T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANTARIN KURUTULMASINDA KURUTMA YÖNTEMİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

BURAK ENGÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANTARIN KURUTULMASINDA KURUTMA YÖNTEMİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Burak Engür tarafından hazırlanan tez çalışması 25.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi İlknur KÜÇÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi M. Bora AKIN

Çankırı Karatekin Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a eğitimlerimin başından sonuna kadar verdiği tüm destekleri ve sonsuz yardımları için özel teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bu projeyle bu laboratuvarda çalışma şansı verdiği için ve her zaman ihtiyacım olan her şeye sahip olduğumdan emin olmak için deneylerimin her adımında bana göz kulak olmaktan dolayı tekrardan çok teşekkür ederim.

Melisa İŞSEVER, Elif Özenç KOLUAÇIK ve Barış DİLER'e arkadaşlıklarından ve yardımlarından dolayı teşekkür etmek istiyorum.

Sevgili Eşim Ayla Gözde KİPER ENGÜR'e, bu süreçte her zaman yanımda olduğu ve gerekli özveriyi gösterdiği için ayrıca teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, hayatımda her zaman yanımda olan aileme en derin minnettarlığımı ifade etmek istiyorum. Herşey için çok teşekkürler.

Ekim, 2019

Burak ENGÜR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2 4

KURUTMA 4

2.1 Kurutma Sistemleri 4
2.1.1 Güneşte Kurutma 5
2.1.2 İndirekt Solar Kurutma 5
2.1.3 Hava Üflemeli Kurutma 6
2.1.3.1 Fırın Kurutucular 6
2.1.3.2 Kabin Kurutucular 6
2.1.3.3 Tünel Kurutucu 7
2.1.3.4 Bant Tipi Kurutucu 8
2.1.3.5 Püskürtmeli Kurutucular 8
2.1.3.6 Sandık Kurutucular 8
2.1.3.7 Akışkan Yatak Kurutucular 8
2.1.4 Vakum Kurutma 9
2.1.5 Mikrodalga Kurutucu 10

2.1.6 Dondurucu Kurutucu 10
2.1.6.1 Mantarda Dondurarak Kurutma 11
2.1.7 Infrared Kurutucu 12
2.2 Kurutma Sistemi Aşamaları 12
2.3 Mantar Kurutulmasına Etki Eden Faktörler 13
2.3.1 Sıcaklık 14
2.3.2 Kurutma Havası Hızı 14
2.3.3 Yüzey Alanı 14
2.4 Kurutma Öncesi Uygulanacak Ön İşlemler 15
2.4.1 Gıda Maddelerinin Kimyasal Çözeltilere Daldırılması 15
2.4.2 Gıda Maddelerinin Haşlanması 16

BÖLÜM 3 17

MANTARLAR 17

3.1 Kültür Mantarı (Agaricus Bisporus) 19
3.2 Mantar Kurutma İle İlgili Yapılmış Çalışmalar 22

BÖLÜM 4 29

MANTAR KURUTMA İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR 29

4.1 Materyal 29
4.1.1 Hammadde 29
4.1.2 Araç ve Gereçler 30
4.2 Deneysel Çalışma Yöntemleri 32
4.2.1 Mantarların Kabin Kurutucuda Kurutulması 33
4.2.2 Mantarların Infrared Kurutucuda Kurutulması 34
4.2.3 Mantar Örneklerinin Kombine (Infrared + Kabin Kurutucu) Sistemi ile Kurutulması 34
4.3 Deneyde Kullanılan Gıda Maddesinin Kuru Madde Tayini 34
4.4 Mantar Kurutma İşlemlerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Matematiksel Modelleme İşlemleri Ve Bulunan Verilerin İncelenmesi 36
4.4.1 Matematiksel Modelleme 36
4.4.2 Regresyon Analizi 36
4.4.3 Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplanması 37

BÖLÜM 5 39

DENEYSEL BULGULARIN İNCELENMESİ 39

5.1 Kabin Kurutucuda Kurutulan Örnekler 39
5.1.1 Sıcaklığın Etkisi 39
5.1.2 Ön işlemin Etkisi 42
5.1.3 Geometrik Yapısının Kurutma Süresine Etkisi 44
5.1.4 Kurutma Eğrilerinin Matematikel Modellemesi 45
5.1.5 Kabin Kurutucuda Difüzyon Katsayının Hesaplanması 49
5.1.6 Kabin Kurutucuda Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 51
5.2 İnfrared Kurutucuda Kurutulan Örnekler 52

5.2.1 Infrared Güç Seviyesinin Etkisi 52
5.2.2 Ön İşlemin Etkisi 56
5.2.3 İnfrared Kurutuca Difüzyon Katsayısının Hesaplanması 57
5.3 Kombine Kurutma (İnfrared Kurutucu + Sıcak Hava Üflemeli Kabin Kurutucu)... 58
BÖLÜM 6 60
SONUÇLARIN YORUMLANMASI VE ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 68

SİMGE LİSTESİ

a, b, c	Modellerdeki katsayılar
°C	Santigrat derece
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
k	Kinetik sabit (1/dak.)
k_0, k_1	Modellerdeki katsayılar
L	Dilim yarı kalınlığı (m)
M	Herhangi bir anda örnekteki nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_0	Kurutmaya başlamadan önce örnekteki nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın içerdiği nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
MR_{exp}	Deneysel nem oranı (birimsiz)
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı (birimsiz)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_w	Nem miktarı (kg)
N	Deneysel veri sayısı
n	Kullanılan denklemdeki katsayı sayısı
R	Gaz sabiti (kJ/(mol×K))
R^2	Regresyon katsayısı
t	Süre (dakika)
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
χ^2	khi-kare

KISALTMA LİSTESİ

cm	Santimetre
dak	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
LPDE	Düşük yoğunluklu polietilen
m	Metre
mg	Miligram
MJ	Megajoule
ml	Mililitre
mm	Milimetre
µg	Mikrogram
µm	Mikrometre
RR	Rehidrasyon oranı (birimsiz)
RMSE	Tahmini standart hatası
Rpm	Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
s	Saniye

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sıcak Hava Üflemeli Kabin Kurutucu 7
Şekil 2.2 Tünel Kurutucu 7
Şekil 2.3 Püskürtmeli Kurutucu 9
Şekil 2.4 Mikrodalga Fırın 10
Şekil 2.5 Dondurucu Kurutucular 11
Şekil 2.6 Kurutma Hızı Periyodu 12
Şekil 2.7 Kurutma Eğrisinin Zamana Göre Değişimi 13
Şekil 3.1 Kültür Mantarı Örnekleri 20
Şekil 4.1 Kurutma İşleminde Kullanılan Mantarlar 29
Şekil 4.2 APV ve PASILAC Limited of Carlisle Kabin Kurutucu 30
Şekil 4.3 Infrared Kurutucu 31
Şekil 4.4 Tartım Ekipmanı 31
Şekil 4.5 Kurutma İşleminde Kullanılan İki ve Dört Eşit Parçaya Bölünmüş Mantarlar 32
Şekil 4.6 Anemometre 33
Şekil 4.7 Etüv Cihazı 35
Şekil 4.8 Kurutulan Maddeleri Paketleme Cihazı 35
Şekil 5.1 Potasyum Karbonat Çözeltisi İle Muamele Edilip Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kuruma Süresi İle Değişimi 40
Şekil 5.2 Haşlama Ön İşlemi İle Muamele Edilip Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kuruma Süresi İle Değişimi 41
Şekil 5.3 Kontrol Örneklerine ait Nem İçeriğinin Kuruma Süresi İle Değişimi 41
Şekil 5.4 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 45°C Sıcaklıkta Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği 42
Şekil 5.5 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 55°C Sıcaklıkta Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği 43
Şekil 5.6 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 65°C Sıcaklıkta Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği 43
Şekil 5.7 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 75°C Sıcaklıkta Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği 44
Şekil 5.8 Bütün (1/1) Ve Yarım (1/2) Halde Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kurutma Süresi Değişimi 45

Şekil 5.9 Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Potasyum Karbonat Ve Kontrol Örneklerine Ait Deneysel İle Midilli & Küçük Denklemi Kullanılarak Hesaplanan Tahmini Nem Oranı Değerleri.....48
Şekil 5.10 Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Haşlama Ve Kontrol Örneklerine Ait Deneysel İle Midilli & Küçük Denklemi Kullanılarak Hesaplanan Tahmini Nem Oranı Değerleri ...49
Şekil 5.11 Kültür Mantarı Örneklerinin Kabin Kurutucuda Kurutumasında Efektif Difüzyon Katsayısının Kurutma Sıcaklığı İle Değişimi 50
Şekil 5.12 Mantar Örneklerinin Sıcak Hava ile Kurutulmasında Sıcaklığın Difüzyon Katsayısına Etkisi 51
Şekil 5.13 İnfrared Kurutucuda 62 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi İle Değişimi 54
Şekil 5.14 İnfrared Kurutucuda 74 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi İle Değişimi 54
Şekil 5.15 İnfrared Kurutucuda 88 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi İle Değişimi 55
Şekil 5.16 İnfrared Kurutucuda 104 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi İle Değişimi 55
Şekil 5.17 Kontrol Numunelerinde Bütün Güç Değerlerinde Nem İçeriği ile Kurutma Süresi Arasındaki İlişkinin Grafiği 56
Şekil 5.18 Kültür Mantarı Örneklerinin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasında Efektif Difüzyon Katsayısının Kurutma Gücü İle Değişimi 58
Şekil 5.19 İnfrared Kurutucu ile Kabin Kurutucu Kombine Kurutma İşleminde Nem İçeriği ve Kurutma Süresi Grafiği 59

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 100 Gram Doğal Çiğ Kültür Mantarı için Besin Değerleri 21
Çizelge 3.2 100 Gram Kaynamış Kültür Mantarı için Besin Değerleri..... 21
Çizelge 4.1 Mantar Örneklerinin Kurutma Kinetiklerinin Matematiksel Modellemesi İçin Kullanılan Kurutma Modelleri.....36
Çizelge 5.1 Kabin Kurutucuda Kurutulan Mantar Dilimlerinin Kurutma Süreleri..... 39
Çizelge 5.2 45°C ve 55°C 'de Kurutulan Mantar Dilimleri İçin Matematiksel Modeller Kullanılarak Hesaplanmış R^2, χ^2 ve RMSE Değerleri.....46
Çizelge 5.3 65°C ve 75°C'de Kurutulan Mantar Dilimleri İçin Matematiksel Modeller Kullanılarak Hesaplanmış R^2, χ^2 ve RMSE Değerleri.....47
Çizelge 5.4 Kabin Kurutucudaki Değişik Sıcaklarda Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Efektif Difüzyon Katsayıları 50
Çizelge 5.5 Çeşitli Literatür Çalışmalarında Mantar Türleri İçin Elde Edilen Aktivasyon Enerjileri 52
Çizelge 5.6 İnfrared Kurutucuda Kurutulan Mantar Dilimlerinin Kurutma Süreleri 53
Çizelge 5.7 İnfrared Kurutucuda Kurutulan Mantar Örneklerinin Efektif Difüzyon Katsayıları 57

ÖZET

MANTARIN KURUTULMASINDA KURUTMA YÖNTEMİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Burak ENGÜR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Kültür mantarı dilimleri, sıcak hava üflemeli kurutucu içerisinde 45, 55, 65 ve 75°C gibi farklı kurutma sıcaklıklarında ve 2 m/s hava hızında kurutulmuştur. Ayrıca, mantar dilimleri 62, 74, 88 ve 104 W farklı infrared güçlerde bir infrared kurutucuda kurutulmuşlardır. Her iki kurutucuda kurutma koşullarının kurutma hızı ve kurutma süresi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Kurutma hızına etki eden ön işlemlerin etkileri de ilgili sıcaklıklarda ve infrared güçlerinde araştırılmıştır. Ayrıca, mantar dilimleri %2'lik potasyum karbonat çözeltisi ve 80°C'deki sıcak su ile 2 dakika boyunca ön işleme tabi tutularak kurutulmuşlardır. Ön işlem uygulanan ve uygulanmayan örneklerin kuruma hızları ve verimleri karşılaştırılmış ve değişimler gözlenmiştir.

Bu çalışmanın amaçlarından biri de, kültür mantarının sıcak hava kurutucuda kurutulması sırasında elde edilen verilerin değişik matematiksel modeller kullanılarak modelleme çalışmaları yapmaktır. 45, 55, 65 ve 75°C'de kabin tipi sıcak hava üflemeli kurutucudaki kurutma verilerine Henderson & Pabis, Page, Midilli & Küçük ve Wang & Singh modellerine uygunluğu için doğrusal olmayan regresyon kullanılmıştır. Deneysel ve öngörülen nem oranı arasındaki uyumun iyiliği regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve kök ortalama kare hatası (RMSE) kullanılarak test edilmiştir. En yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ve RMSE değerleri, modelin deneysel verilere uygunluğunu gösterir. Midilli & Küçük

modeli, en yüksek R^2 ve en küçük χ^2 ve RMSE kullanılarak karşılaştırıldığında mantar dilimlerinin kurutma eğrilerini en iyi şekilde temsil ettiği görülmüştür.

Sonuç olarak; kurutma havasının sıcaklığı, infrared güç seviyesi ve uygulanan ön işlem çözeltilerinin kurutma hızını ve kurutma süresine etkilendiği saptanmıştır. Güç seviyesinde, sıcaklık artışı ve ön işlemler ile mantar dilimlerinin kuruma hızı belirgin şekilde artmıştır. Ayrıca bu değişimler ve etkiler yapılan modellemeler sayesinde kurutma eğrilerine yerleştirilmiş ve sonuçların verilerinin de karşılaştırılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mantar, kurutma, ön işlemler, infrared, matematiksel modelleme

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECT OF DRYING METHOD ON DRYING OF MUSHROOMS

Burak ENGÜR

Department of Chemical Engineering

Master Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

In our experiments with button mushroom, in hot air blow dryer at 45, 55, 65 and 75 °C drying air temperatures and 2 m/s drying air speed; the effects of different drying temperatures on drying rate and drying rate of mushrooms were observed. The effects of drying mushrooms and drying rate of button mushrooms were observed at different power values of 62, 74, 88 and 104 W in infrared dryer. In addition, the effects of pretreatments affecting the drying speed were investigated at the respective temperatures and infrared powers. In addition, the mushroom slices were dried by pretreating with 2% potassium carbonate solution and hot water at 80°C for 2 minutes. Drying rates and yields of pre-treated and untreated samples were compared and changes were observed.

One of the aims of this study is to examine the applicability of experimental models in modeling the drying properties of mushrooms. Non-linear regression was used to fit the drying data in the cabinet type hot air blow dryer at 45, 55, 65 and 75°C to Henderson & Pabis, Page, Midilli & Küçük and Wang & Singh models. The goodness of agreement between experimental and predicted humidity was tested using the regression coefficient (R^2) and reduced chi square (χ^2) and root mean square error (RMSE). The highest R^2 and least and RMSE indicate the model's suitability for experimental data. Midilli & Küçük model has best predicted and compared the drying curves of the mushroom slices when using the highest R^2 and lower χ^2 and RMSE.

After all; drying speed is influenced by the temperature of the drying air, the infrared power and the pretreatment. The infrared power and temperature increase and pretreatment, the drying rate of mushroom slices was significantly increased. In addition, these changes and effects were placed in the drying curves through the modeling and comparison of the data of the results was provided.

Keywords: Mushroom, drying, pretreatment, infrared, mathematical modelling

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kurutmanın önemini gösteren faktörler birçok konu başlığı altında incelenebilir. Ürünlerin uzun dönemde bozulmadan saklanması ve ürünlerin uzun süre canlılığını koruması, kuru meyve ve kuru sebze gibi ekonomik değeri olan yeni ürünler elde edilmesi endüstriyel açıdan çok önemlidir. Ayrıca kurutma amacı olarak; ürün artıklarının kullanılabilir hale getirilmesi, erken ve kolay hasada olanak sağlaması, hasat döneminin planlanması, ürünlerden iyi fiyat alınabilmesi, kurutulan ürünün hacminin azalması ile ürünün önemli bileşenlerinin taşınması ve depolanmasındaki verimin artmasına olanak tanıyabilmesi sayılabilir.

Doğal kurutma işlemleriyle kurutulan ürünlerde ekonomik açıdan iç ve dış pazarda kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla yaşanabilmektedir. Aynı zamanda açık hava koşullarında yapılan doğal kurutma işlemleri sonucu kuru ürünün elde edilmesinde uzun süreler gereklidir. Kurutmaya etki eden faktörler nedeniyle, kurutucu imal eden firmaların ve bu tip kurutuculara sahip işletmelerin gerekliliği ve sayılarının artırılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Gıda kurutma işlemi eski zamanlardan itibaren gıdaların saklanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem aynı diğer teknolojik gelişmeler gibi kendini geliştirmektedir. Enerji tasarrufu ve kurutulmuş üründeki kalitenin arttırılması amacıyla sürekli yeni yöntemler denenip, yeni formüller oluşturulmaktadır. Bu sayede gıda maddelerinin saklama ömrü uzatılmaktadır. Gıda kurutma amacıyla uygun kurutma işlemi veya

işlemleri seçilmelidir. Ürün kalitesinin uygun ekonomik koşullarda eldesi için en uygun yöntemleri uygun parametreler ile uygulanmalıdır [1].

1.2 Tezin Amacı

Deneysel çalışmamızda; kültür mantarı dilimlerini, kabin kurutucuda, infrared kurutucuda ve bu iki kurutucunun kullanılması ile kombine kurutma sisteminde kurutulacaktır. Mantar kurutma işleminin çeşitli ön işlemler uygulanarak en optimum kurutma koşulları bulunmaya çalışılacaktır. Uygulanan çeşitli ön işlemlerin yapılan çeşitli kurutma işlemlerine etkileri incelenecektir. Yine farklı sıcaklıklarda kurutulan mantarlardan elde edilen verilerin matematiksel modellemesi yapılacaktır. Çeşitli kurutma modelleri denenerek en uygun kurutma modeli seçilecektir. Uygulanan bu deneysel çalışmalar ve yapılan modelleme çalışmaları sonucunda optimum kurutma yöntemi bulunacak ve bu kurutma yönteminin parametreleri incelenecektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada kültür mantarı numuneleri, farklı ön işlem uygulamaları ve farklı yöntemler ile kurutulmuş olup bu işlemlerden elde edilen verilerden yararlanılarak kurutma eğrileri çizilmiştir. Kabin kurutucuda sıcak hava ile kurutma işleminde her bir sıcaklık için matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış, farklı kurutma sıcaklıklarında modellere ait regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

Farklı sıcaklıklarda ön işlemler uygulanmış ve bu ön işlemlerin sıcak hava ile kurutma ve infrared kurutma yöntemlerindeki etkileri incelenmiştir. Kurutma işlemi öncesinde %2 seyreltilmiş potasyum karbonat çözeltisine daldırarak ve kurutma işlemine başlamadan bir dakika boyunca haşlanarak ön işlem uygulanan mantar dilimlerinin kurutma karakteristikleri kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

Ayrıca bu iki işlemin ortak çalışmaları incelenmiş ve bütün bu değerlerin zamana karşı kurutma oranları incelenmiştir. Her kurutma işlemine yüzey alanının etkileri incelenmiş ve hesaplanmıştır.

Ayrıca her iki kurutucuda kurutulan mantar dilimlerine ait efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve deneysel çalışmalar ile literatür değerleri

karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarımızın gelişen teknolojide hazır gıda sektörüne katkı sağlamasını umarız.

BÖLÜM 2

KURUTMA

Kurutma prosesinin, gıda kurutmadan odun kurutmaya kadar geniş kapsamda birçok uygulama alanı vardır. Kurutma endüstrisi, kurutmayı gerçekleştirmek için yüksek miktarlarda enerji kullanan bir endüstridir. Bu yüzden, yüksek enerji tüketen endüstrilerin başında gelmektedir [2]. Bir kurutucu, belirlenen koşullar altında uygun olacak şekilde ürüne ısı uygulayarak; ürünün içerisindeki nemin buhar basıncını arttırarak, nemi ürün içerisinden yeterli miktarda uzaklaştırmayı sağlar. Aynı zamanda kurutucu havanın, nem taşıma kapasitesini arttırmak ve yeterli miktarda düşük nem içerme dengesini sabit tutabilmek için kurutucu havanın bağıl nemini azaltır.

Kurutma, ısı ve nem transferinin eş zamanlı olarak gerçekleştiği bir termal prosestir. Isı, hem katının hem de nemin sıcaklıklarını arttırmak amacıyla, ısınmış havadan ürüne konvenksiyonal olarak aktarılır. Nem transferi; nemin, ürünün buharlaşan yüzeyine transferi ve ardından su buharı olarak sirkülatif hava içerisine transferi olarak gerçekleşir. Isı ve nem transferi hızları, sirkülatif kurutucu havanın hızına ve sıcaklığına bağlıdır [3].

2.1 Kurutma Sistemleri

Kurutma teriminin en yaygın kullanım alanı katı maddelerden ısıl yöntemlerle uçucu maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır. Teknik anlamda; bir katının bünyesinde bulunan nemin bir gaz akımı içinde buharlaştırarak gaza geçirmek suretiyle alınmasına kurutma denir. Katı yüzeyine ısı transferi uygulayarak buharlaşma yoluyla kurutma sağlanır. Aktarılan ısı katının gözeneklerinden nemin buharlaşması için

harcanır. Isı ve kütle aktarımının birlikte gerçekleşmesinden ötürü kurutma işlemi araştırmacıların ilgisini oldukça çekmektedir.

Kurutma işlemi, termal olarak katı içerisindeki uçucu maddeleri giderme işlemini içermektedir. Islak bir katı termal kurutmaya maruz bırakıldığında, iki farklı proses ardarda meydana gelir. Bu işlemler ısı enerjisinin nemi buharlaştırmak için çevreden katının yüzeyine transfer yüzdesi ve katıdaki nemin katının yüzeyine transferi ve daha sonrasında meydana gelen buharlaşmadır [3].

2.1.1 Güneşte Kurutma

En genel ve yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma yöntemi doğal bir yöntem olup, ancak beraberinde kirlilik başta olmak üzere birçok problem getirmektedir. Her yerde ve her zaman güneş ısısından faydalanarak kurutma mümkün olmaması, ürünün böcek v.b dış etkiye maruz kalması, kurutmayla birlikte hafif bir fermente olma durumu meydana gelebilme riski yapay kurutma sistemlerinin zamanla güneşte kurutmaya tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. Oldukça zaman alan bir metot olması nedeniyle, hızlı ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metotlarının gelişimini teşvik etmiştir. Güneş kollektörlü sistemlerde elektrik enerjisini kullanmak yerine doğrudan güneş enerjisi kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin ürüne direkt etki etmesi yerine, güneş enerjisi ile ürün etrafında dolaşacak hava ısıtılmaktadır veya ısıtmada kullanılacak su buharlaştırılmaktadır. Direkt solar kurutucuların hem maliyeti düşüktür hem de kolaylıkla üretilebilmektedirler. Bu sistemlerde sıcaklık kontrolü hemen hiç mümkün değildir. Birçok sebze ve meyve uzun süreli güneş ışınlarına maruz kaldığında vitamin ve renk kayıpları meydana gelmektedir [4].

2.1.2 İndirekt Solar Kurutma

İndirekt solar kurutma ise daha pahalı ve zor kullanılan bir sistem olmasına rağmen sıcaklık kontrolü daha mümkün olmaktadır. Böyle sistemler ile UV ışınlar da uzaklaştırılabileceği için gelecekte ürün rengi neredeyse değişmemektedir. Ayrıca indirekt solar sistemler, erken hasat, hasat sezonunun planlanması, bozulmadan uzun dönem depolama, hasattan birkaç ay sonra yüksek fiyat alma avantajı ve daha yüksek kalitede ürün elde etmek gibi avantajlara sahiptir [5].

2.1.3 Hava Üflemeli Kurutma

Diğer bir kurutma sistemi olan hava üflemeli kurutma sistemleri basit tasarıma sahip olup, yerel imkânlarla yapılabilmeleri, bakım ve işletme masraflarının az olması, mevsime göre farklı ürünlerin kurutulabilir olması bu tip kurutma sistemlerinin avantajları arasında yer almaktadır [6].

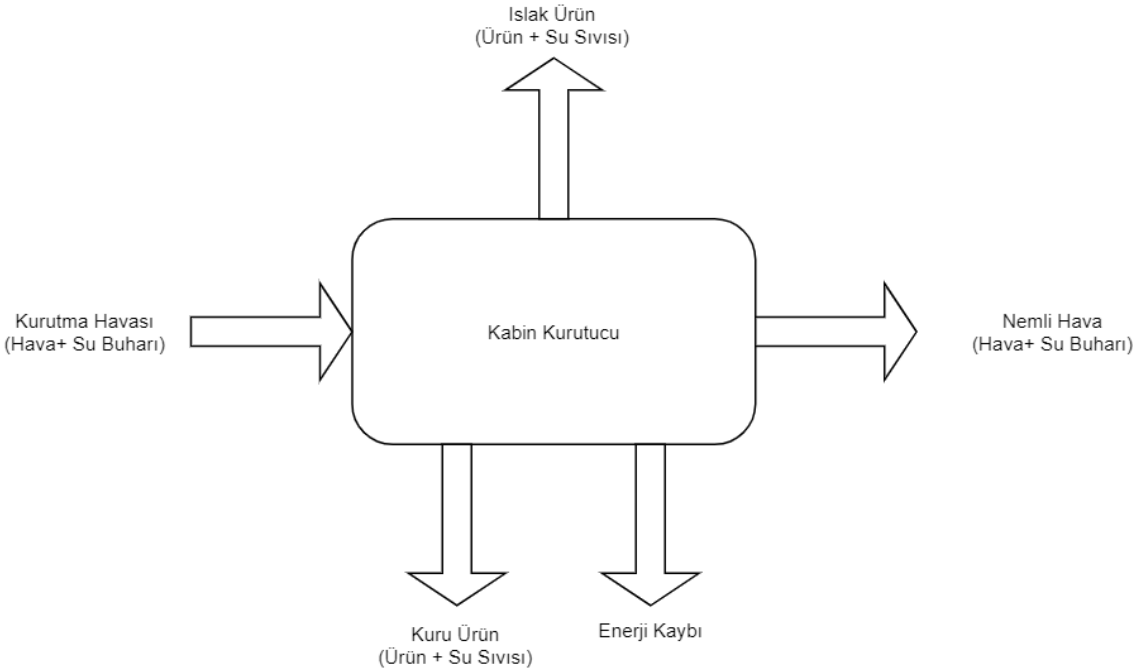
Güneşte kurutmaya göre daha hızlı, homojen ve hijyenik kurutma sağlamaktadır. Yapılan birçok çalışma, kurutucu hava hızının, örnek kalınlığının ve sıcaklığın hava üflemeli kurutucularda kurutma özelliklerini ve hızını etkileyen faktörler olduğunu göstermiştir [4].

2.1.3.1 Fırın Kurutucular

Hava üflemeli kurutucuların en basit tipidir. Altta bir fırın veya brülör vasıtası ile hava ısıtılır. Isıtılan hava yükselir ve yukarıda bulunan ızgaraların üzerine serilmiş olan ürün ile temas eder. Bu kurutucularda nem oranı %10 dolaylarında kalmakta ve daha düşük değerler görülememektedir [7].

2.1.3.2 Kabin Kurutucular

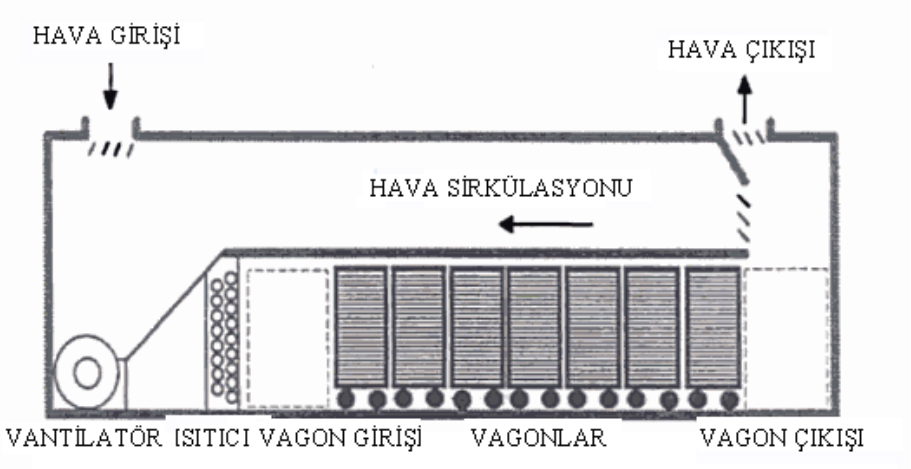
Kabin kurutucular dilimlenmiş ürünler için (elma, erik ve mantar v.b) uygun olup, raflar üzerine serilerek kurutulmaktadırlar. Bu tip kurutucularda Şekil 2.1'de görüldüğü gibi ürüne sabit bir hava hızı uygulanmaktadır, ürün kısa sürede kuruma işlemini tamamlamaktadır [5].



Şekil 2.1 Sıcak Hava Üflemeli Kabin Kurutucu [8]

2.1.3.3 Tünel Kurutucu

Kurutucu olan sıcak hava yanma gazları sistemde istenilen doğrultuda dolaştırılabilir. Madde bantlar üzerinde kurutulabileceği gibi raf üzerinde de kurutulabilir. Hava akımı, madde ile paralel zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulaması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir. Şekil 2.2'de görülen tünel kurutucularda değişik hava hızı ve yönü uygulamak mümkündür [9].



Şekil 2.2 Tünel Kurutucu [10]

2.1.3.4 Bant Tipi Kurutucular

Bu kurutucular, hareketli bir banttan oluşmaktadırlar. Bant açık, yarı açık ve kapalı bir tünel içinde olabilir. Kuruma süresi uzun olan maddeler söz konusu olduğunda, üst üste birden fazla bant içeren kurutucular kullanılmaktadır. Bu kurutucularda, madde üst banttan bir alttaki banta geçerek kurutucu içinde yol alır. Sıcak gazlar ise bantlara paralel veya dik yönde hareket edebilir. Bu kurutucular, daha çok granül şeklindeki gıda maddesinin kurutulması için kullanılmaktadır [11].

2.1.3.5 Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular daha çok süt tozu ve deterjan gibi ürünlerin üretiminde kullanılır. Şekil 2.3'de püskürtmeli kurutucu ve bu ekipmanın parçaları görülmektedir. Bu yöntemde ürünlerin kuruma süreleri çok kısadır. Kurutma havasının sıcaklığı yaklaşık 100°C ile 750°C arasında değişkenlik gösterir. Kuruma süresinin kısa olması nedeniyle sıcaklığa duyarlı maddelerin kurutulması için uygundur. Kurutma ortamı, sıcak hava besleme akımı ile paralel veya dik yönde sistemden geçirilebilir. Bu durumun kararı istenen kurutma oranı ve verimliliğine bağlıdır. Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü ve yoğunluğu; kurutma havasının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün çıkış nemi son hava akımın sıcaklık ve nemi ile kontrol edilebilir [9].

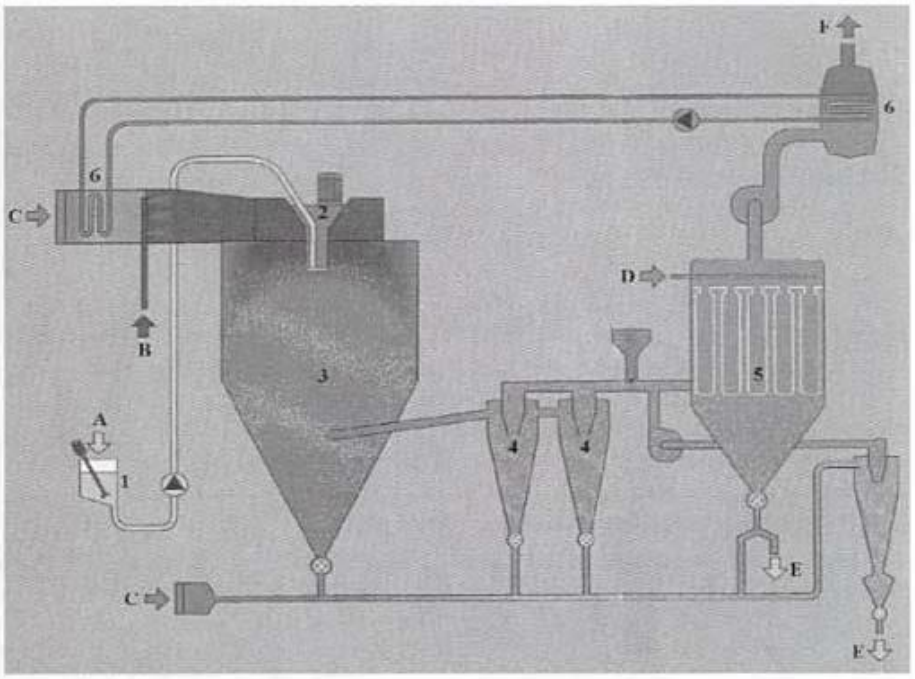
2.1.3.6 Sandık Kurutucular

Bu tipte kurutucular daha çok sebzelerde, tünel ve bantlı kurutuculardа kurutulmuş ürünün kurutmanın son aşamasında, son nem oranına düşürülmesi amacıyla kullanılırlar. İlk kurutucudan %10 civarında nem oranına sahip olarak çıkan gıda maddesi, sandık kurutuculardа %3–6 nem oranına gelinceye dek kurutulabilir [7].

2.1.3.7 Akışkan Yatak Kurutucular

Akışkan yatak kurutucular, tekne tipindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş tipleridir. Bu tip bantlı kurutuculardа, tekneyi oluşturan elek şeklindeki bant, yavaş bir hızla dönüş yaparken, tekne içinde kurumakta olan materyal sürekli olarak hareket etmektedir. Böylelikle parçacıklar hızla kururlar. Bu kurutuculardа 135°C'ye kadar sıcak hava kullanılarak sebzelerin nem düzeyi hemen hemen 1 saat gibi bir sürede %5–7'ye

düşürülebilmektedir. Bu kurutuculardа meyveler birbirlerine yapışıp bir küme haline geldiğinden, bu sistem meyve kurutma prosesleri için elverişli değildir [12].



Şekil 2.3 Püskürtmeli Kurutucu (A: Ürün Girişi, B: Doğalgaz(Yakıt), C: Hava Girişi, D: Basınçlı Hava, E: Ürün Çıkışı, F: Hava Çıkışı, 1:Besleme Tankı, 2: Atomizör, 3: Püskürtme Odası, 4: Siklon, 5: Filtre, 6: Isı Eşanjörü)

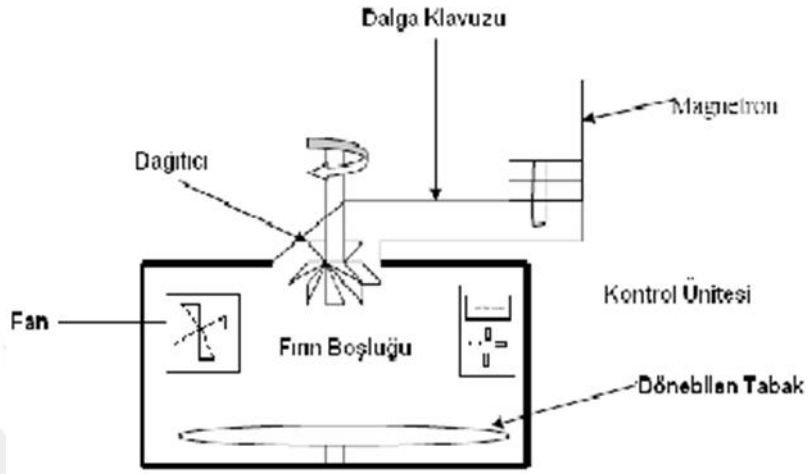
2.1.4 Vakum Kurutma

Vakum kurutma ise alternatif bir kurutma metodu olup, özellikle meyveler gibi uzun sürede kuruyan gıda ürünleri için kullanılan önemli bir yöntemdir [13]. Bu kurutma yöntemi, kurutma işlem süresini diğer yöntemler ile kıyasladığımızda çok daha kısaltmaktadır. Vakum işlemi; gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha önemli diğer nokta, vakum kurutma işleminde suyun uzaklaştırılması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarını olmamaktadır. Vakum kurutuculardа kurutulmuş olan ürünlerde renk, yapısal durum ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir.

2.1.5 Mikrodalga Kurutucu

Son zamanlarda kullanılan alternatif kurutma sistemlerinden biri olan Şekil 2.4'de görülen mikrodalgalı kurutucular genellikle hava üflemeli kurutucular için önemli bir

enerji kaynağıdır. Ayrıca mikrodalga kurutucuların vakum kurutucularla kombine edilerek kullanılmaları da ürün kalitesi ile enerji verimliliğini arttırmaktadır [9]. Mikrodalga ısıtmanın temel prensibi; materyaldeki polar molekülleri etkileyerek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüşümünün sağlanmasıdır.



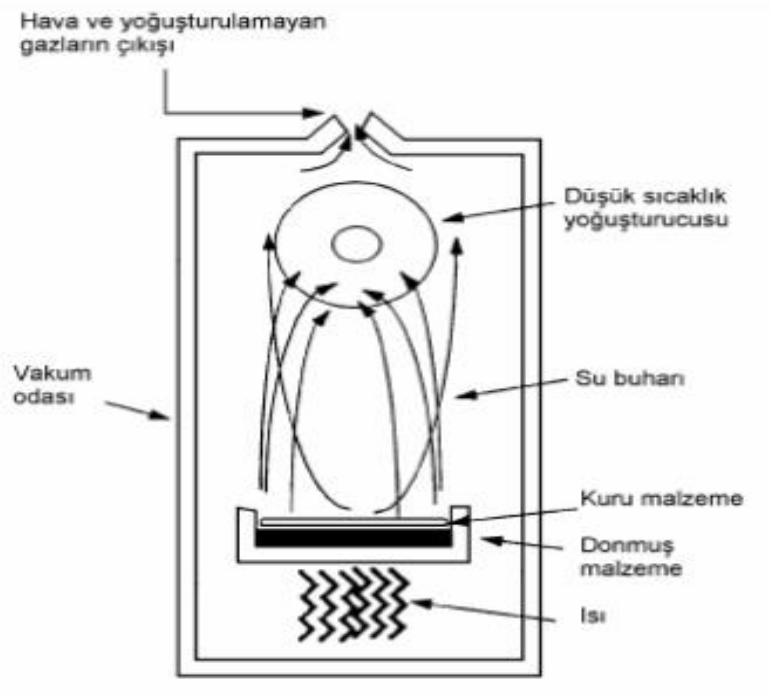
Şekil 2.4 Mikrodalga Fırın [4]

Meyveler, tahıl ürünleri ve başlangıç nemi yüksek olan birçok gıda ürünün başarılı bir şekilde kurutulduğu sistemlerdir. Kısaca özetlenecek olursa, mikrodalga içeren kurutma yöntemi hızlı işlem, enerji verimliliği, maliyet ve kurutulmuş üründe yüksek kalite eldesi gibi önemli özellik taşımaktadır [5].

2.1.6 Dondurucu Kurutucu

Ürün özelliklerini taze forma en yakın şekilde korumayı başaran bir kurutma metodu olan dondurarak kurutma, dondurulmuş üründe bulunan suyun süblimasyon prosesi ile uzaklaştırılması amacını taşımaktadır [14].

İlgili bu kurutma işlemi gıdada sıvı fazda su bulunmamasını ve düşük sıcaklıklar ile çalışılmayı gerektirmektedir. Böyle koşullar sağlandığında mikrobiyolojik aktiviteler ve diğer bozulmalar durdurulduğu için son üründe yüksek kalite sağlanmaktadır. Dondurarak kurutma esnasında suyun katı formda olması ürün şeklini korumasını sağlamaktadır. Şekil 2.5 üzerinde görülen dondurucu kurutucu, bahsedildiği gibi bir çok avantaja sahip olmasına rağmen, ilk kurulumu ve işletmesi diğer yöntemlerden daha pahalı bir sistem olması kullanımını azaltmaktadır [6].



Şekil 2.5 Dondurucu Kurutucular

2.1.6.1 Mantarda Dondurarak Kurutma

Mantarın dondurularak kurutulması diğer kurutma yöntemlerinden daha verimlidir. Bu durumun sebepleri ise şu şekilde açıklanabilir. Dondurarak kurutma yöntemi diğer kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında yapısal durumu en az etkileyen kurutma yöntemidir. Mantar örnekleri yapı olarak hassastır. Kararma gibi bozunmaların önlenebilmesi için yüksek sıcaklıklardan kaçınmak gerekir. Basınç ve sıcaklık farkının diğer yöntemlere nazaran daha az olması bozulmayı engeller doayısıyla dondurarak kurutma yöntemini diğer yöntemlerden daha verimli bir yöntem yapar [15].

2.1.7 İnfrared Kurutucu

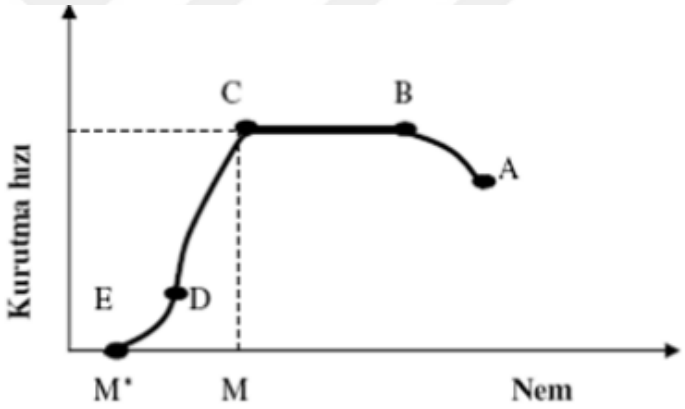
İnfrared Enerji; elektromanyetik spektrumda mikrodalga (1 ile 1000) mm ile görünür bölgeler (0,38 ile 0,78 µm) arasında yer almaktadır. İnfrared kurutucu bu aralıkta çalışır. Kurutma endüstrisinde infrared kurutucu; kurutma, kızartma ve sterilizasyon gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. İnfrared kurutucular, güneşte kurutmaya alternatif olarak düşünüldüğü için kullanım oranı da çok yaygındır. Kontrolü kolay ve işlem süresi kısa bir

yöntem olan temiz bir enerji kaynağı olduğundan dolayı herhangi bir toksik üretime de yol açmaz [16].

2.2 Kurutma Sistemi Aşamaları

Pek çok gıdanın farklı koşullarda kurutulmaları sonucunda elde edilen kuruma eğrileri farklı olmakla birlikte genelde gıdaların kurutulması sırasında, 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenir.

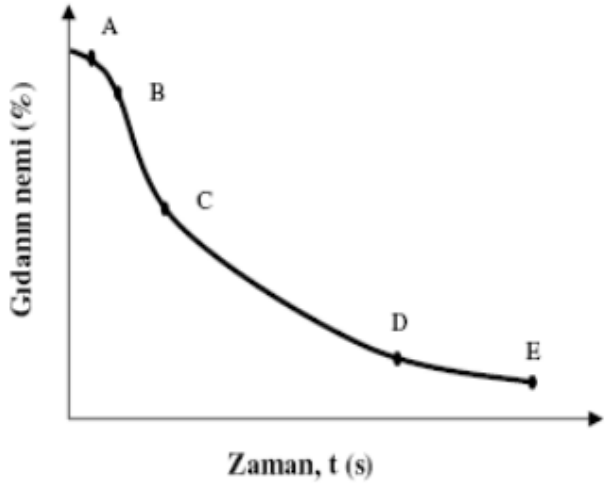
En başta kurumanın yüksek bir hızda gerçekleştiği ve nemin büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, daha sonra ise; su içeriğinin artık azalmış olmasından dolayı hızın yavaşladığı ve nispeten daha az suyun buharlaştırıldığı, uzun süre alan azalan hız periyodu Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gözlemlenir [17].



Şekil 2.6 Kurutma Hızı Periyodu

Kurutmanın gerçekleştiği hız, bu iki prosesin devam ettiği hızlara bağlıdır [18]. Birinci proses, sıcaklık, hava nemliliği ve hava akışı, aktif yüzey alanı, basınç gibi dış etkenlere yüksek oranda bağlı iken; İkinci proses ise fiziksel doğallık, sıcaklık ve katının içerdiği nem miktarına bağlıdır. İkinci prosesteki gerçekleşen yüzey buharlaşması, buhar difüzyonunun katı yüzeyinden çevre atmosferine yüzey ile temas halinde olan ince bir film tabakası içerisinden geçmesiyle kontrol edilir. İlk olarak gerçekleşen yüzey nem gideriminden sonraki aşırı nem giderimi ise; içeriden dışarıya doğru yüksek nem eğrisine neden olurken, bazı zamanlarda ise aşırı kurumaya ve aşırı büzüşmeye neden olur. Bu olay sonucunda madde içerisinde kırılmalara, eğrilip bükülmelere sebebiyet verir. Aşırı

yüzey buharlaşması, yüksek bağıl neme sahip kurutucuya hava verilerek engellenebilir [3].



Şekil 2.7 Kurutma Eğrisinin Zamana Göre Değişimi

Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 eğrilerinde görüldüğü üzere; A ve B noktaları arasında gıda maddesinin yüzey koşulları sıcaklık ile dengeye gelmesidir. Kurutma hızı yavaşça artar fakat bu bölge kurutma işleminin az bir bölümünü oluşturmaktadır, ihmal edilebilir. B ve C noktaları arası sabit kuruma hız bölgesidir. Yüzey su ile doygun haldedir. Yüzeyden kuruma ile su uzaklaştıkça gıda içerisinden difüzyon ile sürekli bir taşıma olmaktadır. Bu esnada kütle ile ısı transferleri bir dengeye gelmekte ve bu sayede yüzey sıcaklığı değişmemektedir. C ve D noktaları arası ve D ve E noktaları arası sırası ile birinl ve ikincil azalan kurutma hızı periyodu noktalarıdır. Bu noktalar arasında gıda maddesi içerisinden gelen su, difüzyon hızını aşmaya başlar. Bu andaki nem içeriği kritik nem olarak açıklanmaktadır. Bu andan itibaren yüzey sıcaklığı artmaya başlayacaktır [19].

2.3 Mantar Kurutulmasına Etki Eden Faktörler

Mantarlar gıda maddesi olarak yapı itibariyle hassas maddelerdir. Hücresel yapısı bozulmaya çok müsaittir. Ayrıca kurutma esnasında hücresel yapısının fiziksel olarak bozulmasının yanı sıra kimyasal olarak da bozulmalar meydana gelir ve bu bozulmalar kurutma veriminin düşmesine sebep olur [13].

Mantar kurutmaya etki eden faktörler; sıcaklık, basınç, yüzey alanı ve kurutma havasının hızı olarak sıralanabilir [20].

2.3.1 Sıcaklık

Sıcaklık kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kurutma işlemi esnasından sıcaklık derecesinin artırılması difüzyon hızını artırır, böylece kuruma hızı artar ve kurutma süresi azalır [21]. Yüksek sıcaklıklarda; ısı kayıpları en az seviyedir, kurutma maddesinin ulaşabileceği denge nem değeri yüksektir ve nem tutma oranı yüksek olduğundan, yüksek buhar basıncına sahip olunur bu da hızlı bir kurutmaya sebep olur [22]. Sıcaklığın yüksek olması, sıcaklık farkının hızlı değiştirilmesi, basınç, kurutma havasının hızının yüksek olması mantar kurutmayı olumsuz etkileyen etmenler olarak sıralanabilir. Bu etmenler mantarda kimyasal ve fiziksel bozulmalar yol açacak, kurutma hızını ve verimini düşürecek, rehidrasyon oranının düşük olmasına sebep olacaktır [23].

2.3.2 Kurutma Havası Hızı

Düşük kurutma hızlarında, gıdadan absorblanan nem kurutucudan gönderilen kurutma havasının kısa süre içerisinde doygun hale gelmesine sebep olur. Yüksek kurutma hızlarında doygun olmayan hava debisi düşük kurutma hızlarındaki debiden daha hızlı yer değiştirir. Bu durum gıda maddesinde bulunan nemin daha hızlı şekilde hava içerisine nüfuz etmesini sağlar. Bu sebeple yüksek kurutma hızları tercih sebebidir. Kurutmanın ilk aşamasında hava hızı önemli bir etkiye sahipken, sonraki aşamalarda kuruma hızı difüzyon hızı ile sınırlı kalmakta ve hava hızının önemi azalmaktadır [24].

2.3.3 Yüzey Alanı

Yüzey alanı yüksek olduğunda nemin uzaklaşacağı alan artırılmış olur böylece daha hızlı bir kuruma işlemi gerçekleşir. Yüzey alanını artırmak için gıda maddesini küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Eğer çok ince dilimler kullanılır ise de gıda maddesinin yanmasına neden olabilir bu yüzden optimum dilim kalınlığı tercih edilmelidir. Küçültülmüş gıda maddesinde sıcaklı merkeze daha kısa sürede ulaşacaktır. Böylece nem daha hızlı sürede uzaklaştırılabilir. Kuruma hızı, yüzey alanı ile doğru orantılı olarak dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak değişmektir [25].

2.4 Kurutma Öncesi Uygulanacak Ön İşlemler

2.4.1 Gıda Maddelerinin Kimyasal Çözeltilere Daldırılması

Gıda maddesinin dış etmenlerden korunması için çevresinde kütikül adı verilen koruyucu bir çeper bulunmaktadır. Kütikül bileşenleri; doğal mumlar ve kütindir. Doğal mumlar lipit bazlıdır ve çok çeşitlilik gösterebilirler [26]. Mumsu tabaka alkol, alkan, aldehit ve keton karışımlarından oluşmuş olup gıda bileşeni üzerinde ince amorf bir tabaka oluşturur. Bu tabaka çevre şartlarına göre çok çeşitli yapılarda bulunabilir [20]. Kütin ise, çapraz polimerizasyonla bağlanan bileşimlere sahiptir ve bu sebepte organik çözücülerde çok az çözünür [27]**.** Bu koruyucu bileşenler gıda maddesini dış etmenlere karşı koruduğu gibi, maddelerden nem giriş-çıkışını da kısıtlar [28].

Yukarıda bahsedilen koruyucu bileşenlerin nem giriş çıkışını kontrol etmek; su kaybını en aza indirmek; patojenlere karşı engel oluşturmak; güneş ışığı, rüzgar, yağmur, çamur ve pestisitlere karşı kalkan oluşturmak; gazların giriş çıkışını kontrol etmek; etkin bir şekilde gaz giriş çıkışı sağlamak; hücre içinde çözünmüş olan gıda bileşenlerinin, dış ortamda bulunan suya geçişini engellemek gibi çeşitli görevleri vardır.

Koruyucu çepere sahip gıda bileşenlerinin kurutulması sırasında; sıcak su (haşlama), kükürt ve NaOH vb. çözeltilere daldırma işlemi, gıda bileşeninin besin değerinin korunması, renk, tat ve sanitasyon kalitesinin artmasını sağlaması için yapılmaktadır [29].

Potasyum karbonat (K_2CO_3) gibi alkali maddelerin kullanımı, koruyucu çeperde çatlaklar oluşturarak, nem uzaklaştırılmasının hızlanmasını ve dolayısıyla kurutma hızının artmasını sağlarlar [30]. Daldırma çözeltileri iki gruba ayrılır [31].

a) Soğuk Daldırma: Çözelti sıcaklığı genel olarak ortam sıcaklığına çok yakın tutulur. Kuruma hızını sıcak daldırma kadar etkilemese de son üründe daha kaliteli renk elde edilir.

b) Sıcak Daldırma: Çözelti sıcaklığı ortam sıcaklığından daha yüksektir. Koruyucu çeper üzerinde çatlaklar oluşturur. Kurutma hızını sıcak daldırmaya göre daha fazla arttırır. Fakat son üründe elde edilen renk soğuk daldırmadan daha kalitesizdir.

2.4.2 Gıda Maddelerinin Haşlanması

Enzim aktivasyonu kurutma işlemleri esnasında istenmeyen bir durumdur. Enzim aktivasyonu gıdaların besin değerini düşürür, kararmasına ve yapısal olarak bozulmasına sebep olur. Su aktivitesinin 0.75'ten aşağı düşürülmesi ile enzim aktivasyonu engellenebilir [32].

Su aktivitesi; gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı veya gıdaların atmosferden aldığı veya verdiği suyun nispi nem dengesinin yüzde biri (1/100) şeklinde tanımlanmıştır.

Su Aktivitesi (a_w) = (P/P_0) = (Bağıl nem/100)

Bu formülde;

P: Gıdadaki suyun buhar basıncı, ve P_0: Aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncını gösterir.

Bitkilerde bulunan polifenollerin dehidrejenasyonu ve ardından oksidasyonu neticesinde kararma meydana gelir. Birinci reaksiyon bakır içerikli bir enzim olan polifenol oksidaz (PPO) enzimi ile katalizlenir [33].

Kararma, gıda bileşeninin besin değerini, hücresel yapısını ve rengini bozduğundan dolayı müşteriler tarafından hem görsel hem de besinsel açıdan istenmeyen bir durumdur. Bu reaksiyonların engellenmesi gıda endüstrisi açısından büyük önemdedir [34]. PPO enzimini inaktive etmenin farklı yolları bulunmaktadır, haşlama yöntemi ile PPO enzimi inaktif hale getirilebilir [34].

Haşlama yöntemi; gıda bileşenleri kurutma işlemlerinden önce enzim inaktivasyonunun sağlanması için, sıcak suya daldırma veya püskürtme şeklinde uygulanabilir [35]. Fakat bileşene uygun olarak uygulanmalıdır, yetersiz ve fazla vb. yanlış sürelerde haşlama hücre kompozisyonlarının bozulması sebebiyle, kararma ve bozulma reaksiyonlarını hızlandırabilir [35].

Gıda bileşenlerinde kararmaya sebep olan enzim reaksiyonları, bozulma meydana gelmeye başladığında veya dokular bir stresle karşılaştığında meydana gelmektedir [36].

BÖLÜM 3

MANTARLAR

Makrofunguslar; klorofil bulundurmayan, fungi aleminde bulunan canlılardır. Ülkemizde doğal olarak yetişen ve kültürü yapılan makrofungusların bir kısmı gıda olarak tüketilmektedirler.

Makrofunguslar, uygun nem ve sıcaklıklarda ormanlarda ve çayırlarda yani organik madde yönünden zengin zeminde ve çürümekte olan dal, kütük ile canlı ağaç gövdeleri üzerinde yetişmektedirler. Fruktifikasyon organlarının kolayca görülebilmesinden dolayı ‘‘mantar’’, ‘‘makrofungus’’, ya da ‘‘makromiset’’ adları ile adlandırılabilirler [37].

Mantarların (Makrofungus) en önemli özelliği ekosistemde çok büyük rol oynamasıdır. 2 milyar yıldan beri ölü bitkisel ve hayvansal organizmaları çürütmektedirler. Bu yapılarda bulunan bazı elementlerin serbest bırakılması yalnızca fungus ve bakterilerin faaliyetleriyle mümkündür. Dünya üzerinde mantarlar olmasaydı canlı kalıntıları hiç çürüyemezdi dolayısıyla onların oluşturacakları kirlilikten ve element döngülerinin gerçekleşmemesinden dolayı yaşamın devamı mümkün olamazdı [38],[39].

Makrofunguslar yeninebilir, yenilemez ve zehirli mantarlar olmak üzere üç grup altında toplanabilirler. Yenilebilir mantarlar nişasta ve selülozun bulunmaz. Fakat protein, vitamin ve mineral maddeleri bulundurmalarından dolayı iyi bir gıda olarak kabul edilmektedirler. Mantarlar; thiamin (B1), Riboflavin (B2), pantotenik asit (B5), nikotenik asit, biyotin (B7) ve askorbik asit (C) ile D vitamini; minerallerden ise kalsiyum, fosfor, potasyum, demir, bakır, klor, sodyum, çinko, mangan ve brom içermektedirler. Mantarlar aynı zamanda folik asit kaynağıdır, folik asit yetersizliğinden ileri gelen

aneminin tedavisinde mantar kullanılabilmektedir. Araştırmalara göre mantar ayrıca kandaki şeker düzeyini düşürmektedir. Vitaminlerce zengin olan mantarlar sinir sistemleri üzerinde sakinleştirici bir etkiye de yol açmaktadır [40],[41].

Mantarlarla ilgili sistematik çalışmalar 250 yıllık bir geçmişe dayanır fakat bazılarının özellikleri yüzyıllardır bilinmektedir. Bira üretiminde, ekmek hamurunun kabartılmasında, şarap yapımında insanlık tarihinde hep kullanılmışlardır. Meksika ve Guatemala halkları bazı mantarları dinî ve mitolojik törenlerde kullanmışlardır. Yine bazı mantarlar amerika yerlileri ve çinliler tarafından tıbbî amaçla kullanılmışlardır.

Bugüne kadarki arkeolojik bulgular yenilebilir türlere dair kayıtların 13 bin yıl öncesinde Şili'ye dayandığını göstermektedir. Yabani mantarların yenilebildiğine dair kesin kayıtlar milattan önce yedinci yüzyıla dayanmakta ve Çin tarihinde görülmektedir. Antik Yunan ve Roma zamanında mantarlar değerli yiyeceklerdir. Mantarlar ormanlardan ve çayırlardan toplanmaktaydı ve soylular tarafından tüketilmekteydi [42].

Zehirli mantarlar sağlık problemlerine ve hatta ölümlere sebep olan mantar türleridir. Ülkemiz zehirli mantar türleri yönünden de zengindir. Ülkemizde 2000 yılına kadar yapılan çalışmalarda az zehirli, zehirli ve öldürücü zehirli özellikte olan toplam 68 takson belirlenmiştir [43].

Genellikle zehirlenmelere yol açan mantar türleri ve sendromlar şöyledir; Amanita phalloides ve Galerina cinsine ait bazı türler içerdikleri amatoksin ve phallotoksin maddeleri nedeniyle phalloides sendromuna yol açarlar. Amatoksinler doğrudan hücresel yapıyı etkiler ve DNA ve protein sentezini inhibe eder. Bu sayede de yaşamsal faaliyetlerin durmasına neden olur. Cortinarius orellanus ve Cortinarius orellanoides türleri ise içerdikleri orellanin maddesi böbrekleri etkiler. Bu etki böbreklerde ağır tahribata yol açarak orellanus sendromuna neden olur. Bir diğer bilinen zehirlenme sendromu ise gyromitra esculenta türünün içerdiği gyromitrin maddesinden kaynaklanan Gyromitra sendromudur ve sinir sistemine etki etmektedir [44].

Psilocybe, Stropharia ve Conocybe cinslerine ait türlerin içerdikleri psilosibin ve psilosin bileşenleri ise psilosibin sendromuna neden olur. Psilosibin vücutta psilosine dönüşür ve santral sinir sistemine etki ederek halüsinojenik etki yaratır. Pantherina sendromu, amanita muscaria ve amanita pantherina türlerinin içerdikleri ibotenik asit ve müsimol

bileşenlerinin sinir sistemine etki etmesiyle meydana gelir. Coprinus atramentarius türünün alkol eşliğinde tüketilmesi, içerisinde yer alan koprin maddesinin alınan alkol ile birlikte karaciğerde asetaldehitin oksitlenmesini engeller ve kanda aldehit birikimine yol açar. Bu durum da zehirlenmeye neden olmaktadır. Bu sendromlar arasında en ölümcül olanları latent periyotlarının uzun olması nedeniyle, phalloides, orellanus ve gyromitra sendromlarıdır. Diğer sendromlar ise insanda kusma, ishal, aşırı terleme, titreme, karın ağrısı gibi kısa sürede belirtiler göstererek tedavi edilebilirler [43].

Ölümcül seviyede zehirli olan mantar türlerinin sayısı tüm mantar türlerinin sayısına oranlandığında oldukça azdır. Diğer zehirli mantarların bir kısmı ise pişirildiklerinde bu niteliklerini kaybetmektedir. Doğadan toplanan yenilebilen mantar türlerinin sayısı ise hiç de az değildir. Bu türlere ekonomik değerleri ve lezzetleriyle ile köylülerin bütçelerine ciddi katkılar sağlayan kuzu göbeği mantarları iyi bir örnek teşkil eder. Zehirli ve yenilebilen bazı mantar türlerinin ayırt edilmesindeki bazı zorluklar ve yaşanan ölüm olayları nedeniyle kültür mantarlarının yiyecek olarak tüketilmesi önerilmektedir [47].

Pleurotus ostreatus isimli mantar türü yani bilinen adıyla istiridye mantarı, bizim tezimizde kullanmış olduğumuz agaricus bisporus'tan sonra Dünya'da en çok üretilen ikinci kültür mantarıdır. Bu mantar taşıdığı ekonomik ve ekolojik değerin yanı sıra tıbbi özelliklere de sahiptir. İstiridye mantarı beyaz şapkalı mantar (Agaricus bisporus) türünden farklı olarak, yetiştirme ortamının fermente olmamış materyal olması açısından üretimini cazip hale getirmektedir. Doğada kavak ve kayın ağaçlarında yetişebilen istiridye mantarı, mantar yetiştiriciliğinde belirli nem ve sıcaklık ortamlarında bu ağaçların kompost haline gelmiş atıkları samanla birleştirilerek beyaz florasan ışığında üretilebilmektedir [46].

3.1 Kültür Mantarı (*Agaricus bisporus*)

Portobello mantarının bir türü olarak bilinen Şekil 3.1'de görülen kültür mantarı; Avrupa ve kuzey Amerika'ya özgü bir yenilebilir mantar türüdür. Doğal ortamında gri-kahverengi renkte olan bu mantarların taban alanı pembe-kahverengimsidir.

Tarih boyunca toplayıcılıkla elde edilen kültür mantarı; 600 yıl önce Çin'de spesifik olarak yetiştirilmeye başlanmıştır, 1650'lerde Fransa'da kontrollü ortamlarda üretilmeye

başlanmıştır. Şu anda 70'den fazla ülkede Kültür mantarı kontrollü ortamlarda kar amaçlı olarak üretilmektedir. Dünyadaki mantar üretiminin %40'ı *Agaricus Bisporus* olarak bilinen kültür mantarı üretimidir [47].

Amerika Birleşik Devletleri'nden örnek vermek gerekirse; kişi başı yıllık kültür mantarı tüketimi 1 kilogramdan fazladır. Sadece Amerika'da yıllık 800 milyon dolarlık bir Pazar payına sahiptir. Bunun sebepleri ise; aşağıda da belirteceğimiz besleyicilik öğeleri ve ucuz bir sağlık deposu olmasıdır.

Kültür mantarı demir, magnezyum, potasyum ve sodyum kaynağıdır. Başta C ve D vitamini olmak üzere iyi bir vitamin deposudur [45]. Kolesterol bulunmayan kültür mantarında yüksek oranda da, lifli yapı ve protein bulunmaktadır. Aşağıda Çizelge 3.1'de çiğ ve Çizelge 3.2'de ise haşlanmış kültür mantarlarının besin değerlerini görülmektedir [39]. 100 g doğal ve çiğ ve de haşlanmış kültür mantarı için enerji değerleri sırasıyla 22 kcal ve 28 kcal değerlerindedir.



Şekil 3.1 Kültür Mantarı Örnekleri

Çizelge 3.1 100 g Doğal Çiğ Kültür Mantarı Örneği İçin Besin Değerleri [48]

Besin Öğesi	Gram Miktarı	2000 Cal/gün için (%)
Toplam Yağ	0.3 g	0
Kolesterol	0 g	0
Sodyum	5 mg	0
Potasyum	318 mg	9
Karbonhidrat	3.3 g	4
Protein	3.1 g	6
Demir		2
Magnezyum		2
D Vitamini		1
B6 Vitamini		5
A Vitamini		0
C Vitamini		3
B-12 Vitamini		0
Kalsiyum		0

Çizelge 3.2 100 Gram Kaynamış Kültür Mantarı Örneği İçin Besin Değerleri [48]

Besin Öğesi	Gram Miktarı	2000 Cal/gün için (%)
Toplam Yağ	0.5 g	0
Kolesterol	0 g	0
Sodyum	2 mg	0
Potasyum	356 mg	10
Karbonhidrat	5 g	7
Protein	2.2 g	4
Demir		9
Magnezyum		3
D Vitamini		2
B6 Vitamini		5
A Vitamini		0
C Vitamini		6
B-12 Vitamini		0
Kalsiyum		0

3.2 Mantar Kurutma ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Dinani vd. [20], elektrohidrodinamik destekli sıcak hava kurutucusuna belirli voltaj akımları verilerek sabit bir hava akışında voltajın kurutma hızına etkisi araştırmışlardır. Mantar dilimleri farklı boyutlarda kesilerek bu farklı boyutlar üzerinde voltaj etkileri araştırmıştır. Dilim kalınlığı arttıkça kurutma hızı düşmüş farklı dilim kalınlıklarında kV bazında verilen voltajlar 2 kV oynamalarla daha yüksek oranlar vermiştir.

Reyes vd. [49], 2014 yılında mantarları toplam 10 m^2 yüzeye sahip güneş paneli bir hibrid güneş kurutucusunda kurutmuşlardır. Elde edilmiş son ürünün kalitesi (renk, büzülme, rehidrasyon ve doku) belirlemeye çalışmışlardır. Tüm çalışmalarda belirgin bir esmerleşme gözlemiştir. En yüksek büzülme düşük hava geri dönüşüm seviyesi (%70) ve yüksek dilim kalınlığı ile gerçekleşmiştir. İstatistiksel analiz, sadece dilim kalınlığının büzülme üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, dilim kalınlığını arttırırken bir düşüş gösterdiğini göstermiştir Rehidrasyona tabi tutulan mantarların sertliği taze mantarlarınkinden daha yüksekti; ancak deneysel faktörlerin bu kalite parametresi üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Dilim kalınlığı ve havanın geri dönüşüm seviyesi, son nem içeriği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yaratmıştır.

Reyes vd. [13], 2013 yılında mantarları, 3 m^2 güneş paneli ve elektrik rezistansları ile sağlanan kombine güneş kurutucusunda (HSD) kurutmuşlardır. Sıcaklık, dilimler kalınlığı ve havanın geri dönüşüm seviyesi, kritik nem içeriği üzerinde ve 0.1'lik bir nem içeriğine ulaşmak için gereken süre üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiler göstermiştir. Kurutulmuş mantarın renk parametreleri, tüm işlemlerde, anormal koyulaşmaya işaret etmiştir. Kurutma kinetiği, fiziksel ve matematiksel basitleştirilmiş sabit yayılma modeli tarafından uygun bir şekilde ayarlanmıştır. Güneş enerjisi girişinden %3.5 ile %12.5 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Zhang vd. [50], hem sıcak hava kurutma hem de uzak infrared kurutma işlemleri sırasında kültür mantar dilimlerinin kalitesini arttırmak için kurutmadan önce ultrasonun, ön işlem yöntemi olarak kullanımını araştırmışlardır. Farklı ön muamele örnekleri arasında önceden işlenmiş örnekler, protein, indirgen şeker ve toplam şeker içerikleri arasında önemli bir değişiklik olmamıştır. Ultrasonun ön işlem olarak kullanıldığı, her iki kurutma sisteminde su kaybını kolaylaştırdığı gösterilmiştir. Ultrason

ile ön işleme tabi tutulan örneklerin, muamele edilmemiş örneklere kıyasla kuruma süresinin %9.5 oranında azalmasına neden olmuştur. Ayrıca ultrason, kuruyan kültür mantarlarının hem nem difüzivitesini hem de kütle transfer katsayısını arttırmıştır. Logaritmik model, iki kurutma işlemi sırasında farklı ön işlem yöntemlerinin su kaybı kinetiğini yeterince tanımlamıştır.

Fei Pei vd. [15], kültür mantarı dilimlerini dondurularak kurutma (FD) veya dondurarak kurutma birlikte mikrodalga vakumla kurutulması (FMVD) ve uçucu olmayan bileşenleri incelemişlerdir. Kültür mantarında bulunan çözülebilir şeker (mannitol), serbest amino asitler, 50-nükleotitler ve organik asit bileşenleri FD/FMVD'nin süblimasyon döneminde önemli ölçüde artmış ve daha sonra FMVD'de FD ve MVD'nin desorpsiyon döneminde azalmıştır. FD ürünleri ile karşılaştırıldığında, FMVD ürünlerindeki çözünür şekerlerin ve poliollerin içerikleri nispeten düşüktür, toplam serbest amino asitlerin içerikleri ise taze mantar seviyesindeki gibi yüksek olduğu görülmüştür.

Doymaz [51] tarafından yapılan çalışmada kültür mantar dilimlerinin %0.5 sitrik asit çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş ve kabin kurutucusunda kurutma hava sıcaklığının kültür mantarlarını üzerindeki etkisi incelemiştir. Mantar dilimlerinin ince tabaka kuruma özelliklerini açıklayan en iyi model, en yüksek R^2 değerlerine ve en düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip olan Logaritmik model olarak belirlemiştir. Sitrik asit çözeltisinin, mantar dilimlerinin hücre zarlarının geçirgenliğini arttırmaya katkıda bulunduğunu ve nem yayılmasında bir artışa yol açtığını gösterilmiştir. Kurutma hızı ve önceden muamele edilmiş numunelerin rehidrasyon oranı, kontrol numunelerine kıyasla artmıştır. Aktivasyon enerji değerleri kontrol ve ön işlemden geçirilmiş numuneler için sırasıyla 35.04 ve 37.21 kJ/mol olarak bulunmuştur. Etkili nem yayılma kabiliyeti kurutma sıcaklığındaki artışla artığı görülmüştür. Efektif difüzyon katsayısı değerlerinin ön işleme tabi tutulmuş örnekler için kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu da gözlenmiştir. Kurutma hızı ve önceden muamele edilmiş numunelerin rehidrasyon oranı, kontrol numunelerine kıyasla artmıştır.

Sevik vd. [23], plakalı toplayıcı ve su kaynaklı ısı pompası ile basit ve düşük maliyetli güneş enerjisi kullanan ısı pompası sistemi (SAHP) kullanmışlardır. Deneysel sonuçlara göre SAHP sisteminin kullanılmasının ısıl verim için faydalı olması önermiştir. Ayrıca

SAHP sistemi, güneş enerjisine yardımcı olması nedeniyle HP sisteminden daha iyi değerlere sahip olduğunu görmüştür. Mantarın kuruma özelliklerini ve kalitelerinin etkilerini belirlemeye çalışılmıştır. Kuruma süresi ve kalitesini dikkate alarak, 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 310 kg/h kütle akış hızında iyi kalitede kurutulmuş mantar elde etmiştir. Deneylerin sonunda elde edilen bir mantarın uzun süreli depolamaya uygun olduğunu tespit etmiştir.

Kemer vd. [52], yaptığı çalışmada kurutma havas hızının ve elmanın dilimlemesinin şeklinin, kurutma hızı, kuruma oranı ve nem içeriğine etkisini incelemiştir. Elmalar yatay ve dikey olarak 3-5 mm kalınlığında ayarlanmıştır. Kurutucudaki fan 2 farklı devirde çalıştırılmış ve denemeler bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Denemelerin sonucunda kesim şekli kurutmayı önemli derecede etkilememiştir. Sabit hız kuruma evresinde yüksek devirli fan ile yapılan kurutmada nem içeriği daha hızlı düşerken, azalan hız kuruma evresinde daha düşük fan hızı ile yapılan denemenin nem içeriği değişiminin diğerinden daha hızlı olduğu görülmüştür.

Taghian vd. [53], mantar dilimlerinin sıcak hava ile birlikte elektrohidrodinamik (EHD) kuruma davranışları, 17, 19 ve 21 kV'luk voltajlarda ve 5, 6 ve 7 cm elektrot boşluklarına sahip laboratuvar ölçekli bir kurutucuda incelemişlerdir. Sonuçlara göre, sadece üç parametre içeren ampirik modelin, deneysel verilere en uygun olduğu görülmüştür. Önerilen ampirik modelden hemen sonra gelen ise dört parametre içeren Midilli & Küçük modelidir. Bu çalışmada, elektrot boşluklarında EHD'nin kurutulmasıyla birleştirilmiş bir sıcak hava uygulaması sunulmuştur. Yüksek elektrik alan yoğunluğundaki mantar dilimleri düşük elektrik alan yoğunluğundan daha hızlı kurutulur. 7 cm – 17 kV, 6 cm – 17 kV, 7 cm – 19 kV ve 6 cm – 19 kV değerlerine sahip mantar kurutma diyagramlarında sabit bir hız periyodu gözlenmiştir. Daha yüksek elektrik alan yoğunluğunda (5 cm – 21 kV, 6 cm – 21 kV, 5 cm – 19 kV, 5 cm – 17 kV ve 7 cm – 21 kV) kurutma kuruma başlangıcından itibaren düşme hızında gerçekleşmiştir. Bu çalışmada, seçilen modellerin uygun olduğu ve incelenen voltaj ve elektrot aralığı aralıklarındaki mantar dilimlerinin kurutma davranışını tanımlamak için oldukça iyi olduğu ortaya konulmuştur.

Nehru vd. [54], pleurotus mantarlarını bir güneşli kurutucuda test etmişlerdir. Denemeler öncesi mantarlar çeşitli ön işlemler ile muamele edilmiştir. Bu ön işlemler

onbeş dakika boyunca potasyum metabisülfat (%0.5), onbeş dakika boyunca sodyum benzoat (%0.5) ve üç dakika boyunca haşlama ve soğutma işlemidir. Bu işlemler ile birlikte ön işlem uygulanmayan kontrol numunesi deneyi de yapılmıştır. Deneyler esnasında nem içeriği %10'a kadar düşürülmüştür. Kurutma süreleri 5.5 – 6.5 saat arasında değişmektedir. En kaliteli, yani tadını en iyi koruyan deneyimiz ise potasyum metabisülfat ön işlemi yapılan deneydir.

Tian vd. [55], sıcak hava, vakum, mikrodalga ve mikrodalga vakum kurutma tekniklerinin shiitake mantarlarının üzerinde nitelik ve uçucu bileşik açısından etkileri incelemişlerdir. Sıcak hava kurutma ve vakum kurutma ile kurutulmuş mantarların B12 vitamini içeriğinin artmasına neden olmuştur. Mikrodalga vakum kurutma numunelerinin rengi, taze mantarların rengine yakın olduğu görülmüştür. Toplam serbest amino asitlerin içeriği ve toplam uçucu bileşik miktarı, dört kurutma yöntemiyle de (HAD, VD, MD ve MVD) artış göstermiştir. Mikrodalga vakum kurutma ve mikrodalga kurutma numuneleri sırasıyla en yüksek uçucu bileşik sayısına ve en düşük toplam uçucu bileşik içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Kurutulmuş ürün kalitesi ve uçucu bileşikler dikkate alındığında, yüksek kaliteli kurutulmuş shiitake mantarlarını düşük maliyetli bir şekilde elde etmek için mikrodalga vakum kurutma yöntemi ile kurutmanın potansiyel olabileceği görülmüştür.

Çelen vd. [56], zeytin pirinasının kuruma kinetiğini mikrodalga fırın ile incelemişlerdir. Farklı çıkış güçlerinde zamana bağlı olarak zeytin pirinasının nem içeriğindeki değişim belirlenmiştir. Kuruma hızı mikrodalganın çıkış gücü artığı zaman artmıştır. İnce tabaka kuruma modellerinden 7 mm ve 11 mm kalınlıklar için Two-term exponential, 9 mm kalınlık için sise Midilli & Küçük, pirinanın mikrodalga kuruma davranışını temsil eden en iyi modeller olduğu belirlenmiştir. Efektif difüzyon katsayısının $1.17x10^{-5}$ ve $4.11x10^{-6}$ m^2/s aralığında değiştiği gözlenmiştir.

Coşkuner vd. [57], taze mantarları dondurma işleminden önce kaynayan su içinde 2 dakika süreyle haşlıyor. Ancak bu işlem sırasında mantardaki suda çözülebilen kuru madde ve askorbik asit kaybının önemli düzeyde olduğu belirtmektedir.

Srivastava vd. [58], yaptıkları çalışmada, kayın mantarları 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklardaki sıcak su ve buharda ön işlem olarak haşlanmış ve sonrasında kabin kurutucuda sıcak havayla kurutulmuştur. Kurutma sonucunda mantarlardaki kuru

madde kaybı; sıcak suyla haşlamada %25.46, buhar ile haşlamada ise %3.32 olarak bildirilmiştir.

Toğrul vd. [59], 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların kuruma davranışlarını infrared kurutucuda 50, 60 ve 80°C kurutma havası sıcaklığı değerlerinde incelemişlerdir. Sıcaklığın 50°C'den 80°C'ye çıkarılmasıyla 0.5, 1.0 ve 1.5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 20, 170, 140 ve 104 dakikalık azalma olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkisini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve kalınlıktaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Krokida vd. [60], yaptıkları çalışmada patates, havuç, biber, sarımsak, mantar, soğan, pırasa, bezelye, mısır, kereviz, kabak ve domatesin kurutma karakteristiklerini belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır ve üç farklı sıcaklık (65, 75 ve 85°C), üç farklı kurutma havası hızı (1.5, 2.0 ve 2.6 m/s) ve de üç farklı hava nem değeri (%20, 30 ve 40) kullanmışlardır. Denemelerinde kurutma havası hızı, sıcaklığı ve nemi kontrol altında tutulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; denemeye alınan sebzelerin tamamı için kurutma oranında en önemli faktörün kurutma sıcaklığı olduğu, kurutma havası hızı ve neminin kurutma havası sıcaklığına göre daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

Nour vd. [61] çalışmalarında ise; Agaricus bisporus dilimlerinin dehidrasyonu, %0.5 potasyum metabisülfit (KMS) içinde ıslatma, %0.5 sitrik asit + %0.5 askorbik asit ve %0.75 EDTA'da ıslatma ve beyazlatma gibi çeşitli ön işlemlerle gerçekleştirildi. Kurutma, 50°C ve 70°C'deki kurutma hava sıcaklıklarında bir tepsi kurutucuda yapılmıştır ve kurutma karakteristiği eğrileri çizilmiştir. Mantar dilimlerinin çeşitli kimyasallarla ön işleme tabi tutulması ve farklı kurutma havası sıcaklığında kurutulması için gereken toplam kuruma süresi belirlenmiştir. Ön kurutma işlemlerinin kurutulmuş mantar dilimlerinin beyazlığı ve renk değişimi üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Dört işlem arasında, %0.5 sitrik asit ve %0.5 askorbik asitte ıslatmak, tüm kalite parametrelerini dikkate alarak nispeten daha kabul edilebilir bir ürün elde edilmesini sağlamıştır.

İzli ve Isik [62] tarafından yapılan çalışmada, mikrodalga, konvektif ve mikrodalga konvektif kurutma işlemlerinin mantar kurutma parametreleri, renk ve hücresel yapı özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Kurutma işlemleri için kurutma modellerini

seçmek için, deneysel verileri dokuz ayrı matematiksel modele yerleştirilmiştir. İstatistiksel testlerin değerlendirilmesine dayanarak, Midilli & Küçük modeli, Difüzyon Yaklaşımı modeli, Logaritmik model ve Wang & Singh modelinin, mantar örneklerinin kurutma özelliklerini tanımlamak için en uygun modeller olduğu bulundu. En kısa kuruma süresi, 500 W değerinde (35 dakika) mikrodalga yöntemiyle sağlanmıştır.

Arıcı [63], tarafından yapılan çalışmaya göre mantarın kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla 45, 50 ve 60°C sıcaklıklarda ve 0.9 ve 1.6 m/s hava hızı koşullarında kurutmuştur. Çalışmada örnekler 3 dakika süreyle buharda haşlanmış daha sonra %5'lik sodyum metabisülfit ve %0.5'lik sitrik asit çözeltisine 5 dakika süreyle daldırılmıştır. Analizler sonucunda, ürünün rehidrasyon kapasitesinin ön işlemsiz örneklerde diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Doymaz [64], 2014 yılında farklı infrared güç seviyelerinin de kültür mantarlarının kurutma kinetiğine etkisi araştırmıştır. Mantar dilimleri, 83, 125, 167 ve 209 W infrared güç seviyelerinde kurutulmuştur. İnfrared güç seviyesi 83 W değerinden 209 W değerine yükselirken kuruma süresinin de 300 dakikadan 40 dakikaya düştüğü görülmüştür. Kurutma modellerinden parabolik model, mantar kurutma için en uygun model olarak belirlenmiştir. Difüzyon katsayısı, kullanılan infrared düzeylerine göre 3.81×10^{-10} ile 4.20×10^{-9} m^2/s arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi ise değiştirilmiş bir Arrhenius tipi denklemi kullanılarak 7.55 kW/kg olarak hesaplamıştır.

Çakmak vd. [65], elektroplazmoliz (EP) ve ultrason ön işlemlerini (ABD) kültür mantarlarına uygulanmışlardır. Elektriksel yöntemler ve ultrason gibi ön işlemlerin uygulanması, işlem süresini azaltmak ve/veya kurutma teknolojisindeki gıda maddelerinin kalitesini korumak için yapılmaktadır. Bu çalışmada, elektroplazmoliz, 40 saniye boyunca 100 V'da gerçekleştirilmiştir, ultrason ise 30 dakika boyunca 35 kHz'de gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 1.5 m/s hava hızında 50 °C'de bir tepsi kurutucusunda kurutulmuştur. Ön işlemlerin kombinasyonu kurutma oranını %37.1 arttırdığı görülmüştür. Ultrason tedavisinin fenolik içeriği ve renk değerlerini elektroplazmolizle karşılaştırıldığında daha iyi muhafaza ettiği görülmüştür.

Darvishi vd. [8], ozmotik ön işlemin (OP), farklı kurutma koşullarında dilimlenmiş mantarlarının akışkan yataklı kurutucuda enerji ve ekserji analizlerinin üzerindeki etkisi

incelenmişlerdir. Kurutma, hava sirkülasyonu olan/olmayan, ozmotik ön-muamele ve kontrol numuneler için 30, 40 ve 50 °C'lik kurutma sıcaklıklarında ve 3, 5 ve 7 m/s'lik hava yüzeysel hızlarında gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketimi, artan hava hızı ve kurutma sıcaklığı ile artarken, ozmotik ön işlem ve hava sirkülasyon teknikleri kullanılarak azalmıştır. Egzoz havasının geri dönüşümü ile ekserji kaybı önemli ölçüde azalmıştır.

Das [66], bu çalışmada kültür mantarının en iyi şekilde kurutulması için entegre bir kurutma sistemi gerçekleştirilmesini amaçlamıştır. Mikrodalga kurutmaya alternatif olarak konvektif sıcak hava ile beraber uygulanmasına karar verilmiştir. Minimum kurutma süresine ve daha iyi kalite özelliklerine bağlı olarak en uygun MW işlem süresi 20±3 dakika olarak bulundu. Deneyler, optimum koşullar altında (21. ve 42. ve 63. ve 84. dakikalarda MW) 2.5, 5 ve 10 mm'lik dilim kalınlıkları üzerinde gerçekleştirilmiştir ve kurutma kinetiği, renk, su aktivitesi ve geleneksel sıcak hava kurutması ile karşılaştırılmıştır. Farklı kalınlıktaki mantarlar karşılaştırdığında optimum kuru mantar dilimi kalınlığı 2.5 mm olarak bulunmuştur.

Salehi vd. [67], kültür mantarlarının infrared-vakumlu kurutma özelliklerini, kombine bir kurutma sisteminde incelemişlerdir. İnfrared radyasyon gücü (150–375 W), sistem basıncı (5–15 kPa) ve süre (0-160 dakika) olmak üzere kurutma parametrelerinin kurutma kinetiği ve kültür mantar dilimlerinin üzerindeki etkileri incelenmiştir. Efektif nem difüzyon katsayısı, güç arttıkça artmıştır ve 0.83×10^{-9} m^2/s ile 2.33×10^{-9} m^2/s arasında değiştiği görülmüştür.

BÖLÜM 4

MANTAR KURUTMA İLE İLGİLİ YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Materyal

4.1.1 Hammadde

Bu çalışmada kullanılan Kültür mantarları (*Agaricus bisporus*) İstanbul ilinde bulunan bir süpermarketten satın alınmıştır. Şekil 4.1'de görülen mantarlar yaklaşık 40 mm±0.5 mm çapındadır. Temin edilen mantarlar 4°C'de Arçelik 1050T marka buzdolabında saklandı. İlgili kültür mantarları raf ömrü geçmeden numune için kullanıldı.



Şekil 4.1 Kurutma İşleminde Kullanılan Mantarlar

4.1.2 Araç ve Gereçler

Deneylerimiz ve kurutma çalışmalarımız Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Gıda ve Polimer Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 4.2 APV ve PASILAC Limited of Carlisle Kabin Kurutucu

Birinci grup Kurutma deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan Şekil 4.2'deki kabin kurutucu (APV ve PASILAC Limited of Carlisle, Cumbria, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır. İlgili kurutucu temel olarak; hava akışını sağlamak için bir santrifüjlü fandan, bir elektrikli ısıtıcıdan, bir hava filtresinden ve bir orantılı kontrol cihazından oluşur. Ürünün üzerindeki hava hızı, bir anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Tayvan) kullanılarak 0.1 m/s hassasiyetle ölçülmüştür. Hava, ısıtma ünitesinde istenen sıcaklığa ısıtılır ve kurutma odasına yönlendirilir. Kurutucudaki hava sıcaklığı hassasiyeti, bir sıcaklık kontrol cihazı kullanılarak ± 1 °C'ye ayarlandı.

İkinci grup kurutma işlemlerimiz için Şekil 4.3'deki bir adet 250 W halojen lambalı bir nem analiz cihazı (Snijders Moisture Balance; Snijders b.v., Tilburg, Hollanda) kullanılmıştır.



Şekil 4.3 İnfrared Kurutucu

Numunelerin ağırlık kaybı ise Şekil 4.4'de gösterilen 0.1 g okuma doğruluğuna sahip 0-3000 g ölçüm aralığına sahip dijital bir hassas terazi (model BB3000, Mettler-Toledo AG, Grefensee, İsviçre) kullanılarak kaydedildi.



Şekil 4.4 Tartım Ekipmanı

4.2 Deneysel Çalışma Yöntemleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan kültür mantarları; musluk suyu ile yıkandıktan sonra saplarından ayrıldı ve kurutma işlemi için Şekil 4.5'de gösterildiği gibi dikey olacak şekilde 4 parçaya bölündü. Bu sayede kültür mantarının kurutma yüzey alanı genişletildi. Dört eşit parçaya bölünen mantar örnekleri et kalınlıkları yaklaşık olarak 10 mm ± 0.1 mm olarak alınmıştır. Bütün Mantar (1/1) ve Yarım Mantar (1/2) Kurutma kontrol deneylerinde et kalınlıkları sırasıyla; 20 mm ± 0.1 mm ve 40 mm ± 0.1 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.5 Kurutma İşleminde Kullanılan İki ve Dört Eşit Parçaya Bölünmüş Mantarlar

4.2.1 Mantarların Kabin Kurutucuda Kurutulması

Kabin kurutucu, her kurutma işleminden yaklaşık 30 dakika önce, kararlı durum koşulları elde etmek için çalışmaya başlatılmıştır. Daha sonra, yaklaşık 50 g ağırlığındaki mantar dilimleri, tepsinin üzerine yaklaşık 1 cm kalınlığında yayıldı. Kurutma deneyleri, 45, 55, 65 ve 75 °C hava sıcaklıklarında ve 2 m/s sabit hava hızında gerçekleştirildi. Hava hızının kesin olarak ölçümü için Şekil 4.6'da gösterilen Testo 440 Vane marka Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Tayvan) kullanılmıştır. Hava, örneklerin kuruma yüzeylerine dik olarak temas etmektedir. Kurutma işlemi sırasında, tepsi 15 dakikalık aralıklarla alınmış

ve mantar dilimi örnekleri Şekil 4.4'de gösterilen bir dijital elektronik terazi kullanılarak tartılmıştır.



Şekil 4.6 Anemometre

Kurutma işlemi, numunelerin ağırlıkça nem içeriği yaklaşık %8 olduğunda durduruldu. Kurutulmuş ürün soğutuldu ve düşük yoğunluklu polietilen torbalarda paketlendi ve sonra dışarıdan nem almaması amacıyla da ısıyla kapatıldı. Kurutma deneyleri iki kez tekrarlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda dilimlenmiş mantarların üç gruba ayrıldı. Birinci gruptaki mantar dilimleri potasyum karbonat çözeltisi (% 2) çözeltisi ile 2 dakika boyunca ön işleme tabi tutulmuştur (Potasyum Karbonat). İkinci gruptaki örnekler 2 dakika sürede 80°C'deki sıcak su muamele edilmiştir (Haşlama). Üçüncü gruptaki örnekler ise herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kurutulmuştur (Kontrol).

4.2.2 Mantarların İnfrared Kurutucuda Kurutulması

Infrared lambalı kurutucu, her kurutma işleminden yaklaşık 10 dakika önce, kararlı durum koşulları elde etmek için çalışmaya başlatılmıştır. Daha sonra, yaklaşık 30 gram ağırlığındaki mantar dilimleri, tepsinin üzerine konuldu.

Infrared kurutucudaki dört farklı infrared güç seviyesinde (62, 74, 88 ve 104 W) ön işlemli ve ön işlemsiz örnekler kurutulmuştur. Kurutma işlemlerinde tepsi 15 dakikalık aralıklarla kurutucuda alınarak 10 saniyelik bir süre içinde tartma işlemi gerçekleştirilmiş

ve daha sonra tekrar kurutucuda yerine konulmuştur. Örneklerin nem içeriği tıpkı kabin kurutucudaki gibi yaklaşık ağırlıkça %8 olduğunda kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

Kurutulmuş ürün 10 dakika ortam sıcaklığında soğutulduktan sonra düşük yoğunluklu polietilen torbalarda paketlendi ve daha sonra dışarıdan nem almaması amacıyla da ısıyla kapatıldı. İnfrared lamba ile yapılan kurutma deneyleri de iki kez tekrarlandı.

4.2.3 Mantar Örneklerinin Kombine (İnfrared + Kabin Kurutucu) Sistemi ile Kurutulması

Deneysel çalışmalarda, ön işlemlerin ve sıcaklık hızlarının etkileri ile birlikte kurutmada kullanılan yöntemlerin birbirleri ile ortak kullanımları ile kurutma hızına olan etkileri incelenmiştir. Kombine sistemde yapılan deneylerde, önce bir saat ve iki saat süre ile 74 W infrared kurutucuda kurutulan örneklerin kurutma işlemi kabin kurutucuda 55°C'de devam edilmiştir.

4.3 Deneyde Kullanılan Gıda Maddesinin Kuru Madde Tayininin Yapılması

Mantar dilimlerinin başlangıçtaki nem içeriği, belirli bir miktardaki mantar örneği 24 saat boyunca 105°C'de etüvde bekletildikten sonra ağırlığı bir terazi ile tartılmıştır. Gıda maddesinin ilk nem tayini hesaplaması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\% \text{ Kuru Madde} = \frac{M(son)}{M(ilk)} \text{ x } 100 \quad (4.1)$$

$$\% \text{ Nem} = 100 - \% \text{ Kuru madde} \quad (4.2)$$

M_{ilk} burada ilk numunenin gram cinsinden net ağırlığı ve M_{son} burada kuruma sonrası gram cinsinden net ağırlığı ifade etmektedir.

Nem içeriğinin tespiti için Şekil 4.7'de görülen etüv (Selecta, Barcelona, İspanya) cihazından faydalanılmıştır. Yapılan kuru madde tayini ile ortalama değer ağırlıkça %92.2 nem içeriği olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Etüv Cihazı

Kurutma sonrası kurutucu kabinden çıkarılan numunelerimiz, düşük yoğunluktaki LDPE torbalara doldurulduktan sonra Şekil 4.8'deki KRUPS firması (Fransa) yapımı Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak torbaların ağzı sıkıca ısı ile kapatılarak saklanmış ve numunelerin nem alması engellenmiştir.



Şekil 4.8 Kurutulan Maddeleri Paketleme Amacıyla Kullanılan Paketleme Cihazı

4.4 Mantar Kurutma İşlemlerinin İncelenmesi İçin Kullanılan Matematiksel Modelleme İşlemleri ve Bulunan Verilerin İncelenmesi

4.4.1 Matematiksel Modelleme

Kurutulan kültür mantarının nem oranı (MR) aşağıda gösterilen denklam (4.3) ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{4.3}$$

MR değeri bize nem oranını vermektedir. M_0, M_t ve M_e değerleri sırasıyla başlangıç, belirli zamandaki ve denge anındaki nem içeriğini (kg su/kg kuru madde) gösterir. M_e değeri, M_t ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında, çok düşük olduğundan hesaplamalarda ihmal edilir [64].

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \tag{4.4}$$

Burada M_t, kg su/kg kuru madde cinsinden "t" zamanındaki nem içeriği, $M_{t+\Delta t}$ ise kg su/kg kuru madde cinsinden "t+Δt" zamanındaki nem içeriği, Δt ise zamanın dakika cinsinden değişimidir [46].

Çizelge 4.1 Mantar Örneklerinin Kurutma Kinetiklerinin Matematiksel Modellemesi İçin Kullanılan Kurutma Modelleri

Model Adı	**Model Eşitliği**
Henderson & Pabis	$MR = aexp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Midilli & Küçük	$MR = aexp(-kt^n) + bt$
Wang & Singh	$MR = 1 + at + bt^2$

4.4.2 Regresyon Analizi

Regresyon analizinin yapılması amacıyla Statistica 8.0.550 bilgisayar programı (StatSoft, Inc., USA) kullanılmıştır. Model parametreleri Levenberg-Marquardt lineer olmayan

regresyon algoritması baz alınarak değerlendirilmiştir. Determinasyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve hataların ortalama kare kökü (RMSE) kirazın kuruma eğrilerinin uygunluğunun belirlenmesi için kriter olarak seçilmiştir. R^2, χ^2 ve RMSE değerleri, (4.5), (4.6) ve (4.7) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır [68].

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i}-MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{MR_{pre}}-MR_{exp,i}\right)^2} \quad (4.5)$$

$$\chi^2=\frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i}-MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (4.6)$$

$$RMSE=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i}-MR_{pre,i})^2\right]^{1/2} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki denklemlerde MR_{exp} kg su/kg kuru madde cinsinden deneysel nem oranını, MR_{pre} ise kg su/kg kuru madde cinsinden tahmini nem oranını vermektedir. N deneysel gözlem sayısı ve n kurutma modelindeki sabitlerin sayısıdır [69].

En iyi kurutma modelinin seçimi ise; en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ve RMSE değerlerinin seçilmesi ile elde edilir [70].

4.4.3 Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci difüzyon denkleminin çözümüdür [56]:

$$MR=\frac{8}{\pi^2}\sum_{n=o}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(-\frac{(2n+1)^2\,\pi^2\,D_{eff}\,t}{4L^2}\right) \quad (4.8)$$

Burada; D_{eff}: efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), L: dilim yarı kalınlığı (m) ve t: kurutma zamanı (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma zamanları için, (4.8) denkleminin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır.

$$MR=\frac{8}{\pi^2}\exp\left(-\frac{\pi^2\,D_{eff}\,t}{4L^2}\right) \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.9) aşağıda gösterildiği hale dönüşür.

$$MR = a\ exp\ (-kt) \tag{4.10}$$

Kurutma süresine karşı çizilen ln (MR) doğruların eğimleri denklem (4.11)'i verir ve bu denklem kullanılarak D_{eff} değerleri hesaplanır:

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \tag{4.11}$$

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır.

$$D_{eff} = D_0 exp\left(-\frac{E_a}{R\ (T+273.15)}\right) \tag{4.12}$$

Burada; D_{eff}: efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0: sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s), E_a: aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R: gaz sabiti (8.314 kJ/mol $\times$ K) ve T: kurutma sıcaklığıdır (^oC) [71].

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULARIN İNCELENMESİ

5.1 Kabin Kurutucuda Kurutulan Örnekler

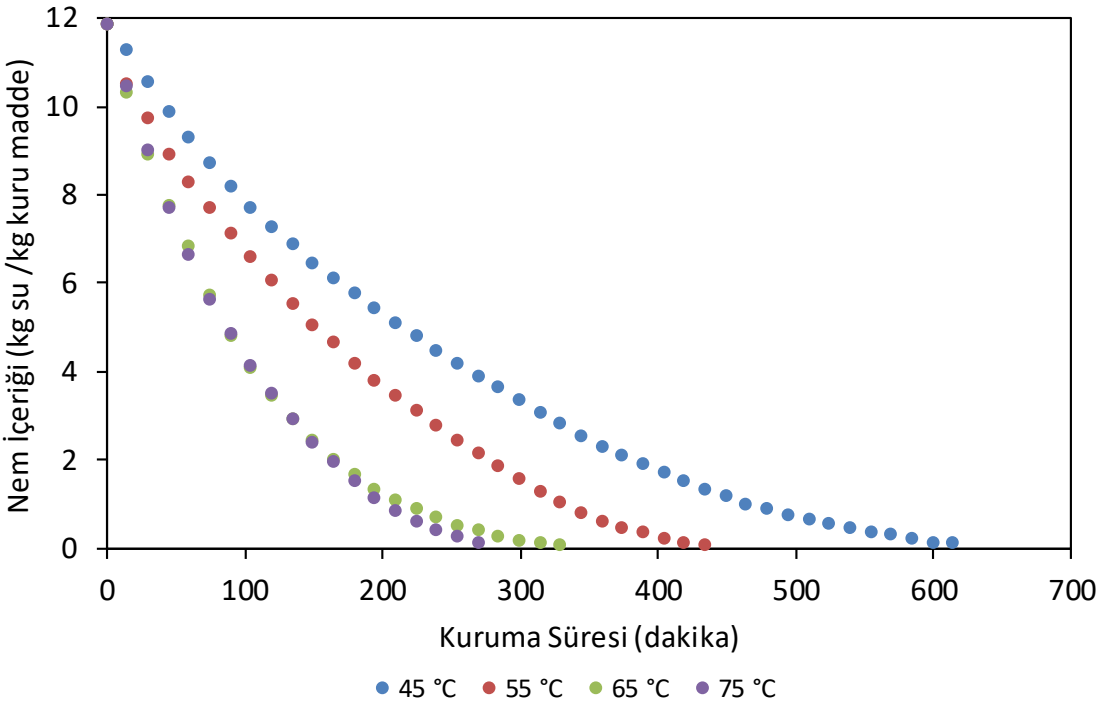
5.1.1 Sıcaklığın Etkisi

Sıcak hava üflemeli kabin kurutucuda değişik sıcaklıklarda kurutulan mantar dilimlerinin kurutma süreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça kurutma süresi azalmaktadır. Kontrol grubu örneklerinin 45, 55, 65 ve 75°C'de kuruma süreleri sırası ile 705, 540, 420 ve 315 dakikadır. En kısa kuruma süresine 75°C'de kurutulan mantar dilimlerinde elde edilmiştir. Sıcaklığın kurutma süresine etkisini literatürde bazı araştırıcılar tarafından da beyan edilmiştir [51],[76].

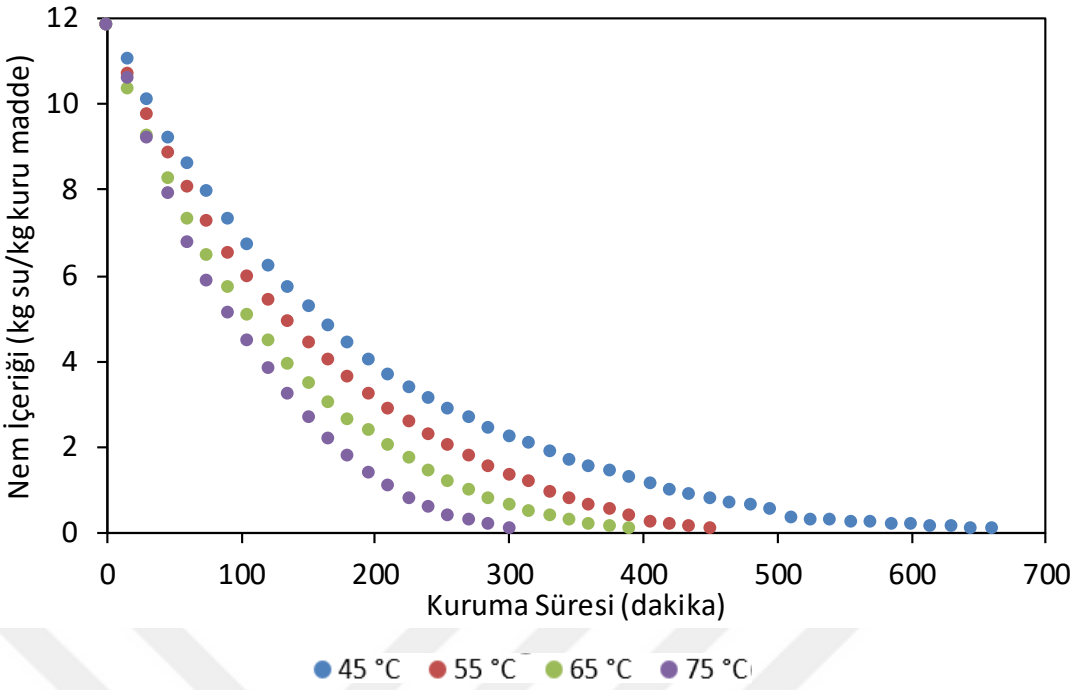
Çizelge 5.1 Kabin Kurutucuda Kurutulan Mantar Dilimlerinin Kurutma Süreleri

Kurutma Havası Sıcaklığı	Kuruma Süresi (dakika)		
	Potasyum Karbonat	Haşlama	Kontrol
45°C	615	660	705
55°C	435	450	540
65°C	330	390	420
75°C	270	300	315

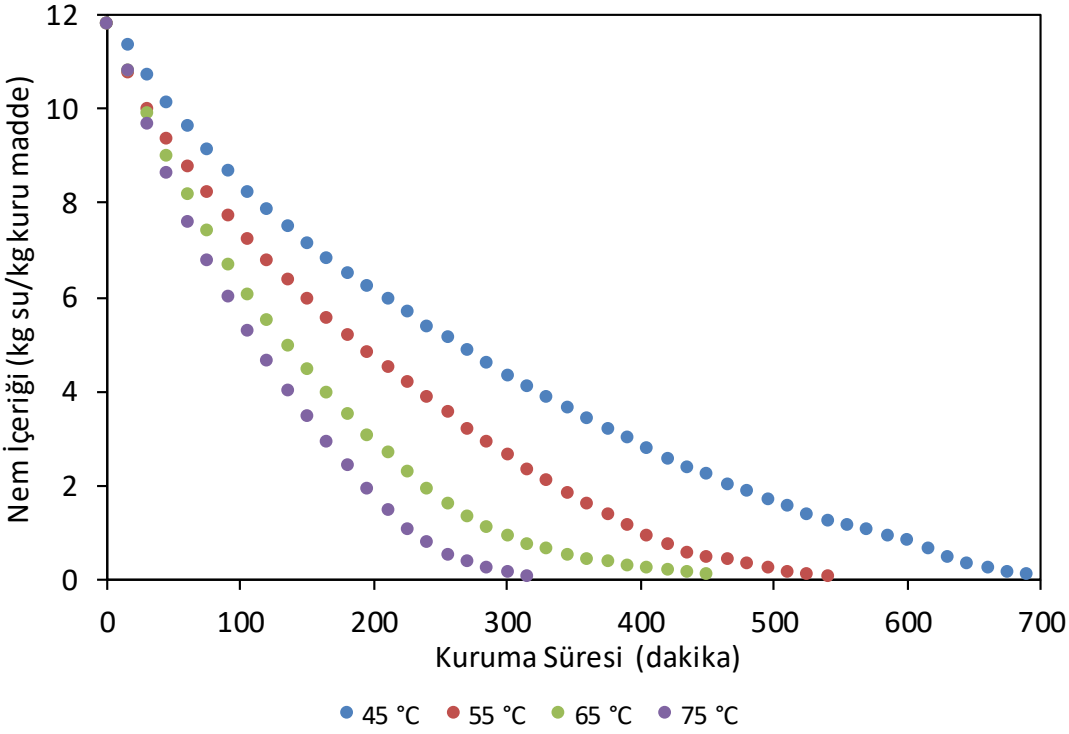
Her sıcaklık değerlerinde kurutulan ön işlemli ve ön işlemsiz olarak kurutulan mantar örneklerine ait kaydedilen verilerden yararlanarak nem içeriğinin kurutma süresi ile değişim eğrileri çizilmiştir. Ön işleme bağlı olarak çizilen bu eğriler Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'de karşılaştırmalı gösterilmektedir. Bu şekillerdeki eğrileri dikkatli bir şekilde incelenirse kurutma sırasında kullanılan havanın sıcaklığı arttıkça doğal olarak kuruma hızı artmış ve bunun sonucu olarak kuruma süreleri kısalmıştır.



Şekil 5.1 Potasyum Karbonat Çözeltisi ile Muamele Edilip Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kuruma Süresi ile Değişimi



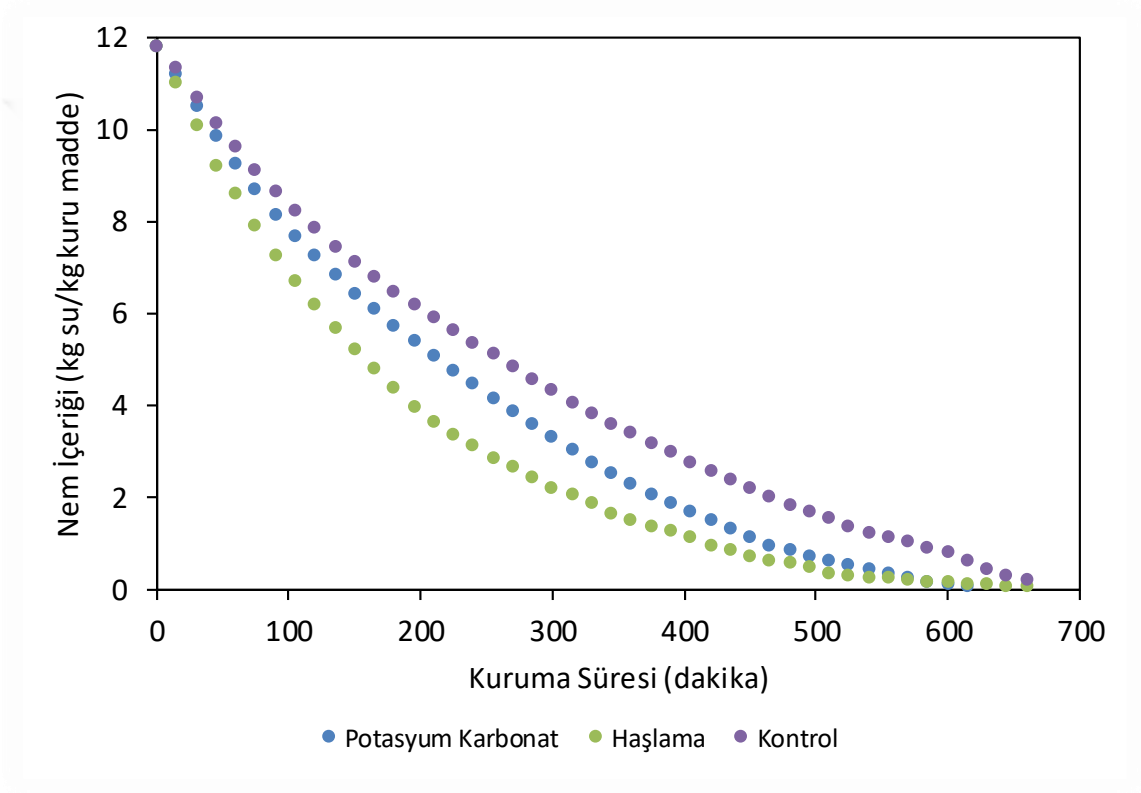
Şekil 5.2 Haşlama Ön İşlemi ile Muamele Edilip Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kuruma Süresi ile Değişimi



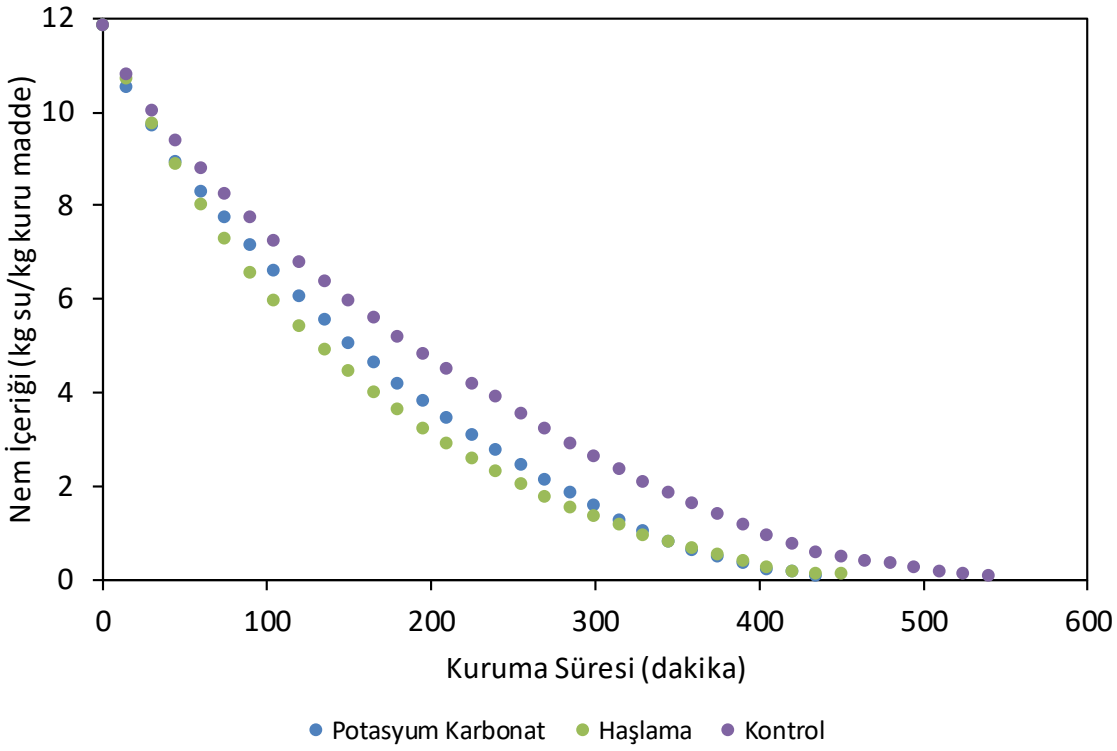
Şekil 5.3 Kontrol Örneklerine ait Nem İçeriğinin Kuruma Süresi ile Değişimi

5.1.2. Ön İşlemin Etkisi

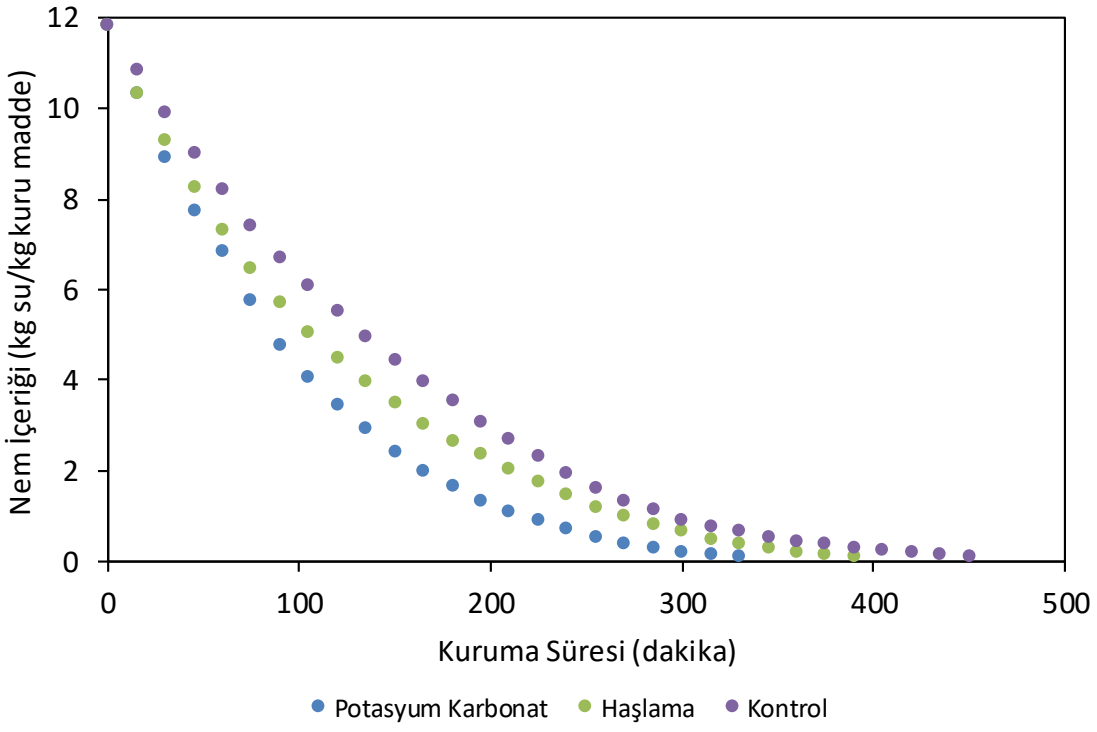
Mantar dilimleri kurutulmadan önce daha önce belirtildiği gibi iki farklı ön işleme tabi tutulmuştur (Potasyum karbonat çözeltisi ile muamele ve Haşlama işlemi). Ön işleme tabi tutulan örnekler Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi 45, 55, 65 ve 75°C'deki hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Mantar kurutmada ön işlemin etkisini belirlemek amacı ile ön işleme tabi tutulmayan bazı örnekler aynı sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma süreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında kaydedilen verilerden yararlanarak Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7 grafikleri çizilmiştir.



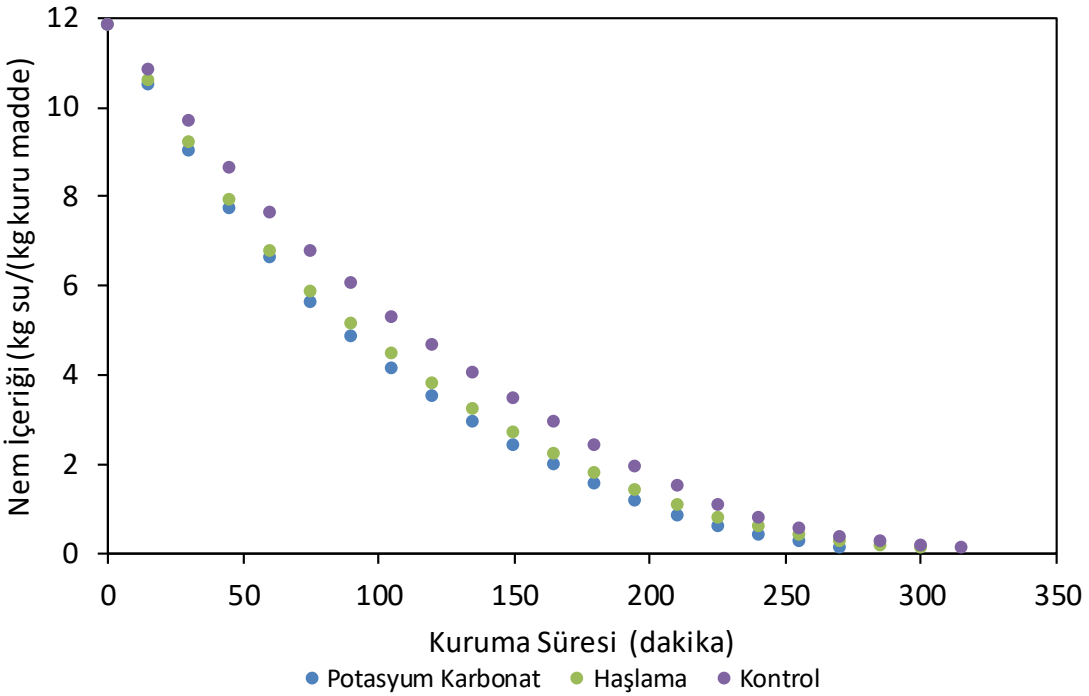
Şekil 5.4 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 45°C Sıcaklıkta Kurutulan Örneklerin Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği



Şekil 5.5 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 55°C Sıcaklıkta Kurutulan Örneklerin Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği



Şekil 5.6 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 65°C Sıcaklıkta Kurutulan Örneklerin Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği



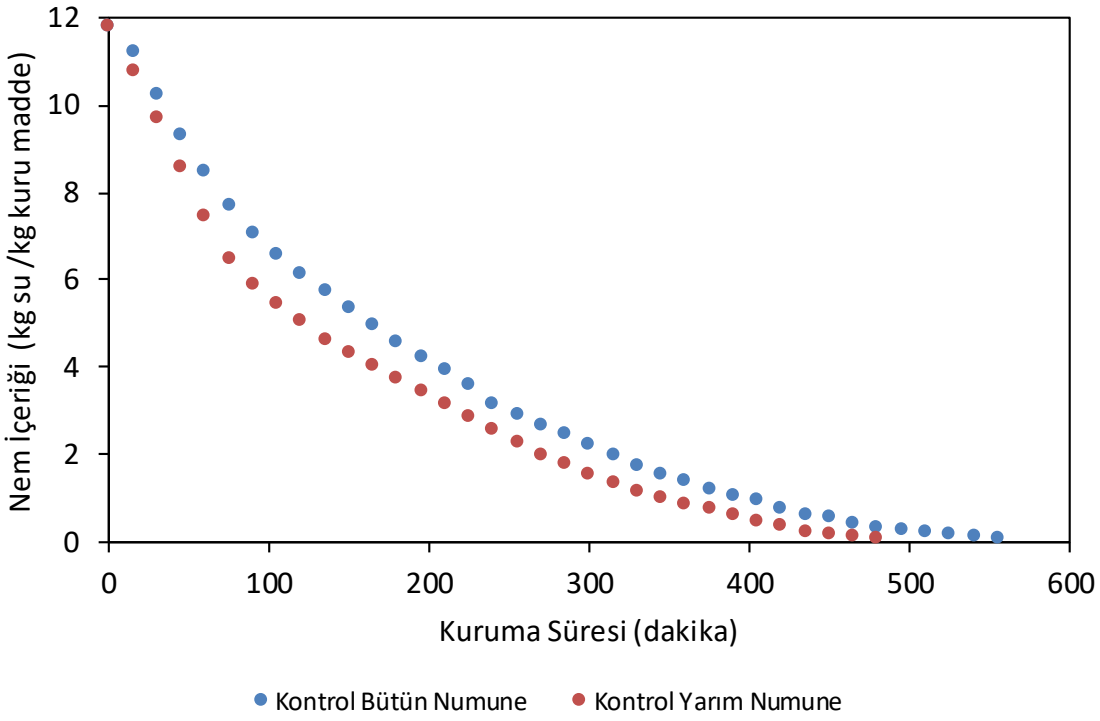
Şekil 5.7 Sıcak Hava ile Kurutma İşleminde 75°C Sıcaklıkta Kurutulan Örneklerin Nem İçeriği-Kurutma Süresi Grafiği

Şekil 5.4 ve 5.5'de görüleceği gibi 45 ve 55°C'de kurutulan Haşlama kodlu örneklerin kurutma başında diğer örneklere göre daha hızlı bir şekilde nemini kaybetmiştir. Buna karşılık 65 ve 75°C'de yapılan kurutma çalışmalarında Potasyum Karbonatlı kodlu örnekler diğer örneklere göre ağırlıklarında kayıp daha hızlıdır. Çizelge 5.1'de görüleceği gibi potasyum karbonat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulup kurutulan örneklerin kurutma süreleri diğer kurutulan örneklere göre kısadır. Ayrıca herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kurutulan Kontrol kodlu örneklerin kurutma süreleri en uzun olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bilgiler sonucunda mantar dilimlerin kurutulmasında ön işlemin kurutma hızının arttırdığı ve dolayısıyla kurutma süresini azalttığı ortaya çıkmıştır.

5.1.3. Geometrik Yapısının Kurutma Süresine Etkisi

Bütün (1/1) ve yarım (1/2) halde 55°C'de kurutulan mantar dilimlerine ait nem içeriğinin kurutma süresi ile değişim grafiği Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Bu şekildeki eğriler incelendiğinde yarım (1/2) halde kesilip kurutulan örneklerin kurutma süresi, nem oranı

ve kurutma oranı grafiklerinde de görülüp kanıtlandığı üzere; numunelerin et kalınlığının azaltılıp, yüzey temas alanlarının arttırılması kurutma işlemine olumlu etki etmektedir. Yüzey alanı arttırılmış ön işleme uğramış numunelerin kurutma hızlarının artması görülmektedir.



Şekil 5.8 Bütün (1/1) ve Yarım (1/2) Halde Kurutulan Örneklerin Nem İçeriğinin Kurutma Süresi Değişimi

5.1.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan denklemler Çizelge 4.1'de ve bu denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.2 ve 5.3'te verilmiştir. Tahmini standart hata, modelden elde edilen tahmini ve deneysel veri arasındaki sapmayı ve khi-kare uyumun iyilik derecesini göstermektedir.

En uygun model için khi-kare ve tahmini standart hata değerinin sıfıra, R^2 değerlerinin ise bire yakın olması gerekmektedir [72].

Çizelge 5.2 45°C ve 55°C'de Kurutulan Mantar Dilimleri için Matematiksel Modeller Kullanılarak Hesaplanmış R^2, χ^2 ve RMSE Değerleri

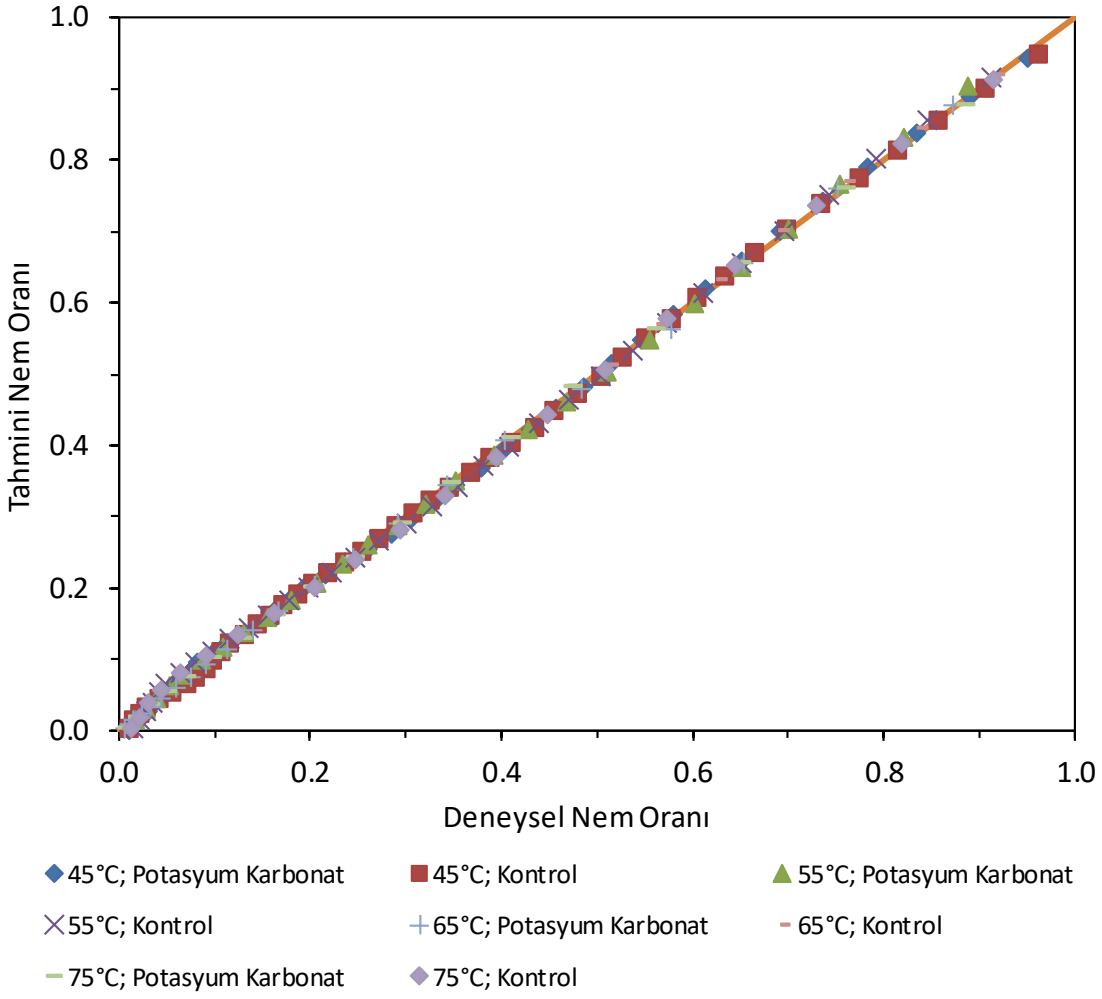
T (°C)	İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
45	Potasyum Karbonat	Henderson & Pabis	0.9986	0.001049	0.178057
		Page	0.9889	0.000516	0.127131
		Midilli & Küçük	0.9998	0.000055	0.040596
		Wang & Singh	0.9899	0.000332	0.093966
	Haşlama	Henderson & Pabis	0.9978	0.000167	0.072020
		Page	0.9942	0.000090	0.052606
		Midilli & Küçük	0.9997	0.000020	0.023320
		Wang & Singh	0.9954	0.001814	0.243642
	Kontrol	Henderson & Pabis	0.9892	0.001094	0.187079
		Page	0.9980	0.000634	0.145171
		Midilli & Küçük	0.9998	0.000026	0.029520
		Wang & Singh	0.9898	0.000432	0.119137
55	Potasyum Karbonat	Henderson & Pabis	0.9784	0.001301	0.167719
		Page	0.9799	0.000813	0.130968
		Midilli & Küçük	0.9998	0.000082	0.037741
		Wang & Singh	0.9872	0.000566	0.099531
	Haşlama	Henderson & Pabis	0.9890	0.000452	0.311272
		Page	0.9863	0.000244	0.230864
		Midilli & Küçük	0.9997	0.000009	0.038500
		Wang & Singh	0.9896	0.000894	0.452197
	Kontrol	Henderson & Pabis	0.9875	0.001394	0.195360
		Page	0.9924	0.000872	0.155318
		Midilli & Küçük	0.9999	0.000126	0.054519
		Wang & Singh	0.9895	0.000541	0.108657

Çizelge 5.3 65°C ve 75°C'de Kurutulan Mantar Dilimleri için Matematiksel Modeller Kullanılarak Hesaplanmış R^2, χ^2 ve RMSE Değerleri

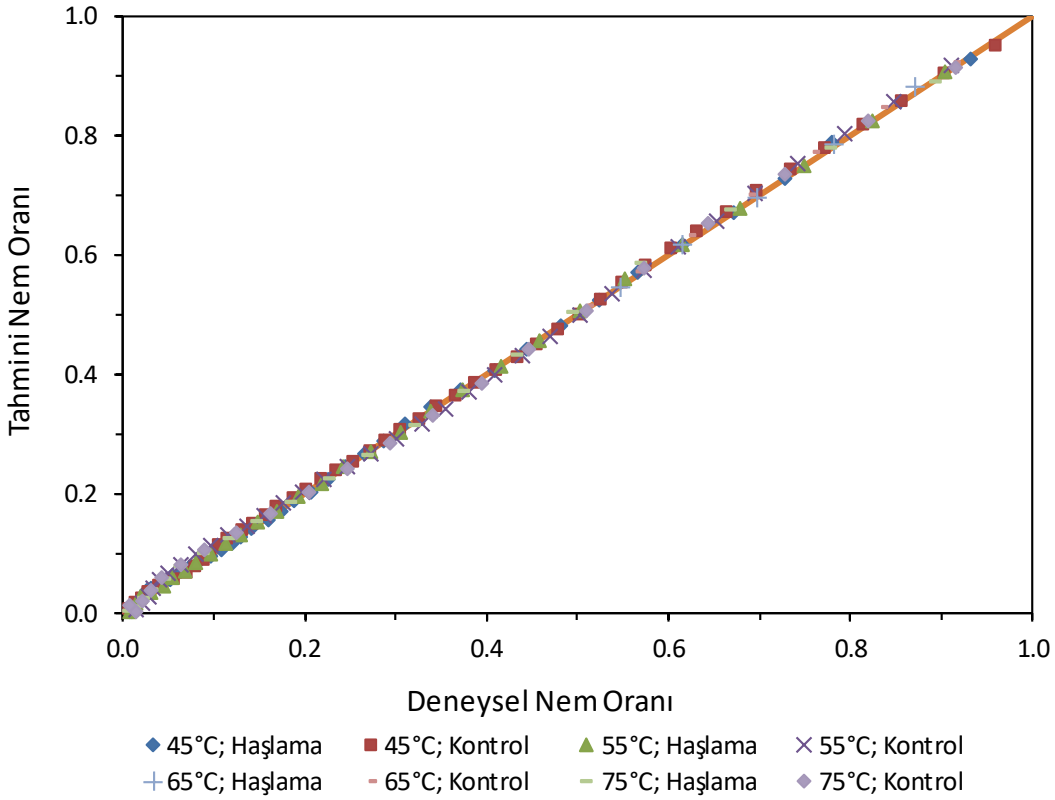
T (°C)	İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
65	Potasyum Karbonat	Henderson & Pabis	0.9908	0.000390	0.079046
		Page	0.9982	0.000086	0.034561
		Midilli & Küçük	0.9997	0.000024	0.014664
		Wang & Singh	0.9990	0.001002	0.126944
	Haşlama	Henderson & Pabis	0.9882	0.000347	0.081604
		Page	0.9890	0.000204	0.061263
		Midilli & Küçük	0.9994	0.000018	0.015509
		Wang & Singh	0.9960	0.001217	0.152374
	Kontrol	Henderson & Pabis	0.9924	0.000877	0.148324
		Page	0.9960	0.000239	0.076177
		Midilli & Küçük	0.9996	0.000098	0.046156
		Wang & Singh	0.9980	0.000280	0.074333
75	Potasyum Karbonat	Henderson & Pabis	0.9947	0.000788	0.99535
		Page	0.9897	0.000257	0.056742
		Midilli & Küçük	0.9999	0.000023	0.016256
		Wang & Singh	0.9986	0.000386	0.068560
	Haşlama	Henderson & Pabis	0.9955	0.000790	0.107251
		Page	0.9876	0.000258	0.062562
		Midilli & Küçük	0.9998	0.000056	0.027134
		Wang & Singh	0.9989	0.000420	0.071932
	Kontrol	Henderson & Pabis	0.9899	0.001788	0.168498
		Page	0.9934	0.000494	0.090592
		Midilli & Küçük	0.9999	0.000054	0.026180
		Wang & Singh	0.9992	0.000111	0.038125

Çizelge 5.2 ve 5.3'te verilen sonuçlar incelendiğinde Midilli & Küçük modelinin, tüm kurutma koşullarında yüksek R^2 ve düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu modelin R^2, χ^2 ve RMSE değerlerinin sırasıyla 0.9994 ve 0.9999, 0.000009 ve 0.000126, 0.014664 ve 0.054519 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında Midilli & Küçük modelinin diğer modellerden deneysel sonuçları daha iyi temsil ettiği saptanmıştır. Tüm sıcaklık değerleri için deneysel ile teorik Midilli & Küçük modelinden hesaplanan tahmini nem oranı değerleri Şekil 5.9 ve 5.10'da

görülmektedir. Deneysel nem oranı değerleri ve öngörülen nem oranı değerleri arasında iyi bir uyumu gösteren 45°C'de düz bir çizgi etrafında verilerin yer almasıdır.



Şekil 5.9 Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Potasyum Karbonat ve Kontrol Örneklerine ait Deneysel ile Midilli & Küçük denklemi Kullanılarak hesaplanan Tahmini Nem Oranı Değerleri



Şekil 5.10 Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Haşlama ve Kontrol Örneklerine ait Deneysel ile Midilli & Küçük Denklemi Kullanılarak Hesaplanan Tahmini Nem Oranı Değerleri

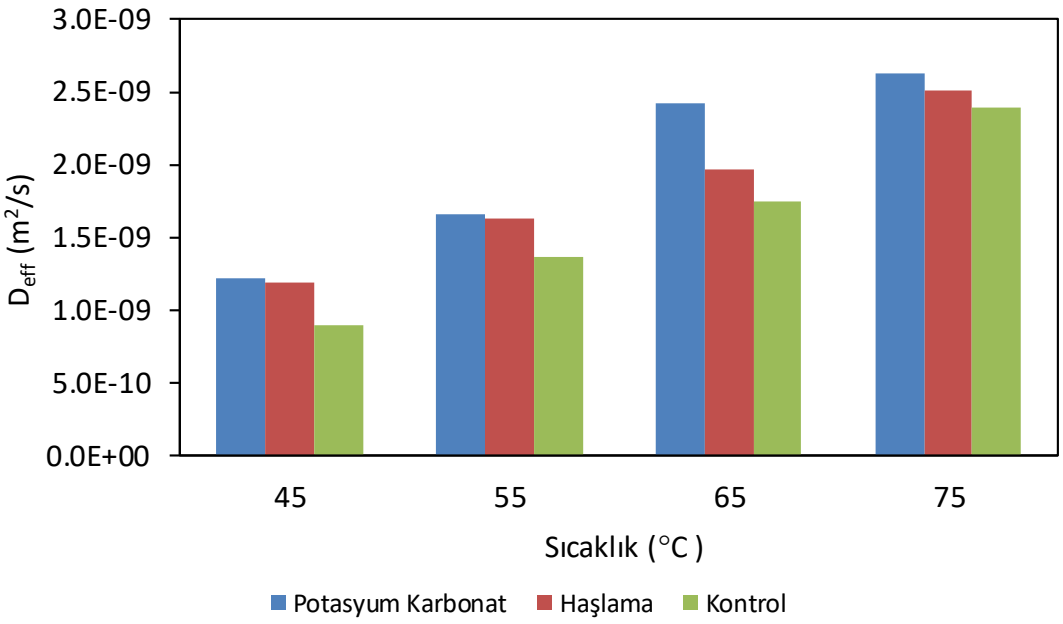
5.1.5 Kabin Kurutucuda Kurutulan Örneklerin Efektif Difüzyon Katsayıları

Değişik sıcaklıklarda ve ön işlemler uygulanarak kurutulan mantar dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri (4.10) nolu denklem kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Kabin Kurutucudaki Değişik Sıcaklıklarda Kurutulan Mantar Dilimlerine ait Efektif Difüzyon Katsayıları

Efektif Difüzyon Katsayısı (m^2/s)			
Sıcaklık	**Potasyum Karbonat**	**Haşlama**	**Kontrol**
45°C	1.217×10^{-09}	1.183×10^{-09}	8.959×10^{-10}
55°C	1.656×10^{-09}	1.622×10^{-09}	1.369×10^{-09}
65°C	2.417×10^{-09}	1.960×10^{-09}	1.741×10^{-09}
75°C	2.620×10^{-09}	2.501×10^{-09}	2.383×10^{-09}

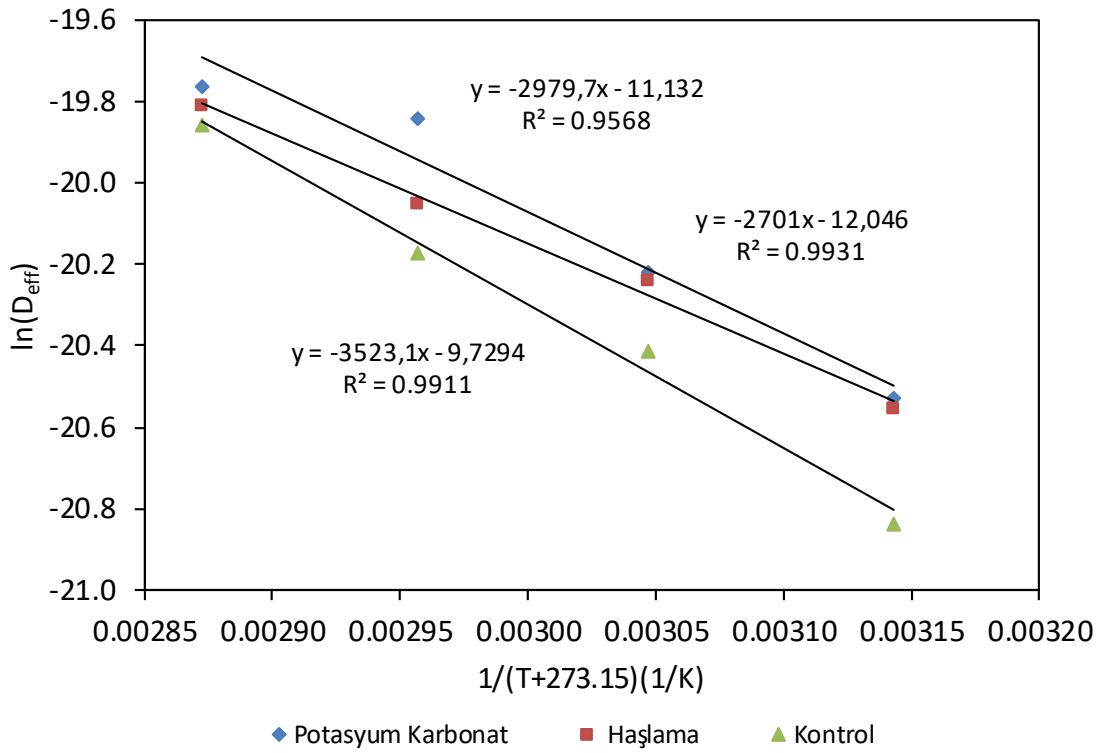
Efektif difüzyon katsayısı kurutma sıcaklığı doğru orantılıdır Şekil 5.11'den görebileceği üzere sıcaklık artışı ile D_{eff} değerleri artmıştır. Bu sayede sıcaklığın artması ile nem difüzyonu hızlanmıştır [53]. Her kurutma sıcaklığında potasyum karbonat kodlu örneklerin D_{eff} değerleri diğer örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum potasyum karbonat çözeltisi ile muamele edilen örneklerdeki su moleküllerinin kurutma işlemi sırasında yüzeye taşınım hızı arttığından dolayı kurutma hızı artmıştır. Bu durum D_{eff} değerlerini artmasına sebep olmuştur.



Şekil 5.11 Kültür Mantarı Örneklerinin Kabin Kurutucuda Kurutulmasında Efektif Difüzyon Katsayısının Kurutma Sıcaklığıyla Değişimi

5.1.6 Kabin Kurutucuda Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerjsi, ln(D_{eff}) ile 1/(T+273.15) arasında çizilen doğruların eğimlerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar için Şekil 5.12 üzerinde görülen değerler kullanılmıştır.



Şekil 5.12 Mantar Örneklerinin Sıcak Hava ile Kurutulmasında Sıcaklığın Difüzyon Katsayısına Etkisi

Aşağıdaki denklemlerde (5.1, 5.2, 5.3), ön işlem uygulanarak (Potasyum Karbonat ve Haşlama) ve ön işlem uygulanmadan (Kontrol) kurutulan mantar dilimleri için efektif difüzyon katsayı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.

Potasyum Karbonat:

$$D_{eff}=1.463\times10^{-5}\ exp\left(-\frac{2979.7}{T+273.15}\right)\quad (R^2: 0.9568) \tag{5.1}$$

Haşlama:

$$D_{eff}=5.867\times10^{-6}\ exp\left(-\frac{2701}{T+273.15}\right)\quad (R^2: 0.9931) \tag{5.2}$$

Kontrol:

$$D_{eff} = 5.950 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3523.1}{T+273.15}\right) \quad (R^2: 0.9911) \qquad (5.3)$$

Değişik sıcaklıklarda kurutulan mantar dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri (5.1), (5.2) ve (5.3) denklemlerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Potasyum Karbonat, Haşlama ve Kontrol kodlu örnekler için aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 24.77, 22.45 ve 29.29 kJ/mol olarak bulunmuştur. Elde edilen E_a değerleri literatürde belirtilen 12.7-110 kJ/mol aralığındadır [73].

Çizelge 5.5'da çeşitli çalışmalarda farklı mantar türlerinin sıcak hava ile kurutma işleminde elde edilen aktivasyon enerjileri gösterilmiştir ve bu çalışmada elde edilen veriler ile uyumludur.

Çizelge 5.5 Çeşitli Literatür Çalışmalarında Mantar Türleri İçin Elde Edilen Aktivasyon Enerjileri

Ürün	**E_a (kJ/mol)**	**Kaynak**
Kültür Mantarı	35.04-37.21	Doymaz [51]
Kültür Mantarı	36.39	Wakchaure vd. [75]
Kültür Mantarı	23.5-30.3	Seyhan vd. [76]
İstiridye Mantarı	22.23	Tulek [74]

5.2. İnfrared Kurutucuda Kurutulan Örnekler

5.2.1. İnfrared Güç Seviyesinin Etkisi

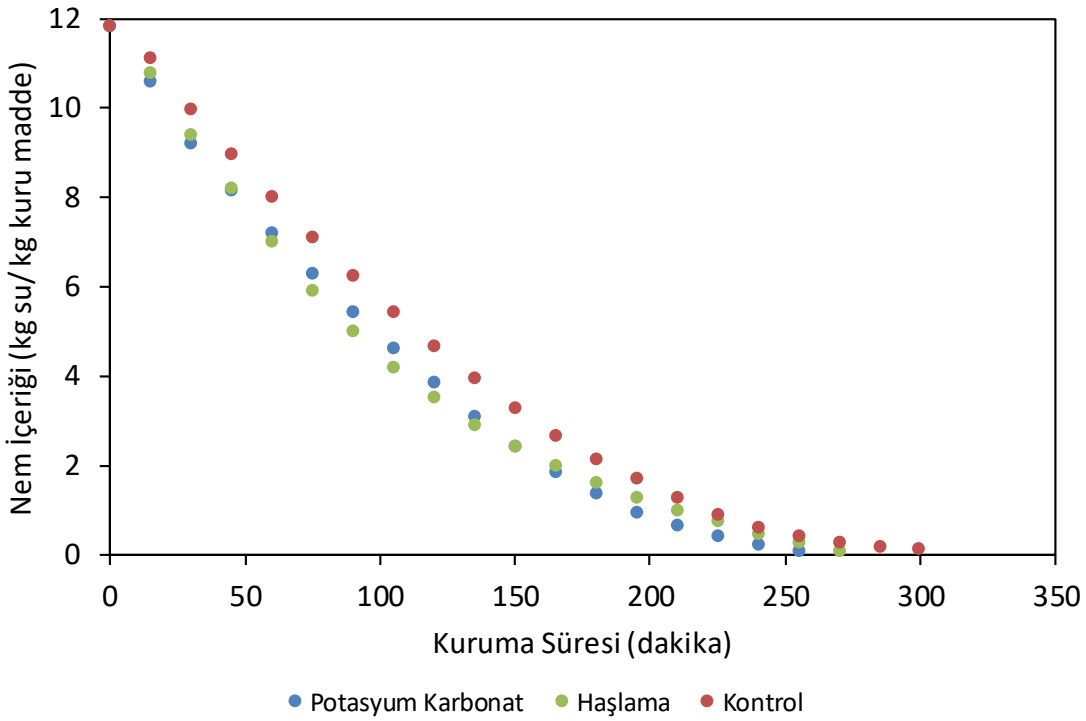
İnfrared kurutucuda değişik infrared güç seviyelerinde kurutulan mantar dilimlerinin kurutma süreleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelge 5.6'de görüldüğü gibi infrared güç seviyesi arttıkça kurutma süresi azalmaktadır. Kontrol kodlu kurutma grubu örneklerinin 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W güç seviyelerinde kuruma süreleri sırası ile; 300, 240, 210 ve 195 dakikadır. En kısa kuruma süresine 104 W güç seviyesinde ulaşılmıştır. Güç seviyesinin kurutma süresine etkisi literatürde bazı araştırıcılar tarafından da beyan edilmiştir [64].

Çizelge 5.6 İnfrared Kurutucuda Kurutulan Mantar Dilimlerinin Kurutma Süreleri

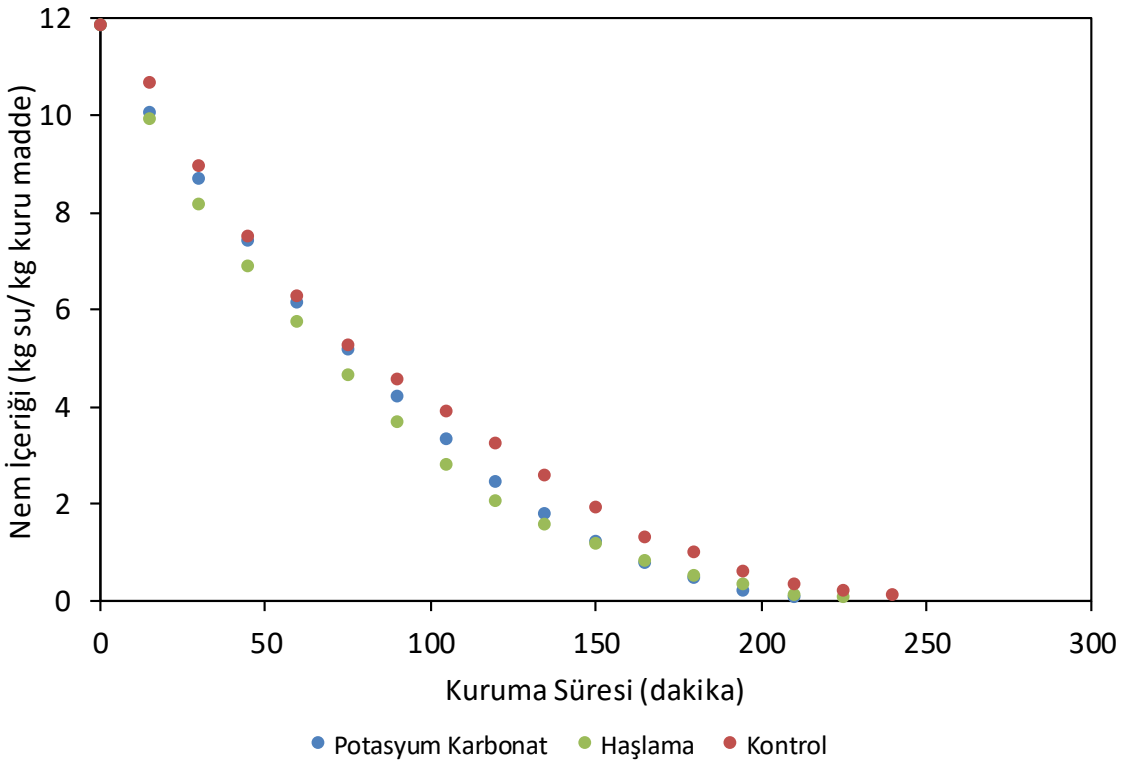
Kurutma Ortamı Gücü	Kuruma Süresi (dakika)		
	Potasyum Karbonat	Haşlama	Kontrol
62 W	255	270	300
74 W	210	225	240
88 W	180	195	210
104 W	165	180	195

Şekil 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, ve 5.17'deki grafiklerde görüldüğü üzere infrared kurutucuda kurutma değerleri incelendiği zaman; yükselen güç değerlerinde kuruma süreleri dikkate değer şekilde azalmakta ve belirli süredeki kurutma verimi artmaktadır.

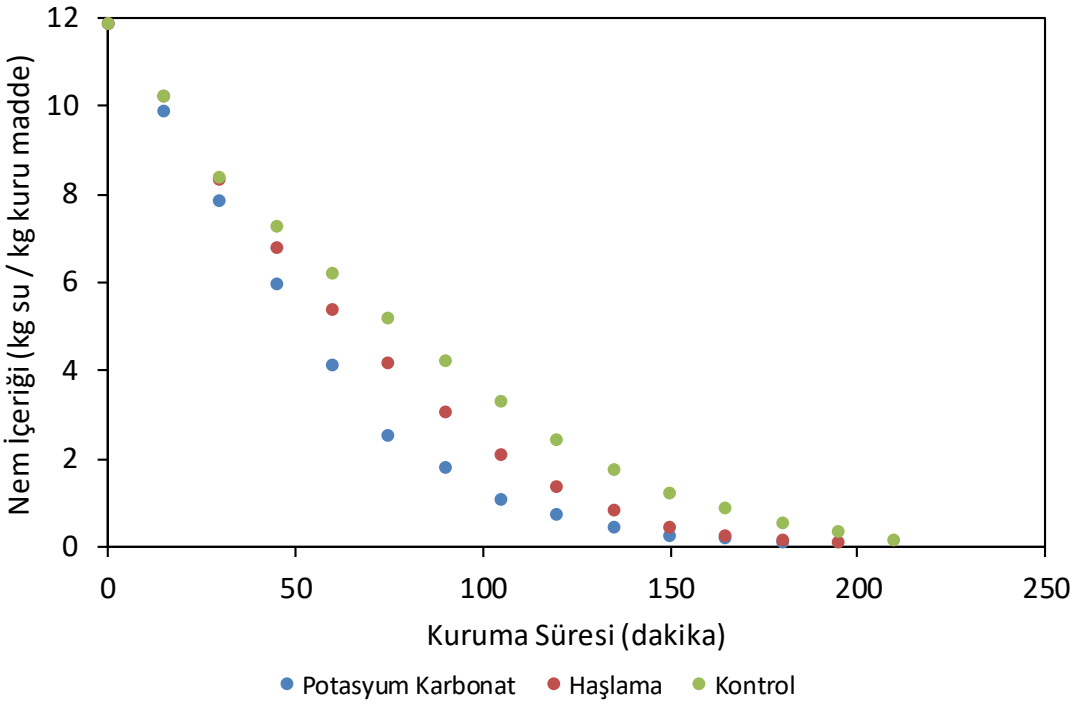
Her güç değerinde yapılan potasyum karbonat ve haşlama ön işlemleri, kurutma verimine olumlu etki göstermiş ve artan infrared gücüne bağlı olarak da kuruma trendi dikkate değer şekilde olumlu yönde değişmiştir. 62 W değerinden 104 W değerine gelindiği zaman potasyum karbonat numunelerinde kuruma süresi 260 dakika değerlerinden 140 dakika değerlerine düşmüştür. Aynı infrared güç seviyelerinde kurutulan kontrol kodlu örneklerde kuruma süresi 300 dakika değerinden 180 dakika değerine düşmüştür. Bu bilgiler kıyaslandığı zaman ön işleme tabi tutulan numunenin kurutma süresi, kontrol numunesine oranla daha kısadır.



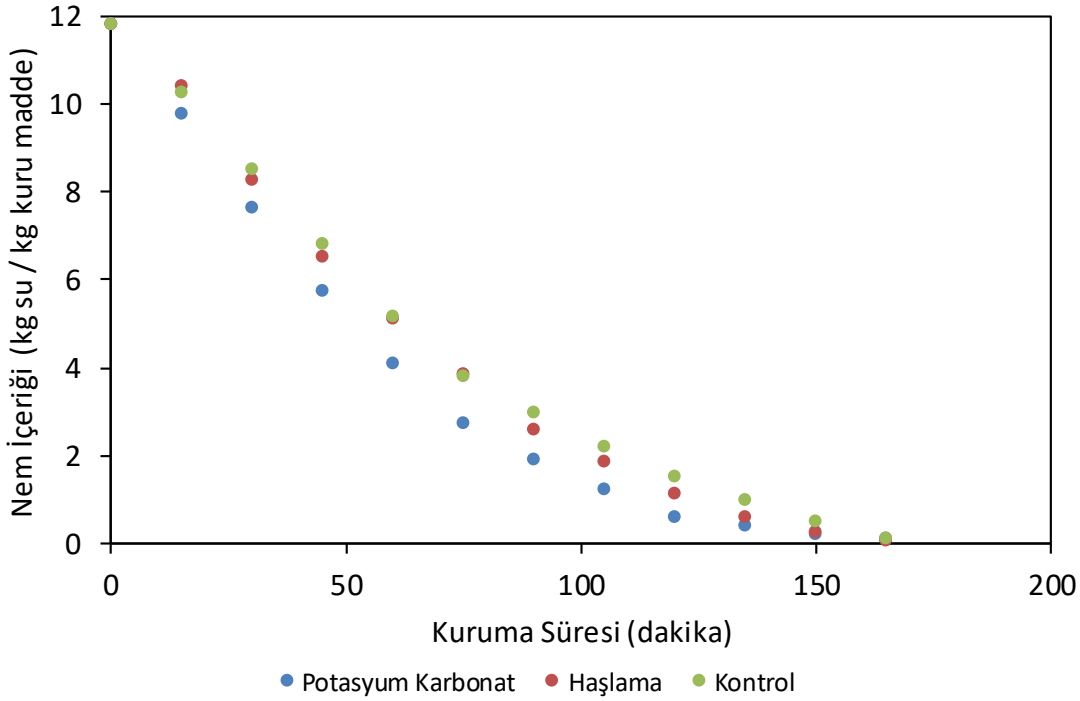
Şekil 5.13 İnfrared Kurutucuda 62 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi ile Değişimi



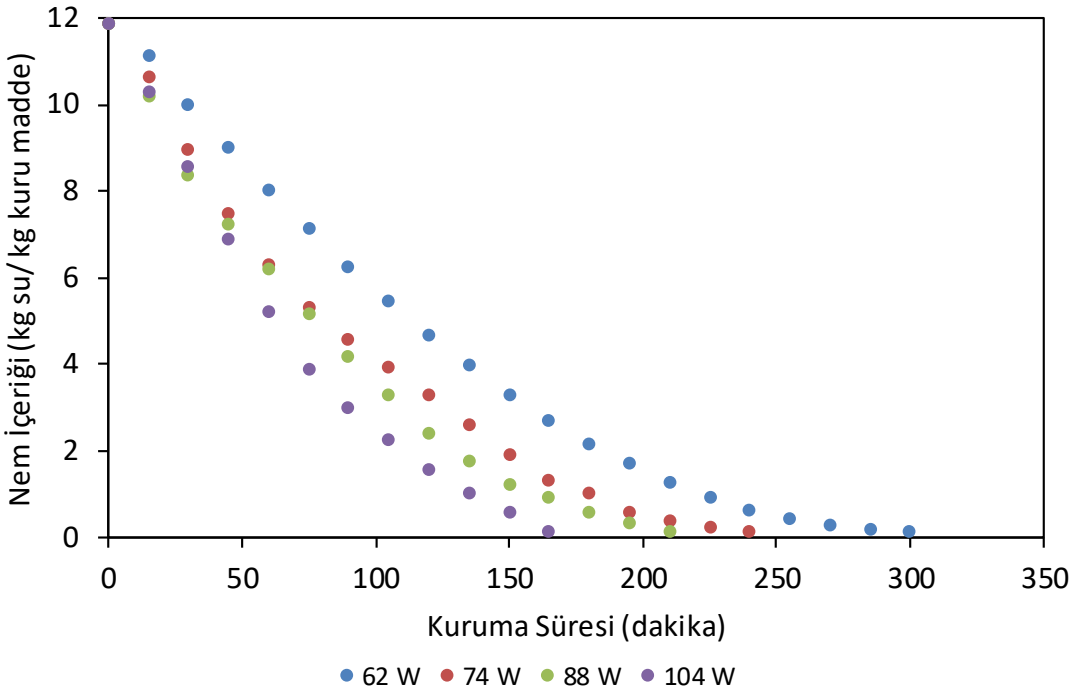
Şekil 5.14 İnfrared Kurutucuda 74 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi ile Değişimi



Şekil 5.15 İnfrared Kurutucuda 88 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi ile Değişimi



Şekil 5.16 İnfrared Kurutucuda 104 W IR Gücünde Kurutulan Mantar Dilimlerine Ait Nem İçeriğinin Kurutma Süresi ile Değişimi



Şekil 5.17 Kontrol Numunelerinde Bütün Güç Değerlerinde Nem İçeriği ve Kurutma Süresi Arasındaki İlişkinin Grafiği

5.2.2. Ön İşlemin Etkisi

İnfrared kurutucuda kurutulan örneklerin kurutulan örneklerin kurutma süreleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu çizelgedeki veriler incelendiğinde ön işleme tabi tutulan örneklerin kontrol örneklere göre daha kısa sürede kurudukları tespit edilmiştir. Kurutmadan önce uygulanan önişlemin kurutma hızını arttırdığı ve dolayısıyla kurutma süresini azalttığı sonucuna varılmıştır. Örneğin 62 W infrared gücünde kurutulan Potasyum Karbonat, Haşlama ve Kontrol kodlu örneklerin kuruma süreleri sırası ile 255, 270 ve 300 dakikadır. Bu sonuç, diğer infrared güç seviyelerinde kurutulan örneklerde de görülmektedir. Bununla birlikte, Potasyum karbonat çözeltisine daldırarak ön işlem uygulanan kültür mantarı örneklerinin kuruma süreleri haşlama ön işlemine maruz bırakılmış mantar örneklerinden daha düşük seviyedir. Ayrıca, Çizelge 5.6'daki verilerden ön işlem çözeltisinin etkinliği düşük infrared güç seviyesinde örneğin 62 W gücünde kurutulan örneklerde daha yüksektir.

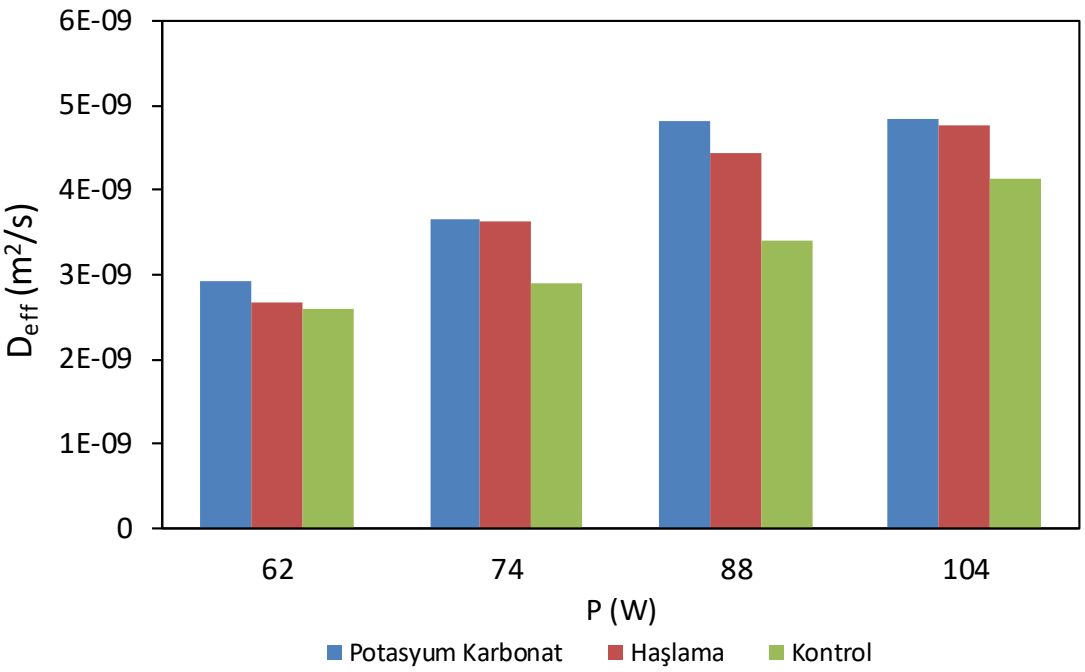
5.2.3 İnfrared Kurutucuda Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

İnfrared kurutucuda kurutulan mantar örneklerinin efektif difüzyon katsayıları (4.10) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.7'de ve grafiksel olarak Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 İnfrared Kurutucuda Kurutulan Mantar Örneklerinin Efektif Difüzyon Katsayıları

Güç (W)	**Efektif Difüzyon Katsayısı (m^2/s)**		
	Potasyum Karbonat	**Haşlama**	**Kontrol**
62 W	2.924×10^{-09}	2.670×10^{-09}	2.603×10^{-09}
74 W	3.651×10^{-09}	3.617×10^{-09}	2.907×10^{-09}
88 W	4.817×10^{-09}	4.428×10^{-09}	3.397×10^{-09}
104 W	4.851×10^{-09}	4.766×10^{-09}	4.124×10^{-09}

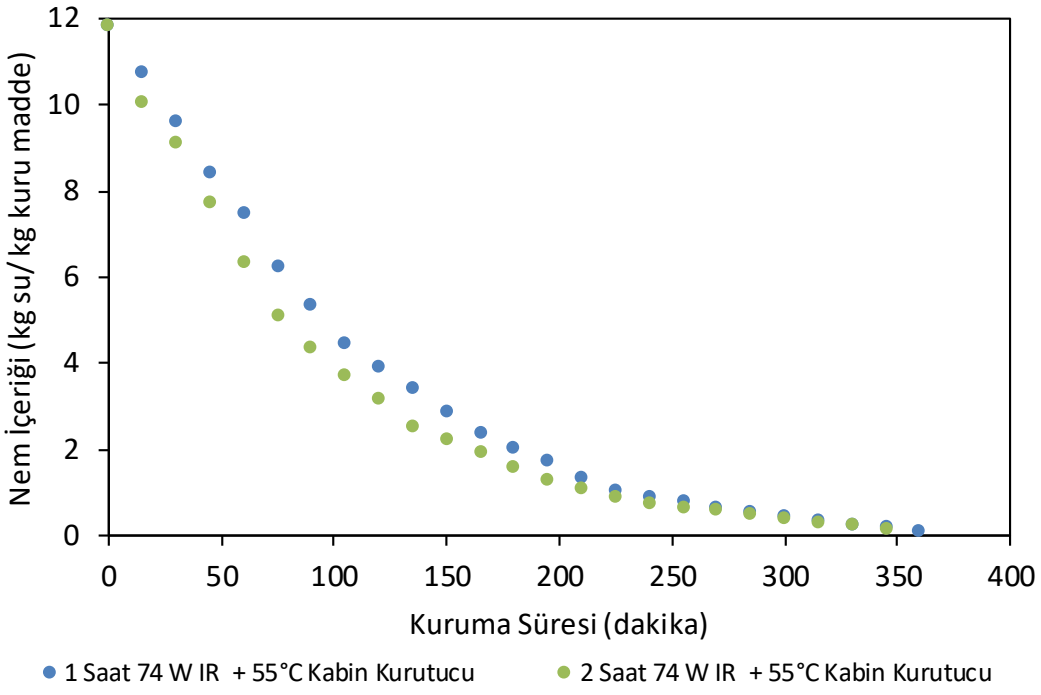
Şekil 5.18'den görebileceğiniz üzere sıcaklık artışı ile D_{eff} değerleri artmıştır. Her infrared güç seviyesinde potasyum karbonat kodlu örneklerin efektif difüzyon katsayısı diğer örneklere göre daha yüksek gelmiştir. Bu durum potasyum karbonat çözeltisinin kurutulan örneklerin yapısında değişikliğe bağlı olarak suyun geçirgenliğini artmıştır. Ayrıca, sıcaklığın artması ile efektif difüzyon katsayıları artmıştır.



Şekil 5.18 Kültür Mantarı Örneklerinin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasında Efektif Difüzyon Katsayısının İnfrared Güç Seviyesi ile Değişimi

5.3. Kombine Kurutma (İnfrared Kurutucu + Kabin Kurutucu) Sistemi

Mantar dilimlerinin kurutma deneylerinde kullanılan kurutma yöntemlerinin birbirlerine etkisinin incelenmesi amacıyla kombine kurutma çalışmaları yapılmıştır. Şekil 5.19 incelendiğinde, önce infrared kurutucuda 74 W IR gücünde 1 ve 2 saat süre ile kurutulan örnekler daha sonra kurutma işlemine 55°C'deki kabin kurutucuda devam edilmiştir.



Şekil 5.19 İnfrared Kurutucu ile Kabin Kurutucu Kombine Kurutma İşleminde Nem İçeriği ve Kurutma Süresi Grafiği

Şekil 5.19'da görüldüğü gibi kombine kurutma sisteminde yani infrared kurutucunun kabin kurutucu ile birlikte çalıştırıldıklarında, kabin kurutucu ile yapılan kurutma çalışmalara göre daha kurutma süreleri önemli oranda düşmektedir. Kabin kurutucuda 55°C'de kurutulan kontrol kodlu örneklerin 540 dakika süresinde (Çizelge 5.1) kuruma işlemini tamamlarken 1 saat infrared kurutma işlemine maruz bırakıldıktan sonra kurutma işlemini 55°C'de devam edilen örneğin kuruma süresi 350 dakika seviyelerindedir. Bu sonuca göre kombine kurutma sistemi ile kurutulan örneklerin kabin kurutucuda kurutulan örneklere göre kuruma sürelerinde yaklaşık %35 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, kurutucuların kombine kurutulması kurutma işleminin etkinliğini artırdığı bir göstergesidir.

BÖLÜM 6

SONUÇLARIN YORUMLANMASI VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda; kültür mantarının çeşitli kurutma yöntemlerinde kurutulmasını ve kurutma parametrelerini incelenmiştir. Deneylerde kullanılan yöntemler, çeşitli sıcaklıklarda kabin kurutucu içerisinde 2 m/s hızında hava ile kurutma; çeşitli güç (W) seviyelerinde infrared kurutma; aynı zamanda potasyum karbonat (%2)'lik çözeltiye daldırma uygulaması; 80°C sıcaklıkta 2 dakika boyunca haşlama uygulaması gibi ön işlemlerin kurutma parametrelerine etkileri, ve aynı zamanda kabin kurutucularda mantar boyutunun kurutma süresine etkileri; çeşitli yöntemlerin birlikte kullanılmasının etkileri, kurutma hızları, kurutma oranları, kurutma süreleri, ön işlemin etkisi, difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjilerinin değişimi incelenmiş ve ilgili çalışmalar yapılarak sonuçlar ortaya koyulmuştur. Elde edilen deneysel veriler ile sıcak hava ile kurutmada uygun matematiksel modeller kullanılarak işlem ve çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kabin kurutucuda, sıcaklık arttıkça kuruma hızlarının arttığı ve bunun sonucu olarak kurutma süreleri düşmüştür.
- İnfrared kurutucuda, infrared güç seviyesi arttıkça kurutma süreleri azalmıştır. 104 W gücünde yapılan kurutma işleminde; kültür mantarı dilimleri numunesi 62 W gücünde yapılan kurutma işlemine göre kurutma hızı %35 oranında artmıştır.
- Her iki kurutucuda potasyum karbonat çözeltisine daldırarak ön işlem uygulanan kültür mantarı örneklerinin kuruma süreleri diğer örneklerin kuruma sürelerine

daha düşük çıkmıştır. Potasyum karbonat çözeltisinin mantar kurutma çalışmalarında olumlu yönde etki ettiği gösterir.

- Kurutma işlemi sırsında mantar örneklerinin boyutu kurutma hızını ve kurutma süresini doğrudan etki eder. Aynı mantarları yarım (1/2) ve bütün (1/1) halinde kurutulduklarında yarım halde kurutulan örneklerin kuruma süreleri bütün olarak kurutulan örneklere göre daha düşüktür.
- Kombine kurutma sistemi ile kurutulan örneklerin kabin kurutucuda kurutulan örneklere göre kuruma sürelerinde yaklaşık %35 oranında bir azalma meydana gelmiştir.
- Kabin kurutucuda kültür mantarı örneklerinin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Henderson & Pabis, Page, Midilli & Küçük ve Wang & Singh modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Midilli & Küçük modelinin ürünlerin kuruma davranışlarını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.
- Her iki kurutucuda kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayısı incelendiğinde; sıcaklık ve infrared güç seviyesi yükseldikçe efektif difüzyon katsayılarının arttığı görülmüştür. Ön işlem uygulanan örneklerin efektif difüzyon katsayısı kontrol kodlu örneklere göre daha yüksektir. Potasyum karbonat çözeltisi Haşlama işlemine göre mantar kurutmada daha etili olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] İstanbul Sanayi Odası, "http://www.iso.org.tr/tr/documents/mkraporlar/gida-islemede-kurutma teknolojileri-.pdf?redirected=1," İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora/Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi.

[2] Aktaş, M., Ceylan, İ. ve Doğan, H., (2010), "Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızıbiber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneyleri," Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30:111–120.

[3] Dincer, I. ve Rosen, A.R., (2012), Energy, Environment and Sustainable Development. Elsevier Science.

[4] Karaaslan, S., (2008), "Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar," Doltora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[5] Gümüşderelioğlu, M., (2012), "Mikrodalgalar ve Uygulamaları", Bilim ve Teknik Dergisi, Temmuz, 38–42.

[6] Kutz, M., (2013), Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. 2nd Edition. Academic Press.

[7] Saldamlı, E. ve Saldamlı İ., (1990) "Gıda Endüstrisi Makinaları," Önder Matbaa, Ankara.

[8] Darvishi, H., Azadbakht, M. ve Noralahi, B., (2018), "Experimental Performance of Mushroom Fluidized-Bed Drying: Effect of Osmotic Pretreatment and Air Recirculation", Renewable Energy, 120:201–208.

[9] Güngör, A. ve Özbalta, N., (1997), "Endüstriyel Kurutma Sistemleri", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 737-747, İzmir.

[10] Tang, T. ve Yang, J., (2003), "Dehydrated Vegetables Principles and Applications" Handbook of Vegetable Preservation and Processing, Y.H. Hui al. (Eds.), Marcel Dekker, New York.

[11] Adedeji, G.S.V., Gachovska, A.A., Ngadi, T.K. ve Raghavan, M.O., (2008), "Effect of Pretreatments on Drying Characteristics of Okra", Drying Technology, 26:1251–1256.

[12] Cemeroğlu, B. ve Acar, J., (1986), Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Sanem Matbaası, Ankara.

[13] Reyes, A., Mahn, A., Cubillos, F. ve Huenulaf, P., (2013), "Energy Conversion and Man agement Mushroom Dehydration in a Hybrid-Solar Dryer", Energy Conversion and Management, 70:31–39.

[14] Lombrana J.I., Rodriguez, R. ve Ruiz, U., (2010), "Microwave-drying of Sliced Mushroom. Analysis of Temperature Control and Pressure," Innovative Food Science and Emerging Technologies, 11:652–660.

[15] Pei, F., (2014) "Changes in Non-Volatile Taste Components of Button Mushroom during Different Stages of Freeze Drying and Freeze Drying Combined with Microwave Vacuum Drying", Food Chemistyr, 165:547–554.

[16] Yilmaz, T.N.B. ve Tuncel, N., (2016), "Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı", Akademik Gıda 14:196–203.

[17] Baker, G.J.C., (1997), Industrial Drying of Foods, Chapmann Hall Publ., New York, p. 299.

[18] Toledo, R.T., (1991), Fundamentals of Food Process Engineering, Chapmann Hall Publ., p. 602.

[19] Mujumdar, A. S., (1995), Handbook of Industrial Drying, Marcel Dek. New York.

[20] Dinani, S.T., Hamdami, N., Shahedi, M., Havet, M., (2014), "Quality Assessment of Mushroom Slices Dried by Hot Air Combined with an Electrohydrodynamic (EHD) Drying System", Food and Bioproducts Processing, 94:572-580.

[21] Pratt, G.H., (1974), "Timber Drying Manual," Build. Res. Establ. Rep., no. Londra.

[22] Dadalı, G., (2007), "Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniğini Kullanarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[23] Sevik, S., Aktaş, M., Doğan, H., ve Koçak, S., (2013), "Mushroom Drying with Solar Assisted Heat Pump System", Energy Conversion ve Management, 72:171–178.

[24] Barbosa-Canovas, H. ve Vega-Mercado, G.V., (1996), Dehydration of Foods, Chapmann Hall Publ., First Edition, New York.

[25] Heldman, D. ve Hartel, R., (1997), Principles of Food Processing, Chapman Hall Publ., New York.

[26] Mazliak, P., (1970), Lipids, in the Biochemistry of Fruits and Their Products, Elsevier, vol. Eds. Hulme, 209–221.

[27] Suarez, J.A., Loncin, C. ve Cherife, M., (1984). "A Preliminary Study of the Ethyl Oleate Dipping Treatment on Drying Rate of Grain Corn", Journal of Food Science, 49:236–238.

[28] Glenn, G.M., Chiou, B.S., Imam, S.H., Wood, D.F. ve Orts, W.J., (1995), "Role Of Cuticles in Produce Quality And Preservation", in Produce Degradation: Pathways and Prevention, Lamikanra, O., Imam, S. ve Ukuku, D. (Eds.), Taylor & Francis Group, London, pp. 19-53.

[29] Doymaz, I. ve Pala, M. (2002). “The Effects of Dipping Pretreatments on Air-Drying Rates of the Seedless Grapes”, Journal of Food Engineering, 52:413-417.

[30] Saravacos, S.N. ve Marousis, G.D., (1988), “Effect of Ethyl Oleate on the Rate of Air-Drying of Foods, Journal of Food Engineering, 7:263-270.

[31] Pangavhane, P.N., Sawhney, D.R. ve Sarsavadia, R.L., (1999), “Effect of Various Dipping Pretreatment on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes”, Journal of Food Engineering, 39:211-216.

[32] Barbosa-Canovas, H. ve Vega-Mercado, G.V., (1996), Dehydration of Foods, Eds. Barbosa- Canovas, G.V, Chapman Hall, NewYork.

[33] Busch, J.M., (1999), “Enzymatic Browning in Potatoes: A Simple Assay for Polyphenol Oxidase Catalyzed Reaction", Biochemical Education, 27:171–173.

[34] Kim, I., Kim, C.Y. ve Park, I., (2005), “Prevention of Enzymatic Browning of Pear by Onion Extract”, Food Chemistry, 89:181–184.

[35] Fellows, P., (2000), “Dehydration, in Food Processing Technology: Principles and Practice,” Midw. Technol. Limited, Cambridge, United Kingdom.

[36] Robert, C., Richard-Forget, F., Rouch, C., Pabion, M., (1996), “A Kinetic Study of the Inhibition of Palmito Polyphenol Oxidase by L-cysteine”, International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 28:457-463.

[37] Yabanlı, M., (2003), "Ula Yöresinin Makrofungusları Üzerine Taksonomik Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, Muğla

[38] Landecker, E.M., (1996), Fundamentals of the Fungi, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

[39] Merdan, O., (2007), "Marmaris İlçesi (Muğla) Makrofungusları Üzerinde Taksonomik Çalışmalar", üksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, Muğla.

[40] Tokita, F., (1972), "Isolation and Cheical Structure of the Plasmacholestrol Reducing Subtance from Shitake Mushroom", Mushroom Science, 8:783-788.

[41] Melikeoğlu, G., (1976), "Yemeklik Mantarın Beslenmemizdeki Önemi ve Memleket Ekonomisine Katkısı", Türkiye I. Yemeklik Mantar Kongresi, 12-21, Ankara.

[42] Boa, E., (2004), "Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

[43] Mat, A., (2000), "Türkiye’de Mantar Zehirlenmeleri ve Zehirli Mantarlar", Nobel Tıp Kitabevleri Limited Şirketi, İstanbul.

[44] Bresinsky, A. ve Besl, H. (1990), "A Colour Atlas of Poisonous Fungi", Manson Publishing Ltd; First Edition, London.

[45] Hertog, M.G.L., Hollman, P.C.H. ve Katan, M.B., (1992), “Content of Potentially Anticarcinogenic Flavonoids of 28 Vegetables and 9 Fruits Commonly Consumed in the Netherlands”, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40:2379-2383.

[46] Sánchez, C., (2010), "Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and Other Edible Mushrooms", Applied Microbiology and Biotechnology, 85:1321-1337.

[47] Arts, I.C.W., van de Putte, B. ve Hollman, P.C.H., (2000), "Catechin Content of Foods Commonly Consumed in the Netherlands. 1. Fruits, Vegetables, Staple Foods and Processed Foods", ournal of Agricultural and Food Chemistry, 48:1746–1751.

[48] Software developed by the National Agricultural Library, "National Nutrient Database for Standard Reference." 2018.

[49] Reyes, A., Mahn, A. ve Vásquez, F., (2014), "Mushrooms Dehydration in a Hybrid-solar Dryer, using A Phase Change Material", Energy Conversoin and Management, 83:241-248.

[50] Zhang, Z., Liu, Z., Li, D., Jiang, N. ve Liu, C., 2016, "Effects of Ultrasound Pretreatment on Drying Kinetics and Quality Parameters of Button Mushroom Slices", 34(15):1791-1800.

[51] Doymaz, İ., (2014), "Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Convective Hot-Air Dried White Button Mushroom Slices", Journal of Chemistry, 2014, Article ID 453175.

[52] Kemer, M., (1996), "Elmanın Kuruma Özelliklerinin Araştırılması.", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

[53] Taghian, S., Hamdami, N., Shahedi, M. ve Havet, M., (2014), "Mathematical Modeling of Hot Air/Electrohydrodynamic Drying Kinetics of Mushroom Slices," Energy Conversion and Management, 86:70-80.

[54] Nehru, C., (1995), "Solar Drying Characteristics of Oyster Mushroom", Mushroom-Research. 1995, 4: 1, 27-30, India.

[55] Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H. ve Zheng, B., (2016), "Effects of Different Drying Methods on the Product Quality and Volatile Compounds of Whole Shiitake Mushrooms", Food Chemistry, 197:714–722.

[56] Çelen, S., Aktaş, T., Karabeyoğlu, S.S. ve Akyıldız, A., (2015), "Zeytin Pirinasının Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Kurutulması ve Uygun İnce Tabaka Modelinin Belirlenmesi", Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 12:21–31.

[57] Coşkuner, Y., (1997), "Mantar (*Agaricus bisporus*) Konservesi Üretiminde Çeşitli Ön İşlemlerin Bazı Element Miktarının Değişimi Üzerine Etkileri.", Mersin Üniversitesi, Mersin, s. 1-78.

[58] Srivastava, B., (2009), "Effects of Blanching Methods on Drying Kinetics of Oyster Mushroom.", International Journal of Food Engineering, 5(4): Article 2.

[59] Toğrul, H., (2005), "Mantarların İnce Tabaka Karakteristiklerinin İncelenmesi.", III. Tarım Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.

[60] Krokida, M., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (2003), "Drying Kinetics of Some Vegetables", Journal of Food Engineering, 59:391- 403.

[61] Nour V., Trandafir, I. ve Ionica, M.E. (2011), "Effects of Pre-Treatments and Drying Temperatures on the Qualıty of Dried Button Mushrooms", South Wastern Journal of Horticulture, Biology and Environment, 2(1):15-24.

[62] Izli, A. ve Isik, E., (2014), "Effect of Different Drying Methods on Drying Properties of Mushroom", Journal of Food and Nutrition Research, 53:105-116.

[63] Arıcı, R.Ç., (2006), "Mantarın (*Agaricus bisporus*) Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi", Selçuk Üniversitesi, Konya.1-64 s.

[64] Doymaz, I., (2014), "Infrared Drying of Button Mushroom Slices," Food Science and Biotechnology, 23:723-729.

[65] Çakmak, R.Ş., Tekeoğlu, O., Bozkır, H., Ergün, A. R. ve Baysal, T., (2016), "Effects of Electrical and Sonication Pretreatments on the Drying Rate and Quality of Mushrooms," LWT - Food Science and Technology, 69:197-202.

[66] Das, I. ve Arora, A., (2018), "Alternate Microwave and Convective Hot Air Application for Rapid Mushroom Drying", Journal of Food Engineering, 223: 208–219.

[67] Salehi, F., Kashaninejad, M. ve Jafarianlari, A., (2017), "Drying Kinetics and Characteristics of Combined Infrared-Vacuum Drying of Button Mushroom Slices", Heat and Mass Transfer, 53:1751–1759.

[68] Ghaderi, A., Abbasi, S. ve Motevali, A., (2012), "Comparison of Mathematical Models and Artificial Neural Networks for Prediction of Drying Kinetics of Mushroom in Microwave-vacuum Drier", Chemical Industry: Chemical Enginering Quarterly, 18: 283–293.

[69] Shi, Q., Zheng, Y. ve Zhao, Y., (2013), "Mathematical Modeling on Thin-layer Heat Pump Drying of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Slices," Energy Converson and Management, 71:208–216.

[70] Chen, D. ve Li, M., (2012), "TG-DSC Method Applied to Drying Characteristics and Heat Requirement of Cotton Stalk during Drying", Heat and Mass Transfer, 48:2087-2094.

[71] Lopez, P., Iguaz, A., Esnoz, A. ve Virseda, P., (2000), "Thin-Layer Drying Behaviour of Vegetable Wastes from Wholesale Market", Drying Technology, 18:995-1006.

[72] Kutlu, N. ve İsci, A., (2016), "Kurutma Yöntemlerinin Kiraz Domatesin Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi ve Matematiksel Modellemesi", Gıda, 41(4):197–204.

[73] Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B. ve Marinos-Kouris, D., (1996), "Moisture Diffusivity Data Compilation in Food Stuffs", Drying Technology, 14: 2225–2253.

[74] Tulek, Y., (2011), "Drying Kinetics of Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) in a Convective Hot Air Dryer", Journal of Agricultural Science Technology, 13(5):655-664.

[75] Wakchaure, G., Manikandan, K, Indra, M. ve Mahantesh, S., (2010), "Kinetics of Thin Layer Drying of Button Mushroom", Journal of Agricultural Science Technology, 47(4):41-46.

[76] Seyhan, F. ve Evranuz, Ö., (2000), "Low Temperature Mushroom (Agaricus bisporus) drying with desiccant dehumidifiers", Drying Technology: An International Journal, 18:433-445.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Burak ENGÜR
Doğum Tarihi ve Yeri	: 27/11/1990, BURSA
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: engur.burak.tr@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Kimya Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Milli Piyango Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2018-	Nalco Anadolu Kimya Ltd. Şti.	Uygulama Mühendisi
2014-2017	Sisar Mühendislik Ltd. Şti.	Proje ve Satış Mühendisi
2013-2014	Kolagom Kimya Ltd. Şti.	Satış Mühendisi

ULUSLARARASI KONGRELER

Engür, B. ve Doymaz, İ., (2018). "Mathematical Modelling of Mushroom Drying Using Cabinet Dryer", 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME), December 19-21, 2018, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, pp. 581-586.