

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI SEBZELERİN KURUTMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kimya Mühendisi Fergün KOCAYİĞİT

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURUTMA.....	2
2.1 Gıdaların Kurutularak Saklanması Tarihi.....	2
2.2 Kurutma Yöntemleri.....	3
2.2.1 Doğal Kurutma	3
2.2.2 Yapay Kurutma.....	3
2.3 Kurutmanın Prensipleri.....	4
2.4 Kuruma Zamanının Belirlenmesi.....	5
2.4.1 Davranış Testi.....	5
2.4.2 Yapay Madde Testi.....	5
2.4.3 Teorik Tahmin.....	5
2.5 Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları.....	5
2.5.1 Sabit Kurutma Hızı Periyodu.....	7
2.5.2 Azalan Kurutma Hızı Periyodu.....	7
2.6 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....	7

2.6.1	Sıcaklık Derecesi.....	8
2.6.2	Havanın Nemi.....	8
2.6.3	Havanın Hızı.....	9
2.6.4	Yüzey Alanı.....	10
2.6.5	Ortamin Basıncı.....	10
2.6.6	Kurutulan Gıdaya Özgü Özellikler.....	10
2.7	Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler.....	11
2.8	Kurutma Sistemleri.....	12
2.8.1	Sıcak Havalı (Konveksiyon) Kurutucular.....	13
2.8.1.1	Fırın Tipi Kurutucular.....	13
2.8.1.2	Kabin Kurutucular.....	13
2.8.1.3	Tünel Kurutucular.....	14
2.8.1.4	Bantlı Kurutucular.....	14
2.8.1.5	Akışkan Yatak Kurutucular.....	15
2.8.1.6	Sandık Kurutucular.....	16
2.8.1.7	Püskürtmeli Kurutucular.....	17
2.8.2	Valsli Kurutucular.....	18
2.8.3	Vakum Kurutucular.....	18
2.8.4	Dondurarak Kurutucular.....	18
2.8.5	Mikrodalgalı Kurutucular.....	19
2.9	Kurutucuların Sınıflandırması ve Seçimi.....	20
2.10	Kurutucuların Ön Seçiminde Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler.....	20
2.11	Kurutma Süreçlerinin Kontrolü.....	22
3.	KIRMIZIBİBER VE BEZELYE.....	24
3.1	Kırmızıbiber.....	24
3.1.1	Kırmızıbiberin Beslenme ve İnsan Sağlığı Yönünden Önemi.....	25
3.1.2	Dünyada ve Türkiye’de Kırmızıbiber Üretimi.....	25
3.2	Bezelye.....	27
3.2.1	Bezelyenin Beslenme ve İnsan Sağlığı Yönünden Önemi.....	28

3.2.2	Dünyada ve Türkiye’de Bezelye Üretimi.....	28
4.	GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR.....	31
4.1	Kırmızıbiber Kurutulmasına İlişkin Çalışmalar.....	31
4.2	Bezelye Kurutulmasına İlişkin Çalışmalar.....	34
5.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
5.1	Materyal.....	36
5.2	Yöntemler.....	36
5.2.1	Kurutma Sistemi.....	36
5.2.2	Kuru Madde Tayini.....	37
5.2.3	Hava Akış Hızı.....	37
5.2.4	Renk Ölçümleri.....	37
5.3	Kurutma Denemeleri.....	39
5.3.1	Kırmızıbiber Kurutma.....	39
5.3.2	Bezelye Kurutma.....	40
5.3.3	Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği) Kapasitesinin Ölçülmesi.....	41
5.4	Matematiksel Modelleme.....	43
5.5	Regresyon Analizi.....	44
5.6	Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	44
6.	DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ.....	47
6.1	Kırmızıbiber.....	47
6.1.1	Ön İşlemin, Sıcaklığın ve Dilim Kalınlıklarının Kuruma Süresine Etkisi.....	47
6.1.2	Kuruma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi.....	55
6.1.3	Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	59
6.1.4	Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması.....	66
6.1.5	Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	67
6.1.6	Renk Analizlerinin İncelenmesi.....	69

6.1.7	Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi.....	69
6.2	Bezelye.....	73
6.2.1	Ön İşlemin ve Sıcaklığın Kuruma Süresine Etkisi.....	73
6.2.2	Kuruma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi.....	79
6.2.3	Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	83
6.2.4	Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması.....	90
6.2.5	Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	91
6.2.6	Renk Analizlerinin İncelenmesi.....	92
6.2.7	Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi.....	93
7.	SONUÇLAR.....	97
	KAYNAKLAR.....	101
	ÖZGEÇMİŞ.....	107

SİMGE LİSTESİ

a, b, c	Modellerdeki katsayılar
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
k	Kinetik sabit (1/dak)
L	Dilim kalınlığı (m)
M	Nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+ Δt anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_e	Denge anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
m_w	Su miktarı (kg)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
MR	Nem oranı (birimsiz)
MR_{exp}	Deneysel nem oranı (birimsiz)
MR_{pre}	Tahmini nem oranı (birimsiz)
n	Page model sabiti (birimsiz)
r	Yarıçap (m)
R	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol. K))
R^2	Regresyon katsayısı
RC	Rehidrasyon kapasitesi (birimsiz)
RMSE	Tahminin standart hatası
t	Kuruma süresi (dak)
T	Kurutma sıcaklığı ($^{\circ}C$)
W_1	Rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg)
W_2	Rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg)
χ^2	khi-kare

KISALTMA LİSTESİ

AOAC	Kurumsal Analitik Kimyacılar Birliği (Association of Official Analytical Chemists)
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
UNIDO	Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kurutma hızının değişimi.....	6
Şekil 2.2 Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi.....	7
Şekil 2.3 Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi.....	9
Şekil 2.4 Tipik bir ürün için adsorpsiyon ve izotermi örneği.....	9
Şekil 2.5 Kabin kurutucu.....	13
Şekil 2.6 Tünel kurutucu.....	14
Şekil 2.7 Bant tipi kurutucu.....	15
Şekil 2.8 Akışkan yataklı kurutucu.....	16
Şekil 2.9 Püskürtmeli kurutucu.....	17
Şekil 2.10 Dondurucu kurutucu.....	19
Şekil 3.1 <i>Capsicum annuum</i> L.'nin genel görünümü.....	24
Şekil 3.2 Bezelyenin (<i>Pisum sativum</i>) genel görünümü.....	27
Şekil 5.1 Kırmızıbiber ve bezelye kurutulmasında kullanılan kurutucu genel görünüşü.....	36
Şekil 5.2 Konica Minolta CR-300 cihazının genel görünüşü.....	38
Şekil 5.3 Hunter Lab renk skalası.....	38
Şekil 5.4 Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş kırmızıbiberin genel görünüşü.....	39
Şekil 5.5 Mettler marka terazinin genel görünüşü.....	40
Şekil 5.6 Kurutma denemelerinde kullanılan ayıklanmış bezelyenin genel görünüşü.....	41
Şekil 5.7 Kurutulmuş kırmızıbiberlerin rehidrasyon kapasitesinin tayini.....	42
Şekil 5.8 Kurutulmuş bezelyelerin rehidrasyon kapasitesinin tayini.....	42
Şekil 6.1 Kırmızıbiber dilimlerinin 55°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	49
Şekil 6.2 Kırmızıbiber dilimlerinin 60°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	50
Şekil 6.3 Kırmızıbiber dilimlerinin 65°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	51
Şekil 6.4 Kırmızıbiber dilimlerinin 70°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	52

Şekil 6.5	Farklı kalınlıklarda dilimlenmiş kırmızıbiberlerin 60°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	54
Şekil 6.6	Kırmızıbiber dilimlerinin 55°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	55
Şekil 6.7	Kırmızıbiber dilimlerinin 60°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	56
Şekil 6.8	Kırmızıbiber dilimlerinin 65°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	57
Şekil 6.9	Kırmızıbiber dilimlerinin 70°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	58
Şekil 6.10	55°C'de Kırmızıbiber için Deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri.....	64
Şekil 6.11	55°C'de Kırmızıbiber için Deneysel ve Page denkleminin tahmini nem oranı değerleri.....	65
Şekil 6.12	Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi.....	67
Şekil 6.13	60°C'de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 25°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	70
Şekil 6.14	60°C'de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 50°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	71
Şekil 6.15	60°C'de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 75°C'de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	72
Şekil 6.16	Bezelyelerin 55°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	75
Şekil 6.17	Bezelyelerin 60°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	76
Şekil 6.18	Bezelyelerin 65°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	77
Şekil 6.19	Bezelyelerin 70°C'deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi.....	78
Şekil 6.20	Bezelyelerin 55°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	79
Şekil 6.21	Bezelyelerin 60°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	80
Şekil 6.22	Bezelyelerin 65°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	81
Şekil 6.23	Bezelyelerin 70°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi.....	82
Şekil 6.24	55°C'de Bezelye için Deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri.....	88

Şekil 6.25	55°C’de Bezelye için Deneysel ve Page denkleminin tahmini nem oranı değerleri.....	89
Şekil 6.26	Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi.....	91
Şekil 6.27	65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 25°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	94
Şekil 6.28	65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 50°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	95
Şekil 6.29	65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 75°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim.....	96

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Dünyada önde gelen ülkelerin yıllar itibarıyla kırmızıbiber üretim miktarları (ton).....	26
Çizelge 3.2	Türkiye’de ve dünyada kırmızıbiber üretimi (ton).....	26
Çizelge 3.3	Dünyada önde gelen ülkelerin yıllar itibarıyla bezelye üretim miktarları (ton).....	29
Çizelge 3.4	Türkiye’de ve dünyada bezelye üretimi (ton).....	30
Çizelge 5.1	Kırmızıbiberlerin ve bezelyelerin kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler.....	43
Çizelge 6.1	Kırmızıbiber kurutma denemelerine ait kuruma süreleri.....	47
Çizelge 6.2	55°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	60
Çizelge 6.3	60°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	61
Çizelge 6.4	65°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	62
Çizelge 6.5	70°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	63
Çizelge 6.6	Kırmızıbiber için etkin difüzyon katsayıları.....	66
Çizelge 6.7	Bazı biber çeşitlerinin difüzyon katsayıları.....	67
Çizelge 6.8	Bazı biber çeşitlerinin aktivasyon enerjileri.....	68
Çizelge 6.9	Taze kırmızıbiberlerin renk analiz değerleri.....	69
Çizelge 6.10	Kurutulmuş kırmızıbiberlerin renk analiz değerleri.....	69
Çizelge 6.11	Bezelye kurutma denemelerine ait kuruma süreleri.....	73
Çizelge 6.12	55°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	84
Çizelge 6.13	60°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	85
Çizelge 6.14	65°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	86
Çizelge 6.15	70°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri.....	87

Çizelge 6.16	Bezelye için etkin difüzyon katsayıları.....	90
Çizelge 6.17	Bazı sebzelerin etkin difüzyon katsayıları.....	90
Çizelge 6.18	Bazı bezelye çeşitlerinin aktivasyon enerjileri.....	92
Çizelge 6.19	Taze bezelyelerin renk analiz değerleri.....	93
Çizelge 6.20	Kurutulmuş bezelyelerin renk analiz değerleri.....	93

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Tez Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a, GÖZLEM Gıda Kontrol ve Araştırma Laboratuvarı'na, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2010

Fergün KOCAYİĞİT

ÖZET

Ülkemiz önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Bol miktarda üretilen bu meyve ve sebzeleri saklama yöntemlerinden birisi de, güneşte ve yapay kurutucularda kurutmaktır. Ancak doğada kuruma, güneş ısıyla gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır. Ayrıca, kurutma süresinin uzun olması ve genel olarak kurutulmuş ürün kalitesinin düşük olması nedeniyle her ürünün güneşte kurutulması doğru da değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulma yolları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda yapılan kurutma işleminin kırmızıbiber ve bezelye karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kırmızıbiber ve bezelyelerin, sıcak havalı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kuruma hızı ve süresi, ön işlemlerin etkileri, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim, son ürünün rengi ve rehidrasyon kapasitesi çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, kuruma kinetiğini belirlemek için nem oranı-kuruma süresi eğrileri ampirik denklemler (Newton, Henderson ve Pabis, Page ve Logaritmik) yardımıyla yapılmıştır.

Sonuçlar; kurutma sıcaklığının artırılması ve ön işlem uygulanmasının kurutma süresini azalttığını, difüzyon katsayısını ve rehidrasyon kapasitesini arttırdığını göstermiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığının ve ön işlemlerin kurutulan ürünlerin renk değerlerine etki ettiği görülmüştür. Ek olarak, dilim kalınlığının azalması kurutma süresini düşürdüğü saptanmıştır. Kırmızıbiber ve bezelye kurutulmalarının tanımlanmasında Logaritmik ve Page denklemlerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurutma, kırmızıbiber, bezelye, matematiksel modelleme, difüzyon katsayısı, rehidrasyon kapasitesi, renk analizi.

ABSTRACT

Turkey has a great potential of fruit and vegetable production. One of the preservation methods of those abundantly-produced fruit and vegetables is drying in the sun or artificial driers. However, as drying in sun takes place via the heat of sun, it's impossible for drying to be provided within this method all the time and everywhere. Besides, because drying time is long and dried product quality is generally low, drying of every product in sun is inappropriate. Accordingly, different methods of drying for many products were developed.

In this study, the analysis of the effects of drying procedure in a hot air dryer on the characteristics of red pepper and peas were aimed. As a consequence of the drying of red pepper and peas in a hot air dryer, modelling studies were developed moving from drying rate and time, effects of pretreatment, the effective diffusion coefficient, the change in the activation energy, the colour of the final product and rehydration capacity. Besides, the curves of moisture ratio-drying time obtained by experiments were modelled by using empirical equations (Newton, Henderson and Pabis, Page and Logarithmic).

The results have showed that the increase in air temperature and pretreatment reduced the drying time and increase the effective diffusion coefficient and rehydration capacity. Moreover, it was observed that the temperature and pretreatments affect the colour values. In addition, the decrease in the thickness of product has reduced the dehydration time. The Logarithmic and Page equations were found to describe the drying kinetics of red pepper and pea.

Keywords: Drying, red pepper, pea, mathematical modelling, effective diffusion coefficient, rehydration capacity, colour analysis.

1. GİRİŞ

Gıda maddelerinin içerdği nemin, kontrollü koşullarda buharlaştırılması işlemine kurutma veya dehidratasyon denir. Kurutma ve dehidratasyon terimleri aynı anlamda kullanılsa da genel olarak doğal koşullarda yapılan işlem için kurutma; kapalı dolaplarda sıcak hava, vakum vs. vasıtası ile yapılan işlem için de dehidratasyon terimleri kullanılır.

Tarımsal ürünleri korumanın en eski ve en kolay yolu ürünlerin kurutulmasıdır. Gıda maddelerinin bozulmadan uzun zaman dayandırılmaları öteden beri insanların uğraştıkları bir konu olmuştur. Tarımsal ürünlerin yaş olarak tüketilmelerinin yanı sıra kurutularak değişik amaçlarla kullanılmaları, saklama koşullarının daha kolay olması ve ekonomik kazanımları nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu nedenle tarımsal ürünlerin kurutulması tüm dünyada en yaygın kullanım alanı bulmuş uygulamadır.

Ülkemizin iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzenin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında güneşe sererek yapılmaktadır. Bu yolla kurutulmuş ürünlerimizden üzüm, incir ve kayısının ülke ekonomisine katkısı büyük orandadır. Bunun yanında dünya sebze pazarında ticari önemi olan patlıcan, kabak, biber, havuç vb. sebzelerin ülkemiz koşullarında kurutma potansiyeli oldukça fazladır. Ancak ülkemizin dünya kurutulmuş ürün piyasasındaki payını arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda ve kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir. Dünya ticareti yapılan kurutulmuş sebzelerin %97–98'i kontrollü şartlarda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Sıcak hava ile kurutulan ürünler üstün kalitededir ve tüketilmeye hazır durumdadır.

Bu çalışmada, ülkemizde önemli bir yeri olan ve çok tüketilen sebzelerin başında gelen kırmızıbiber ve bezelye, değişik kurutma sıcaklıklarında ve sabit hava hızında kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ve kuruma hızı, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim incelenmiştir. Çeşitli ön işlemler uygulanarak; bu işlemlerin kurutma hızına ve süresine, su alma hızlarına (rehidrasyon) ve son ürünün rengine etkileri araştırılmıştır. Bunun yanında kırmızıbiberler ve bezelyeler, natürel olarak kurutulmuş ve ön işlem uygulanarak kurutulan ürünlerle karşılaştırılmıştır.

2. KURUTMA

2.1 Gıdaların Kurutularak Saklanması Tarihi

Genel bir ifadeyle kurutma; ürünlerin içerdikleri nemin, belli bir amaca bağlı olarak, belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılarak üründen alınmasına denir (Karaaslan ve Tunçer, 2009).

Birçok gıda muhafaza yöntemi arasında kurutmanın yeri ve ayrıcalıkları değişik açılardan irdelenebilir. Her şeyden önce; gıdadaki mevcut su, onun bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı doğmaktadır. Kurutulmuş gıdalar, diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Ayrıca kurutma en ucuz dayandırma yöntemidir. Nitekim kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf yapılır. Nihayet kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır. Örneğin, birçok ülkede büyük bir endüstri halinde gelişmiş olan kuru çorba üretiminin hammaddesi, kurutulmuş çeşitli sebzelerdir (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

İnsanoğlu yıllarca değişik amaçlar doğrultusunda sürekli bir şeyleri kurutma uğraşı vermiştir. Kurutma temelde çok eskilere dayanmasına karşın, esas olarak teknolojinin de gelişmesine paralel olarak 20. yüzyıldan sonra endüstriyel anlamda ortaya çıkmış bir süreçtir. Hızla gelişmekte olan kurutma süreçleri, 1960'lı ve 1970'li yıllardaki Ortadoğu krizi ile birlikte fırlayan enerji maliyetleri yüzünden durağan bir hale girmiş ve endüstriyel süreçler arasındaki liderliğini kaybetmiştir. Artan enerji maliyetleri endüstriyel süreçlerin maliyet analizlerinin yapılmasına yol açmıştır (Traub, 2004).

Gıdaların kurutulması ile ilgili bilinen ilk kayıtlar 18. yüzyıla aittir. Daha sonraki dönemlerde Dünyada çıkan savaşlar nedeniyle, kurutma endüstrisi gelişmeye başlamıştır. İngiliz süvari birlikleri 1854–1856 yılları arasında Kırım'da iken, ülkelerinden kurutulmuş sebzeleri beraberlerinde getirmişlerdir. Boer Savaşı (1899–1902) süresince kurutulmuş sebzeler gemilerle Kanada'dan Güney Afrika'ya nakledilmiştir. Yine Birinci Dünya Savaşı süresince 4500 ton kurutulmuş sebze gemilerle taşınmıştır. 1919'lu yıllarda Amerika'da taze fasulye, lahana, havuç, kereviz, patates, ıspanak, tatlı mısır, şalgam ve çorbaya konulan sebzeler kurutularak işlenmeye başlamıştır (Vega-Mercado vd., 2001).

Bugün kurutulmuş ürünler taze ürün pazarına etkili bir alternatif olmuştur. Ülkemizde kurutularak değerlendirilen ürünlerin %63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve tüm ihracat gelirimizin %80'ini oluşturmaktadır. Kurutulmuş ürünler gerek kurutulmuş olarak tüketilmekte, gerekse hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda

kullanılmaktadır. Dünyada kurutulmuş ürün üretimi her geçen gün artmakta olup, bu üretimin büyük bölümü ABD (297,557 ton) ve Türkiye’de (190,000 ton) gerçekleşmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya’da 7.6 milyar dolar (1998’den bu yana) ve Çin’de 800 milyon dolar (1990’ların başından bu yana) olarak belirlenmiştir. Bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artarak koruması beklenmektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008).

2.2 Kurutma Yöntemleri

Gıda muhafaza yöntemleri gıda güvenliği açısından çok önemlidir ve ürüne uygun olmayan koruma ve muhafaza metodu tercih etmek ürün kalitesinde ve besin değerinde kayıplar yaratabilmektedir. Bu nedenle ürüne göre seçilecek kurutma yöntemi büyük önem taşımaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

2.2.1 Doğal Kurutma

Doğada kurutma olayı kendi kendine gerçekleşir. İnsanoğlu gıdaları kurutarak saklama yöntemini asırlardır bilmektedir. Marco Polo, uzak doğuya yaptığı gezilerinde Moğolların sütü güneşte kurutarak süt tozu yaptıklarını görmüştür. Tahılların tarlada başakların da kuruması, üzüm, kayısı, erik ve incir gibi meyvelerin serilerek güneşte kurutulması birçok ülkede hala uygulanmaktadır (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yönteme “doğal kurutma” denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması da doğru değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar önemli dezavantajlarıdır. Gıdaların doğal kurutulması için geniş alanlara gereksinim vardır. Kuruma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle %15 su oranından daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Soysal, 2004).

2.2.2 Yapay Kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine “yapay kurutma” denir. Yabancı dillerde örneğin İngilizce’de doğal kurutma konusunda “drying” terimi kullanılırken, yapay kurutma için “dehydration” terimi de kullanılmaktadır. Gıdaları kurutma yöntemi ile değerlendirmenin diğer yöntemlere göre bazı üstünlükleri vardır:

- Kuru maddede artış
- Kullanıma uygun (hazır) olma
- Dayanma süresinde artış
- Kitle yoğunluğunda olumlu değişiklik

Kurutulmuş gıdaların besin öğeleri zenginleşmektedir. Örneğin üzüm, erik ve incir kurularında yapıdaki şeker oranı yüksektir.

Mikroorganizmalar, gelişmeleri için gerekli olan besin öğelerini yeterli su varlığında almaktadırlar. Kurutma ile ürünlerin yapılarındaki su yeterli düzeylere alınarak kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar engellenmekte ve özellikle mikroorganizma faaliyetleri durdurulmaktadır. Kurutulacak üründe yapıda kalan son nem oranı %1–5 dolayındadır. Bu nedenle örneğin hazır kahve, portakal suyu tozu ya da kristalleri gibi ürünler oda sıcaklığında bir yıl ya da daha fazla dayanmaktadırlar.

Materyalin birim hacminin ağırlığına kitle yoğunluğu denir. Ürün kurutma ile ağırlık ve hacimlerde düşüş sağlanmaktadır. Örneğin %12 kuru madde içeren yaklaşık 1 kg portakal suyunun kurutulması sonucunda 125 g kuru madde elde edilmektedir. Yani ağırlık 1/8 oranında azaltılmaktadır. Bu azalma taşıma ve depolama yönlerinden önemlidir. Ancak bazı durumlarda örneğin, parça dana bifteğin doğal biçim ve ölçülerinde olması istenir. Bu durumda yalnızca ağırlık azalması sonucu taşımada ekonomi sağlanabilir. Bazı durumlarda ise taşımada ağırlık yerine hacim esas alınır. Bu takdirde dondurularak kurutma işlemi ve ambalaj masrafları daha yüksek olmaktadır (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.3 Kurutmanın Prensipleri

Kurutma teriminin en yaygın kullanım alanı katı maddelerden ısı yöntemleri ile uçucu maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır. Teknik anlamda; bir katının bünyesinde bulunan nemin bir gaz akımı içinde buharlaştırarak gaza geçirmek suretiyle alınmasına kurutma denir. Katı yüzeyine ısı transferi uygulayarak buharlaşma yoluyla kurutma sağlanır. Aktarılan ısı katının gözeneklerinden nemin buharlaşması için harcanır. Isı ve kütle aktarımının birlikte gerçekleşmesinden ötürü kurutma işlemi araştırmacıların ilgisini oldukça çekmektedir.

Katı bir maddenin kurutulması sırasında iki işlem aynı anda gerçekleşir:

- Sıvının buharlaşması için ısıнын kurutulan maddeye aktarılması işlemi
- İç sıvı ve buhar geçişi olarak gerçekleşen kütle aktarımı işlemi

Isı ve kütle aktarımı işlemlerinin ikisi de kurutma hızını etkileyen faktörlerdir. Bu iki olay incelenirken; katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi sırasında oluşan iç difüzyon ve kılcallık gibi koşullar ve kurutucu olarak kullanılan gazın hızı, sıcaklığı ve nemi gibi dış koşullar ele alınır.

Ticari kurutucuların tasarımıdaki öncelikli hedef, kurutucuda gerekli ısıнын en verimli şekilde kullanılmasıdır. Kurutucularda gerçekleşen ısı aktarımı kurutucu tipine göre değişmektedir ve taşınım, iletim, ışıınım veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir. Genelde ısı katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlarına doğru geçer. Sadece yüksek frekanslı elektrik akımlı kurutmada yüksek sıcaklık maddenin içinde oluşturulup dış yüzeye doğru akar ve bu sırada kütle aktarımı ile kurutma gerçekleşir (Başaran, 2006).

2.4 Kuruma Zamanının Belirlenmesi

2.4.1 Davranış Testi

Bir laboratuarda, ticari bir kurutucudaki koşulların sağlandığı durumlarda deneysel çalışmalar yaparak veya direkt olarak ticari bir kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde verimlilik verilerinin elde edilmesi ile kuruma zamanının belirlenmesidir.

2.4.2 Yapay Madde Testi

Eğer kurutulacak özel maddenin temini güçse, davranış testleri benzer özelliklerdeki yapay bir maddeye uygulanır.

2.4.3 Teorik Tahmin

Kurma zamanı literatürde verilen uygun eşitliklerin kullanımı ile teorik olarak belirlenebilir.

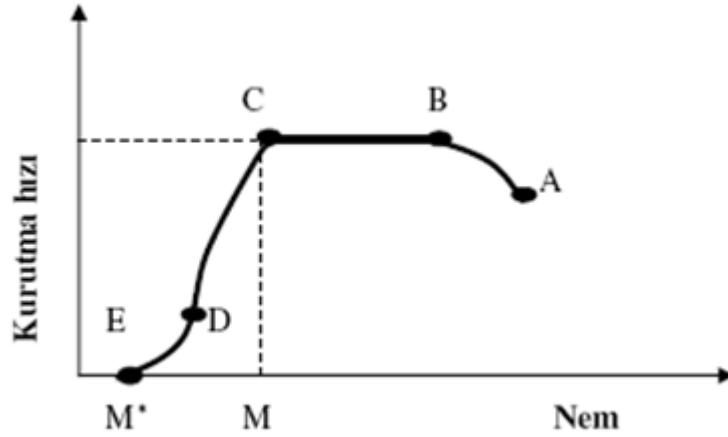
Ticari bir cihaz tasarlandığında, laboratuvar kurutucusundaki davranış testi, ticari kurutucudaki çalışma koşullarıyla benzeşir. Laboratuvar testlerinde kullanılan malzemelerin, ticari kurutucuda kurutulacak madde ile benzeşmesi (veya aynı malzeme olması) gerekir. Birçok denemedeki sonuçlar uygunluk için karşılaştırılır. Aksi durumda test sonuçları ticari malzemenin kuruma karakteristiklerini hassas olarak yansıtmayabilir (Özbalta ve Güngör, 1997).

2.5 Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları

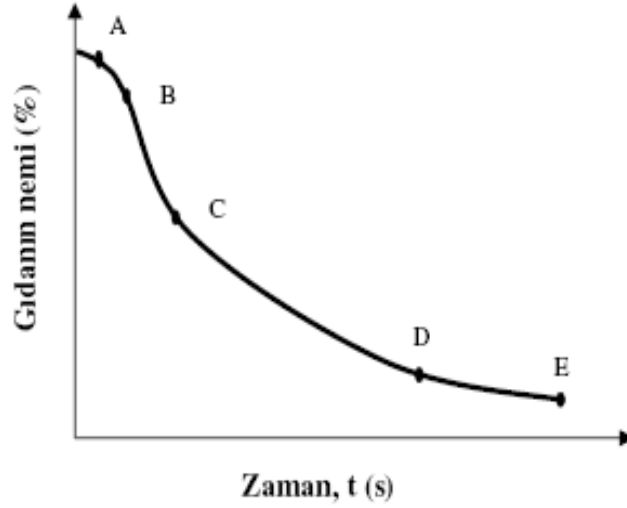
Pek çok gıdanın farklı koşullarda kurutulmaları sonucunda elde edilen kuruma eğrileri farklı olmakla birlikte genelde gıdaların kurutulması sırasında, 2 farklı kuruma periyodu

gözlemlenir. En başta kurumanın yüksek bir hızda gerçekleştiği ve nemin büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, daha sonra ise; su içeriğinin artık azalmış olmasından dolayı hızın yavaşladığı ve nispeten daha az suyun buharlaştırıldığı, uzun süre alan azalan hız periyodu gözlemlenir (Baker, 1997).

Kurutma işleminde, kurutulacak ürünün ağırlığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenerek (kuru madde baz alınarak) nem içeriği tespit edilir. Aşağıdaki Şekil 2.1’de değişim grafiği görülebilir. Bu grafikte C noktası kurutulacak olan ürünün özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını gösterir. Yüzeyde ilk kuru noktanın olduğu duruma kritik nokta adı verilir. Kritik nokta aynı zamanda, sabit kuruma periyodunun sonunu, azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını gösterir. Şekil 2.1 ve 2.2’de ise AB bölgesi ürünün ısınma süresini gösterir. BC bölgesinde buharlaşma ürünün yüzeydeki sıvı film tabakasıyla gerçekleşir. Şekil 2.1 ve 2.2’yi tekrar ele alırsak, kurutma hızı eğrisi çeşitli kuruma periyotlarını verir. Başlangıçta nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kurutma ilerledikçe doymuş halde bulunan yüzey alanı gittikçe azalır. Bundan sonra maddenin iç kısmındaki suyun buharlaşması takip eder. CD bölgesinde ise ürün yüzeyine difüze olan su buharlaşmaktadır. Bu nedenle BC bölgesinde kurutma hızı sabit olmakta, CD bölgesinde ise değişmektedir. DE bölgesi ürün içindeki suyun dışarı difüzyonunun azaldığı bölgedir (Başaran, 2006).



Şekil 2.1 Kurutma hızının değişimi (Başaran, 2006)



Şekil 2.2 Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi (Başaran, 2006)

2.5.1 Sabit Kurutma Hızı Periyodu

Sabit hızda kurutma periyodunda, katının yüzeyi ıslaktır ve kuruma yüzeyinde suyun ısıtma ortamına transferini sağlamak için bir film tabaka oluşmuştur. Gıdanın bünyesinde bulunan serbest haldeki su, bu film tabakası sayesinde yüzeyden havaya transfer edilir. Bu periyotta buharlaşma hızı, katıdan bağımsız ve aynı koşullardaki serbest haldeki suyun, buharlaşma hızı ile aynı değerdedir. Eğer gıdanın yapısı gözenekli bir yapıya sahip ise, sabit hızda kuruma periyodunda buharlaştırılan suyun büyük bir bölümü iç kısımlarda bulunan bünye nemidir. Sabit hızda kuruma periyodunda, kuruma hızı; kurutulan gıdanın dilim kalınlığına, sıcaklığa, toplam basınca ve kısmi buhar basıncına bağlı olarak değişir (Baker, 1997).

2.5.2 Azalan Kurutma Hızı Periyodu

Azalan kurutma hızı periyodunda, yüzeydeki ıslak alan sürekli azalır. Bu durumda kurutma hızı, ürünün iç gözenek yapısı ve katının içindeki nemin yüzeye doğru akmasına neden olan kuvvetlerin etkisi altındadır. Burada, hava hızının kuruma hızına etkisi daha azdır fakat katının içyapı özellikleri etkindir. Katı maddenin içindeki ıslak alan azalır, kuru alan arttığından ötürü, yüzeyin yaş hava sıcaklığında kalmaması söz konusudur. Bu nedenle, kurutma hızını hesaplamada katının nem dağılımı yanında sıcaklık dağılımının da göz önünde alınması gerekir (Başaran, 2006).

2.6 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Suyun gıdanın yapısından kurutma yöntemi ile uzaklaştırılmasında “ısı ve kütle aktarımı” ile ilgili iki temel olayın gerçekleşmesi gerekir.

- Ürünün ısıtılması
- Üründen su alınmasıdır.

Ürün kurutmada bütün çabalar ısı ve kütle aktarımı hızını arttırmak üzerinde birleşmelidir. Isı ve kütle atarım hızını etkileyen değişkenler; sıcaklık derecesi, kurutucu havanın nemi ve hızı, üründe maksimum yüzey alanı sağlayan geometrik şekil (parça büyüklüğü, şekli, kalınlığı), kurutma ortamının basıncı gibi fiziksel faktörler ve ürünün kendine özgü diğer özellikleridir.

