

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ MİKRODALGA
BANTLI KURUTUCUDA TURPUN KURUTMA
KİNETİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE
MODELLEMESİ**

Mehmet Akif KARATAŞER
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

2017

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ MİKRODALGA BANTLI
KURUTUCUDA TURPUN KURUTMA KİNETİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE MODELLEMESİ**

MEHMET AKİF KARATAŞER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

TEKİRDAĞ-2017

Her hakkı saklıdır

Bu tez NKÜBAP tarafından NKÜBAP.06.YL.16.071 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN danışmanlığında, Mehmet Akif KARATAŞER tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Destekli Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Turpun Kurutma Kinetiklerinin Araştırılması Ve Modellemesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Kamil KAHVECİ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Uğur AKYOL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN (Danışman)

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA TURPUN KURUTMA KİNETİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE MODELLEMESİ

Mehmet Akif KARATAŞER

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

Bu çalışmada güneş enerjisi ile ısıtılan havanın laboratuvar tipi bantlı mikrodalga kurutucu içerisine üflendiği bir sistemde 4 mm, 6 mm, ve 8 mm kalınlıklarındaki karaturp dilimlerinin kurutma işlemindeki kuruma davranışları incelenmiştir. Değişik mikrodalga güçlerinin (700 W, 1000 W ve 1400 W) kuruma süresi, renk değişikliği ve elektrik sarfıyatı değerleri üzerinde sebep olduğu değişiklikler incelenmiştir. Ürünlerin, kurutmanın belirli aşamalarındaki içerdikleri nemi tespit etmek için Newton, Page, Henderson ve Pabis, Wang ve Singh, Two term exponential, Logarithmic, Logistic, Midilli et al., Two term ve Verma et al. kuruma modelleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar, deneysel olarak elde edilen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (R^2), tahmini standart hatası (e_s) ve kalanların kareleri toplamına (χ^2) göre incelenmiştir. İnceleme sonucu elde edilen verilere göre 4 mm ve 8 mm dilim kalınlıkları için Two term exponential ve 6 mm dilim kalınlığı için Logistic modellerinin , ürünlerin kuruma davranışını diğer modellerden daha iyi açıkladığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: mikrodalga kurutma, güneş enerjisi, kara turp, kuruma modelleri

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION AND MODELING OF RADISH DRYING KINETICS IN A SOLAR
ENERGY ASSISTED MICROWAVE BAND DRYER

Mehmet Akif KARATAŞER

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

In this study, drying behavior of radish slices of 4 mm, 6 mm, and 8 mm thickness in a system in which air heated by solar energy is blown into a banded microwave dryer is investigated. Changes in the microwave power (700 W, 1000 W and 1400 W) caused by drying time, color change and electricity consumption values were examined. In order to determine the contains moisture of the products at certain stages of the drying, were calculated drying models as Newton, Page, Henderson and Pabis, Two term exponential, Logarithmic, Logistic, Midilli et al., Two term, Verma et al., Wang and Singh. The results obtained from the models are investigated experimentally based on estimated coefficient values (R^2), estimated standard error (e_s) and sum of squares of residuals (χ^2) between the estimated moisture ratios. Logistic models for two term exponential and 6 mm slice thicknesses for 4 mm and 8 mm slice thicknesses were found to explain the drying behavior of the products better than the other models according to the results obtained.

Keywords: microwave, collector, drying, zucchini, drying models

2017, 52 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
SİMGELER DİZİNİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
1.GİRİŞ	1
1.1.Kurutma	2
1.1.1.Kurutmanın fiziği	3
1.1.2.Kurutucu tipleri	3
1.2.Mikrodalga Teknolojisi	5
1.2.1.Mikrodalga ısıtma mekaniği	6
1.2.2.Mikrodalga fırın.....	6
1.2.3.Magnetron (Mikro dalga üretici)	7
1.2.4.Gıdaların dielektrik ısıtmasına etki eden etmenler	8
1.2.4.1.Frekans	8
1.2.4.2.Su içeriği.....	8
1.2.4.3.Yoğunluk	9
1.2.4.4.Sıcaklık	9
1.2.4.5.Fiziksel geometri	9
1.2.5. Mikrodalga ile ısıtmanın avantaj ve dezavantajları.....	9
1.2.5.1. Mikrodalga ile kurutmanın avantajları	9
1.2.5.2. Mikrodalga ile kurutmanın dezavantajları.....	9
1.3.Güneş Enerjisi ile Kurutma	10
1.3.1.Sera tipi güneş enerjili kurutucu.....	10
1.3.2.Güneş enerjili kolektörlü kurutucular	10
1.4.Turp.....	11
2.KAYNAK ÖZETLERİ	13
3.MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1.Materyal	19
3.1.1.Turp	19
3.1.2.Güneş enerjili bantlı mikrodalga kurutucu	19
3.1.3.Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri.....	20
3.2.Yöntem	20
3.2.1.Ürün neminin belirlenmesi	21
3.2.2. Renk tayini.....	22
3.2.3. Uygun modelin tespiti	23

3.3.Kollektör Verimliliği	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.ARAŞTIRMA BULGULARI	26
4.1. Kurutma Davranışları	26
4.2. Renk Parametreleri Sonuçları.....	38
4.3. Enerji Tüketim Değerleri.....	40
4.4. Kuruma Davranışlarının Modellenmesi ve Uygun Model Seçimi	41
4.5.Kollektör Verimi	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
6. KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye’de turp üretiminin yıllara göre dağılımı ve üretim miktarları Turp Çeşitleri	12
Çizelge 3.1. Kurutma modelleri	23
Çizelge 4.1. 4mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	27
Çizelge 4.2. 6mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	28
Çizelge 4.3. 8mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	29
Çizelge 4.4. 4 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	30
Çizelge 4.5. 6 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	31
Çizelge 4.6. 8 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	32
Çizelge 4.7. 4mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	33
Çizelge 4.8. 6mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	34
Çizelge 4.9. 8mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları.....	35
Çizelge 4.10. Renk parametreleri sonuçları	38
Çizelge 4.11. Enerji tüketim değerleri.....	40
Çizelge 4.12. 4mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	41
Çizelge 4.13. 6mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	43
Çizelge 4.14. 8mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları	45

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum.....	5
Şekil 1.2. Mikrodalga fırın magnetronu	7
Şekil 1.3. Magnetronun iç yapısı.....	8
Şekil 3.1. Güneş enerjisi destekli konveyörlü mikrodalga kurutucu.....	19
Şekil 3.2. CIE L*,a*,b* renk uzayı.....	23
Şekil 4.1. 4 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.....	36
Şekil 4.2. 6 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.....	36
Şekil 4.3. 8 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.....	37
Şekil 4.4 Güneş kolektörü merkez noktası (merkez), güneş kolektörü çıkış (çıkış) ve tünele girişteki kurutma (kurutma) sıcaklıklarının zamanla değişimi	37
Şekil 4.5. 4 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Two term exponential modeline bağlı kuruma eğrileri.....	42
Şekil 4.6. 6 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Logistic modeline bağlı kuruma eğrileri	44
Şekil 4.7. 8 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Logistic modeline bağlı kuruma eğrileri	46

SİMGELER DİZİNİ

α	: Renk tonu ölçüsü
C	: Renk yoğunluğu ölçüsü
E	: Elektrik alan vektörü
e_s	: Standart hata
L^*, a^*, b^*	: Renk uzayı koordinatları
m	: Nem içeriği, (kg nem/kg kuru madde)
m_0	: İlk hem içeriği
m_a	: Kütle, (kg)
m_e	: Denge nem içeriği
m_k	: Kuru ürün kütlesi (g)
mr	: Boyutsuz nem oranı
mr_{den}	: Deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranı,
mr_{tah}	: Uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranı,
m_s	: Yaş ürün kütlesi (g)
m_y	: Yaş baza göre nem içeriği
n_o	: Gözlem sayısı,
n_c	: Kurutma modelindeki sabitlerin sayısı,
r	: Korelasyon katsayısı
T	: Sıcaklık, ($^{\circ}C$)
t	: Zaman, (s),
V	: Hız, (m/s)
$y.b$: Yaş baza göre nem
W	: Mikrodalga gücü (W)
ΔE	: Toplam renk sapması
ΔL	: Renk parlaklığı sapması
Δa	: Kırmızı renk sapması
Δb	: Sarı renk sapması
ρ	: Nemli havanın yoğunluğu, (kg/m^3)
χ^2	: Ki kare
$a, a_o, a_1, a_2, b, c, g, k, k_1, k_2, n$: Kurutma Sabitleri
η	: Havalı güneş kolektörünün anlık ısıl verimi
I	: Kollektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı
I_0	: Güneş sabiti
T_g	: Havanın kollektöre giriş sıcaklığı
T_{ϕ}	: Havanın kollektörden çıkış sıcaklığı
A_k	: Kollektörün yüzey alanı
\dot{m}	: Kollektörden geçen havanın kütleli debisi
C_p	: Havanın özgül ısısı
A_{ϕ}	: Havanın Kollektör çıkış kesit alanı

TEŞEKKÜR

Yapmıő olduğum çalışmalar sũresince desteğini her an hissettiğim saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN'e, Namık Kemal Őniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve her zaman yanımda olan sevgili eőime teőekkũrlerimi sunarım.

Haziran 2017

Mehmet Akif KARATAŞER
(Makine Mũhendisi)

1.GİRİŞ

Tarımsal ürünleri kurutmamızın birçok amacı vardır. Bunların en önemlisi kurutma işlemi ile nemi, mikrobiyal oluşumu ve diğer reaksiyonların gerçekleşebileceği sınır değerlerin altına çekerek depolama süresince meydana gelebilecek bozulmaların önüne geçmektir. Diğer amaçlarımızdan bazıları ise tat, koku ve besin değerlerini korumak, kuruyan ürünün hacminin azalması ile hem depolamada hem de taşıma işlemlerinde verimi arttırmaktır (Karaaslan 2008).

Ülkelerin tarımsal gelişimi ve ekonomisinde büyük öneme sahip olan kuru ve kurutulacak tarım ürünlerinin, uluslar arası pazarlardaki yeri de oldukça önemlidir. Bu durum göz önüne alındığında mevcut pazarların kaybedilmemesi ve yeni pazarlar bulunabilmesi için; kaliteli, ekonomik, homojen ve hijyenik koşullarda kurutma sektörünün geliştirilmesine gerekli önemin verilmesi gerekir (Çelen 2010).

Tarım ürünlerinin güneş ışığı altında kurutulması çok eski zamanlara kadar uzanmaktadır. Fakat bu yöntemle kurutma kontrolsüz olup hijyenik bir ortam sağlanamadığı gibi homojen bir kurutma da sağlanamayarak sürekli takip edilmesi gereken, uzun zahmetli bir süreçten oluşmaktadır. Geleneksel kurutma sistemlerinde ise enerji maliyetleri yüksek, verim düşüktür. Ayrıca bahsedilen kurutma yöntemlerinde ısı ürünün dışından içine doğru nüfuz etmesi sebebi ile kuruma süreleri oldukça uzundur.

Gıda ürünlerinin kurutularak saklanması çok eski çağlardan beri yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Eskiden güneş ışığı ile yapılan kurutma hala devam etmekte olup endüstriyel tarım ürünlerinde ise mikrodalga enerjisi veya sıcak hava akımı gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır (Kuş 2016).

Günümüzde endüstriyel uygulamaların çoğunda yüksek ve çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kendine yer bulmaktadır. Elektromanyetik enerji kullanan sistemlerin en uygun şartlarda klasik enerji kullanan sistemlerden daha verimli çalışarak, herhangi bir tavizde bulunmadan enerji ve zamandan tasarruf edilebilmesine olanak sağlaması, tercih edilmesine neden olan birçok özelliğinden sadece bir tanesidir.

Mikrodalga enerjisinin suyu ısıtma etkisinin ortaya çıkmasından sonra kurutma, pişirme ve ısıtma gibi kullanılabilceği alanlar üzerine araştırmalara başlanmıştır. Teknolojik gelişmeleri takiben mikrodalga enerjisi ile yapılan uygulamaların gıdalar üzerindeki etkisi de incelenerek gıda maddelerinin kurutulması yönünde çalışmalar başlamıştır. Mikrodalga ile yapılan kurutma işleminde mikrodalga enerjisine çevrilen elektrik enerjisinin neredeyse

tamamı içinde su barındıran gıda maddesine yönlendirilebilirken, geleneksel kurutma yöntemlerinde kullanılan enerjinin bir kısmı kurutulan ortamı ya da kurutulacak gıdanın içinde bulunduğu kabı ısıtmak için harcanmaktadır, yani harcanan enerjinin tamamı kurutma için kullanılamamakta büyük kayıplar yaşanmaktadır. Ayrıca mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma işleminde geleneksel kurutma işleminden farklı olarak ısı maddenin içine doğrudan nüfuz etmektedir. Bu sebep ile mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma işlemi daha verimli ve daha homojen gerçekleşirken aynı zamanda daha hızlı olacaktır ve daha kısa zamanda sonuçlanacaktır (Kuş 2016).

Hazırlanan bu tezde amaç güneş enerjisi ile ısıtılan havanın mikrodalga bantlı kurutucu içerisine iletiildiği kombine bir sistemde turp dilimlerini kurutmak, kurutma işlemi esnasında seçilen kurutma sisteminin ürünün kalitesi üzerine olan etkisini araştırmak ve bu etki sonucu ürünün kalitesi hakkında bilgi veren renk, nem ve ağırlık parametrelerinin değişimleri incelenerek temel bir bilgiye sahip olmaktır. Yapılan kurutma işlemlerinde elde edilen veriler farklı kurutma modellerinde karşılaştırmalara tabi tutulacak ve en uygun olan model ile kıyaslanacaktır.

1.1. Kurutma

Ülkemizde yetiştirilen sebze ve meyvelerin büyük bir kısmı depolanmaktadır. Meyve ve sebzeler yetiştirildikleri mevsimler dışında ve hiç üretimi yapılmayan bölgelerde tüketilmek veya özel durumlarda kullanılmak amacıyla farklı teknikler ile muhafaza edilerek depolanmaktadır. Meyve ve sebze muhafaza tekniklerinden biri olan kurutma ile ürünün mikrobiyolojik ve enzimsel değişimleri önlenmektedir (Karaaslan 2008).

Kurutma işlemi ile ürünlerdeki serbest su uzaklaştırılarak, ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonlar, mikroorganizmalar ve bozulmaların oluşması engellenir. Ayrıca, kurutulmuş ürünlerin hacimlerindeki ve ağırlıklarındaki azalma ile taşıma ve depolama maliyetlerinde büyük oranda düşüş olur.

Kurutmanın diğer faydalarından ise şöyle bahsedebiliriz:

- Kurutulan besinlerin kullanım alanları daha geniştir.
- Kurutulan besinler, konserve yapılan besinlere göre daha ucuza mal edilir.
- Kurutulan meyve ve sebzelerin besin ve kalori değerleri, aynı miktarlardaki yaş meyve ve sebzelere göre daha yüksektir (Çelen 2010).

1.1.1. Kurutmanın fiziği

Kurutma sırasında çeşitli kimyasal ve fiziksel değişimler oluşur. Bu değişimler kurutma esnasındaki ısı ve kütle geçişini etkileyebilmektedir. Kristalleşme, büzülme ve şişme gibi fiziksel değişiklikler olabilirken, renk, yapı ve kokuda meydana gelen değişimler kimyasal ya da biyokimyasal değişimler olarak adlandırılır.

Kurutma işlemi için gerekli olan ısı aşağıda sıralanan yöntemlerle verilebilir:

Isı iletimi (Kondüksiyon): Kurutulacak olan cisim, ısı üreten ısı kaynağına temas ettirilerek ve böylece ürün bünyesindeki nemin buharlaştırılması için gerekli ısı ürüne taşınarak kurutma sağlanır.

Isı taşınımı (Konveksiyon): Gerekli olan ısı hava aracılığıyla ürün üzerine taşınarak gerekli kurutma sağlanır.

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak olan ürün bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı, infraruj ışını kaynağından alınarak kurutma sağlanır (Nasıroğlu 2007).

1.1.2. Kurutucu tipleri

Kurutma işlemi için kurutulacak maddenin türü, miktarı ve kurutma hızı gibi kriterler göz önüne alınarak aşağıda anlatılan kurutuma yöntemleri seçilmektedir.

Kabin kurutucular: Kurutulacak ürünler, ürünlerin kurutma havası ile temas yüzeyi en fazla olacak şekilde tepsilere dizilir ve tepsiler kurutma bölümüne yerleştirilir. Kabin içerisinde ısıtılmış hava üst üste dizilmiş tepsiler arasında sirküle edilerek ürünlerin üzerinden geçirilir (Çalışkan K 2002).

Döner kurutucular: Döner kurutucularda kurutma yapan kısımlar doğrudan veya dolaylı ısıtılır. Döner raflı kurutucuda rafların altına verilen havanın akışı ters akımlı veya paralel olarak uygulanabilir (Günerhan 2005).

Dondurarak kurutma: kurutulmak istenen gıda maddesi genellikle dondurulduktan sonra yüksek vakum altında bulunan bölmenin raflarına dizilir. Isı transferi kondüksiyon, radyasyon ya da iki yöntem aynı anda kullanılarak gerçekleştirilir. Bu sistemde en önemli aşama ısı iletim hızının kontrolüdür. Donmuş haldeki gıda maddesindeki donmuş su kütlelerinin erimemesi gerekmektedir. Bu sebeple ısı iletim hızı buzun buhar faza geçerek süblimleşmesini sağlayacak düzeyde olmalıdır (Gürses 1986).

Akışkan yataklı kurutma: Katı parçacıkların hava hızı ile birlikte kurutulduğu bir sistemdir. Bu sistemde tozlu ve tanecikli madde ile akışkan gaz arasında yakın temas olması

sebebi ile tanecikler ve kurutma arasındaki ısı transferi oldukça iyidir. Bu sayede hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulur (Günerhan 2005).

Flaş (Alevli) Kurutma: Sıcak gaz akımı içerisine yerleştirilen düzgün şekillere sahip katı parçacıkların hızlı ve homojen bir şekilde kurutulduğu bir sitemdir. Sentetik reçine, alçı taşı, tahta, sulu bileşikler veya yiyecek maddeleri gibi alanlarda ticari uygulamaları bulunmaktadır (Günerhan 2005).

Sprey (püskürtmeli kurutucu) kurutucular: Sprey kurutucularda ısıtılmış hava içerisine, sıvı yada çok ince katı parçacıklar halindeki ürün zerrelere halinde püskürtülmek suretiyle kurutma gerçekleşir. Bu yöntem ısıtma işlemi sırasında ısının etkisi ile zarar görebilecek gıda maddeleri için uygundur, çünkü kurutma süreleri oldukça kısadır (Gürses 1986).

Bantlı kurutucular: Bu sistemde gıda maddesinin üzerine serildiği düz ya da delikli bantın üzerinden veya arasından sıcak hava dolaşımı sağlanır. Bantın genellikle hareketli olduğu sistemler bulunduğu gibi, bantın üzerindeki gıda maddelerinin hareketli kazıyıcılar ile taşındığı sabit bantlı kurutucularda mevcuttur. Meyve ve sebze gibi gıda maddelerinin kurutulmasına uygundur (Gürses 1986).

Tünel kurutucular: Sürekli çalışan kurutucular olduğu için, su miktarı ve genel özellikleri homojen olan kurutulacak miktarı fazla ve yavaş kurutulması gereken ürünlerde tercih edilir. Isıtma işlemi için genellikle hava kullanılır ve kurutulacak olan ürün tünel içerisinde hava akımına ters veya paralel hareket ettirilir. Kurutulacak ürünlerin yerleştirildiği tavalar tünel içerisinde hareket eden arabalara yerleştirilir. Hava akımı bu arabaların hareketine dik olacak şekilde de tünel içine verilebilir. Meyve ve sebze kurutmada kullanılabilir (Gürses 1986).

Mikrodalga kurutucular: Normal fırınlarda ısı gıdaya dışarıdan içeriye doğru transfer olurken durum mikrodalga fırınlarda farklıdır. Fırın içerisinde üretilen mikrodalgalar besinlere ulaştığında besin içerisinde bulunan su molekülleri mikrodalga fotonlarında bulunan enerjiyi emerek titreşmeye başlar. Titreşim ile meydana gelen sürtünme sonucu ısı ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu ısı ürünün ısınmasını sağlar (Karaaslan 2008).

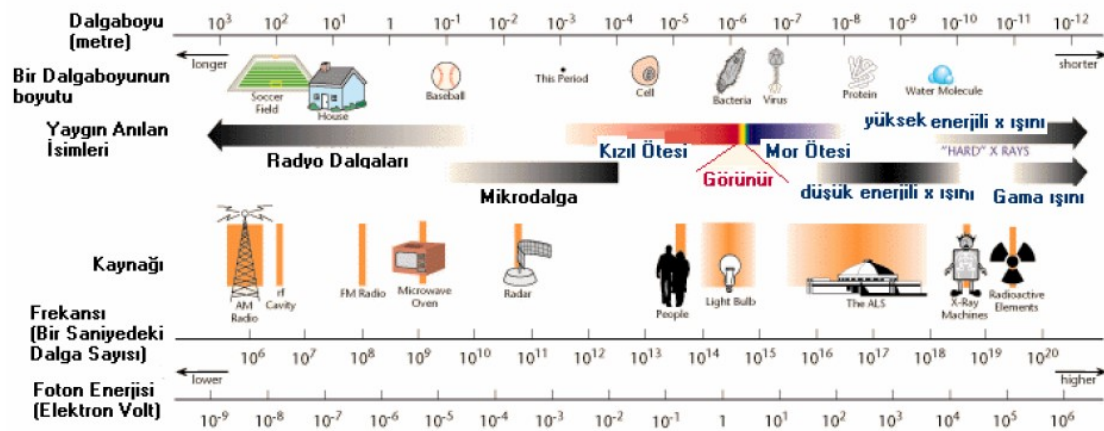
Güneş enerjili kabin kurutucular: basit yapılı bir kurutucudur. Ahşap veya metal saçtan yapılabilen yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım malzemeleri ile kaplanmış, tek kat yada iki kat saydam örtü ile kaplanmış eğimli bir kapağa sahip, yan görünüşü yamuk şeklinde olan bir kabin den oluşan kurutucudur. Tabanında ön ve arka tarafında havalandırma için delikler vardır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisi ışınlarını tutarak ısı enerjisine çevirir ve kurutma havasına verir. Termal kuvvet etkisi ile toplaç da ısınan hava kurutma odasına

girer ve raflara yerleştirilmiş kurutma tepsilerinden geçerek bacadan dışarı çıkar, sirkülasyonu esnasında ürünün nemini alır (Tarhan ve ark. 2007).

Güneş enerjili sera tipi kurutucular: kurutma hacminin çatı ve duvarları saydam bir örtü malzemesi ile kaplanır. Böylece güneş ışınları bu çatı ve duvarlardan geçebilir. Bu duvar ve çatıdan geçen güneş ışınları hacim içerisindeki yapı elemanlarınca absorbe edilerek, hava yardımı ile taşınmak sureti ile kurutulacak ürünlere ulaştırılır. Ulaşan hava sayesinde ürünlerin nemi alınır ve yine bu hava ile ortamdan uzaklaştırılır (Ceylan ve ark. 2006).

1.2. Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalga ışınım, diğer elektromanyetik ışınım türlerindeki gibi bir manyetik alan ile bir elektrik alanın birleşiminden oluşur. Mikrodalgalar radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasında bulunur ve ışık hızında hareket ederler. Mikrodalgaların frekansı 0,3 GHz ile 300 GHz arasındadır ve dalga boyları 1 mm ile 1 m arasında değişiklik gösterir. Mikrodalga enerjisinden sadece dönme hareketi yapacak şekilde etkilenen moleküllerin yapısındaki bağlar kırılmaz. Ev tipi mikrodalgalar su moleküllerinin en iyi soğurabildiği frekans olan 2,45 GHz'lik frekansta çalışır. Bu frekansta çalışan bir fırının içinde bulunan ve mikrodalga enerjisini soğuran bir maddenin molekülleri saniyede 2,5 – 3 milyar kez titreşir ve madde kinetik enerji kazanarak ısınır. Genellikle mikrodalga sistemleri bir mikrodalga jeneratörü, oluşan mikrodalgayı uygulama alanına ileten bir iletim hattı ve bu enerjiyi ısıtılacak maddeye aktaran bir aplikatör den meydana gelir. Magnetronlar en yaygın kullanılan jeneratörlerdir ve 60 Hz'lik elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürürler (Gümüşderelioğlu ve ark. 2012).



Şekil 1.1. Elektromanyetik Spektrum (Erdem 2007)

1.2.1. Mikrodalga ısıtma mekaniği

Mikrodalğanın maddeler ile olan etkileşimi yansıtma, soğurma ve geçirgenlik olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Eğer malzememiz elektriksel olarak iletken ise mikrodalgalar yüzeyden yansır ve malzeme ısınmaz. Eğer malzeme yüksek yalıtkan ise mikrodalgalar malzeme içinden geçer ve malzeme yine ısınmaz. Su, şeker ve yağ gibi elektromanyetik alana maruz kaldığında mikrodalgayı soğuran malzemeler ise çok ısınır. Mikrodalgayı soğuran malzemeleri içeren çözeltilerde ısınır. Malzemelerin kimyasal veya fiziksel bağları da mikrodalgayı soğurma derecelerini etkiler. Mikrodalgaların soğurulması sonucu dipol etkileşimi ve iyonik iletim şeklinde ısınma gerçekleşir. Dipol moment, elektriksel kutuplu moleküllerin kutupları arasındaki elektrik yüküdür. Mikrodalğanın elektrik alanı etkisi altında kalan dipol momentli moleküller, uygulanan alanla aynı hizaya gelene kadar dönme hareketi gerçekleştirir. Bu dönme hareketi ile bir sürtünme kuvveti oluşur. Bu sürtünme hareketi ile enerji kazanan moleküller ısınır. Bir çözelti içinde bulunan yüklü parçalar olan iyonların dipol momentleri yoktur ve bu yüklü parçalar mikrodalğanın elektrik alanından kaynaklanan polarite değişiminden etkilenecek şekilde çarpışmaya başlar. Çarpışma sonucu ortaya çıkan kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür. Geleneksel ısıtma da ısıtma kabın yüzeyinden başlar. Örneğin bir tencere suyu bir ocakta ısıtırsak ısı tencere çeperinden suya aktarılır. Bu yöntemde iki ortam arasındaki sıcaklık farkı ve tencerenin yapıldığı malzemenin ısı iletkenlik özellikleri etkin olduğu için ısıtma yavaş ve yetersizdir. Sıcaklık tencerenin çeperinden merkeze doğru azalır ve ısı dağılımı homojen değildir. Mikrodalga ile ısıtmada ise ısıtma kabın iletkenliğine ve ortama bağlı değildir. Bu sebeple mikrodalga ile ısıtmada ani süper ısınma bölgeleri oluşur ve ısı dağılımı geleneksel yöntemlere göre çok daha homojendir. Temassız ısınma, enerji aktarımı, malzeme seçiciliği ve ters ısısal etki yani malzemenin içinden ısınmaya başlaması mikrodalğanın geleneksel ısıtma yöntemlerine göre sahip olduğu üstünlüklerdendir (Gümüşderelioğlu ve ark. 2012).

1.2.2. Mikrodalga fırın

Aslında radyo dalgaları olan mikrodalgalar ile yiyecekler ısıtılırken mikrodalga fırınlar kullanılır. Bu fırınlarda yaklaşık olarak 2,5 GHz frekansında elektromanyetik dalgalar kullanılır. Bu frekans da ki radyo dalgaları yağ, şeker ve su tarafından emilirler. Emilen radyo dalgaları ısı meydana getiren atomik bir harekete sebep olurlar. Bu frekans da ki radyo dalgaları seramik, cam ya da birçok plastik türü tarafından emilemezken metaller tarafından

tamamen yansıtılırlar. Bu sebeple mikrodalga fırın içerisinde yapılacak ısıtma işlemi sırasında ısıtılacak maddenin içine koyulacağı kapların cam, seramik ya da plastik olması tavsiye edilmektedir.

Mikrodalga ile ısıtmada dışarıdan bir ısı iletimi söz konusu değildir. Yiyeceğin üzerine düşürülen radyo dalgaları yiyeceğin yapısında bulunan su ve yağ moleküllerini uyarır. Isınma molekülerin hep birlikte uyarılması ile oluşur.

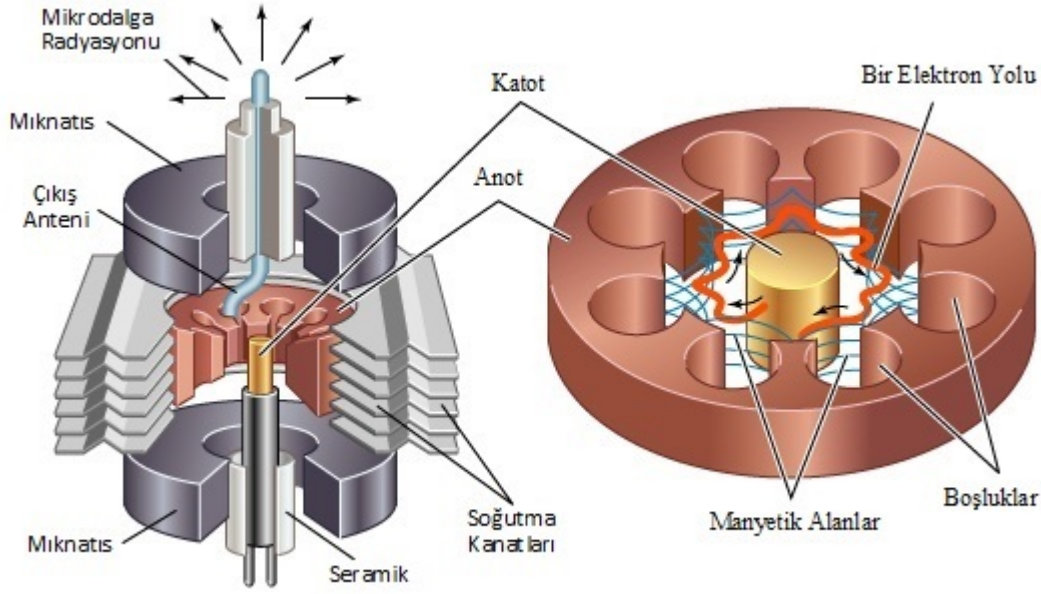
Mikrodalga fırın, magnetron, dalga yayıcı ve fırın boşluğundan oluşur. Magnetron 60 Hz' lik elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştüren bir vakum tüpüdür. Dalga yayıcı üretilen mikrodalgaları fırının içine yayar (Çelen 2010).

1.2.3. Magnetron (Mikrodalga üretici)

Magnetron mikrodalga üreten birimdir. Yüksek güçlü bir osilatör olarak çalışır. Yaklaşık 3000 MHz seviyesinde mikrodalga üretir. Magnetron bakır bir anot bloğundan oluşur ve bloğun ortasında bulunan delikte silindirik bir yapıya sahip katot bulunur. Katot ile anot arasındaki hava vakumlanmıştır. Frekans tayin edici çınlayıcılar anot ile katot arasındaki bağlantıyı da sağlar ve anot bloğunun çevresinde bulunur. Magnetronda manyetik alan yok ise katodun ısıtılması ile elektronlar merkezden anoda doğru direk ulaşacak biçimde yayılarak hareket ederler. Daimi manyetik alan ise elektronların güzergâhın da bir bükme oluşturur. Manyetik alanın şiddetinin artırılması bükümü keskinleştirir, bununla birlikte elektronun hızı arttıkça etrafındaki alanda büyür ve sapma daha da keskinleşir (Gülmen 2011).



Şekil 1.2. Mikrodalga fırın magnetronu (Kuş 2016)



Şekil 1.3. Magnetronun iç yapısı (Kuş 2016)

1.2.4. Gıdaların dielektrik ısıtmasına etki eden etmenler

1.2.4.1.Frekans

Elektromanyetik dalganın frekansı ve gıdanın dielektrik özellikleri dalganın gıdaya nüfuz etme miktarında belirleyici etkenlerdir.

Elektromanyetik dalganın dalga boyunun artması yani frekansının azalması gıdaya penetrasyon miktarını arttırmaktadır. Termal radyasyon bölgesindeki dalgalar gıdaların ancak yüzeyini ısıtabilir, frekansları çok yüksek olduğundan gıdanın içerisine neredeyse hiç nüfuz edemezler.

Dalga boyuna göre dielektrik kayıp faktörü de değiştiği için frekans gıdanın ısınma performansını doğrudan etkilemektedir (Uslu ve ark. 2006).

1.2.4.2.Su içeriği

Gıda ne kadar çok su içeriyorsa dielektrik kayıp faktörü de o oranda yüksek olacağından o derece daha iyi ısınacaktır. Dolayısı ile su dielektrik ısıtma sistemlerinde ısıtma performansını doğrudan etkileyen bir faktördür (Uslu ve ark. 2006).

1.2.4.3.Yoğunluk

Havanın dielektrik sabiti birdir ve endüstride kullanılan frekans aralıklarında tamamıyla geçirgendir. Doğru orantılı olarak gıdadaki hava miktarı arttıkça dielektrik sabiti düşecektir (Uslu ve ark. 2006).

1.2.4.4.Sıcaklık

Sıcaklık ile birlikte maddenin dielektrik kaybı değişkenlik göstermektedir. Dondurulmuş gıdaları elektromanyetik enerji ile ısıtma zordur çünkü su elektromanyetik enerjiyi (mevcut kullanılan frekans aralığında) büyük oranda absorbe ederken buz saydam olması sebebi ile enerjinin büyük kısmını geçirmektedir (Uslu ve ark. 2006).

1.2.4.5.Fiziksel geometri

Keskin kenar ve köşeler daha çabuk ısınacağından bu tür şekillerden kaçınılmalı, daha düzgün şekiller seçilmeli (Uslu ve ark. 2006).

1.2.5. Mikrodalga ile ısıtmanın avantaj ve dezavantajları

1.2.5.1. Mikrodalga ile kurutmanın avantajları

- Materyal mikrodalga ortamında homojen olarak ısınır
- Mikrodalga ile ısıtmada materyalin bulunduğu ortamın ısıtılmasına gerek olmadığından daha etkili bir ısıtma sağlar
- Geleneksel ısıtma sistemlerine göre daha az yer kaplar
- Paketli gıdaların ısıtılması mümkündür.
- Uygun işlem şartları belirlenirse ürün kalitesi daha yüksek olur.

1.2.5.2. Mikrodalga ile kurutmanın dezavantajları

- Mikrodalga ile kurutmada kurulacak olan sistemin maliyetinin yüksek olmasından dolayı ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması
- Şekli düzgün olmayan gıdaların ısıtılmasında giderilememiş problemler olması

(Karaaslan 2008).

1.3. Güneş Enerjisi ile Kurutma

Açık havada güneş enerjisi ile doğal kurutma ilk çağlardan beri bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak, kurutma işleminin çok uzun sürmesi, hava durumundan kaynaklanan olumsuzluklar, ulaşılmak istenen nem derecesinin elde edilememesi gibi büyük sıkıntıları olduğu da bir gerçektir. Bazı sakıncaları gidermek adına güneş enerjisinden faydalanılan, sıcaklığın kontrol altında tutulduğu kurutma odaları yapılmış olsa da kurutma havasının nemi kontrol edilemediğinden ulaşılmak istenen kurutma kalitesi elde edilememiştir.

Konu üzerine 1950'lerden beri çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda kurutma için gerekli enerjinin toplanması, depolanması ve verimliliğinin artırılmasına yönelik sistemler tavsiye edilmektedir. İklim özellikleri, güneş ışınımı ve yoğunluğu ile güneşlenme süresi güneş enerjili kurutucuların verimini etkileyen en önemli unsurlar olması sebebi ile sistemin kurulmak istendiği bölge iklim özellikleri bakımından iyi analiz edilmelidir.

Genel olarak sera tipi ve kolektörlü olmak üzere iki basamak da incelenebilir.

1.3.1.Sera tipi güneş enerjili kurutucu

Bu tip kurutma sisteminde kurutma hacminin çatı ve duvarları saydam bir örtü malzemesi ile kaplanır. Böylece güneş enerjisi bu saydam örtünün altında bulunan havayı ısıtabilir. Isınan hava hacim içerisinde bulunan kurutulacak ürünlere ısıyı taşır, açığa çıkan nem yine aynı hava yardımı ile ortamdaki uzaklaştırılır. Ancak ısı kayıplarının yüksek olması sebebi ile örtünün çift kat kullanılması ve hacim içerisinde sirküle olan havanın taşıdığı tozlar ile saydam örtünün kirlenerek veriminin düşebileceği göz önüne alınarak bu tozların temizlenmesi gerekir.

1.3.2.Güneş enerjili kolektörlü kurutucular

Kollektörler kurutma fırınında ayrı bir parça olduğu için tasarımlarında fırının geometrisinden bağımsız hareket edilebilir ve yüzey alanları büyüklüğü ihtiyaç doğrultusunda belirlenebilir. Tasarlanan kolektörlerde toplanan ısı enerjisi ile ısıtılan hava bir fan yardımı ile kurutulacak ürünün bulunduğu fırına gönderilir. Sıcak hava kurutulacak malzemenin üzerinden geçirilerek ürünlerin neminin alınması sağlanır böylece kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kurutma işlemi kontrolü daha kolaydır. Kurutma süresi kurutulacak ürüne

göre değişiklik göstermekle birlikte sera tipi kurutucu ile kıyaslandığında daha kısadır. Ancak yapılarının daha karmaşık olması sebebi ile sera tipi kurutma ya göre maliyeti daha fazladır (Ceylan ve Ark. 2006).

1.4.Turp

Turp (*Raphanus sativus* L.), Brassicaceae (Cruciferae) familyasına aittir. Özellikle Japonya, Kore, Çin ve Güney Asya'da yayılma alanı ve üretimi bulunur. Turp besin içeriği zengin bir sebzedir ve taze sebze gereksinimini karşılar. Turpların tüketilen kök kısmı farklı renk, şekil ve büyüklüktedir. Turpgillerde küçük ve kırmızı köklere sahip olanlar fındık, beyaz olanlar kestane ve siyah olanlar bayır turpu olarak adlandırılır. Turpun niteleyici özelliklerinin en önemlileri renk, parlaklık, şekil ve büyüklük dür. Bu özellikler yetiştirme koşullarında önemli derecede etkilenebildiği gibi, genotipik özelliklerinden de kaynaklanabilir. Avrupa'da yetiştirilen turplar genellikle taze olarak tüketilebilirken Asya da yetiştirilen iri turpların yumruları pişirilerek tüketildiği gibi turşu yapımında kullanılabilmekte yahut kurutularak da işlenebilmektedir. Güney Amerika'da yetiştirilen karaturplar ise safra taşı oluşumunu önleme ve kandaki yağlanmayı azaltma gibi tıbbi amaçlar için kullanıldığı belirtilmektedir.

Dünya turp üretiminin tüm sebze üretimi içinde %2 lik bir hacme sahip olduğu ve bunun da yaklaşık olarak 7 milyon ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Çizelge1.1. incelendiğinde ülkemizdeki turp üretiminde yıllara göre değişiklik gösterdiği ve yıllık ortalama üretimin 150 000 ila 170 000 ton arasında olduğu görülmektedir. Üretilen bu turpların % 10-15 ini karaturp, kalanını ise diğer gruplara giren turplar oluşturmaktadır.

Ülkemiz de turp üretimi Osmaniye, Ankara, Kahramanmaraş, Hatay, İçel ve Konya gibi illerde yoğunlaşmıştır, ancak tüm bölgelerde de yetiştirilebilmektedir. Üretilen turpun büyük bir çoğunluğu (% 70-80'i) Osmaniye'de (özellikle Kadirli ilçesi) yetiştirilmektedir.

Fonksiyonel gıdalar temel beslenmenin ötesinde sağlığa yarar sağlayan gıdalar olarak tanımlanabilir, yani vücudun temel besin öğelerine olan ihtiyacı karşılamasının yanında insan fizyolojisi ve metabolik fonksiyonlara fayda sağlayan, hastalıklardan korunmaya yardımcı olan ve sağlıklı bir yaşamda etkili olan gıda veya gıda bileşeni olarak tanımlanabilir.

Son zamanlarda ülkemizde ve dünya genelinde güvenli, yüksek kaliteli ürünlere olan talep artmaktadır. Turp da fonksiyonel gıdalar arasındaki yerini almıştır ve üzerindeki ilgi sürekli artmaktadır (Akan ve ark. 2013).

Çizelge 1.1. Türkiye’de turp üretiminin yıllara göre dağılımı ve üretim miktarları Turp Çeşitleri (Akan ve ark. 2013)

Turp Çeşitleri	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Turp (Bayır) (ton)	19 061	17 196	16 985	16 524	16 130	15 564
Turp (Kırmızı) (ton)	149 527	138 615	144 878	141 505	139 543	142 024
Toplam (ton)	168 588	155 811	161 863	158 029	155 673	157 588

Yapılan araştırmalarda insanların turpu bel ağrısı, astım, bronşite gibi hastalıklarda ve nefes açmak, balgam söktürmek için kullandıkları görülmüştür (Sarı ve ark. 2010).

Kara turpun bilinen diğer adları Siyah turp, Kara kabuklu yer elması, acı kök, acırğa, baştankara, bayır turpu, deniz turpu, eşek turpu, iren, Moskof turpu, yabancı kaşıkotu ve yabancı turpu dur (Uçar 2013).

1.5.Araştırmanın Amacı

Bu tezin amacı, güneş enerjisi ile ısıtılan havanın mikrodalga bantlı kurutucu içine verildiği kombine bir sistemde karaturp dilimlerini kurutarak, kurutulmuş ürünlerin kalitesini incelemek ve renk bakımından değişimleri araştırmaktır. Ayrıca toplam kurutma zamanını azaltan ve enerji tüketimini düşüren bir kontrol yapısı oluşturmaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Alibaş (2012) asma yaprağının mikrodalga enerjisi ile kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. İlk nem seviyesi yaş baza göre % 75.35 (± 0.02) olan 50 (± 0.05) g ağırlığındaki asma (*Vitis vinifera* L.) yapraklarını yaş baza göre nem seviyesi % 9.13 (± 0.12) oluncaya dek 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluk seviyelerinde kurutmuştur. Kurutma işlemlerini 3 farklı güç yoğunluğunda gerçekleştirmiş ve kurutma süresinin güç yoğunluğuna bağlı olarak 210 – 270 s sürdüğünü tespit etmiştir. Çalışmasında, 7 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli et al eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibaş yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen verileri modellemiştir. Çalışmasında Regresyon katsayısının (R^2) en büyük olduğu, standart hata (SH), ki kare (χ^2) ve ortalama karesel hata (OKH) değerlerinin ise en küçük olduğu modeli en iyi model olarak seçmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı mikrodalga güç yoğunluğunda da elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Alibaş modeli olduğunu belirlemiştir. Çalışmasında ayrıca mikrodalga ışınlarla kurutulan asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerlerini taze asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri ile karşılaştırmıştır. Buna göre taze ürüne en yakın renk ve askorbik asit değerinin 15 W g⁻¹ güç yoğunluğundaki mikrodalga kurutma sırasında elde edildiği sonucuna ulaşmıştır.

Toraman ve ark (2007) çalışmalarında kömürün mikrodalga ile muamelesindeki son gelişmeleri sunmakta, ısınma özellikleri, öğütülebilirlik, kükürt uzaklaştırma ve susuzlaştırma gibi farklı uygulamalara yer vermektedir.

Gölcü ve ark. (2013) çalışmalarında özel olarak tasarlayıp imal ettikleri prototip konveyörlü mikrodalga fırın sisteminde ıslak viyolün kurutma deneylerini yapmışlardır. Deneyler sonucunda, magnetron gücünün artmasıyla nem oranının düştüğü, dolayısıyla viyolün kurutma süresinin azaldığını görmüşlerdir.

Özkan Karabacak ve ark. (2015) çalışmalarında mikrodalga kurutma yönteminin avantaj ve dezavantajlarını ele alarak meyve ve sebzelerin kalite kriterleri üzerine etkisinden bahsetmişlerdir. Ayrıca kurutulmuş meyve ve sebzelerde mikrodalga kurutuma yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırmasını yaparak meyve ve sebzelerin kurutma süresine, kurutma hızına ve kalite faktörleri üzerine etkisini değerlendirmişlerdir.

Bingöl ve ark. (2010) çalışmalarında Türkiye'nin önemli ihraç ürünlerinden olan üzümün kuruması esnasında kararmaya neden olan Polifenol Oksidaz enziminin, çocuklarda ve yaşlılarda astım, isilik ve mide rahatsızlıklarına neden olabilen sülfite kullanılmadan

inaktive edilmesi ve aynı zamanda da kuruma hızının arttırılmasını amaçlamışlardır. Mikrodalga yardımcı konvektif kurutma, konvansiyonel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı olduğundan ve gıda maddesinde bulunan dipolar su molekülleri ile etkileşebilmesinden dolayı etkin bir kurutma işlemine olanak sağlamaktadır. Gıda içindeki sıcaklık artışının modellenmesi mikrodalga ısıtma ve kurutma işleminin kontrolü açısından önem arz etmektedir. Kurutma hızını daha da arttırmak ve iyi bir son ürün elde edebilmek amacıyla üzümleri kurutma işleminden önce 40°C sıcaklığındaki etil oleat ve potasyum karbonat içeren çözelti içine 3 dakika süreyle daldırmışlar veya 90°C' deki buharla 140 saniye süreyle haşlayarak ön işlemişlerdir. Üzümleri ön işlemlerinden sonra mikrodalga yardımcı konvektif kurutucuda 0,25 W/g başlangıç mikrodalga güç oranı ve 60°C sıcaklığında ortalama 1,8 m/s hızındaki hava ile kurutmuşlardır. Matlab programının Eğri Yaklaşırma (CFT) araç kutusunu kullanarak kuruma eğrileri literatür deki ince tabaka modelleri ile tanımlanmışlardır. Kuruma esnasındaki sıcaklık değişimlerini fiber optik prob kullanarak ölçmüş ve Matlab programının Kısmi Diferansiyel Denklem (PDE) araç kutusunu kullanarak matematiksel olarak modellemiş ve simüle etmişlerdir. Matematiksel modelde mikrodalga enerjisini hacimsel ısı üretim kaynağı olarak kabul etmiş ve kuruma esnasında meydana gelen ve ince tabaka modelleriyle hesaplanan nem kaybını, evaporatif ısı kaybı olarak modele dâhil etmişlerdir. Sonuçları literatür deki çalışmalar ile karşılaştırarak, mühendislik açısından gerekli yakınsaklığı sağladıklarını gözlemlemişlerdir.

Zielinska ve ark. (2013) çalışmalarında çok aşamalı ısı pompası akışkan yataklı atmosferik dondurma kurutma (HP FB AFD) ve mikrodalga vakumla kurutma (MVD) 'nin kurutma kinetikleri, nem dağılımları, mikro yapıları ve yeşil bezelye fiziksel parametreleri üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçları, mikrodalga vakumla kurutma (MVD) ve sıcak hava konvektif kurutma (HACD) için elde edilenlerle karşılaştırdılar. Birleştirilmiş yöntemde, başlangıç kurutma hızı yaklaşık 0,04 l / dakika oldu. MVD uygulaması kuruma oranını 0,08 l / dk' ya yükseltti. MVD ve HACD ile kuruttukları yeşil bezelyenin kuruma oranlarını sırasıyla 0,59 ve 0,20 l / dk olarak ölçtüler. MVD örnekleri taze numunelere göre en az değişiklik gösteren bir yapı ile karakterize olduğunu gördüler. Bununla birlikte, HP FB AFD ve MVD' nin, yüksek ürün kalitesi (AFD sırasında düşük malzeme sıcaklığı ve MVD sırasında düşük basınçtan dolayı) ve mikrodalga ısıtmanın uygulanmasından dolayı son aşamada artan kuruma oranları gibi önemli gereksinimleri karşıladığını belirlediler.

Karaaslan ve ark. (2009) çalışmalarında, kırmızıbiberin kurutulması mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonunda incelemişlerdir. Kırmızıbiberi, mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutmuşlardır. Kırmızıbiberin

kuruma zamanı, kuruma oranı değerleri üzerindeki mikrodalga, mikrodalga ile sıcak hava ve sadece sıcak havayla kurutmanın etkilerini araştırmışlardır. Mikrodalga enerjisi ile yaptıkları kurutma denemelerinde kullandıkları güç seviyelerini 180, 360, 540, 720, 900 W olarak seçmişlerdir. Sıcak hava ile kurutma denemelerini ise 100, 180, 230 °C' de yapmışlardır. Mikrodalga ve sıcak hava birleşiminde ise 180 W+100 °C, 180 W+180 °C, 180 W+230 °C, 540 W+100 °C, 540+180 °C, 540+230 °C' de kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Bir laboratuvar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon yaklaşımı, Verma, iki Terimli Eksponansiyel, Basitleştirilmiş Fick Difüzyonu, Midilli ve ark. modellerini birbiri ile karşılaştırmışlardır. Bu modellerin performanslarını; gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (R^2), tahmini standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre tüm ürünlerde Midilli ve ark. Modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığını belirlemişlerdir. Modeller, model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayılarını incelediklerinde en yüksek belirtme katsayısının Midilli ve ark. modelinde sağlanmış olduğunu görmüşler ve 0,9986–1,0000 düzeyinde olduğunu belirtmişlerdir.

Eren ve ark. (2005) çalışmalarında pilot ölçekteki bir konveksiyon – mikrodalga bantlı kurutucuda yapılan maydanoz (*Petrocelinum crispum* Mill.) kurutma denemesinin sonuçları vermiştir. Çalışmada, atımlı mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile ürün kurutulmasında uygulanan atım oranlarının (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) kurutucu enerji tüketimi, kuruma süresi ve kurutulan ürün renk kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kurutma denemelerinde infrared ısıtıcılardan elde edilen sıcak hava ve atımlı mikrodalga enerjisini birlikte uygulamışlardır. Mikrodalga enerjisi, kurutucu mikrodalga jeneratörlerinin çalışma ve durma sürelerini özel bir kontrol donanımı ile ayarlayarak atımlı/kesikli olarak uygulamışlardır. Uyguladıkları atım oranlarını (açık, s/ kapalı, s) sırasıyla 15/30, 30/30, 45/30 ve 60/30 olacak şekilde ayarlamışlardır. Denemeleri sonucunda atım oranı arttıkça aynı bant hızında kurutucu elektrik enerjisi tüketiminin arttığını, buna karşılık kurutulan ürünlerde ulaşılan sonuç nemi ve ürün renk kalitesinin de azaldığını belirlemişlerdir. Araştırmalarında, ürünün % 10 y.b. seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonucu 0,133 m/min bant hızında, sıcak hava ve 30 s aktif, 30 s pasif atımlı mikrodalga ile kurutma yöntemi ile almışlardır. Bu durumda % 10,48±3,43 y.b. sonuç nemine

kadar ürünün kurutulması için gerekli süre 41 dakika olmuş, 3,02 kW elektrik enerjisi harcanmışlardır.

Çelen ve ark. (2015) çalışmalarında 5 mm kalınlığında dilimledikleri patatesin mikrodalga bantlı kurutucuda mikrodalga gücünün (1500 W ve 2100 W) ve bant hızının (0,175, 0,210 ve 0,245 m/dk) kurutma zamanı, renk değişimi ve enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre mikrodalga gücünün artması ve bant hızının azalması ile enerji tüketimi azaldığını görmüşleridir. Dokuz adet kurutma modelinin uygunluğunu belirlemek için deneysel ve teorik nem oranlarını dikkate alarak korelasyon katsayısı (r), standart hata (es) ve (χ^2) hesapladılar. Tüm kurutma şartları için Page modelin en uygun model olduğunu belirlemişlerdir. Efektif difüzyon katsayısını $2,958.10^{-7}$ ve $3,587.10^{-6}$ m²/s aralığında hesaplamışlardır. Kurutma süresince en az enerji tüketiminin 0,175 m/dk ve 2100 W gücünde olduğunu belirlemişleridir.

Olgun ve ark. (1997) çalışmalarında Doğu Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındık, tütün, mısır gibi çeşitli ürünlerin güneş enerjisinden yararlanarak kurutulabilmesi için ucuz, yapımı kolay, çok amaçlı kullanılabilen kurutucular tasarlayarak imal etmişlerdir. Bunlardan kabinet, dolap ve çadır olmak üzere üç farklı güneş enerjili kurutma sisteminin tasarım esaslarını vermişlerdir. Bu üç kurutucuda da; dalından toplanmış, nem oranı yüksek ve zurufundan ayrılmış fındıklar kurutmuş ve kurutma eğrilerini elde etmişlerdir. Çalışma sonuçlarını açık havada yapılan doğal kurutma sonuçları ile de karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda açık havada 82 saat civarında fındığın kuruduğunu tespit etmişlerdir. Kabinet tipli kurutucuda ise ek ısıtıcı kullanılması durumunda 28 saatte, ek ısıtıcı kullanılmadığı durumda ise yaklaşık 50 saatte fındığı kurutmuşlardır. Çadır tipli kurutucuda 73 saatte ve ek ısıtıcı kullanılmadan dolap tipli kurutucu da ise yine 72-76 saat içerisinde fındığın kuruduğunu görmüşlerdir. Kurutulmuş fındıklardan aldıkları numuneleri görüntü ve tat analizine de tabi tutmuş ürünlerde herhangi bir bozulma olmadığını tespit etmişlerdir.

Güngör ve ark. (2014) çalışmalarında gaz tahrikli ısı pompalarının (GMIP) kurutmada kullanımının deneysel incelenmesini gerçekleştirmiştir. GMIP kurutma sisteminde 45 °C sıcaklıkta ve 1 m/s hava hızında, üç farklı tıbbi aromatik bitki (*Foeniculum vulgare*, *Malva sylvestris* L., *Thymus vulgaris*) kurutmuşlardır. Enerji ve ekserji analiz yöntemlerini kullanarak bazı termodinamik parametreleri tüm sistem ve sistem bileşenleri için hesaplamışlardır.

Ceylan ve ark. (2006) çalışmalarında, güneş enerjili havalı kolektörlü bir kurutma fırınında elma kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kurutma sonrası fiziksel şartları duyuşsal olarak analiz etmiş ve nem değişimini kütle ölçüm metodu ile takip etmişlerdir.

Gerekli ön hazırlık ve son kontrol işlemlerini uygulayarak elmaların kurutma işlemi sonrası kalitelerinin artırılmasını ve üreticilerin ihtiyacı olan ilk yatırım masrafı düşük, enerji giderleri az olan bu kurutma fırını ile sağlamışlardır.

Aktaş ve ark. (2013) çalışmalarında güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve kivi kurutarak deneysel olarak incelemişlerdir. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş kivileri 6 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından 35 °C sıcaklıkta 0,53 g su/g kuru madde, 40 °C sıcaklıkta 0,25 g su/g kuru madde, 45 °C sıcaklıkta 0,14 g su/g kuru madde ve 50 °C sıcaklıkta 0,15 g su/g kuru madde nem miktarına kadar kurutmuşlardır. Kivileri, 35 °C, 40 °C, 45°C ve 50 °C kurutma havası sıcaklığında ve değişken hava hızlarında (0,1-1,0 m/s) sırasıyla 8,5 saat, 7,5 saat, 7,5 saat ve 6,5 saatte kurutmuşlardır. Isı pompasının performans katsayısını (COP_{hp}, h) ve tüm sistemin ısı pompası performans katsayısını (COP_{ts}) bütün deneyler için ortalama olarak sırasıyla 2,90 ve 2,27 olarak hesaplamışlardır. Aynı zamanda, bütün deneyler için ortalama olarak dalgalı kanatçıklı havalı güneş kolektörünün verimini % 56,7 olarak hesaplamışlardır. Bu deneysel çalışma ile kivi kurutulması için uygun kurutma havası sıcaklık değerini 50 °C olarak belirlemişlerdir.

Doğan (1999) araştırmasında, kurutmada güneş enerjisinden daha iyi faydalanabilmek için güneş kolektöründe ısı borusu kullanmıştır. Isı boruları ile güneşten alınan enerjiyi kurutma havasına aktarmış, bu sıcak havayı, kurutmak istediği materyalin üzerine salmıştır. Kurutmak istediği materyalin bünyesindeki suyu, sıcak havanın etkisiyle buharlaştırarak, kurutmayı gerçekleştirmiştir. Yaptığı deneyler neticesinde kurutma olayını güneşin direkt radyasyon etkisinden uzak, gölgede gerçekleştirdiği için, ürün üzerinde, dışarıdaki serbest güneşte kurutmada görülen bazı mahzurlar ortadan kalktığını belirlemiştir. Ayrıca kuruma süresinin de dışarıdaki serbest kurutmaya göre kısaldığını tespit etmiştir.

Çelen ve ark. (2013) çalışmalarında, işlenmemiş domates dilimlerinin vakum kurutma kinetiklerini incelemişlerdir. Vakum koşullarında (0,98 bar) farklı kurutma sıcaklıkları (70 °C, 80 °C ve 90 °C) ve çeşitli kurutma modellerinin uygunluğu için deney sonunda başlangıçtaki nem içeriği % 93 olan (ıslak baz) domates dilimlerinin (Rio de Grande) kurutma davranışını araştırmışlardır. Domates dilimlerinin kuruma davranışlarının tanımlanmasında istatistiksel analizle belirlemişlerdir. Domatesin dilim kalınlığını 5 mm olarak almışlardır. İstatistiksel analiz sonuçları, domates dilimlerinin kuruma davranışlarını tanımlamada en uygun modelin Page modeli olduğunu görmüşlerdir. Etkili nem difüzyon katsayılarının sırasıyla $1,0321 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $4,4486 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $5,8217 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu vakum kurutucusunda bulunmuştur. Ayrıca, 90 °C'de renk değişiminden daha iyi sonuçlar almışlardır.

Aktaş ve ark. (2013) çalışmalarında, güneş enerjili 10 kg kapasiteli bir kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve domates kurutarak analiz etmişlerdir. Geliştirdikleri kurutucuyu farklı şartlarda domates kurutmak için kullanmışlardır. Gerekli olan elektrik ve ısı enerjisini tamamıyla güneş enerjisiyle sağlamışlardır. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş domatesleri, 16,39 g su g kuru madde⁻¹ başlangıç nem miktarından 0,21 g su g kuru madde⁻¹ son nem miktarına düşünceye kadar kurutmuşlardır. Domates dilimlerinin; 40 °C, 45 °C ve 50 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve ortalama 0,2 ms⁻¹ hava hızında sırasıyla 8,5, 7 ve 6 saat sürede kurduğunu gözlemlemişlerdir. Özgül nem çekme oranını (SMER) değerleri 40 °C'de 0,49 kg kWh⁻¹, 45 °C'de 0,45 kg kWh⁻¹ ve 50 °C'de 0,42 kg kWh⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Deney sonuçlarına göre, güneş kolektörü verimini ortalama % 49,33 olarak hesaplamışlardır.

Kavak Akpınar ve ark. (2003), çalışmalarında kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, 60, 70 ve 80 °C 'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanmışlar ve bu esnada kullandıkları kurutma hızları 1 ve 1,5 m/s idi. Deneysel sonuçlardan elde ettikleri kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrilerini lineer olmayan regresyon analiz kullanarak matematiksel olarak modellemişlerdir.

Şevik ve ark. (2014), çalışmalarında, küçük ölçekli bir sera tipi kurutucu tasarlanmış ve imal etmişlerdir. Polikarbonat bir levhayı, kaplama malzemesi olarak kullanmışlardır. Hareketli bakır kanatçıklı yüzeyler kullanarak havanın ısıtılmasını ve dağılımını sağlamışlardır. Sistemin elektrik enerjisi gereksinimini fotovoltaik (PV) ünitesi ile sağlamışlardır. Sistem verimini kırmızıbiber kurutarak deneysel olarak incelemişlerdir. Kırmızı biberleri 11,5 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından son nem miktarına kadar farklı hava sıcaklıklarında kurutmuşlardır. Kurutucu içerisindeki hava hızını ortalama 0,34 m/s olarak ölçmüşlerdir. Sistemin yıl içinde 120 gün tam verimli kullanılması halinde geri ödeme süresini 4,5 yıl olarak hesaplamışlardır. Deney sonuçlarına göre zorlanmış taşınımlı sera tipi kurutucunun verimini % 23-27 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu sistemin, güneş enerjisinin yeterli olduğu aylarda kurutucu olarak kullanılabilmesinin yanında kış aylarında sera olarak da kullanılabileceğini de belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

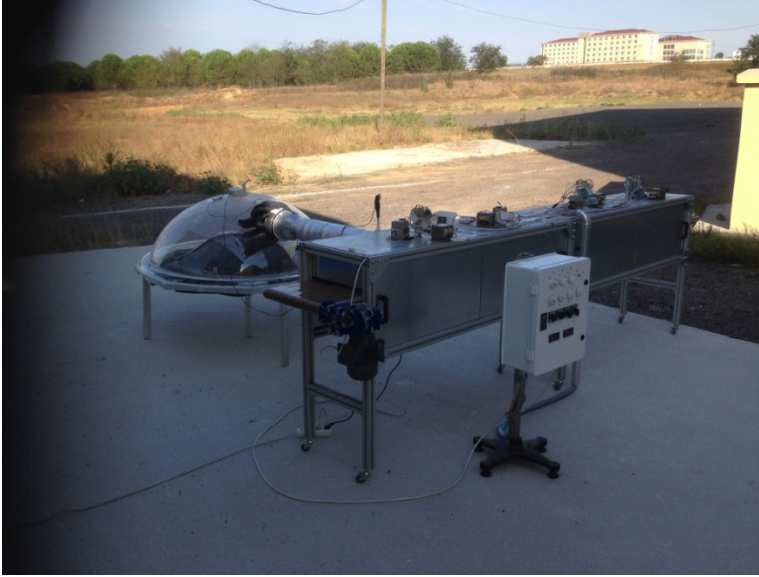
3.1. Materyal

3.1.1. Turp

Tekirdağ ilimizden marketlerden +4 °C de muhafaza edilmiş olarak temin edilen kara turp (*Raphanus sativus* L. var. *Niger*) deneylerimizde kullanılmıştır.

3.1.2. Güneş enerjili bantlı mikrodalga kurutucu

Kurutma deneyimizde, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan güneş enerji destekli bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Güneş enerjisi destekli konveyörlü mikrodalga kurutucu

Mikrodalga bantlı kurutucu; kurutuma tüneli, iki adet mikrodalga güç ünitesi, teflon bant, elektrik motoru ve kontrol panosundan oluşmaktadır. Kurutma tüneli 3,5 m uzunluğunda olup, 0,5 m genişliğindedir. Her bir mikrodalga güç ünitesi max. 700 W gücündedir ve kontrol panosunda yer alan güç ayar düğmesi ile 90, 120, 350, 500 ve 700 W değerlerine ayarlanabilmektedir. Magnetronlar tünelin sonundan 0,4 m mesafede dizilmeye başlanmış ve aralarında 0,9 m mesafe bırakılmıştır. Teflon bandı hareket ettiren elektrik motoru, kontrol

panosunda yer alan bir invertör ile kontrol edilmekte ve bu sayede bantın hızı ve hareket yönü ayarlanabilmektedir.

Yapılan deneylerde fırının içerisine sıcak hava sağlamak için ışık geçirgenliği % 92 olan akrilik malzemeden imal edilen kollektör 1,5 m çapında yerden 0,5 m yüksekliğindedir ve altında hava giriş kanalları bulunmaktadır. Kollektörün alt yüzeyi siyah boyanarak yutucu özelliği sağlanmıştır ve ısı kaybını engellemek için yalıtılmıştır. Kolektörde güneş enerjisi ile ısınan hava 0,13 m çapında 0,01 cm kalınlığında ve 1 m uzunluğunda silindirik şekilde bir galvaniz sac borudan fırın içerisine taşınmıştır. Isı kaybını engellemek için yalıtılmıştır. Kanal üzerinde, hava akışının kollektörden fırına doğru olmasını sağlayan 35 W gücünde axial bir fan kullanılmıştır.

3.1.3. Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri

0,001 g hassasiyete sahip Presica marka XB620M model elektronik terazi ile kara turp dilimlerinin deney süresince hassas ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Ürünün başlangıç nemi ise maksimum 1100 °C çalışma sıcaklığında çalışabilen 6 L kapasiteli Nüve marka, MF 106 model, dijital göstergeli etüv kullanılmıştır. Uluslararası L*a*b* sistemine göre ölçüm yapan spec marka HP-200 model renkölçer ile karaturp dilimlerinin kurutma öncesi ve sonrası renk ölçümleri yapılmıştır. Kolektör içi sıcaklıkların ölçümünde biri kollektör merkezinin sıcaklığını diğeri kollektörden çıkan kanalın girişindeki havanın sıcaklığını ölçen 2 adet termokupl kullanılmıştır. Kollektörde üretilen sıcak havayı fırına taşıyan kanal üzerinde akan havanın sıcaklığını ve hızını ölçen CEM marka DT-8880 model anemometre kullanılmıştır. Kurutma odasının sıcaklığını ölçmek için üzerine PT-100 termokupl kullanılmıştır. Yapılan deneyler süresince anlık güneş ışık şiddeti CEM marka BT-185 Model cihaz ile ölçülmüştür.

3.2. Yöntem

Kurutulacak ürünlerin renk özelliklerinde değişiklik olmaması için her denemede yeni bir karaturp dilimlenmiştir. Kurutma öncesi yıkama ve soyma dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. 4 mm, 6 mm ve 8 mm kalınlıklarında dilimlenen turp deneylere başlamadan önce başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde 105 °C de 24 saatte kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir. Kurutma öncesi taze ürünlerin renk ölçümleri her bir deneme için ayrı ayrı yapılmış ve kaydedilmiştir.

Mikrodalga enerjisinden daha iyi yararlanmak ve nem çıkışını kolaylaştırmak amacı ile karaturp dilimleri 4 cm yüksekliğinde tahta çubuklar üzerine yerleştirilmiştir. Deneyle mikrodalga fırının gücü 700 W, 1000 W ve 1400 W güçlerinde ve 0,245 m/dk konveyör hızında yapılmıştır. Kollektör de ısınan havanın sıcaklığı sabit bir değere ulaşana kadar beklenerek sabit bir hızla kurutma odasına iletilmiştir. Deneyle ağustos ayında yapılmış olup, güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanabilmesi için saat 11:00 ile 16:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi ürünün nem içeriği % $12 \pm 0,5$ (y.b.) oluncaya kadar devam edilmiştir ve her 5 dakikada bir ürün ağırlığı hassas terazi ile ölçülerek ürünlerin nem kaybı tespit edilmiştir. Deneyle her ürün için üç kere yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Mikrodalga enerjisi ve konveyörün hızı kontrolü kontrol panosundan yapıldı. Kuruma süresince tüketilen enerji sisteme bağlanan bir sayaç sayesinde ölçüldü.

3.2.1. Ürün neminin belirlenmesi

Deneyle başlamadan önce ürünlerin sahip oldukları başlangıç nemlerinin belirlenebilmesi için her bir dilim kalınlığından 3 er adet numune alüminyum folyo içerisine koyularak 105 °C sıcaklığındaki etüv’de 24 saat süreyle bekletilmiştir. Deneyle kullanılan ürünlerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır (Özel 2010).

$$m_y = \frac{m_s}{(m_s + m_k)} \quad (3.1)$$

Burada:

m_y : yaş baza göre nem içeriği,
 m_s : ürünün yaş kütlesi (g),
 m_k : ürünün kuru kütlesi (g).

Ürünlerin deneyle süresince her beş dakikada bir alınan ağırlık ölçümleri ile kurutma süresince nem içeriklerindeki değişim de aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır (Alibaş 2012).

$$mr = \frac{m - m_e}{m_0 - m_e} \quad (3.2)$$

Burada:

- mr: boyutsuz nem oranı,
- m: ürünün belli bir zamandaki nem içeriği (g.su/g.katı madde),
- m_e: denge nem içeriği,
- m_o: ilk nem içeriği (g.su/g.katı madde).

Mikrodalga fırın için de denge nem içeriği (m_e) sıfır alınmıştır (Maskan, 2000).

$$mr = m / m_o \quad (3.3)$$

3.2.2. Renk tayini

Kurutma deneyinde kurutulan karaturpun renginde gerçekleşen değişiklikleri belirlemek amacıyla renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Eren ve ark. 2005).

$$\Delta L = L_{taze} - L^* \quad (3.4)$$

$$\Delta a = a_{taze} - a^* \quad (3.5)$$

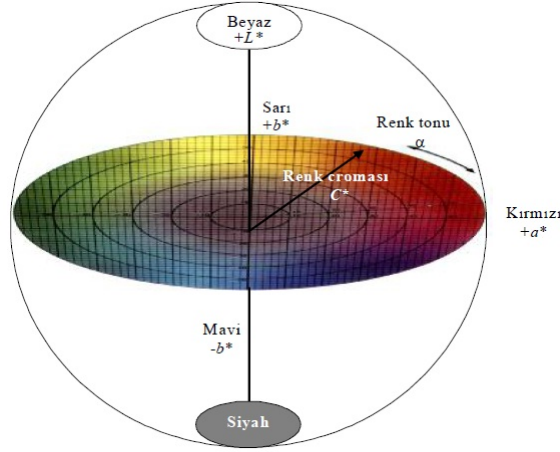
$$\Delta b = b_{taze} - b^* \quad (3.6)$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.7)$$

$$\alpha = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (3.8)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.9)$$

Kurutulan ürünlerdeki renk değişikliklerinin belirlenmesinde toplam renk sapması (ΔE), renk parlaklığı sapması (ΔL), kırmızı renk sapması (Δa), sarı renk sapması (Δb) indisleri kullanılmıştır. Renk kriteri olan L^* (parlaklık) değeridir ve 0-100 arasında bir değer alır. 100 beyazlığı, 0 ise siyahlığı ifade eder. a^* -90 ile +90 arasında değişmekte ve pozitif değerleri kırmızılığı negatif değerleri yeşilliği ifade eder. b^* değeri de -90 ile +90 arasında bir değer alır ve pozitif değerleri sarıyı negatif değerleri maviyi ifade eder. Bu indislerin kurutma sonrası değerlerinin kurutma öncesi değerlere olan yakınlığı bizim için kalite göstergesi olacaktır.



Şekil 3.2. CIE L*,a*,b* renk uzayı (Kuş 2016)

3.2.3. Uygun modelin tespiti

Tablo 3.1 de verilen kurutma modelleri içerisinde bizim ürünümüz için uygun olan model tespiti yapılmıştır. Yapılan deneylerde edilen veriler, modellere ait denklemlerde yerlerine yazılarak gerçek ile model verileri arasındaki grafiksel karşılaştırma yapılmıştır. Standart sapmayı temsil eden (e_s) teorik ve deneysel veriler arasındaki sapmayı gösterir. Standart sapmanın sıfır'a yakın olması modelin etkinliğini göstermektedir. Uyumun iyilik derecesi olan ki-kare(χ^2) değerinin azalması da uyumun arttığının göstergesidir. Korelasyon katsayısı modelin modelleme yeterliliğinin göstergesidir ve 1'e yakın olması modelin kullanılabilirliğini gösterir.

Çizelge 3.1. Kurutma modelleri (Kahveci ve ark. 2008)

<i>Model</i>	<i>Model denklemi</i>
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Two term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$
Logistic	$MR = a_0 / (1 + a \exp(kt))$
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Two term	$mr = a_1 \exp(-k_1t) + a_2 \exp(-k_2t)$
Verma <i>et al.</i>	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$

Ulaşılan sonuçlar diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve sistemin uygunluğu değerlendirilmiştir. Ulaşılan verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel metotlar kullanılmıştır. Doğrusal olmayan regresyon analizi XLSTAT ve EXCEL programları vasıtası ile kuruma sabitleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki eşitlikler ile de uygun modelin bulunmasında kullanılacak karşılaştırma kriterleri hesaplanmıştır.

$$R = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{tah} mr_{den} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{tah} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{den}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{tah})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{tah} \right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{den})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{den} \right)^2}} \quad (3.10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{tah} - mr_{den})^2}{n_o}} \quad (3.11)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{tah} - mr_{den})^2}{n_o - n_c} \quad (3.12)$$

r: korelasyon katsayısı,
 RMSE: standart sapma,
 MSE: ki-kare,
 mr_{den}: deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranı,
 mr_{tah}: uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranı,
 n_o: gözlem sayısı,
 n_c: kurutma modelindeki sabitlerin sayısı,
 n: üs,
 a,n,k,b : kuruma sabitleri,
 t: zaman (h)

3.3. Kollektör Verimliliği

Yapılan deneyler süresince anlık güneş ışık şiddeti CEM marka Bt-185 Model cihaz ile ölçülmüştür. Havalı güneş kolektörünün anlık ısı verimi denklem 3.13 ile hesaplanmıştır. (Bulut ve Durmaz, 2006).

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_c - T_g)}{IA_k} \quad (3.13)$$

Burada \dot{m} kolektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s) C_p havanın özgül ısısı (=1005 J/kg°C), T_c havanın kolektörden çıkış sıcaklığı, T_g havanın kolektöre giriş sıcaklığı, I kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı (W/m^2) ve A_k kolektör yüzey alanıdır. Kütleli debi;

$$\dot{m} = \rho VA_c \quad (3.14)$$

ile hesaplanır. Burada ρ nemli havanın yoğunluğu olup giriş ve çıkış havasının ortalama sıcaklığı ve bağıl neminden tablodan alınmıştır. V , hava akış hızı A_c ise havanın kolektör çıkış kesit alanıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kurutma Davranışları

Deneyler sonucunda farklı güç ve dilimlerde yapılan deneme verileri çizelge 4.1-4.9' da ve Şekil 4.1 – 4.3' de verilmiştir. Bu verilere göre zamanla ürünlerdeki nem miktarının azaldığı görülmüştür. Mikrodalga gücü ve bant hızını sabit tutup dilim kalınlığını arttırdığımızda kurutma süresinin uzadığı görülmüştür. Diğer taraftan dilim kalınlığını sabit tuttuğumuzda ve mikrodalga enerjisini arttırdığımızda kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.1-4.9 incelendiğinde mikrodalga gücünün büyük bir önemi olduğu en kısa zamanın 4 mm dilim kalınlığında 1400 W gücünde 43 dk olarak ölçülmüştür. En uzun kuruma zamanının ise 8 mm dilim kalınlığında 700 W için 82 dk olarak ölçülmüştür. Optimum dilim kalınlığı ve mikrodalga gücü belirlemek için ürünün renk kriteri ve kurutma sisteminin enerji tüketimini de dikkate almak gerekir.

Çizelge 4.1. 4mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 4 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 700 W		Ortalama kurutma havası hızı: 2,61 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	9,113	0,880	1,000
5	8,190	0,866	0,985
10	7,493	0,854	0,970
15	6,933	0,842	0,957
20	6,343	0,827	0,940
25	5,770	0,810	0,921
30	5,132	0,786	0,894
35	4,604	0,762	0,866
40	3,928	0,721	0,820
45	3,404	0,678	0,771
50	2,721	0,597	0,679
55	2,287	0,521	0,592
60	1,811	0,395	0,449
65	1,551	0,293	0,333
70	1,382	0,207	0,235
72	1,241	0,117	0,133

Çizelge 4.2. 6mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulmuş kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 6 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 700 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,61 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	13,863	0,876	1,000
5	12,784	0,866	0,988
10	11,753	0,854	0,975
15	10,885	0,842	0,961
20	10,001	0,828	0,945
25	9,146	0,812	0,927
30	8,414	0,796	0,909
35	7,604	0,774	0,884
40	6,796	0,747	0,853
45	5,884	0,708	0,808
50	4,878	0,648	0,740
55	3,771	0,545	0,622
60	2,766	0,380	0,433
65	2,152	0,203	0,189
70	1,941	0,116	0,132

Çizelge 4.3. 8mm dilimlenerek 700 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 8 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 700 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,61 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	18,392	0,880	1,000
5	16,403	0,866	0,984
10	15,147	0,855	0,971
15	14,101	0,844	0,959
20	13,076	0,832	0,945
25	11,998	0,817	0,928
30	11,215	0,804	0,913
35	10,383	0,788	0,895
40	9,664	0,772	0,877
45	8,960	0,754	0,857
50	8,126	0,729	0,828
55	7,239	0,696	0,791
60	6,246	0,648	0,736
65	4,926	0,553	0,629
70	4,210	0,477	0,542
75	3,213	0,315	0,358
80	2,640	0,167	0,189
82	2,497	0,119	0,135

Çizelge 4.4. 4 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 4 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 1000 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,63 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	9,861	0,880	1,000
5	9,206	0,871	0,990
10	8,261	0,856	0,974
15	7,605	0,844	0,959
20	6,740	0,824	0,937
25	6,183	0,808	0,919
30	5,166	0,770	0,876
35	4,252	0,721	0,820
40	3,315	0,642	0,730
45	2,464	0,519	0,590
50	1,824	0,350	0,398
55	1,540	0,230	0,261
60	1,345	0,118	0,134

Çizelge 4.5. 6 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 6 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 1000 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,63 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	12,945	0,876	1,000
5	12,013	0,867	0,989
10	10,883	0,853	0,973
15	9,866	0,838	0,956
20	8,882	0,820	0,935
25	7,720	0,792	0,904
30	6,627	0,758	0,865
35	5,305	0,698	0,797
40	4,275	0,625	0,714
45	3,114	0,486	0,554
50	2,433	0,341	0,390
55	2,125	0,246	0,280
63	1,818	0,119	0,136

Çizelge 4.6. 8 mm dilimlenerek 1000 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

Dilim kalınlığı: 8 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü: 1000 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,63 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	17,690	0,880	1,000
5	15,654	0,865	0,982
10	13,922	0,848	0,963
15	12,575	0,832	0,945
20	11,366	0,814	0,924
25	10,370	0,796	0,904
30	9,291	0,772	0,877
35	7,990	0,735	0,835
40	7,021	0,699	0,794
45	6,129	0,655	0,744
50	4,721	0,552	0,627
55	3,985	0,469	0,532
60	3,202	0,339	0,385
65	2,654	0,203	0,230
67	2,398	0,118	0,134

Çizelge 4.7. 4mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

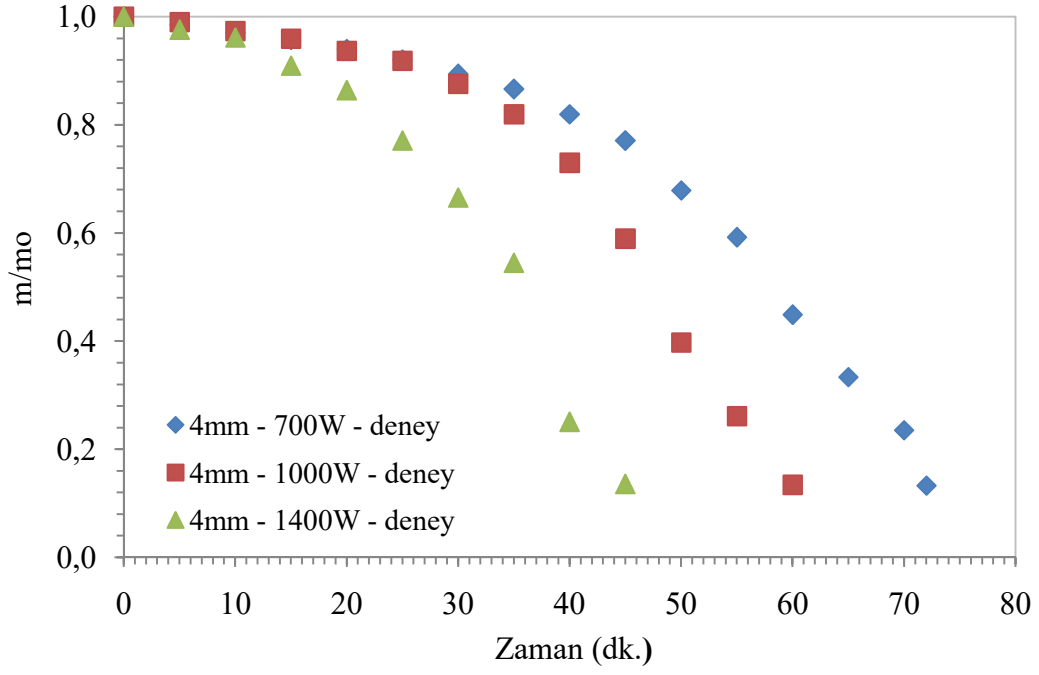
Dilim kalınlığı: 4 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü:1400 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,59 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	11,034	0,856	1,000
5	9,637	0,835	0,976
10	8,990	0,823	0,962
15	7,180	0,778	0,909
20	6,104	0,739	0,864
25	4,680	0,660	0,771
30	3,698	0,569	0,666
35	2,983	0,466	0,545
40	2,026	0,214	0,250
43	1,801	0,116	0,136

Çizelge 4.8. 6mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

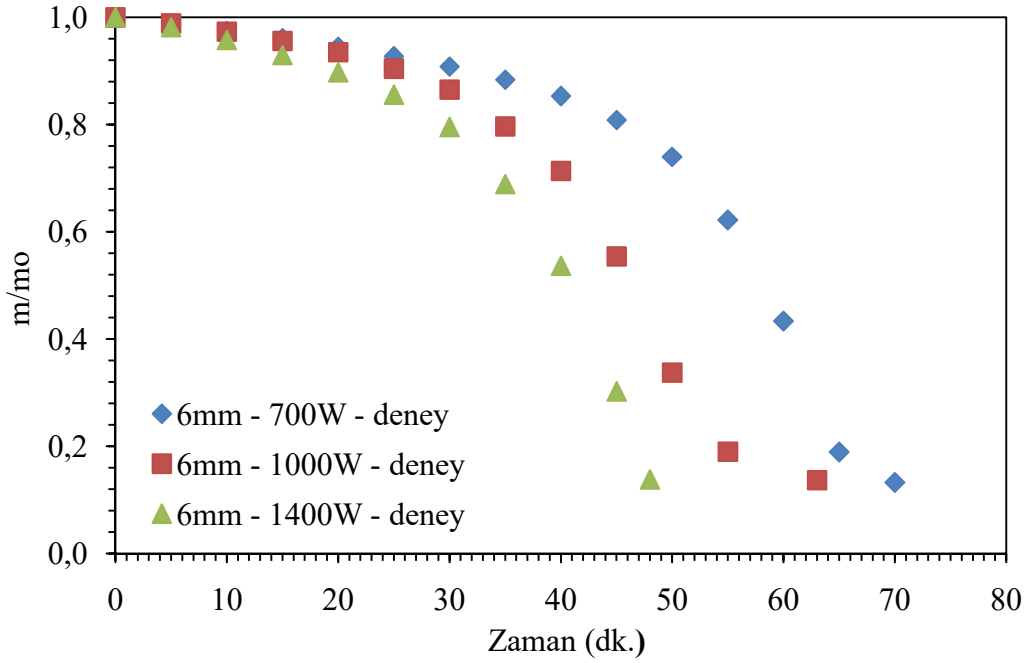
Dilim kalınlığı: 6 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü:1400 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,59 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	13,268	0,860	1,000
5	11,923	0,844	0,982
10	10,540	0,824	0,958
15	9,274	0,799	0,930
20	8,150	0,772	0,898
25	7,033	0,736	0,855
30	5,882	0,684	0,795
35	4,567	0,593	0,689
40	3,455	0,462	0,537
45	2,512	0,260	0,302
48	2,110	0,118	0,138

Çizelge 4.9. 8mm dilimlenerek 1400 W güçte kurutulan kara turpun kuruma sonuçları

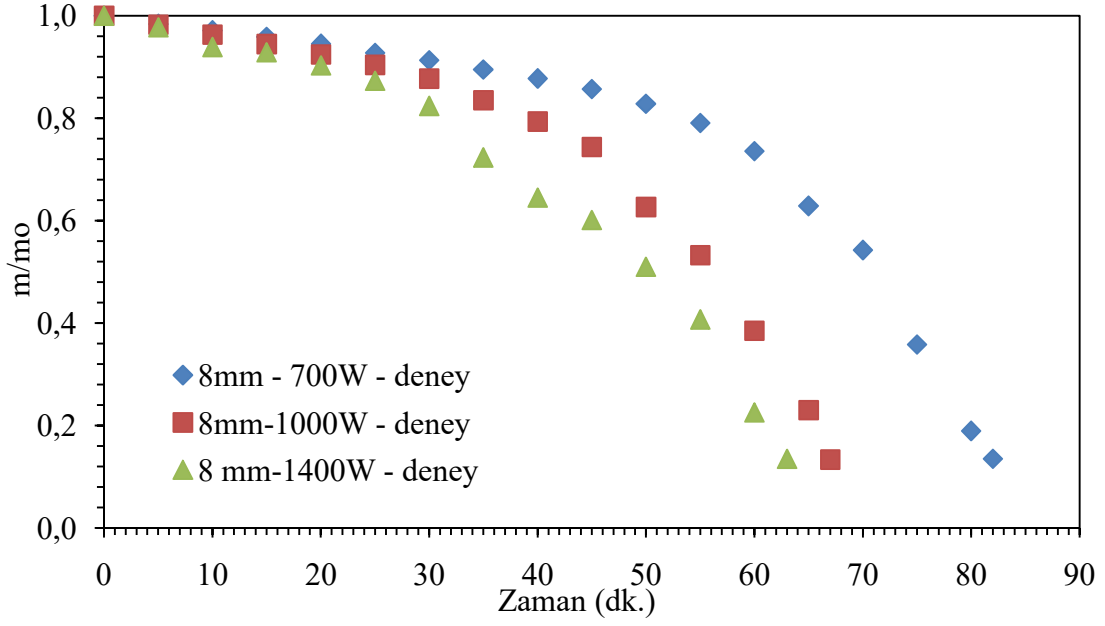
Dilim kalınlığı: 8 mm		Dış ortam sıcaklığı: 31,1 °C	Bant Hızı: 0,245 m/dk
Mikrodalga Gücü:1400 W		Ortalama kurutma havası hızı : 2,59 m/s	
Zaman (dk.)	$M_y(g)$	$m_y(g_{su}/g_{yaş\ madde})$	m/m_o
0	11,640	0,863	1,000
5	10,212	0,843	0,978
10	8,393	0,809	0,938
15	8,050	0,801	0,929
20	7,242	0,779	0,903
25	6,481	0,753	0,873
30	5,520	0,710	0,823
35	4,248	0,624	0,723
40	3,605	0,556	0,645
45	3,323	0,519	0,601
50	2,855	0,440	0,510
55	2,463	0,351	0,407
60	1,986	0,195	0,226
63	1,810	0,117	0,135



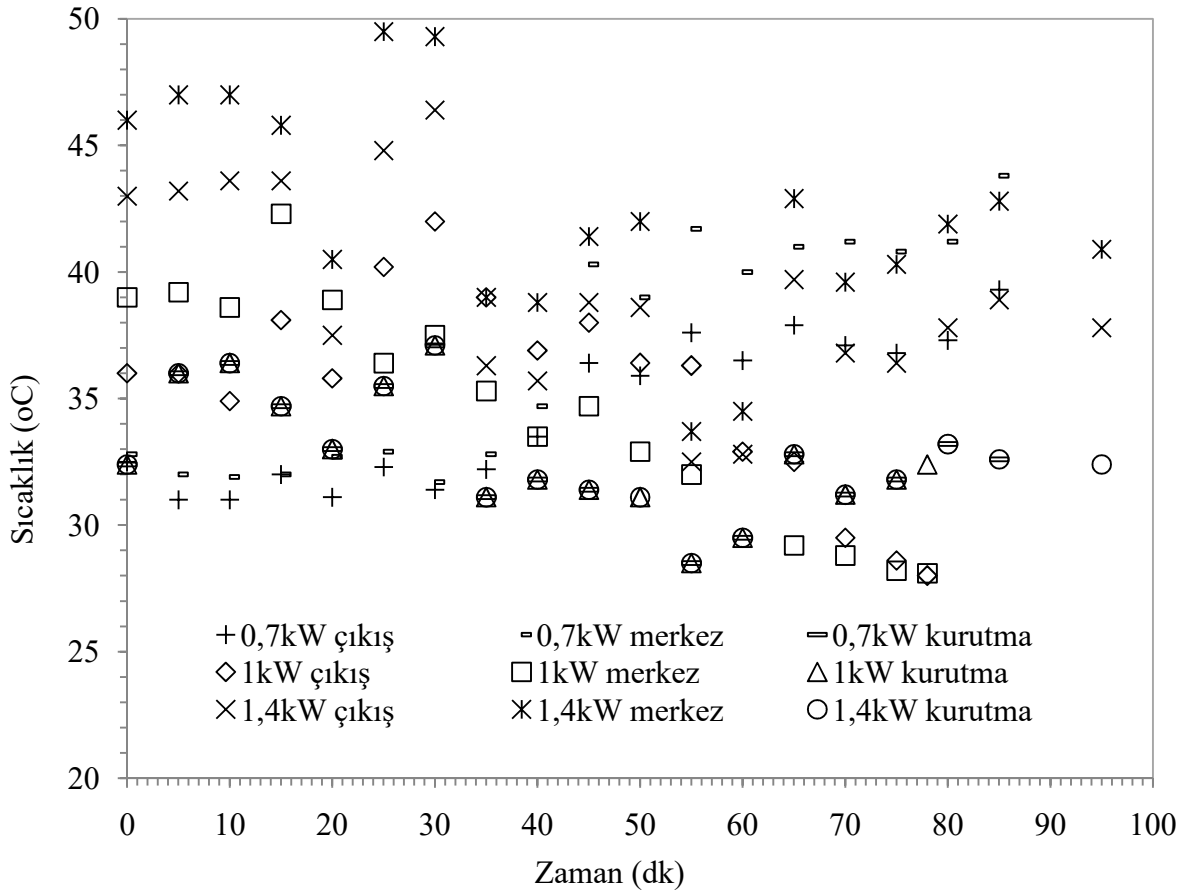
Şekil 4.1. 4 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.



Şekil 4.2. 6 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.



Şekil 4.3. 8 mm kalınlığındaki turp diliminin farklı mikrodalga güçlerindeki zamana bağlı kuruma eğrileri.



Şekil 4.4 Güneş kolektörü merkez noktası (merkez), güneş kolektörü çıkış (çıkış) ve tünele girişteki kurutma (kurutma) sıcaklıklarının zamanla değişimi

4.2. Renk Parametreleri Sonuçları

Tüm ürünlerin, kurutma işlemi öncesi ve sonrası renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla renk ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilerek elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Mikrodalga güneş kombinasyonlu bantlı kurutucuda kurutulan turp dilimlerinin renk parametreleri çizelge 4.10 da gösterilmiştir. Taze ürünlerin renk parametreleri ile kurutulan ürünlerin renk parametreleri karşılaştırılarak renk kayıpları bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Renk parametreleri sonuçları

Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
4 mm kabak dilimi	73,07	4,36	10,60						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 700 W	77,97	2,53	15,32	15,52	1,41	1,84	-4,72	-4,90	7,05
Renk parametreleri									
6 mm kabak dilimi	72,62	4,92	10,02						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 700 W	80,34	12,49	17,05	21,14	0,94	-7,57	-7,03	-7,72	12,90
Renk parametreleri									
8 mm kabak dilimi	71,65	5,69	11,18						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 700 W	75,77	1,41	10,73	10,83	1,44	4,28	0,45	-4,12	5,95
Renk parametreleri									
4 mm kabak dilimi	75,36	4,27	5,65						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1000 W	89,01	11,86	16,72	20,50	0,95	-7,59	-11,07	-13,65	19,14

Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
6 mm kabak dilimi	70,97	3,12	3,70						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1000 W	83,94	9,01	16,67	18,95	1,08	-5,89	-12,97	-12,97	19,27
Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
8 mm kabak dilimi	72,31	2,75	4,41						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1000 W	81,82	4,45	13,97	14,66	1,26	-1,70	-9,56	-9,51	13,59
Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
4 mm kabak dilimi	78,45	1,68	5,06						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1400 W	72,56	4,01	21,77	22,14	1,39	-2,32	-16,72	5,89	17,87
Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
6 mm kabak dilimi	78,48	2,29	5,90						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1400 W	70,64	5,65	27,00	27,58	1,36	-3,36	-21,10	7,84	22,76
Renk parametreleri	L*	a*	b*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
8 mm kabak dilimi	76,76	1,14	5,10						
Bant Hızı - Mikrodalga Gücü									
0.245 m/dk. - 1400 W	78,14	12,12	37,89	39,78	1,26	-10,98	-32,79	-1,38	34,61

Çizelge 4.10 incelendiğinde 1400 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işlemlerinde parlaklık parametresi (ΔL) göz önüne alındığında diğer güçler ile yapılan

deneylere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. En iyi sonuca 1400 W mikrodalga gücü ve 4 mm dilim kalınlığı ile ulaşılmıştır. Kuruma sonucu meydana gelen değişim şekil 4.1 de görülmektedir. Fakat bizim için toplam renk kriterine (ΔE) göre en uygun değer 8 mm dilim kalınlığı ve 700 W mikrodalga gücünde elde edilmiştir.

4.3. Enerji Tüketim Değerleri

Kurutma deneyleri süresince enerji tüketimine neden olan, fırının bantını hareket ettiren elektrikli motor, magnetronlar ve güneş kolektöründeki fana ait elektrik tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır. Tüketim değerlerinin toplamı ölçülmüştür. Kayıt edilen enerji tüketim değerleri her bir dilim kalınlığı ve mikrodalga güç değeri için çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Enerji tüketim değerleri

	Toplam Süre (dk)	Enerji Tüketimi (kWh)
4mm, 0,245 m/dk 700 W	72	1,195
6mm, 0,245 m/dk 700 W	75	1,245
8mm, 0,245 m/dk 700 W	82	1,361
4mm, 0,245 m/dk 1000 W	60	1,155
6mm, 0,245 m/dk 1000 W	63	1,213
8mm, 0,245 m/dk 1000 W	65	1,252
4mm, 0,245 m/dk 1400 W	43	0,980
6mm, 0,245 m/dk 1400 W	48	1,094
8mm, 0,245 m/dk 1400 W	63	1,436

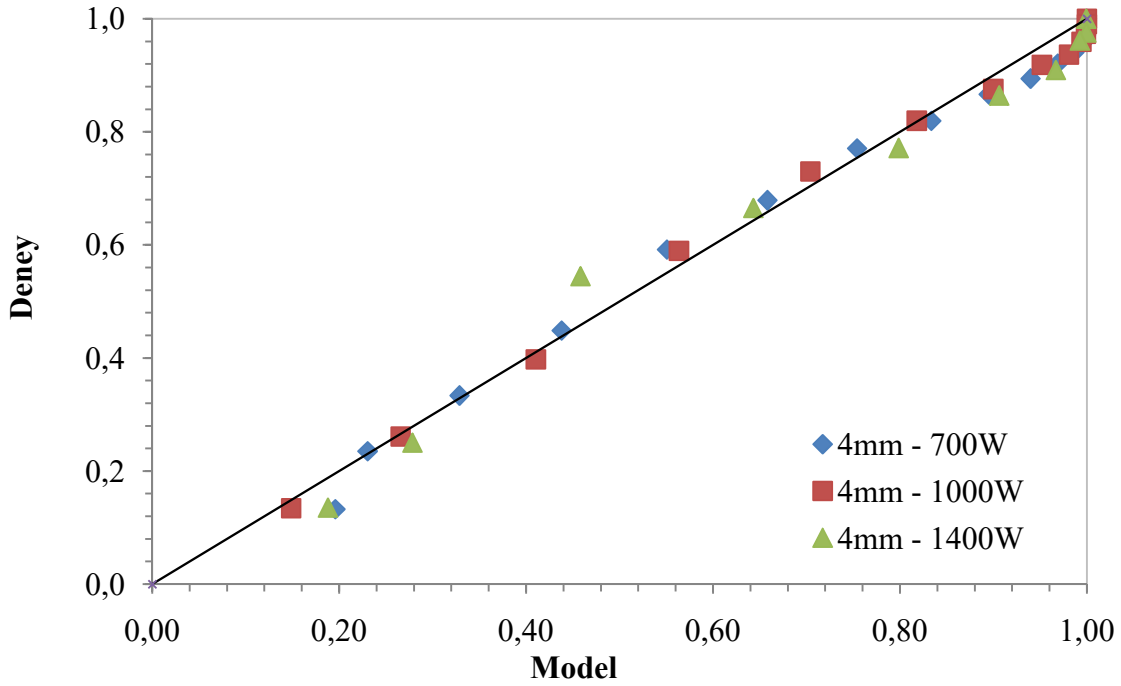
4.4. Kuruma Davranışlarının Modellenmesi ve Uygun Model Seçimi

Çizelge 4.12. 4 mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Mikrodalga Gücü	Sabitler	R ²	MSE	RMSE
Newtoon	700 W	k : 0,09	0,816	0,020	0,140
	1000 W	k : 0,013	0,795	0,033	0,181
	1400 W	k : 0,019	0,822	0,032	0,178
Page	700 W	k : $1,9 \cdot 10^{-7}$ n : 3,729	0,990	0,001	0,036
	1000 W	k : $7,2 \cdot 10^{-8}$ n : 4,174	0,995	0,001	0,027
	1400 W	k : $1,5 \cdot 10^{-6}$ n : 3,700	0,980	0,003	0,052
Henderson & Pabis	700 W	k : 0,015 a : 1,230	0,777	0,020	0,142
	1000 W	k : 0,019 a : 1,259	0,758	0,024	0,156
	1400 W	k : 0,028 a : 1,282	0,786	0,024	0,154
Wang & Singh	700 W	a : 0,003 b : $-1,9 \cdot 10^{-4}$	0,989	0,001	0,032
	1000 W	a : 0,005 b : $-3,2 \cdot 10^{-4}$	0,987	0,001	0,036
	1400 W	a : 0,005 b : -0,001	0,986	0,002	0,040
Two term exponential	700 W	k : -0,048 a : -0,025	0,995	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0,022
	1000 W	k : -0,060 a : -0,023	0,983	0,002	0,042
	1400 W	k : -0,080 a : -0,026	0,995	0,001	0,023
Logarithmic	700 W	k : $1,8 \cdot 10^{-4}$ a : 55,978 ao : -54,885	0,877	0,015	0,121
	1000 W	k : $6,1 \cdot 10^{-5}$ a : 251,366 ao : -250,149	0,864	0,015	0,122
	1400 W	k : $1,7 \cdot 10^{-4}$ a : 111,659 ao : -110,499	0,888	0,015	0,123
Logistic	700 W	k : 0,104 a : 0,002 ao : 0,961	0,995	0,001	0,023
	1000 W	k : 0,139 a : 0,001 ao : 0,970	0,998	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,014
	1400 W	k : 0,180 a : 0,002 ao : 0,950	0,950	0,002	0,045
Midilli et al.	700 W	a : 1,211 k : $3,4 \cdot 10^{-18}$ n : 9,068 b : -0,011	0,954	0,007	0,081
	1000 W	a : 1,251 k : $2,9 \cdot 10^{-13}$ n : 6,721 b : -0,014	0,943	0,010	0,100
	1400 W	a : 1,218 k : $4,9 \cdot 10^{-22}$ n : 12,577 b : -0,021	0,950	0,009	0,095
Two term	700 W	a1 : 61,051 k1 : 0,041 a2 : -60,310 k2 : 0,042	0,915	0,009	0,097

	1000 W	a1 : 44,853 a2 : -44,261	k1 : 0,052 k2 : 0,054	0,908	0,012	0,110
	1400 W	a1 : 16,849 a2 : -16,293	k1 : 0,070 k2 : 0,080	0,914	0,014	0,117
	700 W	a : -17,912 g : 0,035	k : 0,038	0,889	0,011	0,105
Verma et al.	1000 W	a : 1,259 g : 28,477	k : 0,019	0,758	0,027	0,165
	1400 W	a : 2,743 g : 0,019	k : 0,019	0,822	0,042	0,206

Sonuçlar incelendiğinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu gösteren model R^2 değerleri 700 W için 0,995; 1000 W için 0,983; 1400 W için 0,995 ve MSE değerleri 700 W için $4,6 \cdot 10^{-4}$; 1000 W için 0,002; 1400 W için 0,001 olduğu görülen Two term exponential modelidir. Model sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırıldığı kuruma eğrileri şekil 4.5’ de verilmiştir.



Şekil 4.5. 4 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Two term exponential modeline bağlı kuruma eğrileri

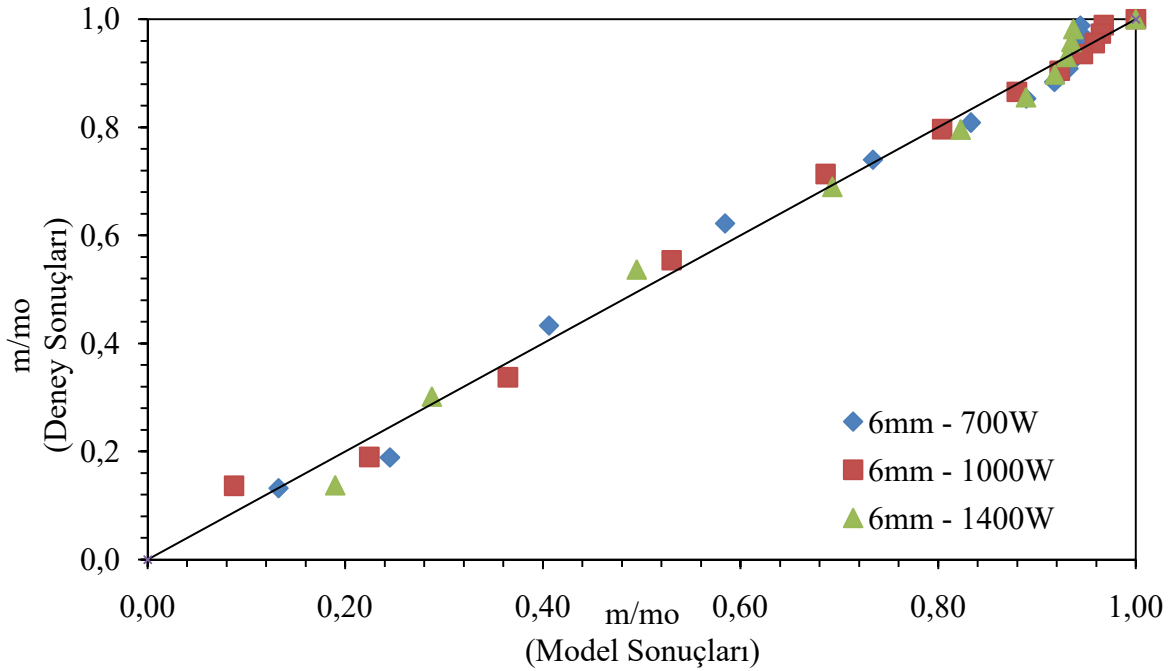
Şekil 4.5’ de görüldüğü gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında yüksek bir uyumluk gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.13. 6 mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Mikrodalga Gücü		Sabitler	R ²	MSE	RMSE
Newtoon	700 W	k : 0,010		0,725	0,035	0,187
	1000 W	k : 0,013		0,811	0,035	0,186
	1400 W	k : 0,015		0,782	0,031	0,177
Page	700 W	k : 7,3*10 ⁻¹⁰	n : 5,111	0,983	0,002	0,049
	1000 W	k : 1,7*10 ⁻⁷	n : 3,970	0,989	0,001	0,038
	1400 W	k : 1,2*10 ⁻⁷	n : 4,217	0,981	0,003	0,051
Henderson & Pabis	700 W	k : 0,014	a : 1,226	0,691	0,028	0,169
	1000 W	k : 0,020	a : 1,274	0,772	0,025	0,159
	1400 W	k : 0,022	a : 1,249	0,748	0,025	0,157
Wang & Singh	700 W	a : 0,005	b : -2,4*10 ⁻⁴	0,957	0,004	0,064
	1000 W	a : 0,003	b : -2,8*10 ⁻⁴	0,967	0,004	0,060
	1400 W	a : 0,006	b : -4,6*10 ⁻⁴	0,976	0,003	0,050
Two term exponential	700 W	k : -0,060	a : -0,014	0,980	0,002	0,042
	1000 W	k : -0,048	a : -0,044	0,946	0,006	0,080
	1400 W	k : -0,081	a : -0,017	0,999	6,4*10 ⁻⁵	0,008
Logarithmic	700 W	k : 4,2*10 ⁻⁴	a : 33,827 ao : -32,533	0,790	0,023	0,152
	1000 W	k : 0,002	a : 11,025 ao : -9,774	0,874	0,015	0,124
	1400 W	k : 2,7*10 ⁻⁴	a : 56,294 ao : -55,189	0,846	0,020	0,141
Logistic	700 W	k : 0,153	a : 1,3*10 ⁻⁴ ao : 0,944	0,989	0,001	0,033
	1000 W	k : 0,139	a : 0,002 ao : 0,971	0,994	0,001	0,028
	1400 W	k : 0,185	a : 0,001 ao : 0,938	0,988	0,001	0,037
Midilli et al.	700 W	a : 1,281 n : 5,223	k : 5,03*10 ⁻¹¹ b : -0,013	0,883	0,018	0,133
	1000 W	a : 1,252 n : 2,029	k : 9,5*10 ⁻⁶ b : -0,016	0,888	0,016	0,126
	1400 W	a : 1,207 n : 15,227	k : 5,4*10 ⁻²⁷ b : -0,017	0,938	0,010	0,098
Two term	700 W	a1 : 10,883 a2 : -10,155	k1 : 0,038 k2 : 0,045	0,847	0,017	0,132
	1000 W	a1 : 20,007 a2 : -19,349	k1 : 0,051 k2 : 0,057	0,916	0,012	0,110

	1400 W	a1 : 13,581 a2 : -12,951	k1 : 0,058 k2 : 0,068	0,885	0,015	0,123
Verma et al.	700 W	a : 1,764 g : 0,010	k : 0,010	0,725	0,041	0,203
	1000 W	a : 4,093 g : -0,017	k : -0,012	0,960	0,005	0,070
	1400 W	a : 1,523 g : 0,015	k : 0,015	0,781	0,040	0,201

Sonuçlarda incelendiğinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu gösteren model R^2 değerleri 700 W için 0,989; 1000 W için 0,994; 1400 W için 0,988 ve MSE değerleri 700 W için 0,001 ; 1000 W için 0,001; 1400 W için 0,001 olduğu görülen Logistic modelidir. Model sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırıldığı kuruma eğrileri şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. 6 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Logistic modeline bağlı kuruma eğrileri

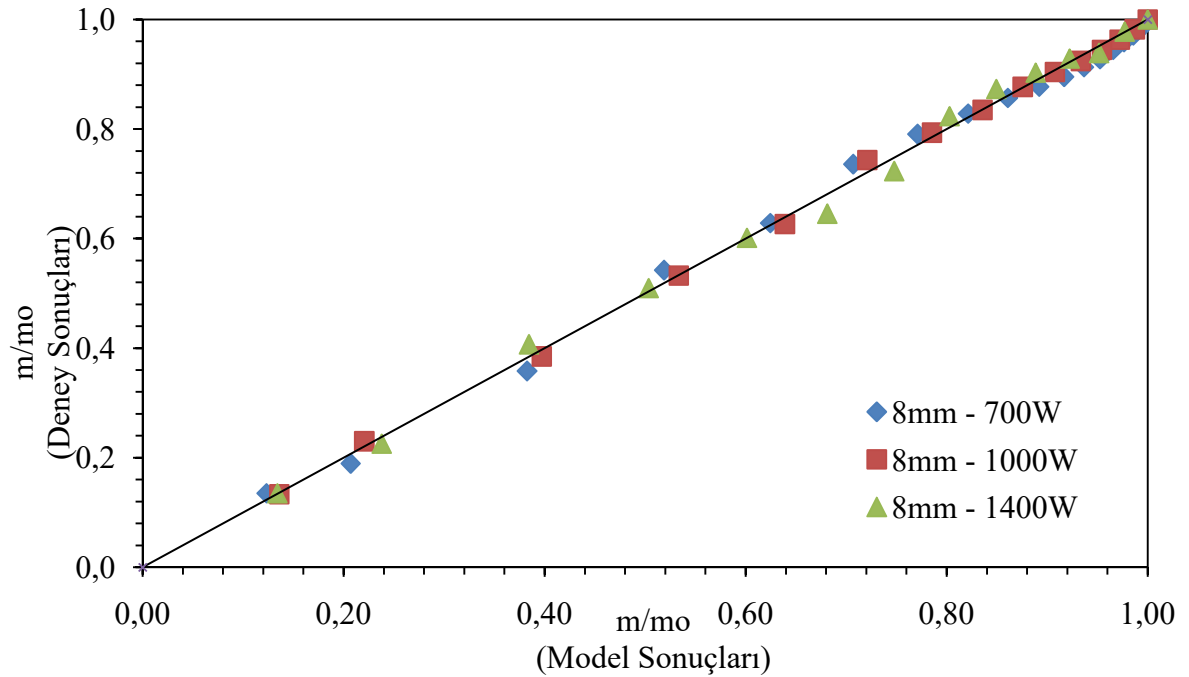
Şekil 4.6' da görüldüğü gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında tam bir uygunluk gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.14. 8 mm karaturp kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Mikrodalga Gücü	Sabitler	R ²	MSE	RMSE
Newtoon	700 W	k : 0,008	0,727	0,029	0,172
	1000 W	k : 0,011	0,794	0,027	0,163
	1400 W	k : 0,014	0,858	0,020	0,142
Page	700 W	k : $1,3 \cdot 10^{-9}$ n : 4,749	0,976	0,003	0,055
	1000 W	k : $1,8 \cdot 10^{-7}$ n : 3,793	0,981	0,002	0,048
	1400 W	k : $1,2 \cdot 10^{-5}$ n : 2,823	0,978	0,002	0,047
Henderson & Pabis	700 W	k : 0,012 a : 1,196	0,698	0,024	0,156
	1000 W	k : 0,016 a : 1,218	0,763	0,021	0,144
	1400 W	k : 0,019 a : 1,214	0,831	0,015	0,122
Wang & Singh	700 W	a : 0,004 b : $-1,6 \cdot 10^{-4}$	0,954	0,004	0,063
	1000 W	a : 0,003 b : $-2,2 \cdot 10^{-4}$	0,981	0,002	0,042
	1400 W	a : $-2,5 \cdot 10^{-4}$ b : $2,0 \cdot 10^{-4}$	0,991	0,001	0,028
Two term exponential	700 W	k : -0,052 a : -0,012	0,996	$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,020
	1000 W	k : -0,054 a : -0,022	0,999	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,010
	1400 W	k : -0,045 a : -0,047	0,996	$3,6 \cdot 10^{-4}$	0,019
Logarithmic	700 W	k : $3,0 \cdot 10^{-4}$ a : 36,515 ao : -35,263	0,792	0,019	0,139
	1000 W	k : $1,4 \cdot 10^{-4}$ a : 76,723 ao : -75,610	0,861	0,014	0,120
	1400 W	k : $2,7 \cdot 10^{-4}$ a : 50,138 ao : -48,993	0,921	0,007	0,086
Logistic	700 W	k : 0,123 a : $1,7 \cdot 10^{-4}$ ao : 0,933	0,986	0,001	0,035
	1000 W	k : 0,118 a : 0,001 ao : 0,944	0,989	0,001	0,032
	1400 W	k : 0,095 a : 0,010 ao : 0,964	0,984	0,002	0,039
Midilli et al.	700 W	a : 1,171 k : $1,03 \cdot 10^{-21}$ n : 10,789 b : -0,008	0,964	0,005	0,072
	1000 W	a : 1,208 k : $8,03 \cdot 10^{-22}$ n : 11,238 b : -0,012	0,958	0,007	0,081
	1400 W	a : 1,207 k : $2,3 \cdot 10^{-7}$ n : 3,130 b : -0,014	0,945	0,008	0,087
Two term	700 W	a1 : 15,314 k1 : 0,031 a2 : -14,558 k2 : 0,036	0,846	0,015	0,121

	1000 W	a1 : 25,005 a2 : -24,293	k1 : 0,042 k2 : 0,045	0,897	0,011	0,105
	1400 W	a1 : 41,627 a2 : -40,833	k1 : 0,046 k2 : 0,048	0,939	0,007	0,082
Verma et al.	700 W	a : 0,626 g : 0,008	k : 0,008	0,727	0,034	0,184
	1000 W	a : 20,989 g : 0,039	k : 0,036	0,871	0,013	0,112
	1400 W	a : 2,944 g : 0,014	k : 0,014	0,858	0,024	0,156

Sonuçlarda incelendiğinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu gösteren model R^2 değerleri 700 W için 0,996; 1000 W için 0,999; 1400 W için 0,996 ve MSE değerleri 700 W için $3,9 \cdot 10^{-4}$; 1000 W için $1,0 \cdot 10^{-4}$; 1400 W için $3,6 \cdot 10^{-4}$ olduğu görülen Two term exponential modelidir. Model sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırıldığı kuruma eğrileri şekil 4.7’ de verilmiştir.



Şekil 4.7. 8 mm dilim kalınlığı ile 700 W, 1000 W ve 1400 W güç için deneysel ve model verilerinin Two term exponential modeline bağlı kuruma eğrileri

Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında tam bir uygunluk gerçekleşmiştir.

4.5.Kollektör Verimi

3.Bölümde solar enerji başlığı altında verilen 3.13 ve 3.14 formülleri yardımı ile aşağıdaki hesaplamalar yapılarak kollektör verimi bulunmuştur. Yapılan deneyler süresince anlık güneş ışık şiddeti ölçülmüş ve ortalama 1002 W/m^2 olarak bulunmuştur. Kollektörün anlık ısı veriminin hesaplanması için ihtiyaç duyulan kütleli debi formül 3.14 yardımı ile hesaplanarak ortalama olarak $0,04274 \text{ kg/s}$ bulunmuştur. Havalı güneş kollektörünün anlık ısı verimi % 24,3 hesaplanmıştır. Bulut ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada kullandıkları kollektörün verimini % 53 olarak bulmuştur. Aktaş ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada kullandıkları kollektörün verimini % 56,7 olarak hesaplamışlardır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmamızda, ürünün $12\pm 0,5$ (y.b.) seviyelerine kadar kurutulmasında, kurutma işlemi için güneş enerjisi ile kollektör de ısıtılmış sıcak havanın mikrodalga tünel fırının içine üflendiği sistem kullanılmış, renk kalitesi, kuruma süresi ve enerji tüketim parametreleri incelenmiştir. En kısa sürede kuruma tüm dilim kalınlıkları için 1400 W mikrodalga gücünde gerçekleşirken, enerji tüketiminde de en düşük tüketim değerlerine yine 1400 W mikrodalga gücünde ulaşılmış, tüketimin dilim kalınlıklarına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Kurutulan turp dilimlerinin renk parametreleri incelendiğinde 700 W mikrodalga gücü ile yapılan kurutma işleminde elde edilen sonuçların ürünün taze rengine en yakın değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Mikrodalga gücü arttıkça renk kalitesinde azalma ve yüzey deformasyonlarında artış görülmüştür. Ayrıca dilim kalınlığının azalması da renk kalite parametrelerini olumsuz etkilemektedir.

Kuruma modelindeki kuruma katsayıları, mikrodalga gücü etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen kuruma modellerinin katsayılarını mikrodalga gücüne bağlı olarak en yüksek r değeri ile tahminleyen 3 terimli modeller oluşturulmuştur. Analizler sonucunda yapılan tüm deneylerde kurutma kinetiklerini en iyi tahminleyen modellerin, 4mm ve 8 mm kalınlık için two term exponential modeli, 6 mm kalınlık için ise logistics modeli olduğu belirlenmiştir.

Tasarladığımız kurutma sisteminin diğer güneş enerjili sistemlere göre daha fazla havayı ısıtıp kurutma odasına gönderebilmekteyiz. Çalışmamızı yaptığımız ortam şartlarında kollektör verimini % 24,3 olarak hesapladık. Kurutma sisteminin daha iyi yalıtılması ve durgun dış hava şartlarında kurutma işleminin yapılması durumunda verim artacaktır.

Yapılan incelemelerde mikrodalga bantlı kurutucuda mikrodalga gücünün artması kurutma süresini kısaltırken renk parametrelerinin kötüleşmesine sebep olmaktadır. Mikrodalga gücünün alt seviyede tutularak güneş enerjisinden maksimum fayda sağlamak için yılın güneşli günlerinde, güneşlenme saatlerinde kurutma yapılması kuruma süresini kısaltacağı ve renk kalite değerlerini düşürmeyeceği söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akan S., Veziroğlu S., Özgün Ö. Ve Ellialtıoğlu Ő. (2013). Turp (*Raphanus sativus* L.) Sebzesinin Fonksiyonel Gıda Olarak Değerlendirilmesi. YYÜ Tar. Bil. Dergisi, 23(3) : 289-295.
- Aktaş M., Şevik S., Doğan H. Ve Öztürk M. (2012). Fotovoltaik ve Termal Güneş Enerjili Sürekli Bir Kurutucuda Domates Kurutulması. Tarım Bilimleri Dergisi, 18 (2012) : 287-298
- Aktaş M. Ve Kara M.Ç. (2013). Güneş Enerjisi Ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 28, No 4 : 733-741
- Alibaş İ. (2012). Asma Yaprağının (*Vitis vinifera* L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 18(2012): 43-53
- Bingöl G. Ve Devres Y.O. (2010). Üzümlerin Mikrodalga Kurutma Eğrilerinin Ve Sıcaklık Değişiminin Matematiksel Modellenmesi. İtü Dergisi/d Mühendislik Cilt 9, Sayı 4 : 63-71
- Bulut, H. And Durmaz, A. F. (2006). Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi, UGHEK'2006: I. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi 21-23 haziran 2006, ESOGÜ, EskiŐehir.
- Çalışkan K (2002). Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ceylan İ., Aktaş M. Ve Doğan H., (2006). Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması. Politeknik Dergisi, Cilt 9, Sayı 4 : 289-294
- Çelen S (2010). Mikrodalga ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Çelen İ.H., Çelen S., Moralar A., BuluŐ H.N., Ve Önler E. (2015). Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Patatesin Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Electronic Journal of Vocational Colleges-Special Issue: The Latest Trends in Engineering : 57-69
- Çelen S., Kahveci K., Akyol U. Ve Moralar A. (2013). Drying Behaviour Of Tomato Slices Under Vacuum Conditions. Termotehnica Supliment 1 : 58-65
- Doğan H. (1999). Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Kurutma. Pamukkale Üni. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 5, Sayı 1 : 921-925
- Eren Ö., Soysal Y., Öztekin S. Ve Doğantan. Z.S. (2005). Mikrodalga Sistemi İle DonatılmıŐ Bir Bantlı Kurutucuda Maydanoz Kurutulması. III Tarımsal Ürünleri Kurtarma ÇalıŐtay, 2-4 mayıs 2005 :13-25
- Erdem T (2007). Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Gölcü M. Ve Şen F. (2014). Mikrodalga İle Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 20, Sayı 4 : 111-115
- Gülmen M. (2011). Medikal Alanda Kullanılan LiF:Mg,Ti (Tld-100)'Nin Dozimetrik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Gümüşderelioğlu M. Ve Kaynak G. (2012). Mikrodalgalara Ve Uygulamaları. Bilim Ve Teknik Temmuz 2012 : 38-42
- Günerhan H. (2005). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, sayı 36(13), 1-10.
- Güngör A., Hepbaşı A. Ve Günerhan H. (2014). Gaz Tahrikli Isı Pompalarının Kurutmada Kullanımının Deneysel İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı 142: 32-41
- Gürses Ö.L. (1986). Gıda İşleme Mühendisliği – II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 132, Ankara.
- Kahveci K ve Cihan A (2008). Drying of food materials: transport phenomena. Hauppauge, NY: Nova Science.
- Karaaslan S (2008). Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karaaslan S. Ve Tunçer İ.K. (2009). Kırmızıbiberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 12(2) : 9-16
- Kavak Akpınar E. Ve Biçer Y. (2003). Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(1) : 159-169
- Kuş S. (2016). Mikrodalga Enerjisiyle Ayva ve Armut Meyvesinin Kuruma Davranışı ve Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Maskan M. (2000). Microwave / Air and Microwave Finish Drying Of Banana. Journal of Food Engineering, 44 : 71-78
- Nasıroğlu Ş (2007). Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması. Y. Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Olgun H. Ve Rzayev P. (2000). Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi İle Kurutulması. Tr J Engin Environ Sci 24: 1-14 @Tübitak
- Özel Ö.F. (2010). Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Özkan Karabacak A., Özcan Sınır. Ve Suna S. (2015). Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 29, Sayı 2, :125-135
- Sarı A. O., Oğuz B., Bilgiç., Tort N., Güvensen A. Ve Şenol S.G. (2010). Ege Ve Güney Marmara Bölgelerinde Halk İlacı Olarak Kullanılan Bitkiler. Anadolu J. Of Aarı, 20(2) 2010 : 1 – 21
- Şevik S., Aktaş M., Doğan H. Ve Yılmaz A. (2014). Küçük Ölçekli Sera Tipi Bir Kurutucuda Kırmızı Biber Kurutulmasının Termoekonomik Analizi. Politeknik Dergisi, Cilt 17, Sayı 4 :143-152
- Tarhan S., Ergüneş G. Ve Tekelioğlu O. (2007). Tarımsal Ürünler İçin Güneş Enerjili Kurutucuların Tasarım ve İşletme Esasları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 99 : 26-32
- Toraman Ö.Y. Ve Depçi T. (2007). Kömürde Mikrodalga İle Ön İşlem Uygulamaları. Madencilik, Cilt 46, Sayı 3 : 43-53
- Uçar i. (2013). Yetiştigi / Geldiği Coğrafya Veya Etnik Adlandırmayla Oluşturulan Bitki Adları. Zeitschrift für die Welt der Türken Journal of World of Turks, Vol 5, No 1 : 115-135
- Uslu M.K. Ve Certel M. (2006). Dielektrik Isıtma Ve Gıda İşlemede Kullanımı. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006(3) : 61-69
- Zielinska M., Zapotoczny P., Alves-Filho O., Eikevik T.M., Blaszcak W. (2013). A Multi-Stage Combined Heat Pump And Microwave Vacuum Drying Of Green Peas. Journal Of Food Engineering, 115 : 347-356

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Akif KARATAŞER 1983 yılının mart ayında İstanbul'un Eyüp ilçesinde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Eyüp' de tamamladıktan sonra 2000 yılında üniversite eğitimi için Niğde iline gitti. 2005 yılında Niğde Üniversitesi mühendislik mimarlık fakültesi Makine mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2006 yılında başlayan askerlik görevini 2007 yılında Dnz. Müh. Teğmen rütbesi ile tamamladı. Özel sektörde çeşitli firmalarda çalıştı. 2016 yılında Namık Kemal Üniversitesi'nde makine bölümünde öğretim görevlisi olarak başladığı görevine halen devam etmektedir. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır.