin nem oranları

Zaman	45 °C*	50°C*	55 °C*
0	100	100	100
1	68,7	93	74,6
2	48,5	67,6	45,9
3	33	31,2	13,7
4	19	11,8	2,4
5	9	2,6	0
6	3,9	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

Çizelge 5.12. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylerin nem oranları (21 gr)

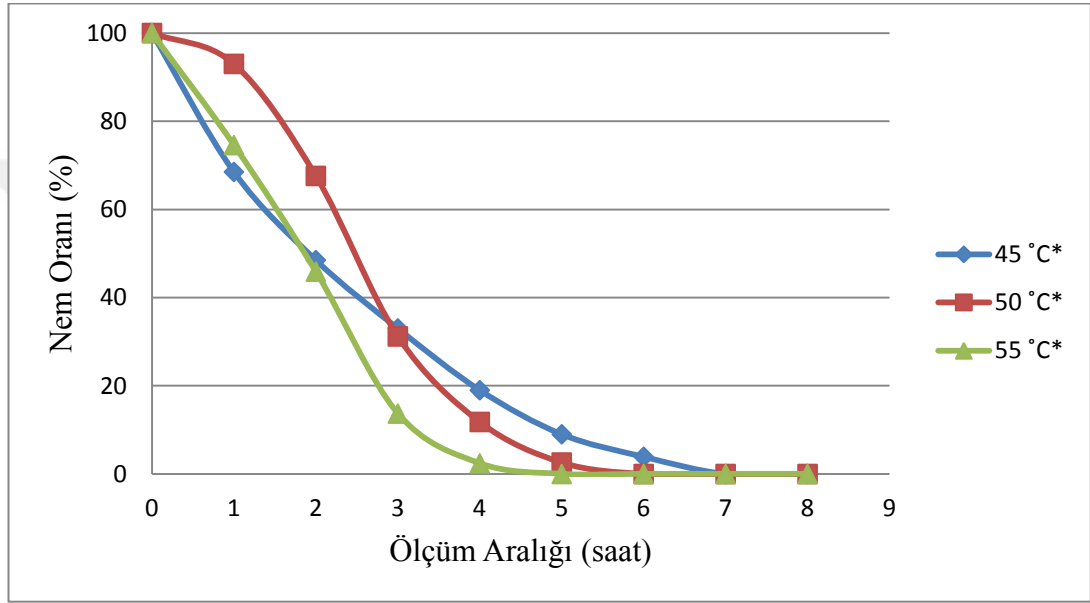
Zaman	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
0	100	100	100	100
1	69,1	45,4	22,4	23,2
2	47,4	20,3	3,26	1,8
3	27,7	7	0,9	0
4	7,2	1,9	0	0
5	2	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0

Çizelge 5.13. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylerin nem oranları (50 gr)

Zaman	45 °C	50 °C	55 °C
0	100	100	100
1	51,7	43	25,5
2	32,1	24,9	15,3
3	18,9	10,1	1,3
4	7,8	1,9	0
5	3,1	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

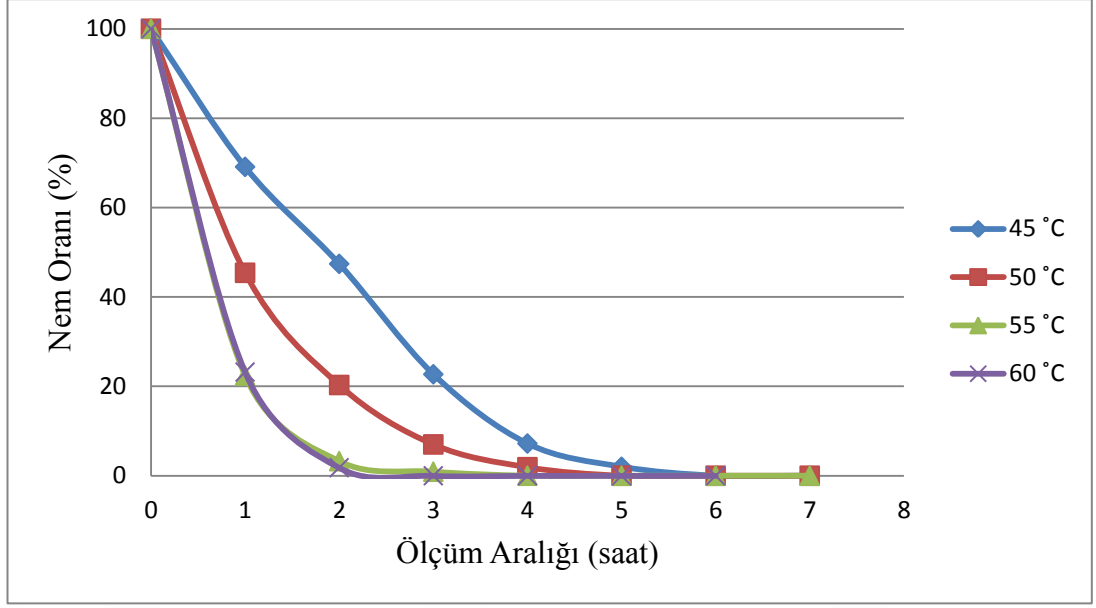
5.4. Kurutulan Reyhanların Belirli Zaman Aralıklarındaki Nem Oranı Grafikleri

Çizelge 5.11'in verileri kullanılarak Şekil 5.2' deki nem oranı zaman grafiği oluşturulmuştur. 45 °C, 50 °C ve 55 °C' ye ulaşıldığında sıcaklığın sabit tutulduğu deneylerde nem oranı istenilen değerlere sırasıyla 7, 6 ve 5 saatte ulaşmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi 50 ve 55 °C' ye ait kuruma eğrileri 45°C' deki kuruma eğrisine oranla daha fazla dalgalanma sergilemiştir.



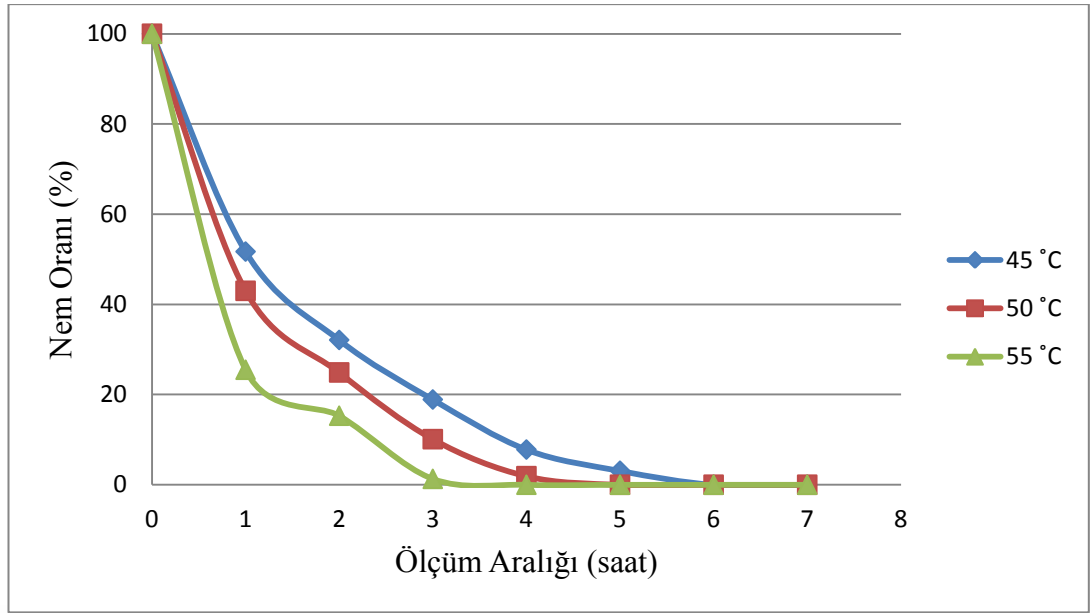
Şekil 5.2. Sıcaklığın zamanla sabit değere ulaştığı ve başlangıç kütlelerinin 21 gr olduğu deneylerin nem oranları

Çizelge 5.12'in verileri kullanılarak Şekil 5.3' deki nem oranı zaman grafiği oluşturulmuştur. 45 °C, 50 °C, 55 °C ve 60 °C' ye ulaşıldığında sıcaklığın sabit tutulup kurutulacak reyhan yapraklarının raflara yerleştirildiği deneylerde nem oranları istenilen değerlere sırasıyla 6, 5, 4 ve 3 saatte ulaşmıştır. Sıcaklığın başlangıçta sabit olmadığı deneylere kıyasla kuruma süreleri yaklaşık birer saat kısalmıştır. 55 °C ve 60 °C' ye ait kuruma eğrileri benzerlik göstermektedir. Kuruma başlangıçta hızlı gerçekleşmekteyken zamanla yavaşlamıştır.



Şekil 5.3. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu ve başlangıç kütlelerinin 21 gr olduğu deneylerin nem oranları

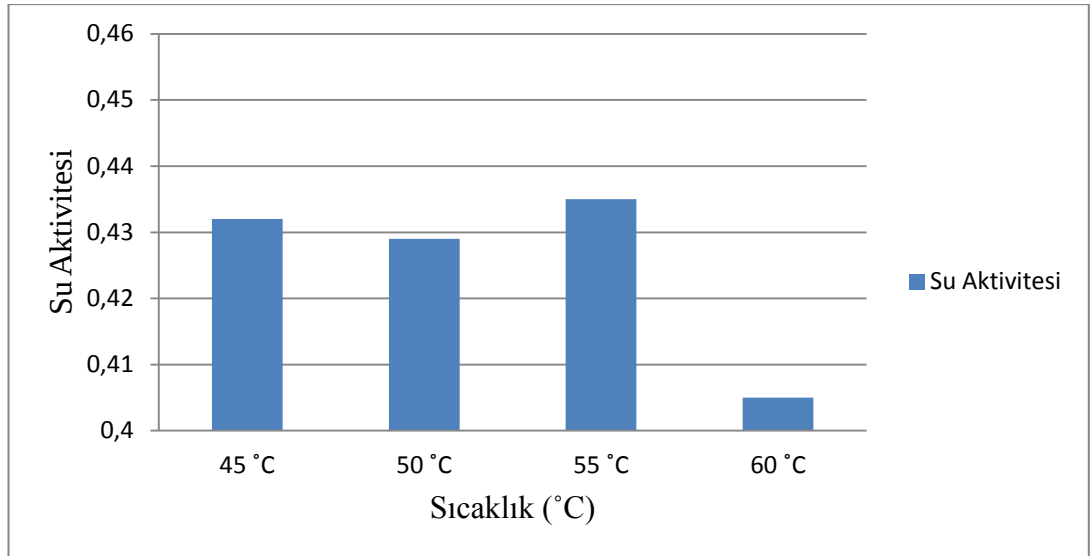
Çizelge 5.13'ün verileri kullanılarak Şekil 5.4' deki nem oranı zaman grafiği oluşturulmuştur. 45 °C, 50 °C ve 55 °C' ye ulaşıldığında sıcaklığın sabit tutularak ürünlerin fırına yerleştirildiği deneylerde nem oranı istenilen değerlere sırasıyla 6, 5 ve 4 saatte ulaşılmıştır. Süreler açısından kıyaslandığında, başlangıçta sıcaklıkların sabit tutulduğu fakat kütlelerin farklı olduğu deneylerden kütle artışının kuruma sürelerini etkilemediği gözlemlenmiştir. Nem oranları incelendiğinde kuruma hızının zamanla azaldığı gözlemlenmektedir.



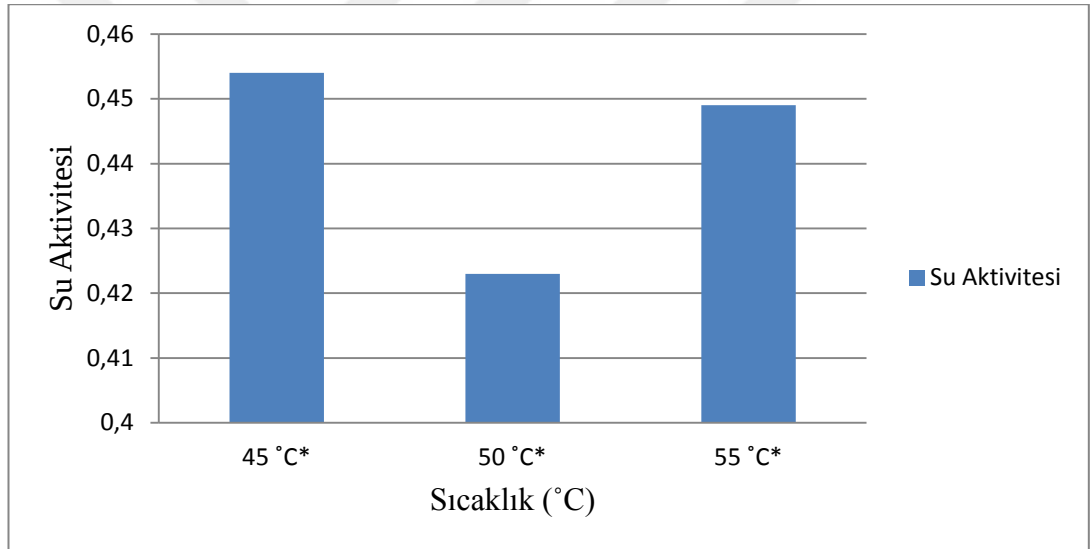
Şekil 5.4. Sıcaklığın başlangıçta sabit tutulduğu ve başlangıç kütlesinin 50 gr olduğu deneylerin nem oranları

5.5. Su Aktivitesi Tayini Sonuçları

Su aktivitesi, “gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır[51].” şeklinde ifade edilebilir. Su aktivitesi, gıdaların muhafazasında göz önünde bulundurulan bir değerdir. 0,6’nın altındaki su aktivitesi değerine sahip gıdalar mikrop ürememesi açısından güvenli kabul edilmektedir [52]. Mor reyhan tozlarının su aktivitesi değerleri 0,454’ün altında bulunmuştur. Reyhan tozlarının su aktivitesi değerleri, literatürde yer alan 0,6 değerinin altında bulunduğundan mikrobiyal açıdan güvenli kabul edilebilir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’ da, imal edilen kurutma fırınında farklı sıcaklıklarda kurutulan reyhan tozlarının su aktivitesi değerleri verilmiştir.



Şekil 5.5. Sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu deneylere ait su aktivitesi tayini sonuçları



Şekil 5.6. Sıcaklığın istenilen değere ulaştığında sabit tutulduğu deneylere ait su aktivitesi tayini sonuçları

Su aktivitesi değerleri incelendiğinde en yüksek su aktivitesi değerinin (0,454) 45 °C* de sıcaklığın başlangıçta sabit tutulmadığı reyhan tozlarına, en düşük su aktivitesi değerininse (0,405) 60 °C sabit sıcaklıkta kurutulan reyhan tozlarına ait olduğu gözlemlenmektedir.

Mor reyhan bitkisinin yapraklarının $-45\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 13,33 Pa mutlak basınçlı vakumlu dondurucuda 9 saat süreyle, ortalama $31,79\pm 1,91^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bağıl nemin $\%24,60\pm 3,04$ olduğu 10 saat süreyle güneşte kurutulduğu, tepsili kurutucuda 45, 50 ve 55 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hava hızı ile sırasıyla 6, 5 ve 4 saat süreyle,

mikrodalga fırında 350, 460 ve 600 W güçte ve sırasıyla 8, 6 ve 4,5 dakika süreyle kurutulduğu bir çalışmada su aktivitesi değerlerinin 0,120 ile 0,262 aralığında olduğu gözlemlenmiştir. 0,120 ile en düşük su aktivitesi değerine 600 W mikrodalga gücünde kurutulan numunelerin sahip olduğu, 0,262 su aktivitesi değerine güneşte kurutulan reyhan tozlarının sahip olduğu gözlemlenmiştir [3]. Ocimum basilicum L. bitkisinin 48 °C sıcak hava ile 11,5 saatte kurutulduğu, 2 kW, 1 kW, 0.5 kW mikrodalga gücü ile sırasıyla 12dk, 6dk ve 1 dk süreyle kurutulduğu bir çalışmada bitkinin su aktivitesi değerleri 0,340 ve 0,370 olarak bulunmuştur [33]. Bahsedilen çalışmaların su aktivitesi değerlerinin yapılan bu çalışmadaki reyhan tozlarının su aktivitesi değerlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılık, kurutma koşulu ve kurutma yönteminin aynı olmamasından, ürünün farklı özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

5.6. Renk Analizi Sonuçları

Renk analizi, kurutulan ürünlerin duyuusal anlamda kalitesini gösteren bir faktördür. Ürünlerin yaşken sahip oldukları rengi kurutulduğunda da koruması beklenir. Kurutulduktan sonra parlaklığını kaybeden ürünlerin ticari değeri önemli ölçüde düşmektedir. Çizelge 5.14' te renk analizi sırasında ölçülen değerler verilmiştir.

Taze reyhan yapraklarının ve farklı sıcaklıklarda kurutulan reyhanların L* değerlerinin 25,15 - 90,58 değerleri arasında, a* değerlerinin -0,49 – 5,49 değerleri arasında, b* değerlerinin ise -0,26 – 0,2 arasında değiştiği gözlenmektedir. Kurutulan reyhan tozlarının renk analizlerinde ciddi farklar görülmemektedir. Bu kurutma yönteminin aynı olup sadece kurutma sıcaklıklarının değişmesinden kaynaklanmaktadır.

L* değerleri incelendiğinde kurutulmuş ürünlerin değerleri arasında ciddi bir fark gözlenmemektedir. Taze reyhan yapraklarına kıyasla kurutulmuş ürünlerin parlaklık değerinin arttığı gözlemlenmektedir.

a* değerleri incelendiğinde taze reyhan yapraklarının kırmızılık değerinin 5,49 olduğu kurutulmuş reyhanlarınkinin ise -0,49 olduğu gözlenmektedir. Kurutulmuş ürünlerin kırmızılık değerinin negatif olması ürünlerin kurutuldukça renginin yeşile yaklaşması anlamına gelmektedir. Bunun bir diğer sebebi ise

deneylerin yapıldığı mevsimde hasat edilen reyhanlarının renklerinin havaların soğumasıyla mordan yeşilimsi bir renge dönüşmesidir.

b* değerleri incelendiğinde yaş reyhanların mavilikleri fazlayken kurutuldukça sarılıklarının arttığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.14. Renk analizinde ölçülen değerler

Kurutma Sıcaklıkları	L*(Parlaklık)	a*(Kırmızılık)	b*(Sarılık)
45 °C	90,55	-0,49	0,19
50 °C	90,55	-0,49	0,18
55 °C	90,57	-0,49	0,19
60 °C	90,55	-0,48	0,18
45 °C*	90,58	-0,49	0,20
50 °C*	90,57	-0,49	0,20
55 °C*	90,55	-0,49	0,17
Taze Reyhan	25,15	5,49	-0,26

Çizelge 5.15 incelendiğinde kroma değerlerinin 0,52 ile 5,49 arasında, Hue açısının 157,86 ile 357,26 arasında olduğu, kahverengilik değerinin -0,58 ile 14,08 arasında olduğu, toplam renk değişiminin 0 ile 65,70 arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.15. Renk analizinde hesaplanan değerler

Kurutma Sıcaklıkları	C* (Kroma)	H° (Hue açısı)	BI (Kahverengilik)	ΔE (Toplam renk değişimi)
45 °C	0,52	159,05	-0,58	65,67
50 °C	0,52	159,63	-0,58	65,67
55 °C	0,52	158,91	-0,59	65,69
60 °C	0,52	159,76	-0,58	65,67
45 °C*	0,52	157,86	-0,58	65,70
50 °C*	0,53	158,21	-0,58	65,69
55 °C*	0,52	160,59	-0,59	65,67
Taze Reyhan	5,49	357,26	14,08	-

Kurutulan reyhan yapraklarının kroma değerleri arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir. Canlı renklerde kroma değeri artarken donuk renklerde kroma değeri azalmaktadır. Kroma değerleri incelendiğinde kurutulan reyhan yapraklarının kroma değerlerinin taze reyhan yapraklarının kroma değerlerinden düşük olduğu gözlemlenmektedir. Kurutulan reyhanların canlılığını kaybedip renginin donuklaştığı gözlemlenmektedir.

Kurutulan reyhan yapraklarının Hue açısı değerleri 180° ye yakın bulunurken, taze reyhan yapraklarının Hue açısı değerlerinin 360 °'ye yakın olduğu bulunmuştur. Bu açısı değişimi kendine özgü mor renge sahip olan reyhan yapraklarının kurutma sonrası renginin mordan siyaha yaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

Güneş enerjisi destekli reyhan kurutma sisteminde kurutulan reyhanların kahverengilik değerlerinde fark görülmemektedir. Kahverengilik değerlerinin kurutma işlemiyle azaldığı gözlemlenmektedir.

Toplam renk değişimi değerleri arasında ciddi farklar görülmemektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, mor reyhan bitkisinin kurutulmasını sağlamak üzere güneş enerjisi destekli reyhan kurutma sistemi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmal edilen bu sistemde reyhan yapraklarının başarılı bir şekilde kurutulması sağlanmıştır. Fosil yakıt kullanılan birçok kurutma sistemi olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılacağı yeni bir sistemin oluşturulmaya çalışılmasının amacı, fosil yakıtlarının kullanımının azaltılmasına bir katkıda bulunmaktadır. Bu sistemin tasarlanması fikri, elektrik enerjisiyle havayı ısıtma prensibine dayanan fırında (konvektif) kurutma yönteminin yerine, yenilenebilir enerji olan güneş enerjisiyle havanın ısıtılarak ürünlerin kurutulması sonucunda istenilen değerleri sağlayıp sağlamayacağı sorusu üzerine ortaya çıkmıştır.

Kurutulmuş gıdaların raf ömrünü etkileyen faktörler arasında içerdikleri nem miktarı bulunmaktadır. Mikrobiyal gelişme nem miktarı arttıkça artmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin sahip oldukları %70 – 85 yüksek nem içeriğinden dolayı, raf ömrünün uzun olmasını sağlayabilmek için %10-15 son nem oranına düşürülmeleri gerektiği bildirilmiştir [54]. Yapılan bu tez çalışmasında kurutulmuş reyhanların son nem içerikleri % 15'in altına düşürülmüş ve başarılı bir kurutma sağlanmıştır.

Su aktivitesi, gıdaların muhafazasında göz önünde bulundurulacak bir değerdir. 0,6'nın altındaki su aktivitesi değerine sahip gıdalar mikrop ürememesi açısından güvenli kabul edilmektedir [52]. Ocimum basilicum L. bitkisinin vakum mikrodalga kurutma yöntemi ve 48 °C sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak kurutulduğu bir çalışmada su aktivitesi değerlerinin sırasıyla 0,340 ve 0,370 olarak bulunduğu gözlenmiştir [33]. Mor reyhan bitkisinin dondurarak kurutma, güneşte kurutma, tepsili kurutucuda kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulduğu bir çalışmada su aktivitesi değerlerinin 0,120 ile 0,262 arasında bulunduğu gözlemlenmiştir [3]. Yapılan bu tez çalışmasında ise en yüksek su aktivitesi değeri sıcaklığın zamanla sabit değere ulaştığı deneylerde 45 °C sıcaklıkta, 0,454 olarak bulunmuştur. En düşük su aktivitesi değeri ise sıcaklığın başlangıçtan itibaren sabit tutulduğu 60 °C sıcaklıkta, 0,405 olarak bulunmuştur. Su aktivitesi değerleri, literatürde belirtilen 0,6 değerinin altında bulunduğu için mikrop ürememesi açısından güvenli kabul edilebilir ve başarılı bir kurutma sağlanmıştır denebilir.

İmal edilen güneş enerjisi destekli reyhan kurutma sistemi ve literatürdeki reyhan kurutma yöntemlerinin kıyası için çalışmalarda kuruma süreleri incelenmiştir. Döner tamburlu kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde reyhan bitkisini kurutma işlemi sabit sıcaklıkta ortalama 39 saatte tamamlanırken, kademeli sıcaklıkta kurutma işleminin ortalama 25,5 saatte tamamlandığı gözlemlenmiştir [16]. Doğrudan değmeli kurutucuda kurutma işlemi kademeli ve dalgalı sıcaklıkta ortalama 25,5 saatte tamamlanırken, sabit sıcaklıkta kurutma işleminin ortalama 31,5 saatte tamamlandığı gözlemlenmiştir. Kurutma denemeleri sırasında 44 kWh ile 33,54 kWh enerji tüketimi olmuştur [17]. Etüvde kurutma işlemi 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiş, kuruma süreleri sırasıyla 52, 50 ve 34 saat olarak bulunmuştur [15]. Mikrodalga kurutmada reyhan bitkilerinin 280 W ve 595 W güç seviyelerinde 9 ve 22 dakikada kuruduğu gözlemlenmiştir [15]. Başka bir çalışmada reyhan yapraklarının 360 W, 460 W, 480 W mikrodalga güç seviyelerinde sırasıyla 6; 8; 4,5 dakikada kuruduğu gözlemlenmiştir [3]. Bir başka çalışmada vakum mikrodalga kurutma yöntemiyle reyhanın 3,2 kW, 1 kW, 0,5 kW mikrodalga güç seviyelerinde 12, 6, 1 dakika sürelerde kurutulduğu gözlemlenmiş ve son nem içeriklerinin %7,1 olduğu görülmüştür [33]. Gölgede kuruma yönteminde reyhan bitkisinin %27,69 son nem oranıyla 58 saatte kuruduğu gözlemlenmiştir [15]. Reyhanın ortalama 29 °C sıcaklık %38 bağıl neme sahip bir ortamda 15 gün sonunda nem oranının %9,4 olduğu gözlemlenmiştir [26]. Güneşte kurutmada reyhanın 58 saatte 15,23 son nem oranına ulaştığı gözlemlenmiştir [15]. Başka bir çalışmada güneşte kurutulan reyhanların 10 saatte kuruduğu gözlemlenmiştir [3]. Ortalama sıcaklığın 30-35 °C olduğu bir ortamda 28 saatte % 23,79 son nem içeriğine ulaşıldığı gözlemlenmiştir [23]. Reyhanın dondurarak kurutma yöntemiyle 0,005 bar basınç, -20 °C sıcaklıkta 4 günde kurutulduğu gözlemlenmiştir [29]. CO₂ kurutma yöntemiyle reyhan bitkisinin 40 °C sıcaklık, 80 ve 100 bar basınç değerlerinde 2, 3, 4 saatte kuruduğu gözlemlenmiştir [29]. Havalı kolektörler yardımıyla yapılan kurutmada reyhanın kurumasının 0,012 kg/s, 0,026 kg/s ve 0,033 kg/s debideki havalarda sırasıyla 480, 390 ve 300 dakikada gerçekleştiği gözlemlenmiştir [18]. Fırında (Konvektif) kurutma yöntemiyle kurutmada mor reyhan yaprakları 45, 50 ve 55 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hava hızı ile sırasıyla 6, 5 ve 4 saat sürede kurutulmuştur. Konvektif kurutucuda sıcaklık arttırıldığı zaman kuruma süresinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir [3]. Bir diğer çalışmada reyhanlar 45 °C’ de 12 saatte kurutulmuştur [28]. Tasarlanıp imal edilen konvektif bir kurutucuda yeşil renkli

reyhan bitkisinin 40, 50 ve 60 °C’ de kurutulması sağlanmış ve yapısal değişiklikler araştırılmıştır [30]. Taze reyhan yapraklarının 45 °C’ de 15 saatte kurutularak %9’ luk son nem içeriğine kavuştuğu gözlemlenmiştir [26]. 50 °C sıcaklıkta kurutulan reyhan bitkilerinin 15 saat sonunda %17,31’lik son nem içeriğine ulaştığı gözlemlenmiştir [23]. Yapılan bu tez çalışmasında ise kurutma makinesinin içerisine kurutulacak reyhanlar yerleştirildikten sonra güneşe konulup 45 °C, 50 °C ve 55 °C değerlerine geldiğinde sıcaklıkların sabit tutularak kurumanın gözlemlendiği deneylerde bitkinin 7, 6 ve 5 saatte kuruduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 45 °C, 50 °C, 55 °C ve 60 °C değerlerine ulaştıktan sonra reyhanların makine içerisine konularak kurutulması sağlanmış ve kuruma sürelerinin sırasıyla 6, 5, 4 ve 3 saat olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın başlangıçta sabit tutulup kütlenin artırıldığı deneylerde ise 45 °C, 50 °C ve 55 °C’ de kurumanın sırasıyla 6, 5 ve 4 saatte gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İmalatı gerçekleştirilen kurutma sisteminde sıcaklığın artırılmasıyla kuruma sürelerinde önemli ölçüde düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda kütle artışının kuruma süresinde değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Bulunan kuruma sürelerinin mor reyhan yapraklarının fırında kurutulmasıyla gerçekleştirilen deneylerle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin başarılı bir kurutma sağladığı sonucu çıkarılmıştır.

Mikrodalga gücünün renk değişimi kinetiğine ve örnek miktarına etkisinin incelendiği bir çalışmada yeşil renkli *Ocimum basilicum* L. bitkisi 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Kurutma sonucu reyhanların L* değerlerinin 24-32, a* değerlerinin -9- (-3), b* değerlerinin 7-11, ΔE değerlerinin 5-15, C* değerlerinin 8-16, hue açısı değerlerinin 110-125, ve BI değerlerinin 30-40 arasında bulunduğu belirtilmiştir [27]. Yeni tip doğrudan değmeli kurutucuda yeşil reyhanlar kurutulmuş, taze ve kurutulmuş reyhanların renk değerleri belirlenmiştir. Taze ve kurutulmuş reyhanların sırasıyla L* değerlerinin 45,94; 30,24, a* değerlerinin 14,04; 0,01, b* değerinin 26,37; 14,86, ΔE değerlerinin 0,00; 24,27, kroma değerlerinin 29,89; 14,89, hue açısı değerlerinin 118,06; 89,17 ve BI değerlerinin 53,44; 65,67 olduğu gözlemlenmiştir [17]. Yeşil renkli *Ocimum basilicum* L. bitkisinin sıcak hava ve vakum mikrodalga yöntemiyle kurutulduğu bir çalışma incelenmiştir ve sıcak hava ile kurutulan örneklerle vakum mikrodalgada kurutulan örneklerin sırasıyla L* değerlerinin 35,43; 28,70, a* değerlerinin -6,55; -

1,06, b^* değerlerinin 10,52; 9,89 olduğu belirtilmiştir [33]. Bir başka tez çalışmasında yeşil renkli reyhan bitkisi 45°C’ de, tasarlanan doğrudan değmeli kurutucuda, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıkta etüvde, 280 W ve 595 W mikrodalga gücüne sahip mikrodalga kurutucuda, güneşte ve gölgede kurutulmuştur. L^* değerlerinin 28,03 – 48,60 arasında, a^* değerlerinin -15,82 – 1,44 arasında, b^* değerlerinin 13,75 – 28,39 arasında bulunduğu gözlemlenmiştir [15]. Bir diğer çalışmada Arapgir mor reyhan yaprakları, dondurarak kurutma, 350 W, 460 W, ve 600 W mikrodalga güçlerinde mikrodalgada kurutma, güneşte kurutma, 45 °C, 50 °C ve 55 °C sıcaklıklarda tepsili kurutucuda kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Taze reyhan yapraklarının ve kurutulmuş reyhan tozlarının L^* değerlerinin 21,50 – 26,80 arasında, a^* değerlerinin 2,71 – 5,49 arasında b^* değerlerinin -0,26 – 5,17 arasında ΔE değerlerinin 0,00 – 6,03 arasında, H° değerlerinin 19,10 – 357,26 arasında, C^* değerlerinin 2,87 – 6,25 arasında ve BI değerlerinin 14,08 – 30,62 arasında değiştiği görülmüştür [3]. Ocimum basilicum L. bitkisi, döner tamburlu bir kurutucuda farklı kurutma şartlarında kurutulmuştur. Sabit sıcaklıkta, kademeli sıcaklıkta, dalgalı sıcaklıkta ve azalan hava debisinde kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yaş ve kurutulmuş reyhanların renk analizleri sonucunda L^* değerlerinin 27,33 – 53,07 arasında, a^* değerlerinin -15,51 – 2,57 arasında, b^* değerlerinin 12,77 – 29,02 arasında, C^* değerlerinin 12,78 – 31,68 arasında, H° değerlerinin -71,62 – 89,01 arasında, ΔE değerlerinin 0 – 28,4 arasında, BI değerlerinin 38,21 – 73,36 arasında değiştiği görülmüştür [16]. Yapılan bu tez çalışmasında ise taze reyhan yapraklarının ve farklı sıcaklıklarda kurutulan reyhan yapraklarının L^* değerlerinin 25,15 – 90,58 arasında, a^* değerlerinin -0,49 – 5,49 arasında, b^* değerlerinin -0,26 – 0,2 arasında, C^* değerlerinin 0,52 – 5,49 arasında, H° değerlerinin 157,86 – 357,26 arasında, ΔE değerlerinin 0 – 65,70 arasında, BI değerlerinin -0,58 – 14,08 arasında olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda, yeşil veya mor renge sahip Ocimum basilicum L. çeşitlerinin bulunması, bitkinin farklı yöntemler kullanılarak ve farklı sıcaklıklarda kurutulması sebebiyle renk analizi sonuçları birbirinden farklı bulunmuştur.

İmal edilen reyhan kurutma sisteminde reyhan bitkisi kurutularak nem tayini, su aktivitesi tayini, renk analizi gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda imalatı gerçekleştirilen bu sistemin başarılı bir şekilde reyhanın kurutulmasına olanak sağladığı görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- [1] Koca, T., Polat, M. N., Reyhan Kurutma Yöntemleri ve Karşılaştırma, International Conference On Engineering & Natural Sciences-4 (ISPEC), Aralık 18-20,(2019), Ankara, 106-112.
- [2] Ratti, C., *Hot-air and Frezee-drying of High Value Foods: A Review*, **Journal of Food Engineering**, 49 (2001) 311-319.
- [3] Altay, K. *Farklı Yöntemlerle Kurutulan Arapgir Mor Reyhanının (Ocimum Basilicum) Kuruma Davranışlarının İncelenmesi Ve Kuru Ürünün Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2019.
- [4] Aktaş, M., Şevik, S.,Doğan, H., Öztürk, M., *Fotovoltaik ve Termal Güneş Enerjili Sürekli Bir Kurutucuda Domates Kurutulması*. **Tarım Bilimleri Dergisi**, 18 (2012) 287-298.
- [5] Dina,S. F., Ambarita , H., Napitupulu, F. H., Kawai, H., *Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans*, **Case Studies in Thermal Engineering**, 5 (2015) 32-40.
- [6] Aktaş, M., Gönen, E., *Isı Pompalı Nem Kontrollü Bir Kurutucuda Defne Yaprığı Kurutulması*, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 29/2 (2014) 433-441.
- [7] Akman,H., Çerçi,K. N., Hürdoğan, E., Büyükalaca, O., *Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi*, **OKÜ Fen Bil. Enst. Dergisi**, 1:1 (2018) 1-9.
- [8] Baysala, T., Özbalta, N., Gökbulut, S., Çapar, B., Taştan, Ö., Gürlek, G., *Investigation of effects of various drying methods on the quality characteristics of apple slices and energy efficiency*, **Journal of Thermal Science & Technology**, 35 (2015) 135-144.
- [9] Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., *Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması*, **Politeknik Dergisi**, 9:4 (2006) 289-294.

- [10] Aktaş, M., *Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının DeneySEL İncelenmesi*, **Politeknik Dergisi**, 13:1 (2010) 1-6.
- [11] Aktaş, M., Kara, M. Ç., *Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması*, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 28:4 (2013) 733-741.
- [12] Çakır, M. T., *Güneş Enerjisinden Yararlanarak Tarım Ürünlerinin Kurutulması*, **Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 1:1 (2015) 41-56
- [13] Yılmaz, T., *Üzüm Kurutma İşlemi İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı*. **CBÜ Fen Bil. Dergisi**, 13: 2 (2017) 537-544
- [14] Romero, V.M., Cerezo, E., Garcia, M.I., Sanchez, M.H., *Simulation and validation of vanilla drying process in an indirect solar dryer prototype using CFD Fluent program*. **Energy Procedia**, 57 (2014) 1651 – 1658
- [15] Polatçı H., *Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (Ocimum Basilicum) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi*. Y. Lisans Tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 2008.
- [16] Korucu B., *Yeni Tip Döner Tamburlu Kurutucunun Geliştirilmesi ve Reyhan (Ocimum Basilicum L.) Bitkisi Kurutma Performansının Belirlenmesi*, Y. Lisans Tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 2009.
- [17] İnan E., *Yeni Tip Doğrudan Değmeli Kurutucunun Geliştirilmesi ve Reyhan (Ocimum Basilicum L.) Bitkisini Kurutma Performansının Belirlenmesi*, Y. Lisans Tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 2010.
- [18] Gülçimen F., *Yeni Tasarlanan Havalı Kolektörler Yardımı ile Reyhan ve Nane Kurutulması*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2008.
- [19] Çakmak G. (2007). *Çekirdekli Üzüm Kurutmada Güneş Enerjisi Destekli Dönel Akışlı Kurutucu Tasarımı*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [20] Atalay H., *Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sisteminde Elma Kurutulmasının İncelenmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

- [21] Sarsılmaz C., *Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1998.
- [22] Cesare L.F., Forni E., Viscardi D. and Nani R.C., *Changes In The Chemical Composition Of Basil Caused By Different Drying Procedures*, **Agric, Food Chem.** 51 (2003) 3575-3581.
- [23] Özcan, M., Arslan, D., Ünver, A., *Effect Of Drying Methods On The Mineral Content Of Basil (Ocimum Basilicum L.)*, **Journal Of Food Engineering**, 69 (2005) 375- 379.
- [24] Akpınar, E.K., *Mathematical Modelling Of Thin Layer Drying Process Under Open Sun Of Some Aromatic Plants*, **Journal Of Food Engineering**, 77 (2006) 864-870.
- [25] Müller, J., *Convective Drying Of Medicinal, Aromatic And Spice Plants: A Review*, Hohenheim Üniversitesi, Germany, 2007.
- [26] Diaz-Maroto MC, Sánchez Palomo E, Castro L, Viñas G, Pérez-Coello MS., *Changes produced in the aroma compounds and structural integrity of basil (Ocimum basilicum L) during drying*, **J Sci Food Agric**, 84 :15 (2004) 2070–2076.
- [27] Demirhan E., Özbek B., *Microwave-drying characteristics of basil*, **J Food Process Preserv**, 34 (2010) 476–494.
- [28] Baritau, O., Richard, H., Touche, J. and Derbesy, M., *Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil. Part I. Basil, Ocimum basilicum L.*, **Flavour and Fragrance Journal**, 7 (1992) 267–271.
- [29] Bušić, A., Vojvodić, A., Komes, D., Akkermans, C., Belščak-Cvitanović, A., Stolk, M. and Hofland, G., *Comparative evaluation of CO₂ drying as an alternative drying technique of basil (Ocimum basilicum L.)—The effect on bioactive and sensory properties*. **Food Research International**, 64 (2014) 34–42 pp.
- [30] Calín-Sánchez, A., Lech, K., Szumny, A., Figiel, A. and Carbonell-Barrachina, A.A., *Volatile composition of sweet basil essential oil (Ocimum basilicum L.)*

- as affected by drying method. **Food Research International**, 48 (2012) 217-225 pp.
- [31] Hassanpouraghdam, M.B., Hassani, A., Vojodi Mehrabani, L. and Farsad, N., *Drying methods affects essential oil content and composition of basil (Ocimum basilicum L.)*, **Journal of Esserntial Oil Bearing Plants**, 13:6 (2010) 759-766 pp.
- [32] Tarakemeh, A. and Aboutalebi, A., *Effect of drying method on the essential oil quantity of basil (Ocimum basilicum L.)*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, 15:3 (2012) 503- 505 pp.
- [33] Yousif, A. L., Scaman, C. H., Durance, T. D. and Girard, B., *Flavor volatiles and physical properties of vacuum-microwave and airdried sweet basil (Ocimum basilicum L.)*, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47 (1999) 4777–4781.
- [34] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Meyveleri%20Kurutma.pdf, Ankara, 2011.
- [35] Uyarel, A.Y., Öz, E.S. (1987), *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Emel Matbaacılık, Ankara.
- [36] Olgun, N., *Güneş Enerjisi ile Sebze ve Meyve Kurutma Teknikleri*, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1989.
- [37] Çay, V., Koçyiğit, F., Akyüz, M.K., Koçyiğit, Ş., *Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemleri Ve Tarımda Kullanımı*, International Engineering Conference (IEC2017), Ekim 2017.
- [38] Olgun, H., Rzaev, P., *Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması*, **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 24 (2000) 1-14.
- [39] Karakaya, H., *Güneş Enerjisi Destekli Doğal Taşınım Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi*, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2017.

- [40] Aktaş, C., *Patlıcanın Kurutma Ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi*, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [41] Aktaş, M., *Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı Ve Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [42] Bingöl, G., *The Effects Of Different Pretreatments On Drying Rate And Color Kinetics Of Convective And Microwave Assisted Convective Drying Of Thompson Seedless Grapes*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [43] Fellows, P. (2000). *Dehydration, in Food Processing Technology: Principles and Practice*. Second Edition, Midway Technology Limited, Cambridge, United Kingdom.
- [44] Gürses, Ö. L. (1986). *Gıda İşleme Mühendisliği-II*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- [45] Kurtuluş, O., *Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi*, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [46] Ermişler, A., *Altın Otu (Helichrysum arenarium) ve Fesleğen (Ocimum basilicum) Bitkilerinin Sinek Kovucu (repellent) Özelliklerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [47] Günay, E. ve Telci, İ., *Isparta ekolojik koşullarında bazı reyhan (Ocimum basilicum L.) genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi*, **Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 12:2 (2017) 100-109.
- [48] Baydar, H. (2013). *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi*. (Genişletilmiş 4. Baskı), Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No: 51 (ISBN: 975-7929-79-4).
- [49] Aslan-Öz, M.N., *Balıkesir Yöresinde Doğal Olarak Yetişen Biberiye ve Fesleğen Bitkilerine Ait Uçucu Yağların Antioksidan ve Antimikotik*

Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2017.

- [50] Kulan, E.G., *Eskişehir Koşullarında Yetiştirilen Reyhan (Ocimum basilicum L.) Bitkisinin Bazı Bitkisel Özelliklerin ve Diurnal Varyabilitesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2013.
- [51] Anonim.(2019).
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/15137/mod_resource/content/0/DERS-12.pdf (Erişim: 11 Kasım 2019)
- [52] Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P., *The physicochemical properties of spraydried watermelon powder*, **Chemical Engineering and Processing**, 46 (2007) 386–392.
- [53] McGuire, R.G., *Reporting of objective color measurements*, **HortScience**, 27 (1992) 1254-1255.
- [54] Polatçı, H. ve Tarhan, S., *Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (Ocimum basilicum) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi*, **Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 26:1 (2009) 61-70s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Merve Nur Polat

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya 10/03/1993

E-Posta: mervenuratar@gmail.com

Lisans: İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü (2011-2015)

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi (2017-)

Yayın Listesi: Tarkan Koca, **Merve Nur Polat**, “Reyhan Kurutma Yöntemleri ve Karşılaştırma”, International Conference On Engineering & Natural Sciences-4 (ISPEC), 2019/ Ankara, 106-112 (Tam Metin Bildiri / Sözlü Sunum).