

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ZENCEFİLİN
KURUTULMASI VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

MELİSA İŞSEVER

**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

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ZENCEFİLİN
KURUTULMASI VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Melisa İŞSEVER tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 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

Prof. Dr. Ş. İsmail KIRBAŞLAR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Doç. Dr. Yavuz SALT
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hem deneysel hem de yazım aşamasında bana yardımcı olup desteğini benden esirgemeyen, her zaman ulaşılabilir olan ve her problem yaşadığımda çözüm üreterek süreci kolaylaştıran çok değerli Hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca hayatımın her aşamasında olduğu gibi bana varlıkları ile güç veren aileme özellikle tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hissettiğim babam Zadik İŞSEVER'e ve her koşulda yanımda olup beni motive eden arkadaşlarıma sevgilerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Temmuz, 2019

Melisa İŞSEVER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	9
1.3 Hipotez.....	9
BÖLÜM 2	
KURUTMA.....	10
2.1 Kurutma İşlemi ve Amacı.....	10
2.1.1 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....	11
2.1.1.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi	11
2.1.1.2 Ürünün Boyutları.....	12
2.1.1.3 Sıcaklık	12
2.1.1.4 Havanın Hızı	12
2.1.1.5 Havanın Kuruluğu.....	13
2.1.1.6 Atmosfer Basıncı.....	13
2.1.2 Kurutmada Isı İletimi	13
2.1.3 Nem	13
2.1.4 Denge Nem Miktarı ve Su Aktivitesi	14
2.1.5 Sorpsiyon İzotermi.....	14
2.1.6 Kurutma Eğrileri	15
2.1.7 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler.....	17
2.1.8 Son Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler.....	17

2.1.8.1	Kurutma Sıcaklığı	17
2.1.8.2	Kurutma Süresi	17
2.1.8.3	Kurutma yüzde nem oranı.....	18
2.1.8.4	Rehidrasyon	18
2.1.9	Kurutma Yöntemi Seçilirken Göz Önüne Alınması Gerekenler.....	18
2.1.9.1	Maddenin Kuruma Özellikleri	18
2.1.9.2	Elde Edilecek Kuru Maddenin Özellikleri.....	19
2.1.9.3	Kurutma Prosesi ile İlgili Özellikler.....	19
2.1.9.4	Aletin Çalışma Koşulları	20
2.2	Kurutma Yöntemleri.....	20
2.2.1	Güneşte Kurutma Yöntemi.....	20
2.2.2	Solar Kurutma Yöntemi	20
2.2.3	Hava Üfleli Kurutma Yöntemi	21
2.2.4	Vakum ile Kurutma Yöntemi	21
2.2.5	Mikrodalga ile Kurutma Yöntemi	21
2.2.6	Dondurarak Kurutma Yöntemi.....	21
2.3	Kurutucu Tipleri.....	22
2.3.1	Tava Tipi Kurutucular	22
2.3.2	Tünel Kurutucular	22
2.3.3	Akışkan Yataklı Kurutucular.....	23
2.3.4	Püskürtmeli Kurutucular	24
2.3.5	Döner kurutucular.....	24
2.3.6	Dondurarak Kurutucu	25
BÖLÜM 3		
ZENCEFİL.....		26
3.1	Orijini ve Tarihi	26
3.2	Botanik Özellikleri.....	28
3.3	Kimyasal Özellikleri	28
3.4	Antibakteriyel ve Antimikrobal Özellikleri.....	29
3.5	Yetiştiriciliği	30
3.6	Hasatı	30
3.7	Sağlık ve Diğer Alanlardaki Kullanımı	31
3.8	Kurutulması	32
BÖLÜM 4		
MATERYAL VE YÖNTEM.....		33
4.1	Materyal	33
4.2	Ekipmanlar	33
4.3	Yöntem.....	37
4.3.1	Ön İşlem Çözeltilerinin Hazırlanması.....	37
4.3.2	Zencefil Nem Tayini	37
4.3.3	Sıcak Hava Kurutma Yöntemi ile Zencefilin Kurutulması.....	38
4.3.4	IR Kurutma Yöntemi ile Zencefilin Kurutulması	38
4.3.5	Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi ve Veri Analizi	39
4.3.6	Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	41
4.3.7	Renk analizi.....	42

BÖLÜM 5

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 433

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucudan Elde Edilen Bulgular.....	433
5.1.1 Sıcaklık ve Ön İşlem Parametrelerinin Kurutma Süresine Etkisi.....	43
5.1.2 Sıcaklık ve Ön İşlem Parametrelerinin Kurutma Hızına Etkisi.....	47
5.1.3 Zencefil Kalınlığının Kurutma Süresine Etkisi	49
5.1.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	50
5.1.5 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması	57
5.1.6 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması	59
5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular.....	61
5.2.1 Kızılötesi Kurutucu Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Süresine Etkisi.....	61
5.2.2 Kızılötesi Kurutucu Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Hızına Etkisi.....	64
5.2.3 Zencefil Kalınlığının Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi	66
5.2.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	67
5.2.5 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması	69
5.3 Kombine Kurutmanın (Kızılötesi + Sıcak Hava) Kurutma Süresine Etkisi	70
5.4 Renk Analizi	71

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 74

KAYNAKLAR 76

ÖZGEÇMİŞ 81

SİMGE LİSTESİ

a_w	Su aktivitesi
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)
H_r	Bağıl nem
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_0	Ürünün kurutmaya başlamadan önce içerdiği su miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
MR	Ayrılabilir nem oranı
n	Kullanılan kurutma modelindeki sabitlerin sayısı
P_w	Saf suyun buhar basıncı
P_w^0	Saf suyun kısmi buhar basıncı
r	Çap (m)
R	Gaz sabiti (kJ/(mol×K))
R^2	Determinasyon katsayısı
t	Zaman (dakika)
T	Kurutma sıcaklığı (°C)

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CIE	International Commision Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
EIE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
HPLC	High Performance Liquid Chromotography (Yüksek performanslı sıvı kromatografisi)
IR	Infrared
LDPE	Low Density Polyethylene (Düşük yoğunluklu polietilen)
TFC	Total Flavonoid Content (Toplam flavonoid içeriği)
TPC	Total Phenolic Content (Toplam fenolik içeriği)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi.....15
Şekil 2.2	Kurumanın aşamaları.....16
Şekil 2.3	Tünel kurutucu.....23
Şekil 2.4	Akışkan yataklı kurutucu.....23
Şekil 2.5	Püskürterek kurutma aleti.....24
Şekil 2.6	Döner kurutucu.....25
Şekil 2.7	Dondurarak kurutma cihazı.....25
Şekil 3.1	Zencefil bitkisi.....26
Şekil 3.2	Zencefilin kimyasal bileşimi.....29
Şekil 4.1	Kurutma kabini.....34
Şekil 4.2	Kızılötesi kurutucu.....34
Şekil 4.3	Etüv.....35
Şekil 4.4	Renk tayin cihazı.....36
Şekil 4.5	Mettler Toledo marka hassas terazi.....36
Şekil 4.6	Precisa marka hassas terazi.....37
Şekil 4.7	“L*”, “a*” ve “b*” değerlerini gösteren renk skalası.....42
Şekil 5.1	40°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....45
Şekil 5.2	50°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....45
Şekil 5.3	60°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....46
Şekil 5.4	70°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....46
Şekil 5.5	40 °C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı- nem içeriği grafiği.....47
Şekil 5.6	50 °C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği.....48
Şekil 5.7	60 °C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği.....48
Şekil 5.8	70 °C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği.....49
Şekil 5.9	Farklı kalınlıklardaki zencefil kontrol gruplarının 60°C’de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....50
Şekil 5.10	40°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....55
Şekil 5.11	50°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....56
Şekil 5.12	60°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile

	karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.13	70°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.14	Deneysel olarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları.....	58
Şekil 5.15	Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan zencefil dilimleri için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi.....	60
Şekil 5.16	Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....	63
Şekil 5.17	74 W gücünde farklı ön işlem uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....	64
Şekil 5.18	Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil dilimlerine ait kurutma hızı – nem içeriği grafiği.....	65
Şekil 5.19	74 W güç seviyesinde farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerine ait kurutma hızı - nem içeriği grafiği.....	65
Şekil 5.20	Farklı dilim kalınlıklarına sahip ön işlem görmemiş zencefil gruplarının 74 W gücünde kurumalarına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....	66
Şekil 5.21	Farklı dilim kalınlıklarına sahip ön işlem görmemiş zencefil gruplarının 74 W gücünde kurumalarına ait kurutma hızı-nem içeriği.....	67
Şekil 5.22	Farklı kızılötesi güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.23	Kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde ön işlem görmeden kurutulmuş zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları.....	70
Şekil 5.24	Kombine yöntem (kızılötesi + kabin) ile kurutulan zencefil dilimlerinin kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği.....	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bazı sebze ve meyvelerin ve gıdaların kurutma başlangıcı ve sonu nemlilikleri ve izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları.....	19
Çizelge 4.1 Zencefil örneklerinin kurutma kinetiklerinin matematiksel modellemesi için kullanılan kurutma modelleri.....	41
Çizelge 5.1 Farklı sıcaklık ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin toplam kurutma süreleri.....	44
Çizelge 5.2 40°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar.....	51
Çizelge 5.3 50°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar.....	52
Çizelge 5.4 60°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar.....	53
Çizelge 5.5 70°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar.....	54
Çizelge 5.6 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş farklı meyvelerin difüzyon katsayıları.....	59
Çizelge 5.7 Literatürde farklı parametreler uygulanarak kurutulmuş meyvelerin aktivasyon enerjileri.....	61
Çizelge 5.8 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin toplam kuruma süreleri.....	62
Çizelge 5.9 Farklı güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş zencefil dilimlerine uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları.....	68
Çizelge 5.10 Farklı ön işlem ve sıcaklıklarda kurutulan zencefil dilimlerinin renk analiz parametreleri.....	72
Çizelge 5.11 Farklı kurutma güçlerinde kızılötesi kurutucuda kurutulan zencefil dilimlerinin renk analiz parametreleri.....	73

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİ İLE ZENCEFİLİN KURUTULMASI VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Melisa İŞSEVER

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Zencefilin tarih boyunca kullanımına bakıldığında, dünyanın pek çok farklı bölgelerinde farklı amaçlarla kullanıldığı bilinmektedir. Son yıllarda da Türkiye ve diğer dünya ülkelerinde tedavi amacıyla tıp alanında, aroma verici olarak gıda sektöründe kullanıldığından zencefil yetiştiriciliği önem arz etmektedir.

Kurutma, gıda ürünlerinde mikrobiyal büyümeyi engellemek ve biyokimyasal reaksiyonları geciktirmek için uygulanan bir ayırma işlemidir. Bu sebeple zencefilin farklı kurutucularda kurutma davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Zencefil dilimlerinin kurutulması için sıcak havalı kabin kurutucu ve kızılötesi kurutucu olmak üzere iki farklı kurutucu kullanılmıştır. Zencefil grupları dört farklı sıcaklıkta (40°C, 50°C, 60°C ve 70°C) bir kabin kurutucuda ve beş farklı güç seviyesindeki (50 W, 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W) kızıl ötesi kurutucuda ön işlem uygulanmadan ve farklı ön işlemler uygulanarak (potas çözeltisi, sitrik asit çözeltisi ve haşlama) kurutulmuştur. Kurutma sıcaklığı ve güç seviyesinin artması ile kurutma süresinin azaldığı ve kurutma hızının arttığı tespit edilmiştir. Ön işlem çözeltilerinin kurutma üzerindeki etkileri incelendiğinde ise, haşlama ön işlemine tabi tutulmuş zencefil dilimlerinin en kısa kuruma süresi ve en hızlı kuruma hızına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, dilim kalınlığı değiştirilerek sıcak havalı kabin kurutucuda kurutma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre de dilim kalınlığı arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kombine kurutmanın etkisini incelemek amacıyla, kontrol zencefil dilimlerinin kızılötesi kurutucuda 1 ve 2 saat kurutulmasının ardından kurutma işlemine 70°C'deki kabin kurutucuda devam edilmiştir. Kurutma süreleri incelendiğinde kombine yöntem kurutma süresini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan örneklerin renk analizleri incelendiğinde uygulanan ön işlemlerin ve kurutma sıcaklığının renk değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Sıcak havalı kabin kurutucuda 60°C'de kurutulan örnekler en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık en düşük a* değerine sahiptir. Buna ek olarak sitrik asit ile ön işlem gören zencefil grubunun tüm sıcaklıklarda L* ve b* değerleri en yüksek değerlere sahipken a* değerleri ise ölçülen en düşük değerlerdir. Kızılötesi kurutucuda kurutulan zencefil örneklerinin renk analiz sonuçları incelendiğinde ise 62 W kurutma gücünde kurutulmuş zencefil örnekleri en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık en düşük a* değerine sahiptir.

Her iki kurutucuda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen kurutma eğrilerine, Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Page, Midilli & Küçük, Wang & Singh ve Aghbaslo vd. kurutma modellerine uyarlanmıştır. Kurutulan örneklerin istatistiksel verileri karşılaştırıldığında, Midilli & Küçük modeli zencefil dilimlerinin kurutma davranışlarını en iyi ifade eden model olarak seçilmiştir. Efektif difüzyon katsayıları $3,823 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,483 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında ve aktivasyon enerjileri ise 17,35-27,04 kJ/mol arasında hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktivasyon enerjisi, efektif difüzyon katsayısı, matematiksel modelleme, renk parametreleri, zencefil

ABSTRACT

DRYING OF GINGER BY DIFFERENT DRYING METHODS AND STUDYING OF SOME QUALITY PROPERTIES OF DRIED GINGER

Melisa İŞSEVER

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

When looking at the use of ginger throughout history, is known to be used for different purposes in many different parts of the world. In recent years, ginger cultivation is important because it is used in medicine field and food sector for treatment purposes in Turkey and other countries.

Drying is a separation process applied to prevent microbial growth in food products and to delay biochemical reactions. For this reason, drying behaviour of ginger in different dryers was investigated experimentally.

Two different dryers were used to dry ginger slices, hot air cabinet dryer and infrared dryer. Ginger groups were dried in a cabinet dryer at four different temperatures (40°C, 50 °C, 60°C and 70°C) and at five different power levels (50 W, 62 W, 74 W, 88 W and 104 W) in a infrared dryer without pre-treatment and with different pre-treatments (potas solution, citric acid solution and boiled water). It was found that the drying time decreased and the drying rate increased with the increase of drying temperature and power level. When the effects of pretreatment solutions on drying were examined, it was determined that the ginger slices had the lowest drying time and the fastest drying rate.

In addition, drying studies were carried out in hot air cabinet dryer by changing the slice thickness. According to the results obtained from this study, drying time decreased as the thickness of the slice increases.

In order to examine the effect of combined drying, after 1 and 2 hours drying of the control ginger slices in the infrared dryer, the drying process was continued in the cabinet dryer at 70°C. When drying times were examined, it was determined that the combined method reduces drying time.

When the color analysis of the samples dried in the cabinet dryer was examined, it was observed that the pre-treatment and drying temperature were effective on the color values. The samples dried at 60°C in the cabinet dryer have the highest L* and b* values, whereas they have the lowest a* value. In addition, at all temperatures, L* and B* values of the pre-treated ginger group with citric acid have the highest values and a* values are the lowest values measured. When the color analysis results of the ginger samples dried in infrared dryer are examined, the dried ginger samples at 62 W drying power have the highest L* and B* values, whereas they have the lowest a* value.

The drying curves obtained from cabinet and infrared dryers are adapted to Lewis, Henderson & Pabis, logarithmic, page, Midilli & Küçük, Wang & Singh and Aghbasl vd. drying models. In comparison to statistical data of samples dried in both dryers, the Midilli & Küçük model was chosen as the best model for the drying behaviour of the ginger slices. Effective diffusion coefficients were calculated between $3,823 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ and $1,483 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ and activation energies were calculated between 17,35 and 27,04 kJ/mol.

Keywords: Activation energy, color parameters, effective diffusion coefficient, ginger, mathematical modeling.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Meyve ve sebzelerin kurutulması, en eski muhafaza yöntemi olarak bilinmekte ve birçok ülkede ve ülkemizin birçok bölgesinde güneş altı açık havada yapılmakta, meyve ve sebzelerin cinsine göre farklı süreçlerde tamamlanmaktadır [1].

Tropikal ve subtropikal bir bitki olup Zingiberaceae familyasının bir üyesi olan zencefil bitkisinin (*Zingiber officinale* Roscoe) [2] bu çalışmada farklı kurutucularda, farklı sıcaklık değerlerinde ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulması ve kurutulmuş zencefilin kalite parametrelerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Farklı kurutucu tiplerinde, kurutma yöntemleri, sıcaklık ve ön işlemler uygulanarak kurutulan zencefil ve benzer bitkilerin kurutulmasına ilişkin literatürde yapılmış çalışmalar aşağıda derlenmiştir:

Kar ve Biçer [3] yaptıkları çalışmada, zencefil bitkisinin kurutulması sırasında, bazı parametrelerin kurutma kinetiğine olan etkisi araştırmışlardır. Kurutma deneylerini laboratuvar şartlarında dönel akış ortamında dönel kurutucu kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, zencefil bitkisinin dönel akış ortamında kurutulması işleminde etkin parametrenin sıcaklık olduğunu, buna karşılık hava hızının ise çok az etkisi olduğunu saptamışlardır. Kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızı etkisinin daha fazla olduğunu ileriki aşamalarda ise bu etkinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Özellikle 60°C kurutma havası giriş sıcaklığında yapılan kurutmada, hızın etkisi daha belirgin, 45°C ve 30 °C de ise hızın etkisi daha az olmuştur. 30°C nin daha altındaki sıcaklıkların kurutma için uygun olmadığını belirlemişlerdir.

Pati vd. [4] yaptıkları çalışmada, zencefil dilimlerinin kaliteli kurutma özelliklerini incelemişlerdir. Biyokütle içerisindeki atık ısı kazanımı kavramına dayanarak duyarlı ısı depolama ve faz değişim materyalleri ile birlikte doğal konveksiyon kurutucusu kullanmışlardır. Zencefil dilimlerini (2 ve 4 mm kalınlıklarında) 60°C’de sıcak hava ile hava hızının 0,2 m/dakika atmosferik ortalama bağıl nemin %74 ve ortam sıcaklığının 25°C olduğu koşullarda nem içeriği %88-90 değerlerinden %11-12 değerlerine düşene dek kurutulmuşlardır. Atık ısının kullanılıma bağlı olarak, biyokütle tüketimi ve faz değişim materyalinin erime süresinde önemli ölçüde düşme gözlemlenmiştir. Kalınlığı 2 mm olan zencefil dilimleri için optimum kuruma süresini 5,5 saat olarak tespit etmişlerdir. İşlem görmüş numunenin renk, aroma ve yapı özelliklerinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Chapchaimoh vd. [5] zencefilin 50°C’de 200 dakika boyunca hava ve nitrojen kullanarak kuruma performansını ve kapalı sistem sıcak hava pompasının enerji tüketimini ele almışlardır. Nem içeriği %777 olan taze zencefili, hava ve nitrojen ile sırasıyla nem içeriği %132 ve %89’a düşene dek kurutulmuşlardır. Hava ve nitrojen döngüleri için dahili kondensörden sırasıyla 15,4 MJ ve 20,5 MJ ısı kazanılırken, evaporatörden de sırasıyla 18,6 MJ ve 22,9 MJ ısı atıldığını belirlemişlerdir. Hava ile kurutma için tespit ettikleri toplam enerji gereksinimi 11,6 MJ iken azot için bu değer 12,5 MJ olmuştur. Hava ile kurutmada spesifik enerji sarfiyatını 16,67 MJ/kg su olarak, nitrojen ile kurutmada ise bu değeri 14,29 MJ/kg su olarak hesaplamışlardır.

Jelled vd. [6] yaptıkları çalışmada üç farklı zencefil kökünü (taze kurutulmuş, kurutulmuş ve kurutulmuş toz) kimyasal kompozisyonları bakımından şeker, organik asit, yağ asitleri, tokoferoller ve antioksidanlar (fenolik ve flavonoid) içerisindeki bireysel profillerini de içerecek şekilde karakterize etmişlerdir. Metanolik ekstraktlarının antioksidan özelliklerini de laboratuvar ortamında değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda zencefil türünün kimyasal ve antioksidan özellikler üzerinde önemli etkisi olduğunu ve kurutulmuş zencefilin en iyi seçim olduğunu kanıtlamışlardır. Genel olarak yapılan bu çalışma antioksidan amaç doğrultusunda hangi tür zencefil kullanılacağı konusunda tüketiciye yardımcı niteliğindedir.

An vd. [7] zencefilin farklı metotlardaki kuruma özelliklerini karşılaştırmışlardır. Zencefil köksap dilimlerini hava ile kurutma, infrared kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga ile kurutma ve mikrodalga & konvektif kurutma gibi farklı yöntemlerle

kurutulmuşlardır. Kurutulmuş numunelerin kalite özelliklerini uçucu bileşikler, 6,8,10-gingeroller, 6-shogaol, antioksidan aktivitesi ve mikroyapıları bakımından incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre hava ile kurutma ve infrared kurutma yöntemlerinin uçucu bileşikleri koruma anlamında uygulanabilecek en iyi yöntemler olduğunu belirlemişlerdir. Dondurarak kurutma ve mikrodalga & konvektif kurutma yöntemlerinin ise gingerol, TPC ve TFC içeriğini koruma ve antioksidan aktivitesi açısından en iyi yöntemler olduğunu tespit etmişlerdir. Buna rağmen dondurarak kurutma ve infrared kurutma yöntemlerinde yüksek enerji sarfıyatı ve kuruma süresi söz konusudur. Bu yüzden kalitenin korunması ve enerji sarfıyatı gibi önemli noktalar göz önüne alındığında mikrodalga & konvektif kurutma yönteminin ısı duyarlı materyallere uygulanabilecek en iyi yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Ding vd. [8] taze zencefil dilimlerini, hava kurutma, vakum kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile dehidrate etmişlerdir. Taze zencefil küspesindeki uçucu maddeleri ekstrakte etmişler ve katı-faz mikroekstraksiyon yöntemi ile zencefil tozunu kurutulmuşlardır. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) ile bileşik analizi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kurutulmuş zencefilde 50, 60 ve 70°C'de hava ile kurutmada sırasıyla 19, 28 ve 21 bileşik; 60W mikrodalga ile kurutmada 20 bileşik, 13,3 kPa ve 60°C'de vakum ile kurutmada 31 bileşik ve 0,203 kPa ve 22°C oda sıcaklığında dondurarak kurutmada ise 20 orjinal bileşik görmüşlerdir. Cluster analizi ile en uygun ve ideal kurutma yönteminin mikrodalga ile kurutma yöntemi olduğunu açıklamışlardır.

Chan vd. [9] *Alpinia zerumbet*, *Etlingera elatior*, *Curcuma longa* ve *Kaempferia* gibi farklı türdeki zencefil yapraklarının antioksidan özelliklerini karşılaştırmak üzere beş ayrı kurutma yöntemi kullanmışlardır. Uygulanan tüm kurutma yöntemlerinde toplam fenolik, askorbik asit ve antioksidan değerlerinde önemli miktarda düşüş gözlemlenmiştir. A. zerumbet ve E. Elatior yapraklarının dondurarak kurutulmasında TPC, askorbik asit eşdeğerinde, antioksidan kapasitesi ve ferrik küçültme gücünde önemli kazanımlar gözlemlenmiştir. Bir hafta bekletilmesinin ardından dondurarak kurutulmuş Elatior yaprağının antioksidan özelliğinin diğer taze yapraklardan çok daha yüksek ölçüde korunduğunu tespit etmişlerdir.

Toraman [10] yaptığı çalışmada siklon tipi konvektif bir kurutucuda zencefil dilimlerinin ince tabaka kuruma davranışını araştırmıştır. Deneyleri dört farklı kurutma havası

sıcaklığında (40, 50, 60 ve 70 °C) ve üç farklı kurutma havası hızında (0,8, 1,5 ve 3 m/s) gerçekleştirmiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızının zencefil dilimlerinin kuruma hızı, boyutsuz nem oranı, difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi ve konvektif ısı transfer katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Nem oranı verilerini on iki farklı modele uygulamış ve bu modellerin performansını korelasyon katsayısı ve tahminin standart hatası ile tespit etmiştir. Kuruma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiğini zencefil dilimlerinden havaya olan nem transferini deneysel olarak belirlenen difüzyon katsayısı yardımıyla ifade etmiştir.

Eze vd. [11] taze zencefil köksaplarına iki hafta boyunca güneşte kurutma ve solar kurutma yöntemleri uygulamışlardır. Her iki yöntemde de hem kabuğu soyulmuş hem de soyulmamış zencefil kullanmışlardır. Kurutmadan önce, kurutma sırasında ve kurutma esnasında bazı fiziko-kimyasal ve organoleptik analizler gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında açık havada kurutulan köksapların güneş ile kurutulan köksaplarla karşılaştırıldığında rengini ve aromasını daha iyi koruduğunu belirlemişlerdir. Fakat güneş ile kurutmanın, açık havada kurutma yöntemine göre daha hızlı gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Açık hava kurutma yönteminde kabuğu soyulmuş numunenin toplam değişken sayısının % 66,77'ye ve kabuğu soyulmamış numunede % 57,61 değerine düştüğünü hesaplamışlardır. Güneşte kurutma yönteminde ise bu değerleri kabuksuz ve kabuklu numune için sırasıyla %47,68 ve %9,63 olarak belirlemişlerdir. Güneş ile kurutma yönteminde nem içeriğinin %7; açık hava ile kurutma yönteminde bu değerin %17 civarı olduğunu saptamışlardır. Uluslararası pazarda kabul edilebilir nem değeri %6-9 aralığındadır. Tüm bu karşılaştırmaların yanı sıra güneş ile kurutulmuş zencefil içerisindeki protein değerinin hava ile kurutulana göre daha düşük olduğunu saptamışlardır.

Hoque vd. [12] üç farklı kurutma sıcaklığında hibrid solar kurutucu ve mekanik tepsili kurutucu kullanarak beyazlatılmış ve beyazlatılmamış zencefil köksaplarının kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma havasının sıcaklığının yükselmesiyle kurutma hızında da artış gözlemlenmiştir. Kurutma hızının zencefil köksaplarının şekil ve boyutuna bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Dilimlenmiş köksap zencefiller için en yüksek kurutma hızına parçalı örneklerde rastlamışlardır. Beş ince tabaka modelini beyazlatılmış ve dilimlenmiş zencefil köksaplarının deneysel verilerine uyarlamışlardır. İnce tabakada, dilimlenmiş zencefil köksaplarının nem içeriğini en iyi şekilde öngören denklemin Page

denklemini olduğu belirtilmiştir. Tahmin edilen ve deneysel çalışma sonucu bulunan nem verileri birbirine oldukça yakındır. Kurutma işlemi sonucu zencefilde gerçekleşen renk değişiminin oldukça az olduğunu belirlemişlerdir. Zencefilin kurutulması esnasında dilimlenmiş ve beyazlatılmış zencefilin 70°C’de kurutulmasıyla en kaliteli kurutulmuş ürünün elde edilebileğini tespit etmişleridir.

Chayjan vd. [13] yaptıkları çalışmada, kızılötesi kurutucu kullanarak hava sıcaklığının ve hava hızının vişnenin kurutma karakteristiği üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyler 35, 50 ve 65°C hava sıcaklığında, 0,5 ve 1,1 ve 1,7 m/s hava hızında ve 500,1000 ve 1500 W güç seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan modeller arasında Midilli vd. modeli vişnenin ince tabaka kurutma modelini en iyi açıklayan model olarak belirlenmiştir. Hesaplanan nem difüzyon katsayıları $1,17-8,13 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ aralıklarında ve aktivasyon enerjisi değerleri ise 30,31-41,68 kJ/mol aralıklarındadır.

Loha vd. [14] tek tabaka halinde yerleştirilmiş zencefil dilimlerinin sıcak hava kuruma karakteristiğini termal konvektif kabin kurutucu kullanılarak incelemişlerdir. Zencefili nem içeriği %87-88 değerinden %6-7 değerine düşene dek kurutmuşlardır. Deneyleri dört farklı (45, 50, 55 ve 60°C) kurutma havası sıcaklığında ve 1,3 m/s sabit hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Nem uzaklaşma hızının sıcaklıkla birlikte arttığı ve kurutma süresinin çalışılan tüm sıcaklıklar için düşüş gösterdiğini tespit etmişlerdir. Seçilen on ince tabaka kurutma modellerinin hızlanma tahminini incelemek amacıyla bir lineer olmayan regresyon analizi gerçekleştirmişlerdir. İstatistiksel analiz sonucunda, deneysel kurutma verileri ile uyumluluk gösteren bir eğri elde etmişlerdir. Ayrıca deneysel veri ile %1,5 aralığında hassasiyetli olacak şekilde, termal iletkenliğin nem içeriğinin fonksiyonu şeklinde ifade edilen bir matematiksel ifade kullanılarak, zencefilin termal iletkenliğini deneysel olarak saptamışlardır.

Parlak [15] yaptığı çalışmada zencefilin akışkan yataklı kurutucuda kuruma kinetiği incelemiştir. Yaş baza göre başlangıç nemi %88-89 olan zencefil köklerini, 2 mm kalınlığında dilimlemiş ve % 4-5 nem içeriğine kadar kurutmuştur. Kurutma havasının sıcaklığını, hızını ve bağıl neminin kuruma kinetiğine olan etkisini incelemek üzere, deneyleri farklı kurutma havası (40, 50 ve 60 °C) sıcaklıklarında ve farklı (3 ve 4 m/s) hava hızlarında gerçekleştirmiştir. Elde ettiği deneysel sonuçlarla, kurutma havası sıcaklığının, hızının ve neminin kuruma hızında oldukça etkili bir parametre olduğunu göstermiştir.

Prakash vd. [16] zencefil dilimlerini mikrodalga fırında kurutulmuş ve kuru ürünün kuruma davranışlarını ve meydana gelen enerji tüketimini incelemişlerdir. Zencefili farklı kalınlıklarda ve farklı mikrodalga güç değerlerinde kurutmuşlardır. Nem içeriğinin yanı sıra kurutma süresi de dilim kalınlıklarının azalmasıyla azalmıştır. Çoğu denemede Henderson ve Pabis modelini deneysel verilerle uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Enerji tüketimi için regresyon modeli ise $p \leq 0,01$ 'de belirgindir.

Famurewa vd. [17] yaptıkları çalışmada zencefil kurutma prosesinde, kurutma ve boyut değişimlerinin, zencefilin kimyasal ve uçucu yağ içeriğini nasıl değiştirdiğini incelemişlerdir. Taze zencefili ikiye bölüp bir yarısını dilimlerken diğer yarısını rendelenmişlerdir. Rendelenmiş ve dilimlenmiş parçaları da tekrar ikiye bölüp her bir yarısını güneşte ve bir fırında 50°C'de kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda numunelerin mineral ve uçucu yağ içeriğini analiz etmişleridir. Taze ve kurutulmuş ürünler arasında ve aynı zamanda güneş ve fırında kurutulmuş ürünler arasında içerik bakımından farklılıklar gözlemlemişleridir. Kurutulmuş ürünlerin magnezyum ve kalsiyum içeriklerinin sırasıyla 120-162 mg/100g ve 380 mg/100g arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Numunelerin uçucu yağ bileşiminin ise sırasıyla, taze zencefil, rendelenip fırında kurutulmuş zencefil, dilimlenip fırında kurutulmuş zencefil, dilimlenip güneşte kurutulmuş zencefil ve rendelenip güneşte kurutulmuş zencefil için sırasıyla 0,17, 0,69, 1,36, 0,81 ve 0,41% değerlerinde olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen bu sonuçlara göre 50°C'de ve dilimlenerek fırında kurutmanın protein, kalsiyum, magnezyum ve uçucu yağ bileşiminin korunması açısından en iyi yöntem olduğu belirlemişlerdir.

Ali ve Rani [XVI] yaptıkları çalışmada ise zencefil macununun tepsili kurutucuda kurutulması esnasında meydana gelen kalite değişimlerini ve kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Macunu termal olarak sırasıyla 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarında kurutmuşlardır. Kurutulmuş macunun kalite özelliklerini, pH ve renk bakımından incelemişlerdir. Çalışma için bağımsız değişken olarak sıcaklık, kalınlık ve sitrik asit muamelesi gibi parametrelerini seçmişlerdir. Renk değişimi ve pH için en optimum bağımsız değişken değerlerini, sıcaklık, kalınlık ve sitrik asitle muamele için sırasıyla 40°C, 4mm ve 1,5 g/l olarak belirlemişlerdir.

Jayashree vd. [19] yaptıkları çalışmada zencefili, 5, 10, 15, 20, 30, 40 ve 50 mm kalınlıklarda olacak şekilde dilimlemiş ve nem içeriği %81,3'den %10'a düşüneceye dek 50, 55, 60 ve 65°C sıcaklıklarda güneşte kurutma, güneş tünelli kurutma ve kabinli tepsi

kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri ile kurutmuşlardır. Zencefilin dilimlenmiş olmasının tüm metotlarda kurutma süresini kısalttığını belirlemişlerdir. Tüm zencefil köklerinin güneş altında kurutulması en uzun süren metot olurken bunu güneş tünelli kurutucu izlemiştir. Zencefil içerisindeki uçucu yağ bileşenlerini gaz kromatografisi ile tayin etmişler ve kurutma sıcaklığının artması ile bu bileşik miktarlarında düşme gözlemlemişlerdir. Tüm kurutma çalışmaları incelediğinde en yüksek uçucu yağ ve oleoresin miktarının güneş ve güneş tünelli kurutucu yöntemiyle korunduğunu belirlemişlerdir. Mekanik kurutma yönteminde ise optimum kurutma sıcaklığının 60°C olduğunu ancak %12,23 miktarda uçucu yağ kaybı meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Afolabi vd. [20] laboratuvar kurutucusunda zencefil dilimlerinin ince tabaka kurutma davranışını incelemişlerdir. Dilim kalınlıkları 5 mm, 10 mm ve 15 mm olan zencefil dilimlerini, 1,5 m/s kurutucu havası hızında ve kurutucu hava sıcaklığının 40'dan 70 °C'ye kadar olan sıcaklık aralıklarında kurutmuşlardır. Kurutma havası sıcaklıklarının ve dilim kalınlıklarının, kuruma süresini ve prosesin tamamlanması için gereken enerji ihtiyacını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Dilim kalınlıklarının artması ile kurutma hızı azalırken, sıcaklığın artması ile de kuruma süresinin azaldığını belirlemişlerdir. Farklı zencefil dilim kalınlıkları için aktivasyon enerji değerleri 196,15'den 198,79 kJ/mol'e değişirken difüzyon katsayısı ise $3,36 \times 10^{-10}$ m²/s 'den $5,82 \times 10^{-9}$ m²/s'ye değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Zhong vd. [21] arkadaşları püskürterek kurutma, ısıtılmış hava akışlı kurutma, uzak ötesi ışınlı kurutma ve vakumlu dondurarak kurutma yöntemlerini kullanarak toz zencefil üretmişler ve zencefil tozunun fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda sprey kurutma ile zencefil tozunun yüksek yoğunluğa sahip olduğunu ancak bunun yanında, hidratlanabilme verim, duyu kalite ve yağ emme yeteneğinin yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. Uzak ötesi ışınlı kurutma yönteminde ise zencefil tozunun verim ve yoğunluğu yüksek değerlerdeyken, hidratlanabilme, duyu kalite ve yağ emme yeteneğinin en iyisi olduğunu belirlemişlerdir. Isıtılmış hava akışlı kurutmada ise, zencefil tozunun hidratlanabilme özelliği iyiken, verim, yoğunluk, yağ emme yeteneği ve duyu kalitenin uzak ötesi ışınlı kurutma yöntemine göre daha düşük olduğunu görmüşlerdir. Vakumlu dondurarak kurutma yönteminin ise hidratlanabilme ve verim özellikleri açısından diğer dört yöntemin ortalaması olduğunu, yoğunluğun en düşük ve duyu kalite ile yağ emme yeteneğinin en yüksek olduğu yöntem olarak belirlemişlerdir.

Doymaz [22] yaptığı çalışmada, domatesin kurutma karakteristiğini incelemiştir. Kurutma çalışmaları 1,5 m/s kurutma havası hızında 55, 60, 65 ve 70 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinden önce domatesler etil oleat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuştur. Nem içeriği %11 olana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kurutma havası sıcaklığı arttıkça kurutma hızının da arttığı görülmüştür. Kurutma modelinin Henderson&Pabis ve Page modellerine uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her bir kurutma sıcaklığı için aktivasyon enerjileri ve difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Ön işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış numunelerin difüzyon katsayıları sırası ile $5,65-7,53 \times 10^{-10}$ ve $3,91-6,65 \times 10^{-10}$ m²/s aralıklarında hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi için Arrhenius eşitliğinden yararlanılarak kurutulmuş domateslerin aktivasyon enerjileri 17,40-32,94 kJ/mol aralıklarında hesaplanmıştır.

Doymaz ve Pala [23], yaptıkları çalışmada, farklı ön işlem uygulamaları ve farklı kurutma koşulları altında kırmızıbiberin kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma işleminden önce biberler etil oleatın bazik çözeltilerinin çeşitleri ile ön işleme tabi tutulmuşlardır. Yapılan çalışmalara göre, ön işleme tabi tutulan biberler, ön işlem görmemiş biberlere göre daha hızlı kurumuş aynı zamanda renk analizi sonuçlarına göre de daha yüksek L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. En etkili ön işlem çözeltisinin 50°C'de %2'lik etil oleat çözeltisi ve %5'lik K₂CO₃ çözeltisi olduğu ve en iyi renk kalitesinin de bu çözeltilere daldırılan biberler olduğu görülmüştür. Aynı zamanda Page modelinin kurutma kinetiğine en uygun model olduğu tespit edilmiştir.

Doymaz [24] tarafından yapılan başka bir çalışmada tatlı patates dilimlerinin kurutma karakteristiği kızılötesi kurutucu kullanılarak incelenmiştir. Farklı güç seviyelerinde (104, 125, 146 ve 167W) kurutulan tatlı patates dilimlerinin kurutma gücü arttıkça kurutma süresinde de azalma gözlemlenmiştir. Kurutma kinetiğinin modellenmesi esnasında Newton, Henderson&Pabis ve logaritmik modelleri kullanılmıştır. Efektif difüzyon katsayısı $1,31-3,66 \times 10^{-10}$ değerleri aralığında hesaplanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, zencefil bitkisi farklı kurutucu tiplerinde ve farklı kurutma paratemetrelerinde kurutulacaktır. Çalışmanın ilk kısmında zencefil bitkisi sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerlerinde sırası ile potasyum karbonat, sitrik asit ve haşlama ön işlemleri uygulanarak ve ön işlem uygulanmadan kurutma işlemleri gerçekleştirilecektir. Çalışmanın ikinci kısmında ise zencefil bitkisi kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde ön işlem uygulanmadan ve tek bir güç seviyesinde ön işlem uygulanarak kurutulacaktır. Kurutma çalışmaları sonrası elde edilen veriler ile kurutma eğrileri (nem içeriği- kurutma süresi; kurutma hızı-nem içeriği) çizilecek ve farklı kurutma modelleri kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılacaktır. Uygulanan ön işlem yöntemlerinin kurutma hızına, süresine ve kurutulmuş zencefilin rengine olan etkileri incelenecektir. Ayrıca, elde edilen veriler ile difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri hesaplanacaktır.

1.3 Hipotez

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, zencefilin kurutulmasına ait pek çok farklı çalışma görülmektedir. Ancak daha çok dönel kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalga ile kuruma yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, zencefil dilimleri kabin ve infrared kurutucularda farklı kurutma koşullarında kurutulacaktır. Zencefil dilimlerinin kurutulması esnasında ön işleme olarak; potasyum karbonat, sitrik asit ve haşlama şeklinde üç farklı çözelti kullanılacaktır. Bu çözeltiler kullanılarak ön işlem uygulanan zencefil dilimlerinin kuruma ve renk karakteristikleri kontrol örnekleri ile karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak, literatürde yer alan bu çalışmalara bu çalışmanın katkı sağlayacağı beklenmektedir.

BÖLÜM 2

KURUTMA

2.1 Kurutma İşlemi ve Amacı

Kurutma; bir ürünlerdeki su miktarını azaltmak veya çok düşük düzeylere düşürmek amacı ile yapılan ve böylelikle olası mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaların önlenmesini, bu yolla çeşitli tarımsal ürünlerin uzun süre depolanmasını ve üretim mevsimi dışında da tüketilmesini sağlayan, çok eski çağlardan bu yana uygulanan bir işlemdir [25].

Gıda maddelerine kurutuma işlemi uygulanmasındaki ana amaç kurutma ile ürünün nemi mikrobiyal gelişme ve diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek depolama sırasında ürünün bozulmasını önlemektir. Ayrıca nem miktarının düşürülmesiyle tat, koku ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin de korunması sağlanmaktadır [26]. Ağırlık ve hacim değerlerinde de düşme gerçekleşeceğinden paketlenme, depolama veya transfer maliyetlerinde de düşme gözlemlenir [22].

Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisinden oldukça verimli bir şekilde faydalanabilen bir ülkedir. EİE verilerinde Türkiye’de yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük ortalama 7,2 saat) ve ışıyım şiddetinin 1311 kWh/(m²×yıl) (günlük ortalama 3,6 kWh/m².gün) olduğu belirtilmiştir. Türkiye’de, yılda ortalama 110 gün güneş enerjisinden faydalanılabilir [27]. Bu sebeple Türkiye’de sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılan en yaygın metot açık havada güneşte kurutmadır [28]. Bu tekniğin basit avantajları olup düşük maliyetlidir fakat kuruma süresi uzun olabilmektedir. Bu da ürün kalitesine etki edecek mikrobiyal ve enzimatik aktivitelerin zarar görmesi ve ürünün toz ve böceklerden kirlenecek olması gibi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir [22]. Ayrıca hava durumunun belirsiz olması ve el emeği gereksinimi

teknikğin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu zorluklar nedeniyle, daha güvenilir, daha hızlı ve kontrol edilebilir koşullarda kurutma yöntemlerine ihtiyaç duyulur [29].

Gıdaların kurutulması işleminde en önemli ve kontrol edilmesi gereken parametre kurutma hızıdır. Kurutma hızı, sebze veya meyvelerdeki yüzey direncinin uzaklaştırılması ile yükselebilir [29]. Genel olarak, üzüm şeftali, biber ve domates gibi sebze veya meyveler ince bir balmumu tabakası ile kaplıdır. Bu en dış tabaka sebze veya meyvelerin çevresel veya dış etkilere korunmasında önemli fayda sağlamaktadır. Balmumu tabakası ayrıca meyvenin iç kısmından yüzeyine nem akışına da etki etmektedir. Kurutma prosesi öncesinde, meyve veya sebzeler üzerindeki balmumu engelini aşabilmek için kimyasal daldırma işlemi uygulanır [22].

Metil ve etil oleat gibi bazı yağ asidi esterleri ticari olarak meyvelerin kurutulmasının hızlandırılmasında kullanılmaktadır. Balmumuyla kaplı meyveler bir kaç dakika etil oleat veya başka uygun çözelti içerisine daldırılarak kuruma süresinde oldukça azalma gözlenir. Yağ asidi esterleri meyvenin yüzeyine daldırma yöntemiyle uygulanır, kaplama sonucu meyve yüzeyi kutiküler balmumu parçalanır ve sonuç olarak nem kaybı yaşanırken düşük direnç gözlemlenir. Bu da kurutma hızını artırır [29].

Dünyada kurutulmuş ürün eldesi her geçen gün artmakta olup, bu kuru ürün eldesinin büyük bölümü A.B.D ve Türkiye’de gerçekleşmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya’da 7,6 milyar dolar (1998’den bu yana) ve Çin’de 800 milyon dolar (1990’ların başlarından bu yana) olarak belirlenmiştir. Bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artarak koruması beklenmektedir [30].

2.1.1 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

2.1.1.1 Ürünün Kimyasal Bileşimi

Ürünün kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişir. Tuz, şeker gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin ürünler, bu maddeleri hiç içermeyen ürünlerden daha zor kurur. Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmektedir. Bu durum suyun buharlaşmasını güçleştirir. Ortamda yağ bulunması da kuruma hızını sınırlar.

Nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması da oldukça güçtür. Bunun nedeni; nişasta, pektin ve diğer gam maddelerini oluşturan kolloidal jel içinde tutulan suyun ortamdan daha zor uzaklaşmasıdır. Glikoz içeren ürünler de geç kurur. Sebzelerde su,

hücre içinde ve hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması kurutmayı kolaylaştırır. Haşlama ile hücreler arasındaki su uzaklaştırılır ve ürünler daha hızlı kurur.

2.1.1.2 Ürünün Boyutları

Kuruma hızı, parçacıkların yüzey alanıyla doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulan parçacıklar ne kadar küçükse yüzey alanı fazla, kalınlığı az olur. Böylece kuruma hızı olumlu yönde etkilenir. Ancak kurumanın hızlandırılması amacıyla, ürünün parçacıklar hâlinde kıyılması her zaman mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün halde kurutulması gerektiği gibi kıyılan ürünlerde de tüketici belli bir irilik bekler. Bu nedenle doğranarak kurutulan ürünlerde parça iriliğini, tüketici isteklerini ve kuruma hızını beraberce değerlendirerek karar vermek gerekir [31].

2.1.1.3 Sıcaklık

Kurutma ortamının sıcaklığı ve gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı önemlidir. Gıdanın sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olur. Ayrıca ortamdaki havanın sıcak oluşu su tutma kapasitesini artırır [31].

Kurutmada kullanılan ısıtıcı ortamın sıcaklık derecesi, ısıya duyarlı gıdalar söz konusu olduğunda süre ile ilişkili önemli bir değişken olmaktadır. Kısa süreli yüksek sıcaklık kurutma yöntemleri ürünlere, uzun süreli düşük sıcaklık kurutma yöntemlerinden daha az zarar vermektedir [32].

2.1.1.4 Havanın Hızı

Havanın hızı arttıkça, kurutma hızı da artar. Ancak bu etki belli bir değere kadardır. Nitekim 300 m/d'dan daha fazla hava hızının kurutma hızı üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır. Diğer taraftan, kurutma başlangıcında hava hızının etkisinin yüksek olmasına karşın, kurutmanın ileri aşamalarında, suyun ürün parçacığının iç tabakalarından yüzeye taşınma hızı ile ilgili olduğundan hava hızının etkisi düşmektedir [32].

2.1.1.5 Havanın Kuruluğu

Havanın nisbi nemi, aynı zamanda kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin eder. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder.

2.1.1.6 Atmosfer Basıncı

Çevre hava basıncı düştükçe kurutma, yani buharlaşma yükselir [31].

2.1.2 Kurutmada Isı İletimi

Kurutmanın hızı ısı enerjisinin gizli ısıları sağlamak üzere suya veya buza iletirme hızlarına bağlıdır. Isı iletimindeki üç mekanizma da (kondüksiyon, radyasyon ve konveksiyon) kurutmada vardır. Bu mekanizmalardan hangisinin daha etken olduğu veya daha büyük oranda olduğu kurutma işleminin cinsine göre değişir ve çeşitli işlemlere göre farklıdır. Çoğunlukla bu mekanizmalardan biri daha hakim durumdadır ve tüm işlemi bu mekanizma etkiler.

Kurutma ilerledikçe ısı iletim durumunun özellikleri değişir. Yüzey tabakaları kuru materyal işgal etmeye başlar ve kondüksiyonun bu yüzey tabakaları arasından olması gerekir. Isı ancak bu suretle kurutma bölgesine iletilebilir [33].

2.1.3 Nem

Bir hava akımının nem uzaklaştırması kapasitesi bu hava akımının nem miktarına ve sıcaklık derecesine bağlıdır. Nem; havanın su miktarının ölçüsüdür. Mutlak nem belirli bir hava kütleindeki su buharının kütlesidir. Eğer belirlenen şartlarda havanın nemi maksimum miktarda ise bu hava verilen bu sıcaklık derecesi ve basınçta su buharı ile doymuş demektir.

Oransal nem; belirli bir hava numunesinin neminin aynı sıcaklık derecesi ve basınç şartlarında bu havanın doymuş haldeki nemine oranı diye tanımlanır. Oransal nem çoğunlukla % olarak ifade edilir. Oransal nem çok genel olarak dehidrasyonda havanın su absorbe etme kapasitesinin ölçüsü olarak kullanılır. Havanın oransal nemi az oldukça bu fark yani gıdanın yüzeyindeki su buharı basıncı ve havanın su buharı basıncı arasındaki fark daha fazladır ve böylece kurutma hızı daha fazla olacaktır [33].

2.1.4 Denge Nem Miktarı ve Su Aktivitesi

Gıda maddeleri sabit sıcaklık ve neme sahip bir ortamda bekletildiğinde, su alırlar veya verirler. Yeterli süre sonunda bulundukları ortam ile dengeye ulaşırlar. Denge maddenin su kaybetme hızı ile kazanma hızı birbirine eşit olur. Bu durumda maddenin nem miktarı sabit kalır. Bu nem miktarı denge nem miktarı (M_e) olarak bilinir. Gıda maddesinin denge nem miktarının bilinmesi kurutma, konsantrasyon, depolama, karıştırma ve paketleme koşullarının saptanmasında çok önemlidir.

Su aktivitesi, gıda maddesindeki suyun yapıya ne şekilde bağlı olduğunu, bazı kimyasal ve enzimatik reaksiyonlarda, mikrobiyolojik faaliyetler için kullanılabilme durumu ve derecesini göstermektedir. Eşitlik (2.1)'de ifade edildiği üzere bir gıda maddesinin su aktivitesi (a_w) gıda maddesinin içerdiği suyun kısmi buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak ifade edilir.

$$a_w = P_w / P_w^0 \quad (2.1)$$

Bağıl nem için eşitlik (2.2) yazıldığında a_w için farklı bir tanım daha elde edilir.

$$H_r = (P_w / P_w^0) \times 100 \quad (2.2)$$

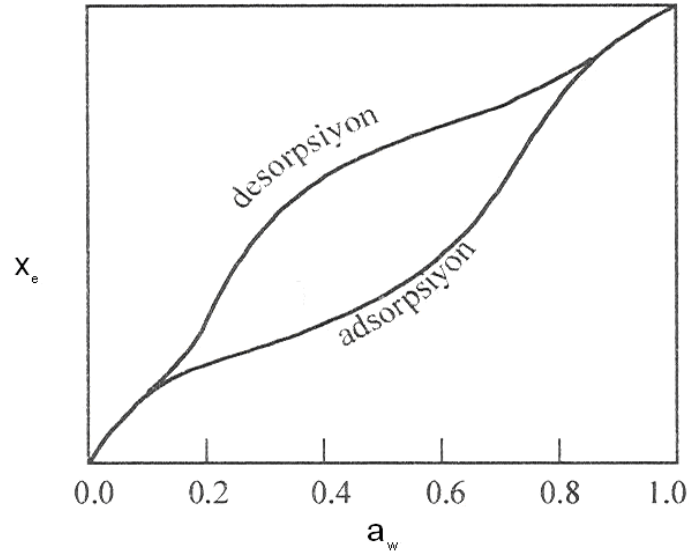
$$a_w = H_r / 100 \quad (2.3)$$

Su aktifliği ürüne ait, denge bağıl nemi ise ürünün dengede olduğu ortama ait özelliklerdir. Bu nedenle, iki eşitlik sadece denge halinde birbirine eşittir [26].

2.1.5 Sorpsiyon İzotermi

Denge nem miktarı ortamın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak değişmektedir. Değişmez sıcaklıkta farklı bağıl nemdeki ortamlarda tutulan örneklerin denge nem miktarları, ortamın % bağıl nemlerine karşı (veya su aktivitesi) grafiğe alındığında Şekil 2.1'deki sorpsiyon izotermi elde edilir.

Sorpsiyon sözcüğü, adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi her ikisini de belirlemek için kullanılan bir sözcüktür. Sorpsiyon işlemi tersinir değildir. Bu nedenle de denge nem miktarı dengeye ulaşma yönüne de bağlı olur. Tamamen kuru maddenin nem kazanarak dengeye ulaşması sonucu çizilen izoterm adsorpsiyon izotermi; nemli bir maddenin nem kaybederek dengeye ulaşması sonucu çizilen izoterm desorpsiyon izotermi denir.



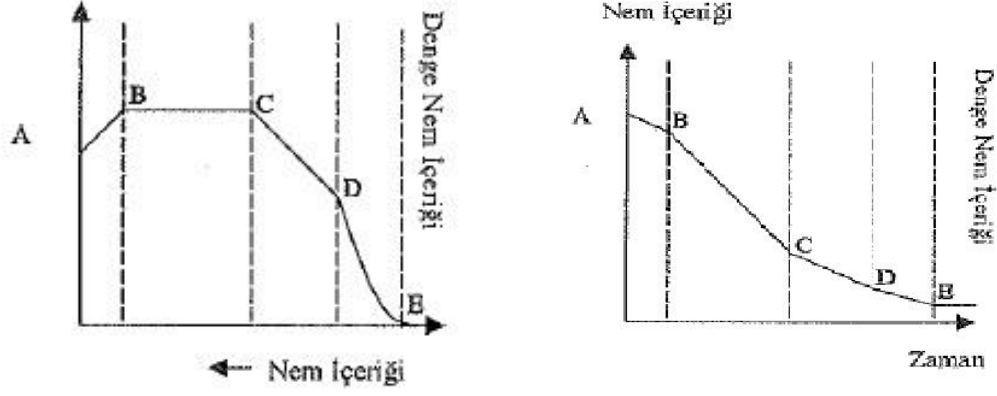
Şekil 2.1 Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi [26]

Adsorpsiyon izotermi tamamen kurutulmuş maddenin belirli bağıl nemdeki ortamlarda tutulması ve nem kazancına bağlı ağırlık artışının saptanmasıyla çizilir. Adsorpsiyon izotermi ürünlerin nem çekme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Desorpsiyon izotermi ise başlangıçta nemli gıda maddesinin aynı ortamlarda tutulması ve nem kaybının saptanmasıyla belirlenir [26].

2.1.6 Kurutma Eğrileri

Kurutma işlemi boyunca Şekil 2.2’de görüleceği üzere dört önemli kuruma süreci vardır:

Ayarlanma süreci: Kurutulacak olan nemli maddenin üzerinden sıcaklığı ve nem içeriği belirli olan hava akımı geçirildiğinde ısıtıcı havanın kurutulacak maddeye verdiği ısı enerjisinin bir kısmı madde yüzeyinin sıcaklığını yükseltirken, diğer kısmı latent buharlaşma ısısı olarak kullanılır. B noktasına kadar olan bu AB sürecine ayarlanma süreci denir, kuruma hızı düşüktür [34].



Şekil 2.2 Kurumanın aşamaları (Kuruma hızının, nem içeriğine göre değişimi ve kuruma hızının kuruma süresine göre değişimi)

Sabit hız süreci: B noktasından sonra başlayan BC hız sürecine sabit hız süreci denir. Bu süreçte, kurutucu havadan maddeye ısı enerjisinin aktarılma hızı, buharlaşma hızına eşit olur.

Kuruma hızının ilk düşüş süreci: Kuruma sabit hızda devam ederken nem içeriği azalınca partikülün iç kısmındaki nem dış yüzeye difüzlenererek devamlı bir sıvı filmi oluşturamaz. Çünkü kurumadan dolayı maddenin nem içeriği azalmıştır. Kuruyan dış yüzeyde yer yer kuru noktalar oluşmaya başlar. Böylece kritik nem içeriği denen bu C noktasından itibaren kuruma hızı düşmeye maddenin yüzey sıcaklığı artmaya başlar. CD boyunca kuruma hızının devamlı azaldığı bu sürece doymamış yüzey kuruma süreci veya kuruma hızının birinci düşme süreci denir.

Kuruma hızının ikinci düşüş süreci: D noktasından itibaren oluşan kuru noktalar çoğalmaya ve genişlemeye başlar ve en dışta kuru bir katman oluşur. Gerek ısı geçirgenliği az olan kuru katmanın oluşması, gerek yüzeye taşınacak sıvı katmanın difüzyon hızının azalması ile kuruma hızı D noktasından itibaren devamlı bir düşüş gösterir. DE boyunca, buharlaşma hızı, iç katmanlardan yüzeye difüzlenen nemin difüzyon hızına bağlıdır. Buharlaşma (kuruma) hızı azaldıkça kurutucu havadan alınan ısı enerjisinin çok az bir miktarı buharlaşma latent ısısı olarak kullanıldığından partiküllerin yüzey sıcaklıkları daha da artar. E noktasına ulaşıldığında buharlaşma durmuştur. Çünkü kurutucu havanın içindeki nemin buhar basıncı ile maddenin içindeki nemin buhar basıncı eşit olunca kuruma sona erer. Bu durumda, buharlaşma olmadığından verilen ısı buharlaşma latent ısısı olarak kullanılmaz; bu ısı, ürün sıcaklığını artırır ve kuruyan maddenin sıcaklığı kurutucu havanın sıcaklığına (kuru hazne sıcaklığına) yaklaşır.

Maddenin nem içeriğini daha da düşürmek için kurutucu havanın sıcaklığını artırmak gerekir [34].

2.1.7 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Kurutma işlemi sırasında fiziksel ve kimyasal olarak pek çokdeğişiklik meydana gelmektedir. Çekme, çözünür madde göçü, kabuk oluşumu, rehidrasyon kapasitesinde ve uçucu tat ve koku bileşenlerinde gözlenen kayıplar meydana gelen fiziksel değişikliklerin bazılarıdır.

Meydana gelen en önemli kimyasal değişiklik ise esmerleşme olarak adlandırılan renk değişimidir. Renk esmerleşmesi kurutmada önce, kurutma sırasında veya depolama süresinde oluşur. Özellikle meyveler gibi haşlanmadan kurutulan ürünlerde enzim faaliyetleriyle, başta polifenoller olmak üzere birçok maddenin yükseltgenmesine bağlı enzimatik renk esmerleşmesi meydana gelir.

Renk esmerleşmesini engellemede en etkin yol ürünün kükürtlendiğidir. Esmerleşme derecesine bağlı olarak üründe oluşan kusurlar da değişmektedir. Eğer esmerleşme az miktarda olmuşsa, ürünün sadece görünüşüyle ilgili soruna yol açmaktadır, ama ileri derecede esmerleşme olmuşsa, görünüşte meydana gelen kusurun yanı sıra ürünün tat-kokusunda ve rehidrasyon kapasitesinde de önemli ölçüde bozulma meydana gelebilmektedir [26].

2.1.8 Son Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler

2.1.8.1 Kurutma Sıcaklığı

Gıdanın bünyesinde bulunan su ile ilgilidir. Katı gıdaların bünyesinde serbest su bulunduğu sürece sıcaklığı fazla yükselmez ve çevresinden ısı alır. Su buharlaştıkça yüzey soğur. Su sıvı halden gaz hâline geçerken çevreden sürekli ısı almaktadır.

2.1.8.2 Kurutma Süresi

Yüksek sıcaklıkta kısa sürede kurutmak doğrudur. Fırında 4 saatte kurutulan sebzenin kalitesi güneşte iki günde kurutulan sebzenin kalitesinden daha iyidir. Kurutma süresi ürünün cins ve miktarına göre değişiklik gösterir. Önemli olan kısa sürede kurutmayı gerçekleştirmektir.

2.1.8.3 Kurutma yüzde nem oranı

Kurutulan ürünün nem oranı %10 civarında olmalıdır. Nem miktarı, verilen miktarın altında veya üstünde olmamalıdır. Nem oranı %10'un altında olduğu zaman kullanım sırasında su çekme özelliği değişir ve sert bir yapı oluşturur. Bu oran %10'un üstünde olduğu zaman ise depolama süresi kısalarak mikroorganizmaların üremesi söz konusudur.

2.1.8.4 Rehidrasyon

Ürünün kullanılması sırasında verilen su ile eski hâline dönüşebilme düzeyidir. Yani kurutulmuş bir ürün, suda bekletilince taze hâlde içerdiği kadar su alarak eski hâline ve şekline dönüşürse mükemmel nitelikte olduğu kabul edilir. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belli koşullarda ıslatılması sonucunda kazandığı su miktarı ile ölçülür. Ancak rehidrasyon sırasındaki koşullar, özellikle suyun sıcaklığı ve süresi, rehidrasyon yeteneği üzerinde son derece etkilidir [31].

2.1.9 Kurutma Yöntemi Seçilirken Göz Önüne Alınması Gerekenler

2.1.9.1 Maddenin Kuruma Özellikleri

Kurutmadan önceki nem içeriği, nemin tipi (bağlı su, bağlı olmayan su ve her ikisi birden), kurutmadan sonraki nem içeriği, kurutma sıcaklığı, kurutma süresi gibi özelliklerdir. Bu özellikler Çizelge 2.1'den de anlaşılacağı üzere her gıda ürünü için farklılık göstermektedir [35].

Çizelge 2.1 Bazı sebze ve meyvelerin ve gıdaların kurutma başlangıcı ve sonu nemlilikleri ve izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları [35].

Gıda adı	Kurutma başlangıcındaki nemlilik (yaş esas, %)	Kurutma sonundaki nemlilik (yaş esas, %)	İzin verilen en yüksek kurutma sıcaklığı (°C)
Mısır	35	15	60
Domates	96	10	60
Ananas	80	10	65
Muz	80	15	70
Elma	80	24	70
Patates	75	13	75
Biber	80	5	65
Soğan	50	4	55
Buğday	20	16	45
Karnabahar	80	6	65
Pirinç	24	11	50
Yeşil Fasulye	70	5	75

2.1.9.2 Elde Edilecek Kuru Maddenin Özellikleri

Elde edilecek kuru maddenin özellikleri partikül büyüklüğü, akıcılığı, nem içeriği ve nem içeriği tekdüzeliği, parlama özelliği, korozif özelliği, kırılabilirlik özelliği ve toksisitesi gibi özelliklerdir.

2.1.9.3 Kurutma Prosesi ile İlgili Özellikler

Partiler (batch) halinde ya da kesintisiz (devamlı) kurutma, kurutmadan önce veya sonra maddenin işleme tutulup tutulmamasının gerekliliği, kurutulacak maddenin kurutucuya giriş (besleme) şekli, kurutulmuş maddenin dışarı alınış şekli, aletin kapasitesi ve saatte elde edilecek kuru madde miktarı, kurutucu hava ile dışarı atılacak tozların geri kazanımı gibi özelliklerdir.

2.1.9.4 Aletin Çalışma Koşulları

Aletin bulunduğu yer, kaplayacağı alan, kurutucu havanın temizliği, sıcaklığı, nemi, ısıtmada kullanılacak enerji (elektrik, yakıt ve sıcak buhar), kurutulacak nemli maddenin kaynağı ve giriş yeri, kabul edilebilir gürültü titreşim düzeyi ve havanın toz içeriği gibi özelliklerdir [34].

2.2 Kurutma Yöntemleri

Sıcaklık uygulamaları ve geleneksel açık havada kurutma yöntemi ile büyük oranda zarar gören vitaminler ve mineral maddeler gibi bileşenlerin farklı kurutma sistemleri kullanılarak yüksek korunumları sağlanabilmektedir. Örneğin, solar kurutucular, hava üfleli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalgalı kurutucular, dondurarak kurutma yapan sistemler ve birlikte kullanımları tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır. Endüstriyel olarak da kolaylıkla uygulanabilen bu kurutma sistemleri, tüketiciye yüksek kaliteli ve üniform ürünler sunmaktadır [30].

2.2.1 Güneşte Kurutma Yöntemi

Gıda maddelerini dayanıklı hale getirmek için uygulanan en eski yöntemdir. Çok eski zamanlarda dahi insanlar et ve balığı güneşte kurutmuşlardır [33]. Ancak bu yöntem beraberinde kontaminasyon başta olmak üzere birçok problem getirmektedir. Her yerde ve her zaman güneş ısısından faydalanarak kurutma mümkün olmaması, kurutmayla birlikte hafif bir fermentasyon meydana gelebilme riski yapay kurutma sistemlerinin zamanla güneşte kurutmaya tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır [30]. Oldukça uzun zaman alan bir metot olması, daha hızlı, hijyenik ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metotlarının gelişimini teşvik etmiştir [36].

2.2.2 Solar Kurutma Yöntemi

Birçok dezavantajının yanı sıra son zamanlarda geliştirilen solar kurutucular, hem mevcut olumsuzlukları elemine etmiş hem de enerji etkinliğini arttırmıştır [30]. Güneş enerjisinin ürüne direkt etki etmesi yerine, güneş enerjisi ile ürün etrafında dolaşacak hava ısıtılmaktadır veya ısıtmada kullanılacak su buharlaştırılmaktadır. Direkt solar kurutucuların maliyetinin düşük olmasıyla beraber kolaylıkla da üretilebilmektedir. Fakat sıcaklık kontrolü gerçekleştirilemediğinden meyve ve sebzelerde vitamin ve renk kayıpları görülebilmektedir. İndirekt solar kurutma ise daha pahalı ve zor kullanılan bir

sistem olmasına rağmen sıcaklık kontrolü mümkün olmaktadır. Böyle sistemler ile UV ışınlar da uzaklaştırılabileceği için gelecekte ürün rengi değişmemektedir [30].

2.2.3 Hava Üfleli Kurutma Yöntemi

Diğer bir kurutma sistemi olan hava üfleli kurutma sistemleri basit tasarıma sahip olup, yerel imkânlarla yapılabilmesi, bakım ve işletme masraflarının az olması, mevsime göre farklı ürünlerin kurutulabilir olması bu tip kurutma sistemlerinin avantajları arasında yer almaktadır. Ayrıca güneşte kurutmaya göre daha hızlı, homojen ve hijyenik kurutma sağlamaktadır [30].

2.2.4 Vakum ile Kurutma Yöntemi

Vakum ile kurutma yöntemi özellikle çok fazla şeker içeren meyveler ve bazı sebzeler gibi hassas gıdalara ısı uygulamak için uygun bir yöntemdir [37]. Vakum, gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha da önemli bir diğer nokta, suyun uzaklaştırılması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarını azaltmaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk, tekstür ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir [30].

2.2.5 Mikrodalga ile Kurutma Yöntemi

Son zamanlarda kullanılan alternatif kurutma sistemlerinden biri olan mikrodalgalı kurutucular genellikle hava üfleli kurutucular için önemli bir enerji kaynağıdır [30]. Mikrodalga vakum kurutma metodu, hem mikrodalga ile kurutma hem de vakum kurutma metotlarının avantajlarını birleştirmesiyle yeni bir alternatif sunmaktadır. Mikrodalga vakum kurutma metodu diğer metotlarla karşılaştırıldığında kurutma hızının daha yüksek olduğu, düşük sıcaklık gerektirdiği ve enerjiyi daha homojen ve verimli dağıttığı görülmüştür. Buna ek olarak mikrodalga vakum kurutma metodu yöntemi ile oksidasyon engellenebilir bu sayede de hem renk hem de A, C, E vitaminlerini de içeren besi bileşimleri yüksek oranda korunmaktadır [37].

2.2.6 Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma, dondurulmuş üründe bulunan suyun sublimasyon ile uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır. İşlem gıdada sıvı su bulunmamasını ve düşük

sıcaklıkları gerektirmektedir. Böyle koşullarda mikrobiyal ve diğer bozulmalar durdurulduğu için son üründe yüksek kalite sağlanmaktadır [30]. Ancak bu yöntem yüksek enerji sarfiyatına, yüksek sermaye maliyetine ve uzun kurutma süresine sebep olmaktadır [30].

2.3 Kurutucu Tipleri

Gıda endüstrisinde pek çok çeşitte kurutucu bulunmaktadır. Ürünün özellikleri ve belirlenen yönteme göre kurutucu tipi seçilebilir [38]. Yaygın olarak kullanılan kurutucu tiplerinden aşağıda bahsedilmiştir.

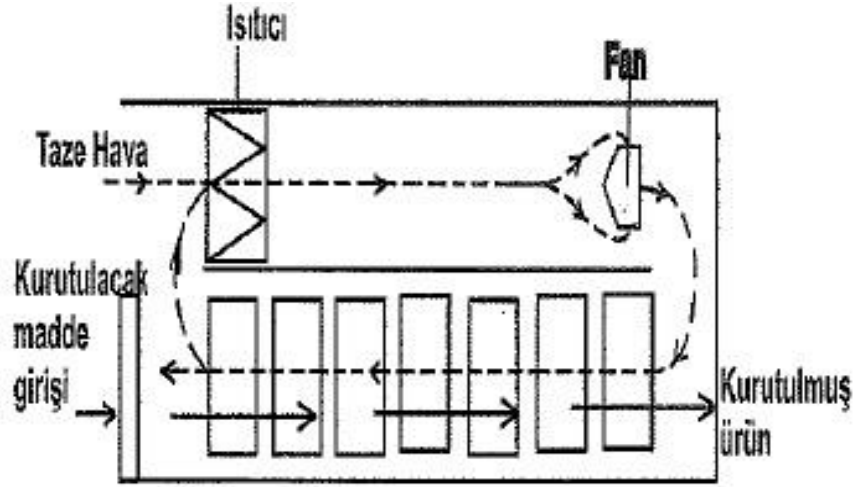
2.3.1 Tava Tipi Kurutucular

Bu tip kurutucularda gıda maddesi genellikle çok ince bir tabaka halinde olmak üzere aletin tavalara yayılır. Isıtma; tavaları yalayıp geçen bir sıcak hava akımı ile yani iç sirkülasyon ile tavalara yerleştirileceği ısıtılmış plakalar veya raflardan kondüksiyon ile veya ısıtılmış yüzeylerden radyasyon ile olur. Bu tip kurutucuların çoğunluğu aynı zamanda oluşan buharı da sürükleyip uzaklaştıran sıcak hava akımı ile ısıtılır. Bu kurutucular genellikle bir oda şeklindedir ve duvarları uygun bir izolasyon materyali ile kaplıdır. Oda içerisinde tavalara yerleştirildiği raflar vardır veya gıda maddesi tavalara raflı arabalara yerleştirilerek odaya alınır. Bu tip kurutucularda havanın ısıtılması kurutucunun içinde yapılır ve dışarıdan sıcak hava verilmez. Oda içerisinde yeterli hava dolaşımının sağlanması için bir vantilatörün sağladığı hava akımı hızı 100 m/dakika üzerinde olmalıdır. Bu tip kurutucular genelde günde 1-20 ton hammaddeyi kurutabilir [33].

2.3.2 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, arabalı tepsi kurutucuların kesintisiz (sürekli) kurutma yapan türüdür. Uzun kurutma tüneline yerleştirilen ve ayarlanabilen bir hızda yürüyen band üzerindeki arabalara Şekil 2.3'deki gibi tepsiler yerleştirilmiştir. Kurutma tüneline kapakçıklarla (flaplarla) debisi ve taze hava ile karışma oranı belirlenen hava ısıtıcılardan geçirilerek istenen sıcaklığa ulaştırılır. Isıtılmış hava, sevkedici fanlarla ardarda dizilmiş belirli bir hızla ilerleyen arabalara gönderilir. Havanın giriş yönü genellikle ürünün gidiş yönünün tersinedir. Sıcak havanın giriş yönü, ürünün gidiş yönünde olan tipleri olduğu gibi,

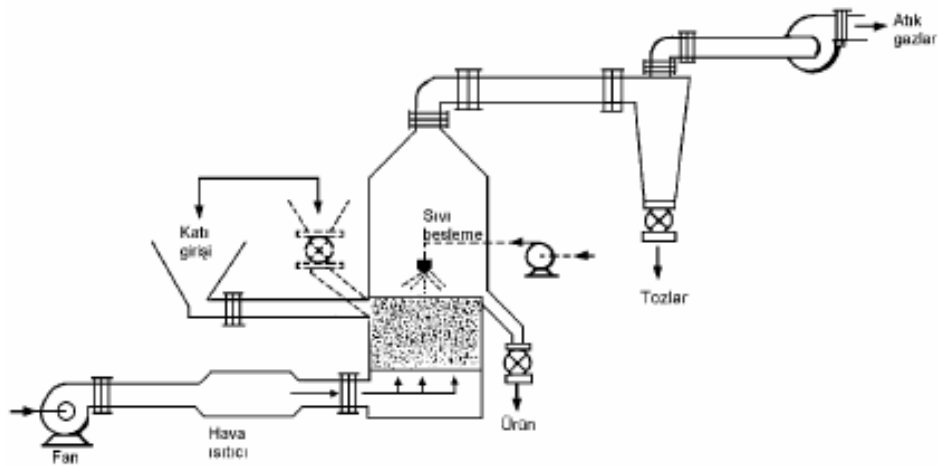
kurumanın ilk aşamasında aynı yönde, son aşamasında ters yönde olan tipleri de vardır [34].



Şekil 2.3 Tünel kurutucu [34]

2.3.3 Akışkan Yataklı Kurutucular

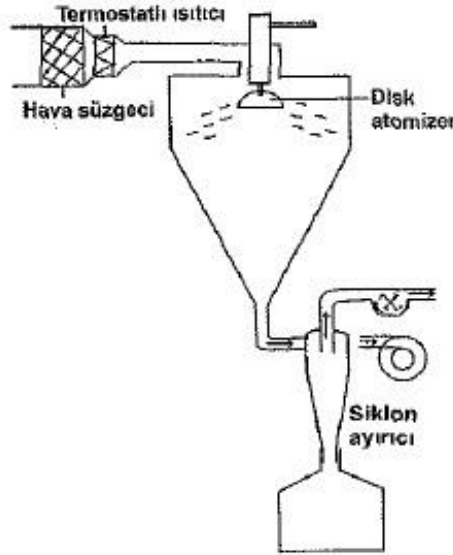
Akışkan yataklı kurutucuda kurutulacak gıda maddesi aşağıdan yukarı doğru çıkan sıcak hava akımı içerisinde Şekil 2.4'deki gibi ağırlığı karşılanarak asık bir şekilde duracak durumda tutulur. Gıda maddesini kurutucu boyunca taşımak için yatay bir hava akımı da bulunabilir. Havadan gıda maddesine ısı çoğunlukla konveksiyon yoluyla iletilir. Akışkan yataklı kurutucular bezelye, taze fasulye, havuç, soğan, patates, et, kahve, kakao, tuz ve şekerin kurutulmasında kullanılır [33].



Şekil 2.4 Akışkan yataklı kurutucu [39]

2.3.4 Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Kurutulan ürünler üniformdur ve kuruma süreleri (5 ile 15 saniye arasında) değişir. Bu sistemlerde sıcak kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir. Giriş gaz sıcaklığı 93°C ile 760°C arasında değişir. Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı maddelerin kurutulması için de uygundur. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenabilen toz halindeki madde siklon seperatör veya torba filtrelerde Şekil 2.5'deki gibi tutulur. Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kitlesel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün son nemliliği çıkış gaz akımının sıcaklık ve nemi ile kontrol edilir [40].

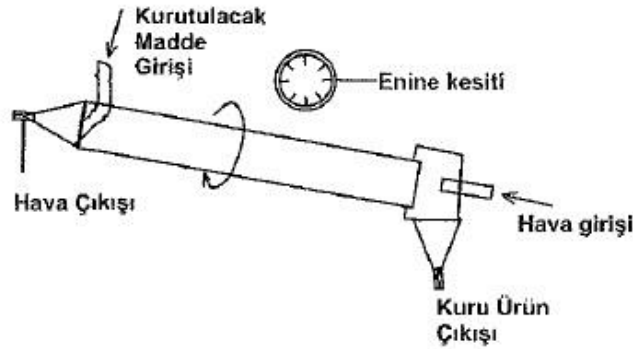


Şekil 2.5 Püskürterek kurutma aleti [34]

2.3.5 Döner kurutucular

Hareketli yataklı bir kurutucu olup belirli bir eğimde, yatay olarak rulmanlar üzerinde ayarlanabilen bir hızda döndürülen bir silindirden ve herbiri bu silindirin iç çeperine eksen boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş 8 raftan ibarettir. Silindirin uzunluğu 1-30 m arasında olup, çapının 4-10 katı arasındadır. Silindirin yukarı ucundan, üstten kurutulacak madde ile sürekli beslenir; raflardan dönme ile akan maddenin arasından, Şekil 2.6'da da

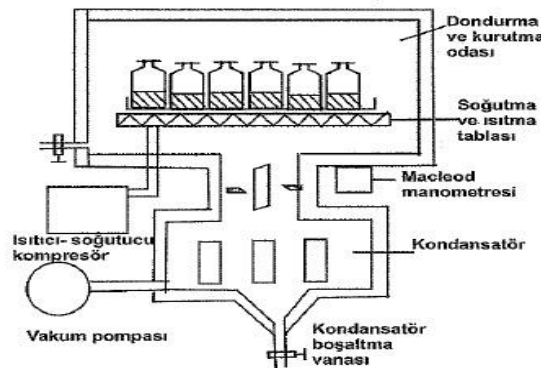
gösterildiği üzere ürün akışına ters yönde geçirilen sıcak hava ile kurutma sağlanır. Kuruyan madde, silindirin aşağı ucundan, alttan alınır [34].



Şekil 2.6 Döner kurutucu [34]

2.3.6 Dondurarak Kurutucu

Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyva suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı ile Şekil 2.7’den de görüleceği üzere bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan maddeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle -10°C ile -40°C arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı maddeler için uygundur [40].



Şekil 2.7 Dondurarak kurutma cihazı [34]

ZENCEFİL

3.1 Orijini ve Tarihi

Taze ve kuru olarak tüketilebilen zencefil, rizom köklerinden meydana gelmektedir [41]. Zingiberaceae ailesine ait, dünyaca baharat ve medikal ajanı olarak sıkça kullanılan bir bitki türüdür. Yapılan çalışmalarda zencefil vatanının Güneydoğu Asya (bugünkü kuzeydoğu Hindistan) bölgesi olduğu tespit edilmiştir [42]. Fakat bitkinin uzun yıllar boyu farklı bölgelerde yetiştirilmesinden dolayı kökeni ile ilgili net bir bilgiye ulaşılamamaktadır [43]. İngiliz botanikçi William Roscoe (1753-1831) 1807 yılında zencefili tanımlamış ve *Zingiber officinale* adını vermiştir [41].



Şekil 3.1 Zencefil bitkisi [2]

Zencefilin tarih boyunca kullanımına bakıldığında dünyanın pek çok farklı bölgelerinde farklı amaçlarla kullanıldığı karşımıza çıkmaktadır. Zencefilin ilk olarak Çin’de yetişen bitkiler arasında kayıtlı olduğu görülmektedir. Çin ve Hint alternatif tıbbında tedavi edici olarak sıkça kullanılmıştır. Asya yerlilerinin mutfak ve tıbbi alanında sıkça kullandıkları tespit edilmiştir. Zencefil Yunanlılar tarafından da yetiştirilmiş olduğu Yunan hekim, botanikçi veya eczacıların eserlerinde zencefilden bahsedilmesinden anlaşılmaktadır. Roman yazar, felsefeci ve doğa bilimci Plinius Secundus, “Naturalis Historia” adlı eserinde zencefilin medikal alanda kullanılmasından bahsetmektedir. Almanya ve Fransa’da da 9.yüzyılın başından beri bilinmektedir. Marco Polo 13. yüzyılda, Çin ve Sumatra’yı ziyaretinden sonra Avrupa’ya dönüşünde yanında zencefil taşımıştır. Aynı zaman diliminde Araplar vasıtası ile Hindistan’dan Doğu Afrika’ya yayılmıştır. Daha sonra 16. yüzyılda zencefil Portekizliler tarafından Batı Afrika’ya tanıtılmıştır. Orta çağ boyunca zencefil bira aroması olarak da kullanılmıştır.

Zencefil kullanılarak pek çok ülkede başta soğuk algınlığı ve grip olmak üzere infüzyonlar hazırlanmıştır. Burma’da ise zencefil ve palmye ağacı suyundan hazırlanan karışım gribin etkilerini azaltmak için uzun yıllar kullanılmıştır. Kolombiya’da ise zencefil ve sıcak panela karışımının soğuk algınlığı ile gribin tedavisinde etkili olduğu düşünülmüştür. Kongo’da ise zencefil ve mango suyu karışımının her derde deva olduğu varsayılmaktadır. Hindistan ve Nepal’de zencefil köklerinden hazırlanan macun, şiddetli baş ağrısı tedavilerinde harici olarak uygulanmıştır. Endonezya’da ise yorgunluğu azalttığı romatizmayı önlediği ve sindirime yardımcı olduğuna inanılmaktadır. Filipinlerde ise boğaz ağrısı tedavisinde kullanılmaktadır.

Amerika’da ise hamilelik sırasında meydana gelen bulantıları azalttığı düşünülerek kullanılmıştır. Japonlar ise kan dolaşımını hızlandırmak için kullanmaktadırlar. Çin ve Afrika ülkelerinde geleneksel tıp alanında başta baş ağrısı, mide bulantısı, soğuk algınlığı, romatizma ve kas hastalığı rahatsızlıkları olmak üzere pek çok alanda tarih boyunca tedavi amaçlı kullanılmıştır [43]. Batı ülkelerde ise yemeklere lezzetlendirme ve aroma verici olarak katılmıştır.

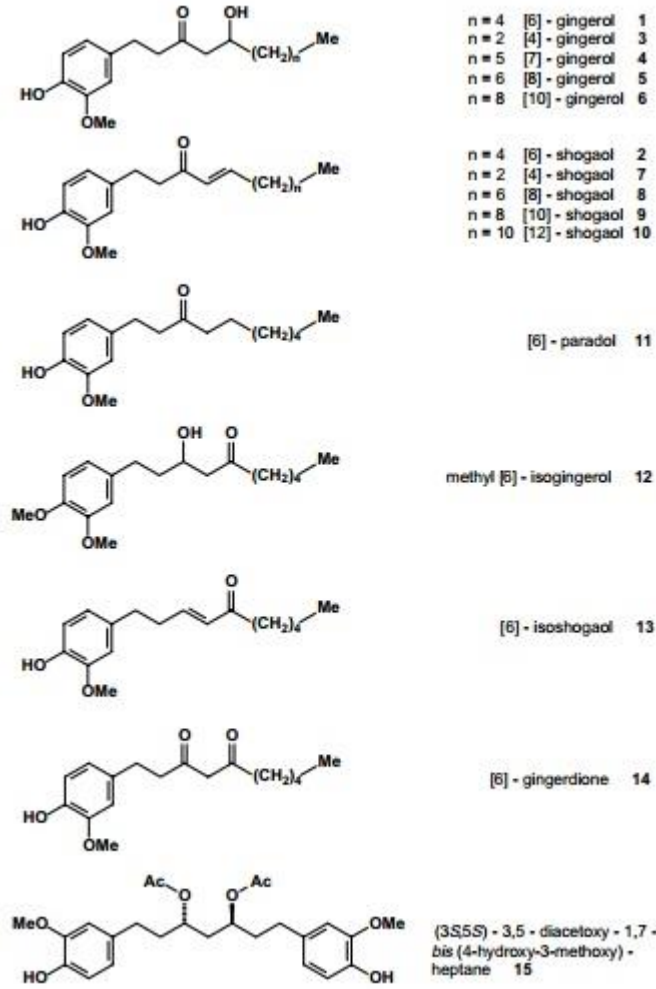
Günümüzde ise Hindistan ve Çin, bu bitkinin dünyada en büyük market sağlayıcısı olup halen Asya ülkeleri ve batı ülkelerinde tedavici özelliği ile pek çok alanda kullanılmaktadır. Zencefilin bu tedavi edici özelliği yapısında bulunan bioaktif bileşiklerden kaynaklanmaktadır [44].

3.2 Botanik Özellikleri

Zencefil Zingiberaceae familyasına dahil bir türdür. Bu familya 24 kadar cinsi ve 300 civarında türü kapsar. Zingiber cinsi de 20 kadar türe sahiptir. Zencefil bitkisi çok yıllık yumru veya rizom köklere sahiptir [41]. Yetiştiriciliği esnasında kökten çıkan kamışa benzeyen yeşil bir sap ve çiçekleri ile birlikte 90 cm kadar uzayabilir [42]. Sapları, saptan ayrılan düz kınla kaplıdır. Gövde üzerinde iki sıralı 8-12 yaprak bulunur. Yapraklar uzun kınlı, mızraksı, şeritsi-mızraksı, sivri uçlu, düz ve sapsız kınlı, 10-21 cm uzunluğunda, 2-2,5 cm genişliğindedir. Çiçek kümesi kökten tek başına küçük bir sap ile yükselir. Çiçek kümesinin yerden yüksekliği 12-30 cm'dir. Çiçekler küçük ve soluk sarı renklidir. Anterler çift, taçlı uzun, ince kumlu, oluklu ve boynuz şeklindedir [41].

3.3 Kimyasal Özellikleri

Zencefilin kimyasal yapısı uçucu yağ ve diğer bileşiklerden oluşmaktadır. Uçucu yağ içeriği yaklaşık %1-4 civarındadır [45]. %3 oranında uçucu yağ, oleorezinlerin %20-25'ni oluşturur. Seskiterpenler %30-70 uçucu yağın bileşimine katılır. Oleorezinlerin %25'ni oluşturan acı bileşikler; gingeroller, shogaoller ve ilgili fenolik keton türevlerinden oluşur. Diğer bileşikler de diarilheptanonlar, diterpenlaktonlar, galanolakton (bazı türlerde), 6-gingesülfonik asit ve monoaçildigalaktosil gliseroller ile nişasta ve müsilajdır [46]. Şekil 3.2'de zencefilin kimyasal ana bileşenleri verilmiştir.



Şekil 3.2 Zencefilin kimyasal bileşimi [45]

3.4 Antibakteriyel ve Antimikrobal Özellikleri

Zencefilin antioksidan özelliği ile ilgili yapılan eski çalışmalar sadece köksaplarına sınırlı kalmıştır. Yapraklarının geleneksel ilaç yapımında kullanılmasına rağmen total fenolik içeriği ve antioksidan aktivitesi ile ilgili çok az çalışma yürütülmüştür [9].

Fitokimyasal çalışmalarla birlikte zencefilin antioksidan, anti-entlamafuar özelliklere sahip olduğu ve bazı türlerinin de potansiyel kanser aktivitesini yok ettiği ortaya çıkmıştır [7]. Zencefil yağının, antioksidan ve antiperoksidatif etki gibi özelliklere sahip olduğu aynı zamanda yemeklerin bozunmasına sebep olan, gram-pozitif ve gram negatif mikroplara ve bazı mantarlara karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği bilinmektedir [42].

Yapılan bazı farmakolojik araştırmalarda ise zencefilin çeşitli tümör hücreleri üzerinde kemopreventif ve kemoterapötik etkilerinin olduğu kanıtlanmıştır [6]. Ayrıca yapılan alışmalarada zencefil içerisinde bulunan 6-gingerol biyoaktif bileşiğinin anti-enflamatuar, antioksidan, ateş düşürücü ve kardiyotonik özelliklere sahip olduğu ortaya çıkmıştır [47]. Antioksidan özelliği ile pek çok hastalığı önleyebildiği için piyasada her birinin belirli faydası olan çeşitli bitkisel formülasyonları mevcuttur. Örneğin, zencefil rizomları, kurutulmuş zencefil veya konsantre zencefil tozları ticari olarak olduğu yaygın şekilde kullanılmaktadır [6].

3.5 Yetiştiriciliği

Zencefilin iyi bir verimle yetişebilmesi için, ılık ve nemli bir iklime ihtiyaı vardır. Deniz seviyesinden 1500 m rakım üzerinde yetişebilir [42]. Mevsimlere dağılmış olarak yıllık 2000 mm yağış ister. Bu temin edilemediği durumlarda sulama gerekir. Işığı sever ve gölgeli ortamlardan hoşlanmaz [48].

İyi ile orta derecedeki yağış şiddeti ve iyi drene edilmiş bol humuslu kumlu toprak ideal yetişme koşullarıdır. Toprak yapısı ve nemi rizomların şekil ve gelişimine büyük etki yapar. Bir yıl kadar zaman geçtikten sonra, zencefilin aynı toprak içerisinde yetişmesi önerilmemektedir. Nöbetleşe ekim sistemi uygulanmalıdır. Yüksek verimli üretimin gerçekleşebilmesi için yüzey toprağının yakılarak muson öncesi dönemde üretim gerçekleştirilmelidir [42].

Zencefilin yetiştirilmesi bir ölçüde patatese benzer. Vejetatif olarak çoğaltılır ve rizomları tohumluk olarak kullanılır. Sulamalı tarım koşullarında en uygun ekim zamanının şubat ayı olduğu bildirilmektedir. Genellikle sıcaklarda, bitkiyi güneş yanığı, kuraklık stresi ve su stresine sokmadan yapılmalıdır [48].

3.6 Hasadı

Zencefilin hasadı ve ürünün işlenmesi yoğun iş gücü gerektirir ve patatesin hasadına benzerlik gösterir. Sebze olarak tüketecek ürünün hasadı altı ay içerisinde olabilir. Kuru ürünün hasadı ise ekimden yaklaşık 8 ay sonra yapılır. Eğer sulu tarım şartlarında yetiştiricilik yapılıyor ise hasattan üç hafta öncesinden sulama işleminin kesilmesi önerilmektedir [41].

3.7 Sağlık ve Diğer Alanlardaki Kullanımı

Zencefil bitkisi, romatizma, burkulma, kas rahatsızlıkları, boğaz ağrıları, kramp, kusma, şişkinlik, hafıza güçlendirme, kolik ve ishal gibi basit rahatsızlıkların tedavisinde yaygın olarak kullanıldığından halk ilacı olarak adlandırılmaktadır [49]. Zencefilin yağ ve bal ile günde dört kez alınmasının öksürük rahatsızlıklarını tamamen ortadan kaldırma etkisi mevcuttur [50].

Taze sıkılmış zencefil suyu, diyabetik farelerde hipoglisemik özellik göstermiştir [50]. İlaçlara yapılan zencefil kökü takviyesi kandaki glukoz seviyesini önemli ölçüde düşürmektedir. Beslenme kuralları ve yaşam tarzında yapılan değişimler ile birlikte tip 2 şeker hastalığı tedavisi üzerinde önemli etkisi olduğu ispatlanmıştır [44].

Tıbbi bitki haricinde pudra ve şekerleme olarak da tüketilmektedir. Alkollü veya alkolsüz içeceklerde şekerli ürünlerde, çorbalarda, özellikle et ürünlerinde, unlu mamullerde ve başta köri olmak üzere çeşitli baharat karışımlarında kullanılmaktadır [41].

Yemeklerin zencefil ile terbiye edilmesi veya yemeklerde zencefil kullanımı ile gıda bozulmalarının önüne geçilebilmektedir. Zencefil yağı lipid peroksidasyon prosesini engelleyerek / geciktirerek besinlerin raf ömrünü uzatmakta ve ekşimeyi önlemektedir [42].

Alternatif Çin tıbbında vücudu sıcak tuttuğu, nabızı kuvvetlendirdiği, cilt solgunluğu giderdiği ve kan kaybından sonra vücudun toparlanmasına yardımcı olarak kullanılmaktadır [47].

Ciban veya beze gibi rahatsızlıklarda haricen tonik olarak kullanılmaktadır. Kurutulmuş zencefil macununun göz kapağı çevresindeki kuruluğu da giderdiği görölmüştür. Zencefil suyu damlatılmış kireç suyu ciltteki siğıl tedavisinde kullanılabilir. Zencefil suyu damlatılmış kireç suyu ciltteki siğıl tedavisinde kullanılabilir.

Zencefil aynı zamanda veterinerlik biliminde de kullanılmaktadır. Uyarıcı ve gaz giderici olarak atlar ve büyükbaş hayvanlardaki hazımsızlık rahatsızlıklarında kullanılmaktadır.

Yılan zehirlenmelerinde harici olarak ısırılan bölgeye zencefil uygulanması ve kayantılmış zencefil suyu tüketilmesi yılan ısırığı için panzehir etkisi yaratır [50].

Yolculuk esnasında taşıt tutmasını önlemek amacıyla ağıza alınan 1 gram zencefil bu problemi tamamen ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca ameliyat sonralarında kullanılan zencefil narkoz etkilerini azaltmaktadır [50].

3.8 Kurutulması

Taze zencefil yaklaşık %85-95 civarında su içermektedir. Zencefilin dehidrasyonu mikrobiyal büyümeyi engellemek ve bozulan biyokimyasal reaksiyonları geciktirmek için uygulanan en pratik prosedürdür. Kurutulmuş zencefil, zencefil baharatları, kozmetik ürünleri ve ilaç üretiminde ayrıca alkolsüz içeceklerde tatlandırıcı olarak da sıkça kullanılmaktadır. Fakat bununla beraber kurutma prosesi termal hasara ve aromatik bitkinin kimyasal, bitkisel ve organoleptik özelliklerinde değişime neden olabilmektedir. Bu yüzden kurutma yöntemi seçilirken bu besin maddesinin özellikleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır [7].



MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Kurutma deneylerinde kullanılan zencefil İstanbul'da bir aktardan temin edilmiştir ve her deney öncesi taze satın alınıp laboratuvar ortamı sıcaklığında (23°C'de) muhafaza edilmiştir.

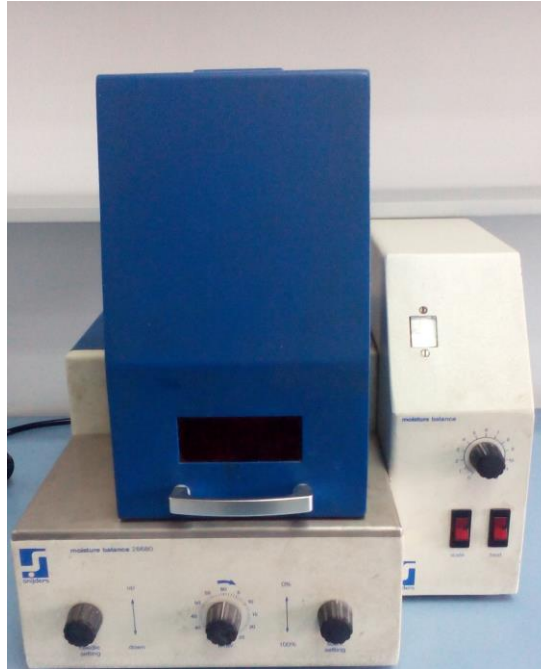
4.2 Ekipmanlar

Zencefil bitkisinin kurutulması esnasında Şekil 4.1'de görülen APV&PASILAC firması (Cumbria, UK) tarafından üretilmiş kurutma kabini kullanılmıştır. Kurutucu maksimum 200°C sıcaklıkta çalıştırılmaktadır. Çalışılmak istenen sıcaklık cihaz üzerindeki dijital sıcaklık göstergesinden ayarlanabilmektedir. Çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun 21 cm çapında ve 7 cm derinliğinde kurutma tepsilerine sahiptir. Kullanılacak olan havanın istenen sıcaklığa ısıtılması 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışan sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutma kabini çelikten imal edilmiş ve 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kurutucu kabini içerisinde bulunan kurutma havasının akış hızı anemometre kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1 Kurutma kabini

Zencefil bitkisi farklı bir kurutma yöntemi olan kızılötesi (infrared – IR) kurutucu yöntemi ile de kurutulmuştur. Bunun için Sneijders (Hollanda) firması tarafından üretilmiş Şekil 4.2’de görülen IR kurutucu kullanılmıştır. İstenilen ısıtma gücü cihaz üzerindeki manuel düğmeden ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.2 Kızılötesi kurutucu

Zencefil ürünlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde AOAC 920.151 yöntemi uygulanmıştır. Şekil 4.3’de görülen Selecta (İspanya) marka etüvün sıcaklığı dijital olarak 105°C’ye ayarlanmış ve kütlesi bilinen numune sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.



Şekil 4.3 Etüv

Kurutulan zencefil dilimlerinin renkleri Şekil 4.4’de verilen (CR-400 Model Colorimeter, Konica Minolta, Japan) renk ölçer ile ölçülmüştür. Çeşitli parametrelerde kurutulan tüm zencefil örnekleri ve yaş zencefilin analizi dörder kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama değerler Hunter Lab skalasına göre değerlendirilmiştir. Cihazdaki L*, a* ve b değerleri üç boyutlu koordinat sistemi ile verilmekte ve koordinat sisteminde “L*” değeri dikey eksenle parlaklıktan koyuluğa, “+a*” değeri kırmızılığa, “-a*” değeri yeşillığe, “+b*” değeri sarılığa ve “-b*” değeri ise mavilğe gidişi göstermektedir.

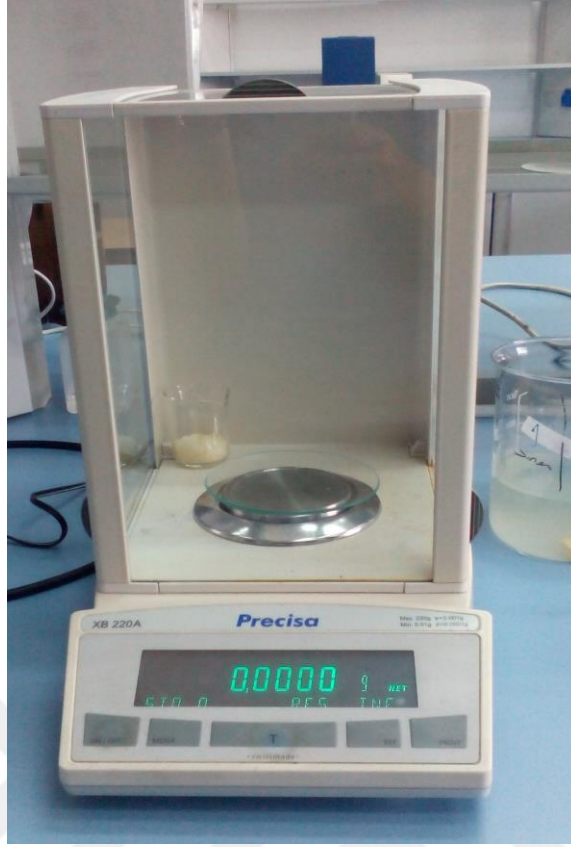


Şekil 4.4 Renk tayin cihazı

Yaş ve kurutulmuş ürünlerin ağırlık ölçümleri Şekil 4.5’de görülen 3 kg’a kadar olan ağırlıkları 0,1 g hassasiyetinde ölçebilen Mettler marka (İsviçre) terazi ve Şekil 4.6’da görülen 0,0001 g hassasiyetinde ölçüm yapabilen Precisa (İsviçre) marka hassas terazi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Mettler marka hassas terazi



Şekil 4.6 Precisa marka hassas terazi

4.3 Yöntem

4.3.1 Ön İşlem Çözeltilerinin Hazırlanması

Sitrik Asit çözeltisi 5 gram sitrik asit üzerine 495 gram su ilave edilip karıştırılarak %1'lik olacak şekilde hazırlanmıştır. Potasyum karbonat çözeltisi 15 gram K_2CO_3 üzerine 485 gram su ilave edilip karıştırılarak %3'lük olacak şekilde hazırlanmıştır.

4.3.2 Zencefil Nem Tayini

Zencefil bitkisini nem içeriğini belirlemek amacı ile yaklaşık 5'er gram tartılmış dört adet zencefil numunesi sabit tartım elde edilene dek $105^{\circ}C$ 'deki etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonucunda kurutulmuş ürünler hassas terazide tartılıp ortalama kuru madde ve nem yüzdesi hesaplanmıştır. Zencefil kuru madde miktarı %7,86 olup nem miktarı ise %92,14 olduğu saptanmıştır.

4.3.3 Sıcak Hava Kurutma Yöntemi ile Zencefilin Kurutulması

Kurutma denemelerinde kullanılan zencefillerin öncelikle kabukları soyulmuştur. Kurutma esnasında kullanılacak dört adet delikli kurutma tepsisinin daraları tartılarak not edilmiştir. Kabukları soyulan zencefiller 0,7 cm kalınlıklarında kesilmiş ve yaklaşık 50'şer gram gelecek şekilde tartılıp dört ayrı grup oluşturulmuştur. İlk gruptaki zencefil dilimleri oda sıcaklığındaki potasyum karbonat çözeltisinde (Potas) 2 dakika süre ile ön işleme tabi tutulduktan sonra, ikinci gruptaki zencefil dilimleri oda sıcaklığındaki sitrik asit çözeltisinde (Sitrik) 2 dakika süre ile ön işleme tabi tutulduktan sonra, üçüncü gruptaki zencefil dilimleri 85°C'deki sıcak suda (Haşlama) 2 dakika süre ile ön işleme tabi tutulduktan sonra ve dördüncü gruptaki zencefil dilimleri hiçbir ön işleme tabi tutulmadan (Kontrol) 40, 50, 60 ve 70°C'deki hava ile kurutulmuşlardır. Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve $2\pm0,1$ m/s olarak ölçülmüştür. Kurutulan üründe ağırlık ölçümleri Mettler marka terazi ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi sırasında kaybolan nem içeriğini tespit etmek amacı ile madde ağırlığı her 15 dakikada kaydedilmiştir. Kurutma işlemi yaklaşık %90 oranında nem kaybı gerçekleşene dek devam etmiştir. Örnekler oda sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurulup ısısal yöntemle torbaların ağzı kapatılarak muhafazaya alınmıştır. Aynı işlemler 0,4 cm ve 1 cm gibi farklı numune kalınlıklarının kurutulmasında da gerçekleştirilmiştir.

4.3.4 IR Kurutma Yöntemi ile Zencefilin Kurutulması

Kurutma denemelerinde kullanılan zencefillerin öncelikle kabukları soyulmuştur. Kabuğu soyulan zencefiller yaklaşık 0,7 cm kalınlığında dilimlenerek 35 gram gelecek şekilde tartılmıştır. Numunelerin nem kayıpları %90'lara ulaşana dek 50 W, 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W ısıtma güçlerinde kurutulmuşlardır. Sıcak hava ile kurutma yönteminde olduğu gibi potasyum karbonat çözeltisinde, sitrik asit çözeltisinde ve 85°C'deki sıcak suda 2'şer dakika bekletilmiş zencefil numuneleri 74 W kurutma gücünde kurutulmuştur. Ayrıca yine 74 W kurutma gücünde 0,4 cm ve 1 cm gibi farklı numune kalınlıklarının kurutulması da gerçekleştirilmiştir. Kurutma gücü 62 W olarak ayarlanıp sırası ile 1 saat ve 2 saat kurutulan zencefil numunelerinin kuruma işlemlerine daha sonra 70°C'de sıcak hava ile kurutma kabininde devam edilmiştir.

4.3.5 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi ve Veri Analizi

Kurutma çalışmalarında kullanılan zencefil dilimlerinin nem içerikleri kuru kütle esas alınarak (4.1) eşitliği ile hesaplanmıştır:

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (4.1)$$

Burada M değeri, nem içeriğini, m_w ve m_d değerleri de sırasıyla su miktarını (kg) ve kuru madde miktarını (kg) göstermektedir. Kurutma hızı ise eşitlik (4.2) ile hesaplanabilir.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Burada, $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ kurutma hızını, M_t t anındaki nem içeriğini, $M_{t+\Delta t}$ t+Δt anındaki nem içeriğini ve t ise süreyi ifade etmektedir.

Nem oranı (MR) ise (4.3) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4.3)$$

Burada M değeri herhangi andaki su miktarını, M_0 değeri kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarını ve M_e kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarını göstermektedir. Denge su içeriği M_e , M veya M_0 ile karşılaştırıldığında çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kurutma eğrileri Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Page, Midilli & Küçük, Wang & Singh ve Aghbashlo vd. modellerine uyarlanmıştır. Çizelge 4.1’de fonksiyonları ile birlikte tanımlanmış modeller test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.1 Zencefil örneklerinin kurutma kinetiklerinin matematiksel modellemesi için kullanılan kurutma modelleri

Model Adı	Eşitlik	Eşitlik No
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(4.4)
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(4.5)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	(4.6)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(4.7)
Midilli & Küçük	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(4.8)
Wang & Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(4.9)
Aghbashlo vd.	$MR = \exp\left(-\left(\frac{at}{1+bt}\right)\right)$	(4.10)

Regresyon analizi için Statica programı (Statsoft, Onc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Zencefilin kuruma eğrilerinin uygunluğunun belirlenmesi için kriter olarak determinasyon katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) belirlenmiştir. Bu değerler eşitlik, (4.11), (4.12) ve (4.13) kullanılarak hesaplanır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N \overline{MR_{pre}} - MR_{exp,i}^2} \quad (4.11)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})}{N - n} \quad (4.12)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4.13)$$

Bu denklemlerde MR_{exp} , deneysel nem oranını, MR_{pre} tahmini nem oranını, N deneysel gözlem sayısını ve n değeri ise kullanılan kurutma modelindeki sabitlerin sayısını

göstermektedir. χ^2 ve RMSE değerleri en küçük, R^2 değeri ise 1'e en yakın olan modeller en uygun modellerdir [51].

4.3.6 Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Difüzyon katsayısının hesaplanması için ürünün nemin azalan hız periyodunda uzaklaşması esnasında Fick yasasının ikinci kanunu ifade eden eşitlik (4.14)'den yararlanılır. Bu eşitliğe bağlı kalınarak uzaklaşan nem miktarına göre efektif difüzyon katsayısını hesaplamak mümkündür. Efektif difüzyon değeri belirlenirken ürünün doku yapısının korunduğu ve nemin sadece difüzyon yolu ile ortamdan uzaklaştığı varsayımı kabul edilir. Eşitlik (4.14)'de MR: ayrılabilir nem oranını, D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m^2/s), L: dilim yarı kalınlığı (m) ve t: kurutma süresini (s) göstermektedir [52].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (4.14)$$

Eşitlik (4.14), matematiksel kurallara göre düzenlendikten sonra (4.15) numaralı eşitlik elde edilmiştir.

$$\ln(MR) = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (4.15)$$

Belirlenen boyutsuz nem oranı $\ln(MR)$ değerleri ile kuruma süresine göre bir doğru oluşturulduğunda doğrunun eğiminden her kurutma şartı için ayrı D_{eff} değerleri hesaplanabilmektedir [52].

Aktivasyon enerji değeri, ürünün efektif difüzyon değerinin sıcaklığa bağlı değişiminin Arrhenius eşitliği kullanılarak hesaplanması ile saptanabilir. Eşitlik (4.16)'ya göre D_{eff} değeri difüzyon katsayısını (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s), R değeri gaz sabitini ($8,314 \text{ kJ/mol} \times K$), E_a aktivasyon enerji değerini (kJ/mol) ve T (K) ise kurutma havası sıcaklığını ifade etmektedir.

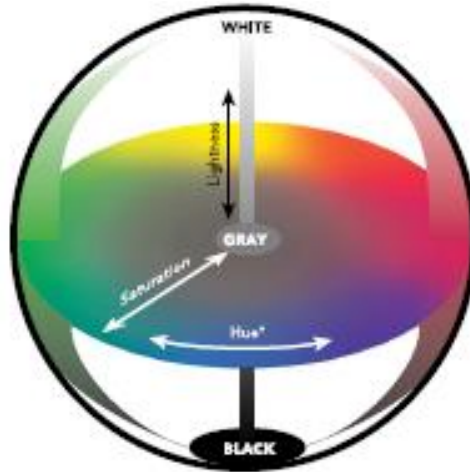
$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.16)$$

Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri hesaplamak için $\ln(D_{eff})$ değerinin $1/T$ değerlerine karşılık bir doğru grafiği oluşturulur ve elde edilen doğrunun eğim değerinden aktivasyon enerji değeri hesaplanır [52].

4.3.7 Renk analizi

Farklı ön işlem uygulanan zencefil grupları ile ön işlem görmemiş zencefil grupları renk ölçer ile ölçülmüştür. Deney sonucunda her bir zencefil grubundan rastgele alınan dört örneğin “ L^* ”, “ a^* ” ve “ b^* ” değerleri ölçülüp kaydedilerek ortalama sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ön işlem ve kurutma parametrelerinin renk özelliğini nasıl etkilediği yorumlanmıştır.

Renk değişimi bir gıdanın hem kalite hem de kimyasal özelliklerini ölçmeye ve anlamaya yarayan önemli parametrelerden biridir. Renk, tüketicilerin en somut algıladığı özellik olduğundan kalite kontrol yöntemlerinden en çok kullanılan yöntem olduğu önceki çalışmalarda ispatlanmıştır. Renk değerlendirme prosedürü CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) sistemine dayanır. Şekil 4.7’den de görüleceği üzere “ L^* ” değeri parlaklık, “ a^* ” değeri kromatik olarak negatif yeşil eksenenden pozitif kırmızı eksene değişimin ve “ b^* ” değeri ise negatif sarı eksenenden pozitif mavi eksene değişimin göstergesidir [53].



Şekil 4.7 “ L^* ”, “ a^* ” ve “ b^* ” değerlerini gösteren renk skalası [54]

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucudan Elde Edilen Bulgular

5.1.1 Sıcaklık ve Ön İşlem Parametrelerinin Kurutma Süresine Etkisi

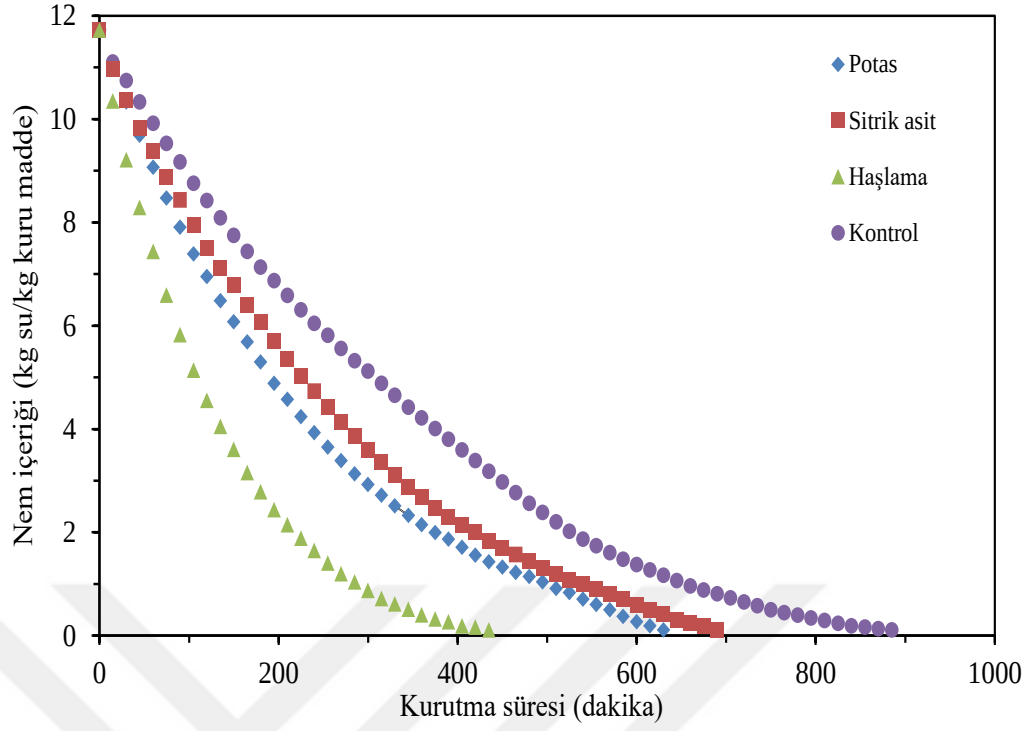
Taze zencefil dilimlerinin nem içerikleri, kurutulmuş ürünlerin hassas terazide tartılıp yaş kütle miktarından kuru kütle miktarı çıkarılması sonucu %92,14 olarak hesaplanmıştır. Sıcak havalı kabin kurutucuda yapılacak kurutma çalışmaları için yaklaşık 50'şer gramdan oluşan dört ayrı zencefil grubu hazırlanmıştır. Zencefil dilimlerinin potas, sitrik ve haşlama çözeltilerine 2 dakika boyunca daldırılmış grupları ile çözeltiye daldırılmayan kontrol grubu 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklığındaki hava kabin kurutucuda son nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar kurutulmuştur. Her 15 dakikada bir örneklerin ağırlıkları Şekil 4.5'de gösterilen terazide tartılmıştır. Farklı sıcaklık ve çözelti uygulamaları için %10'luk nem miktarı kalana kadar geçen toplam kurutma süreleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak örneklerin nem içerikleri eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 5.1-5.4'de görüldüğü gibi nem içeriği-kurutma süresi grafikleri çizilmiştir.

Çizelge 5.1 Farklı sıcaklık ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin toplam kurutma süreleri

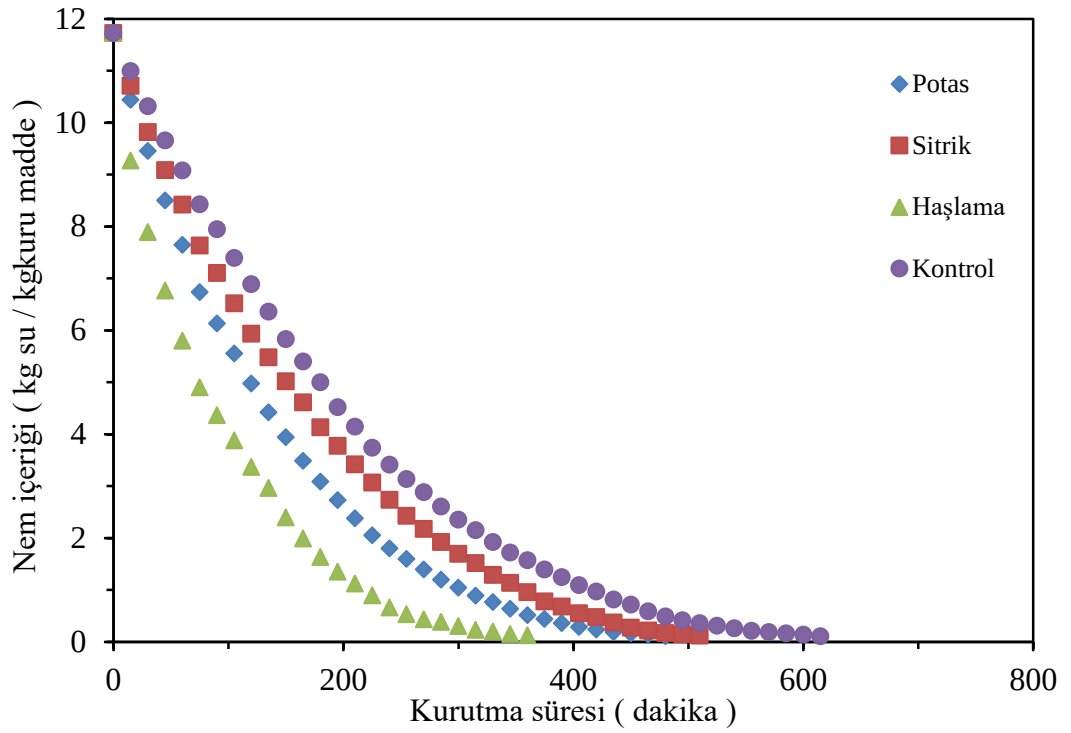
Kurutma Sıcaklığı(°C)	Toplam Kurutma Süresi (dakika)			
	Potas	Sitrik	Haşlama	Kontrol
40	630	690	435	885
50	480	510	360	615
60	405	450	285	600
70	285	330	225	390

Çizelge 5.1 incelendiğinde her bir farklı ön işlem için %10'luk aynı son nem içeriği kalana kadar geçen toplam kurutma sürelerinde sıcaklık arttıkça sürenin kısaldığı görülmektedir. Kurutma hava sıcaklığı artmasına bağlı olarak, nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Buradan da kurutma süresi ile kurutma sıcaklığı arasında ters orantı olduğu çıkarımı yapılabilir. Sıcaklığın kurutma süresine etkisi incelendiğinde literatürde yapılan diğer kurutma çalışmaları ile [10] ve [14] uyum göstermiş olduğu tespit edilmiştir.

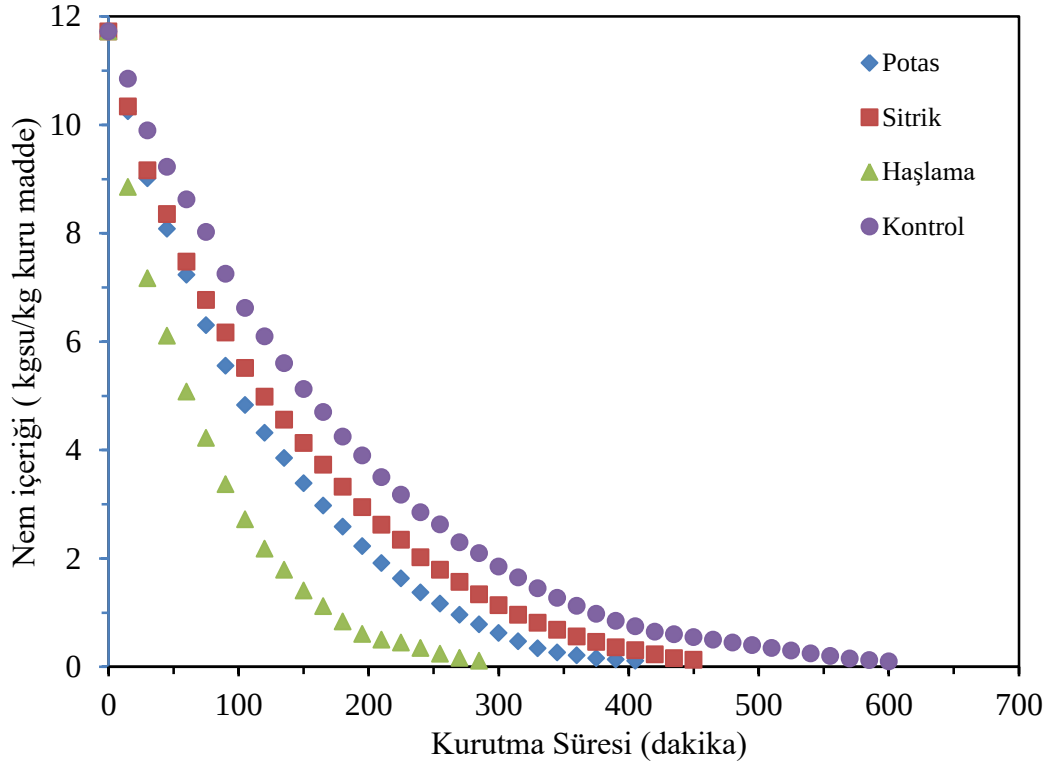
Buna ek olarak tüm çalışmalarda en kısa kurutma süresi haşlama çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş zencefil dilimlerinde, en uzun kurutma süresi ise hiçbir ön işleme tabi tutulmamış zencefil örneklerinde gözlemlenmiştir. Buradan da çözeltiye daldırılarak zencefil üzerindeki tabakanın giderilmesi için yapılan ön işlemin kurutma süresini azalttığı belirlenmiştir. Literatürde ön işlem çözeltisinin bazı meyve ve sebzelerin kurutma davranışları üzerindeki etkisi incelendiğinde bu çalışmadaki sonuçlarla uyum gösterdiği görülmektedir [23], [55].



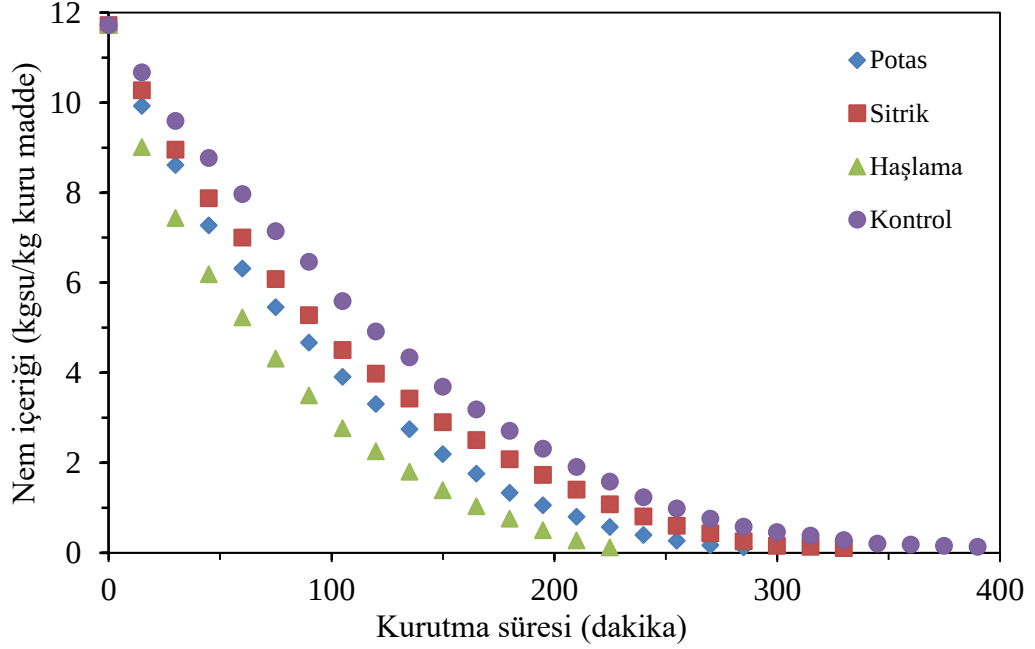
Şekil 5.1 40°C'de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.2 50°C'de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.3 60°C'de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği



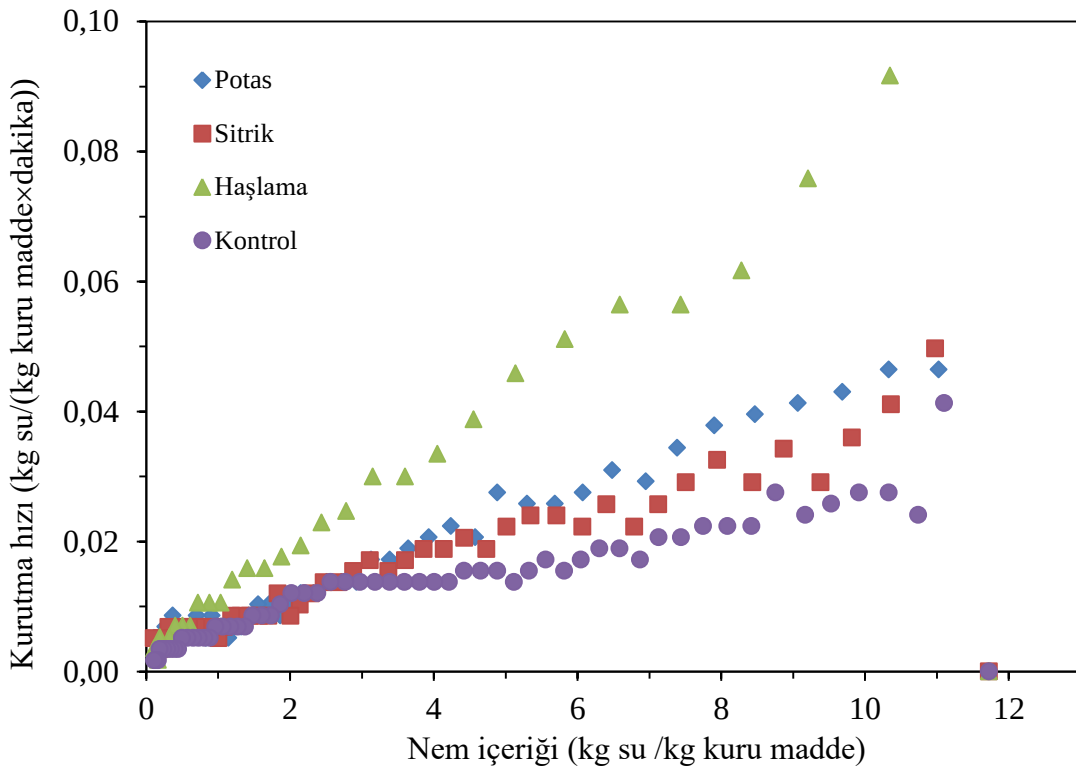
Şekil 5.4 70°C'de kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.1 ve 5.4 arasındaki grafikler incelendiğinde, tüm sıcaklıklarda en hızlı kuruma süresinin haşlama ön işlemine tabi tutulmuş zencefil grubuna ait olduğu görülmektedir.

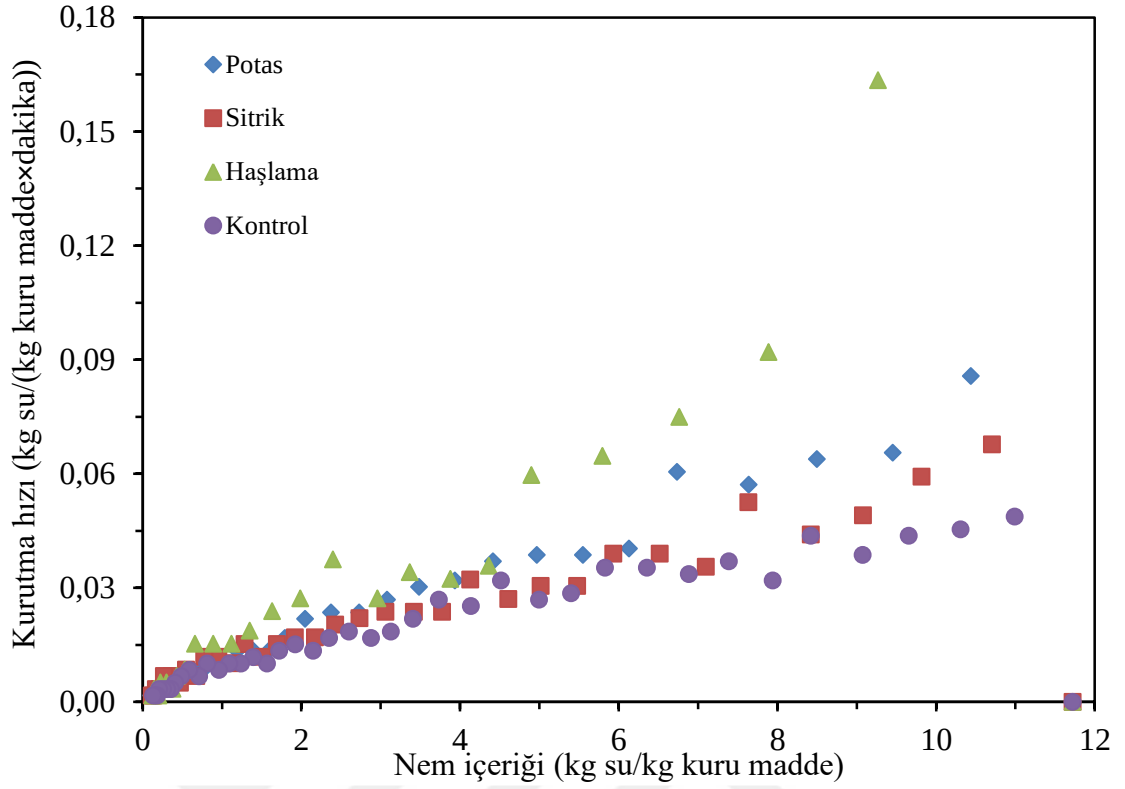
Haşlama ön işlemi gören grup kontrol gruba göre %50-60 oranında daha az kuruma süresine sahiptir. Haşlama ön işlemli zencefil grubunu sırasıyla potas ve sitrik ön işlemli gruplar takip etmektedir. Potas ve sitrik çözeltileri ile ön işlem uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin kontrol olarak kurutulan örneklerle oranla kurutma süresini sırasıyla %20 ve %10 oranlarında azalttığı tespit edilmiştir.

5.1.2 Sıcaklık ve Ön İşlem Parametrelerinin Kurutma Hızına Etkisi

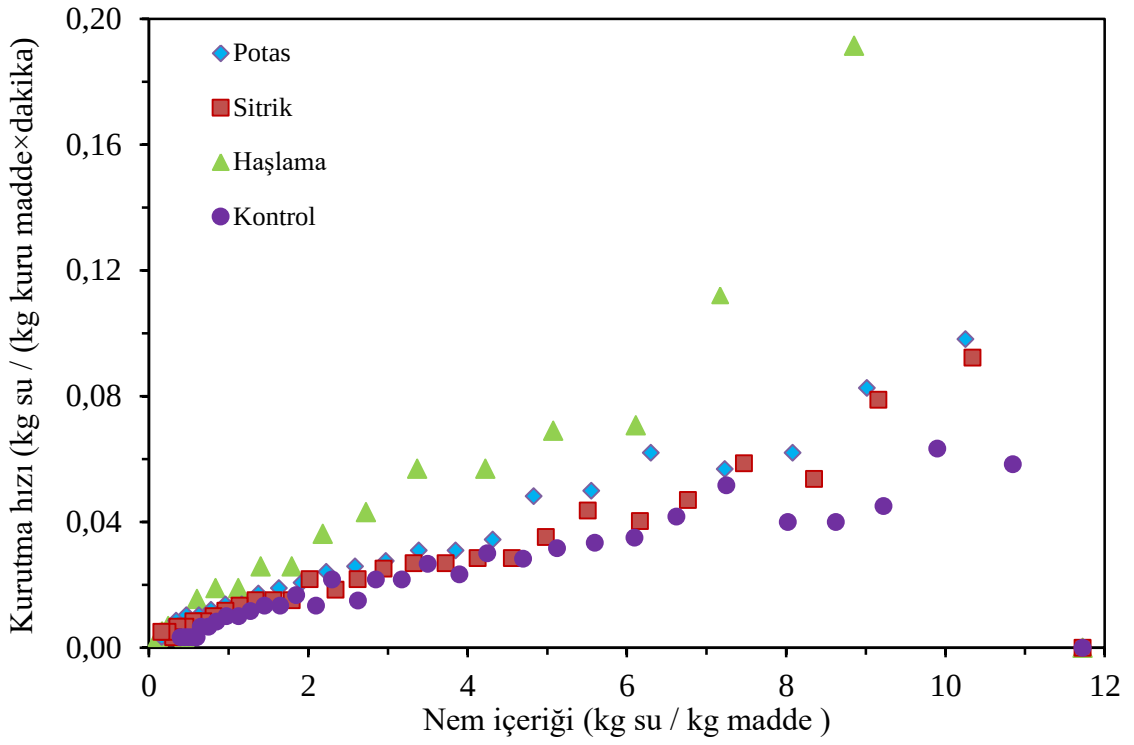
Sıcak havalı kabin kurutucuda 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin Şekil 5.5 ve 5.8 arasındaki kurutma eğrileri incelendiğinde kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı arttıkça kurutma hızında da artış gözükmemektedir. Kurutma havasındaki sıcaklık artışının zencefil dilimlerinin kuruma hızları üzerindeki etkisi, kurutma havası bağıl neminin azalmasına bağlanabilir. Benzer sonuçlara literatürdeki diğer çalışmalarda da rastlanılmıştır [20], [25]. Buna ek olarak ön işlem çözeltilerinin kurutma hızına olan etkileri incelendiğinde farklı sıcaklıklarda aynı nem içeriğine sahip grupların en yüksek kurutma hızına sahip olanı haşlama ön işlemine tabi tutulmuş zencefil grubudur. Bu grubu sırası ile potas ön işlemine tabi tutulmuş, sitrik ön işlemine tabi tutulmuş ve ön işleme tabi tutulmamış grup izlemektedir.



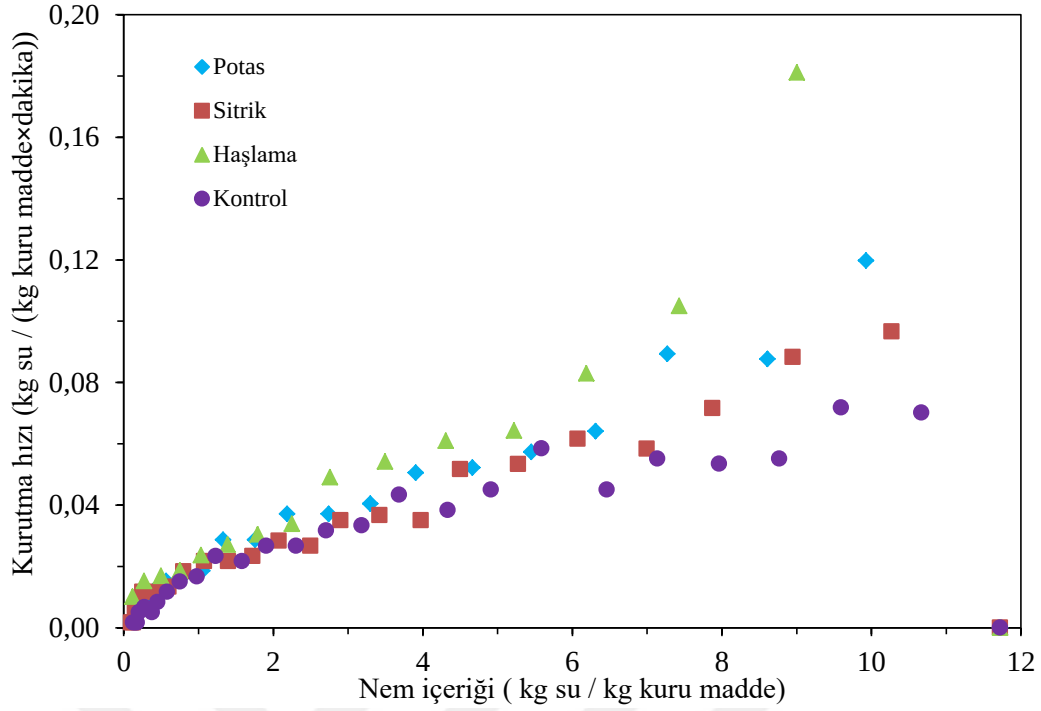
Şekil 5.5 40°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği



Şekil 5.6 50°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği



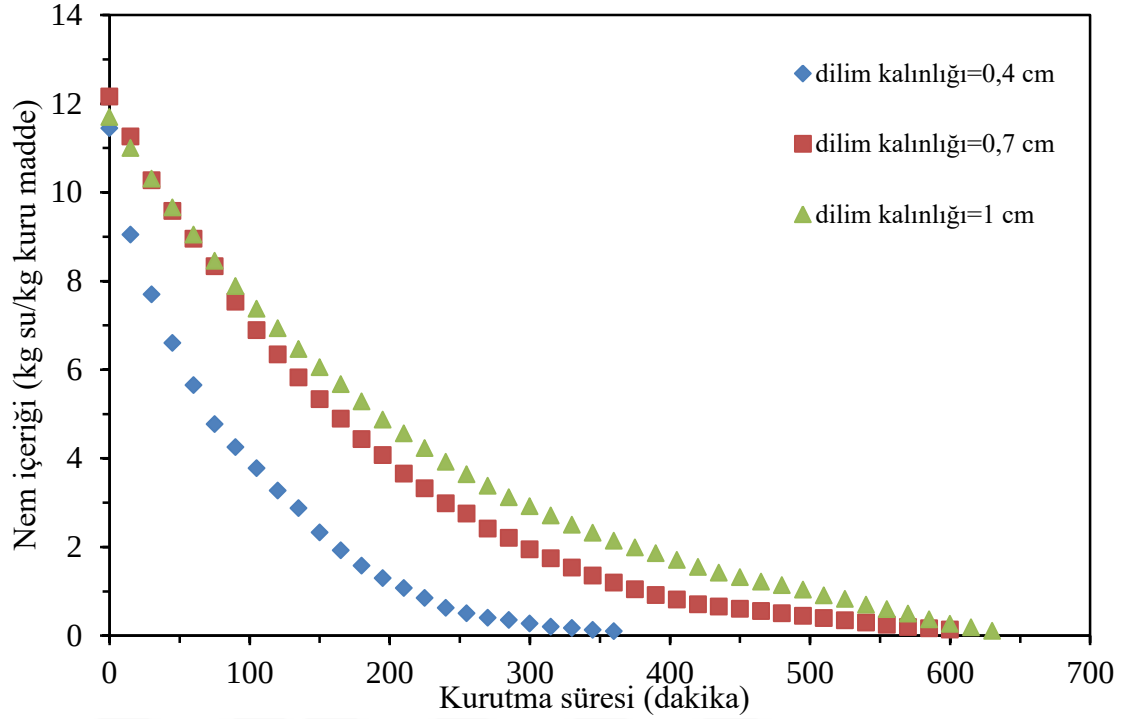
Şekil 5.7 60 °C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği



Şekil 5.8 70°C’de kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutma hızı-nem içeriği grafiği

5.1.3 Zencefil Kalınlığının Kurutma Süresine Etkisi

Zencefil kalınlığının kurutma süresi üzerindeki etkisini incelemek amacı ile sıcaklık ve diğer ön işlem parametreleri sabit tutularak sadece kalınlığın etkisi araştırılmıştır. Zencefil örnekleri ön işlem uygulanmadan 0,4 cm, 0,7 cm ve 1 cm kalınlıklarında hazırlanıp 60°C’de sıcak hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Nem içeriği-kurutma süresi, kuruma hızı-nem içeriği grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.9 Farklı kalınlıklardaki zencefil kontrol gruplarının 60°C’de kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.9 incelendiğinde, ön işlem uygulanmayan zencefil gruplarından 0,4 cm kalınlığındaki zencefil grubunun en hızlı kurutma prosesine sahip olduğu görülmektedir. Dilim kalınlığı azaldıkça difüzyon yolu da kısaldığından kurutma süresi azaldığı yorumu da yapılabilmektedir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde [4], [16], [17] ve [20] dilim kalınlığı arttıkça kurutma süresinde de artma olduğu görülmektedir.

5.1.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analizi yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Çizelge 4.1’deki modellerin uygulanması ile elde edilen determinasyon katsayıları R^2 , ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.2-5.5’de verilmiştir. Bir denklemin uygunluğu tespit edilirken yüksek R^2 , düşük χ^2 ve RMSE değerlerine bakılır [56]. Determinasyon katsayısı ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi seçmek için ana kriter olarak belirlenmiştir. Tahmini standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirlenmektedir [57].

Çizelge 5.2 40°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar

Ön İşlem	Model	R ²	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9959	0,000322	0,092276
	Henderson & Pabis	0,9968	0,000258	0,077170
	Logaritmik	0,9997	0,000019	0,021642
	Page	0,9985	0,000116	0,050043
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000016	0,020278
	Wang & Singh	0,9904	0,000785	0,158055
	Aghbashlo vd.	0,9993	0,000054	0,032007
Sitrik	Lewis	0,9911	0,000722	0,156496
	Henderson & Pabis	0,9924	0,000628	0,145063
	Logaritmik	0,9997	0,000042	0,025096
	Page	0,9969	0,000257	0,086950
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000023	0,023661
	Wang & Singh	0,9951	0,000406	0,116042
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000067	0,041925
Haşlama	Lewis	0,9977	0,000183	0,061687
	Henderson & Pabis	0,9979	0,000171	0,061584
	Logaritmik	0,9997	0,000087	0,012655
	Page	0,9989	0,000086	0,040506
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000011	0,012481
	Wang & Singh	0,9815	0,001558	0,183340
	Aghbashlo vd.	0,9996	0,000030	0,023437
Kontrol	Lewis	0,9825	0,001477	0,268514
	Henderson & Pabis	0,9854	0,001255	0,244592
	Logaritmik	0,9989	0,000094	0,061336
	Page	0,9941	0,000506	0,154080
	Midilli & Küçük	0,9989	0,000091	0,061289
	Wang & Singh	0,9979	0,000178	0,082092
	Aghbashlo vd.	0,9986	0,000215	0,082459

Çizelge 5.3 50°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar

Ön İşlem	Model	R ²	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9969	0,000025	0,022480
	Henderson & Pabis	0,9973	0,000225	0,075870
	Logaritmik	0,9997	0,000026	0,023429
	Page	0,9988	0,000098	0,047103
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000026	0,023166
	Wang & Singh	0,9821	0,001502	0,186281
	Aghbashlo vd.	0,9996	0,000026	0,022480
Sitrik	Lewis	0,9918	0,000695	0,135633
	Henderson & Pabis	0,9930	0,000615	0,127830
	Logaritmik	0,9995	0,000042	0,029981
	Page	0,9970	0,000261	0,080261
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000038	0,029738
	Wang & Singh	0,9934	0,000572	0,118009
	Aghbashlo vd.	0,9992	0,000062	0,038902
Haşlama	Lewis	0,9946	0,000397	0,074336
	Henderson & Pabis	0,9961	0,000297	0,070754
	Logaritmik	0,9966	0,000270	0,057755
	Page	0,9960	0,000311	0,071327
	Midilli & Küçük	0,9984	0,000132	0,044493
	Wang & Singh	0,9464	0,004165	0,250764
	Aghbashlo vd.	0,9948	0,000401	0,076994
Kontrol	Lewis	0,9882	0,001032	0,183396
	Henderson & Pabis	0,9917	0,000744	0,152248
	Logaritmik	0,9986	0,000124	0,060420
	Page	0,9986	0,000124	0,059060
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000011	0,016539
	Wang & Singh	0,9966	0,000304	0,098034
	Aghbashlo vd.	0,9997	0,000028	0,024512

Çizelge 5.4 60°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar

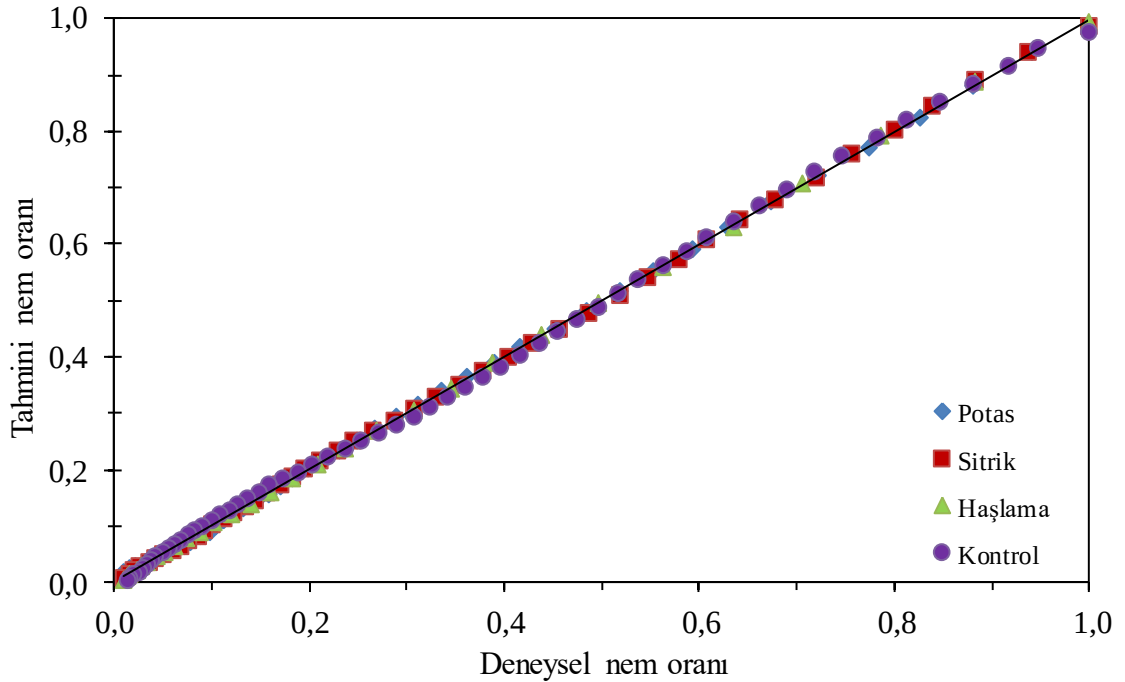
Ön İşlem	Model	R ²	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9964	0,000293	0,076486
	Henderson & Pabis	0,9966	0,000288	0,077587
	Logaritmik	0,9996	0,000035	0,022167
	Page	0,9978	0,000181	0,057119
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000029	0,020728
	Wang & Singh	0,9827	0,001485	0,169235
	Aghbashlo vd.	0,9990	0,000084	0,039894
Sitrik	Lewis	0,9963	0,000288	0,080325
	Henderson & Pabis	0,9964	0,000297	0,080396
	Logaritmik	0,9992	0,000060	0,030070
	Page	0,9967	0,000266	0,076839
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000037	0,026880
	Wang & Singh	0,9804	0,001594	0,180388
	Aghbashlo vd.	0,9978	0,000179	0,061378
Haşlama	Lewis	0,9964	0,000279	0,047235
	Henderson & Pabis	0,9973	0,000218	0,047991
	Logaritmik	0,9976	0,000213	0,037615
	Page	0,9973	0,000222	0,052411
	Midilli & Küçük	0,9986	0,000122	0,037121
	Wang & Singh	0,9496	0,004193	0,227796
	Aghbashlo vd.	0,9965	0,000285	0,050963
Kontrol	Lewis	0,9943	0,000467	0,123606
	Henderson & Pabis	0,9958	0,000358	0,109133
	Logaritmik	0,9989	0,000090	0,051755
	Page	0,9990	0,000081	0,046526
	Midilli & Küçük	0,9998	0,000016	0,018399
	Wang & Singh	0,9890	0,000931	0,167124
	Aghbashlo vd.	0,9996	0,000037	0,029335

Çizelge 5.5 70°C’de kurutulmuş zencefil dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış istatistiksel sonuçlar

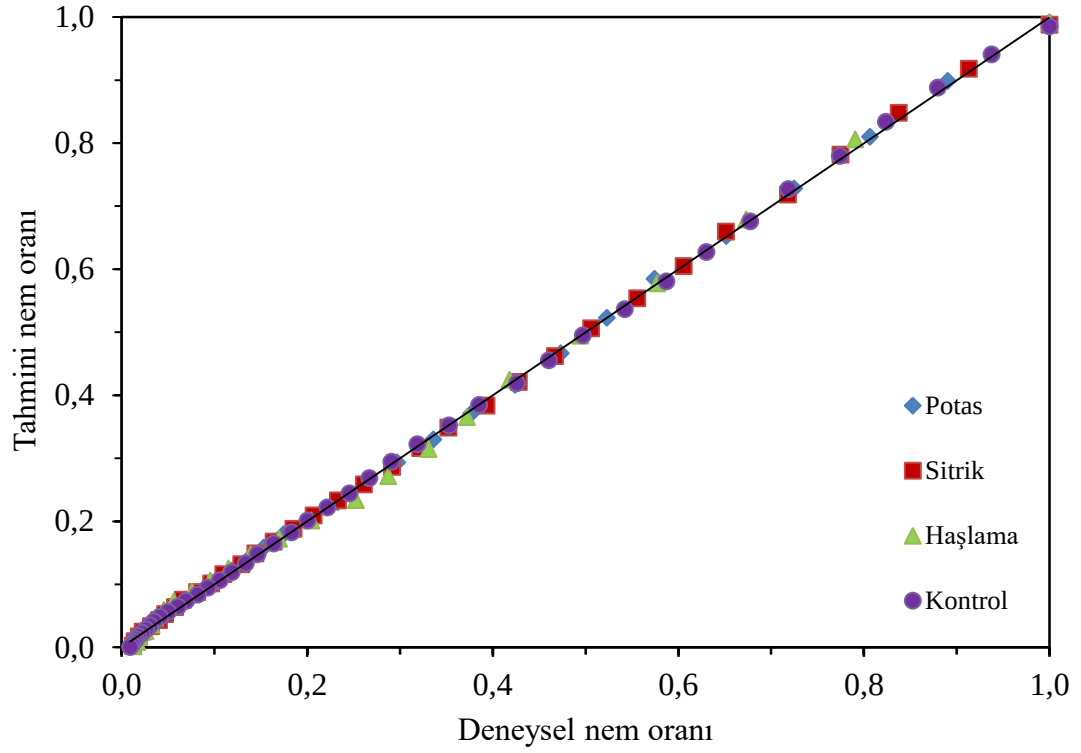
Ön İşlem	Model	R ²	χ^2	RMSE
Potas	Lewis	0,9930	0,000633	0,095986
	Henderson & Pabis	0,9936	0,000611	0,094747
	Logaritmik	0,9993	0,000070	0,029544
	Page	0,9967	0,000317	0,067092
	Midilli & Küçük	0,9994	0,000054	0,026396
	Wang & Singh	0,9918	0,000776	0,099246
	Aghbashlo vd.	0,9988	0,000110	0,038201
Sitrik	Lewis	0,9919	0,000727	0,108731
	Henderson & Pabis	0,9929	0,000665	0,103257
	Logaritmik	0,9995	0,000047	0,024887
	Page	0,9967	0,000309	0,069354
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000036	0,021488
	Wang & Singh	0,9926	0,000696	0,104278
	Aghbashlo vd.	0,9989	0,000098	0,039228
Haşlama	Lewis	0,9954	0,000389	0,061798
	Henderson & Pabis	0,9958	0,000389	0,063265
	Logaritmik	0,9978	0,000220	0,039601
	Page	0,9955	0,000415	0,062177
	Midilli & Küçük	0,9995	0,000048	0,019980
	Wang & Singh	0,9758	0,002229	0,142551
	Aghbashlo vd.	0,9958	0,000386	0,058882
Kontrol	Lewis	0,9821	0,001716	0,190718
	Henderson & Pabis	0,9864	0,001346	0,165734
	Logaritmik	0,9969	0,000325	0,077383
	Page	0,9975	0,000246	0,066362
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000021	0,017629
	Wang & Singh	0,9992	0,000079	0,036997
	Aghbashlo vd.	0,9989	0,000113	0,041055

Tüm sıcaklık ve ön işlem parametrelerinde uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları incelendiğinde en yüksek R^2 ve en düşük χ^2 ile RMSE değerlerinin Midilli & Küçük modelinde sağlandığı görülmektedir.

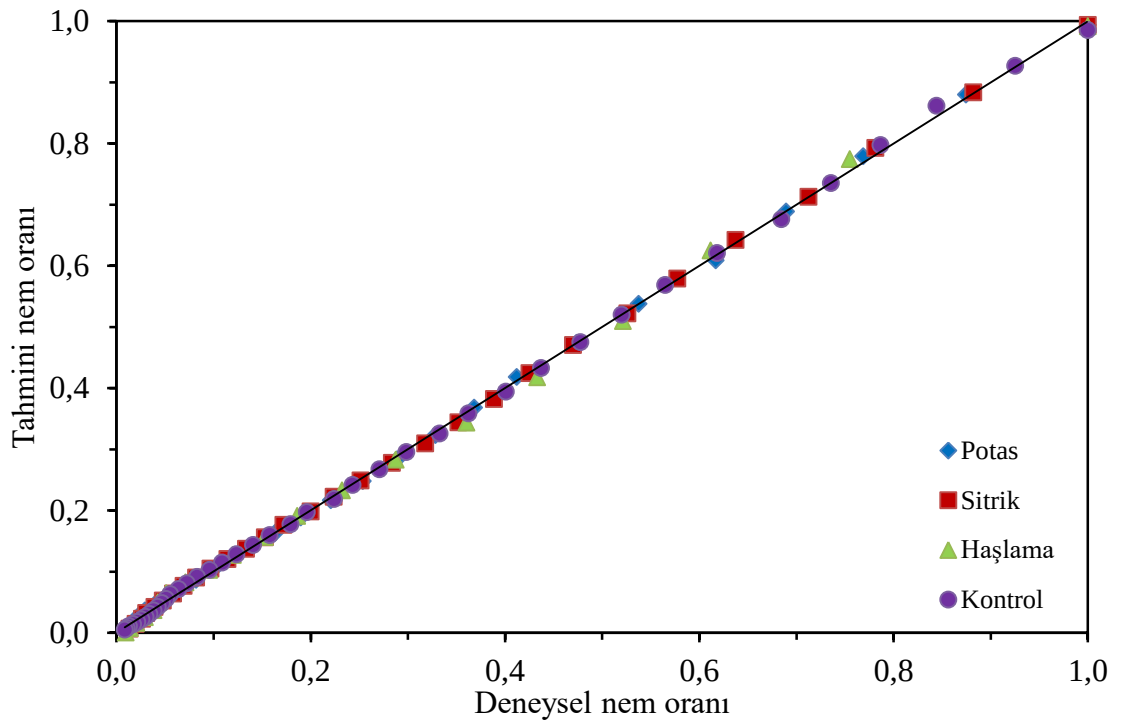
Şekil 5.10-5.13 arasındaki grafiklerde kurutma sıcaklıklarında farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması verilmiştir. Tüm sıcaklık değerleri için çizilen grafikler incelendiğinde deneysel ve hesaplanan tahmini nem oranlarının düz bir çizgi üzerinde sıralandığı görülmektedir. Bu sonuç Midilli & Küçük modelinin zencefilin kurutma istatistiklerini tanımlamak açısından uygun bir model olduğunu göstermektedir.



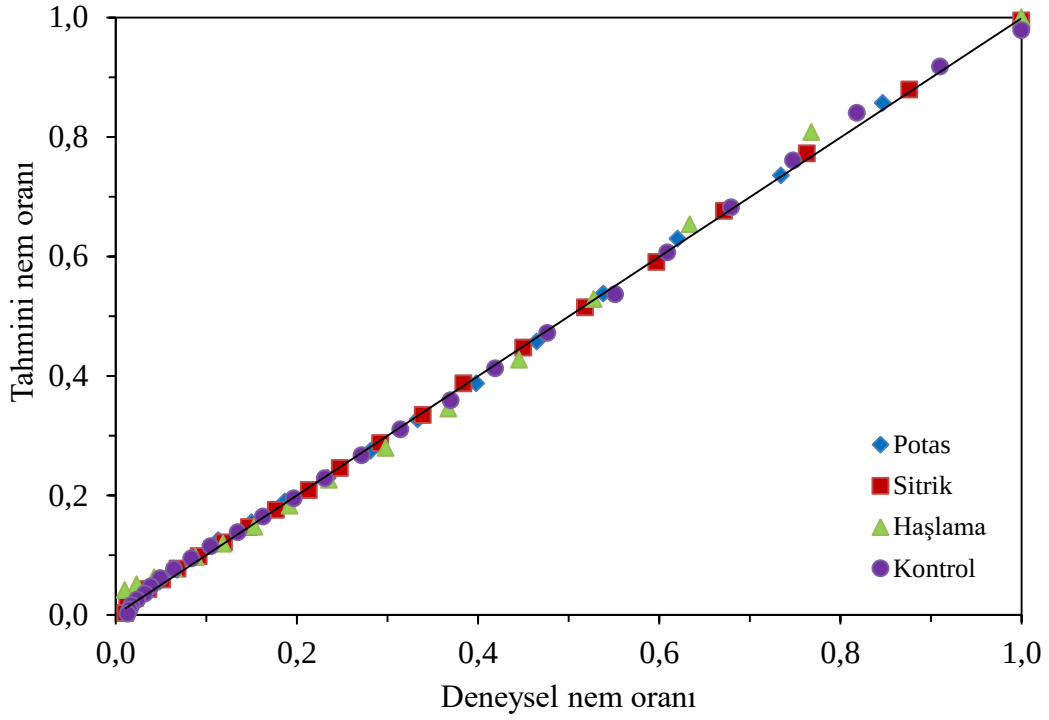
Şekil 5.10 40°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.11 50°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



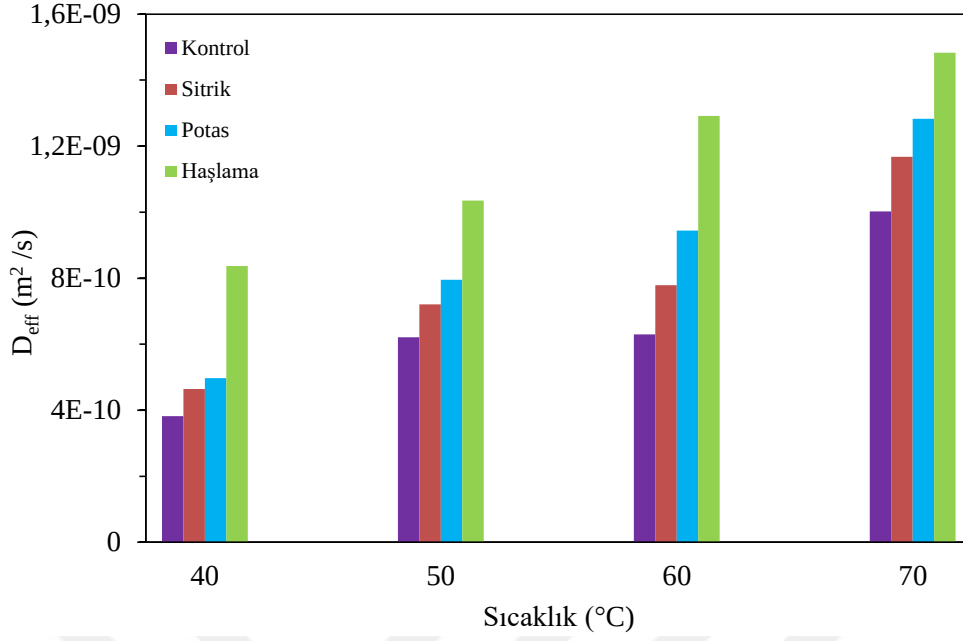
Şekil 5.12 60°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması



Şekil 5.13 70°C’de farklı ön işlemlerde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneyisel ve Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması

5.1.5 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Potas, sitrik ve haşlama ön işlemi uygulanmış zencefil numuneleri ile ön işlem görmemiş zencefil numunelerinin eşitlik (4.15) kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Farklı sıcaklık ve ön işlem uygulanarak kurutulan zencefil numunelerinin efektif difüzyon katsayıları $3,82 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,48 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları Şekil 5.14’de gösterilmektedir.



Şekil 5.14 Deneysel olarak sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulan örneklerin, efektif difüzyon katsayıları $8,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,48 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, potas çözeltisi uygulanarak kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayıları $4,96 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,28 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, sitrik asit çözeltisi uygulanarak kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayıları $4,63 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,16 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve ön işlem görmeden kurutulan örneklerin efektif difüzyon katsayıları $3,82 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,02 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir.

Aynı sıcaklık değerlerinde yapılan kurutma çalışmaları incelendiğinde, sıcaklık arttıkça su molekülleri daha hızlı hareket ettiğinden ve buna paralel olarak zencefil içerisindeki suyun buharlaşması da kolaylaştığından difüzyon katsayılarının da arttığı görülmektedir. Aynı sıcaklık değerlerinde farklı ön işlem uygulamaları ile yapılan çalışmalar incelendiğinde ise haşlama ön işlemi uygulanan zencefil dilimlerinin en yüksek difüzyon katsayısına sahip olup en hızlı kuruduğu görülmektedir. Haşlama ön işlemli zencefil grubunu sırası ile potas ön işlemli, sitrik ön işlemli ve ön işlem uygulanmamış zencefil grubu takip etmektedir.

Çizelge 5.6 Literatürde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş zencefil dilimlerinin difüzyon katsayıları

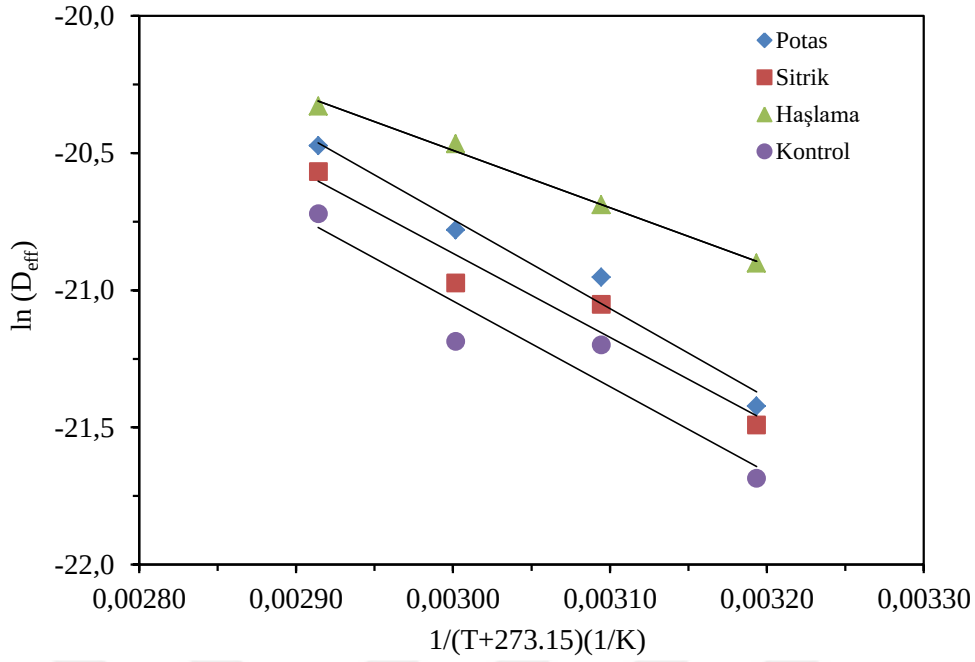
Sıcaklık (°C)	D_{eff} (m ² /s)	Kaynak
40-70 °C	$3,30-5,82 \times 10^{-9}$	[20]
40-65 °C	$1,90-4,70 \times 10^{-8}$	[58]
40-70 °C	$2,80-6,97 \times 10^{-10}$	[59]

Literatürde incelenen bazı zencefil kurutma çalışmalarında hesaplanmış efektif difüzyon katsayıları Çizelge 5.6’da gösterilmekte olup bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.6 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Bir reaksiyonun aktivasyon enerjisi değeri (E_a) , reaksiyon hızının sıcaklığa bağlı olarak hangi düzeyde değiştiğini gösterir. Reaksiyon hızı ile sıcaklığı arasındaki ilişkiyi açıklamak ve aktivasyon enerjisini hesaplamak için eşitlik (4.16) gösterilen Arrhenius denkleminde yararlanılmıştır.

Kurutulan dilimlerin aktivasyon enerjisi değerleri , $\ln(D_{eff})$ ile sıcaklık arasında çizilen ve Şekil 5.15’de gösterilen doğrunun eğiminden faydalanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.15 Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan zencefil dilimlerinin aktivasyon enerjilerinin tahmini için efektif difüzyon hızı ve mutlak sıcaklık arasındaki Arrhenius tipi ilişki

Potas, sitrik ve haşlama ön işlemi uygulanarak ve ön işlem uygulanmadan kurutulan dilimlerin efektif difüzyon katsayıları ile kuruma sıcaklıkları arasındaki ilişki aşağıdaki Eşitlik (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4)'de görülmektedir.

Potas ön işlemi uygulanarak kurutulan örnekler için:

$$D_{eff} = 1,692 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3251,8}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2 : 0,9717) \quad (6.1)$$

Sitrik ön işlemi uygulanarak kurutulan örnekler için:

$$D_{eff} = 8,461 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3061,6}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2 : 0,9447) \quad (6.2)$$

Haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulan örnekler için:

$$D_{eff} = 6,627 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{2087,9}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2 : 0,9942) \quad (6.3)$$

Kontrol örnekleri için:

$$D_{eff} = 8,487 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3120,6}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2 : 0,9083) \quad (6.4)$$

Bu eşitliklerden yararlanılarak hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri, potas, sitrik, haşlama ön işlemi uygulanarak ve ön işlem uygulanmadan (kontrol) kurutulan zencefil dilimleri için sırasıyla 27,04 kJ/mol, 25,45 kJ/mol, 17,35 kJ/mol ve 25,94 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.2’de gösterilen farklı meyvelere ait aktivasyon enerjisi değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 5.7 Literatürde farklı parametreler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin aktivasyon enerjileri

Sıcaklık (°C)	E _a (kJ/mol)	Kaynak
40-65	35,67	[58]
40-70	19,31-22,72	[60]
52-68	15,86	[61]

5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucudan Elde Edilen Bulgular

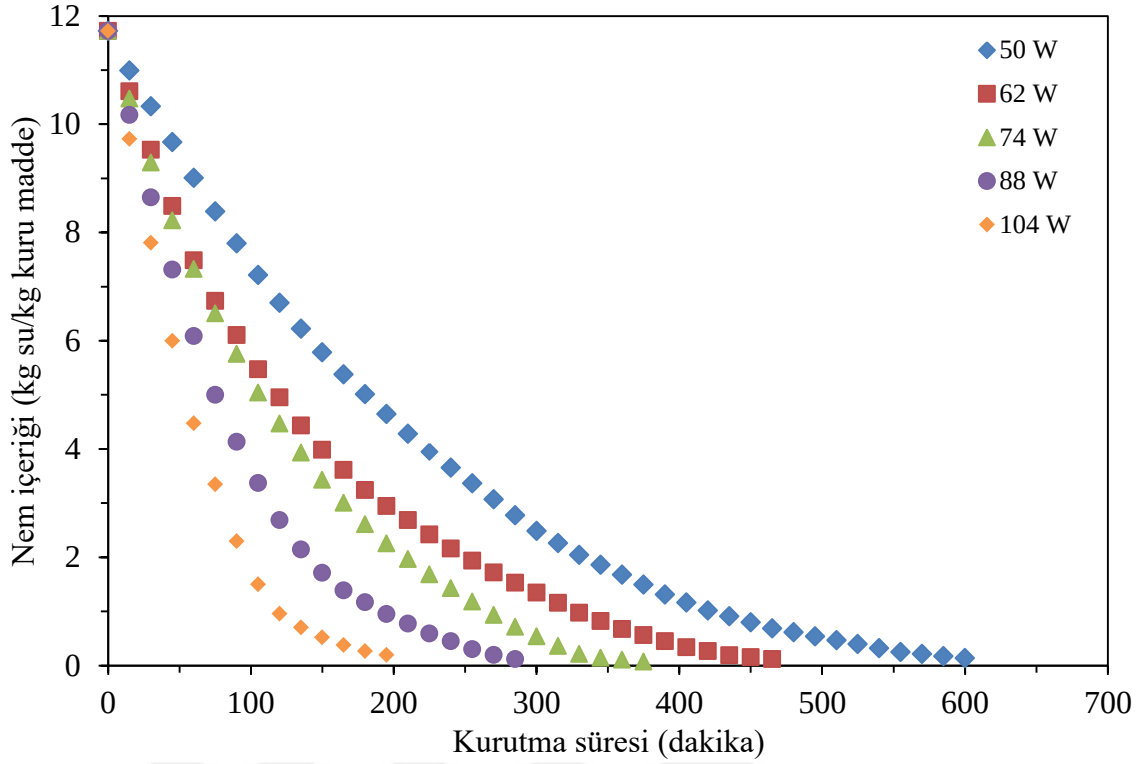
5.2.1 Kızılötesi Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucuda yapılan zencefil kurutma çalışmaları için yaklaşık 35’er gramlık beş adet zencefil grubu oluşturulmuştur. Zencefil dilimleri ön işlem görmeden 50 W, 62 W, 74 W, 88 W ve 104 W güç seviyelerinde son nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar kurutulmuştur. Her 15 dakikada bir tartım alınarak oluşturulan nem içeriği-kurutma süresi grafikleri çizilmiştir. Ayrıca sadece 74 W güç seviyesinde potas, sitrik ve haşlama ön işlemlerine tabi tutulan zencefil grupları da son nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar kurutulmuştur. Farklı güç seviyesi ve kalınlık uygulamaları için %10’luk nem miktarı kalana kadar geçen toplam süre Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin toplam kuruma süreleri

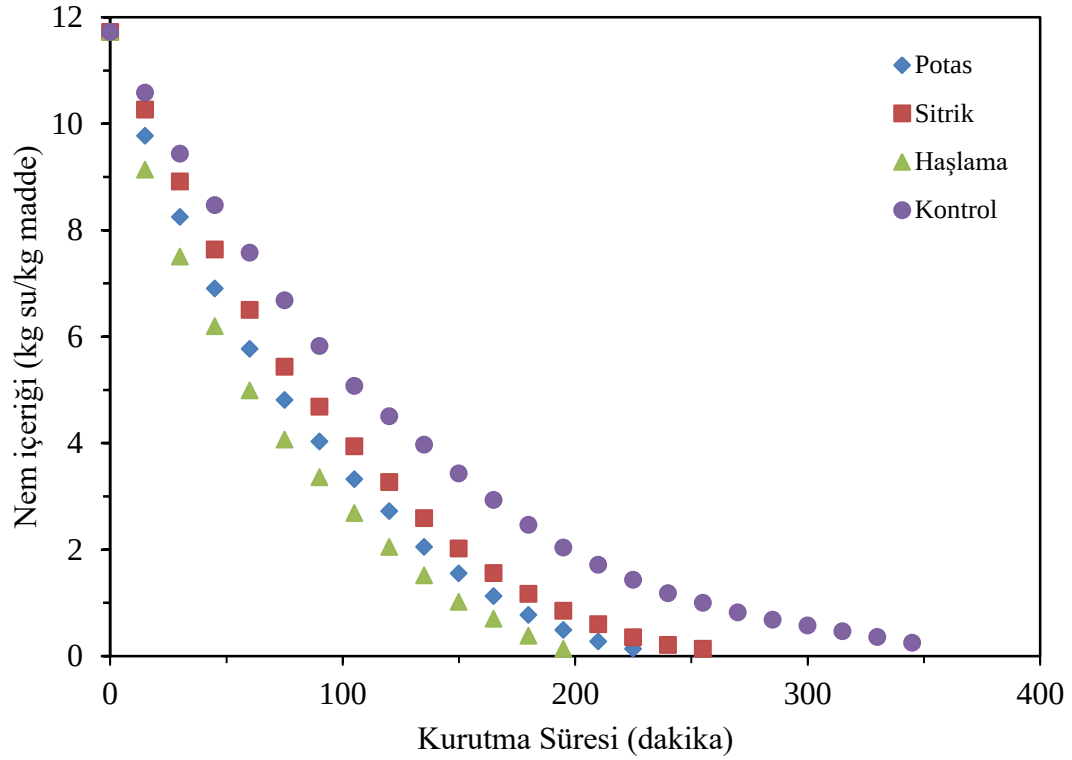
Güç Seviyesi (W)	Ön işlem	Toplam Kurutma Süresi (dakika)
50	-	570
62	-	330
74	Potas	225
	Sitrik	240
	Haşlama	195
	-	345
88	-	195
104	-	165

Çizelge 5.8 incelendiğinde, aynı son nem içeriğine erişene kadar kızılötesi kurutucuda kurutulan örneklerin kurutma sürelerinin güç seviyesi arttıkça azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak 74 W kurutma gücünde en kısa kurutma süresi haşlama ön işlemlili zencefil grubunda, en uzun kurutma süresi ise ön işlem uygulanmamış olan kontrol grubunda gözlenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda çizilen nem içeriği-kurutma süresi grafikleri Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.16 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil örneklerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği

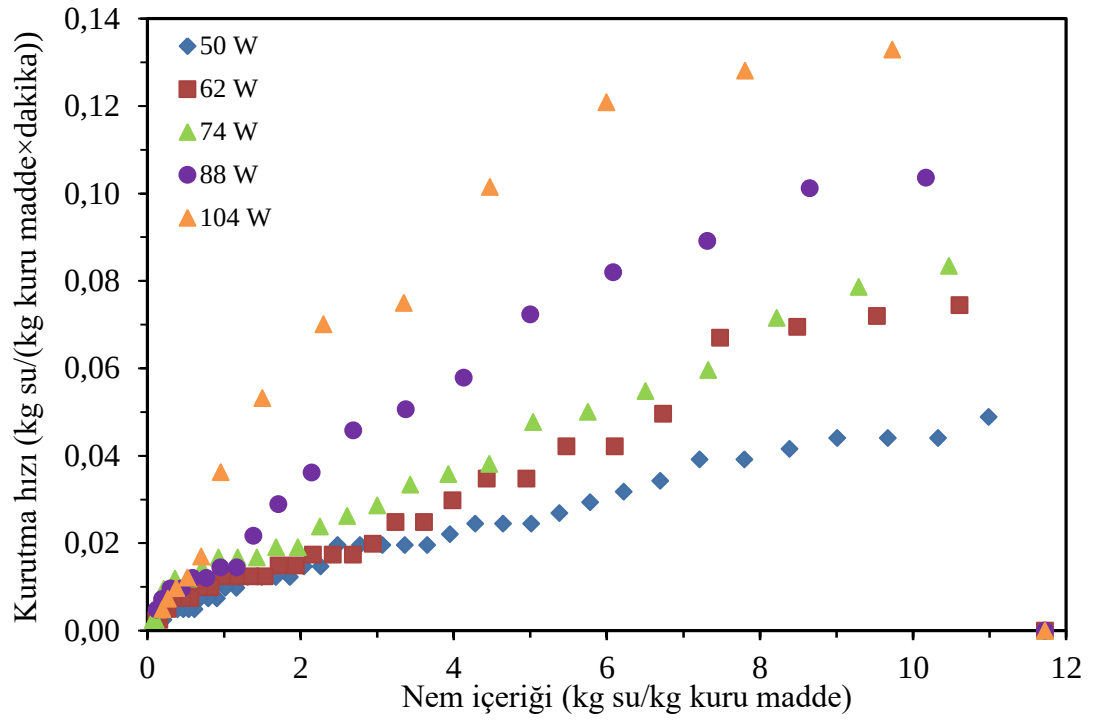
Şekil 5.16 incelendiğinde, kızılötesi kurutucuda güç seviyesi arttıkça kurutma sürelerinin de azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 5.17 incelendiğinde ise 74 W güç seviyesinde en kısa kurutma süresine sahip zencefil grubunun haşlama ön işlemi uygulanmış grup olduğu görülmektedir. Bu grubu sırası ile potas ön işlemi ve sitrik ön işlemi uygulanmış zencefil grubu takip etmektedir. En uzun kurutma süresi ise ön işlem uygulanmamış kontrol zencefil grubuna aittir. Kurutma süreleri sayısal olarak karşılaştırıldığında haşlama ön işlemi uygulanarak kurutulmuş örneklerin kontrol olarak kurutulan örneklerle oranla kurutma süresini %43 oranında azalttığı tespit edilmiştir.



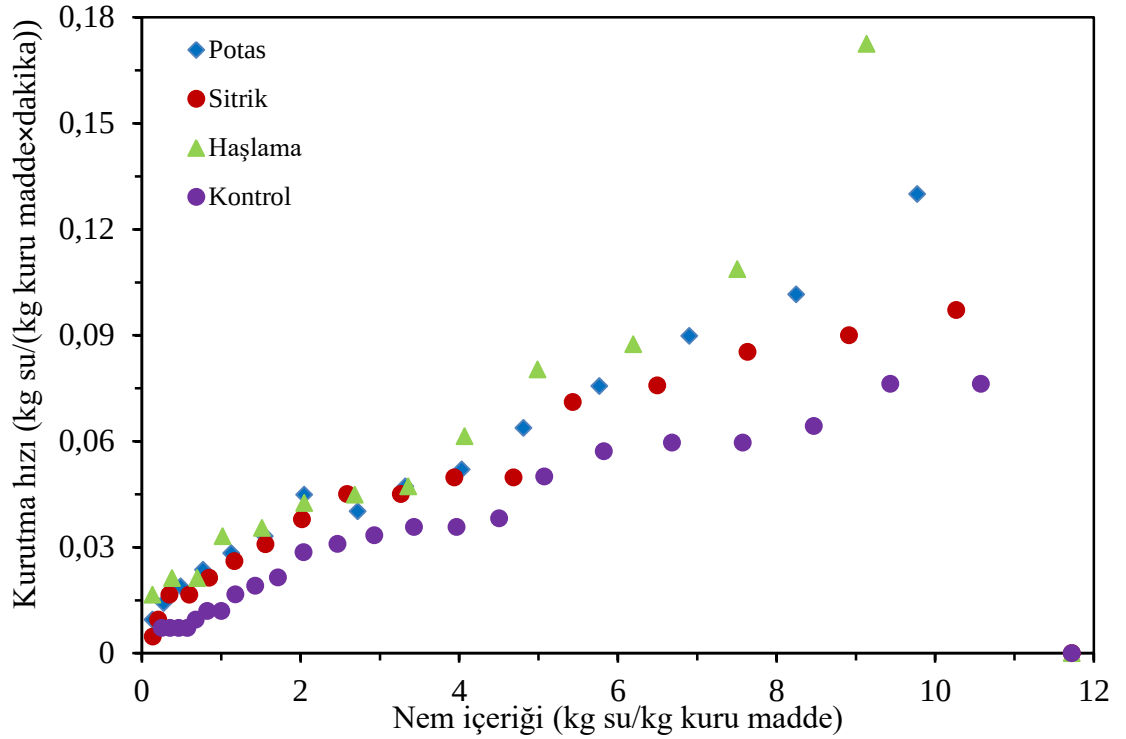
Şekil 5.17 74W gücünde farklı ön işlem uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerinin nem içeriği-kurutma süresi grafiği

5.2.2 Kızılötesi Kurutucu Güç Seviyesinin ve Ön İşlemin Kurutma Hızına Etkisi

Kızılötesi kurutucuda farklı kurutma gücünde kurutulan zencefil gruplarının nem içerikleri kurutma hızına karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekil 5.18 incelendiğinde farklı güç seviyelerinde kurutulan zencefil dilimlerinin en yüksek kurutma hızı 104 W IR gücünde kurutulan örneklerde elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, yüksek IR gücünde kurutulan örneklerde suyun buharlaşma hızı artmakta ve bunun sonucu olarak kurutma süresi de azalmaktadır.



Şekil 5.18 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil ait kurutma hızı-nem içeriği grafiği

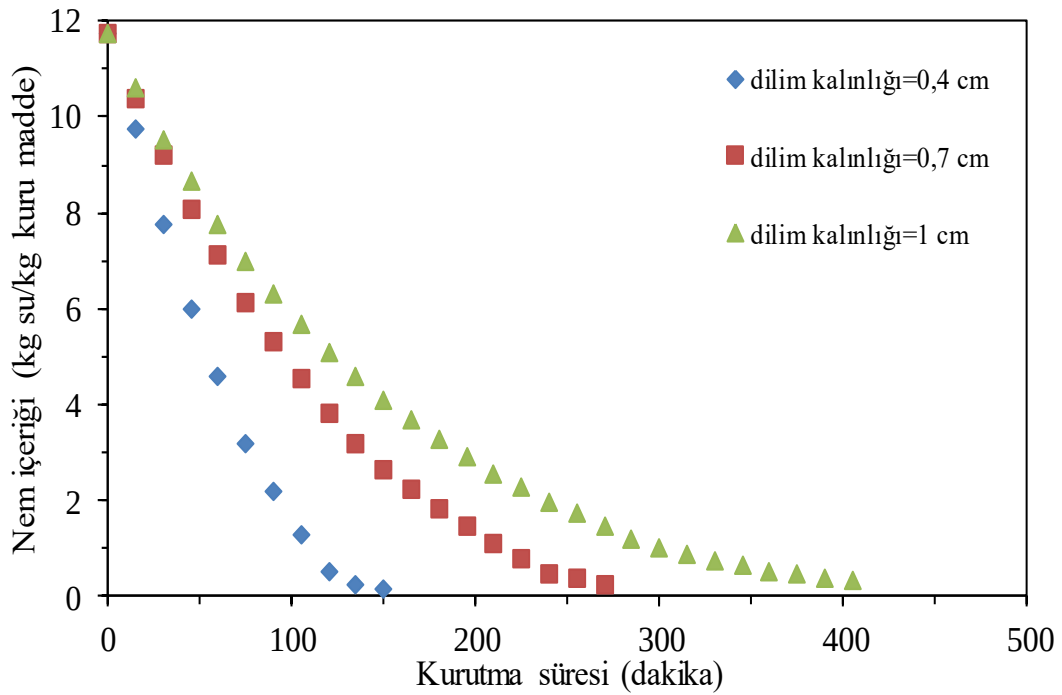


Şekil 5.19 74 W güç seviyesinde farklı ön işlemler uygulanarak kurutulmuş zencefil dilimlerine ait kurutma hızı - nem içeriği grafiği

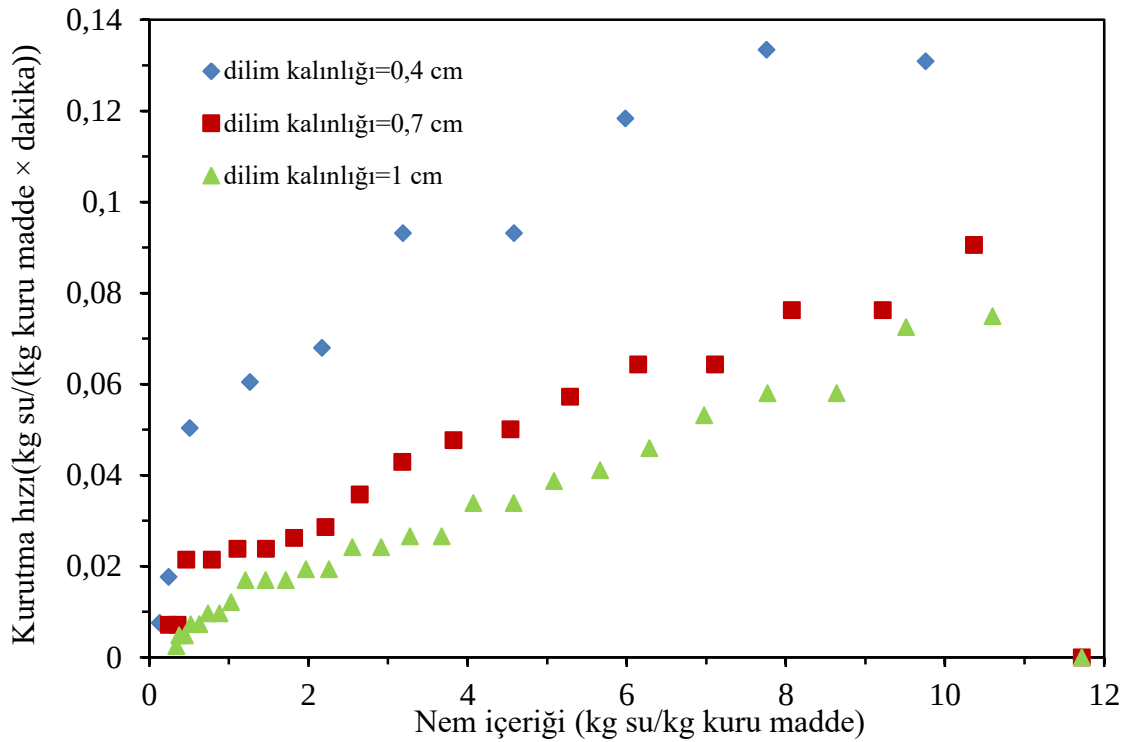
Şekil 5.19 incelendiğinde, haşlama ön işlemi uygulanmış örneklerin kurutma hızlarının diğer zencefil gruplarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile potas çözeltisi ve sitrik çözeltisine daldırılarak kurutulan örneklerin takip ettiği ve en düşük kurutma hızının da ön işlem uygulanmamış kontrol zencefil grubunda görüldüğü tespit edilmiştir.

5.2.3 Zencefil Kalınlığının Kurutma Hızına ve Kurutma Süresine Etkisi

Zencefil dilim kalınlığının kurutma süresi ve hızı üzerindeki etkisini deneysel olarak tespit etmek amacıyla 74 W kurutma gücünde 0,4 cm, 0,7 cm ve 1,0 cm dilim kalınlığındaki ön işlem görmemiş zencefil dilimleri kurutulmuştur. Bu verilerden yararlanarak nem içeriği kurutma süresi ve kurutma hızının nem içeriği ile değişim grafikleri çizilmiş ve Şekil 5.20 ve 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Farklı dilim kalınlıklarına sahip ön işlem görmemiş zencefil gruplarının 74 W gücünde kurumalarına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği



Şekil 5.21 Farklı dilim kalınlıklarına sahip ön işlem görmemiş zencefil gruplarının 74 W gücünde kurumalarına ait kurutma hızı-nem içeriği

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 incelendiğinde dilim kalınlığı arttıkça kurutma süresinin azaldığı ve en uzun kuruma süresinin 0,4 cm dilim kalınlığına sahip zencefil grubuna ait olduğu görülmektedir. Deneysel verilerle elde edilen kurutma hızı incelendiğinde ise aynı şekilde aynı nem oranı sağlandığı anda en yüksek kurutma hızının en ince dilime ve en düşük kurutma hızının ise en kalın dilime ait olduğu tespit edilmiştir.

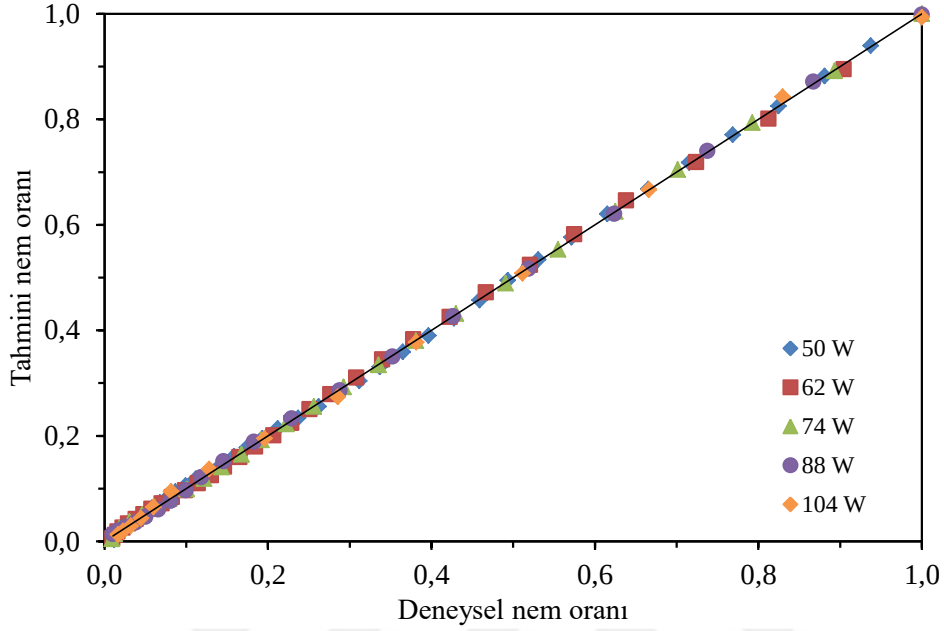
5.2.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analizi yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Çizelge 4.1'deki modellerin uygulanması ile elde edilen determinasyon katsayıları R^2 , ki-kare (χ^2) ve hataların ortalama karekökü (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.9'da verilmiştir. Tüm koşullarda R^2 değerleri 0,97'den yüksek bulunmuş olup, bu da kurutma eğrileri ile modellerin uyum sağladığını göstermektedir.

Çizelge 5.9 Farklı güç seviyelerinde kızılötesi kurutucuda kurutulmuş zencefil dilimlerine uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları

Kurutucu Gücü	Model	R ²	χ^2	RMSE
52 W	Lewis	0,9912	0,000749	0,159496
	Henderson & Pabis	0,9936	0,000562	0,133406
	Logaritmik	0,9996	0,000039	0,03318
	Page	0,9982	0,000154	0,069689
	Midilli & Küçük	0,9997	0,000019	0,025209
	Wang & Singh	0,9955	0,000391	0,106391
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000023	0,022544
64 W	Lewis	0,9979	0,000166	0,057269
	Henderson & Pabis	0,9979	0,000167	0,056611
	Logaritmik	0,9992	0,000065	0,038159
	Page	0,9982	0,000150	0,055144
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000031	0,025486
	Wang & Singh	0,9760	0,001951	0,209848
	Aghbashlo vd.	0,9985	0,000120	0,050722
74W	Lewis	0,9935	0,000572	0,099896
	Henderson & Pabis	0,9944	0,000505	0,090991
	Logaritmik	0,9998	0,000013	0,013144
	Page	0,9973	0,000238	0,064130
	Midilli & Küçük	0,9999	0,000016	0,012673
	Wang & Singh	0,9905	0,000865	0,125822
	Aghbashlo vd.	0,9990	0,000087	0,039389
88W	Lewis	0,9945	0,000512	0,088245
	Henderson & Pabis	0,9963	0,000364	0,072245
	Logaritmik	0,9988	0,000128	0,03803
	Page	0,9998	0,000020	0,015951
	Midilli & Küçük	0,9999	0,000015	0,013931
	Wang & Singh	0,9904	0,000942	0,111519
	Aghbashlo vd.	0,9994	0,000051	0,025961
104 W	Lewis	0,986	0,001447	0,119890
	Henderson & Pabis	0,9898	0,001185	0,10908
	Logaritmik	0,9952	0,000603	0,070575
	Page	0,9995	0,000063	0,020985
	Midilli & Küçük	0,9996	0,000062	0,020015
	Wang & Singh	0,9971	0,000327	0,047895
	Aghbashlo vd.	0,9988	0,000137	0,035037

Tüm sıcaklık ve ön işlem parametrelerinde uygulanan farklı kurutma modellerinin istatistiksel sonuçları incelendiğinde en yüksek R^2 ve en χ^2 ile RMSE değerlerinin Midilli & Küçük modelinde sağlandığı görülmektedir.

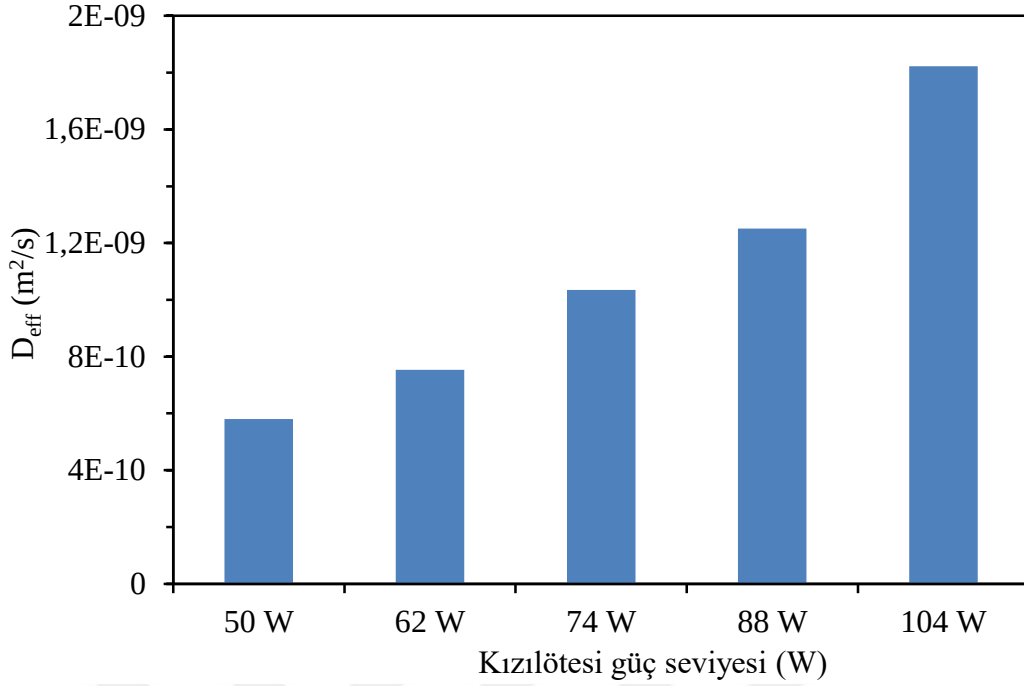


Şekil 5.22 Farklı kızılötesi güç seviyelerinde kurutulmuş zencefil dilimlerinin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması

Şekil 5.22’de farklı kızılötesi güç seviyelerinde kurutulmuş dilimlerin deneysel nem oranlarının Midilli & Küçük modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranları ile karşılaştırılması verilmiştir. Tüm güç seviyeleri için çizilen grafik incelendiğinde hesaplanan tahmini nem oranlarının düz bir çizgi şeklinde sıralandığı görülmektedir. Bu sonuç Midilli & Küçük modelinin zencefilin kurutma istatistiklerini tanımlamak açısından uygun bir model olduğunu göstermektedir.

5.2.5 Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde ön işlem görmeden kurutulmuş zencefil numunelerinin eşitlik (4.15) kullanılarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Farklı güç seviyelerinde ön işlem görmemiş zencefil numunelerinin efektif difüzyon katsayıları $5,79 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $1,82 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları Şekil 5.23’de gösterilmektedir.

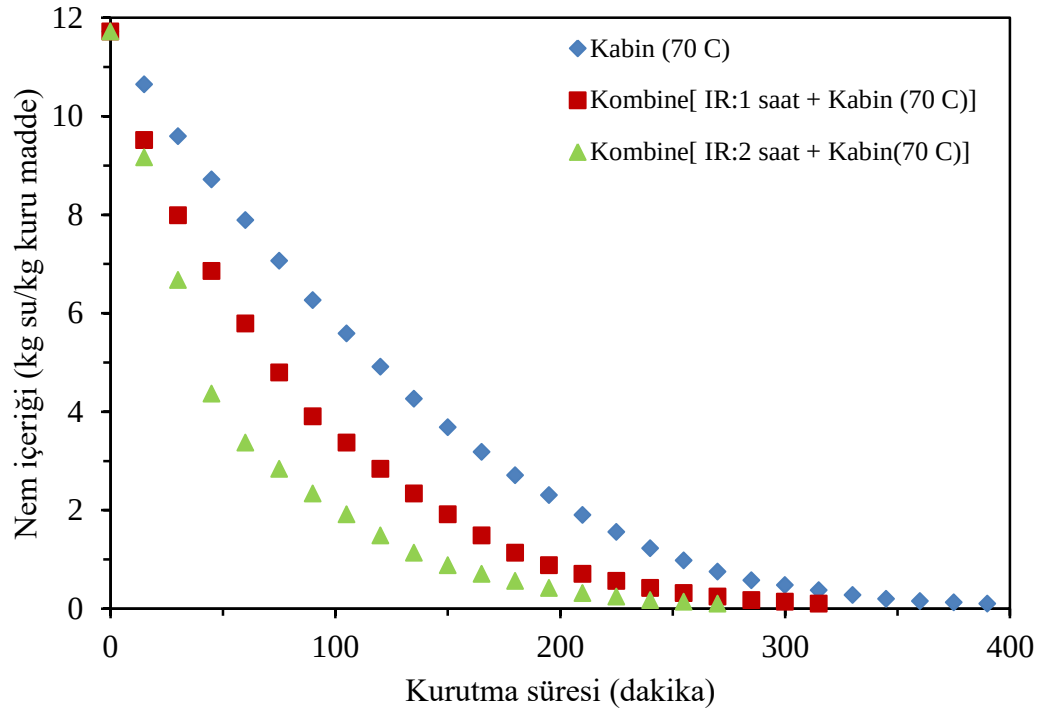


Şekil 5.23 Kızılötesi kurutucuda farklı güç seviyelerinde ön işlem görmeden kurutulmuş zencefil dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Ayrı güç seviyelerinde yapılan kurutma çalışmaları incelendiğinde güç seviyesi arttıkça zencefil içerisindeki suyun buharlaşması da kolaylaştığından difüzyon katsayılarının da arttığı görülmektedir. Ayrıca 74 W gücünde farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan zencefil numunelerinin de difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Potas ön işlemli, sitrik ön işlemli ve haşlama ön işlemli zencefil numunelerinin difüzyon katsayıları sırası ile $1,49 \times 10^{-9} m^2/s$, $1,37 \times 10^{-9} m^2/s$ ve $1,64 \times 10^{-9} m^2/s$ şeklinde hesaplanmıştır.

5.3 Kombine Kurutmanın (Kızılötesi + Sıcak Hava) Kurutma Süresine Etkisi

Kızılötesi kurutucu ile sıcak hava ile kabin kurutucu arasındaki kurutma performanslarını kıyaslamak amacıyla zencefil dilimleri ön işlem uygulanmadan kızılötesi kurutucuda 62 W güç seviyesinde 1 ve 2 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine $70^{\circ}C$ 'de kabin kurutucuda yaklaşık %10 son nem içeriği kalana kadar devam edilmiştir. Elde edilen verilerden yararlanarak nem içeriği ile kurutma süresi değişim eğrileri çizilmiş ve Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.24 Kombine yöntem (kızılötesi + kabin) ile kurutulmuş zencefil dilimlerinin kurutulmasına ait nem içeriği-kurutma süresi grafiği

Şekil 5.24'den de görüleceği üzere daha önce 70°C'de sıcak havalı kabin kurutucuda ön işlem uygulanmadan kurutulmuş zencefil grubunun nem içeriği yaklaşık %10 olana kadar geçen toplam süre 390 dakikadır. Kombine kurutma sisteminde ise 1 ve 2 saat kızılötesi kurutucuda kurutulduktan sonra 70°C'de kurutma işlemine devam edilen örneklerin kurutma süreleri sırası ile 315 ve 270 dakikadır. Kızılötesi kurutucuda 1 saat kurutmanın toplam kurutma süresini %19,23 ve 2 saat kurutmanın toplam kurutma süresini %30,76 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.

5.4 Renk Analizi

Kurutulmuş ürünlerdeki en önemli parametrelerden biri olan renk parametresi, tüketicinin de ürünü temin edebilmesinde etkili bir faktördür. Taze zencefilin renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) sırası ile 66.32, -0.93, ve 21.20 değerlerinde renk tayin cihazı ile ölçülmüştür. Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5 kurutulmuş zencefilin, L^* , a^* ve b^* değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5.10 Farklı ön işlem ve sıcaklıklarda sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan zencefil örneklerinin renk analiz parametreleri

Ön İşlem	Kurutma Sıcaklığı			
	40°C	50°C	60°C	70°C
Potas	L*: 57,35 a*: 7,38 b*: 15,17	L*: 55,71 a*: 8,10 b*: 17,37	L: 57,6 a: 7,25 b: 17,70	L*: 55,02 a*: 9,62 b*: 15,45
Sitrik	L*: 67,60 a*: 4,59 b*: 13,64	L*: 69,76 a*: 4,54 b*: 14,80	L: 72,70 a: 3,32 b: 18,58	L*: 72,38 a*: 4,28 b*: 14,26
Haşlama	L*: 64,85 a*: 5,99 b*: 12,90	L*: 55,93 a*: 4,82 b*: 12,76	L*: 66,14 a: 4,26 b: 16,70	L*: 61,99 a*: 4,66 b*: 13,42
Kontrol	L*: 62,26 a*: 8,95 b*: 17,89	L*: 59,98 a*: 6,14 b*: 16,15	L*: 66,64 a*: 4,66 b*: 18,27	L*: 66,40 a*: 4,93 b*: 15,65

Çizelge 5.4 incelendiğinde farklı sıcaklık ve ön işlemlere tabi tutularak kurutulan örneklerin renk analiz sonuçlarının da farklı olduğu görülmektedir. 60°C’de kurutulan zencefil grubu en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık tüm sıcaklıklarda en düşük a* değerine sahiptir. Buna ek olarak sitrik asit ile ön işlem gören zencefil grubunun tüm sıcaklıklarda L* ve b* değerleri en yüksek değerlere sahiptir. Buna karşılık da a* değerleri ise ölçülen en düşük değerlerdir.

Çizelge 5.11 Farklı kurutma güçlerinde kızıllötesi kurutucuda kurutulan zencefil dilimlerinin renk analizleri

Ön İşlem	Kurutma Gücü				
	50 W	62 W	74 W	88 W	104 W
L*	62,89	68,43	65,90	66,21	59,67
a*	5,08	4,12	5,99	6,18	5,86
b*	17,87	18,59	15,32	15,26	15,82

Kızıllötesi kurutucuda kurutulan örneklerin renk analiz sonuçları incelendiğinde Çizelge 5.11’den de görüleceği üzere, farklı güç seviyelerinde farklı değerler elde edilmiştir. 62 W kurutuma gücünde kurutulmuş örnekler en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık en düşük a* değerine sahiptir. Literatür çalışmaları incelendiğinde gıdaların renk kalitesinin kurutma gibi yüksek ısı gerektiren işlemler sonucu değiştiği ve renk pigmentlerinde kayıplar yaşandığı bazı çalışmalarda da tespit edilmiştir [4], [18].

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada sağlık ve gıda alanında pek çok kullanıma sahip zencefil bitkisinin en uygun şekilde muhafaza edilebilmesi için kullanılabilecek kurutma yöntemleri değerlendirilmiş, farklı kurutucularda kurutma davranışları deneysel olarak incelenmiş ve kurutulmuş zencefil numunelerinin kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Zencefil dilimlerinin kurutulması için sıcak havalı kabin kurutucu ve kızılötesi kurutucu olmak üzere iki farklı kurutucu tipi kullanılmıştır. Örnekler, sabit hızda (2m/s) ve dört farklı kurutma sıcaklığında (40, 50, 60 ve 70°C) sıcak havalı kabin kurutucuda, farklı güç seviyelerinde (50, 62, 74, 88 ve 104 W) kızılötesi kurutucuda ön işlem uygulanarak (potas çözeltisi, sitrik asit çözeltisi ve haşlama çözeltisi) ve ön işlem uygulanmadan kurutulmuştur. Uygulanan ön işlem çözeltilerinin kurutma süresi ve hızları üzerine olan etkileri incelenmiştir. Kurutma sıcaklığı ve kurutma güç seviyesi arttıkça kurutma süresinin azaldığı tespit edilmiştir.
- Ön işlem çözeltilerinin kuruma prosesi üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında haşlama ön işlemine tabi tutulmuş zencefil grubunun diğer örneklerle göre daha kısa sürede kuruduğu ve bu grubu da sırası ile potas ön işlemli ve sitrik ön işlemli grupların takip ettiği belirlenmiştir. En uzun kuruma süresi ise ön işlem görmemiş kontrol grubuna aittir.
- Farklı kurutucu tiplerinin kuruma prosesi üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile kombine kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön işlem uygulanmamış zencefil grupları 62W güç seviyesinde 1 ve 2 saat kurutulduktan sonra kurutma işlemine

70°C’de sıcak havalı kabin kurutucuda devam edilmiştir. Kuruma süreleri incelendiğinde 1 saat kızılötesi kurutmanın toplam kurutma süresini %19.23 ve 2 saat kızılötesi kurutmanın toplam kurutma süresini %30,76 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.

- Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan zencefil gruplarının renk analizleri gerçekleştirildiğinde 60°C’de kurutulan zencefil grubu en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık tüm sıcaklıklarda en düşük a* değerine sahiptir. Kızıl ötesi kurutucuda kurutulan zencefil gruplarının renk analizleri gerçekleştirildiğinde 62W kurutuma gücünde kurutulmuş zencefil dilimleri en yüksek L* ve b* değerlerine sahipken, buna karşılık en düşük a* değerine sahiptir.
- Her iki kurutucuda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak elde edilen nem oranları Lewis, Page, Henderson ve Pabis, Midilli & Küçük, logaritmik ve Aghbashlo vd. modellerine uyarlanmıştır. Midilli & Küçük modelinde R² değerlerinin en yüksek, χ^2 ve RMSE değerlerinin en düşük değerlere sahip olduğu gözlemlendiğinden zencefil dilimlerinin kurutma davranışlarını en iyi temsil eden kurutma modeli olarak Midilli & Küçük modeli seçilmiştir.
- Zencefil dilimlerinin kurutma esnasındaki efektif nem difüziviteleri kabin kurutucuda $3,823 \times 10^{-10}$ m²/s ile $1,483 \times 10^{-9}$ m²/s ve kızılötesi kurutucuda $5,79 \times 10^{-10}$ m²/s ile $1,82 \times 10^{-9}$ m²/s arasında değişmektedir. Kabin kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerjisi değerleri ise 17,35-27,04 kJ/mol aralığında hesaplanmıştır.
- Dilim kalınlığının kurutma süresi üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile hem sıcak havalı kabin kurutucuda hem de kızılötesi kurutucuda 4, 7 ve 10 mm kalınlığındaki zencefil numuneleri ile kurutma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Dilim kalınlığı arttıkça kuruma süresinin arttığı ve kuruma hızının azaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kocabıyık, H., ve Demirtürk, B. S., (2008). “Nane Yapraklarının Infrared Radyasyonla Kurutulması”, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(3):239–246.
- [2] Arslan, M. (2014). “Meme Kanseri Kadın Hastalarda Kemoterapiye Bağlı Gelişen Bulantı, Kusma Ve Öğürme Üzerine Zencefil Kullanımının Etkisi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Kar, F. ve Biçer, A., (2012). “Siklon Tipi Bir Kurutucuda Zencefilin Kuruma Kinetiğinin Araştırılması”, 10.Ulusal Kimya Müh. Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- [4] Pati, J. R., Hotta, S. K. ve Mahanta, P., (2015). “Effect of Waste Heat Recovery on Drying Characteristics of Sliced Ginger in a Natural Convection Dryer”, Procedia Engineering, 105:145–152.
- [5] Chapchaimoh, K., Poomsa-Ad, N., Wiset, L. ve Morris, J. (2016). “Thermal Characteristics of Heat Pump Dryer for Ginger Drying”, Applied Thermal Engineering, 95:491–498.
- [6] Jelled, A., Fernandes, A., Barros, L., Chahdoura, H., Achour, L., Ferreira, I. ve Cheikh, H. B., (2015). “Chemical and Antioxidant Parameters of Dried Forms of Ginger Rhizomes”, Industrial Crops and Products, 77:30–35.
- [7] An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y. ve Xiao, G., (2016). “Comparison of Different Drying Methods on Chinese Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in Volatiles, Chemical Profile, Antioxidant Properties, and Microstructure”, Food Chemistry, 197:1292–1300.
- [8] Ding, S. H., An, K. J., Zhao, C. P., Li, Y., Guo, Y. H. ve Wang, Z. F., (2012). “Effect of Drying Methods on Volatiles of Chinese Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe)”, Food and Bioproducts Processing, 90(3):515–524.
- [9] Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto, F. S. ve Yong, M. Y., (2009). “Effects of Different Drying Methods on the Antioxidant Properties of Leaves and Tea of Ginger Species”, Food Chemistry, 113(1):166–172.
- [10] Toraman, S., (2015). Siklon Tipi Bir Kurutucuda Zencefilin Kurutma Davranışının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [11] Eze, J. ve Agbo, K., (2011). "Comparative Studies of Sun and Solar Drying of Peeled and Unpeeled Ginger", *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2(2):136–143.
- [12] Hoque, M.A., Bala, B. K., Hossain, M. A. H. ve Uddin, M. B., (2013). "Drying kinetics of ginger rhizome", *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 38(2): 301-319.
- [13] Chayjan, R.A., Kaveh, M. ve Khayati S., (2014). "Modeling Some Drying Characteristics of Sour Cherry under Infrared Radiation Using Mathematical Models and Artificial Neural Networks", *Agricultural Engineering International:CIGR Journal*, 16(1):265-279.
- [14] Loha, C., Das, R. ve Choudhury, B., (2012). "Evaluation of Air Drying Characteristics of Sliced Ginger (*Zingiber officinale*) in a Forced Convective Cabinet Dryer and Thermal Conductivity Measurement", *Journal of Food Processing & Technology*, 3(6): 3–7.
- [15] Parlak, N.,(2014). "Akışkan Yataklı Kurutucuda Zencefilin Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2): 261–269.
- [16] Prakash, C. ve Srivastava, A. K, (2015). "Drying Behavior of Microwave Dried Ginger and Their Energy Consumption", *South Asian Journal of Food Technology and Environment*, 1(1):22–31.
- [17] Famurewa A. V., Emuekele P. O. ve Jaiyeoba K. F., (2008). "On Polynomial Automorphisms of Spheres", *Israel Journal of Mathematics*, 168(1):275–289.
- [18] Ali, J. ve Rani, P., (2015). "Effect of Drying on Ginger Paste and Optimization of Evaluated Quality Parameters of Dried Ginger Paste", *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, 5(3):1–13.
- [19] Jayashree, E., Visvanathan, R. ve Zachariah, T., (2014), "Quality of Ginger by Different Drying Methods", *Journal of Food Science and Technology*, 51(11):3190-3198.
- [20] Afolabi, T. J., Tunde-Akintunde, T. Y. ve Oyelade, O. J., (2014). "Influence of Drying Conditions on the Effective Moisture Diffusivity and Energy Requirements of Ginger Slices", *Journal of Food Research*, 3(5):103.
- [21] Zhong, Z. ve Xiao-ming L., (2005). "Effects of Differemt Drying Methods on Physical Properties of Ginger Powder" *Packaging and Food Machinery*, 2005-11.
- [22] Doymaz, İ., (2007), "Air Drying Characteristics of Tomato", *Journal of Food Engineering*, 78(4):1291-1297.
- [23] Doymaz, I. ve Pala, M., (2002). "Hot-Air Drying Characteristics of Red Pepper", *Journal of Food Engineering*, 55(4), 331–335.
- [24] Doymaz İ., (2011). "Thin-layer Drying Characteristics of Sweet Potato Slices and Mathematical Modeling", *Heat and Mass Transfer*, 47(3):277-285.
- [25] Demiray, E. ve Tülek, Y., (2012). "Kurutma İşleminin Kırmızı Biberdeki Renk Maddelerine Etkisi", *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(73):1–10.
- [26] Meyve ve Sebzelerin Kurutularak Muhafazası, <https://docplayer.biz.tr/8756462-Meyve-ve-sebzelerin-kurutularak-muhafazasi.html>, 27 Temmuz 2017.

- [27] Aktaş, M., Sevik, S., Doğan, H. ve Öztürk, M., (2012). “Drying of Tomato in a Photovoltaic and Thermal Solar-Powered Continuous Dryer”, Journal of Agricultural Sciences, 18(4):287–298.
- [28] Doymaz, I., (2005). “Drying Behaviour of Green Beans”, Journal of Food Engineering, 69(2):161–165.
- [29] Doymaz, I., (2004). “Drying Kinetics of White Mulberry”, Journal of Food Engineering, 61(3):341–346.
- [30] Erbay, B. ve Küçüköner, E., (2008). “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- [31] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sebzeleri%20Kurutma.pdf, 10 Ekim 2017.
- [32] Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990). Kurutma İşlemi ve Dehidratörler, Gıda Endüstrisi Makineleri, 226-280.
- [33] Gürses, Ö. L., (1986). Gıda İşleme Mühendisliği-II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- [34] Doğanay, T., (2009). Modern Farmasötik Teknoloji, 2. Baskı, Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını, Ankara.
- [35] Güngör, A., (2013). “Sebze Ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-23 Nisan 2013, İzmir.
- [36] Doymaz, I., (2004). “Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots”, Journal of Food Engineering, 61(3):359–364.
- [37] 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.
- [38] Inprasit, C. ve Normhorm, A., (2006). “Effect of Drying Air Temperature and Grain Temperature of Different Types of Dryer and Operation on Rice Quality”, Drying Technology, 19(2)(2):389-404
- [39] Mc. Ketta, J., (1983). Encyclopedia Chemical Process and Design, Marchell Dekker Inc., New York.
- [40] Güngör, A. ve Özbalt, N., (1997). “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Kasım 1997, İzmir.
- [41] Kaplan, H., (2005). “Zencefilin (*Zingiber officinale* Roscoe) Bitkisel Özellikleri ve Yetiştiriciliği”, Derim, 22(2):1-9.
- [42] Jakribettu, R. P., Boloor, R., Bhat, H. P., Thaliath, A., Haniadka, R., Rai, M. P., George, T., Baliga, M. S. (2016). “Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) Oils”, Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety, 50:447-454.
- [43] Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S. ve Viljoen, A. M., (2015). “Gingerols and Shogaols: Important Nutraceutical Principles from Ginger”, Phytochemistry, 117:554–568.

- [44] Daily, J. W., Yang, M., Kim, D. S. ve Park, S., (2015). "Efficacy of Ginger for Treating Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials", *Journal of Ethnic Foods*, 2(1):36–43.
- [45] Ali, B. H., Blunden, G., Tanira, M. O. ve Nemmar, A., (2008). "Some Phytochemical, Pharmacological and Toxicological Properties of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A Review of Recent Research". *Food and Chemical Toxicology*, 46(2):409–420.
- [46] Altuğ, E., (2010). "Zencefil Ekstresinin Safra Yolları Bağlanarak Oluşturulan Karaciğer Hasarında Koruyucu Etkileri", *Uzmanlık Tezi*, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk Cerrahisi Anabilim Dalı, Ankara.
- [47] Salmon, C. N. A., Bailey-Shaw, Y. A., Hibbert, S., Green, C., Smith, A. M. ve Williams, L. A. D., (2012). "Characterisation of Cultivars of Jamaican Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HPTLC and HPLC", *Food Chemistry*, 131(4):1517–1522.
- [48] Jayashree, E. ve Kandianan, K. P. D., (2014). *Ginger*, ICAR-Indian Institute of Spices Research, India.
- [49] Yusufoglu, H. ve Alqasoumi, S. I., (2008). "High Performance Thin Layer Chromatographic Analysis of 10-Gingerol in *Zingiber Officinale* Extract and Ginger-Containing Dietary Supplements, Teas and Commercial Creams", *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences*, 33(4):199–204.
- [50] Nair, K. P. P., (2013). "Pharmacology and Nutraceutical Uses of Ginger", *The Agronomy and Economy of Turmeric and Ginger*, Elsevier Insights, India.
- [51] Karaca, C., Gürsoy, O. ve Yılmaz, Y. (2016). "Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon (Emdirme) Tekniği ile Muamele İşleminin Kivi Dilimlerinin Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi", *Akademik Gıda*, 14(3):256-266.
- [52] Ergüneş, G. ve Taşova, M., (2018). "Kabin Kurutucuda Kurutulan Kuşburnu (*Rosa canina* L.) Meyvesinin Kuruma Performansı, Efektif Difüzyon ve Aktivasyon Enerjisi Değerlerinin Belirlenmesi", *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(1):75–82.
- [53] Salehi, F. ve Kashaninejad, M., (2018). "Modeling of Moisture Loss Kinetics and Color Changes in the Surface of Lemon Slice During the Combined Infrared-Vacuum Drying", *Information Processing in Agriculture*, 5(4):516–523.
- [54] The Color Guide and Glossary,
https://xritephoto.com/documents/literature/en/L11-029_color_guide_EN.pdf, 09 Nisan 2019.
- [55] Doymaz, İ., (1998), *Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [56] Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R. ve Singh, S.P., (1999), "Drying Behaviour of Brined Onion Slices", *Journal of Food Engineering*, 40: 219-226.
- [57] Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2007), "Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması", *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(42): 4-10.

- [58] Thorat, I., Mohapatra, D., Sutar, R. F., Kapdi, S. S., Jagtap, D., (2012). “Mathematical Modeling and Experimental Study on Thin-Layer Vacuum Drying of Ginger (*Zingiber officinale* R.) Slices”, Food and Bioprocess Technology, 5(4): 1379–1383.
- [59] Akpınar, E. K. ve Toraman, S., (2013). “Estimation of the Moisture Diffusivity and Activation Energy in Thin Layer Drying of Ginger Slices”, International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 7(6):415–418
- [60] Akpınar, E. ve Toraman, S., (2016). “Determination of Drying Kinetics and Convective Heat Transfer Coefficients of Ginger Slices”, Heat and Mass Transfer, 52(10):2271-2281.
- [61] Alam, M., Hossain, M., Aktar, M., Islam, Z. ve Hasan. Z., (2014). “Drying and Dehydration Kinetics of Ginger” , International Journal of Innovation and Applied Studies, 9(2):956-967.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Melisa İŞSEVER
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.08.1991 İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : melissa_issever@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Kimya Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Özel Getronagan Ermeni Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-Halen	UL VS Laboratuvar Hizmetleri A.Ş.	Analitik Laboratuvar Takım Lideri

YAYINLARI

Bildiri

İşsever, M. ve Doymaz, İ., (2018). “Hot-Air Drying and Colour Characteristics of Ginger Slices”, 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME), December 19-21, 2018, Istanbul.