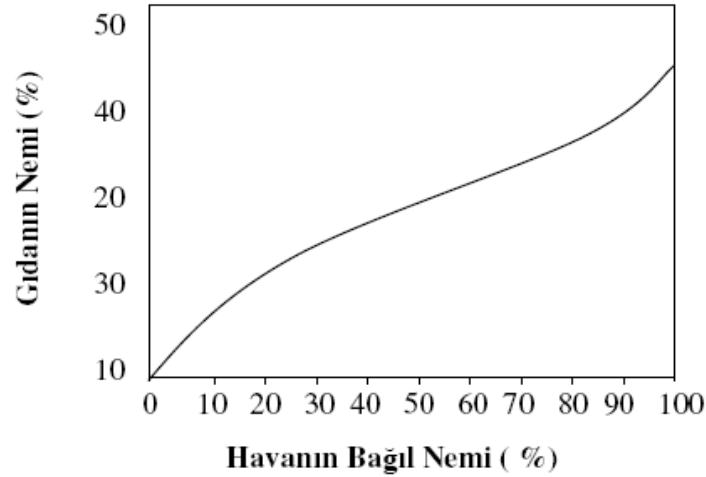
2.6.1 Sıcaklık Derecesi

Kurutma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki farktır. Bu fark arttıkça kurutma hızı da artar. Ancak, kurutmanın başlangıcında dereceler arasındaki farkın hıza etkisi çok belirginse de kurutma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki farkın artmasına karşın kurutma hızının aynı oranda artmadığı görülür. Diğer taraftan, yaş ve kuru termometre dereceleri farkı sabit kalmak koşulu ile kuru termometre derecesi daha yüksek olan havanın kullanılması halinde kurutma başlangıcında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmemesine karşın, kurutma ilerledikçe kuruma hızında bir artış oluşur.

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. Örneğin, doğru olarak tasarlanmış bir kurutucuda dört saat süre ile kurutulan sebze parçalarının, iki gün süreli güneşte kurutma işlemine kıyasla daha kaliteli oldukları saptanmıştır. Ürün yeterli büyüklükte parçalara bölünebilir nitelikte ise bir ya da birkaç dakika içinde kuruluğa ulaşılabilir (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

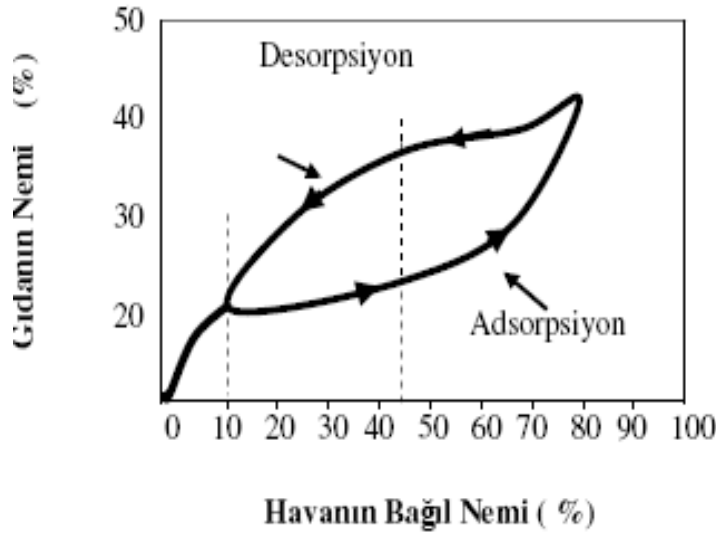
2.6.2 Havanın Nemi

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorpsiyon izotermi olarak adlandırılırlar (UNIDO, 2004a). Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi (Başaran, 2006)

Aslında gıda maddesinin nem alması (adsorpsiyon) ile nem vermesi (desorpsiyon) olayları aynı yolu izleyeceği için her iki eğrinin elde edilmesiyle sorpsiyon izotermi çizilmiş olur. Böyle bir sorpsiyon izotermi Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Desorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutulması işleminin izlenmesinde, adsorpsiyon izotermi kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile depolama koşullarının belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 2.4 Tipik bir ürün için adsorpsiyon ve izotermi örneği (Başaran, 2006)

2.6.3 Havanın Hızı

Isı ve kütle aktarımı hızını etkileyen bir diğer değişken kurutucu havanın hızıdır. Hareket halinde ya da yüksek hızlı hava, nemin kurumakta olan yüzeyden uzaklaşmasını ve ürün yüzeyindeki atmosferin doymun hale gelerek kurutmayı yavaşlatması olayını ortadan kaldırır.

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 (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.6.4 Yüzey Alanı

Kurutulacak gıdanın birim yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer değişkendir. Daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Böylece nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olur. Çok ince dilimlerin seçilmesinin gıdanın yanmasına neden olma ihtimali olduğundan, kullanılabilecek optimum dilim kalınlığı seçilmelidir.

Küçük parçacıklar ya da ince dilimler, ısıнын kurutulan gıdanın merkezine ilerleme süresini kısaltarak daha kısa zamanda gıdanın neminin uzaklaştırılmasını sağlar. Gıdanın kuruma hızı, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak, gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişir (Heldman ve Hartel, 1997).

2.6.5 Ortamın Basıncı

Bilindiği gibi su, 760 mm atmosfer basıncında 100°C'de kaynar. Bu değerin altındaki basınçlarda kaynama olayı daha düşük derecelerde oluşur. Bir başka deyişle, kaynama derecesi sabit tutularak basınç düşürüldüğü sürece kaynama işlemi hızlanacaktır. Ürünü atmosfere kapalı bir ortama koyarsak ürünündeki su daha düşük sıcaklık derecelerinde uzaklaştırılabilir. Bu olay, ısıya duyarlı ürünlerde düşük kurutma dereceleri ve kısa süreli kurutma yönünden önem taşır (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.6.6 Kurutulan Gıdaya Özgü Özellikler

Kurutma işlemine etki eden faktörlerden birisi de kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir. Üstelik bu nitelikler kuruma boyunca değişip durur. Bu hususta ürünün kimyasal bileşimi özellikle önem taşır. Eğer şeker, tuz ve benzerleri gibi küçük molekülü erimiş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Bilindiği gibi çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısı ile suyun buharlaşmasını güçleştirmektedir.

Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli bir faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan, böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür.

Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Nitekim serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklarla adsorpsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin ve diğer gam maddelerince oluşturulan kolloidal jel içinde tutulan su ise daha da zor uzaklaşmaktadır. Bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidratta olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin, suyu bağlama şekli üzerinden kuruma hızına etki ettiği görülmektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.7 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Kimyasal ve Fiziksel Değişmeler

Gıdaları kurutma yöntemi ile değerlendirmenin üstünlüklerine rağmen renginde, yapısında, tadında, beslenme değerlerinde, viskozitesinde ve depolama stabilitesinde bazı olumsuzluklar gözlenebilir. Kurutma koşulları ve sistemlerinin yanlış seçimi ve uygulanması sonucunda oluşan bu olumsuzluklar aşağıda belirtilen şekilde özetlenebilir:

- Kabuk bağlama
- Renk esmerleşmesi
- Kitle yoğunluğunda olumsuz değişiklik
- Beslenme değerlerinde kayıp
- Mikroflorada olumsuz değişikliklerdir.

Kabuk bağlama, kurutmanın başlangıcında yüksek sıcaklık uygulanmasından kaynaklanır. Yüzeyde oluşan kuru tabaka kurutma hızını zamansız azaltır. Alt tabakadaki su, kuruyup sertleşen tabakayı aşamadığından ürünün içi çoğu kez nemli kalır.

En önemli olumsuzluk renk esmerleşmesidir. “Maillard Tepkimesi” adı verilen renk esmerleşmesinde şekerlerin aldehit ve proteinlerin amino grupları rol oynar. Daha çok enzimatik olmayan bu esmerleşme tepkimeleri sıcaklık dereceleri arttıkça ve tepkimeye giren öğelerin ortamdaki konsantrasyonları yükseldikçe hızlanmaktadır. %2 nemin altında esmerleşme tepkimeleri olmazken %15–20 arasında Maillard tepkimeleri en hızlı şekilde oluşur. Depolamada her 10°C sıcaklık artışının, esmerleşme tepkime hızının (ürünün su oranına bağlı olarak) 6–8 kat artışına sebep olduğu anlaşılmıştır.

Gıdalar genelde elastik özellik gösterir. Üründen uzaklaşan su miktarı ile büzüşme arasında doğrusal bir ilişki yoktur çünkü gıdalar kusursuz bir elastikiyete sahip değildir. Her ürün, kurutmada uygulanan koşullara bağlı olarak bir büzüşme özelliği taşır. Koşullar uygun olduğunda tüm kitle kurur ve düzgün buruşma olur. Böyle bir ürünün kitle yoğunluğu yüksektir. Ancak, yüzeyde aşırı bir kurutma oluşacak şekilde bir uygulama yapılırsa üst tabakalar, daha sonra kurutulacak olan alt tabakalar üzerine çökemezler ve bu durum içeride boşluk ve çatlamalara neden olur. Böyle ürünlerde kitle yoğunluğu düşüktür. Kitle yoğunluğu düşük olan ürünler tekrar su alma (rehidrasyon) yeteneklerinin iyi olması ve fazla görünümde olmaları yönünden tüketici tarafından beğenilir. Olumsuz yönleri ise ambalaj ve depolama maliyetlerinin yüksek, depolama stabilitelerinin düşük olması ve rehidrasyon sonunda dağılmasıdır.

Kurutulan ürünlerde bir diğer olumsuz yön ise gerek kurutma işlemleri sırasında gerekse depolama esnasında ürünün beslenme değerinde bazı kayıplar olmasıdır. Bazı ürünlerde suda eriyen öge ve vitaminlerde azalma görülür.

Diğer taraftan kurutma işlemi, ürünün mikroflorasını olumsuz yönde değiştirebilmektedir. Örneğin bazı patojenik mikroorganizmalar uzun süre canlı kalmakta, gıda zehirlenmesi yapan bazı mikroorganizmalar yaygın olarak bulunabilmektedir (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.8 Kurutma Sistemleri

Kurutulan gıdalardan istenilen niteliklerin istenilen anlamda oluşmasını sağlamak için makine, ekipman ve tesislerin tasarımı, seçimi, kurulumu ve işletilmesi sırasında kurutma konusu ile ilgili tüm ilkeler göz önüne alınmalı ve değişkenler arasında optimum seçimler yapılmalıdır. Tüm çabalar, en az ürün zararı ile maksimum kurutma oranını en ekonomik koşullarda gerçekleştiren ve sonuçta rehidre özelliği üstün olan ürünü çıkarabilen sistem üzerinde yoğunlaştırılmalıdır.

Sıvı, yarı sıvı ve katı gıdaların kurutulması amacıyla yapılmış olan kurutucular birkaç temel yönteme dayanan makine ve ekipmanlardır. Buna karşın son üründen istenilen nitelikler; en az ürün zararı, üstün rehidrasyon özelliği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler, kurutucuların tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çok çeşitli tiplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.8.1 Sıcak Havalı (Konveksiyon) Kurutucular

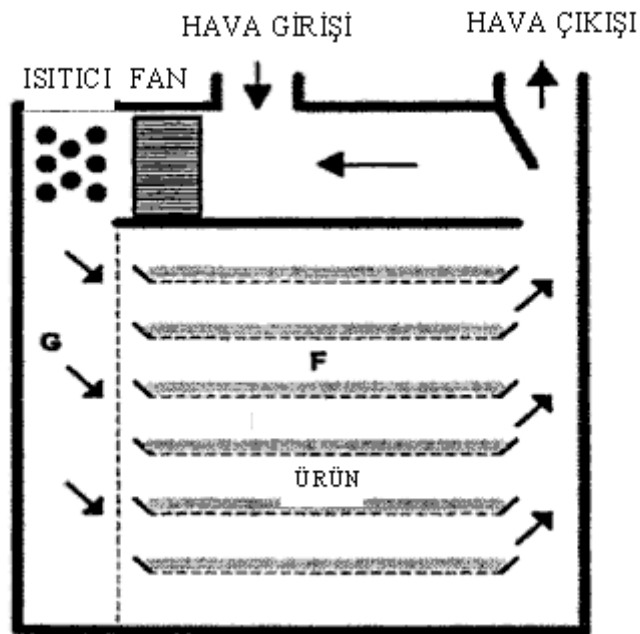
Doğrudan temaslı (direkt) kurutucular olarak da bilinmektedir. Bu kurutucularda, kurutma gazı/havası doğrudan kurutulacak madde ile temasa getirilmektedir. Sıcak gazın, kurutulacak madde ile doğrudan temas etmesi nedeniyle kuruma daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Gazın kurutulacak maddeyi kirletmesi söz konusu olmadığı uygulamalarda bu tip kurutucular kullanılmaktadır [1].

2.8.1.1 Fırın Tipi Kurutucular

Fırın kurutucular, hava taşınımı kurutucuların en basit tipidir. İki katlı kurutucuda, altta bir fırın ya da brülör ile ısıtılan hava, tabanı ızgaralı olan ikinci kata yükselir. Izgaralar üzerine serilmiş olan ürün ara sıra karıştırılır. Genellikle elma dilimlerinin kurutulmasında kullanılan bu kurutucularda nem oranı %10'un altına düşürülememektedir (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.8.1.2 Kabin Kurutucular

Kurutma kabini kurutulacak olan maddeler kurutma havası ile temas yüzeyini arttıracak şekilde tepsilere yerleştirilmektedir. Tepsiler, ürünün kurutma havasıyla temas ettiği, kurutucu bölüme sürülmektedir (UNIDO, 2004b).



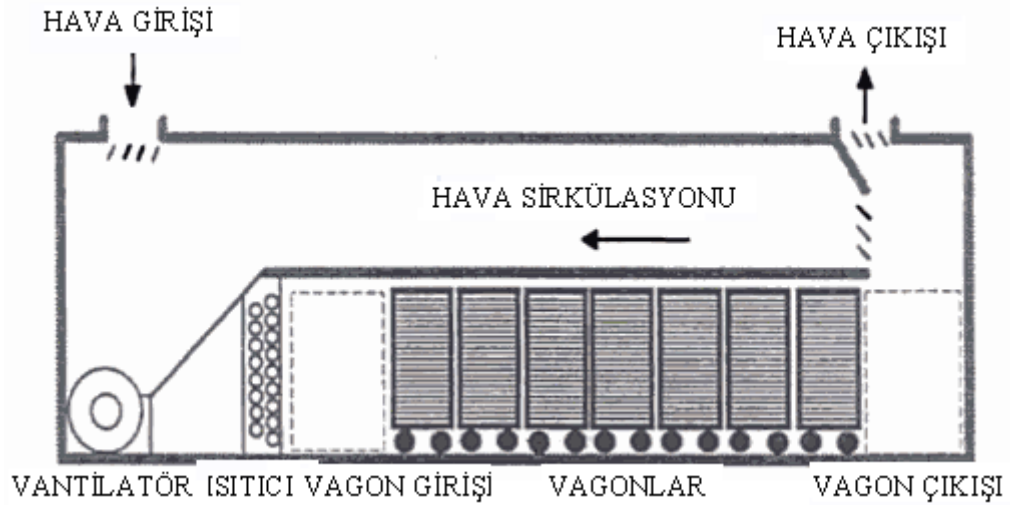
Şekil 2.5 Kabin kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

Kabin tipi kurutucular (Şekil 2.5) daha çok taneli ve dilimlenmiş ürünler için (fındık, ceviz, elma, erik, mantar) uygun olup, raflar üzerine serilerek kurutulmaktadırlar. Bu tip kurutucularda ürüne göre belli bir hava hızı uygulanmakta olup, ürün kısa kurutma süresine sahiptir (Olgun ve Rzayev, 2000).

2.8.1.3 Tünel Kurutucular

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu (Şekil 2.6) modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava yanma gazları fan yardımıyla sistemde dolaştırılır. Malzeme raf veya bantlar üzerinde kurutulur. Hava akımı, malzeme ile paralel zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulaması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir.

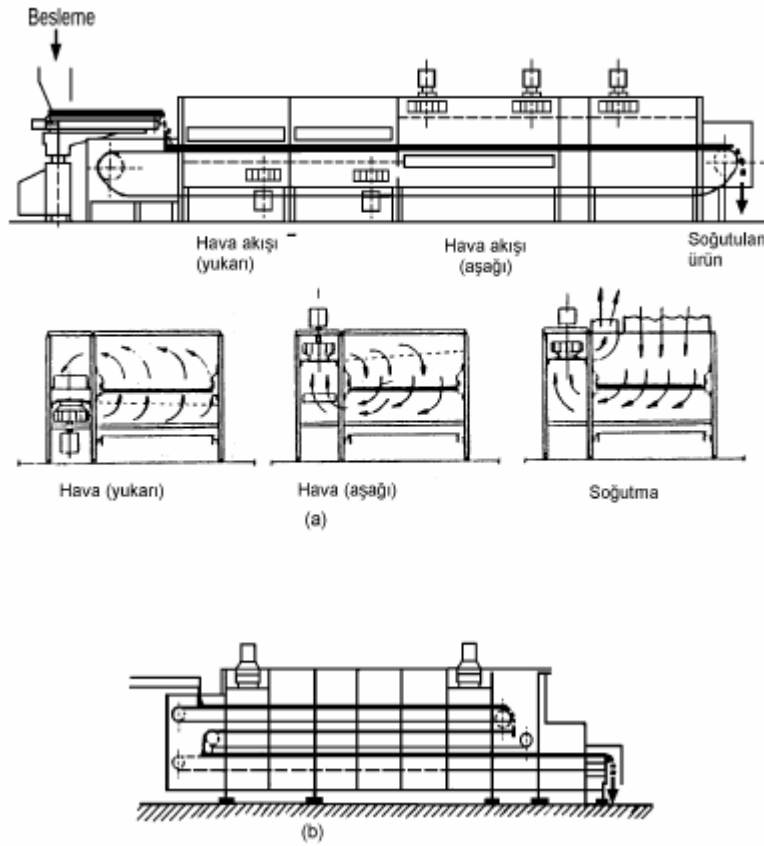
Tünel kurutucularda değişik hava hız ve yönü, sıcaklık, nem uygulamaları mümkündür. Giriş ve çıkışta sıcak hava kayıplarını önlemek için gereken önlemler alınmalıdır (Özbalta ve Güngör, 1997).



Şekil 2.6 Tünel kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

2.8.1.4 Bantlı Kurutucular

Bu kurutucular, sürekli çalışan doğrudan temaslı kurutuculardır. Temel olarak hareketli bir banttandır (konveyörden) oluşmaktadırlar. Bant açık, yarı açık veya tümü ile kapalı bir tünelin içinde olabilir. Şekil 2.7’de bant tipi bir kurutucu görülmektedir.



Şekil 2.7 Bant tipi kurutucu [1]

Bu sistemlerin en önemli özelliği, kurutulacak maddenin fazla hırpalanmadan kurutulması ve proses koşullarının kolayca ayarlanabilmesidir. Kuruma süresi uzun olan maddeler söz konusu olduğu durumlarda, üst üste konuşturılmış bir dizi bant içeren kurutucular kullanılmaktadır.

Bu kurutucularda, malzeme üst banttı bir alttaki banta akarak kurutucu içinde yol alır. Sıcak gazlar ise bantlara paralel ve/veya dik yönde hareket eder. Bu kurutucularda, bantların üstündeki tipik malzeme tabakasının kalınlığı 100 mm civarındadır. Ancak bu kalınlık, koşullara bağılı olarak 1 m'ye kadar çıkabilmektedir. Bantların kapasitesi ise 600 kg/m^2 , değerlerine kadar ulaşmaktadır. Bu kurutucular, granüler ve pasta şeklindeki çok sayıda maddenin kurutulması için kullanılmaktadır [1].

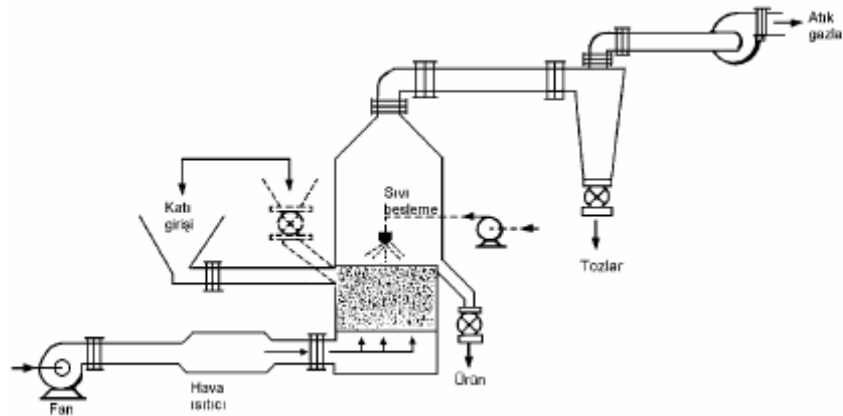
2.8.1.5 Akışkan Yatak Kurutucular

Akışkan yatak kurutucular gerçekte, tekne şeklindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş tipleridir. Tekne şeklindeki bantlı kurutucularda, tekneyi oluşturan elek şeklindeki bant, yavaş bir hızla sonsuz bir dönüş yaparken, tekne içinde kurumakta olan materyal sürekli olarak

hareket halinde kalır. Böylelikle parçacıklar hızla kururlar. Bu kurutucularda 135°C'ye kadar sıcak hava kullanılarak sebzelerin nem düzeyi hemen hemen 1 saat gibi bir sürede %5–7'ye düşürülebilmektedir. Bu kurutucularda meyveler öz suyunu vererek birbirlerine yapışıp bir kitle haline dönüştüğünden, bu sistem meyve kurutmaya elverişli değildir.

Akışkan yatak kurutucular, kısaca tanımlanan bu tekne şeklindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş bir tipidir. Bunların yapı ve ilkeleri aynen gıdaların dondurulmalarında kullanılan akışkan yatağa benzer. Bunlarda; kurutulacak ürün, alttan yüksek bir hızla verilen sıcak hava ile adeta askıda kalır, akışkan bir yatak halinde bulunur (Şekil 2.8). Bu durumda parçacıkların akışkan kalabilmesi için, havanın belli bir hızda verilmesi gerekmektedir. Nitekim 1 cm boyutlarında küp şeklinde doğranmış elma ve patateslerin havada akışkanlık kazanabilmesi için hava hızının 19 m/s kadar yüksek olmasının zorunlu olduğu saptanmıştır.

Hızlı bir kurumanın sağlandığı bu kurutucularda; tahıllar, bezelye ve diğer parça halinde sebzeler başarı ile kurutulabilmektedir (Cemeroğlu ve Acar,1986).



Şekil 2.8 Akışkan yataklı kurutucu (McKetta, 1983)

2.8.1.6 Sandık Kurutucular

Özellikle sebzelerde, kurutmanın son aşamasında tünel ve bantlı kurutucularda kurutulmuş ürünün son nem oranına düşürülmesi amacıyla kullanılırlar. Ana kurutucudan genellikle %10–15 nemli çıkan ürün, sandık kurutucularda %3–6 nem düzeyine kurutulur.

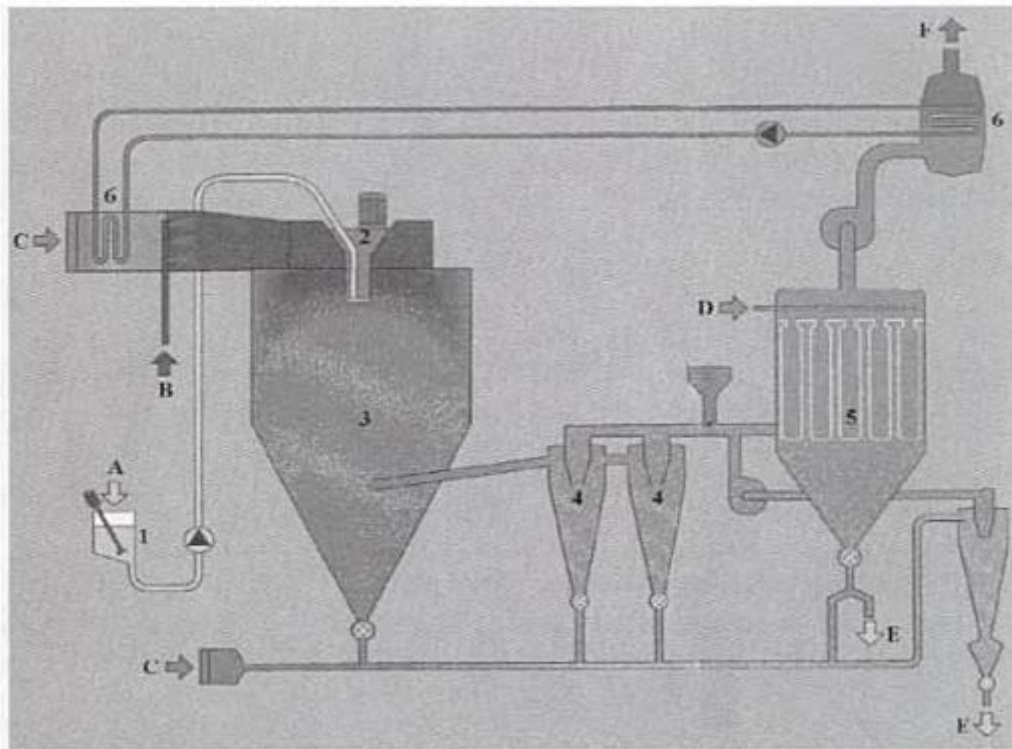
Sandık kurutucularda çalışmada önemli olan, verilen havanın sıcaklık derecesi ve bağıl nemin doğru seçimidir. Sıcaklık genel olarak 40–45°C'dir. Bağıl nem ise; havanın bulunduğu sıcaklık derecesindeki su buharı basıncı, kurutulan üründe ulaşılan nem düzeyinde iken

göstereceği su buharı basıncından daima düşük olacak bir nem düzeyinde olmalıdır. Aksi halde kurutma gerçekleşmez (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.8.1.7 Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Şekil 2.9'da bir püskürtmeli kurutucu görülmektedir. Kurutulan ürünler üniormdur 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. Isıl verimlilik kurutma ortamı giriş sıcaklığı ile arttığından, yüksek sıcaklıklar tercih edilir.

Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı malzemelerin kurutulması için de uygundur. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenebilen toz halindeki malzeme siklon seperatör veya torba filtrelerde 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 (Özbalta ve Güngör, 1997).



Şekil 2.9 Püskürtmeli kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

A: ürün girişi, B: doğalgaz, C: hava girişi, D: basınçlı hava, E: ürün çıkışı, F: hava çıkışı, 1: besleme tankı, 2: atomizör, 3: püskürtme odası, 4: siklon, 5: filtre, 6: ısı değiştirici

2.8.2 Valsli Kurutucular

Bu kurutucularda ilke, içten ısıtılan bir silindirin (vals) sıcak bir yüzeyinde ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıdanın, silindirin yaklaşık 300° lik dönüşü sırasında yüzeyde kuruması ve buradan kazınıp alınmasıdır. Silindirler; içeri verilen buhar, sıcak su veya ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılabilir. Valsli kurutucularda daha çok patates püresi gibi sebze püreleriyle, domates salçası kurutulur. Çeşitli tipte valsli kurutucular vardır. Ancak genellikle tek valsli kurutucular ve çift valsli kurutucular olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Tek valsli kurutucularda vals hafifçe kurutulacak sıvıya değmekte olup, vals üzerinde ince bir film bu yolla oluşmaktadır. Bazı tek valsli kurutucularda ise, kurutulacak ezme veya sıvı haldeki madde, ikinci ve fakat küçük bir vals ile kurutucu vals üzerine yayılmaktadır.

Çift valsli kurutucularda ise, iki vals yan yana paralel olarak yerleştirilmiş olup, valsler birbirlerine doğru dönerler. Beslenme yukarıdan iki vals arasına yapılır. İki valsın birbirine olan aralığı aralanmak suretiyle, sıcak yüzeydeki film kalınlığı kontrol altında tutulabilmektedir. Eğer çift valsli kurutucularda valsler zıt yönde dönerlerse, bu tip çift valsli kurutuculara “ikiz vals” denir. Bu durumda beslenme şüphesiz alttan yapılır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.8.3. Vakum Kurutucular

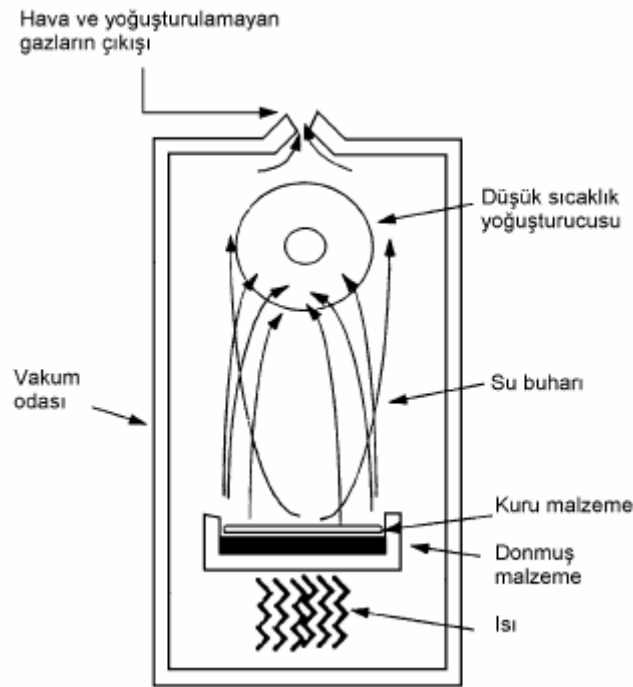
Vakum kurutma alternatif bir kurutma metodu olup, özellikle meyveler gibi uzun sürede kuruyan gıda ürünleri için kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmalar bu metodun, kurutma işlem süresini diğer metotlara nazaran çok kısalttığını göstermiştir. Vakum, gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha da önemli olan 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 (Erbay ve Küçüköner, 2008).

2.8.4 Dondurarak Kurutucular

Geleneksel kurutma yöntemi ile kurutulması sakıncalı olan sıcaklığa çok hassas bazı biyolojik maddeler, ilaçlar ve gıda maddeleri dondurarak kurutulabilir. Kurutulacak madde genelde donmuş haldedir. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi, dondurarak kurutma işleminde, su veya herhangi bir çözücü, vakum ortamında bulunan maddeden süblimasyon ile buhar olarak ayrıştırılır. Süblimasyon ile buhar olarak ayrıştırılan çözücü, kurutma işleminin meydana geldiği odadan uzaklaştırılır.

Diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında kural olarak en kaliteli ürün dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilebilir. Burada en önemli faktör olan yapısal sertlik, süblimasyonun meydana geldiği yüzeyin donmuş olmasıyla sağlanmaktadır. Bu yapısal sertlik, kurutma işleminden sonra, kurutulmuş maddenin şeklinin bozulmasını da önler. Sonuç olarak dondurarak kurutulmuş maddeye tekrar su ilave edildiğinde büzülmemiş gözenekli yapısı sayesinde hızlı bir şekilde bünyesine su alarak (rehidrasyon) kurutma öncesi yapısına çok yakın bir yapıya ulaşır.

Dondurarak kurutulmuş gıda ve biyolojik maddelerin diğer bir avantajı da kurutma işlemi sırasında çok az tat ve aroma kaybına uğramalarıdır. Sıcaklığın çok düşük olması, bağıl nemin düşük olması, lokal olarak su kaybının çok hızlı olması, diğer geleneksel kurutma yöntemlerine göre enzimatik olmayan kararma; gıdanın yapısındaki proteinlerin bozulmasını ve enzimatik reaksiyonları minimuma indirir (Kayhan, 2008).



Şekil 2.10 Dondurucu kurutucu [1]

2.8.5 Mikrodalgalı Kurutucular

Mikrodalgalı kurutma tekniğinin esası ürün içerisindeki su moleküllerinin polarize edilerek, hızla hareket etmelerini sağlamak ve bu suretle ortaya çıkan moleküler sürtünmeyle ısıyı ortaya çıkmasını sağlamaktır. Mikrodalgalı kurutmada enerji, materyalin derinliklerine kadar inebilmelidir. Aksi durumda kurutulacak ürünün sadece yüzeyi ısınır. Isının etkileyebileceği

derinlik, dalga boyuna, dielektrik sabitine ve kayıp faktörüne bağlıdır. Dalga boyu küçüldükçe ve frekans arttıkça ürüne girme derinliği azalmaktadır.

Kurutma sırasında doğrudan su moleküllerinin ısıtılıp buharlaşmasıyla kurutma etkinliğinin yüksek olması, kurutmanın normal atmosfer basıncı altında yapılması sebebiyle üründe yapısal bozulmalar olmadan kurutma homojenliğinin sağlanır. Suyun ürün içerisinde buharlaşıp, yüzeye kadar buhar fazında taşınması, erimiş maddelerin taşınmadan oldukları yerde kalmaları gibi avantajlar mikrodalga kurutma yöntemini giderek daha çok tercih edilen sistem haline getirmiştir (Erdem, 2007).

2.9 Kurutucuların Sınıflandırılması ve Seçimi

Bir kurutma sisteminin seçimi genel işlem sıralaması aşağıdaki gibidir:

- Uygun kurutucuların incelenmesi
- Değişik tiplerin ön maliyetlerinin tahmin edilmesi
 - a. Yatırım maliyeti
 - b. İşletme maliyeti
- Prototip veya laboratuvar ünitesinde kurutma testi davranışları en uygun cihazın tipini belirleyebilir. Bazen bir örnek tesisle bu doğrulanabilir.
- Kurutma deneylerinde kurutulan ürünlerin örnek ve kalitelerinin belirlenmesi
- Ürün kalitesi, göz ardı edilemez
- Tozlanma, çözücü veya diğer ürün kayıpları
- Hacim sınırlamaları (kaplanan yerin büyüklüğü)
- Ürünün yığın yoğunluğu, paketleme maliyetlerini etkiler.

Değişik gereksinimler kurutucunun tasarım esaslarını belirler. Örneğin ürünün kurutucuda taşınması çok önemli olup kurutucuda kalma süresiyle yakından ilgilidir. Ürünün başlangıçtaki durumu (sıvı, pasta, katı, toz, granüler, levha v.b.) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir (Başaran, 2006).

2.10 Kurutucuların Ön Seçiminde Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler

- Temin edilen materyalin özellikleri
 - a) Islak durumdayken fiziksel karakteristikleri

- b)** Kuru durumdayken fiziksel karakteristikleri
- c)** Korozyon etkisi
- d)** Tutuşabilirlik
- e)** Zehirlilik
- f)** Parça büyüklüğü
- g)** Aşındırıcılık
- Materyalin kuruma karakteristikleri
 - a)** Nemin tipi (bağlı nem, bağısız nem veya her ikisi)
 - b)** Başlangıç nem miktarı
 - c)** Son nem miktarı
 - d)** İzin verilen kurutma sıcaklığı
 - e)** Farklı kurutucular için muhtemel kuruma zamanı
- Materyalin kurutucuya ve kurutucudan akışı
 - a)** Birim zamanda kütleli debiler
 - b)** Sürekli veya kesikli işlem
 - c)** Kurutma öncesi işlemler
 - d)** Kurutma sonrası işlemler
- Ürün Kalitesi
 - a)** Büzülme
 - b)** Bulaşma
 - c)** Son nem miktarının kararlı dağılışı
 - d)** Ürünün bileşimi
 - e)** Aşırı kuruma
 - f)** Ürün sıcaklığı
 - g)** Yığın yoğunluğu
 - h)** Alt kısmın durumu

- Geri kazanım problemleri
 - a) Toz geri kazanımı
 - b) Çözücü geri kazanımı
- Öngörülen yerleşim yerinde mevcut olanaklar
 - a) Hacim
 - b) Havanın sıcaklık, nem ve temizliği
 - c) Mevcut yakıtlar
 - d) Mevcut elektrik gücü
 - e) İzin verilen gürültü, titreşim, toz veya ısı kaybı
 - f) Islak ürün beslemenin tipi
 - g) Çıkan eksoz gazları

Kurutma amaçlı temin edilen ıslak maddenin ve kuru halin fiziksel durumu en başta ele alınması gereken bir özelliktir. Sıvı, katı, kristal, taneli yapı veya levha yapıda bulunma gibi özellikler kurutucu seçimini etkileyecektir.

Uygun kurutucu tiplerinin ön seçiminden sonra tüm analizler boyut ve maliyetler üzerine yoğunlaştırılır. Bu değerlendirme için bilgiler kurutucu tiplerindeki malzeme kullanımlarıyla belirlenebilir veya üretici firmalardan sağlanabilir. Kurutucu verimliliğiyle ilgili faktörler bu değerlendirmede özel bir önem taşır. Seçilen kurutma sisteminin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve kurutma öncesi ve sonrası işlemleri, (örneğin filtreleme, öğütme, konveyörle taşıma v.b. gibi), azaltma olanakları da araştırılır. Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikrodalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir (Özbalta ve Güngör, 1997).

2.11 Kurutma Süreçlerinin Kontrolü

Gıda endüstrisindeki biyolojik ürünlerin kurutma süreçlerinde ulaşılması gereken birçok hedefi sıralamak mümkündür:

- Makinelerin üretim verimini arttırmak,
- İşçilerin üretim verimini arttırmak,

- Ürün kayıplarını azaltmak,
- Ürün kalitesinin belirli bir çerçeve etrafında koruyabilmek (renk, tat, koku, yumuşaklık v.s.),
- Sürecin ve makinelerin esnekliğini arttırmak,
- Biyolojik ürünlerin doğal değişkenliklerinin etkilerinin azaltmak,
- Biyolojik ürünlerin doğal bozulma etkilerini azaltmak,
- Üretim ve sürecin hijyenliğini arttırmak.

Yukarıdaki hedefleri yakalayabilmek için kurutma süreçlerinde kullanılan birçok kontrol uygulaması vardır: PD, PI, PID, optimal kontrol, model tabanlı öngörülü kontrol, bulanık kontrol, yapay sinir ağları ile kontrol, v.s.

Kurutma süreçleri, genellikle ürünleri daha kısa sürede kurutabilmek için yüksek enerji maliyetleri ile karşımıza çıkmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda özellikle biyolojik ürünlerin kurutulmasında ürün aktivitesi düşmektedir. Kurutma sürecinin enerji maliyetini minimize etmek, ürün kalitesini istenen seviyede tutmaya çalışmak ve arzu edilen nem oranı değerine en kısa sürede ulaşabilmek için öncelikle bir optimizasyon probleminin tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanan optimizasyon probleminin çözüm sınırları belirlenmeli ve bu sınırlar dâhilinde çözüme ulaşılması hedeflenmelidir (Yüzgeç, 2005).

3. KIRMIZIBİBER VE BEZELYE

3.1 Kırmızıbiber

Anavatanı Orta ve Güney Amerika olan biber (*Capsicum annuum*), kültüre alınan en eski bitkiler arasındadır. Biber Amerika'dan Avrupa'ya, ilk kez 1493 yılında İspanya'ya, daha sonra, 1548 yılında İngiltere'ye ve 1578 yılında ise orta ve diğer Avrupa ülkelerine yayılmıştır. Osmanlı imparatorluğu döneminde özellikle 16. yy içerisinde Orta Avrupa ülkeleri ile kurulan sıkı ilişkiler nedeni ile biber ilk önce İstanbul'a getirilmiş, daha sonra diğer bölgelerimize yayılmıştır.

Kırmızıbiber (Şekil 3.1) gıda sanayinde baharat, oleorezin veya ekstrakt, başta et ürünleri ve çorbalar olmak üzere, fırın ürünleri, baharat karışımları, çeşni ürünleri, sos, şekerleme, alkolsüz içecek, sebze, dondurma, çiklet ve turşularda kullanılır.

100 g kuru kırmızıbiber; 318 kcal enerji, 148 mg kalsiyum, 76 mg C vitamini, 8,1 g su, 2014 mg potasyum, 12 g protein, 293 mg fosfor, 15 mg B3 vitamini, 17,3 g yağ, 152 mg magnezyum, 2 mg B2 vitamini, 56,6 karbonhidrat, 30 mg sodyum, 1 mg B1 vitamini, 24,9 g lif, 8 mg demir yanında acılık (*capcaicin*), renk (*capsanthin*) maddesi gibi organik bileşikler içerir (Duman vd., 2002).

Biber bitkisinin, türlere göre değişmekle birlikte, uzunca oval biçimli ve kenarları düz olan yapraklarının rengi, yeşilin açıktan koyuya kadar değişen tonlarında olur. Yaz aylarında açan küçük çiçekleri, beyaz ve ender olarak menekşe rengindedir. Biber meyveleri renk, biçim, büyüklük ve tat bakımından türlerine göre büyük farklılıklar gösterir. Meyvenin içindeki kirli beyaz renkli ufak tohumlar bir boşlukla meyve kabuğundan ayrılır (Erdem, 2007).



Şekil 3.1 *Capsicum annuum* L.'nin genel görünümü [2]

3.1.1 Kırmızıbiberin Beslenme ve İnsan Sağlığı Yönünden Önemi

Yapılan pek çok araştırmada doğadaki bitkilerin, birçok hastalığın tedavisinde veya önlenmesinde önemli etkileri olduğu bildirilmektedir. Kırmızıbiber de sebze ve tıbbi bitki olmasının yanı sıra gıdalarda tat ve renk verici bir doğal kaynak olarak halk arasında uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Kırmızıbiber, ülkemizde Kahramanmaraş bölgesinde oldukça bol yetişen ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde tüketimi oldukça yaygın olan bir bitki türü olup; halk arasında astım, romatizma, nevralji, lumbago ve farenjit gibi birçok hastalığı önleyici ya da tedavi edici ve iştah arttırıcı özelliği olduğuna inanılmaktadır. Kırmızıbiberin ağrı kesici özelliği olduğu da bildirilmektedir (Arıkan, 2004).

Yapılan çeşitli çalışmalarda biberin kandaki kolesterolü ve trigliserid değerlerini azaltmak yoluyla, ateroskleroz gelişme riskini azalttığını göstermektedir (Kawada vd., 1986).

3.1.2 Dünyada ve Türkiye’de Kırmızıbiber Üretimi

Kırmızıbiber dünyada en yaygın tüketilen ve ticarete önemli yeri olan baharatlardan biridir. Türkiye’de önemli kırmızıbiber üreticisi ülkeler arasında yer almakta olup, kırmızıbiber verimi dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye’de Güneydoğu, Akdeniz ve Ege bölgeleri başlıca kırmızıbiber tarımı yapılan bölgelerdir. Türkiye üretiminin %76,5’i Güneydoğu %17,5’i Akdeniz, %6’sı Ege bölgelerinde gerçekleşmektedir.

Türkiye’de biber yetiştiriciliği özellikle kuru kırmızıbiber üretimi için yapılmakta, baharat ürünü olan pul ve toz biber üretiminde kullanılmaktadır. Pazara uygunluk bakımından da en iyi kırmızıbiber tipi Kahramanmaraş yöresinde yetiştirilmektedir. Kırmızıbiber, yurdumuz iç pazarı için gerekli olduğu kadar, yabancı ülkelere yapılan dış satım potansiyeli açısından da ekonomik bir öneme sahiptir.

Türkiye önemli kırmızıbiber üreticisi ülkeler arasında yer almakta olup, kırmızıbiber verimi dünya ortalamasının üzerindedir. Kırmızıbiber iç pazar için gerekli olduğu kadar, dış ülkelere yapılan ihracat potansiyeli açısından da ekonomik öneme sahiptir. Kırmızıbiberin kurutulmuş ve öğütülmüş şekilde (pul ve toz biber olarak) ihracatı yapılmaktadır.

Yıllara göre ihracattaki düşüşün nedeni ise; ihraç edilen kırmızıbiberlerde kanserojen etkiye sahip aflatoksin oranının yüksek bulunmasıdır. Macaristan hariç tüm biber üreticisi ülkelere aflatoksin problemi vardır. Bu hastalık sebebiyle üretici ülkelerin çoğu gelişmiş ülkelere ürün satmakta problem yaşamaktadırlar. Ülkemiz ve Kahramanmaraş ili de çok önemli ihracat fırsatını aflatoksin problemi sebebiyle kaçırmaktadır. Bu fırsatı modern üretim teknikleri ile biber imalatı yapan Macaristan değerlendirerek, dünya pazarında önemli derecede söz sahibi

olmuştur. Fakat bu biber, Kahramanmaraş kırmızı biberi ile kıyaslandığında başta renk, aroma ve acılık oranı itibarıyla daha düşük kalitededir. Ülkemiz biber ihracatında çok önemli döviz elde etme şansına sahip olmasına rağmen gereken ilginin gösterilmemesi sebebiyle sektör istenen ve beklenen konuma bir türlü gelememiştir.

Türkiye daha ziyade Türklerin yoğun olduğu Avrupa ülkelerine ihracat yapmaktadır. İhracat yapılan ülkeler ABD, Almanya, Fransa, Hollanda, Irak, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri vb. olarak sıralanabilir. Ülkemizde yapılan üretim genellikle iç pazarda tüketilmektedir. Gerekli teşvik ve yatırımlar yapıldığı takdirde Kahramanmaraş kırmızıbiberi, hem ülkemizde hem de dünya piyasasında önemli bir paya sahip olabilecektir [3].

Çizelge 3.1’de dünyadaki kırmızıbiber üretiminde artış görülmektedir. Üretimde önemli paya sahip ülkelerin başında Hindistan, Çin, Pakistan, Bangladeş ve Habeşistan gelmektedir.

Çizelge 3.1 Dünyada önde gelen ülkelerin yıllar itibariyle kırmızıbiber üretim miktarları (ton) [4]

Ülke	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Hindistan	896900	1235700	1185500	1014600	1234100	1244000	1244000
Çin	220000	230000	235000	240000	245000	250000	252000
Pakistan	98872	96394	90474	122890	61900	130000	130000
Bangladeş	136000	137325	138740	185635	155430	153955	117765
Habeşistan	115000	118000	121000	125000	101723	115000	115000

Çizelge 3.2 Türkiye’de ve dünyada kırmızıbiber üretimi (ton) [4]

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Türkiye	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Dünya	2297559	2648957	2640034	2634159	2726739	2835827	2799888

Dünya’da ve Türkiye’de kırmızıbiberlerin kurutulması genellikle güneş altında ya da güneş kolektörlü kurutucularla yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda kırmızıbiberler güneş altında ve güneş kolektörlü kurutucularda kurutularak, bu kurutma yöntemlerinden güneş kolektörlü kurutucularda kurutulan biberler, diğer yönteme göre %65 oranında daha kısa sürede

kurudukları ve renkleri daha parlak ve homojen olduğu tespit edilmiştir (Doymaz ve Pala, 2001).

3.2 Bezelye

Bezelye (*Pisum sativum*); taze yeşil bezelye (Şekil 3.2), kurutulmuş bezelye, işlenmiş ve konserve bezelye gibi çeşitli şekillerde tüketilen baklagillerden olan bir sebze çeşididir. Bezelyeler temel besinlerin iyi bir kaynağıdır. Taze bezelyeler %233–400 (d.b.) nem içerirler ve son derece dayanıksızdırlar. Kurutulmuş bezelyeler son zamanlarda daha uzun raf ömrü, taşıma ve ulaşım sırasındaki rahatlık ve lezzet açısından popülerlik kazanmaktadırlar. Ayrıca bezelyeler mevsimsel furyada yetiştiriciler için ekonomik olmayan sonuçlar doğurabilir ancak kurutma yapılarak bunların üstesinden gelinebilir (Pardeshi vd., 2009).



Şekil 3.2 Bezelyenin (*Pisum sativum*) genel görünümü [5]

Bezelyenin anavatanı Asya, Afrika ve Avrupa'nın belli bölgelerini içine almaktadır. M.Ö. 6750 yılında Irak'ta ve Jermo'da yapılan kazılarda ilk bezelye örneklerine rastlanmıştır. Bunu takiben yurdumuzun Çatalhöyük kazılarında M.Ö. 5850–5600 yıllarına ait bezelye örnekleri ortaya çıkarılmıştır. Yine M.Ö. 2500 yılına ait olduğu sanılan ve Ukrayna'da bulunan bezelye örnekleri mevcuttur.

Eski Yunan, Roma ve Mısırlılar zamanında bezelyenin bilindiği bir gerçektir. Mısır eserlerinde bezelye, fasulye mercimek ve burçak birbirinden ayırt edilmeden anılmaktadır. Bezelyenin, Anadolu'dan Balkanlar yoluyla veya Asya'dan Karadeniz ve Kırım yolu ile Avrupa'ya geçtiği ve bunun M.Ö. 5000 yılına rastladığı açıklanmaktadır. İlk ve özellikle

ortaçağda gerek Orta Avrupa’da ve gerekse Kuzey Avrupa’da bezelye yetiştirilmiştir. Bezelye Avrupa’dan Amerika’ya 1536 yıllarında geçmiş ve yetiştirilmeye başlamıştır.

100 g çiğ (pişirilmemiş) taze bezelye tanesinin besin değerleri şöyle sıralanabilir: 84 kalori; 6,3 g protein; 14,4 g karbonhidrat; 0 kolesterol; 0,4 g yağ; 2 g lif; 116 mg fosfor; 26 mg kalsiyum; 1,9 mg demir; 2 mg sodyum; 316 mg potasyum; 35 mg magnezyum; 0,35 mg B1 vitamini; 0,14 mg B2 vitamini; 2,9 mg B3 vitamini; 0,16 mg B6 vitamini; 35,5 mg folik asit; 27 mg C vitamini ve 2,1 mg E vitamini (Günay, 2005).

3.2.1 Bezelyenin Beslenme ve İnsan Sağlığı Bakımından Önemi

Bezelye, baklagiller familyasının önemli bitkilerinden biridir ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bezelye, sebzeler arasında besin içeriği ve özellikle protein bakımından zengin ve değerli bir bitkidir. Bezelyenin sahip olduğu proteinin de nitelik bakımından üstün, hayvansal besinlerle boy ölçülebilir seviyede olduğu yapılan araştırmalar sonucu anlaşılmış bulunmaktadır.

Bileşiminde %25’in üzerinde protein bulunmasının yanında özellikle A, B ve D vitaminlerince de zengindir. Çok değişik iklim koşullarına uyabilmesinden ve bileşiminde yüksek protein ile pek çok amino asit içermesinden dolayı günümüzün önemli besin kaynaklarından biri durumuna gelmiştir. Geleneksel olarak taze bezelyeleri veya kuru taneleri için yetiştirilmekte iken, dondurularak son yıllarda yıl boyu tüketimi amacı ile yeşil tane olarak da hasat edilmektedir (Girgel, 2006).

3.2.2 Dünyada ve Türkiye’de Bezelye Üretimi

Bezelye, dünyada fasulye ve nohuttan sonra en fazla ekilen, fasulyeden sonra en fazla üretilen, gerek dünyada gerekse ülkemizde birim alanda en fazla verim alınan yemeklik tane baklagil bitkisidir.

Ekim alanındaki azlığa paralel olarak, ülkemizde tarımı yapılan yemeklik baklagil cinsleri içersinde bezelye, yerli tescilli çeşit sayısı bakımından en fakir olanıdır. Ülkemizde kuru tane amaçlı kullanıma yönelik hiçbir tescilli çeşit yokken, taze tüketim amaçlı bugüne kadar 11 adet çeşit, tescilli veya üretim izinli olarak piyasada yer almıştır. Bunlardan da sadece bir tanesi ülkemizde tescil edilmiştir. Oysa ülkemizin içinde bulunduğu Yakın Asya ve Akdeniz gen merkezleri birçok bitki için olduğu gibi bezelyenin de gen merkezidir (Karayel ve Bozoğlu, 2008).

Bezelye serin ve ılıman iklim bitkisidir. Ilıman kuşağın hemen her yöresinde tarımı yapılmaktadır. En geniş ekim alanı Asya kıtasında en fazla üretim ve verim ise Avrupa kıtasındadır. Tarımı daha çok gelişmiş ülkelerde yapılmaktadır. Türkiye’ de en fazla üretim Ege ve Marmara Bölgelerinde yapılmaktadır. Dünyanın pek çok ülkesinde yıl boyunca en fazla tüketilen baklagil olmasına karşın, ülkemizde bezelye tüketme alışkanlığının yaygın olmaması nedeniyle ekim alanı ve üretim yönünden henüz beklenen düzeye ulaşamamıştır. Genelde taze veya kuru taneleri için yetiştirilen bezelyenin, son yıllarda konserve ve dondurulmuş gıda sanayinin hızla gelişmesi ekiliş ve üretiminde artışlar sağlamıştır.

Bezelye düşük sıcaklıklara dayanabilen, nemli ve serin iklimden hoşlanan bir baklagil bitkisi olması nedeniyle ülkemizde önemli bir potansiyele sahiptir. Uygun çeşitlerin ıslahı ve yetiştirme tekniklerinin geliştirilmesiyle bezelye üretiminde sağlanacak artış, iç pazarda tüketilmesinin yanında, özellikle Orta ve Kuzey Avrupa ülkelerine yönelik dış satıma da olanak sağlayacaktır. Bu özellikler dikkate alındığında bezelyede; çeşit geliştirme, yetiştirme tekniklerinin iyileştirilmesi ve sanayinin geliştirilmesi yönünde yapılacak araştırmalar büyük önem kazanmaktadır (Toğay vd., 2006).

Çizelge 3.3 ve 3.4’de görüldüğü gibi dünyadaki bezelye üretimi yıllar itibariyle artmaktadır. Çizelge 3.4’e göre üretimde önemli paya sahip ülkelerin başında Kanada, Fransa, Çin, Rusya ve Hindistan gelmektedir. Ülkemizde ise 2002–2008 yılları arasında bezelye üretimi 3500–4373 ton arasında değişmektedir.

Çizelge 3.3 Dünyada önde gelen ülkelerin yıllar itibarıyla bezelye üretim miktarları (ton) [4]

Ülke	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Kanada	1283800	1930900	3097200	2993600	2519900	2934800	3571300
Fransa	1662611	1616661	1680782	1331286	1016190	594095	446850
Çin	1500000	1400000	1060000	1155000	1013000	874000	900000
Rusya	1267540	1052100	1242500	1126790	1150637	862644	1256830
Hindistan	607600	591500	725200	785600	709900	800000	800000

Çizelge 3.4 Türkiye’de ve dünyada bezelye üretimi (ton) [4]

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Türkiye	4000	3500	3500	3600	4373	3503	3920
Dünya	9584692	9893683	11700775	11250040	9762949	9032400	9827831

4. GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Gıdaların kurutularak daha uzun süre saklanabilmesi, gıda teknolojileri için çok önemli bir konudur. Bu yüzden bu konuda yapılmış pek çok çalışma vardır. Bu bölümde kırmızıbiber ve bezelye kurutulmasına ilişkin yapılan çalışmalar kısaca özetlemiştir.

4.1 Kırmızıbiber Kurutulmasına İlişkin Çalışmalar

Doymaz (1998), Kahramanmaraş kırmızıbiberinin kuruma karakteristiklerini bir kabin kurutucuda (API&PASILAC) gerçekleştirmiştir. Biber kurutma denemelerinde, Kahramanmaraş yöresinde yetişen kırmızıbiberler kullanılmıştır. Değişik çözeltilere daldırılmış biberler 50, 55, 60 ve 70°C’de kurutulmuştur. Bu denemelerde ilk kez AEEO daldırma çözeltisi kullanılmıştır. Daldırma çözeltisinin bileşiminin etkisini incelemek için çeşitli bileşimindeki çözeltiler hazırlanmış ve kullanılmıştır. Bu çözeltilerden %2 AEEO+ K₂CO₃ içeren çözelti, kuruma hızını en fazla artıran çözelti olduğunu saptanmıştır. Düşük sıcaklıkta kurutulan ürünlerin kalitesi yüksek olmakla birlikte kuruma süresinin uzun olduğunu bildirmiştir.

Gupta vd. (2002) yapmış oldukları çalışmada, biberleri 90°C sıcak suda 3 dakika süre ile haşlayarak peroksidaz enziminin inaktivitesini sağlamışlardır. Ayrıca ürün oda sıcaklığında 15 dakika %0.2’lik akasya sakızı çözeltisine batırılmış ve görünümün en iyi olduğu saptanmıştır. Ön işlem görmüş biberler 55, 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarda tepsili kurutucuda kurutulmuşlardır. Sonuçlar kurutmanın azalan periyodunda gerçekleştiğini ve kurutma kinetiklerinin Page modeline uygun olduğunu göstermiştir. Kurutma sonunda aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve haşlanan ürün için 41,95 kJ/mol, akasya sakızı çözeltisine daldırılan ürün için 41,06 kJ/mol bulunmuştur. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla enzimatik olmayan esmerleşmeler artmış ve bununla birlikte toplam pigment içeriği azalmıştır.

Kaymak-Ertekin (2002) yapmış olduğu çalışmada, hava sıcaklığının, hava hızının ve ön işlemin (haşlama, sülfürik aside ve sodyum klorüre daldırma) yeşil ve kırmızıbiberin kuruma kinetiklerine olan etkisini araştırmıştır. Kurutma denemeleri akışkan yataklı kurutucularda gerçekleştirilmiştir. Azalan kuruma periyodunda kararsız halde gerçekleşen nem transferi Fick Difüzyon modeliyle tanımlanmıştır ve difüzyon katsayıları (D_a) hesaplanmıştır. Sıcaklığın difüzyon katsayısı üzerine etkisi Arrhenius eşitliğine göre yorumlanmıştır. Kuruma hızının ve bununla birlikte difüzyon katsayısı değerlerinin ön işlemlerden etkilendiği görülmüştür. Kurutulmuş biberlerin 25 ve 45°C’deki rehidrasyon oranları ve bu değerlerin kurutma koşullarına ve rehidrasyon sıcaklığına bağlı olmadığı belirlenmiştir. Ön kurutma işlemlerinin, biberlerin rehidrasyon karakterlerinin kalitesini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Sanjuán vd. (2003), dilimlenmiş ve bütün kırmızıbiber örneklerini bir laboratuvar kurutucuda 0.5 m/s hava hızında ve 50, 55, 60, 70°C sıcaklıklarında kurutmuşlardır. Bunun sonucunda dilimlenmiş kırmızıbiberlerin, bütün kırmızıbiberlere göre daha hızlı kuruduklarını tespit etmişlerdir. Bütün örneklerin kuruması önce sabit ve ardından azalan hız periyodunda gerçekleşirken, dilimlenmiş örneklerin kuruması yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Bütün örneklerin kütle transfer katsayıları, sabit hız periyodunda deneysel olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın kütle transfer katsayıları üzerine etkileri, Arrhenius denklemiyle açıklanmıştır. Azalan hız periyodunda kütle transferi bir modelle açıklanmış ve etkin difüzyon katsayısı her sıcaklık için hesaplanmıştır. Difüzyon katsayıları dilimlenmemiş kırmızıbiberler için $4,38 \cdot 10^{-11}$ ve $10,99 \cdot 10^{-11}$ m²/s arasında, dilimlenmiş biberler için ise $37,23 \cdot 10^{-11}$ ve $99,61 \cdot 10^{-11}$ m²/s arasında hesaplanmıştır. Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısı üzerine etkisi Arrhenius denklemiyle açıklanmış ve aktivasyon enerjisi; dilimlenmemiş biberler için 44 kJ/mol, dilimlenmiş biberler için 56 kJ/mol olarak saptanmıştır.

Seçmeler (2003) yapmış olduğu çalışmada, kırmızıbiberleri değişmeyen koşullu ortamda 60°C ve %3,5 nem içeren havanın 1,0 m/s hızda beslendiği kurutma bölgesinde kurutmuştur. Ayrıca mikrodalga ile kurutma için ise ev tipi, 286, 397 ve 560W, üç güç ayarlı bir mikrodalga fırın kullanmıştır. Mikrodalga fırında kurutmanın daha ekonomik olması ve biberlerin pişmemesi için önce yaygın kurutucu bölmesinde 60°C'deki hava ile 7 saatte nem içeriği %90'dan %20'ye düşürülen kırmızıbiberler yaklaşık 1x1cm boyutlarında kesilerek mikrodalga fırında kurutularak nem içeriği %14'e getirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırma için tüm yöntemlere ve koşullara göre elde edilen kuruma hızı eğrilerinde difüzyon katsayıları bulunmuştur. Bulunan değerler mikrodalga ile kurutmada elde edilen kurutma hızının, konveksiyonla kurutma yönteminden yaklaşık 120 kat daha büyük olduğunu göstermiştir. Renk bakımından incelendiğinde, metotların taze biberlere göre renge etkisinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir.

Hossain vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada ise, güneşte kurutulan kırmızı ve yeşilbiberlere uygulanan ön işlemin kuruma hızına ve kaliteye etkisini araştırmışlardır. Kırmızıbiberler; haşlanmış, sülfite ve sodyum hidroksit ile muamele edilerek ön işlemden geçirilmişlerdir. Yeşilbiberler ise haşlanmış ve sülfür dioksit, sodyum hidroksit, sodyum bikarbonat ile muamele edilmişlerdir. Ön işlemden geçirilmiş kırmızı ve yeşilbiberlerin kuruma hızlarının, natürel olarak kurutulan örneklerin kuruma hızlarına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kırmızıbiberler için en yüksek renk değerlerine haşlanmış örneklerde saptanmıştır. Kimyasal katkıların (kükürt dioksit) ise kırmızıbiberlerin acılığını önemli ölçüde azaltmıştır. Yeşilbiberlerde ise haşlanmış ve sülfitlemiş örneklerin en yüksek renk kalitesine

ve parlaklığa sahip olduğu görülmüştür. Ön işlem uygulamanın ise yeşilbiberlerin acılığını önemli bir şekilde azaltmadığı saptanmıştır.

Arora vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada, kırmızıbiberin dört çeşidinin (Pb-Lal, Pb-Guchhedar, Pb-Surkh ve CH-1) kuruma kinetikleri üzerinde çalışmışlardır. Kırmızıbiberler (delinmiş ve delinmemiş) ön işlem çözeltisine (sol solution) tabi tutularak 45, 50, 55, 60 ve 65°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Sonuçlar kurumanın azalan debi periyodunda gerçekleştiğini göstermiştir. Page modelinin kırmızıbiberlerin kuruma özelliklerini tanımlamada en uygun model olduğu bulunmuştur. Kuruma sabitinin ısıya bağımlılığı Arrhenius denklemi kullanılarak analiz edilmiştir. Pb-Lal türü biberler maksimum değerinde aktivasyon enerjisine sahiptir. Kurutulmuş kırmızıbiberlerin capsaicin içeriği ve renk durumu bakımından kalite çalışmalarının sonuçları, Pb-Lal türünün 532,07 mikrogram capsaicin ve 73,8 ASTA renk maddesi içerdiğini göstermiştir.

Erdem (2007), aflatoksin içeren kırmızı pul biberi 5 ve 10 dakika sürelerde ozonlu su ile yıkadıktan sonra bir mikrodalga fırında kurutmuştur. Kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) enerji tüketimine, kuruma süresine, ulaşılan son nem ve ürün renk kalitesine olan etkileri araştırmıştır. Kullanılan mikrodalga uygulama süreleri (açık (sn) / kapalı (sn)) sırasıyla sürekli, 30/30, 30/45, 30/60, 45/30, 45/45, 45/60 olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi arttıkça kurutma etkinliği artmış, fakat mikrodalga ünitenin çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30, 45/30, 45/60 olan denemelerde enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma süreleri diğer kombinasyonlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Karaaslan ve Tunçer (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, kırmızıbiberin kurutulmasını mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonunda incelemişlerdir. Kırmızıbiber, mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutulmuştur. Kırmızıbiberin kuruma süresi, kuruma oranı değerleri üzerindeki mikrodalga, mikrodalga ile sıcak hava ve sadece sıcak havayla kurutmanın etkileri araştırılmıştır. Mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde kullanılan güç seviyeleri 180, 360, 540, 720, 900W olarak seçilmiştir. Sıcak hava ile kurutma denemeleri ise 100, 180, 230°C'de yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak, ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla 11 matematiksel model kullanılarak elde edilen sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm ürünlerde Midilli vd. modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Tunde-Akintunde ve Ajala (2010) yaptıkları çalışmada, ön işlemlerin 60°C’de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma davranışları üzerine etkisini araştırmışlardır. Ön işlemlerin kuruma hızını ve kuruma süresini etkilediği görülmüştür. Ön işlem görmüş kırmızıbiberler, ön işlem görmemiş kırmızıbiberlere göre daha hızlı kurumuşlardır ve dolayısıyla daha yüksek kuruma hızına sahip olmuşlardır. Kırmızıbiberlerin kurutulması azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Kırmızıbiberlerin ince tabaka kuruma karakteristiklerinin tanımlanması için dört matematiksel model (Newton, Henderson ve Pabis, Logaritmik ve Page) üzerinde çalışılmıştır. Bu dört modelin regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2), tahmini sistematik hata (MBE) ve tahmini standart hata (RMSE) değerleri karşılaştırılmış ve Page modelinin diğer modellere göre kuruma karakteristiklerini daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

4.2 Bezelye Kurutulmasına İlişkin Çalışmalar

Simal vd. (1996), bezelye ile yapmış oldukları çalışmada deneylerden elde edilen deneysel verileri kullanarak farklı kurutma havası sıcaklıklarında (40, 60 ve 80°C) Arrhenius tipi iki farklı kinetik model elde etmişlerdir. İlk model; değişkenlerin ayrılması, numune boyutu ve geometrisi sabit tutularak çözülmüştür. İkinci modelde ise sonlu fark yöntemi kullanılmıştır. Bu ifadeleri benzeterek bezelyelerin farklı sıcaklıklarda (50,70 ve 90°C) kuruma kinetiklerini elde etmek mümkün olmuştur. İkinci model (sapma %99.8) birinci modelden (sapma %98.4) kuruma kinetiğini daha iyi temsil ettiği saptanmıştır.

Burande vd. (2008), bezelyeleri 60–100°C hava sıcaklıkları arasında ön işlem uygulanarak (sıcak su ile haşlanarak ve kimyasal çözeltiler) bir akışkan yataklı kurutucuda kurutulmuşlardır. Bu işlemten sonra rehidrasyon oranı, renk, doku ve görünüm gibi ürün kalite parametreleri belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Tüm proses değişkenlerini içeren ikinci dereceden polinom denklem kullanılarak prosesin ve ürün özelliklerinin modellenmiştir. Rehidrasyon oranı; ısıtma işlem süresinden, sıcaklıktan ve birim alan kütlesinden etkilenmiştir. Ön işlem, renk ve dokuyu önemli ölçüde etkilemiştir. Sonuç olarak, akışkan yatakta bezelye kurutma prosesi için en uygun kurutma havası sıcaklığı 79,4°C, en uygun ısıtma işlem süresi 35,8 dakika, en uygun birim alan kütlesinin 6,8 g/cm³ ve en uygun ön işlem çözeltisinin %2,5 NaCl ve %1 NaHCO₃ ile muamele olduğu belirtilmiştir.

Chauhan ve Srivastava (2009) tarafından yapılan bir çalışmada bezelyeler, vakum destekli mikrodalga kurutma sisteminde kurutulmuşlardır. 100 ile 300 W arasında değişen mikrodalga

güçlerinde ve 50 ile 400 mm Hg arasında değişen vakum sisteminde kurutulmuş bezelyelerin kurutma parametreleri (kurutma verimliliği ve kurutma zamanı) ve bazı kalite parametreleri (doğrusal büzülme, yoğunluk, renk, rehidrasyon ve duysal nitelikler) incelenmiştir. Veri analizinin sonucunda deneysel verilerin ikinci dereceden bir polinom modeline uygun olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga sisteminin güç düzeyi, kurutulan bezelyelerin kurutma parametrelerini ve kalite niteliklerini etkilemiştir. Daha yüksek vakum ile kurutma ise daha kaliteli bir ürün eldesi ile sonuçlanmıştır. Sonuç olarak vakum destekli mikrodalga kurutma sisteminde bezelyelerin kurutma koşullarının 273,31 W mikrodalga gücünde ve 360,22 mm Hg vakumda en uygun olduğu saptanmıştır.

Pardeshi vd. (2009) tarafından yapılmış çalışmada, üç çeşit bezelye çeşidini kurutma odasında otomatik tartı sistemi kullanarak beş farklı sıcaklıkta (55–75°C) ve 100 m/dak hava hızında kurutmuşlardır. Bezelyeler kurutulmadan önce haşlanmış ve sülfürik asit ile ön işleme tabi tutulmuşlardır. 60°C’de kurutulmuş Pb–87 çeşidi en iyi duysal ölçüm ile rehidrasyon oranını vermiştir. Thompson modelinin ince tabakalı kurutma kinetiklerini temsil ettiği saptanmıştır. Etkin difüzivite değerleri hesaplanmış ve 55–75°C sıcaklıklarında $3,95 \cdot 10^{-10}$ – $6,23 \cdot 10^{-10}$ m²/s arasında değiştiği bulunmuştur. Hesaplanan etkin difüzivite değerlerine bağlı olarak aktivasyon enerjisi değeri 22,48 kJ/mol hesaplanmıştır. Artan kurutma havası sıcaklıklarının, bezelye kurutma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

Kurutma deneylerinde kullanılan kırmızıbiber ve bezelyeler İstanbul'da bir süpermarketten temin edilmiş ve deneylerde kullanılabilecek kadar buzdolabında (+4°C'de) muhafaza edilmiştir. Etiloleat Nouchem Gıda San. Ltd. Şti. (Antalya) ve sitrik asit Merc (Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

5.2 Yöntemler

5.2.1 Kurutma Sistemi

Kırmızıbiberin ve bezelyenin kurutulması, APV&PASILAC firması yapımı kurutma kabininde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kurutucunun genel görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Kırmızıbiber ve bezelye kurutulmasında kullanılan kurutucu genel görünüşü

Kurutma kabini, delikli bir tepsi içerisinde, çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun, istenilen sıcaklıkta hava akımı sağlayabilen pilot ölçekli bir kurutucudur. Kabinin ana kurutma bölümündeki delikli tepsi 30x30x10 cm boyutlarındadır. Kurutucu çelikten imal edilmiş olup 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın debisi ise, hızı değiştirilebilen sirkülasyon fanı

tarafından kontrol edilebilmektedir. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın debisi, bir anemometre kullanılarak ölçülmüştür. Sirkülasyon fanı 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışmaktadır.

Kullanılacak olan havanın ısıtılması ise, sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutucuda, 200°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. İstenilen sıcaklık ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital sıcaklık göstergesinden ayarlanabilmektedir.

5.2.2 Kuru Madde Tayini

Örneklerin kurutma işleminden önce ve kurutulan ürünlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde AOAC, 920,151 yöntemi uygulanmıştır (AOAC, 1990). Darası önceden belirlenmiş örnek kabında yaklaşık 5 gram dolayında tartılan örnekler 105°C'ye ayarlanmış Selecta marka etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

5.2.3 Hava Akış Hızı

Kurutma denemeleri sırasında havanın akış hızı TESTO 440 Vane Anemometre (LUTRON, AM-4201) ile 2 ± 0.1 m/s olarak ölçülmüştür.

5.2.4 Renk Ölçümleri

Renk ölçümleri Hunter Lab Color D 25 D2P cihazında yapılmıştır (Minolta, Chroma - Meter - Cr-300, Instruction Manual). Deneylerde kullanılan renk ölçüm cihazının genel görünümü Şekil 5.2'de verilmiştir. Kırmızıbiber ve bezelye örneklerinde ölçümler 5 kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınarak Hunter Lab skalasına göre kuru ürünlerin renk değerlendirmesi yapılmıştır. Hunter Lab (L, a ve b) skalasının görünümü Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.2 Konica Minolta CR-300 cihazının genel görünüşü



Şekil 5.3 Hunter Lab renk skalası [6]

Çalışmalar sırasında “L” değeri parlaklığı ifade etmekte ve 0 ile 100 arasında değerler alabilmektedir. “L”, 0 değerini siyah renkte hiçbir yansımanın olmadığı durumda alırken 100 değerini tam yansımanın olduğu beyaz renkte almaktadır. Pozitif “a” değerleri kırmızılığı, negatif “a” değerleri yeşili, pozitif “b” değerleri sarılığı ve negatif “b” değerleri ise maviliği

temsil etmektedir. Sıfır kesim noktasında ($a = 0$ ve $b = 0$) renksizlik yani grilik olmaktadır (Polatçı ve Tarhan, 2009).

5.3 Kurutma Denemeleri

5.3.1 Kırmızıbiber Kurutma

Biberlerin kuruma süresini, hava sıcaklığını ve hızını arttırarak kısaltmak mümkündür. Ayrıca, bibere uygulanan belli bir ön işlemle de kuruma süresini kısaltmak söz konusudur. Bu amaçla, biberler daldırma çözeltisine daldırıldıktan sonra kurutulmuşlardır. Bu daldırma çözeltilerini kullanmadaki amaç, kurutma hızlarını artırmak ve son ürünü istenilen bir kalitede elde etmektir. Daldırma çözeltileri, biberlerin dış yüzeyinde bulunan ve nem transferine yüksek bir direnç gösteren mumsu tabakayı çözerek etkiler. Bunun sonucu olarak ürünler daha kısa sürede kuruyarak istenilen kalitede ve renkte bir ürün elde edilmektedir (Doymaz ve Pala, 2001).

Kurutma denemelerinde kullanılan kırmızıbiberler Şekil 5.4’de görüldüğü gibi bir bıçakla dikkatli bir şekilde 2 ± 0.1 cm şeklinde dilimlenmişlerdir.



Şekil 5.4 Kurutma denemelerinde kullanılan dilimlenmiş kırmızıbiberin genel görünüşü

Dilimlenmiş kırmızıbiberler üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki kırmızıbiberler herhangi bir ön işlem yapılmadan (Kontrol), ikinci gruptaki kırmızıbiberler oda sıcaklığındaki etil oleatta 1 dakika süre ile ön işleme tutularak (AEEO: %2 EO + %3 K_2CO_3), üçüncü gruptaki kırmızıbiberler ise sitrik asitte 1 dakika süre ile ön işleme tutulduktan sonra (Sitrik asit: %0,5 sitrik asit) 55, 60, 65 ve 70 °C’deki hava ile kurutulmuşlardır. Kurutucudaki hava hızı sabit

tutulmuş ve 2 ± 0.1 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutulan üründe ağırlık ölçümleri Mettler marka (model BB3000) bir terazi ile yapılmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Mettler marka terazinin genel görünüşü

Bu terazi 3 kg'a kadar olan ağırlıkları 0,1 g hassaslıkla ölçebilmektedir. Kurutma işlemi sırasında madde ağırlığı her 15 dakikada kaydedilmiş ve bu işlem örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %11'e düşünceye dek devam etmiştir. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen (60 μ m kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulmuş daha sonra torbaların ağzı ısısal yöntemle kapatılarak muhafazaya alınmıştır.

5.3.2 Bezelye Kurutma

Kurutma denemelerinde kullanılan bezelyeler öncelikle ayıklanmıştır (Şekil 5.6). Ayıklanan bezelyeler dört gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki bezelyeler herhangi bir ön işlem yapılmadan (Kontrol), ikinci gruptaki bezelyeler 85°C'deki sıcak suda 1 dakika süre ile ön işleme tabi tutularak (Haşlama), üçüncü gruptaki bezelyeler oda sıcaklığındaki etil oleatta 1 dakika süre ile ön işleme tutularak (AEEO) ve dördüncü gruptaki bezelyeler ise sitrik asitte 1 dakika süre ile ön işleme tutulduktan (Sitrik asit) sonra 55, 60, 65 ve 70°C'deki hava ile kurutulmuşlardır. Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve 2 ± 0.1 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutulan üründe ağırlık ölçümleri Mettler marka (model BB3000) bir terazi ile yapılmıştır. Kurutma işlemi sırasında madde ağırlığı her 15 dakikada kaydedilmiş ve bu işlem örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %12'ye düşünceye dek devam etmiştir. Daha sonra örnekler oda sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen (60 μ m

kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulduktan sonra ısısal yöntemle torbaların ağız kapatılarak muhafazaya alınmıştır.



Şekil 5.6 Kurutma denemelerinde kullanılan ayıklanmış bezelyenin genel görünüşü

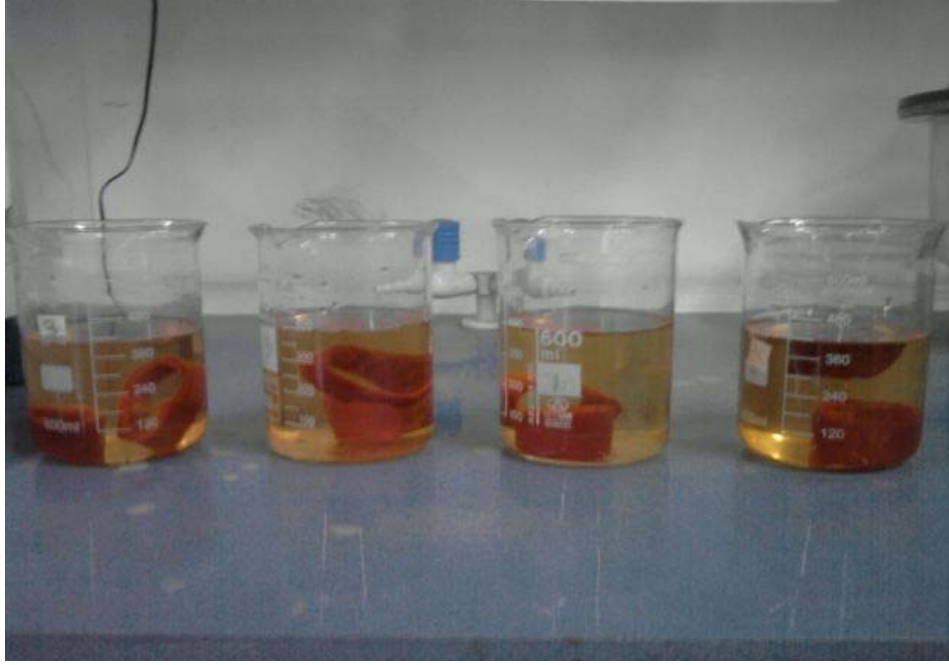
5.3.3 Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği) Kapasitesinin Ölçülmesi

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. Bu yüzden bir ürünün rehidrasyon yeteneğine ilişkin sayısal bir değer verilirken, bunun nasıl saptandığına ait yöntemin ve koşulların da ayrıntıyla tanımlanması gerekir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Rehidrasyon deneylerinde 60°C’de kurutulan kırmızıbiberler ve 65°C’de kurutulan bezelye örnekleri kullanılmış ve denemeler 25, 50 ve 75°C rehidrasyon sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. 5 g dolayında tartılan kuru örnekler, 500 ml’lik bir beherde 400 ml’lik 25°C saf suda birer saat bekletildikten sonra örnekler sudan alınmış (toplam bekleme süresi 7 saat) ve kuruma kâğıdı ile kurulandıktan sonra tartılmışlardır. Bu işlem 50 ve 75°C rehidrasyon sıcaklıklarında da yapılmıştır. Deneyler üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Rehidrasyon kapasitesi (RC) aşağıda gösterilen formülle hesaplanmıştır (Lewicki, 1998):

$$RC = \frac{W_2}{W_1} \quad (5.1)$$

Burada W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg) ve rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg) göstermektedir. Kırmızıbiber ve bezelye örneklerinin rehidrasyon işlem görünüşleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7 Kurutulmuş kırmızıbiberlerin rehidrasyon kapasitesinin tayini



Şekil 5.8 Kurutulmuş bezelyelerin rehidrasyon kapasitesinin tayini

5.4 Matematiksel Modelleme

Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (5.2)$$

Denklemden; M: Nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), m_w : Su miktarını (kg), m_d : Kuru madde miktarını (kg) göstermektedir.

Kurutma hızı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Doymaz, 2006; Karaaslan ve Tunçer, 2009).

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (5.3)$$

Denklemden; $\frac{\Delta M}{\Delta t}$: Kurutma hızı (kg su/(kg kuru madde * dak.)), M_t : t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), $M_{t+\Delta t}$: t+ Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), t, Δt : süre (dak.) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise (5.4) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır (Karaaslan ve Tunçer, 2009).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5.4)$$

Denklemden; M: Herhangi bir andaki su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_0 : Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde), M_e : Kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarını (kg su/kg kuru madde) belirler. Bu ya bir higrometre ile ya da kurutma sırasında ölçülen yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikometri diyagramından bulunur.

Çizelge 5.1 Kırmızıbiberlerin ve bezelyelerin kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Denklem Adı	Denklem	Kaynaklar
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997); Roberts vd. (2008)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Sobukola ve Dairo (2007); Hassan-Beygi vd. (2009)
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Ghodake vd. (2006)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Xanthopoulos vd. (2007); Wang vd. (2007)
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)

Deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacıyla Çizelge 5.1’de gösterilen Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh üzere toplam beş denklem test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

5.5 Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde Statistica programı (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleriyle de kullanılan denklemin uygunluğu saptanmıştır (Sacilik ve Elicin, 2006; Sobukola vd., 2008; Tunde-Akintunde ve Ajala, 2010).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (5.5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

Burada MR_{exp} ve MR_{pre} deneysel ve tahmin edilen nem oranlarını, N deneysel veri sayısı ve n kullanılan denklemdeki katsayı sayısı olarak ifade edilmektedir.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir (Akpınar ve Biçer, 2003).

5.6 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick’in ikinci yasasının çözümüdür (Hutchinson ve Otten, 1983; Madhiyanon vd., 2009):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \cdot \nabla M) \quad (5.7)$$

(5.7) denklemi difüzyon katsayısı sabit alınarak çözülüp uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa;

Kartezyen koordinatlarda:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.8)$$

Küresel koordinatlarda:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (5.9)$$

Burada; D_{eff} : Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), L : Dilim yarı kalınlığı (m), r : Yarıçap (m), t : süre (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma süreleri için, (5.8) ve (5.9) denklemlerinin ilk terimleri çözüm için kullanılır (Madamba, 2003):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.10)$$

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (5.11)$$

Kurutma süresine karşı $\ln(MR)$ grafiklerinin eğimleri:

(5.10) denklemi için:

$$K_1 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (5.12)$$

(5.11) denklemi için:

$$K_2 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (5.13)$$

Etkin difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır (Sanjuán vd., 2003; Sobukola vd., 2008):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (5.14)$$

Burada D_{eff} etkin difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R universal gaz sabiti (8,314 kJ/(mol.K)) ve T kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değerleri hesaplanır (Mengeş ve Ertekin, 2006).

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma işleminde daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir (Devahastin, 2000).

6. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

6.1 Kırmızıbiber

6.1.1 Ön İşlemin, Sıcaklığın ve Dilim Kalınlıklarının Kuruma Süresine Etkisi

Deneylerde 2 cm dilim kalınlıklarındaki kırmızıbiberlerin kuruma kinetiği 55, 60, 65 ve 70°C’de ve 2 ± 0.1 m/s hava hızında incelenmiştir. Kırmızıbiberlerin kuru madde içerikleri kuru madde analizleri sonucunda %10,37 oranında belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerde nem içeriği %11’e inince kurutma işlemine son verilmiştir. Kırmızıbiber kurutma denemelerinin kuruma süreleri Çizelge 6.1’de görülmektedir. Kırmızıbiber dilimlerinin nem içerikleri ile kurutma süreleri ile değişimi Şekil 6.1–6.4 gösterilmektedir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, örneklerdeki nem miktarları kuruma süresi ile azalmaktadır.

Çizelge 6.1 Kırmızıbiber kurutma denemelerine ait kuruma süreleri

Kodu	Sıcaklık (°C)	Kuruma süresi (dak.)
Kontrol	55	960
	60	675
	65	615
	70	495
AEE0	55	780
	60	570
	65	525
	70	375
Sitrik asit	55	795
	60	540
	65	510
	70	330

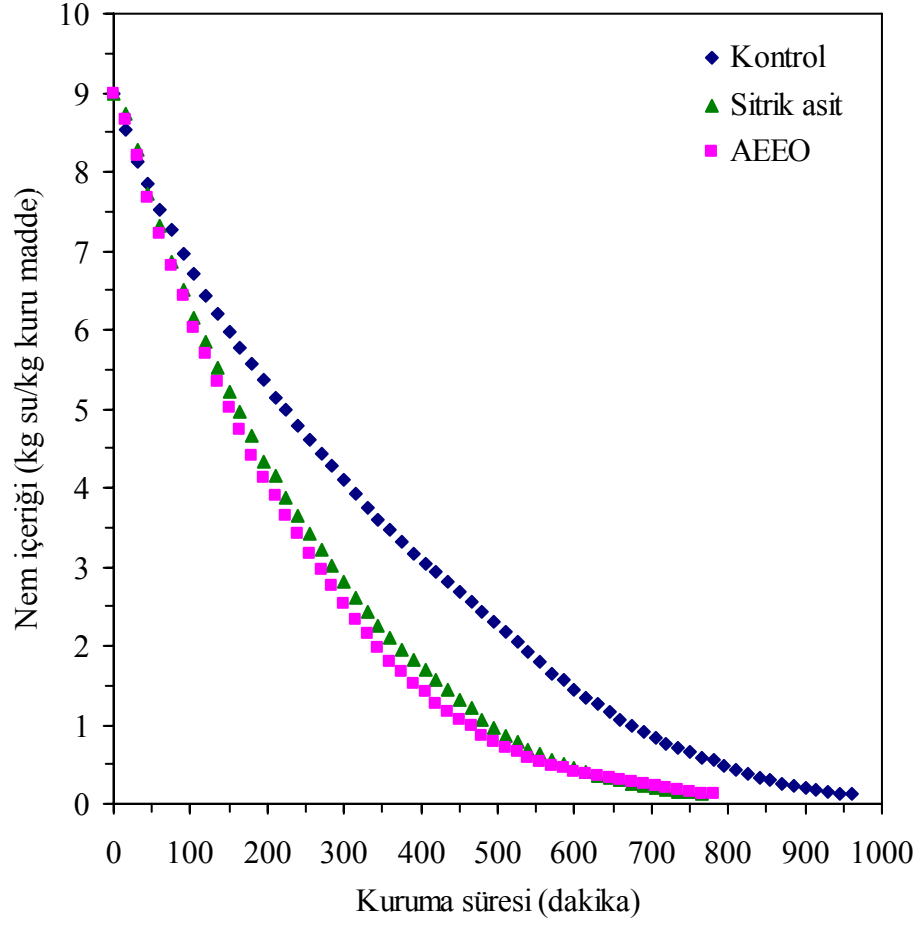
Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi, ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlemsiz örneklerle göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin, 55°C’de etiloleat ile (AEE0) ve sitrik asitle (Sitrik asit) 1 dakika süre ile ön işleme tutulan kırmızıbiber dilimlerinin kuruma süreleri sırasıyla 780 ve 795 dakikadır. Buna karşılık, ön işlemsiz yani natürel olarak (Kontrol) kurutulan dilimlerin 960 dakikada kurudukları saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, AEE0 ve Sitrik asit ile ön işleme tutulan kırmızıbiber

dilimlerinin, aynı sıcaklıkta natürel halde kurutulan biberlere göre %17–18 oranında kuruma süresinden tasarruf sağladığı görülmektedir. Bu saptamayı diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görmek mümkündür.

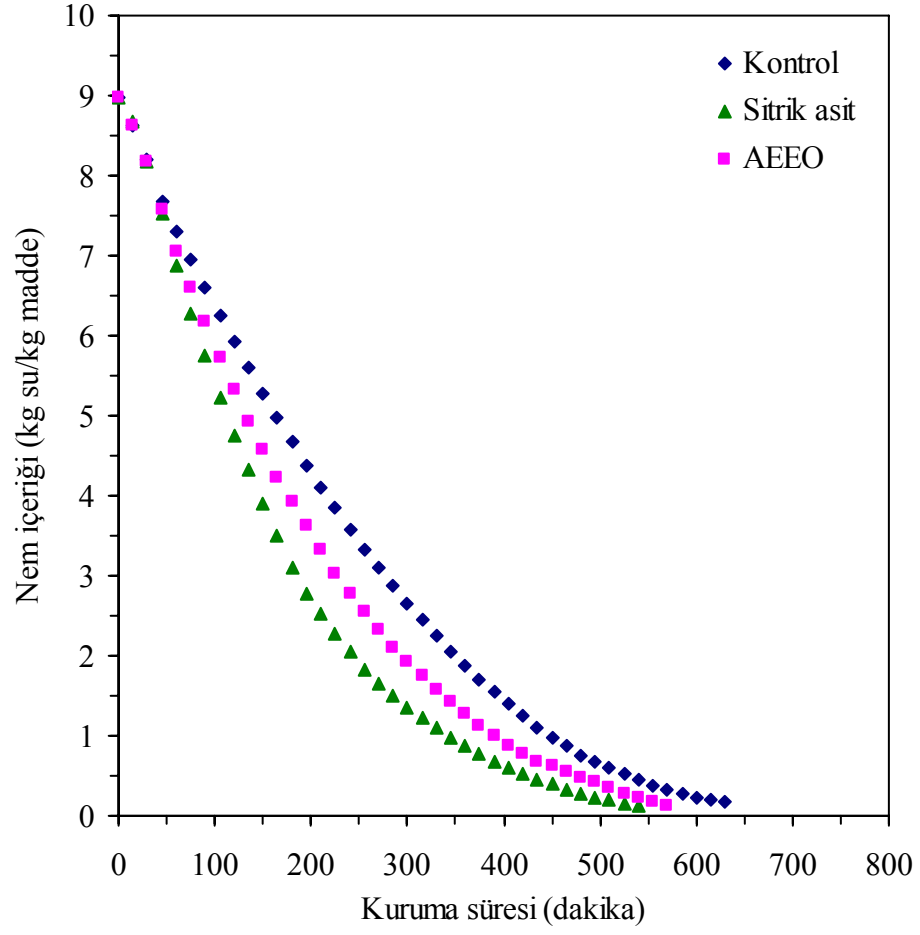
Şekil 6.1–6.4’den de görüleceği üzere, kuruma süresi, kurutma havası sıcaklığından etkilenmekte, hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etkiyi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlanabilir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, kuruma hızı yüksek sıcaklıklarda daha yüksek değerlere sahiptir. Bunun sonucu olarak, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızının görülmesine neden olmaktadır (Mengeş ve Ertekin, 2006).

Çizelge 6.1 incelendiğinde Kontrol, AEEO ve Sitrik asit kodlu kırmızıbiber dilimlerinin 55 ve 70°C’deki kuruma süreleri sırasıyla 960 ve 495, 780 ve 375, 795 ve 330 dakikadır. Kuruma sıcaklığındaki 15°C’deki bir artış sonucunda kuruma sürelerinde sırasıyla %48, %52 ve %58 oranında bir azalma saptanmıştır. Bu da enerjide büyük bir kazanım meydana getirmektedir.

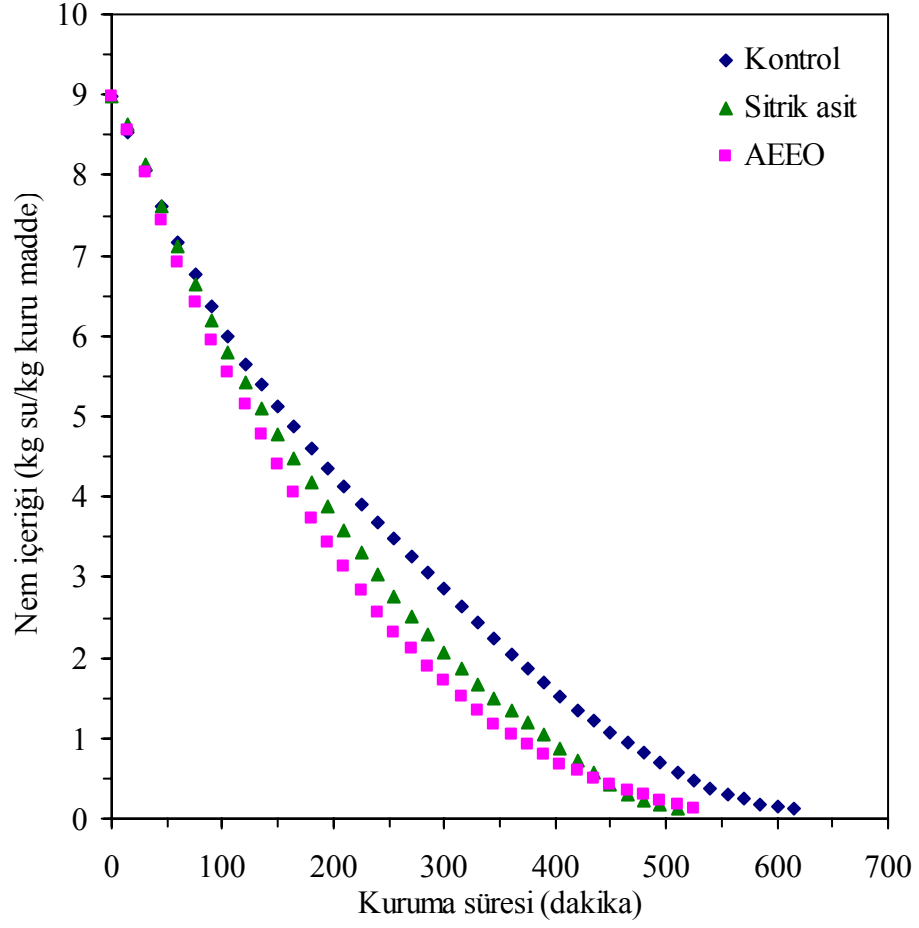
Elde edilen veriler göstermektedir ki; ön işlem çözeltilerin biberin yüzeyinde bulunan mum tabakasını uzaklaştırmakta ve böylece kuruma sırasında biberdeki suyun kolayca biber yüzeyinden difüzyonuna olanak sağlamaktadır. Ayrıca kurutma sezonundaki kuruma süresi kısaltılarak kullanılan kurutucunun kapasitesinin artması sağlanmaktadır (Doymaz, 1998).



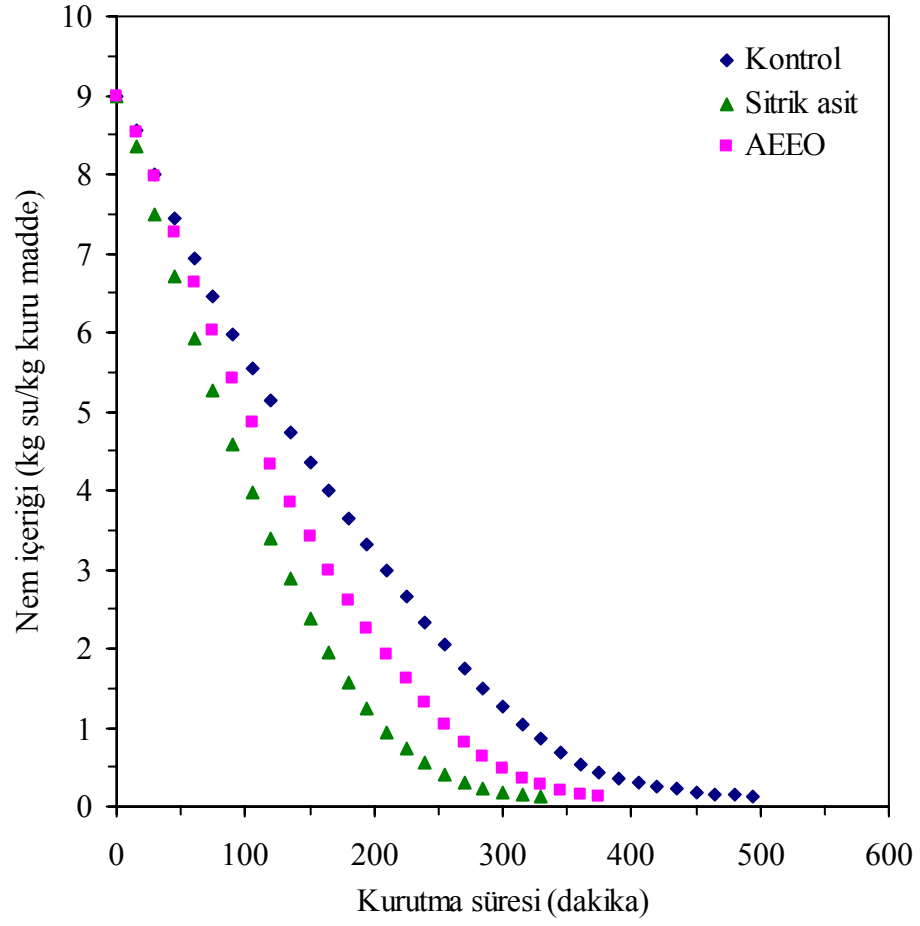
Şekil 6.1 Kırmızıbiber dilimlerinin 55°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 6.2 Kırmızıbiber dilimlerinin 60°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

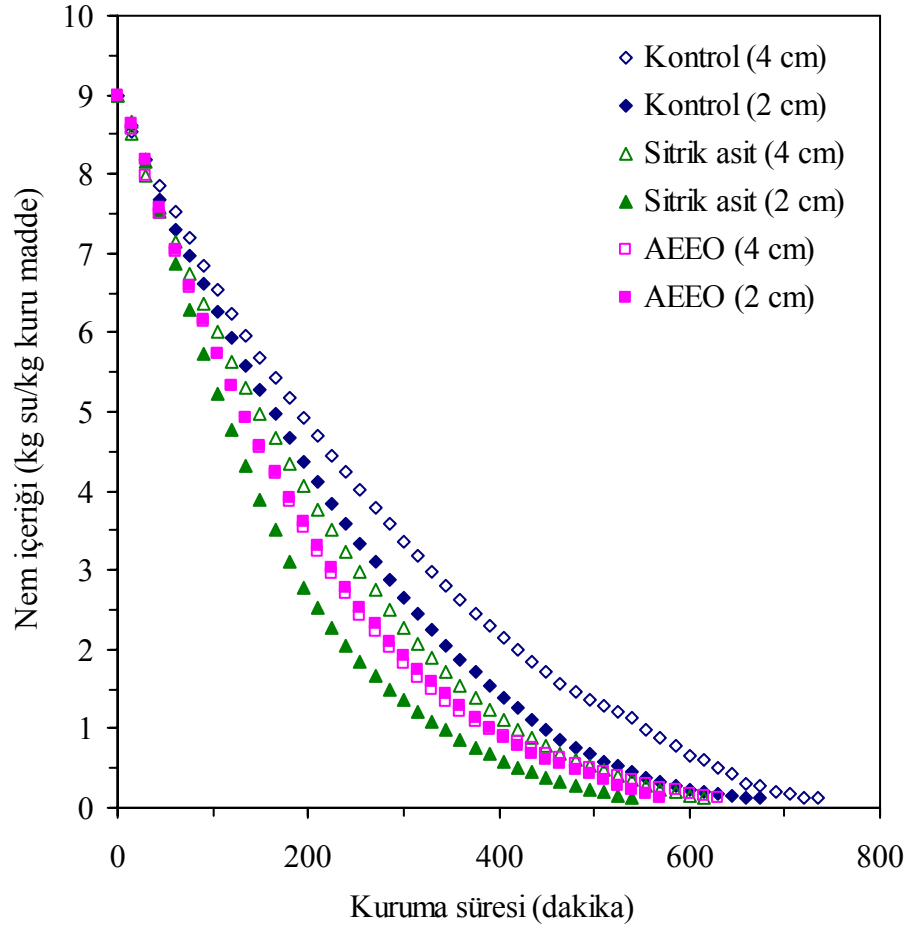


Şekil 6.3 Kırmızıbiber dilimlerinin 65°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 6.4 Kırmızıbiber dilimlerinin 70°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Kuruma hızına dolayısıyla kuruma süresine etki eden diğer bir etken kurutulacak maddenin geometrik şeklidir. Yapılan başka bir çalışmada, kırmızıbiberler 4 cm kalınlıklarında dilimlenmiş ve aynı ön işlemlerden geçirilerek 60°C’de ve 2 m/s hava hızında kurutulmuşlardır. Dilim kalınlıklarının etkisini Şekil 6.5’de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, 2 cm dilim kalınlığındaki örneklerin 4 cm dilim kalınlığındaki örneklerle göre daha çabuk kurudukları saptanmıştır. Bunun sebebi, dilim kalınlığı arttıkça suyun gıdanın içinden yüzeye ulaşma aralığı artar. Buna bağlı olarak da sözü edilen gıdanın kuruma hızı düşerken kuruma süresi de artar. Örneğin; natürel olarak 60°C’de kurutulan, 2 cm dilim kalınlığındaki kırmızıbiberlerin kuruma süresi 675 dakika iken 4 cm kalınlığındaki kırmızıbiberlerin kuruma süresi 735 dakikadır. Bu sonuçlardan, 2 cm dilim kalınlığındaki azalışı ile kuruma süresinde %8 oranında kuruma süresinden tasarruf sağlanmaktadır. Sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan 2 cm kalınlığındaki kırmızıbiberler 540 dakikada kururken, 4 cm kalınlığındakiler 615 dakikada kurumuşlardır. Bu da kuruma süresinde %12’lik bir kazanç sağlamıştır. Son olarak AEEO ile muamele gören 2 cm kalınlığındaki kırmızıbiberler 570 dakikada kururken, 4 cm kalınlığındaki kırmızıbiberler 630 dakikada kurumuşlardır. Yani AEEO çözeltisine daldırılan kırmızıbiberlerin 2 cm dilim kalınlığı azalışı ile %9 oranında kuruma süresinden tasarruf sağladığı görülmektedir.

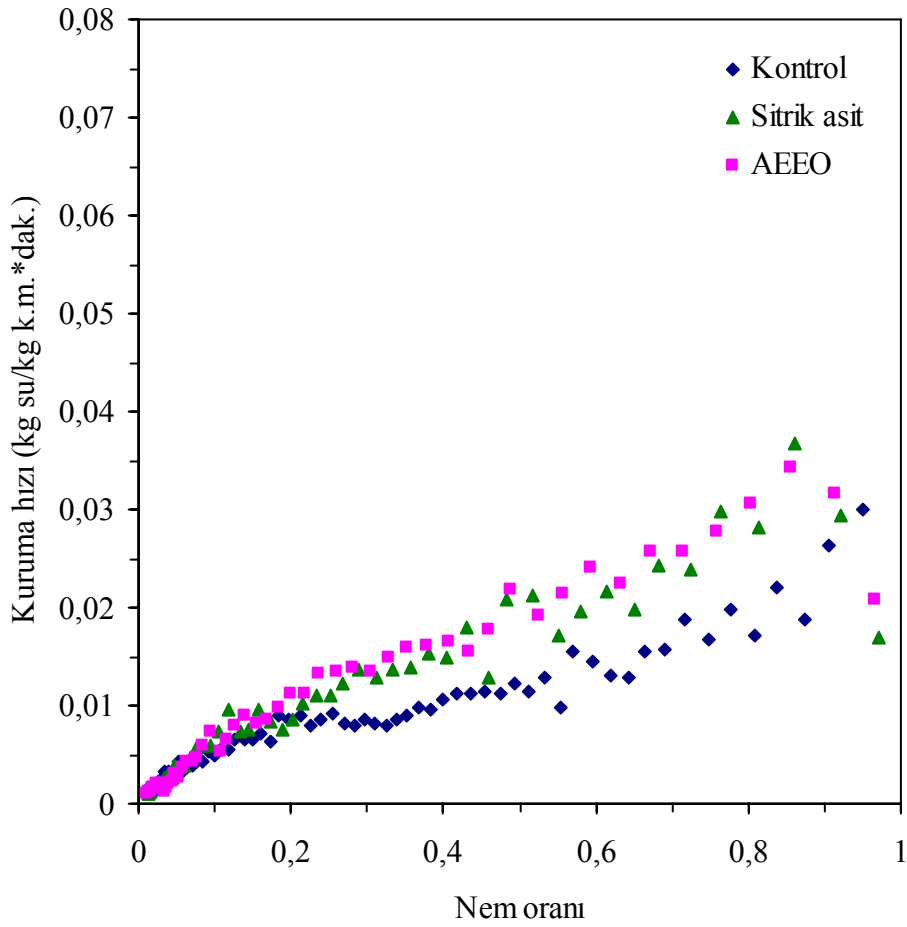


Şekil 6.5 Farklı kalınlıklarda dilimlenmiş kırmızıbiberlerin 60°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

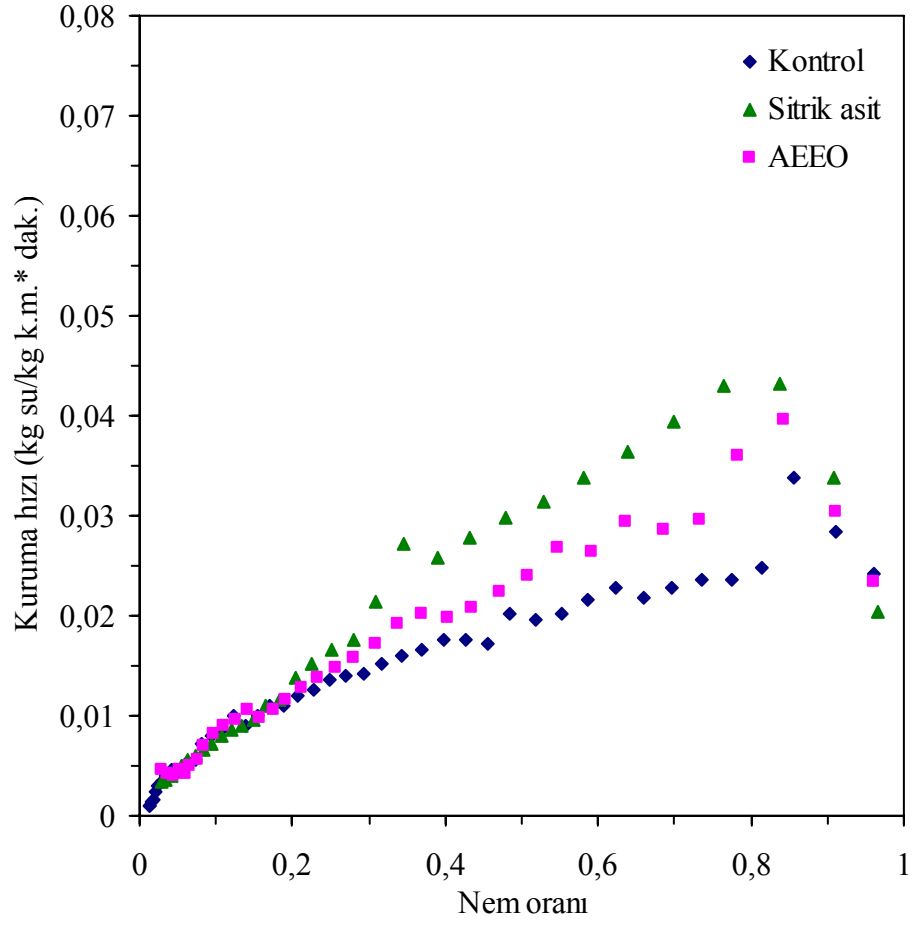
6.1.2 Kuruma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi

Denklem (5.3) kullanılarak hesaplanan kuruma hızlarının nem oranları ile değişimi Şekil 6.6–6.9’da gösterilmektedir. Şekiller dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Bu bulgu, daha önce yapılan araştırmalarla uyum göstermiştir (Kaymak-Ertekin, 2002; Sacilik ve Elicin, 2006).

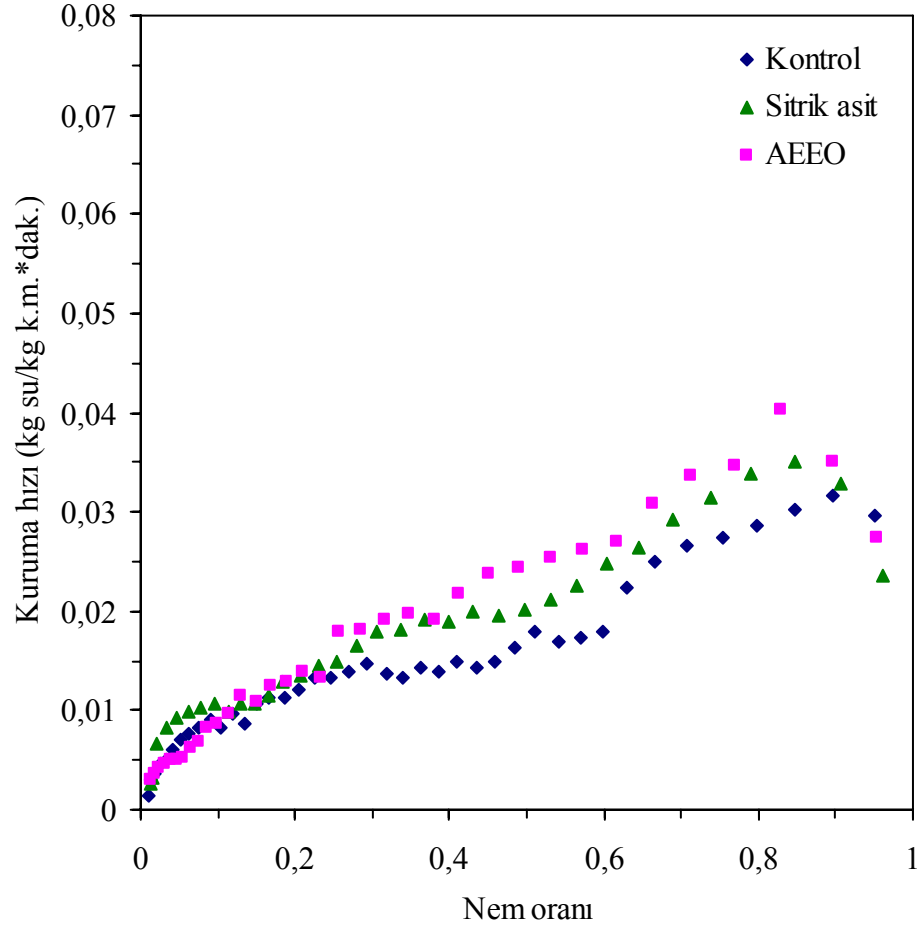
Kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Ayrıca ön işleme tabi tutulan biberlerin kuruma hızları, kontrol ürünlerinkine göre daha yüksektir.



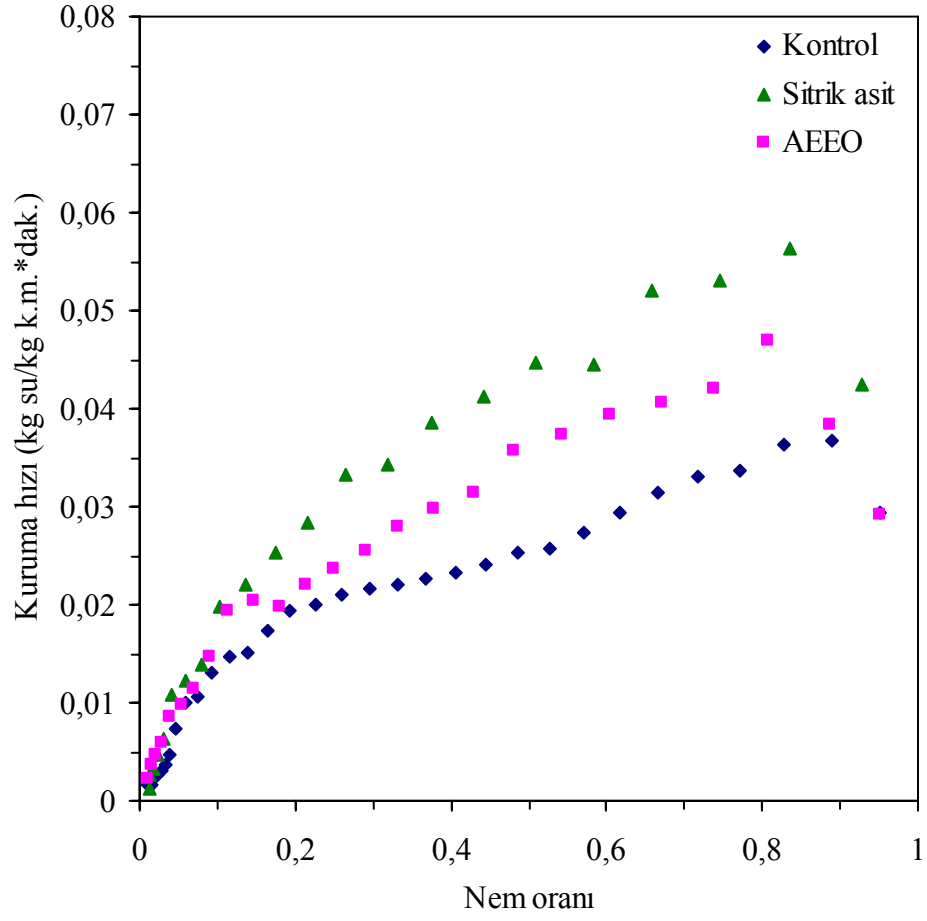
Şekil 6.6 Kırmızıbiber dilimlerinin 55°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi



Şekil 6.7 Kırmızıbiber dilimlerinin 60°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi



Şekil 6.8 Kırmızıbiber dilimlerinin 65°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi



Şekil 6.9 Kırmızıbiber dilimlerinin 70°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi

6.1.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan denklemler Çizelge 5.1’de ve bu denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khikare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.2–6.5’de verilmiştir. Bir denklemin uygunluğu tespitinde yüksek R^2 , düşük χ^2 ve RMSE değerlerine bakılır (Sarsavadia vd., 1999). Regresyon katsayısı, ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi seçmek için ana kriter olarak seçilmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca khikare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir (Mengeş ve Ertekin, 2007).

Çizelge 6.2–6.5’de görüldüğü gibi, bütün denklemlerin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9709–0,9970, 0,00002–0,00286 ve 0,02319–0,28496 arasında değişmektedir. Logaritmik ve Page denklemlerinin R^2 değerleri diğer denklemlere göre daha yüksek ve χ^2 ve RMSE değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Logaritmik denklemin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9957–0,9997, 0,00002–0,00048 ve 0,02319–0,08510 arasında değişirken bu değerler Page denklemi için 0,9914–0,9995, 0,00003–0,00074 ve 0,02873–0,17536 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; tüm sıcaklıklarda R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri karşılaştırıldığında Page ve Logaritmik denklemlerinin kırmızıbiberin kuruma davranışlarını diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Örneğin, 55°C hava sıcaklığında kurutulan kırmızıbiber dilimlerine ait deneysel değerler ile teorik Logaritmik ve Page denklemlerinden hesaplanan değerlerden faydalanarak çizilen nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim grafikleri Şekil 6.10 ve 6.11’de verilmektedir.

Çizelge 6.2 55°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön İşlem	Model	Katsayılar	R^2	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0.00289	0.9864	0.00108	0.23025
	Henderson ve Pabis	a: 1.02830, k: 0.00297	0.9873	0.00102	0.22798
	Logaritmik	a: 1.13957, k: 0.00207, c: -0.16183	0.9992	0.00006	0.05503
	Page	k: 0.00121, n: 1.14407	0.9926	0.00060	0.17536
	Wang ve Singh	a: -0.00212, b: 0.00001	0.9941	0.00047	0.14282
Sitrik asit	Lewis	k: 0.00404	0.9896	0.00088	0.19406
	Henderson ve Pabis	a: 1.05702, k: 0.00426	0.9930	0.00060	0.15163
	Logaritmik	a: 1.10687, k: 0.00344, c: -0.08520	0.9992	0.00006	0.04468
	Page	k: 0.00145, n: 1.17709	0.9980	0.00016	0.08318
	Wang ve Singh	a: -0.00294, b: 0.00002	0.9960	0.00034	0.11357
AEEÖ	Lewis	k: 0.00431	0.9911	0.00074	0.18527
	Henderson ve Pabis	a: 1.05831, k: 0.00456	0.9945	0.00047	0.13994
	Logaritmik	a: 1.08826, k: 0.00390, c: -0.05718	0.9986	0.00012	0.06716
	Page	k: 0.00160, n: 1.17587	0.9991	0.00007	0.05282
	Wang ve Singh	a: -0.00309, b: 0.00002	0.9942	0.00049	0.13662

Çizelge 6.3 60°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

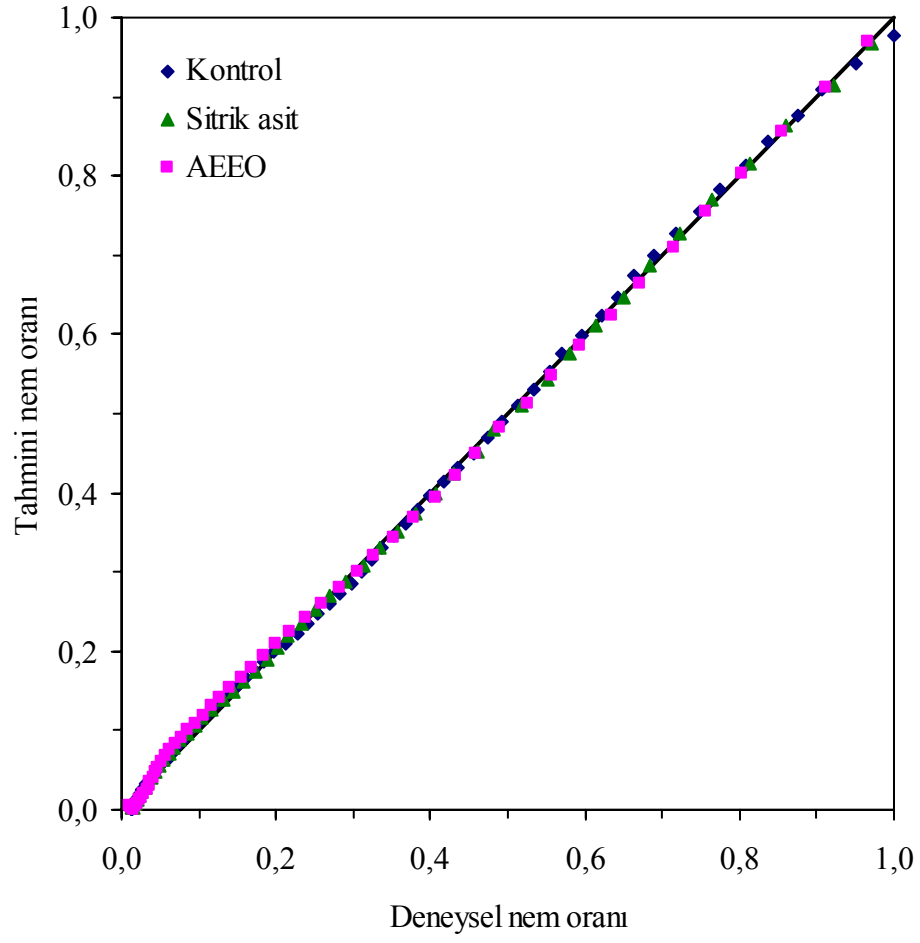
Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0.00421	0.9800	0.00180	0.26094
	Henderson ve Pabis	a: 1.07244, k: 0.00450	0.9857	0.00132	0.21807
	Logaritmik	a: 1.17426, k: 0.00322, c: -0.15107	0.9983	0.00015	0.07008
	Page	k: 0.00093, n: 1.26621	0.9969	0.00028	0.09903
	Wang ve Singh	a: -0.00308, b: 0.00002	0.9997	0.00002	0.02892
Sitrik asit	Lewis	k: 0.00591	0.9874	0.00114	0.17514
	Henderson ve Pabis	a: 1.08265, k: 0.00638	0.9943	0.00053	0.11195
	Logaritmik	a: 1.11319, k: 0.00553, c: -0.05468	0.9976	0.00022	0.06303
	Page	k: 0.00178, n: 1.22576	0.9995	0.00003	0.02873
	Wang ve Singh	a: -0.00430, b: 0.00005	0.9938	0.00058	0.12518
AEEÖ	Lewis	k: 0.00500	0.9867	0.00118	0.19223
	Henderson ve Pabis	a: 1.06975, k: 0.00534	0.9921	0.00072	0.14006
	Logaritmik	a: 1.13651, k: 0.00419, c: -0.10372	0.9991	0.00007	0.04370
	Page	k: 0.00150, n: 1.21998	0.9990	0.00008	0.04817
	Wang ve Singh	a: -0.00370, b: 0.00004	0.9981	0.00016	0.06901

Çizelge 6.4 65°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

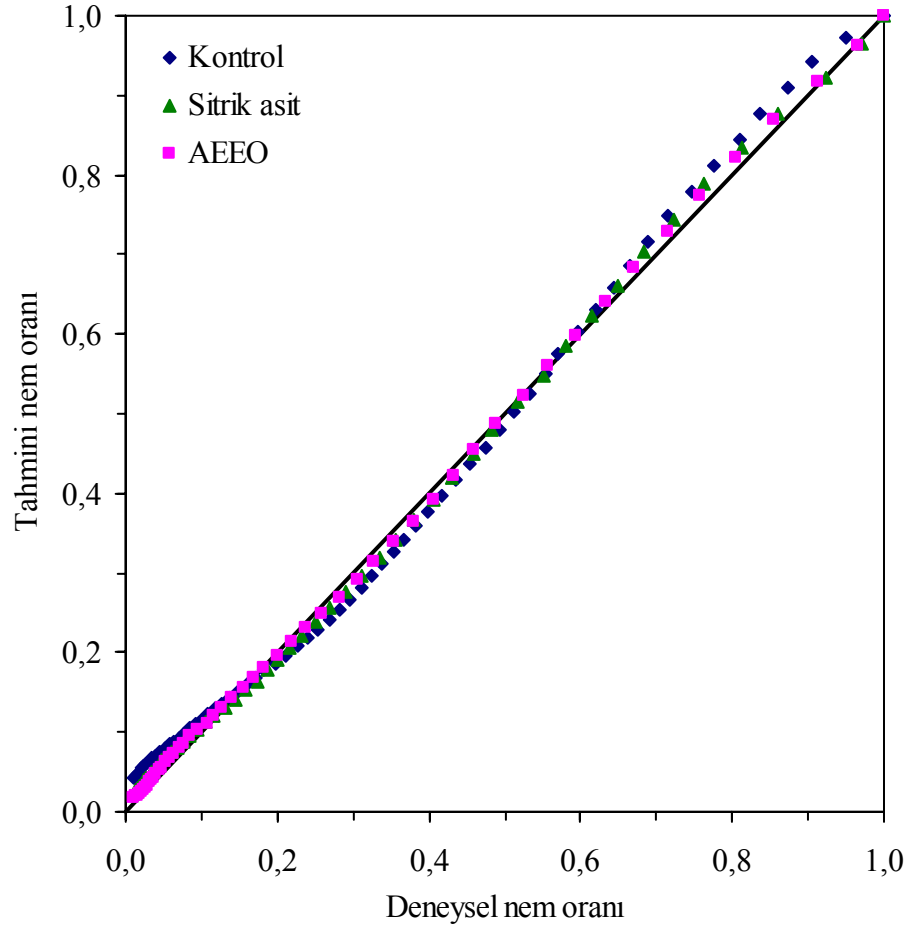
Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0.00414	0.9814	0.00157	0.21898
	Henderson ve Pabis	a: 1.04455, k: 0.00432	0.9840	0.00139	0.20055
	Logaritmik	a: 1.21577, k: 0.00275, c: -0.22791	0.9991	0.00007	0.04720
	Page	k: 0.00142, n: 1.18957	0.9914	0.00074	0.15210
	Wang ve Singh	a: -0.00304, b: 0.00002	0.9963	0.00032	0.09289
Sitrik asit	Lewis	k: 0.004801	0.9786	0.00192	0.22509
	Henderson ve Pabis	a: 1.06879, k: 0.00513	0.9845	0.00143	0.18092
	Logaritmik	a: 1.25057, k: 0.00325, c: -0.23773	0.9997	0.00002	0.02319
	Page	k: 0.00119, n: 1.25512	0.9950	0.00045	0.10347
	Wang ve Singh	a: -0.00353, b: 0.00003	0.9990	0.00008	0.04502
AEEO	Lewis	k: 0.00530	0.9854	0.00131	0.19537
	Henderson ve Pabis	a: 1.06614, k: 0.00565	0.9904	0.00088	0.15070
	Logaritmik	a: 1.15082, k: 0.00425, c: -0.12586	0.9993	0.00006	0.03862
	Page	k: 0.00157, n: 1.22503	0.9982	0.00016	0.06489
	Wang ve Singh	a: -0.00392, b: 0.00004	0.9987	0.00011	0.05419

Çizelge 6.5 70°C’de kırmızıbiberler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0.00567	0.9709	0.00286	0.28496
	Henderson ve Pabis	a:1.08813, k: 0.00614	0.9792	0.00211	0.23677
	Logaritmik	a: 1.21940, k: 0.00417, c: -0.18485	0.9960	0.00041	0.09710
	Page	k: 0.00088, n: 1.34812	0.9958	0.00041	0.10392
	Wang ve Singh	a: -0.00412, b: 0.00004	0.9994	0.00005	0.03668
Sitrik asit	Lewis	k: 0.00883	0.9740	0.00269	0.22208
	Henderson ve Pabis	a:1.08780, k:0.00955	0.9823	0.00192	0.18167
	Logaritmik	a: 1.19115, k:0.00694, c:-0.14639	0.9957	0.00048	0.08510
	Page	k: 0.00154, n:1.35608	0.9985	0.00016	0.05183
	Wang ve Singh	a: -0.00643, b: 0.00010	0.9992	0.00007	0.03074
AEEO	Lewis	k: 0.00697	0.9680	0.00330	0.25823
	Henderson ve Pabis	a: 1.100236, k: 0.00764	0.9792	0.00223	0.20556
	Logaritmik	a: 1.26361, k: 0.00500, c: -0.21737	0.9969	0.00034	0.07295
	Page	k: 0.00095, n: 1.390159	0.9981	0.00020	0.06287
	Wang ve Singh	a: -0.00508, b:0.00006	0.9985	0.00015	0.04380



Şekil 6.10 55°C’de Kırmızıbiber için Deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



Şekil 6.11 55°C’de Kırmızıbiber için Deneysel ve Page denkleminin tahmini nem oranı değerleri

6.1.4 Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Ön işlemlili ve ön işlemsiz biber örnekleri için her bir kurutma havası sıcaklığı için etkin difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Çizelge 6.6'da gösterilmiştir. Etkin difüzyon katsayısı değerleri kontrol olarak kurutulan kırmızıbiberlerde $5,72 \cdot 10^{-10}$ ile $1,34 \cdot 10^{-9}$ m²/s, sitrik asit ile ön işlem görmüş kırmızıbiberlerde $8,06 \cdot 10^{-10}$ ile $1,75 \cdot 10^{-9}$ m²/s ve AEEO ile ön işlem görmüş kırmızıbiberlerde $7,12 \cdot 10^{-10}$ ile $1,64 \cdot 10^{-9}$ m²/s arasında değişmiştir.

Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlem görmeden kurutulan kırmızıbiberlerde etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kuruma hızının artmasıyla açıklanabilir. Dikkat edilecek bir nokta ise ön işlem uygulanarak kurutulan kırmızıbiberlerde etkin difüzyon katsayısı değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulan kırmızıbiberlere kıyasla daha büyük çıkmasıdır. Bu durumu AEEO ve sitrik asit işlemlerinin kuruma hızını arttırıcı etkisine bağlayabiliriz (Doymaz, 1998; Mengeş vd., 2007).

Çizelge 6.6 Kırmızıbiber için etkin difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)		
	Kontrol	Sitrik asit	AEEO
55	$5,72 \cdot 10^{-10}$	$8,06 \cdot 10^{-10}$	$7,12 \cdot 10^{-10}$
60	$7,43 \cdot 10^{-10}$	$8,93 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-10}$
65	$8,47 \cdot 10^{-10}$	$1,16 \cdot 10^{-9}$	$1,01 \cdot 10^{-9}$
70	$1,34 \cdot 10^{-9}$	$1,75 \cdot 10^{-9}$	$1,64 \cdot 10^{-9}$

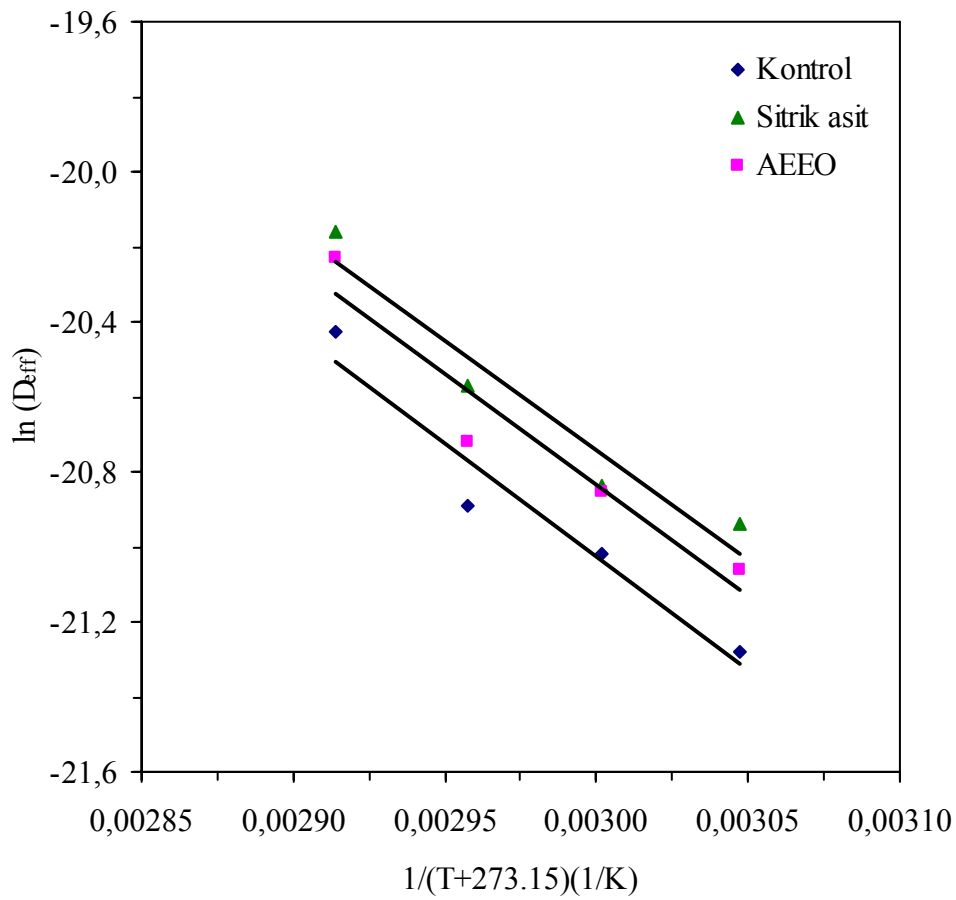
Elde edilen etkin difüzyon katsayıları, literatürde belirtilen difüzyon katsayı değerleri olan 10^{-11} ile 10^{-9} m²/s aralığındadır (Madamba vd., 1996). Ayrıca bulunan değerler ile literatürdeki biber kurutma değerleri yakın olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.7). Etkin difüzyon katsayıları arasındaki farklılıkların nedeni değişik biber çeşitlerinden, uygulanan ön işlemlerden, kurutma sıcaklıklarından ve kurutma cihazlarından ileri gelmektedir.

Çizelge 6.7 Bazı biber çeşitlerinin difüzyon katsayıları

Adı	Kurutma sıcaklık aralığı (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)	Kaynak
Kırmızıbiber	55-70	3,72–9,96*10 ⁻¹⁰	Sanjuán vd. (2008)
Kırmızıbiber	50-65	1,68-5,08*10 ⁻¹⁰	Artnaseaw vd. (2010)
Kırmızıbiber	50-70	5,10-8,32*10 ⁻¹⁰	Di Scala ve Crapista (2008)
Yeşilbiber	40-70	0,36-2,01*10 ⁻¹⁰	Kaymak-Ertekin (2002)
Kırmızıbiber	50-65	3,78-7,10*10 ⁻⁹	Kaleemullah ve Kailappan (2006)
Kırmızıbiber	50-90	0,70-3,78*10 ⁻¹⁰	Vega-Gálvez vd. (2008)

6.1.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, $\ln (D_{eff})$ ile sıcaklık arasında çizilen grafikten (Şekil 6.12) yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.12 Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi

Aşağıdaki denklemlerde kontrol ve diğer ön işlemler ile muamele edilen ürünler için sıcaklığın etkisi gösterilmiştir:

Kontrol biberleri:

$$D_{eff} = 5,5949 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{6047,0}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9422) \quad (6.1)$$

AEEO'lu biberler:

$$D_{eff} = 4,6078 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{5919,2}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9147) \quad (6.2)$$

Sitrik asitli biberler:

$$D_{eff} = 3,8434 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{5827,8}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9289) \quad (6.3)$$

Yukarıdaki denklemlerden (6.1-6.3) yararlanarak Kontrol, Sitrik asit, AEEO'lu biberlerin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 50,27, 49,21 ve 48,45 kJ/mol olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.8 Bazı biber çeşitlerinin aktivasyon enerjileri

Adı	E _a (kJ/mol)	Kaynak
Kırmızıbiber	61,0	Sanjuán vd. (2003)
Yeşilbiber	51,4	Kaymak-Ertekin (2002)
Kırmızıbiber	40,8	Vega-Gálvez vd. (2008)
Kırmızıbiber (Jaranda)	33,83	Di Scala ve Crapista (2008)
Kırmızıbiber	41,95	Gupta vd. (2002)
Kırmızıbiber	37,76	Kaleemullah ve Kailappan (2006)

Elde edilen E_a değerleri literatürde yer alan 12.7-110 kJ/mol (Zogzas vd., 1986) aralığındadır. Bazı biber çeşitlerine ait aktivasyon değerleri Çizelge 6.8'de verilmiştir. Aktivasyon enerji değerlerindeki farklılıklar; biber türlerinden, ön işlemlerin farklılığından ve uygulanan kurutma yöntemi ve sıcaklıklarından ileri gelmektedir.

6.1.6 Renk Analizlerinin İncelenmesi

Renk, gıdalarda en önemli kalite kriterlerinden biridir. Gıdanın rengindeki olumsuz değişim, kalite düzeyinin düşmesine ve pazarlanabilme şansının azalmasına neden olmaktadır (Doymaz ve Pala, 2001). Taze ve kurutulan kırmızıbiberlerin renk değerleri Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10’da verilmektedir.

Çizelge 6.9 Taze kırmızıbiberlerin renk analiz değerleri

Ürün	L	a	b
Taze kırmızıbiber	29,77	32,16	12,71

Çizelge 6.10 Kurutulmuş kırmızıbiberlerin renk analiz değerleri

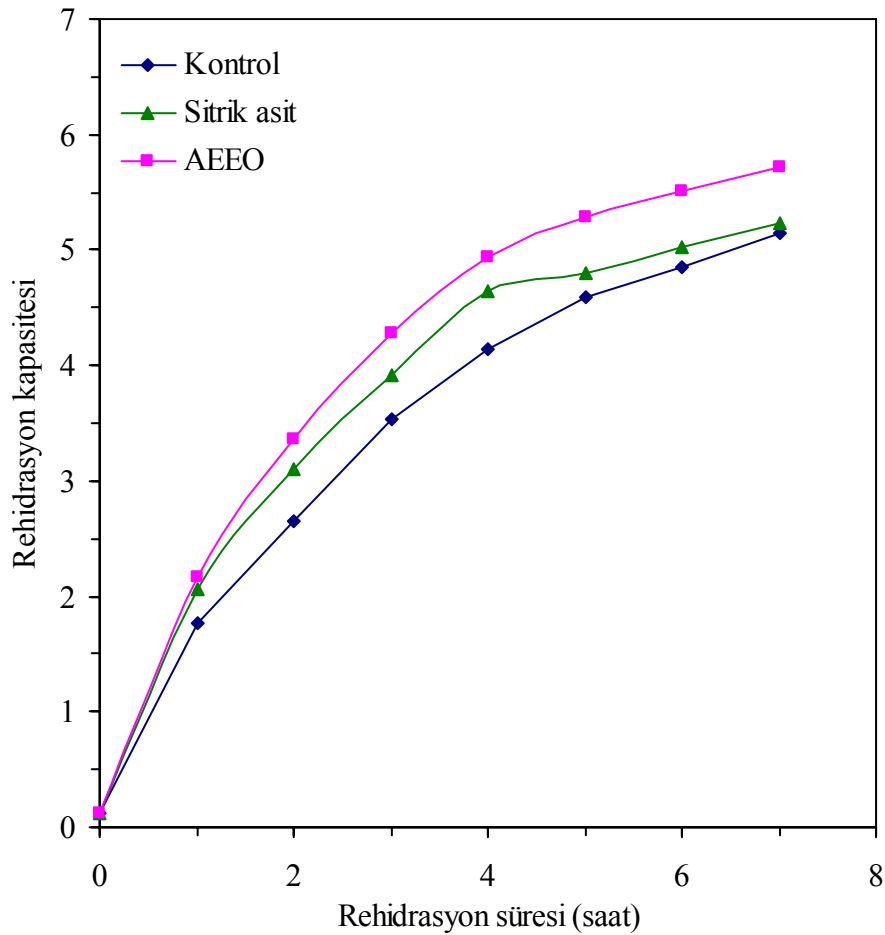
Önişlem	Sıcaklık(°C)	L	a	b
Kontrol	55	27,84	24,62	10,81
	60	27,79	24,01	7,91
	65	23,98	17,73	5,27
	70	25,36	22,18	6,33
AEEO	55	27,96	25,02	11,05
	60	27,85	25,58	8,57
	65	28,79	24,02	8,95
	70	28,37	29,91	10,59
Sitrik Asit	55	26,97	16,94	6,51
	60	27,44	20,42	6,48
	65	26,92	23,41	7,52
	70	25,87	22,62	7,44

Çizelge 6.9 ve 6.10 incelendiğinde, kurutma sıcaklığının ve ön işlemlerin kurutulan ürünlerin renk değerlerine etki ettiği görülmüştür. Kurutma sıcaklığının artışı ile birlikte renk değerlerinde bir değişim meydana gelmektedir. Taze kırmızıbiberlerin renk sonuçlarına en yakın değerler (L, a, b) alkali AEEO çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan örneklerden elde edilmiştir. Bu veriler sonucunda; AEEO çözeltisine daldırılıp kurutulan kırmızıbiberlerin, Kontrol ve Sitrik asit ile muamele edilerek kurutulan kırmızıbiberlerin renklerine göre daha açık, parlak ve kırmızı olduğu saptanmıştır.

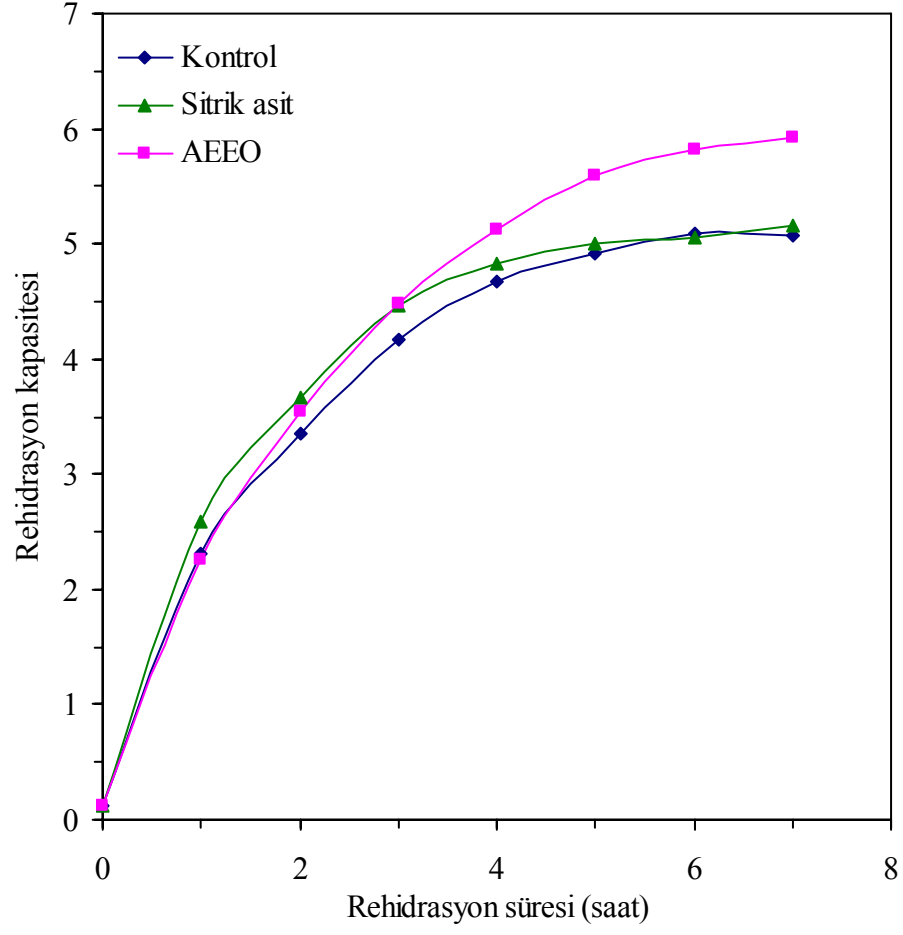
6.1.7 Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi

Kurutulmuş biberlerin (kuruma sıcaklığı 60°C ve dilim kalınlığı 2 cm) rehidrasyon kapasiteleri (5.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve farklı rehidrasyon sıcaklıkları için bulunan sonuçlar Şekil 6.13–6.15’de gösterilmiştir.

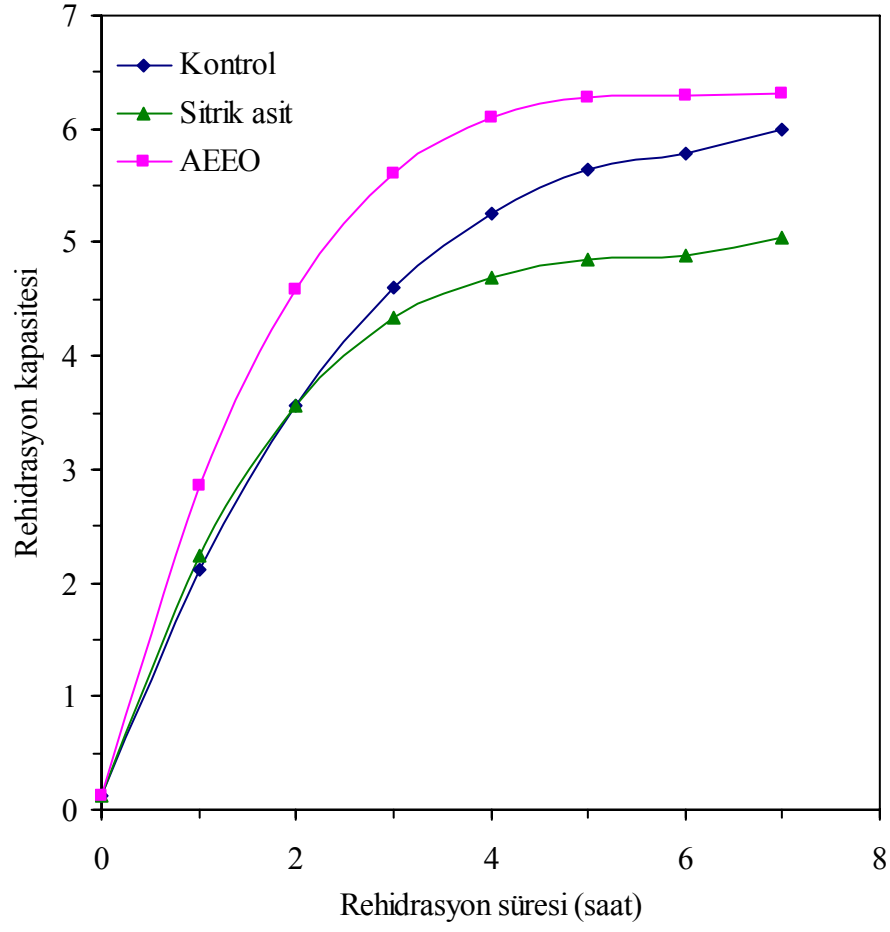
Bu şekiller incelendiğinde, ön işlemlerin ve rehidrasyon sıcaklıklarının rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği saptanmıştır. Örneğin, 25°C rehidrasyon sıcaklığında Kontrol, Sitrik asit ve AEEO biberlerine ait rehidrasyon kapasiteleri sırasıyla 5,14, 5,23 ve 5,71 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar 50°C için 5,06, 5,15, 5,92 ve 75°C için 5,99, 5,03, 6,32 olarak bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında, en yüksek rehidrasyon kapasitesinin AEEO çözeltisi ile muamele edilerek kurutulan ürünlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, rehidrasyon sıcaklığının artışı ile birlikte Kontrol ve AEEO ürünlerin rehidrasyon kapasiteleri artmakta olup buna karşılık Sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan ürünlerin rehidrasyon kapasiteleri düşmektedir. Ön işlemin ve rehidrasyon sıcaklığının rehidrasyon kapasitesine olan etkileri kurutulmuş bamyı, domates ve tatlı patates üzerinde Adedeji vd. (2008), Latapi ve Barrett (2006) ve Singh vd. (2006) tarafından araştırılmış ve benzer görüşlere ulaşılmıştır.



Şekil 6.13 60°C’de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 25°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim



Şekil 6.14 60°C’de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 50°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim



Şekil 6.15 60°C’de kurutulmuş kırmızıbiberlerin 75°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim

6.2 Bezelye

6.2.1 Ön İşlemin ve Sıcaklığın Kuruma Süresine Etkisi

Deneylerde ayıklanmış bezelyelerin kuruma kinetiği 55, 60, 65, 70°C’de ve 2 ± 0.1 m/s hava hızında incelenmiştir. Bezelyelerin kuru madde içerikleri kuru madde analizleri sonucunda %31,12 oranında belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerde nem içeri %12’ye inince kurutma işlemine son verilmiştir. Bezelye kurutma denemelerinin kuruma süreleri Çizelge 6.11’de görülmektedir. Bezelyelerin nem içerikleri ile kuruma süreleri ile değişimi Şekil 6.16–6.19 gösterilmektedir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, örneklerdeki nem miktarları kuruma süresi ile azalmaktadır.

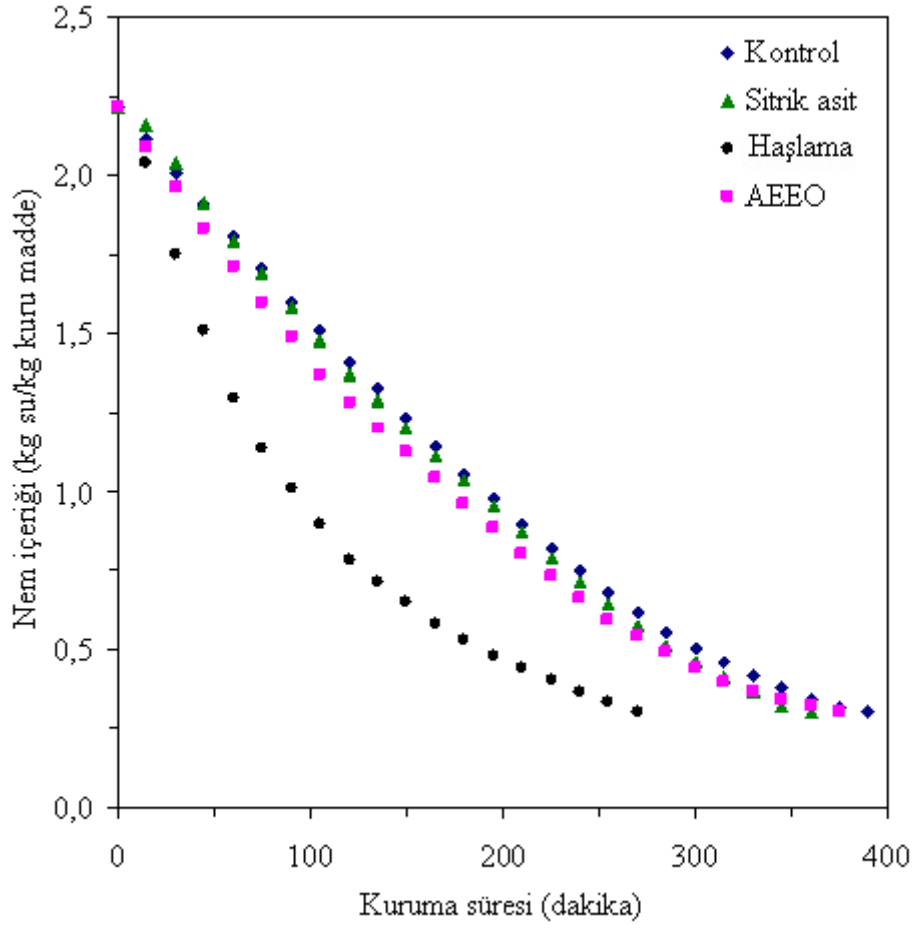
Çizelge 6.11 Bezelye kurutma denemelerine ait kuruma süreleri

Kodu	Sıcaklık (°C)	Kuruma Süresi (dak.)
Kontrol	55	390
	60	360
	65	285
	70	270
AEE0	55	375
	60	300
	65	270
	70	225
Sitrik asit	55	360
	60	315
	65	285
	70	255
Haşlama	55	270
	60	240
	65	195
	70	150

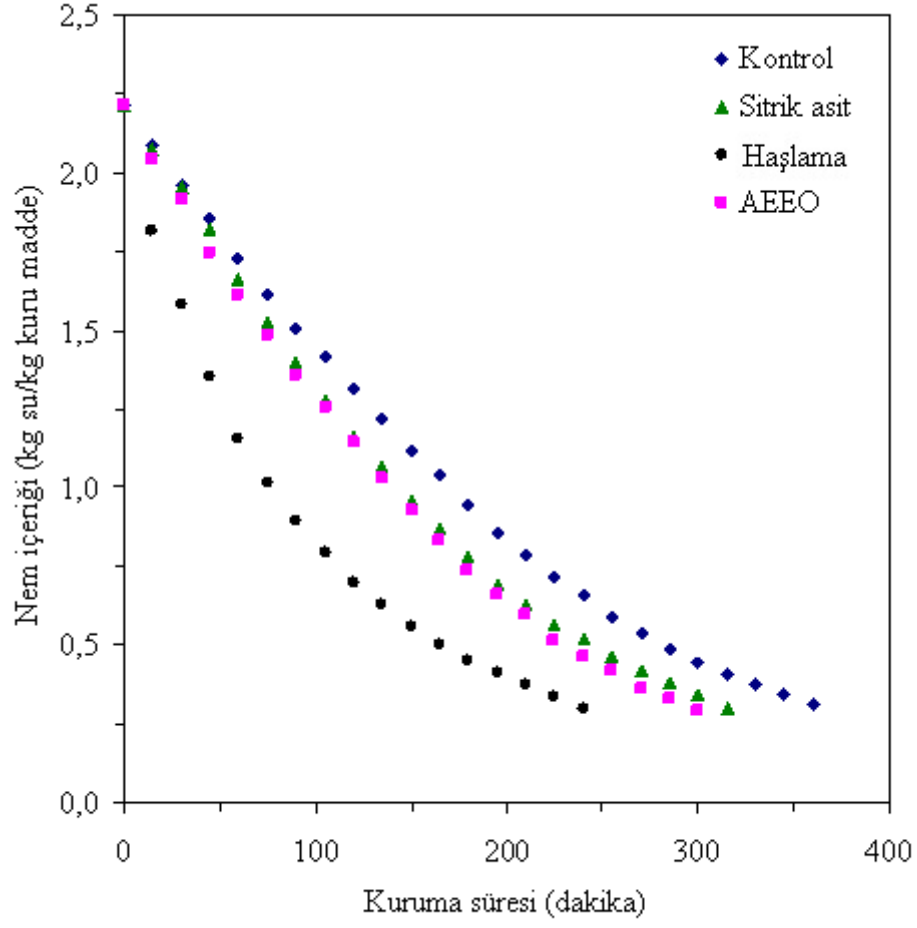
Çizelge 6.11’de görüldüğü gibi, ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlemsiz örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin 55°C’de kurutulan örneklerin kurutma süreleri; etiloleat ile (AEE0) 1 dakika süre ile ön işleme tutulan bezelyelerin 375 dakika, sitrik asit (Sitrik asit) ile ön işleme tutulan bezelyelerin 360

dakika ve yine 85°C sıcak suda (Haşlama) 1 dakika süre ile bekletilen bezelyelerin ise 270 dakikadır. Buna karşılık, ön işlemsiz yani natürel (Kontrol) olarak kurutulan bezelyelerin 390 dakikada kurudukları saptanmıştır. Bu sonuçlara göre; ön işleme tabi tutulan ürünlerin, natürel kurutulan ürünlere göre %4–30 arasında kuruma süresinden tasarruf sağladığı görülmektedir. Bu saptamayı diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görmek mümkündür.

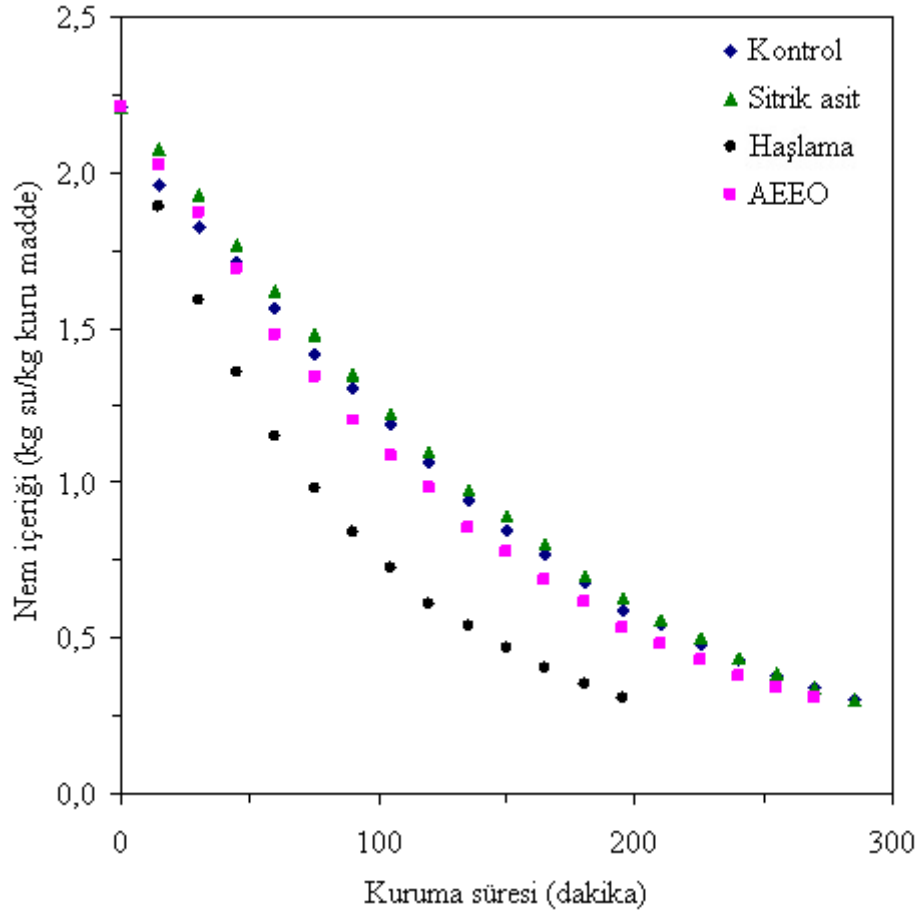
Kuruma süresi kurutma havası sıcaklığından etkilenmektedir. Hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır (Ertekin vd., 2001). Çizelge 6.11 incelendiğinde; Kontrol, AEEO, Sitrik asit ve Haşlama kodlu bezelyelerin 55 ve 70°C'deki kuruma süreleri sırasıyla 390 ve 270, 375 ve 225, 360 ve 255, 270 ve 150 dakikadır. Kuruma sıcaklığındaki 15°C'deki bir artış sonucunda kuruma sürelerinde yaklaşık %29–45 arasında bir azalma saptanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir (Kaya, 2008). Bu etkiler, ürünün daha çabuk kurumasına sebep olmaktadır.



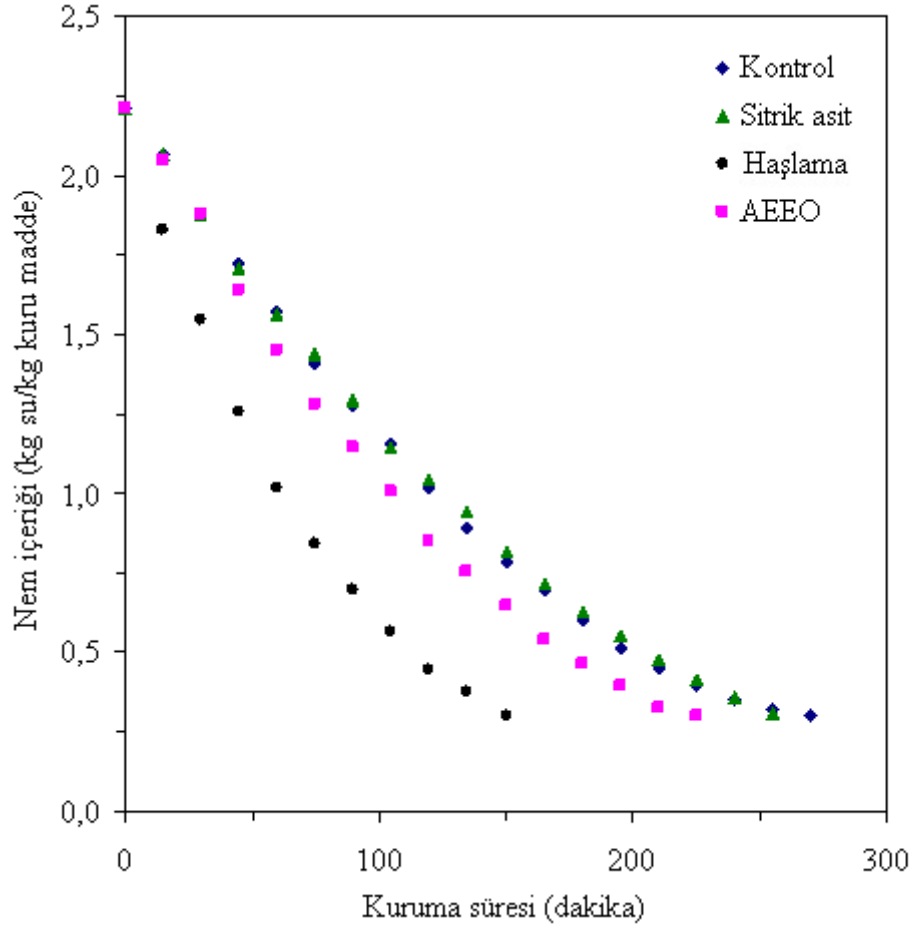
Şekil 6.16 Bezelyelerin 55°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 6.17 Bezelyelerin 60°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



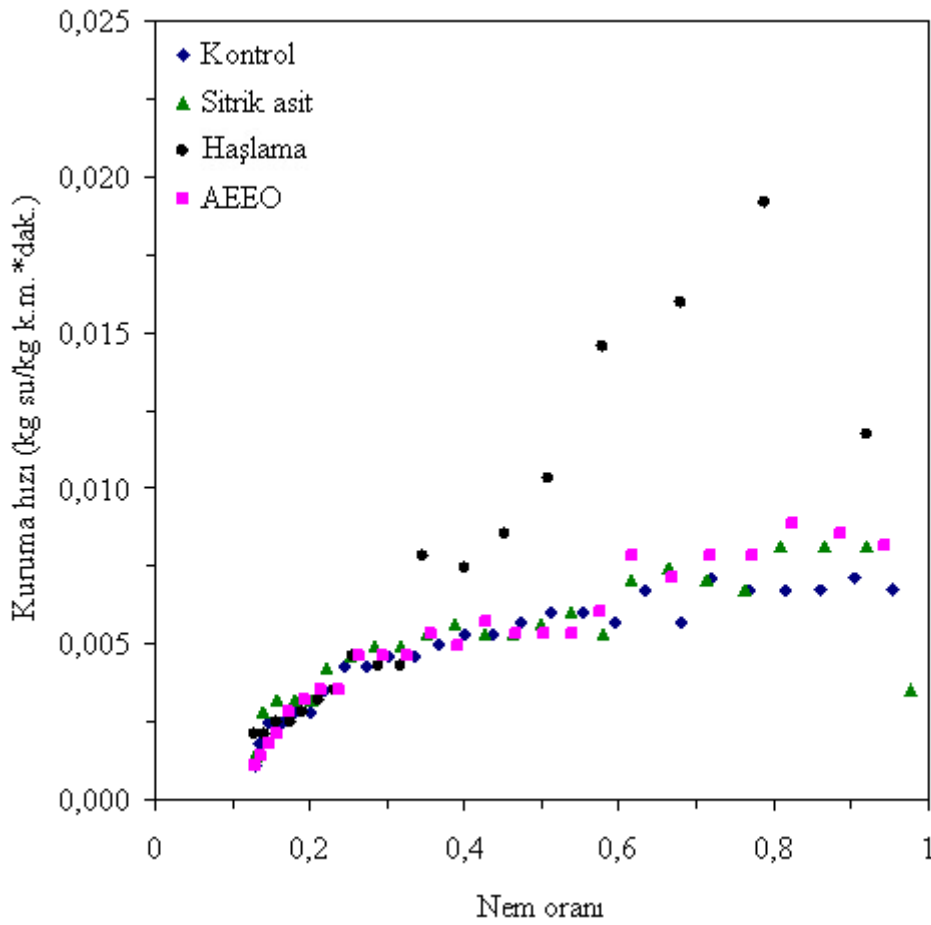
Şekil 6.18 Bezelyelerin 65°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 6.19 Bezelyelerin 70°C’deki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

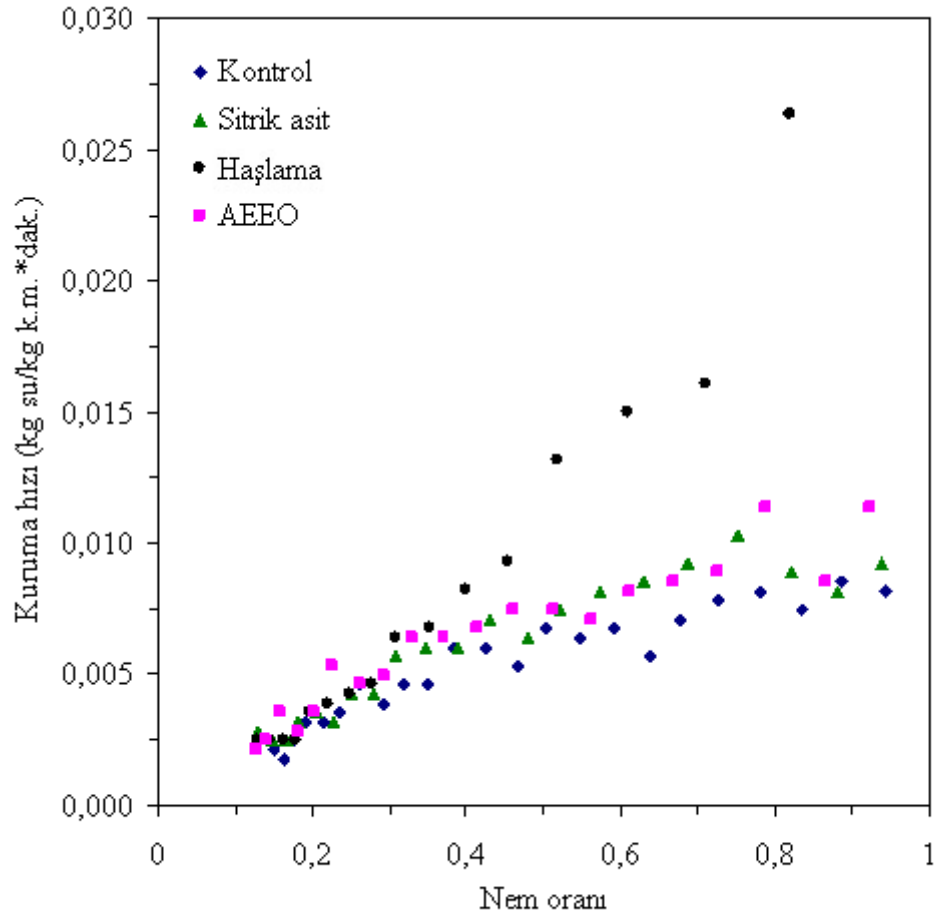
6.2.2 Kuruma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi

Denklem (5.3) kullanılarak hesaplanan kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi Şekil 6.20–6.23’de gösterilmektedir. Kurutma hızı eğrilerinde sabit hız periyodu görülmemekte olup, tüm kurutma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Bezelyenin kurumasının azalan kuruma hızı periyodunda gerçekleşmesinin literatürde yapılan hem bezelye hem de diğer sebzelerin kuruması ile uyumlu olduğu görülmektedir (Senadeera vd., 2003; Pardeshi vd., 2009; Doymaz, 2006; Jadhaw vd., 2010).

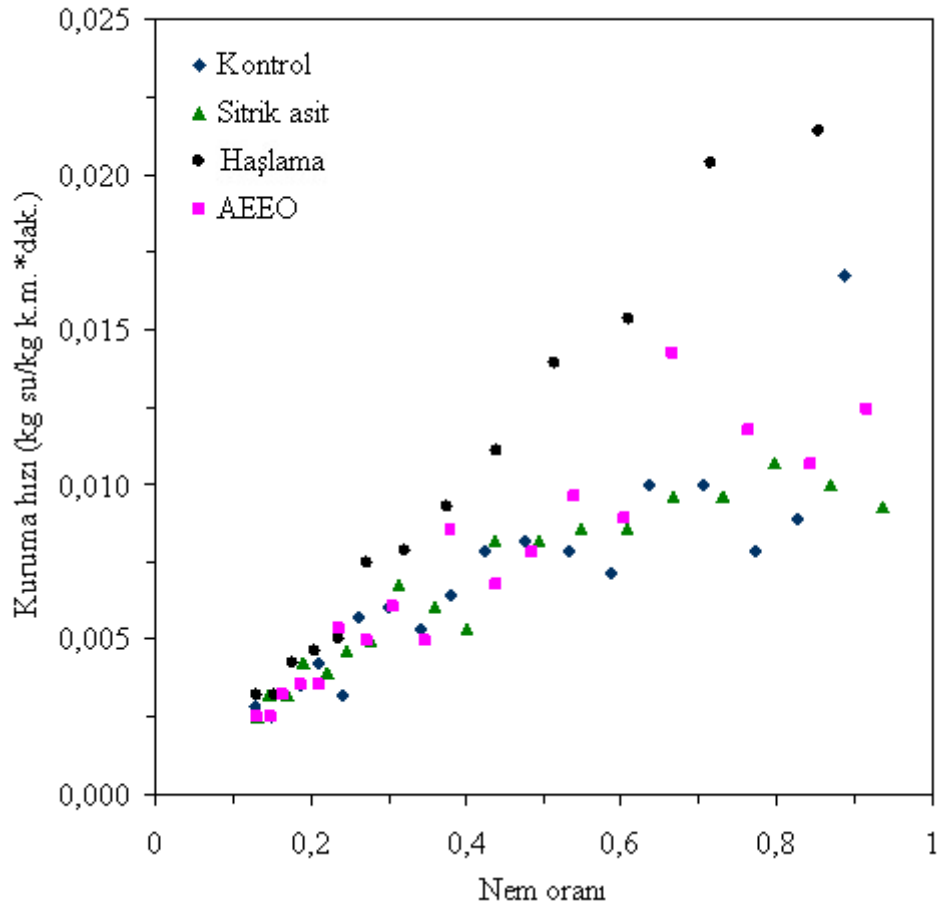


Şekil 6.20 Bezelyelerin 55°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi

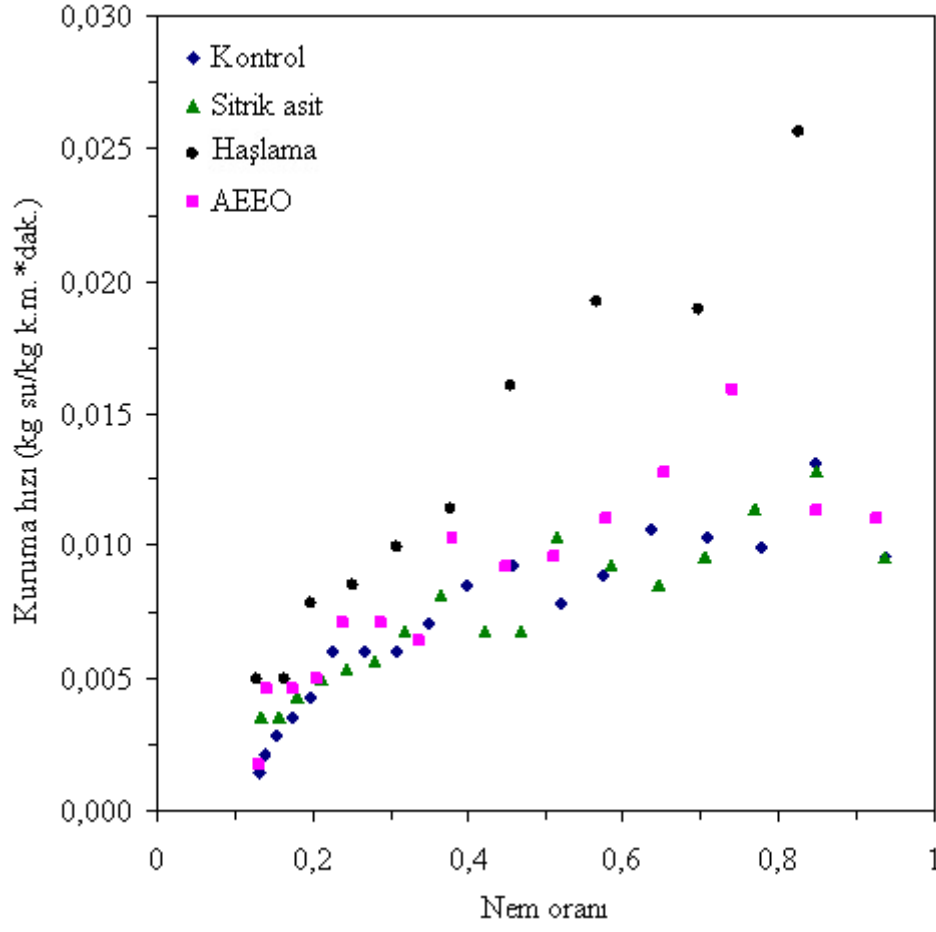
Şekil 6.20–6.23’den görüldüğü gibi, kurutma havası arttıkça nem içeriğinde belirgin bir şekilde azalma görülmüş ayrıca kuruma hızı da artmıştır. En yüksek kurutma hızları, 70°C’de kurutulan örneklerde meydana gelmiştir. Ayrıca, ön işlemlerin kurutma hızını arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.21 Bezelyelerin 60°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi



Şekil 6.22 Bezelyelerin 65°C'deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi



Şekil 6.23 Bezelyelerin 70°C’deki kuruma hızının nem oranı ile değişimi

6.2.3 Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Wang ve Singh denklemleri uygulanarak regresyon katsayıları (R^2), tahminin standart hatası (RMSE) ve khikare (χ^2) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.12–6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6.12–6.15’de görüldüğü gibi, bütün denklemlerin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9756–0,9999, 0,000007–0,00191 ve 0,00728–0,19388 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm sıcaklıklarda, bu denklemlerin R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri karşılaştırıldığında genel olarak Page ve Logaritmik denklemlerin bezelyelerin kuruma davranışlarını diğerlerinden daha iyi açıkladığı sonucuna varılmıştır. Logaritmik denklemin R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9980–0,9999, 0,000007–0,00018 ve 0,00728–0,04591 arasında değişirken bu değerler Page denklemi için 0,9958–0,9998, 0,00001–0,00031 ve 0,01027–0,05600’dur. Deneysel, Logaritmik ve Page denklemlerinden elde edilen nem oranlarının dağılımları, 55°C’de kurutulan ürünler için Şekil 6.24 ve 6.25’de verilmiştir. Bu değerler düz çizginin etrafında dağılım göstermiştir ve bu da denklemlerin deneysel verilerini iyi bir şekilde açıklayabildiğini gösterir.

Çizelge 6.12 55°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0,00446	0,9801	0,00153	0,17992
	Henderson ve Pabis	a:1,06299, k:0,00480	0,9874	0,00100	0,14142
	Logaritmik	a:1,37983 , k:0,00279, c:-0,36157	0,9985	0,00012	0,04554
	Page	k:0,00107, n:1,26640	0,9989	0,00008	0,04058
	Wang ve Singh	a:-0,00348, b:0,00003	0,9990	0,00007	0,03638
Sitrik asit	Lewis	k: 0,00460	0,9756	0,00191	0,19388
	Henderson ve Pabis	a:1,07450, k: 0,00502	0,9861	0,00113	0,13988
	Logaritmik	a: 1.48518, k: 0,00267, c: -0,45920	0,9990	0,00008	0,03184
	Page	k: 0,00093, n: 1,30141	0,9986	0,00010	0,04479
	Wang ve Singh	a:-0,00351, b:0,00003	0,9986	0,00011	0,03561
AEEÖ	Lewis	k: 0,00496	0,9912	0,00065	0,11729
	Henderson ve Pabis	a:1,04035 , k: 0,00519	0,9942	0,00044	0,09231
	Logaritmik	a: 1,18956, k: 0,00378, c: -0,17929	0,9991	0,00006	0,03116
	Page	k: 0,00215, n: 1,15795	0,9989	0,00008	0,03962
	Wang ve Singh	a: -0,00402, b: 0,00004	0,9996	0,00002	0,02093
Haşlama	Lewis	k: 0,00832	0,9948	0,00037	0,07096
	Henderson ve Pabis	a: 0,99873, k: 0,00830	0,9948	0,00039	0,07099
	Logaritmik	a: 0,95056, k: 0,01008, c: 0,07316	0,9983	0,00013	0,03361
	Page	k: 0,01064, n: 0,94914	0,9958	0,00031	0,05600
	Wang ve Singh	a: -0,00716, b: 0,00015	0,9904	0,00073	0,09706

Çizelge 6.13 60°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

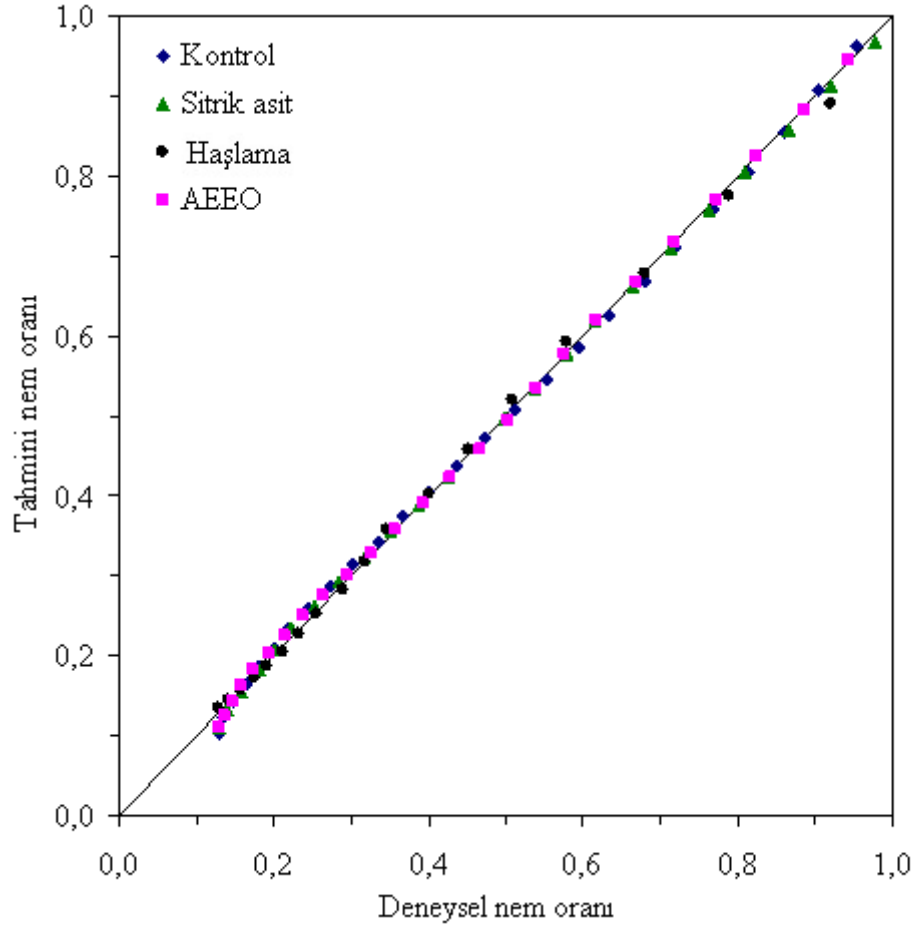
Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0,00493	0,9889	0,00082	0,12655
	Henderson ve Pabis	a: 1,04574, k: 0,00520	0,9929	0,00054	0,09910
	Logaritmik	a: 1,23741, k: 0,00357, c: -0,22460	0,9990	0,00007	0,03659
	Page	k: 0,00184, n: 1,18699	0,9992	0,00005	0,03074
	Wang ve Singh	a: -0,00398 , b: 0,00004	0,9997	0,00001	0,01741
Sitrik asit	Lewis	k: 0,00577	0,9898	0,00077	0,11386
	Henderson ve Pabis	a: 1,04953, k: 0,00610	0,9944	0,00044	0,08409
	Logaritmik	a: 1,18652, k: 0,00457, c: -0,16384	0,9986	0,00011	0,03876
	Page	k: 0,00224, n: 1,18430	0,9998	0,00001	0,01027
	Wang ve Singh	a: -0,00469, b: 0,00006	0,9993	0,00005	0,02396
AEEÖ	Lewis	k: 0,00608	0,9903	0,00073	0,10924
	Henderson ve Pabis	a: 1,03920, k: 0,00636	0,9933	0,00053	0,09044
	Logaritmik	a: 1,21911 , k: 0,00443, c: -0,21152	0,9992	0,00006	0,02808
	Page	k: 0,00256, n: 1,17055	0,9989	0,00008	0,03247
	Wang ve Singh	a: -0,00490, b: 0,00007	0,9998	0,00001	0,01283
Haşlama	Lewis	k: 0,00975	0,9879	0,00079	0,09877
	Henderson ve Pabis	a: 0,95056, k: 0,00919	0,9928	0,00050	0,07449
	Logaritmik	a: 0,89214, k: 0,01190, c: 0,09014	0,9989	0,00008	0,02697
	Page	k: 0,02040, n: 0,84334	0,9996	0,00002	0,01581
	Wang ve Singh	a: -0,00839, b: 0,00021	0,9777	0,00156	0,13118

Çizelge 6.14 65°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

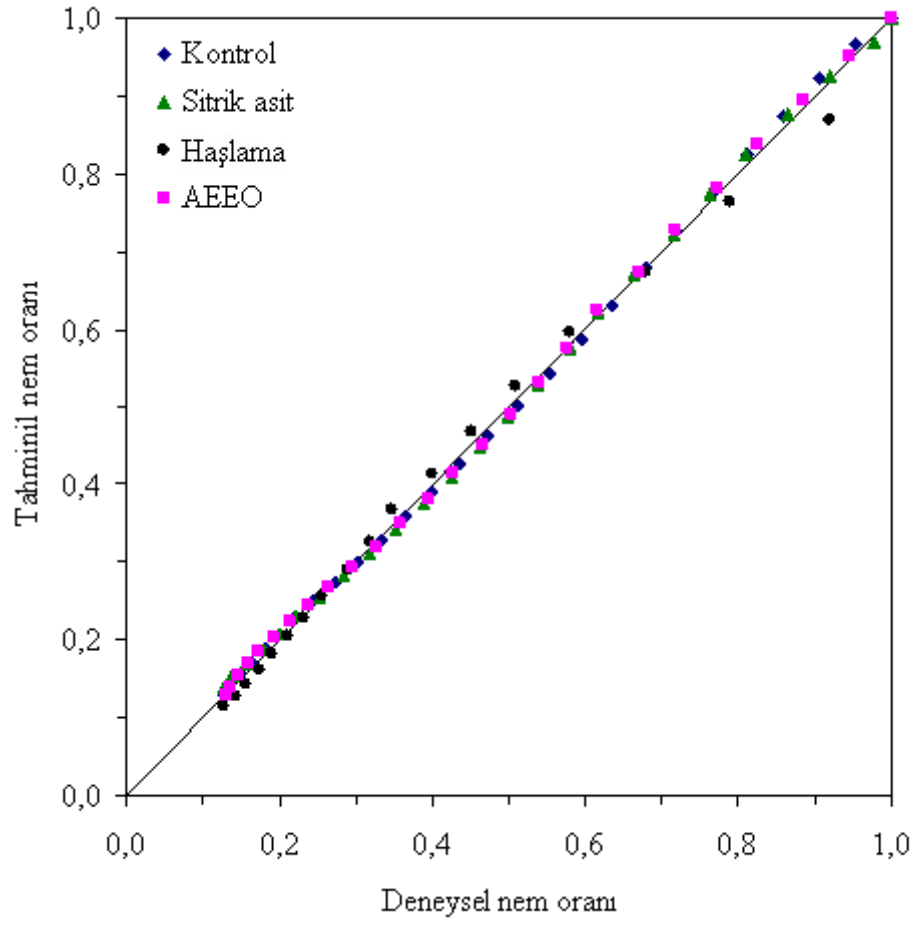
Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0,00652	0,9943	0,00040	0,07710
	Henderson ve Pabis	a: 1,01678, k: 0,00665	0,9949	0,00038	0,07559
	Logaritmik	a: 1,14934, k: 0,00499, c: -0,15766	0,9988	0,00009	0,03356
	Page	k: 0,00388, n: 1,10341	0,9977	0,00016	0,03650
	Wang ve Singh	a: -0,00537, b: 0,00008	0,9985	0,00011	0,02690
Sitrik asit	Lewis	k: 0,00624	0,9887	0,00087	0,11391
	Henderson ve Pabis	a: 1,04983, k: 0,00661	0,9934	0,00053	0,08621
	Logaritmik	a: 1,22829, k: 0,00464, c: -0,20901	0,9991	0,00007	0,03019
	Page	k: 0,00232, n: 1,19680	0,9998	0,00001	0,01398
	Wang ve Singh	a: -0,00503, b: 0,00007	0,9995	0,00003	0,01816
AEEO	Lewis	k: 0,00707	0,9963	0,00027	0,05891
	Henderson ve Pabis	a: 1,02919, k: 0,00731	0,9979	0,00016	0,04327
	Logaritmik	a: 1,08813, k: 0,00632, c: -0,07324	0,9992	0,00006	0,02373
	Page	k: 0,00430, n: 1,10066	0,9996	0,00002	0,01580
	Wang ve Singh	a: -0,00590, b: 0,00010	0,9992	0,00006	0,02712
Haşlama	Lewis	k: 0,01077	0,9994	0,00004	0,02071
	Henderson ve Pabis	a: 0,99435, k: 0,01070	0,9994	0,00004	0,02103
	Logaritmik	a: 0,97030, k: 0,01155, c: 0,03203	0,9999	0,000007	0,00728
	Page	k: 0,01237, n: 0,96969	0,9997	0,00002	0,01171
	Wang ve Singh	a: -0,00923, b: 0,00025	0,9951	0,00039	0,05871

Çizelge 6.15 70°C’de bezelyeler için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön işlem	Model	Katsayılar	R ²	χ^2	RMSE
Kontrol	Lewis	k: 0,00690	0,9875	0,00100	0,12104
	Henderson ve Pabis	a: 1,05137, k: 0,00731	0,9924	0,00065	0,09010
	Logaritmik	a: 1,21009, k: 0,00526, c: -0,18859	0,9980	0,00018	0,04591
	Page	k: 0,00249, n: 1,20590	0,9993	0,00005	0,02343
	Wang ve Singh	a: -0,00556, b: 0,00008	0,9991	0,00006	0,02896
Sitrik asit	Lewis	k: 0,00673	0,9876	0,00095	0,11367
	Henderson ve Pabis	a: 1,04631, k: 0,00710	0,9919	0,00065	0,08770
	Logaritmik	a: 1,28960, k: 0,00458, c: -0,27761	0,9994	0,00004	0,02369
	Page	k: 0,00249 , n: 1,20070	0,9989	0,00008	0,02940
	Wang ve Singh	a: -0,00537 , b: 0,00008	0,9997	0,00002	0,01412
AEEO	Lewis	k: 0,008017	0,9869	0,00108	0,10975
	Henderson ve Pabis	a: 1,05406, k: 0,00852	0,9924	0,00066	0,08119
	Logaritmik	a: 1,23003, k: 0,00602, c: -0,20542	0,9983	0,00016	0,03171
	Page	k: 0,00285, n:1,21563	0,9995	0,00003	0,01902
	Wang ve Singh	a: -0,00642, b: 0,00011	0,9987	0,00011	0,02336
Haşlama	Lewis	k: 0,01306	0,9990	0,00008	0,02088
	Henderson ve Pabis	a: 1,00953, k: 0,01320	0,9991	0,00007	0,02090
	Logaritmik	a: 1,04513, k: 0,01208, c:-0,04326	0,9996	0,00003	0,01135
	Page	k: 0,01061, n:1,04765	0,9997	0,00002	0,01179
	Wang ve Singh	a: -0,01097, b: 0,00035	0,9982	0,00015	0,03247



Şekil 6.24 55°C’de Bezelye için Deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



Şekil 6.25 55°C’de Bezelye için Deneysel ve Page denkleminin tahmini nem oranı değerleri

6.2.4 Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulan bezelye örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı için ayrı ayrı difüzyon katsayısı (5.13) denklemi kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.16’da gösterilmiştir. Etkin difüzyon katsayısı değerleri natürel olarak (Kontrol) kurutulan bezelyelerde $8,05 \cdot 10^{-11}$ ile $1,22 \cdot 10^{-10}$ m²/s, AEEO ile ön işlem görmüş bezelyelerde $8,20 \cdot 10^{-11}$ ile $1,34 \cdot 10^{-10}$ m²/s, Sitrik asit ile ön işlem görmüş bezelyelerde $8,43 \cdot 10^{-11}$ ile $1,20 \cdot 10^{-10}$ m²/s ve haşlanmış bezelyelerde $1,17 \cdot 10^{-10}$ ile $1,97 \cdot 10^{-10}$ m²/s arasında değişmiştir.

Çizelge 6.16 Bezelye için etkin difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)			
	Kontrol	Sitrik asit	Haşlama	AEEO
55	$8,05 \cdot 10^{-11}$	$8,43 \cdot 10^{-11}$	$1,17 \cdot 10^{-10}$	$8,20 \cdot 10^{-11}$
60	$8,82 \cdot 10^{-11}$	$1,01 \cdot 10^{-10}$	$1,44 \cdot 10^{-10}$	$1,05 \cdot 10^{-10}$
65	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$1,12 \cdot 10^{-10}$	$1,57 \cdot 10^{-9}$	$1,20 \cdot 10^{-10}$
70	$1,22 \cdot 10^{-10}$	$1,20 \cdot 10^{-10}$	$1,97 \cdot 10^{-9}$	$1,34 \cdot 10^{-10}$

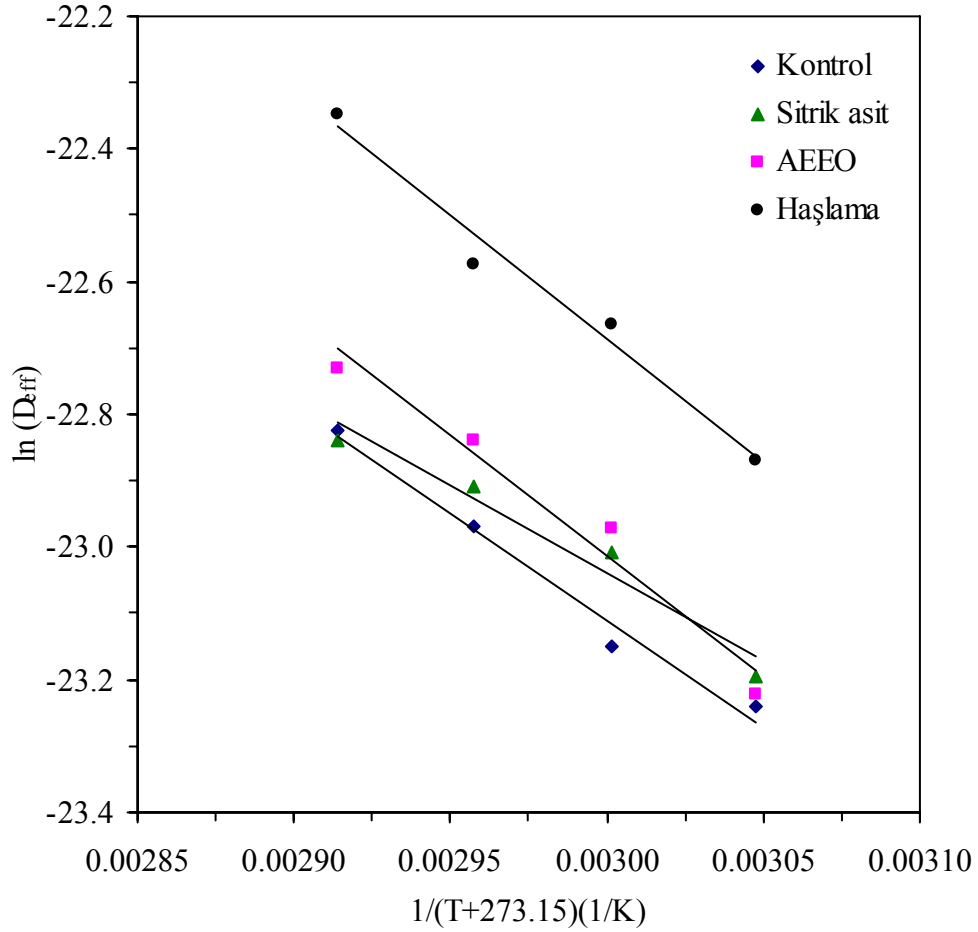
Etkin difüzyon katsayılarının hem sıcaklık hem de ön işlemlerden etkilendiği görülmüştür. Ön işleme tabi tutulan örneklerin etkin difüzyon katsayıları, Kontrol örneklere göre daha yüksektir. Ayrıca, kurutma havası sıcaklığının artışı ile birlikte difüzyon katsayıları artmaktadır. Elde edilen etkin difüzyon katsayıları 10^{-11} ve 10^{-9} m²/s arasında olup, Çizelge 6.17’de verilen literatürdeki değerler ile uyum göstermiştir.

Çizelge 6.17 Bazı sebzelerin etkin difüzyon katsayıları

Adı	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)	Kaynak
Yeşil bezelye	$3,95-6,23 \cdot 10^{-10}$	Pardeshi vd. (2009)
Yeşil bezelye	$1,50 \cdot 10^{-9}$	Simal vd. (1996)
Yeşil bezelye	$4,05 \cdot 10^{-11} - 3,03 \cdot 10^{-10}$	Jadhaw vd. (2010)
Fasulye (tane)	$1,08-6,70 \cdot 10^{-9}$	Resende vd. (2007)

6.2.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji (E_a) değerleri hesaplanmasında (5.14) denklemi kullanılmış ve Şekil 6.26'da gösterildiği gibi $\ln(D_{eff})$ ile $1/(T+273.15)$ arasında eğriler çizilmiştir.



Şekil 6.26 Sıcaklığın etkin difüzyon katsayısına etkisi

Aktivasyon enerji değerleri, $\ln(D_{eff})$ ile sıcaklık arasında çizilen grafikten (Şekil 6.26) yararlanarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki denklemlerde kontrol ve diğer ön işlemler ile muamele edilen ürünler için sıcaklığın etkisi gösterilmiştir:

AEEO'lu bezelyeler:

$$D_{eff} = 5,688 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3645,7}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9645) \quad (6.4)$$

Sitrik asitli bezelyeler:

$$D_{eff} = 2,776 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{2647,6}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9536) \quad (6.5)$$

Haşlanmış bezelyeler:

$$D_{eff} = 1,009 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3728}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9762) \quad (6.6)$$

Kontrol bezelyeler:

$$D_{eff} = 1,486 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3230,6}{(T + 273,15)}\right) \quad (R^2: 0,9825) \quad (6.7)$$

(6.4-6.7) denklemlerinden yararlanarak bezelye örnekleri için aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 30,31, 22,01, 30,99 ve 26,86 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu değerler, literatürde yer alan genel aktivasyon enerji değerleri olan 12.7-110 kJ/mol aralığındadır (Zogzas vd., 1996). Bazı bezelye ve fasulye çeşitlerinin aktivasyon enerji değerleri Çizelge 6.18’de gösterilmiştir. Elde edilen değerlerin literatürdeki değerlerle uyum sağladığı saptanmıştır.

Çizelge 6.18 Bazı bezelye çeşitlerinin aktivasyon enerjileri

Adı	E _a (kJ/mol)	Kaynak
Yeşil bezelye	28,40	Simal vd. (1996)
Yeşil bezelye	22,48	Pardeshi vd. (2009)
Fasulye (tane)	40,08	Resende vd.(2007)
Fasulye (tane)	42,35	Senadeera vd. (2003)
Fasulye	39,41	Senadeera vd. (2003)

6.2.6 Renk Analizlerinin İncelenmesi

Ön işlemlerin ve kurutma sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla taze ve kurutulmuş bezelyelerin renk değerleri Konica Minolta CR-300 cihazında ölçülmüştür. Her örnek için 5 okuma gerçekleştirilerek bunların ortalamaları alınmıştır. Elde edilen ortalama L, a ve b değerleri taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulmuş bezelyeler için Çizelge 6.19 ve Çizelge 6.20’de verilmektedir.

Çizelge 6.19 Taze bezelyelerin renk analiz değerleri

Ürün	L	a	b
Bezelye	46,42	-13,97	24,84

Çizelge 6.20 Kurutulmuş bezelyelerin renk analiz değerleri

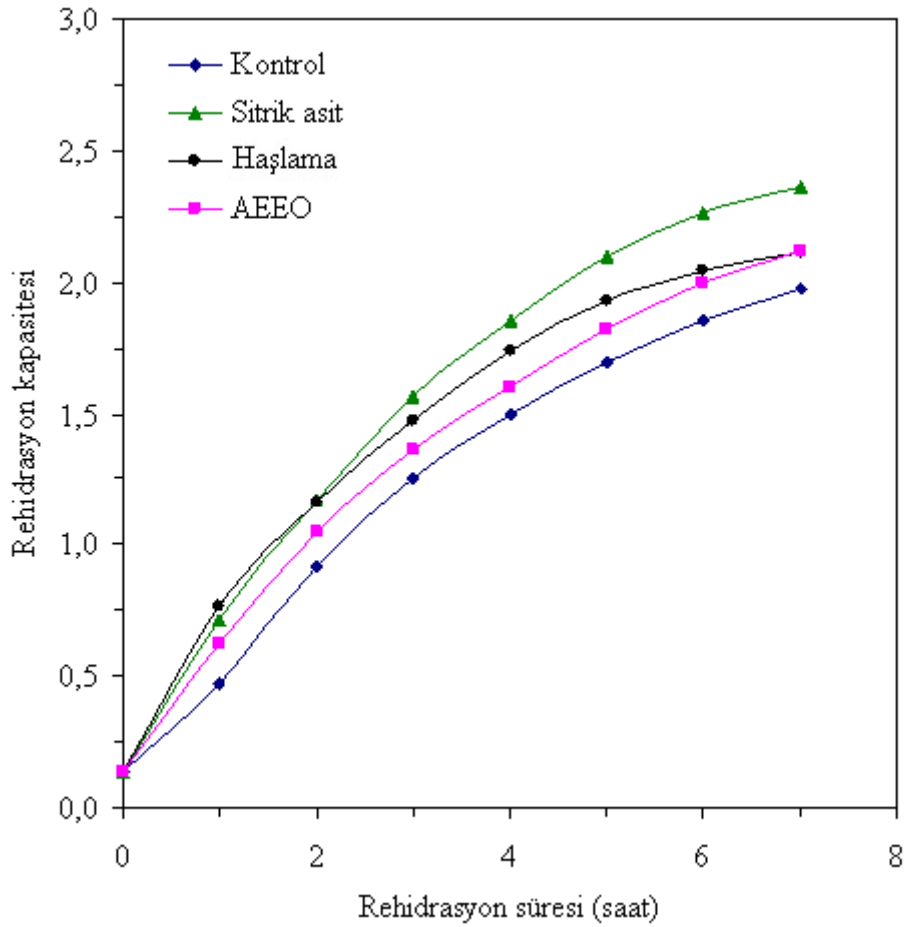
Önişlem	Sıcaklık (°C)	L	a	b
Kontrol	55	42,63	-4,69	22,17
	60	38,61	-2,48	20,70
	65	39,45	-4,81	20,5
	70	40,23	-0,95	24,43
AEEO	55	44,25	-6,05	14,39
	60	40,86	-0,53	16,73
	65	40,30	-2,72	17,51
	70	41,74	-2,63	20,95
Sitrik Asit	55	41,35	-3,32	19,87
	60	40,95	-2,66	18,21
	65	39,59	-0,43	13,84
	70	38,18	-2,37	20,33
Haşlama	55	39,72	-4,44	22,42
	60	37,04	-3,44	23,12
	65	35,08	-0,82	18,55
	70	39,12	-2,22	20,12

Çizelge 6.20’de görüldüğü gibi, parlaklığın ifadesi olan L değerleri değerlendirildiğinde AEEO çözeltisine daldırılıp kurutulan ürünlerin, diğer ürünlerin renk değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yeşilliği ifade eden -a değerleri incelendiğinde, en düşük değer AEEO çözeltisi ile muamele edilip 55°C’de kurutulan ürünlerden elde edilmiştir.

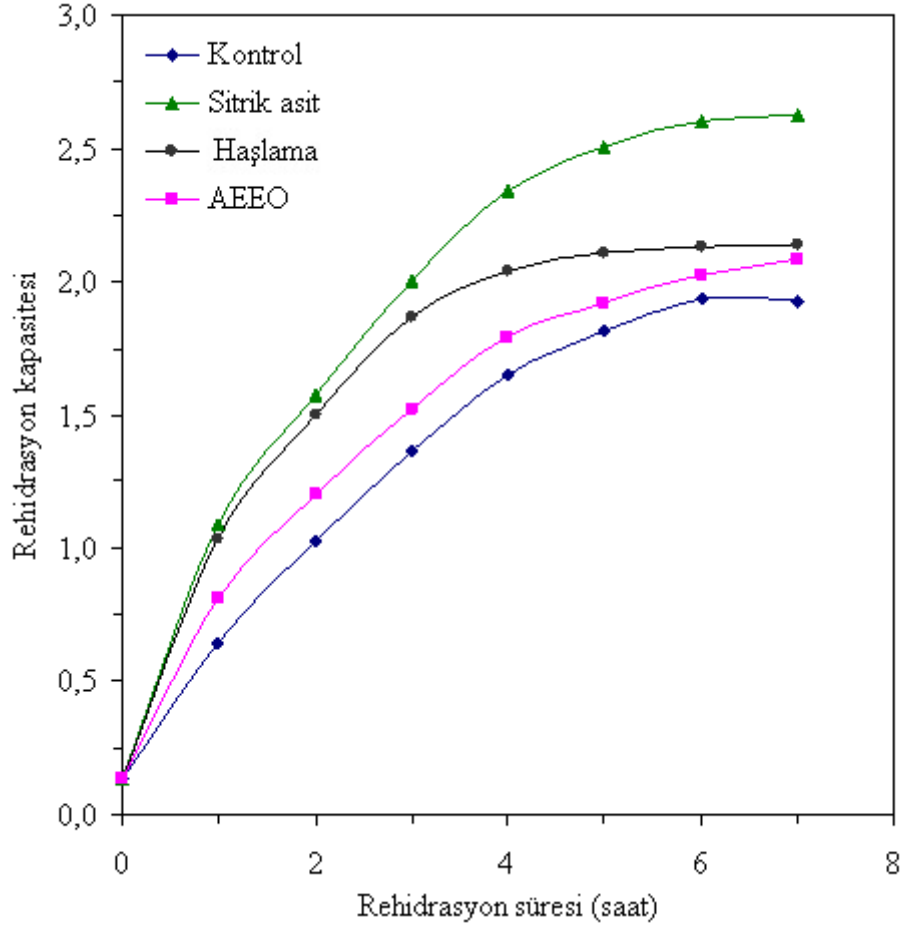
6.2.7 Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi

65°C’de kurutulmuş bezelyelerin rehidrasyon kapasitelerini bulmak için 25, 50 ve 75°C rehidrasyon sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve elde edilen verilerden yararlanılarak (5.1) eşitliğinden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.27, 6.28 ve 6.29’da gösterilmiştir. 25°C rehidrasyon sıcaklığında Kontrol, Sitrik asit, Haşlama ve AEEO bezelyelerine ait rehidrasyon kapasiteleri sırasıyla 1,97, 2,36, 2,11 ve 2,11 olarak bulunmuştur. 50°C için 1,92,

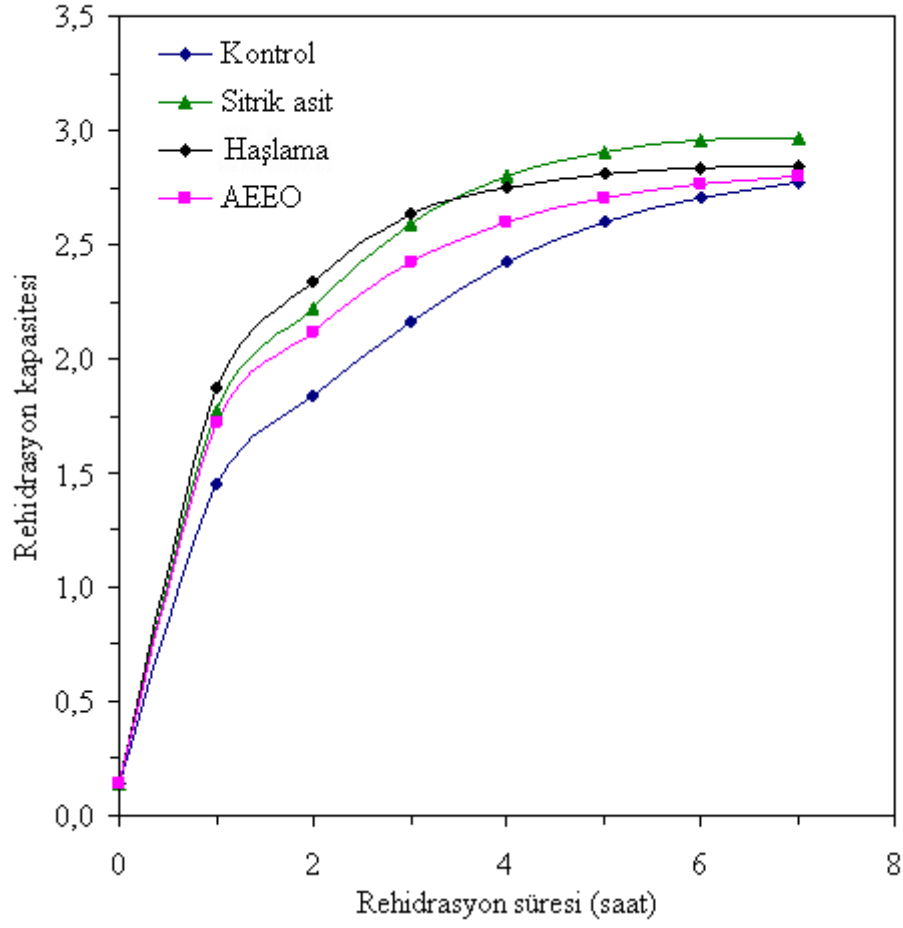
2,62, 2,13, 2,08 ve 75°C için ise 2,77, 2,97, 2,84, 2,79 olarak bulunmuştur. Bunun sonucu olarak 65°C’de kurutulan ürünlerin, 75°C rehidrasyon sıcaklığındaki rehidrasyon kapasiteleri diğer rehidrasyon sıcaklıklarındaki rehidrasyon kapasitelerinden yüksektir. Benzer sonuçlar Singh vd. (2006) ve Cunningham vd. (2008) tarafından da bulunmuştur. Ayrıca, ön işlemlerin rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği görülmüştür. Bu ön işlemlerin arasında en yüksek rehidrasyon kapasitelerinin Sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan ürünlerde meydana geldiği saptanmıştır.



Şekil 6.27 65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 25°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim



Şekil 6.28 65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 50°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim



Şekil 6.29 65°C’de kurutulmuş bezelyelerin 75°C’de rehidrasyon süresi ile rehidrasyon kapasitesi arasındaki değişim

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda yapılan kurutma işleminin kırmızıbiber ve bezelye karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kırmızıbiber ve bezelyelerin, sıcak havalı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kuruma hızı ve süresi, ön işlemlerin etkileri, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim, son ürünün rengi, rehidrasyon oranları ve ayrıca deneysel verilerden hareket edilerek modelleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

A) Kırmızıbiber numunesi için;

1. Kuruma hızları incelendiğinde;

a) Kurutma kabinde 55, 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarında ve 2 ± 0.1 m/s hava hızında gerçekleştirilmiş kırmızıbiber kurutma denemelerinin kuruma süreleri incelendiğinde, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı görülmektedir. Örneğin, kırmızıbiberlerin Kontrol, AEEO ve Sitrik asit kodlu 55 ve 70°C'deki kuruma süreleri sırasıyla 960 ve 495, 780 ve 375, 795 ve 330 dakikadır. Kuruma sıcaklığındaki 15°C'deki bir artış sonucunda kuruma sürelerinde sırasıyla %48, %52 ve %58 oranında bir azalma saptanmıştır. Bu da enerjide büyük bir kazanım meydana getirmektedir. Kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

b) Kurutma denemelerinde kırmızıbiber örnekleri ya oldukları gibi herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ya da AEEO ve Sitrik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra kurutulmuşlardır. Ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlemsiz örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Örneğin; 55°C'de kurutulan AEEO ve Sitrik asit ile ön işleme tutulan kırmızıbiber dilimlerinin, aynı sıcaklıkta natürel halde kurutulan biberlere göre %17–18 oranında kuruma süresinden tasarruf sağladığı görülmektedir. Bu saptamayı diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de görmek mümkündür. Ön işlemler (AEEO ve Sitrik asit çözeltilerine daldırma), biberin yüzeyinde bulunan mum tabakasını uzaklaştırmakta ve böylece kuruma sırasında biberdeki suyun kolayca biber yüzeyinden difüzyonuna olanak sağlamaktadır. Ayrıca, kurutma sezonundaki kuruma süresi kısaltılarak kullanılan kurutucunun kapasitesinin artması sağlanmaktadır.

c) Kırmızıbiberlerin kurutulmadan önce parçalanırsa çok daha kısa sürede kuruduğu bilinmektedir. Çünkü biberlerin geometrik yapıları küçültülerek, sıcak hava ile temas eden yüzey alanı artırılmakta ve hücrelerin parçalanması kurumayı hızlandırmaktadır. Yapılan çalışmada, kırmızıbiberler 4 cm kalınlıklarında dilimlenmiş ve aynı ön işlemlerden geçirilerek

60°C’de kurutulmuşlardır. Bu sonuçlardan, 2 cm dilim kalınlığı azalışı ile kuruma sürelerinde %8-12’lik bir azalma meydana gelmiştir.

2. Kuruma kinetiği incelendiğinde;

Bir laboratuvar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik ve Wang ve Singh denklemleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan denklemde bulunan katsayılar ile kuruma havası sıcaklığındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Regresyon katsayısı (R^2), khikare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri kullanılarak en uygun denklem saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Page ve Logaritmik denklemlerinin ürünlerin kuruma davranışlarını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

3. Etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

Sitrik asit ve AEEO çözeltilerine daldırılıp kurutulan kırmızıbiberlerin etkin difüzyon katsayıları, natürel kurutulan kırmızıbiberlere göre yüksektir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte gerek ön işlem görmüş gerekse ön işlem görmeden kurutulan kırmızıbiberlerde etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Etkin difüzyon katsayısı değerleri natürel olarak kurutulan kırmızıbiberlerde $5,72 \cdot 10^{-10}$ ile $1,34 \cdot 10^{-9}$ m²/s, Sitrik asit ile ön işlem görmüş kırmızıbiberlerde $8,06 \cdot 10^{-10}$ ile $1,75 \cdot 10^{-9}$ m²/s ve AEEO ile ön işlem görmüş kırmızıbiberlerde $7,12 \cdot 10^{-10}$ ile $1,64 \cdot 10^{-9}$ m²/s arasında değişmiştir. Bu sonuçlara göre, Sitrik asit çözeltisine daldırılan kırmızıbiberlerin kuruma hızlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Natürel olarak kurutulan, AEEO ve Sitrik asit ile ön işlem gördükten sonra kurutulan ürünlerin aktivasyon enerjileri sırasıyla 50,27, 49,21 ve 48,45 kJ/mol olarak bulunmuştur.

4. Renk değişimleri incelendiğinde;

Kurutma sıcaklığının ve ön işlemlerin kurutulan ürünlerin renk değerlerine etki ettiği görülmüştür. Kurutma sıcaklığının artışı ile birlikte renk değerlerinde bir değişim meydana gelmektedir. Taze kırmızıbiberlerin renk sonuçlarına en yakın değerler (L, a, b) alkali AEEO çözeltisi ile ön işleme tabi tutulan örneklerden elde edilmiştir. Bu veriler sonucunda; AEEO çözeltisine daldırılıp kurutulan kırmızıbiberlerin, Kontrol ve Sitrik asit ile muamele edilerek kurutulan kırmızıbiberlerin renklerine göre daha açık, parlak ve kırmızı olduğu saptanmıştır.

5. Rehidrasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;

Ön işlemlerin ve rehidrasyon sıcaklıklarının rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği ve en yüksek rehidrasyon kapasitesinin AEEO çözeltisi ile muamele edilerek kurutulan ürünlerde olduğu görölmüştür. Ayrıca, rehidrasyon sıcaklığının artışı ile birlikte Kontrol ve AEEO ürünlerin rehidrasyon kapasitelerinin arttığı, Sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan ürünlerin rehidrasyon kapasitelerinin düştüğü saptanmıştır.

B) Bezelye numunesi için;

1. Kuruma hızları incelendiğinde;

a) Deneylerde ayıklanmış bezelyelerin kuruma kinetiği 55, 60, 65 ve 70°C’de ve 2 ± 0.1 m/s hava hızında incelendiğinde, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı görölmektedir. Kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekteşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Kuruma sıcaklığındaki 15°C’deki bir artış sonucunda kuruma sürelerinde yaklaşık %29–45 arasında bir azalma saptanmıştır.

b) Kurutma denemelerindeki bezelye örnekleri ya oldukları gibi herhangi bir işleme tabi tutulmadan, ya AEEO ve Sitrik asit çözeltilerine daldırıldıktan sonra, ya da sıcak suda haşlandıktan sonra kurutulmuşlardır. Örneğin, ön işleme tabi tutulup 55°C’de kurutulan örneklerin, natürel kurutulan ürünlere göre %4–30 arasında kuruma süresinden tasarruf sağladığı görölmektedir. Bu saptama diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde görmek mümkündür.

2. Kuruma kinetiği incelendiğinde;

Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page ve Wang ve Singh denklemleri uygulanarak regresyon katsayıları (R^2), tahminin standart hatası (RMSE) ve khikare (χ^2) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm sıcaklıklarda, bu denklemlerin R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri karşılaştırıldığında Page ve Logaritmik denklemlerinin, bezelyelerin kuruma davranışlarını diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır.

3. Etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

Ön işlemlerle muamele edilip kurutulan bezelyelerin etkin difüzyon katsayıları, natürel kurutulan bezelyelere göre yüksektir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte tüm ürünlerin etkin difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulan bezelye örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı için ayrı ayrı difüzyon

katsayısı hesaplanmış ve en yüksek etkin difüzyon katsayısına haşlanmış bezelyelerde ulaşılmıştır.

AEE0 ve Sitrik asit ile ön işlem gördükten sonra, haşlandıktan sonra ve natürel olarak kurutulan ürünlerin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 30,31, 22,01, 30,99 ve 26,86 kJ/mol olarak bulunmuştur.

4. Renk değişimleri incelendiğinde;

Ön işlemlerin ve kurutma sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla taze ve kurutulmuş bezelyelerin renk değerleri Konica Minolta CR-300 cihazında ölçülmüştür. Parlaklığın ifadesi olan L değerleri değerlendirildiğinde AEE0 çözeltisine daldırılıp kurutulan ürünlerin, diğer ürünlerin renk değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yeşilliği ifade eden -a değerleri incelendiğinde, en düşük değer AEE0 çözeltisi ile muamele edilip 55°C’de kurutulan ürünlerden elde edilmiştir.

5. Rehidrasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;

Kurutulmuş bezelyelerin 65°C’de rehidrasyon kapasiteleri 25, 50 ve 75°C rehidrasyon sıcaklıklarında belirlenmiş ve sonuç olarak 75°C rehidrasyon sıcaklığındaki rehidrasyon kapasiteleri diğer rehidrasyon sıcaklıklarındaki rehidrasyon kapasitelerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ön işlemlerin rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği görülmüş ve en yüksek rehidrasyon kapasitelerinin Sitrik asit ile ön işleme tabi tutulan ürünlerde meydana geldiği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Adedeji, A.A., Gachovska, T.K., Ngadi, M.O. ve Raghavan, G.S.V., (2008), "Effect of Pretreatments on Drying Characteristics of Okra", *Drying Technology*, 26:1251-1256.
- Akpınar, K.E. ve Biçer, Y., (2003), "Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Kinetiğinin Ampirik Bağıntılarla Açıklanması", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 2:28-36.
- AOAC, (1990), *Official Methods of Analysis*, 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Arıkan, B.C., (2004), Acı Kırmızı Biber'in (*Capsicum Annuum L.*) Serum Leptin ve Serum Nitrik Oksit Düzeylerine Akut Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Arora, S., Bharti, S. ve Seghal, V.K., (2006), "Convective Drying Kinetics of Red Chillies", *Drying Technology*, 24:189-193.
- Artnaseaw, A., Theerakulpisut, S. ve Benjapiyaporn, C., (2010), "Thin Layer Modeling of Tom Yum Herbs in Vacuum Heat Pump Dryer", *Food Science and Technology International*, 16:135-140.
- Ayensu, A., (1997), "Dehydration of Food Crops Using a Solar Dryer with Convective Heat Flow", *Solar Energy*, 59:121-126.
- Baker, G.J.C., (1997), *Industrial Drying of Foods*, 1st Edition, Chapman&Hall Publication, New York.
- Başaran, B., (2006), Mısırın Akışkan Yatakta Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Burande, R.R., Kumbhar, B.K., Ghosh, P.K. ve Jayas, D.S., (2008), "Optimization of Fluidized Bed Drying Process of Green Peas Using Response Surface Methodology", *Drying Technology*, 26:920-930.
- Cemeroğlu, B. ve Acar, J., (1986), *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Sanem Matbaası, Ankara.
- Chauhan, A.K.S. ve Srivastava, A.K., (2009), "Optimizing Drying Conditions for Vacuum-Assisted Microwave Drying of Green Peas (*Pisum sativum L.*)", *Drying Technology*, 27:761-769.
- Cunningham, S.E., Mcminn, W.A.M., Magee, T.R.A., Richardson, P.S., (2008), "Experimental Study of Rehydration Kinetics of Potato Cylinders", *Food and Bioproducts Processing*, 86:15-24.
- Devahastin, S., (2000), *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying*, Exergex Corporation, Canada.
- Di Scala, K. ve Crapiste G., "Drying Kinetics and Quality Changes During Drying of Red Pepper", (2008), *LWT-Food Science and Technology*, 41:789-795.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N. ve Pala, M., (2003), "Maydanozun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 3:1-8.
- Doymaz, İ. ve Pala, M., (2001), "Daldırma Çözeltisi Kullanımının Biber Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 4:44-50.

- Doymaz, İ., (1998), Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doymaz, İ., (2006), “Thin-Layer Drying Behaviour of Mint Leaves, Journal of Food Engineering , 74:370-375.
- Duman A., Zorlugenç B. ve Evliya, B., (2002), “Kahramanmaraş’ta Kırmızı Biberin Önemi ve Sorunları”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1):111-117.
- Erbay, B. ve Küçüköner E., (2008), “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Erdem, T., (2007), Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ertekin, C., Yaldız, O. Ve Mühlbauer, W., (2001), İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Kuruma Davranışının Modellenmesi, “Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi”, 13-15 Eylül 2001, Şanlıurfa.
- Girgel, Ü., (2006), Kahramanmaraş Koşullarında Bolero Bezelye (*Pisum Sativum L.*) Çeşitinde Ekim Sıklığının Verim ve Verim Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ghodake, H.M., Goswami, T.K. ve Chakraverty, A., (2006), “Mathematical Modeling of Withering Characteristics of Tea Leaves”, Drying Technology, 24:159-164.
- Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U.S. ve Raghavan, G.S.V., (2002), “Drying Characteristics of Red Chilli”, Drying Technology, 20:1975-1987.
- Günay, A., (2005), Sebze Yetiştiriciliği, Meta Basımevi, İzmir.
- Hassan-Beygi, S.R., Aghbashlo, M., Kianmehr M.H. ve Massah, J., (2009), “Drying Characteristics of Walnut (*Juglans regia L.*) During Convection Drying”, International Agrophysics, 23:129-135.
- Heldman, D.R. ve Hartel, R.W., (1997), Principles of Food Processing, 1st Edition, Chapman & Hall Publication , New York.
- Hossain, M.A., Bala, B.K. ve Choudhury B.L.D., (2005), “Effect of Pretreatments on Drying Kinetics and Quality of Solar Dehydrated Chillies”, Journal of South Pacific Agriculture, 12:1-8.
- Hutchinson, D. ve Otten L., (1983), “Thin Layer Air Drying of Soybeans and White Beans”, Journal of Food Technology, 18:507-522.
- Jadhaw, D.B., Visavale, G.L., Sutar, N., Annature, U.S. ve Thorat, B.N., (2010), “Studies on Solar Cabinet Drying of Green Peas (*Pisum Sativum*)”, Drying Technology, 28:600-607.
- Kaleemullah, S. ve Kailappan, R., (2006), “Modelling of Thin-Layer Drying Kinetics of Red Chillies”, Journal of Food Engineering, 76:531-537.
- Karaaslan, S. ve Tunçer, İ.K., (2009), “Kırmızı Biberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ile Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 12(2):9-16.
- Karayel, R. ve Bozoğlu, H., (2008), “Türkiye’nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Yerel Bezelye Populasyonunun Bazı Agronomik Özellikleri”, OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(1):32-38.

- Kaya, A., (2008), Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelemesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kawada, T., Hagihara, K. ve Iwai, K., (1986), "Effects of Capsaicin on Lipid Metabolism in Rats Fed a High Fat Diet", The Journal of Nutrition, 116:1272-1278.
- Kayhan, Ö., (2008), Zeytin Karasuyundan Antioksidanların Dondurarak Kurutma Yöntemi ile Ayırıştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Kaymak-Ertekin, F., (2002), "Drying and Rehydrating Kinetics of Green and Red Peppers", Journal of Food Science, 67:168-175.
- Latapi, G. ve Barrett D.M., (2006), "Influence of Pre-drying Treatments on Quality and Safety of Sun-dried Tomatoes. Part I: Use of Steam Blanching, Boiling Brine Blanching, and Dips in Salt or Sodium Metabisulfite", Journal of Food Science, 71(1):24-31.
- Lewicki, P.P., (1998), "Some Remarks on Rehydration of Dried Foods", Journal of Food Engineering, 36:81-87.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H. ve Buckle, K.A., (1996), "The Thin-Layer Drying Characteristics of Garlic Slices", Journal of Food Engineering, 29:75-97.
- Madamba, P.S., (2003), "Thin Layer Drying Models for Osmotically Pre-dried Young Coconut", Drying Technology, 21:1759-1780.
- Madhiyanon, T., Phila, A. ve Soponronnarit, S., (2009), "Models of Fluidized Bed Drying for Thin-Layer Chopped Coconut", Applied Thermal Engineering, 29:2849-2854.
- McKetta, J.J., (1983), Encyclopedia of Chemical Process and Design, Marcel Dekker, New York.
- Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2006), "Havucun İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi", Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2(4):353-362.
- Mengeş, H.O., Ertekin C., Haciseferoğulları, H. ve Gezer, İ., (2007), "Malatya İlinde Yetiştirilen Hacıhalilolğu Çeşidi Kayısının Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(42):84-88.
- Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2007), "Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(42):4-10.
- Olgun, H. ve Rzayev, P., (2000), "Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24:1-14.
- Özbalta, N. ve Güngör A., (1997), III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Altındağ Matbaacılık, İzmir.
- Pardeshi, I.L., Arora, S. ve Borker, P.A., (2009), "Thin-Layer Drying of Green Peas and Selection of a Suitable Thin-Layer Drying Model", Drying Technology, 27:288-295.
- Polatçı, H. ve Tarhan, S., (2009), "Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum Basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi", Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1):61-70.
- Roberts, J.S., Kidd, D.R. ve Padilla-Zakour, O., (2008), "Drying Kinetics of Grape Seeds, Journal of Food Engineering", 89:460-465.
- Resende, O., Correá, P.C., Jarén, C. ve Moure, A.J., (2007), "Bean Moisture Diffusivity and Drying Kinetics: A Comparison of the Liquid Diffusion Model When Taking Into Account and Neglecting Grain Shrinkage", Spanish Journal of Agricultural Research, 5:51-58.

Sacilik, K. ve Elicin, A.K., (2006), "The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices", Journal of Food Engineering, 73:281-289.

Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990), Gıda Endüstrisi Makinaları, Önder Matbaa, Ankara.

Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascual P. ve Mulet, A., (2003), "Dehydration Kinetics of Red Pepper (*Capsicum Annuum L var Jaranda*)", Journal of the Science of Food and Agriculture, 83:697-701.

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.

Seçmeler, Ö., (2003), Comparison of Microwave Drying and Microwave Mixed-Bed Drying of Red Peppers, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Senadeera, W., Bhandari, B.R., Young, G., Wijesinghe, B., (2003), "Influence of Shapes of Selected Vegetable Materials on Drying Kinetics During Fluidized Bed Drying", Journal of Food Engineering, 58:277-283.

Simal, S., Mulet, A., Tarrazo J. ve Rossello, C., (1996), "Drying Models for Gren Peas", Food Chemistry, 55:121-128.

Singh, S., Raina, C.S., Bawa A.S. ve Saxena, D.C., (2006), "Effect of Pretreatments on Drying and Rehydration Kinetics and Color of Sweet Potato Slices", Drying Technology, 24:1487-1494.

Sobukola, O.P. ve Dairo, O.U., (2007), "Modeling Drying Kinetics of Fever Leaves (*Ocimum viride*) in a Convective Hot Air Dryer", Nigerian Food Journal, 25:146-154.

Sobukola, O.P., Dairo, O.U. ve Odunewu, A.V., (2008), "Convective Hot Air Drying of Blanched Yam Slices", International Journal of Food Science and Technology, 43:1233-1238.

Soysal, Y., (2004), "Microwave Drying Characteristics of Parsley", Biosystems Engineering, 89:167-173.

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

Toğay, N., Toğay, Y., Erman, M. ve Yıldırım, B., (2006), "Kışlık İki Bezelye Hattı (*Pisum sativum ssp. arvense L.*)'nda Farklı Bitki Sıklıklarının Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkisi", Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 16(2):97-103.

Traub, H., (2004), Drying-The Cinderella of the Process Industry, Drying 2004-Proceedings of the 14th International Drying Symposium, 22-25 August, Sao Paulo.

Tunde-Akintunde, T.Y. ve Ajala, A., (2010), "Air Drying Characteristics of Chili Pepper", International Journal of Food Engineering, 6(1): Article 7.

UNIDO, (2004a), "Preservation of Fruits and Vegetables by Drying", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.

UNIDO, (2004b), "Classification of Dryers", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.

Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Yagnam, F. ve Rojas, A., (2008), Mass Transfer Kinetics During Convective Drying of Red Pepper Var. Hungarian (*Capsicum annuum L.*), Mathematical Modeling and Evaluation of Kinetic Parameters", Journal of Food Process Engineering, 31:120-137.

- Vega-Mercado H., G3ngora-Nieto M.M. ve B3rbosa-Canovas G.V., (2001), “Advances in Dehydration of Foods”, Journal of Food Engineering, 49:271-289.
- Wang, C.Y.ve Singh, R.P., (1978), A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, ASAE, St.Joseph, MI, USA.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. ve Hu, X., (2007), “Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace”, Food Research International, 40:39-46.
- Xanthopoulos, G., Lambrinos, GR. ve Manolopoulou, H., (2007), “Evaluation of Thin-Layer Models for Mushroom (*Agaricus bisporus*) Drying”, Drying Technology, 25:1471-1481.
- Y3zge, U., (2005), Kurutma S3recinin Modellenmesi ve Akıllı 3ng3r3l3 Denetimi, Y3ksek Lisans Tezi, Kocaeli 3niversitesi Fen Bilimleri Enstit3s3, Kocaeli.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (1996), “Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs.”, Drying Technology, 14:2225-2253.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.kimyamuhendisi.com
- [2] www.dtm.gov.tr
- [3] www.kahramanmarastarim.gov.tr
- [4] www.fao.org
- [5] www.wikipedia.org
- [6] www.hunterlab.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 27.08.1985

Doğum yeri Denizli

Lise 2000-2003 Denizli Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü