

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

**PATLICANIN KURUTMA VE REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

CANSU AKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. İBRAHİM DOYMAZ**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PATLICANIN KURUTMA VE REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Cansu AKTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 24/02/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Lisansüstü çalışmamda her türlü desteği vererek yardımlarını esirgemeyen bu araştırmanın bir yüksek lisans tezi olabilmesi için değerli zamanını benim için ayıran danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ'a katkılarından ve yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda sabırla beni bugünlere yetiştiren ve her zaman yanımda olan annem Elmas AKTAŞ'a, babam Bülent Arif AKTAŞ'a ve daima yanımda olan ağabeyim Bilgin AKTAŞ'a ve tezimi hazırlamamda manevi desteğini esirgemeyen Ali Evren'e sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Őubat, 2015

Cansu AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	.vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	.ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2	
PATLICAN.....	3
2.1 Besin Değeri ve Yararları	4
2.2 Dünya ve Türkiye’de Patlıcan Üretimi.....	5
BÖLÜM 3	
KURUTMA.....	8
3.1 Kurutmaya Giriş	8
3.2 Kurutma Esnasında Isı ve Kütle Geçişi	11
3.3 Kurutmada Meydana Gelen Olaylar	13
3.3.1 Suyun Yüzeyden Buharlaşması	13
3.3.2 Su Aktivitesi	14
3.3.3 Denge Nemi	15

3.4	Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları	15	
3.5	Kurutma Hızını Etkileyen Değişkenler	19	
3.6	Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri	21	
3.6.1	Kararma Reaksiyonları	21	
3.6.2	Lipid Oksidasyonu	22	
3.6.3	Rehidrasyon ve Büzülme	22	
3.6.4	Çözünbilme Kapasitesi	23	
3.6.5	Aroma ve Tat	23	
3.6.6	C Vitamini Kayıpları	24	
3.7	Kurutma Zamanının Belirlenmesi	24	
3.7.1	Davranış Testi	24	
3.7.2	Yapay Madde Testi	24	
3.7.3	Teorik Tahmin	24	
3.8	Kurutma Yöntemleri	25	
3.9	Kurutucu Tipleri	26	
3.9.1	Konvansiyonel Kurutucular	26	
3.9.1.1	Güneş Enerjili Doğal Kurutucular	27	
3.9.1.2	Kabin Tipi Kurutucu	27	
3.9.1.3	Tünel Tipi Kurutucu	28	
3.9.1.4	Düşük Sıcaklıklı Fırın Kurutucu	30	
3.9.1.5	Bantlı Kurutucu	30	
3.9.1.6	Konveyörlü Kurutucu	31	
3.9.1.7	Akışkan Yataklı Kurutucu	32	
3.9.1.8	Pnömatik Kurutucu	33	
3.9.1.9	Püskürtmeli (Sprey) Kurutucu	33	
3.9.1.10	Döner Kurutucu	35	
3.10	Kurutucu Seçimi	35	
3.11	Diğer Kurutma Yöntemleri	37	
3.11.1	Vakum Kurutma	37	
3.11.2	Dondurarak Kurutma	38	
3.11.3	Ozmotik Kurutma	38	
3.11.4	Morötesi Radyasyon Kurutma	39	
3.11.5	Kızıl Ötesi Işınımlı Kurutma	39	
3.11.6	Mikrodalga Kurutma	39	
BÖLÜM 4			
LİTERATÜR ÇALIŞMALARI			41
BÖLÜM 5			
MATERYAL VE YÖNTEM			47
5.1	Materyal	47	
5.1.1	Hammadde	47	
5.1.2	Araç ve Gereçler	48	
5.2	Yöntemler	50	

5.2.1	Kurutma Sistemi	50
5.2.2	Kuru Madde Tayini	50
5.2.3	Hava Akış Hızı.....	51
5.3	Kurutma Denemeleri.....	52
5.4	Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği) Kapasitesinin Ölçülmesi	54
5.5	Matematiksel Modelleme.....	55
5.6	Regresyon Analizi	57
5.7	Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	58
BÖLÜM 6		
DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ.....		60
6.1	Ön İşlemin, Sıcaklığın ve Dilim Kalınlığının Kurutma Zamanına Etkisi	60
6.2	Kurutma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi.....	67
6.3	Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	72
6.4	Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması	81
6.5	Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	83
6.6	Rehidrasyon Grafikleri	85
6.7	Renk ve Görünüm	95
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		96
KAYNAKLAR.....		100
ÖZGEÇMİŞ.....		107

SİMGE LİSTESİ

A	Sfır noktasında örneğin nem içeriği
a_w	Su aktivitesi
B	Kuruma sabit periyot başlama noktası
C	Kuruma kritik nem içeriği noktası
D	Kuruma ikinci azalan hız periyodu noktası
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
E	Kuruma sonlanma noktası
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
L	Dilim yarı kalınlığı (m)
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_0	$t=0$ anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	$t+\Delta t$ anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
m_w	Su miktarı (kg)
MR	Nem oranı
MR_{exp}	Deneyel nem oranı
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı
N	Deneyel veri sayısı
n	Kullanılan kurutma modelindeki katsayı sayısı
R	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol. K))
R^2	Regresyon katsayıları
RMSE	Tahminin standart hatası
RC	Rehidrasyon kapasitesi
T	Kurutma sıcaklığı ($^{\circ}C$)
t	Zaman (dak)
χ^2	khi-kare değeri
W_1	Rehidrasyondan önceki madde miktarı (kg)
W_2	Rehidrasyondan sonraki madde miktarı (kg)

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AOAC	Kurumsal Analitik Kimyacılar Birliği (Association of Official Analytical Chemists)
BATEM	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Gıda maddeleri için kurutma olayının şematik gösterimi..... 13
Şekil 3.2	Su aktivitesi ile gıdalardaki bozulma reaksiyonları arasındaki ilişki..... 15
Şekil 3.3	Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi 17
Şekil 3.4	Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi 18
Şekil 3.5	Kurutma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi 18
Şekil 3.6	Güneşte patlıcan kurutma 25
Şekil 3.7	Güneş enerjili kurutucu..... 27
Şekil 3.8	Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucu şematik gösterimleri 28
Şekil 3.9	Paralel akışlı tünel kurutucu 29
Şekil 3.10	Zıt akışlı tünel kurutucu 29
Şekil 3.11	İki kademeli kurutma sistemi..... 30
Şekil 3.12	Bantlı tünel tipi kurutucu 31
Şekil 3.13	İki aşamalı konveyör kurutucu 32
Şekil 3.14	Akışkan yataklı kurutucu 33
Şekil 3.15	Püskürtmeli kurutucu ünitesinin akım şeması..... 34
Şekil 3.16	Paralel, karşıt ve çapraz akımlı püskürtmeli kurutucunun kurutma hazneleri..... 34
Şekil 3.17	Döner tip kurutucu..... 35
Şekil 3.18	Kurutucu seçimi için işlem adımları 37
Şekil 3.19	Dalga boyları, elektromanyetik spektrum için verilmiş bir örnek..... 40
Şekil 5.1	Denemelerde kullanılan Kemer patlıcanı..... 47
Şekil 5.2	Patlıcanın kurutulmasında kullanılan kurutucunun genel görünüşü..... 48
Şekil 5.3	Tartım cihazının genel görünüşü..... 49
Şekil 5.4	Hassas tartım cihazının genel görünüşü 49
Şekil 5.5	Selecta marka etüv cihazının genel görünümü..... 51
Şekil 5.6	Anemometre genel görünümü 52
Şekil 5.7	Kurutma sırasında yapılan tartım işlemi 53
Şekil 5.8	Paketlenmiş kuru patlıcanlar 54
Şekil 5.9	Kurutulmuş patlıcan dilimlerine rehidrasyon işleminin uygulanması 55
Şekil 6.1	Patlıcan dilimlerinin 40°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi 63

Şekil 6.2	Patlıcan dilimlerinin 50°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi	64
Şekil 6.3	Patlıcan dilimlerinin 60°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi	65
Şekil 6.4	Patlıcan dilimlerinin 70°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi	66
Şekil 6.5	Patlıcan dilimlerinin 40°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi	68
Şekil 6.6	Patlıcan dilimlerinin 50°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi	69
Şekil 6.7	Patlıcan dilimlerinin 60°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi	70
Şekil 6.8	Patlıcan dilimlerinin 70°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi	71
Şekil 6.9	40°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri	77
Şekil 6.10	50°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri	78
Şekil 6.11	60°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri	79
Şekil 6.12	70°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri	80
Şekil 6.13	Patlıcanların efektif difüzyon katsayıları	81
Şekil 6.14	Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi	83
Şekil 6.15	40°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	87
Şekil 6.16	50°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	88
Şekil 6.17	60°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	89
Şekil 6.18	70°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	90
Şekil 6.19	40°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	91
Şekil 6.20	50°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	92
Şekil 6.21	60°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	93
Şekil 6.22	70°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi	94
Şekil 6.23	Sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu kurutulmuş patlıcan dilimleri	95

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Türkiye ve Dünya’da patlıcan üretim miktarları..... 6
Çizelge 5.1	Patlıcanın kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler 57
Çizelge 6.1	Farklı kalınlık ve sıcaklıktaki patlıcan dilimlerinin kurutma zamanları.... 61
Çizelge 6.2	40°C’deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 73
Çizelge 6.3	50°C’deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 74
Çizelge 6.4	60°C’deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 75
Çizelge 6.5	70°C’deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri 76
Çizelge 6.6	Bazı sebzelerin efektif difüzyon katsayı değerleri..... 82
Çizelge 6.7	Bazı gıda maddelerinin aktivasyon enerjileri 85
Çizelge 6.8	Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş patlıcanların rehidrasyon kapasiteleri... 86

PATLICANIN KURUTMA VE REHİDRASYON KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Cansu AKTAŞ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim DOYMAZ

Ülkemiz sebze ve meyve üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Bol miktarda üretilen bu meyve ve sebzeleri saklama yöntemlerinden birisi de güneşte ve yapay kurutucularda kurutmaktır. Ancak doğada kurutma, güneş ısıyla gerçekleşmekte olduğundan, kurutmanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır. Kurutma zamanının uzun olması ve genel olarak kurutulmuş ürün kalitesinin mikrobiyal bulaşma gibi nedenlerle düşük olması, diğer kurutma metotlarının gelişmesine olanak sağlamıştır.

Gıda sektöründe kurutma, gıdanın raf ömrünü uzatmak, paketlenme maliyetini düşürmek, tonaj ağırlığını azaltmak, ürünün görünüşünü geliştirmek, orijinal tadını ve besin değerini korumak için kullanılmaktadır. Bu bakımdan gıda endüstrisinde kurutma prosesinin temel hedeflerini, gıda kalitesi ve güvenliğinin yanı sıra ekonomik ve ekolojik etkenler belirlemektedir.

Bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda farklı sıcaklıklarda (40-70°C) ve sabit hava hızında ($2\pm 0,1$ m/s) yapılan kurutma işleminin farklı kalınlıktaki (0,6, 0,9 ve 1,2 cm) patlıcan dilimleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Patlıcan dilimleri, sitrik asitle muamele, haşlama ve ön işlem yapılmadan kurutulmuştur. Örneklerin, sıcak havalı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kurutma hızı ve zamanı,

ön işlemlerin etkileri, etkin difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim, son ürünün rengi ve rehidrasyon kapasitesi çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, kurutma kinetiğini belirlemek için nem oranı-kurutma zamanı eğrileri çizilmiş ve sekiz adet matematiksel modele uyarlanmıştır. Bu modellerden Midilli vd. modelinin en uygun tahminleri verdiği görülmüştür.

Sonuçlar; kurutma sıcaklığının artırılması ve ön işlem uygulanmasının kurutma zamanını 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 azalmasının kurutma zamanını düşürdüğü saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlıcan, kurutma, matematiksel modelleme, difüzyon katsayısı, rehidrasyon kapasitesi, sitrik asit, haşlama

**INVESTIGATION OF DRYING AND REHYDRATION CHARACTERISTICS OF
EGGPLANT**

Cansu AKTAŞ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Our country has a great potential in 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 by the heat of sun, it's impossible for drying to be provided within this method all the time and everywhere. Besides, drying time is long and dried product quality is generally low because of microbial conamination. For this reason, different methods of drying for many products were developed.

In food industry, drying proses is used to extend the shelf life of the produce, reduce packing costs, decrease weight, improve presentation and maintain natural taste as well as feeding values. Quality and safety in food beside economical and ecological reasons determine targets of drying process in the food industry.

The purpose of this study is determined the effect hot air at temperatures from 40 to 70°C, constant air ($2\pm 0,1$ m/s) and slice thickness (0,6, 0,9 and 1,2 cm) on the drying characteristics of eggplant slices. The eggplant slices have been pretreated with citric acid solution and blanching in the hot water before drying process. Then, the

pretreated and untreated samples dried in the hot air dryer. As a consequence of the drying of eggplant slices 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. On the other hand in order to determine drying kinetics, graphs illustrating rate of moisture ratio-drying time were drawn and applied to 8 different mathematical models. Midilli vd. model proved to be the best one to approve estimates.

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.

Key words: Eggplant, drying, mathematical modelling, effective diffusivity, rehydration capacity, citric acid, blanching.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Meyve ve sebzelere üretildikleri mevsim dışında kalan dönemlerde veya hiç üretimi yapılmayan bölge ve ülkelerde tüketilmek veya özel durumlarda kullanılmak amacıyla farklı koruma teknikleri uygulanmaktadır [1]. 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 metodu büyük önem taşımaktadır [2].

İnsanlar yaşamlarını sürdürebilmek için öncelikle beslenmede, birçok teknikler geliştirmiştir. Bu tekniklerin en önemlisi ve en eskisi taze gıdaların kurutulmasıdır. Gıdaların kurutulmasıyla dayandırılmaları yöntemi, insanların doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir.

Çok eski zamanlarda dahi insanlar et ve balığı güneşte kurutmuşlardır [3]. Her yerde ve her zaman güneş ısısından faydalanarak kurutmanın mümkün olmaması, ürünün böcek vb. dış etkiye maruz kalması, kurutmaya birlikte hafif bir fermantasyon meydana gelebilme riski yapay kurutma sistemlerinin zamanla güneşte kurutmaya tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. Güneşte kurutmanın oldukça uzun zaman alan bir metod olması, daha hızlı, hijyenik ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metodlarının gelişmesine olanak tanımıştır [1].

Ülkemizin iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzelerin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında 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 vb. sebzelerin ülkemiz koşullarında kurutma potansiyeli oldukça fazladır. Ancak ülkemizde dünya kurutulmuş ürün piyasasındaki payımızın arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda daha kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir [4].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, ön işlem yapılan ve yapılmayan farklı kalınlıktaki patlıcan dilimlerinin, farklı sıcaklık değerlerindeki hava ile kurutulması, kurutma eğrilerinin modellenmesi, difüzyon katsayılarının ve aktivasyon enerji değerlerinin hesaplanması yapılacaktır. Ön işlemlerin, dilim kalınlıklarının ve hava sıcaklık derecesinin kurutma hızına etkisi ve kurutulmuş patlıcan dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri belirlenecektir.

1.3 Orijinal Katkı

Kabukları soyulup dilimlenen farklı kalınlıktaki (0,6, 0,9 ve 1,2 cm) patlıcan dilimleri 40, 50, 60 ve 70°C'deki sıcaklık değerlerinde ve sabit hava hızında bir kabin kurutucuda kurutulmuştur. Deneysel verilerden yararlanarak kurutulmuş patlıcanın kurutma kinetiği, efektif difüzyon katsayıları ile aktivasyon enerji değerleri bulunmuştur. Ayrıca kurutulan patlıcanların rehidrasyon kapasiteleri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

PATLICAN

Sebzeler, insanların ihtiyaç duydukları günlük vitamin (vitamin A, niasin, tiamin, riboflavin, askorbik asit), inorganik tuzlar (kalsiyum, fosfor, demir, potasyum, sodyum) ve düşük kalori ihtiyaçlarını karşılamaları açısından oldukça önemlidir [5]. Türkiye’de farklı iklim ve toprak yapısı nedeni ile birçok sebze türü üretilebilmekte olup patlıcan, bunlar içerisinde en önemlilerinden birisidir. Patlıcanın anavatanı Hindistan olup tropik bölgelerde çok yıllık bitki özelliği gösterirken bu kuşağın dışındaki iklim kuşaklarında tek yıllık olarak yetiştirilen, kazık köklü, sıcak iklim sebzesidir [6].

Solanacea familyasına ait olan ve *Solanum melongena* L., aubergine, eggplant, melanzani veya brinjal olarak dünyada bazı belli başlı isimlerle bilinen patlıcan, Indo-Burma orijinli bir bitki olarak tanımlanmaktadır. İkinci derecedeki gen merkezinin de Çin olduğu yönünde kayıtlar bulunmaktadır. Anavatanı Güneydoğu Asya olan bu bitkinin, Araplar tarafından önce Akdeniz havzasına getirildiği, oradan İspanya’ya geçtiği, Türkler tarafından Balkanlar üzerinden Avrupa’ya yayıldığı anlatılmaktadır. Patlıcanın Anadolu’ya 16. yüzyılın sonlarında ve 17. yüzyılın başlarında girdiği bilinmektedir.

Patlıcanın Türk mutfağında özel bir önemi bulunmakta, patlıcanlı yemek adları Türkçe olarak tüm dünyada bilinmektedir. Musakka, imambayıldı, karnıyarık, dolma ve alinazik gibi patlıcan yemekleri ve patlıcan kebabı; yabancı dilde hazırlanmış yemek kitaplarında veya internet sitelerinde aynı isimle anılmaktadır. Gerçekten de Türk

mutfağında çok çeşitli yemekleri yapılan patlıcan, aynı zamanda konserve, turşu ve reçel yapımında da kullanılmaktadır [7].

Patlıcan, 10-15°C'de yaklaşık 10 günlük raf ömrüne sahiptir [8]. Tarlada sıcaklığın etkisinden hızlıca uzaklaştırmak mümkün olmadığından tazelik, su kaybı ve kalite bakımından raf ömrü sınırlıdır. Raf ömrünü korumak için soğutma, modifiye atmosfer, dondurma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kurutma, bozulmayı engellemek için kullanılan en önemli patlıcan işleme metotlarından biridir. Depolama boyunca su aktivitesini ve mikrobiyal aktiviteyi azaltmak, fiziksel ve kimyasal değişimleri minimize etmek amacıyla kullanılan kurutma tekniği, gıdaların korunma metotlarından en eski ve en önemlisidir [9]. Özellikle Güneydoğu Anadolu'da yöresel bazı çeşitlerin kurutularak kış aylarında değerlendirilmek üzere saklanması da yaygındır.

2.1 Besin Değeri ve Yararları

Patlıcanın insan sağlığındaki yeri diğer sebze türlerinden küçümsenmeyecek düzeydedir. 100 g patlıcanda 24 kalori vardır. Ayrıca, 1,1 g protein, 2 g yağ, 5,5 g karbonhidrat, 1 g lif, 37 mg fosfor, 15 mg kalsiyum, 1 mg demir, 1 mg sodyum, 15 mg potasyum, 0,4 mg B1 vitamini, 0,5 mg B2 vitamini ve 5 mg C vitamini bulunmaktadır [10].

Sağlıklı yaşam idealinin gündemdeki yerini almasıyla diğer sebzelerde olduğu gibi patlıcanın, tüketiminin ve değerlendirme olanaklarının da artmasıyla birlikte üretimi de artmaktadır. Yemeklik değeri yanında uzun yıllardan beri halk arasında ilaç olarak da kullanılmaktadır [11]. Örneğin, doku özleri astım bronşit kolera ve dizuri tedavisinde kullanılırken meyve ve yaprakları kan kolesterolünü düşürmede etkilidir [12].

Yapılan araştırmalarda antioksidan özelliğe sahip nasunin maddesi patlıcan kabuğunda yer alır. Nasunin hücre duvarının korunmasında rol alırken, hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda nasunin serbest radikallerin beyin hücre duvarlarından hücreye girmesini engellediği bildirilmektedir. Nasunin ayrıca vücutta fazla miktarda bulunan demiri şelat formunda bağlayarak kanda oksijen taşınımını kolaylaştırır. Patlıcan bünyesinde bulunan fenolik bileşiklerin bitkiyi oksidatif stresten koruduğu, bakteri ve mantarların bulaşmasına engel olduğu bildirilmektedir [11].

2.2 Dünya ve Türkiye’de Patlıcan Üretimi

Patlıcan, toprak özellikleri bakımından oldukça seçici bir sebzedir. Toprağın tınlı-killi bir yapıda olması istenir. Besin maddeleri yeterli düzeyde olmayan topraklarda çiçeklenme zamanı uzar. Ayrıca, patlıcan yetiştiriciliğinde toprakta yeteri kadar organik madde bulunmalıdır. Toprak pH’ının 5,5–6,8 arasında olması istenir. Sera yetiştiriciliğinde toprağın sıcak olması istenir ve 18–22°C toprak sıcaklığı patlıcan için yeterlidir. Düşük sıcaklıklarda bitkinin besin maddesi alımı yavaşlar [13].

Son yıllarda sağlıklı yaşam idealinin gündemdeki yerini fazlaca alması ile diğer sebzelerde olduğu gibi patlıcan tüketimi ve değerlendirme olanakları da artmış, bu durum da üretim artışına teşvik etmiştir. Türkiye istatistik kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemiz 2013 yılı patlıcan üretimimiz 826.941 ton’dur [14].

Çizelge 2.1’de Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütünden (FAO) alınan son on yıllık ortalama veriler incelendiğinde; dünya patlıcan üretiminde Çin %57,48 ile 1. sırada, Hindistan %25,51 ile 2. sırada, Mısır %3,03 ile 3. sırada ve Türkiye %2,24 ile 4. sırada yer almakta, özellikle son yedi yılda Çin üretiminin arttığı; Türkiye, Hindistan, Mısır ve İran üretimlerinin ise fazla değişim göstermediği görülmektedir [15]. Dünya üretiminde ilk dört sırayı %88,25 oranı ile Çin, Hindistan, Mısır ve Türkiye almaktadır.

Çizelge 2.1 Türkiye ve Dünya’da patlıcan üretim miktarları

Patlıcan Üretim Miktarları (ton/yıl)						
Yıllar	Türkiye	Çin	Hindistan	Mısır	İran	Dünya
2012	799.285	28.800.000	12.200.000	1.193.854	1.300.000	48.424.295
2011	821.770	27.700.000	11.896.000	1.166.430	1.215.025	46.837.769
2010	846.998	26.740.000	10.563.000	1.229.792	935.819	44.278.381
2009	816.134	25.885.000	10.377.600	1.290.190	862.159	43.166.252
2008	813.686	23.722.000	9.678.000	1.242.665	443.060	39.808.557
2007	863.737	22.000.000	9.453.000	1.160.621	611.519	37.620.116
2006	924.165	17.500.000	9.364.300	1.180.280	464.189	33.039.451
2005	930.000	17.000.000	8.600.800	1.155.920	781.968	32.075.890
2004	900.000	16.500.000	8.477.300	1.046.742	521.299	31.005.133
2003	935.000	16.000.000	7.830.000	1.026.353	538.726	29.707.420

Subtropik ile karasal iklim kuşağı arasında yer alan bölgemiz, patlıcan tarımı için oldukça uygundur. Dar alanlarda yetiştiriciliğinin yanı sıra sulanabilen alanlarda tarla sebzeçiliği şeklinde de tarımı yapılmaktadır. Bölgede sulama olanaklarının artmasıyla patlıcan üretiminin daha da artması beklenmektedir [16].

Türkiye şartlarında patlıcan üretimi hem açıkta hem örtü altında yapılabilen, fakat iklim ve toprak isteği yanında bakım şartları ve ekim nöbeti tercihinden dolayı her bölgede yetiştirilememektedir [6]. Ülkemizde yıllarca açık arazide yapılan patlıcan yetiştiriciliği 1970’li yılların ikinci yarısından itibaren seralarda yer almaya başlamıştır [17]. Serada üretime Kemer, Göl, Halkapınar ve Halep gibi yerli çeşitlerle başlanmış ancak F1 hibritlerin verim ve meyve kalitesindeki üstünlükleri, üreticilerin zaman kaybetmeksizin bu çeşitlere yönelmesine neden olmuştur. Üreticiler patlıcanın yetiştirme tekniğini öğrendikçe örtü altındaki ekili alan yıldan yıla artmıştır; bugün sera ürünleri içerisinde domates, biber ve hıyardan sonra dördüncü sırada yer almaktadır [17].

Türkiye’de yıllık patlıcan üretimi Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Marmara bölgelerine dağılmış olup bu bölgelerin Türkiye toplam üretimindeki payları sırasıyla

%30, %25, %15 ve %10'dur [7]. Türkiye'de patlıcan üretimi yapılan en önemli iller; Mersin, Antalya, Şanlıurfa, Hatay, Aydın, Bursa, Adana ve Samsun'dur [6]. Yetiştirilen ürünün büyük bir bölümü iç pazarda taze olarak tüketilmekte olup az bir kısmı ihraç edilmektedir [7].

3.1 Kurutmaya Giriş

İşleme, depolama ve dağıtım esnasında gıdalar fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak birçok değişime uğramaktadırlar. Bunun sonucunda gıdalarda yapı ve renkte değişimlere neden olunmaktadır. Ayrıca aroma maddelerinin bozulması ve besin maddelerinin indirgenmesi gibi istenmeyen biyokimyasal reaksiyonlar da ortaya çıkabilmektedir [18]. Bu oluşuma, meyve ve sebzelerin içerdikleri yüksek orandaki su ve bazı organik maddeler neden olmaktadır [1].

Kurutma işleminin amacı, gıdadaki suyun kontrollü koşullarda uzaklaştırılmasıdır [19]. Meyve ve sebzelerle uygulanan kurutma işlemlerinde kurutma etkinliğinin artırılması amacıyla, kurutma öncesinde bazı ön işlemler uygulanmaktadır. Özellikle meyvelerde dış kısımlarını kaplayan mumsu tabakayı gidererek kurutma hızını artırmak amacıyla, etil oleat içeren kimyasal çözeltiler yaygın şekilde kullanılmaktadır [20].

Kurutma, bilinen en eski gıda muhafaza tekniğidir ve yüzyıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. M.Ö. 20000 yıllarında Rusya'da, et dilimlendikten sonra güneşte kurutulmuştu. M.Ö. 10000'li yıllarda deniz suyunun güneşte kurutulması ile tuz elde edilmiştir. Antik Mısır'da M.Ö. (2800-2300) elma, üzüm ve kayısı gibi meyveler güneş altında kurutulmuştu. Tarih öncesi zamandan beri, güneş altında sererek kurutma, tarım ürünlerinin, özellikle meyve ve sebzelerin muhafaza edilmesi için kullanılan bir tekniktir [21].

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 [18].

Kurutulmuş son üründe, hammaddenin ve son ürünün karakterine, ambalajlama ve depolama şartlarına göre değişmekle birlikte, %3 ile %10 seviyelerinde su bulunabilmektedir. Gıdanın başlangıçta sahip olduğu yüksek miktardaki suyun bu seviyelere kadar azaltılabilmesi için farklı kurutma teknikleri uygulanmaktadır [21].

Kurutma işleminde gıda içinde mevcut olan su, gıdanın bozulmasına neden olmayacak şekilde azaltıldığı için gıdanın uzun süre bozulmadan saklanabilmesine olanak vermektedir. Bu işlemle gıdada bulunan C vitamini dışında bütün minerallerin korunduğu bilinmekle birlikte, besin öğeleri bakımından da gıda yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanır. Aynı zamanda kurutulmuş olarak tüketilen gıdalar vücudu yüksek antioksidant potansiyeller ile serbest radikallere karşı korur.

İşlem sırasında kurutma havasından ürüne doğru ısı transferi gerçekleşir. Ürünün kullanım kalitesi ile dayanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesinden dolayı, bu işlemde son kurutma derecesinin çok önemli olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle kurutmanın kontrollü şartlarda gerçekleştirilmesi önemlidir. Bu amaçla, yaygın olarak belirli sıcaklık, bağıl nem ve akış hızına sahip hava kullanılır. Belirli nitelikteki kurutucu hava aynı anda hem gıdanın hissedilen sıcaklığının ve buharlaşma gizli ısısının artmasını, hem de buharlaşan suyun buharlaşma yüzeyinden uzaklaştırılmasını sağlar. Böylece, sıcak hava akımına dayalı kurutmada kütle transferi için temel mekanizmalar şu şekilde gerçekleşir:

- Gıdadaki suyun yüzeye difüzyonu,

- Yüzeyde buharlaşma,
- Su buharının hava akımıyla yüzeyden uzaklaştırılmasıdır.

Isı transferi için mekanizma ise şu şekilde gerçekleşir:

- Kurutucu hava sıcaklığının gıda yüzeyine konveksiyonla taşınması,
- Isının yüzeyden gıda merkezine doğru iletimle geçmesi şeklinde tarif edilebilir [19].

Tarım sektöründe gelişmiş pek çok ülke, bir yüksek sıcaklık uygulaması olan kurutma prosesini, gıdanın raf ömrünü uzatmak, paketlenme maliyetini düşürmek, tonaj ağırlığını azaltmak, ürünün görünüşünü geliştirmek, orijinal tadını ve besin değerini korumak için kullanmaktadır. Bu bakımdan gıda endüstrisinde kurutma prosesinin temel hedeflerini gıda kalitesi ve güvenliğinin yanı sıra ekonomik ve ekolojik etkenler belirlemektedir. Kurutma mekanizmasına bağlı olarak son ürün, nitelikleri ham maddeninkinden oldukça farklı bir son ürün haline gelebilir.

Kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır. Örneğin, birçok ülkede büyük bir endüstri halinde gelişmiş olan kuru çorba üretiminin hammaddesi, kurutulmuş çeşitli sebzelerdir [22].

Ülkemizde iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzenin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında güneşe sererek yapılmaktadır [23]. Bununla birlikte bu kurutma tekniğinde ürün, mikrobiyal kontaminasyona, mikroorganizma gelişmesine ve böcek istilasına açıktır, ayrıca ürünün beslenme değerinde azalma meydana gelir. Isıl işlem sırasında hücre membranı geçirgenliğini kaybeder, tekstür değişir ve hücre duvarlarındaki pektik maddeler parçalanmaya uğrarlar. Aroma maddeleri kendine özgü niteliklerini yitirir ve istenmeyen aroma bileşikleri oluşur [24]. Bu olumsuzluklar nedeniyle, günümüzde kontrollü şartlar altında kurutma tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan tekniklerin hemen tamamında, gıda maddesi içinde bulunan suyun buharlaştırılması için gerekli olan ısı enerjisinin, uygun sistemler kullanılarak, gıda kitlesine aktarılması yapılmaktadır. Sıcak hava veya sıcak yüzeyler aracılığı ile aktarılması gereken ısının miktarı, gıda maddesi içinde bulunan suyun içeriğinde birçok gıda bileşeninin

çözünmüş olması, bu suyun hücreler arasında, poroz yapılarda ve kapiler sistemlerde bulunması nedeniyle serbest suya göre daha fazladır. Öte yandan, gıda maddesinde karboksil ve amino grupları gibi iyonik gruplarla etkileşim halindeki, bağlı su olarak adlandırılan suyun buharlaştırılması, pratikte uygulanan kurutma teknikleriyle, mümkün değildir. Bu nedenden ötürü, kurutma işleminde, gıda kitlesinden buharlaştırılan su serbest su olarak adlandırılan sudur. Serbest bağlı olarak, yapıdaki serbest su içeriği azaldıkça, suyun uzaklaştırılması için gereken ısı enerjisinin birim kütle başına düşen miktarı önemli seviyede artış göstermektedir [21].

Son yıllarda kurutulmuş ürünler taze ürün pazarında etkili bir alternatif oluşturmaktadır. Ülkemizde kurutulmuş ürünlerin %63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve bu miktar tüm ihracat gelirimizin %80'ini oluşturmaktadır. Kurutulmuş ürünler hem kuru olarak tüketilmekte, hem de hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Dünyada kurutulmuş ürün üretimi her geçen gün artmakta ve bu üretimin büyük bölümü A.B.D ve Türkiye'de gerçekleştirilmektedir.

Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya'da 7,6 milyar dolar (1998'den bu yana) ve Çin'de 800 milyon dolar (1990'ların başlarından bu yana) olarak belirlenmiştir. Bu eğilimin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artarak koruması beklenmektedir [19].

3.2 Kurutma Esnasında Isı ve Kütle Geçişi

Gıda işleme teknolojisi bakımından önemli bir yer tutan kurutma işlemi, matematiksel anlamda ısı ve kütle veya ısı ve kütlenin aynı anda transferi esasına dayanmakta ve modellenmesi yapılmaktadır [25]. Nemin kurutulması ısı ve kütle transferinin aynı anda gözlemlendiği karmaşık bir süreçtir [26]. Kurutma sırasında kurutulacak maddenin içindeki suyu buhar haline getirip sonrada bu buharı uzaklaştırmak için, buharlaştırma gizli ısı kadar bir ısı vermek gerekir. Konveksiyonla kurutulacak ürüne ısı geçişi, sıcaklık ürünün dışından hücrelere doğru olurken, buharlaşma hücreden dışa doğrudur.

Kurutma esnasında iki geçiş işlemi aynı anda gerçekleşir (Şekil 3.1). Bunlardan birincisi dış çevreden kurutulacak ürünün yüzeyine ısı geçişi ile birlikte madde içine ısı iletimidir ve (3.1) eşitliği ile açıklanır [19].

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_a - T_s) \quad (3.1)$$

Denklemden;

dQ/dt : Isı aktarımı (kJ/s),

h : Konvektif ısı transfer katsayısı (kJ/m².s.°C),

A : Kurutma yüzey alanı (m²),

T_a : Havanın sıcaklığı (°C),

T_s : Yüzeyin sıcaklığıdır (°C).

İkincisi ise (3.2) eşitliği ile gösterilen, ürünün içinden yüzeye doğru olan ve yüzeye gelen nemin ürünü çevreleyen çevreye yayılması ile devam eden kütle geçişidir [19].

$$\frac{dW}{dt} = K_g \cdot A \cdot (H_s - H_a) \quad (3.2)$$

Burada;

dW/dt : Kurutma hızı (kg/s),

K_g : Kütle transfer katsayısı (kg/m².s),

A : Kurutma yüzey alanı (m²),

H_s : Yüzeyin nemi (kg su/kg kuru hava),

H_a : Havanın nemi (kg su/kg kuru hava) olarak ifade edilmektedir.

(3.2) eşitliğine göre, yüzey nemi ile havanın nemi arasındaki fark arttıkça kütle aktarım hızı da artar [27].

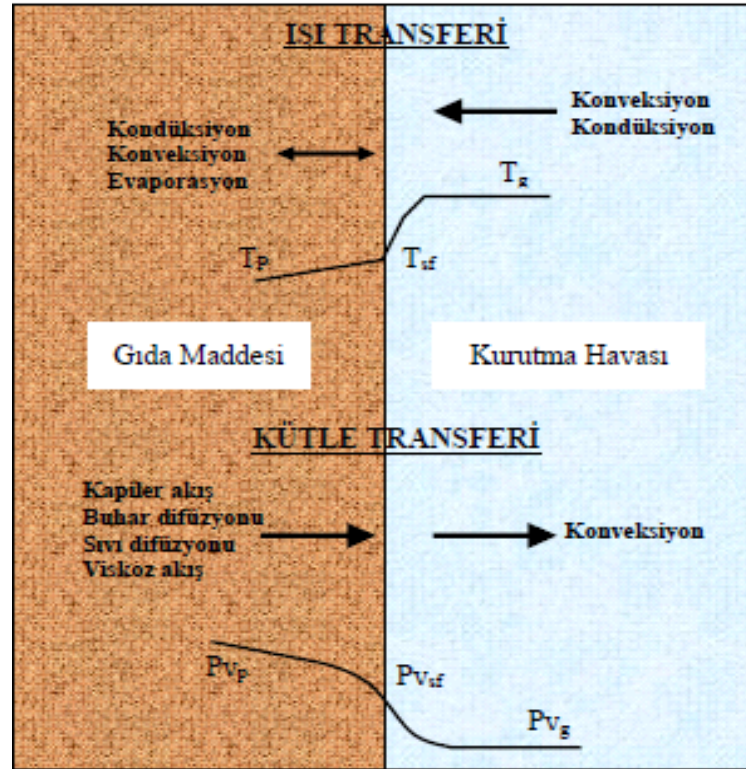
Kurutulan ürüne ve kuruma şartlarına bağlı olan buharlaşma, yüzeyde ya da ürünün içinde olabilir. Buna göre kurutma işlemi içerisinde iki işlem kontrol faktörü girer.

- Gerekli gizli buharlaşma ısısının iletimi,

- Gıda maddesinde suyun veya su buharının hareketi ve sonra gıdadan uzaklaşmasının sağlanması ve böylece suyun gıda maddesinden ayrılması [28].

Gıda maddelerindeki nem hareketi farklı iletim mekanizmaları ile olabilir. Bunlar;

- Kılcal emme basınçlarının farklılığından kaynaklanan kılcal akışlar,
- Yoğunluk farklılığından kaynaklanan sıvı yayılımı,
- Kısmi buhar basıncı farklılıklarından kaynaklanan buhar yayılımı,
- Dış basınç veya yüksek sıcaklığın neden olduğu toplam basınç farklılığından kaynaklanan viskoz akış [19].



Şekil 3.1 Gıda maddeleri için kurutma olayının şematik gösterimi [21]

3.3 Kurutmada Meydana Gelen Olaylar

3.3.1 Suyun YüzeYden Buharlaşması

Kurutma, gıda endüstrisinin önemli basamaklarından biridir. Temel amaç, mikrobiyal bozulmayı minimize edecek seviyede suyun buharlaşma yolu ile gıdadan uzaklaşmasıdır. Suyun buharlaşması endotermik bir süreçtir ve sıcaklık farkı ne kadar

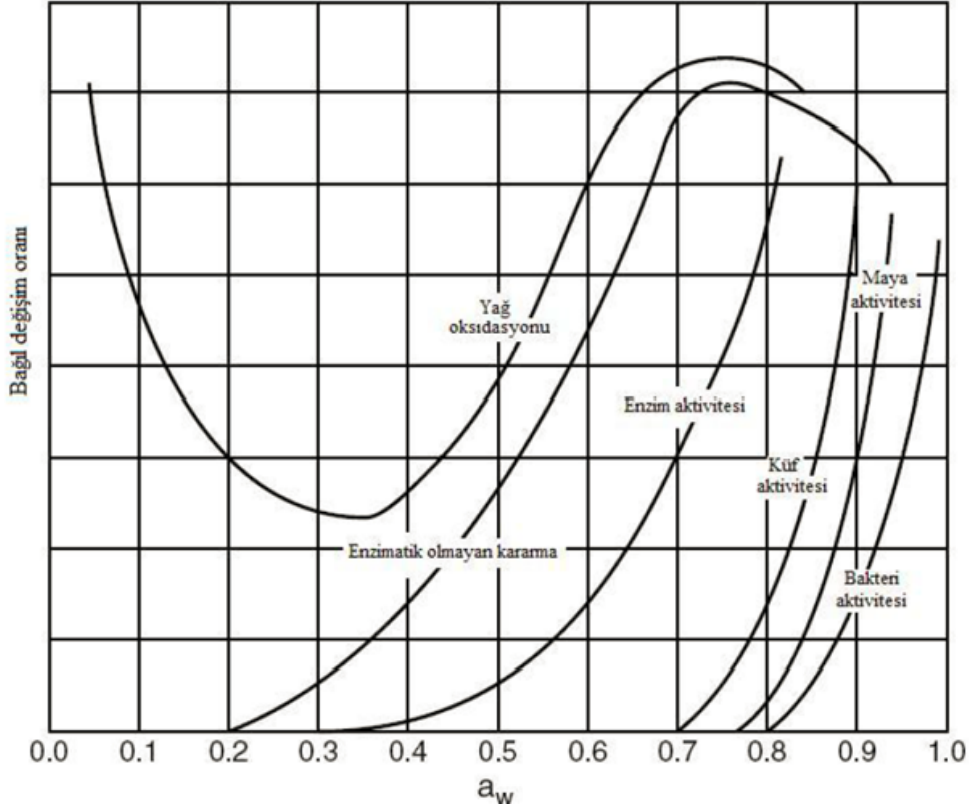
büyük olursa birim zamanda buharlaşan su miktarı da o kadar fazla olur. Bu nedenle kurutma işleminde yüksek sıcaklık avantaj sağlamaktadır. Ancak sıcaklığın artmasıyla, esmerleşme reaksiyonlarının da artması nedeniyle sıcaklık sınırlı tutulmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, suyun buharlaşmasına etki eden faktörler olarak suyun sıcaklığı, kurutucu havanın nemi, sıcaklığı, basıncı, hızı, kurutulacak maddenin şekli ve büyüklüğü tespit edilmiştir.

3.3.2 Su Aktivitesi

Su aktivitesi (a_w), gıda maddeleri tarafından tutulan suyun özelliğini gösteren bir terimdir ve (3.3) eşitliğine göre, gıda maddesinin içerdiği suyun buhar basıncının (P_i), aynı sıcaklıkta saf suyun buhar basıncına (P_0) oranı olarak tanımlanır [29].

$$a_w = \frac{P_i}{P_0} \quad (3.3)$$

Gıdaların mikrobiyal güvenliği açısından doğrudan etkiye sahip fiziksel bir özelliktir [30]. Gıdaların su aktiviteleri saf suyun su aktivitesi olan 1,0'e değerine çok yakındır. Yaş meyve ve sebzelerin su aktiviteleri çoğunlukla 0,90-0,99 arasındadır. Meyvelerin su aktiviteleri sebzelerinkinden biraz daha düşüktür [24]. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, mikroorganizmalar su aktivitesine duyarlılıkları açısından farklılıklar göstermektedir. Genellikle su aktivitesi 0,6'nın altında tüm mikrobiyolojik faaliyetlerin kontrol altında olduğu kabul edilmektedir. Gıdalarda bozulmaya neden olan bakterilerin çoğu 0,90'nın altındaki su aktivitelerinde faaliyette bulunmazken, küf faaliyetlerinin sona erdiği su aktivitesi 0,70-0,75 arasındadır. Mayalar için ise bu kritik sınırın 0,85 düzeyinde olması gerektiği bildirilmektedir [24].



Şekil 3.2 Su aktivitesi ile gıdalardaki bozulma reaksiyonları arasındaki ilişki [21]

3.3.3 Denge Nemi

Kurutma işleminde, denge halinde kurutulan maddede gözlenen ağırlık değişimi durur. Bu durumda madde tarafından tutulan suyun buhar basıncı, havadaki su buharı basıncına eşittir. İçinde bulunduğu havayla denge halinde bulunan maddenin içerdiği nem miktarına denge nemi, denge halindeki maddeyi çevreleyen havanın bağıl nemine de denge bağıl nemi denir. Kurutma işlemi sırasında denge nemi, kurutma sıcaklığına ve kurutmada kullanılan havanın bağıl nemine bağlı olarak kuru ürünün içerebileceği en az su miktarını gösterir [31].

3.4 Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları

Katılardaki nem bağıl nem ve bağıl olmayan nem olarak ayrılmaktadır. Bağıl olmayan nem iki yöntemle uzaklaştırılmaktadır. Bunlar evaporasyon ve vaporizasyon yöntemleridir. Her iki yöntemde buharlaştırma prensibine dayanır fakat arada bazı farklılıklar barındırır. Evaporasyon, katı yüzeyindeki buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğunda gerçekleşen buharlaşma işlemidir. Eğer maddenin

kurutulması, ısıya duyarlı ise evaporasyon olayındaki sıcaklık, kaynama sıcaklığı ve basıncın düşürülmesiyle azaltılabilir. Eğer basınç üçlü noktanın altına düşürülürse, sıvı faz yok olur ve materyaldeki nem donmuştur. Bu halde bir maddenin ısıya maruz kalması buzun doğrudan su buharına süblimleşmesine neden olur ve dondurarak kurutma işlemi gerçekleşmiş olur.

İkinci yöntemde vaporizasyon, kurutma konveksiyonla gerçekleşir ve bu sıcak havanın doğrudan ürüne iletilmesidir. Hava ürün tarafından soğutulur ve nem üründen havaya transfer olur. Bu takdirde katı üzerindeki nemin doygun buhar basıncı atmosferik basınçtan daha azdır.

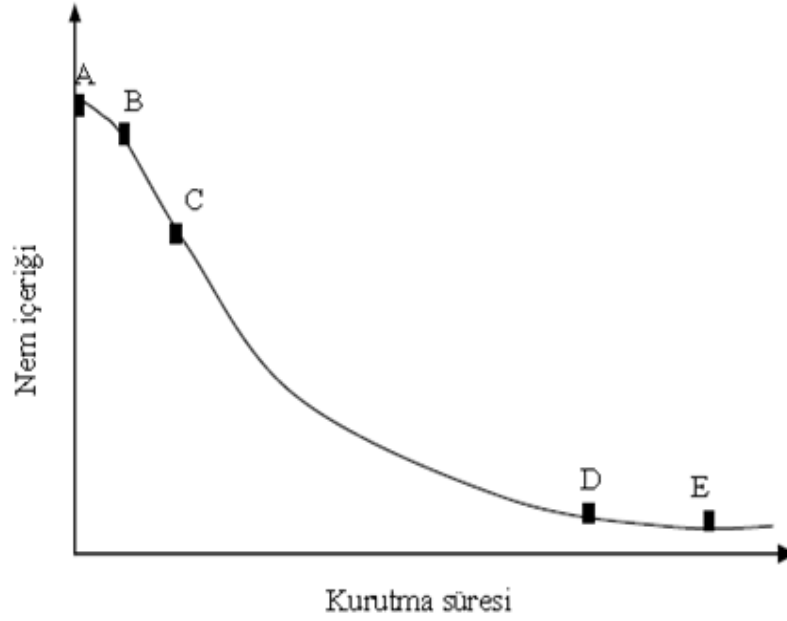
Katının kurutma davranışı, nem içeriği kaybının zamana oranlanmasıyla karakterize edilebilir. Su içeren ürünler nem içeriklerine göre farklı kuruma davranışları gösterir [32]. Hava kurutma proseslerinde, sabit debi periyodu ve azalan debi periyodu olmak üzere genellikle iki periyot vardır.

Sabit debi periyodu saf suyun buharlaşmasıyla meydana gelmektedir. Azalan debi periyodunda nem hareketi iç dirençler tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 3.3'de nem içeriği zamanın fonksiyonu olarak görülmektedir. Şekil 3.4 ve 3.5'de kurutma hızı-kurutma zamanı ve kurutma hızı-nem içeriği grafikleri gösterilmektedir. Sıfır (0) noktasında nem içeriği A noktası olarak gösterilmektedir. Başlangıçta katı genellikle soğuk bir derecededir ve daha sonra nihai sıcaklığa ulaşır.

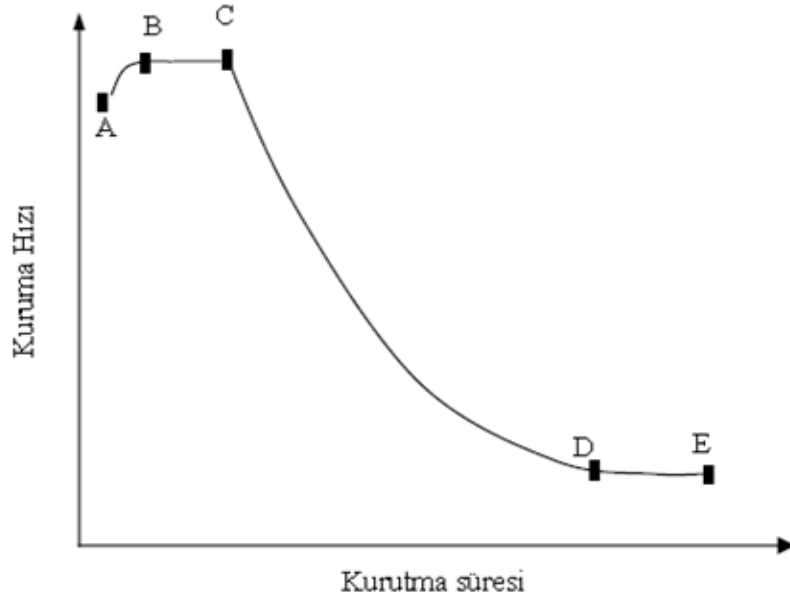
AB eğrisi başlangıçta sabit olmayan, ısınma periyodunu gösterir. Bu sabit olmayan ayarlama periyodu genellikle çok kısadır ve bazen kurutma zamanı analizlerinde ihmal edilmektedir.

BC sabit debi periyodudur. Kurutma hızının nem içeriğine karşı çizilen Şekil 3.5'de aynı noktalar işaret edilmiştir. Sabit debi periyodu esnasında, katının yüzeyi başlangıçta çok ıslak ve sürekli bir film tabakası mevcuttur [33]. Su katı yüzeyini uçma ve buharlaşma yolu ile terk eder. Bu esnada kapiler kuvvetler sayesinde katı içerisinden yüzeye nem iletir. Bu periyotta kuruma, katı yüzeyinden hava akımı içerisine kütle transferi şeklinde olur.

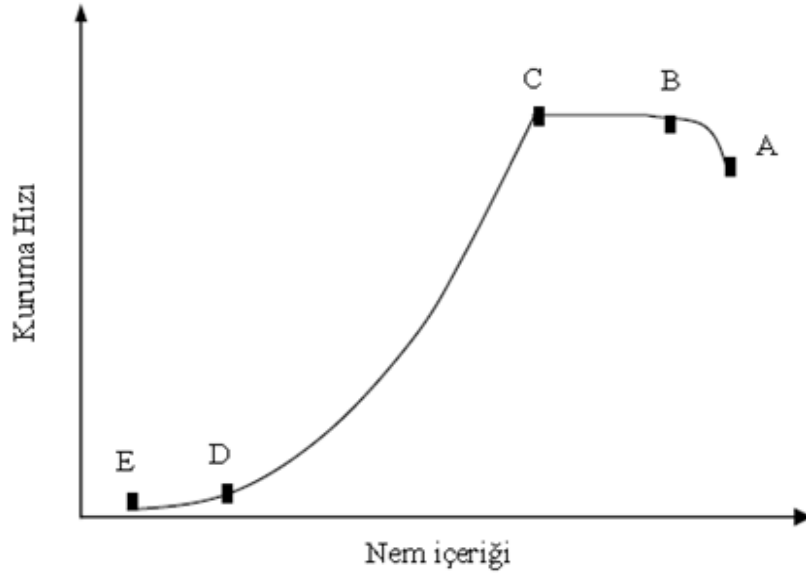
Havadan katıya olan ısı transferi, taşınım ile olup iletim ve radyasyon ihmal edilebilir [3]. Bu açıklamalara göre gıda maddelerinde bulunan suyun, madde tarafından gevşek olarak tutulan kısmının, yani kapiler suyun, daha kolay uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Bu bakımdan, gıdalardaki suyun, büyük bir kısmını oluşturan, zayıf bir şekilde bağlı bu suya, kurutma olayı açısından herhangi bir madde üzerindeki serbest haldeki su nazarıyla bakılabilir. İşte gıda maddelerinde bu suyun uzaklaştığı dönem, sabit kurutma hızı periyodudur. Bu periyotta birim zaman başına uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır. Gıda maddesindeki su miktarı azaldıkça, geride kalan suyu maddeye bağlayan güç artmaktadır [28].



Şekil 3.3 Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi [19]



Şekil 3.4 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi [19]



Şekil 3.5 Kurutma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi [19].

3.5 Kurutma Hızını Etkileyen Değişkenler

Suyun, gıdanın yapısında kurutma yöntemi ile uzaklaştırılmasında “ısı ve kütle aktarımı” ile ilgili iki temel olayın gerçekleşmesi gerekir. Bu iki olay,

- Ürünün ısıtılması,
- Üründen suyun alınmasıdır.

Ürünün kurutulmasında bütün çabalar ısı ve kütle aktarımı hızını arttırmak üzerinde birleşmelidir. Isı ve kütle aktarım hızına etki eden değişkenler (faktörler) sıcaklık derecesi, kurutucu havanın nemi ve hızı, üründe maksimum yüzey alanı sağlayan geometrik şekil (parça büyüklüğü, şekli ve kalınlığı) kurutma ortamının basıncı (atmosferik ve vakum) gibi fiziksel faktörler ile ürünün kendine özgü diğer özellikleridir [22].

Sıcaklık derecesi: Kurutma ortamının sıcaklığı ve gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı önemlidir. Gıdanın sıcaklığı ve kurutma sıcaklığı arasındaki fark ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar yüksek olur ve kurutma hızı da artmış olur. Ancak, çok yüksek sıcaklıklar çatlama, renk değişimi (esmerleşme) ve içine çökme gibi kurutma kusurlarına ve kalite düşmelerine neden olurken, düşük sıcaklıklar ise kurutma zamanını gereksiz yere uzatmaktadır. Buna göre, hem kurutma zamanının ve hem de kalitenin optimum değere ulaşması için çıkılması mümkün olan en yüksek sıcaklık derecesi uygulanmalıdır [34].

Havanın nemi: Kurutma sürecinin temel hedefi ürün içindeki suyun (nem) uzaklaştırılmasıdır. Nem iki ayrı gruba ayrılır: bağıl nem ve bağıl olmayan nem. Katı içinde sıvı formda hapsedilmiş olarak bulunan neme bağıl nem denir ve bu nemin buhar basıncı saf suyunkinden daha azdır. Bağıl nemin katı içinde aşırı miktarda bulunması durumundaki fazla neme de bağıl olmayan nem adı verilir.

Maddenin taşıdığı suyun kuru maddeye oranı nem kesri olarak adlandırılır. Maddeyi çevreleyen havadaki su buharı ile madde içerisindeki nemin denge durumuna gelmesi ile teorik olarak maddenin kurutulması sona erer. Bu denge durumundaki nem kesrine denge veya minimum nem kesri adı verilir [35].

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 5m/s'den daha fazla hızın kurutma hızı üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır. Diğer taraftan, kurutma işlemi 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 [22].

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, kullanılacak optimum dilim kalınlığı seçilmelidir. Küçük parçacıklar ya da ince dilimler, ısının kurutulan gıdanın merkezine ilerleme süresini kısaltarak daha kısa zamanda gıdanın neminin uzaklaştırılmasını sağlar. Gıdanın kurutma hızı, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak, gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişir [36].

Ortamın basıncı: Bilindiği gibi su, 1 atmosfer basıncında 100°C'de kaynar. Bu değer 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 [22].

Diğer değişkenler: Isı ve kütle aktarımına etki eden yukarıda sayılan fiziksel değişkenler, bir kurutma sisteminin tasarımı, kuruluşu ve çalıştırılmasında yeterince yardımcı olan değişkenler değildir. Bunların dışında kurutma hızı ve son ürün kalitesi üzerinde önemli etkileri olan diğer faktörler, ürünün kendine özgü özellikleridir. Bunlar kurutma zamanı boyunca sürekli değişebilen faktörler olduğundan fiziksel faktörlere kıyasla kontrolü daha güç olan değişkenlerdir.

Ürünün kimyasal bileşimi özellikle önemlidir. Pek az ürün homojen bir yapıya sahiptir. Örneğin et, yalın et ve yağ karışımından oluşur. Homojen değildir. Ortamda yağ olması kurutma hızını azaltıcı bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir ortamda su damlacıkları yağla kaplanmış olduğundan buharlaşarak uzaklaşmaları güçleşir. Şeker, tuz ve benzeri küçük moleküllü erimiş öğelerce zengin olan gıdalarda kurutma hızı, erimiş öğelerce zengin olmayanlara kıyasla daha yavaştır.

Ürünün su tutma şekli bir diğer önemli faktördür. Ürün bileşiminde katı parçacıklar fazla ise adsorpsiyonla bağlanan suyun uzaklaştırılması zor olacaktır. Nişasta, pektin ve diğer gıdalarca oluşturulan koloidal jel içinde tutulan su ise daha zor uzaklaştırılır. Diğer yandan, örneğin doğal doku yapısındaki meyve ve sebzelerde su hem hücre içinde hem de hücre arasında tutulur. Hücre öldüğünde hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazandığından su daha kolayca uzaklaşacaktır. Bu nedenle haşlanan ürünler örneğin, sebzeler, et ve balıklar daha kolay kurutulurlar [22].

3.6 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri

Kurutma işlemi sırasında karşılaşılan kalite değişiklikleri altı başlık altında toplanabilmektedir. Genel değerlendirmeleri aşağıda yapılmıştır.

3.6.1 Kararma Reaksiyonları

Kararma reaksiyonları ürünün rengini değiştirmenin yanı sıra çözünürlüğünü ve besinsel değerlerini azaltmakta; tadı istenmeyen şekilde değiştirmekte ve geri dönüşü olmayan yapısal değişimlere de neden olmaktadır. Enzimatik olmayan iki ana kararma reaksiyonları, Maillard ve karamelizasyondur [18]. Bu kararma reaksiyonları daha çok sıcaklık dereceleri arttıkça ve tepkimeye giren öğelerin ortamdaki konsantrasyonları yükseldikçe hızlanmaktadır [22]. Kararma reaksiyonları orta seviyeli nem miktarında hızlanmakta, çok düşük ve yüksek nem oranlarında ise yavaşlamaktadır [18]. Koruyucu olarak ya doğrudan SO₂ gazı veya parçalandığı zaman SO₂ veren çeşitli kükürt tuzları (sülfidler) kullanılmaktadır [37]. Kaliteyi olumsuz etkileyen bu değişimi minimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Bir ürüne rengi veren pigmentler ise estetik öneme

sahip olmalarının yanında meyvelerde olgunluk simgesidir ve olgunlaşma zamanının ve muhafaza süresinin belirlenmesi kullanılan önemli bir kalite kriteridir [24].

3.6.2 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu birçok gıdada acılaşma, istenmeyen tat değişimlerinden, yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybindan sorumludur. Ürünün nem miktarı, substrat tipi (yağ asitleri) ve enzim aktivitesi, reaksiyon uzunluğu, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin varlığı, doğal antioksidanların varlığı, UV ışığı, protein ve serbest aminoasit içeriği oksidasyonu etkileyen faktörler arasında sayılabilmektedir. Yapılan araştırmalarda özellikle nem içeriğinin oksidasyon reaksiyon hızı üzerinde etkili olduğu ve su aktivitesinin 0,3 civarlarına indirgenmesi oksidasyon reaksiyonları önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. Ayrıca oksijen varlığının oldukça düşük seviyelere indirgenmesi de reaksiyon hızını önemli ölçüde düşürmektedir [18].

3.6.3 Rehidrasyon ve Büzülme

Rehidrasyon kurutulmuş ürünün tekrar suda bırakıldığında su alabilme yeteneğinin ölçüsüdür [24]. Kurutulmuş gıda maddesi su içerisinde bırakıldığı zaman, taze olduğunda bünyesinde bulundurduğu su kadar suyu alarak eski haline dönerse mükemmel nitelikte olduğu kabul edilir. Ancak bu durum, yalnızca dondurularak kurutulan ürünler için geçerlidir. Sıcak hava ile kurutma işleminde bazı özelliklerin değişmesiyle birlikte rehidrasyon yeteneği önemli ölçüde kaybolur [31]. Rehidrasyon kapasitesi kurumuş gıdanın kalitesini belirlemede bir parametre olarak kullanılır [24].

Rehidrasyon yeteneği sadece parça halinde kurutulan ürünlerde değil, aynı zamanda sıvı halde kurutulup toz haline getirilen meyve tozu, domates tozu ve süt tozu gibi ürünler için de geçerlidir. 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 [38]. Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneği bizzat fiziksel bir olgu gibi görülmese, bunun kurutma sırasında değişmesi, materyaldeki kimyasal, fizikokimyasal ve fiziksel değişmelerle ilgilidir. Nitekim kurutma koşullarına bağlı olarak

büzülme ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapiler yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir. Buna karşın rehidrasyon yeteneği daha çok kimyasal ve fizikokimyasal nedenlerden etkilenmektedir. Gerçekten kurutmada uygulanan ısı etkisiyle ve kurutma sonucu hücredeki tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak proteinler denatüre olmaktadır. Denatüre olan proteinler artık suyu tekrar absorbe etme ve bağlama yeteneğini büyük ölçüde kaybeder. Aynı nedenlerle nişasta ve gam maddeleri de daha az hidrofilik bir nitelik kazanır. Bütün bunlara ek olarak artık hücre duvarı eskisi gibi esnek değildir. Ayrıca rehidrasyon suyuna hücre içinden tuz ve şeker geçmesi hücrenin turgor özelliğini kaybetmesine sebep olur [39]. Yapısal ve hücresel bozulmalar minimize edildiğinde rehidrasyon miktarı en yüksek seviyeye ulaşabilmektedir [18].

3.6.4 Çözünbilme Kapasitesi

Çözünbilme kapasitesi, özellikle süt tozu gibi kurutulmuş taneli yapıdaki gıdaların kalite kriterleri arasında yer almaktadır. İşlem koşulları, muhafaza şartları; ürünün kompozisyonu, pH'ı ve tane büyüklüğü çözünbilme kapasitesini etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan gıdalarda protein denatürasyonu gerçekleşebileceğinden çözünürlük önemli ölçüde azalmaktadır [18].

3.6.5 Aroma ve Tat

Kurutma prosesi boyunca farklı oranlarda renk, aroma ve dokuda bozulmalar meydana gelebilir [21]. Aroma ve tadı sağlayan uçucu bileşikler sudan daha düşük kaynama noktasına sahip olduğundan, kurutma esnasında buharlaşma yoluyla üründen uzaklaşabilmektedir [18].

Yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleşen işlem sonucunda gıdalardan uçucu bileşiklerin buharlaşması ve su buharıyla birlikte oluşan bu kayıplar kurutulmuş ürünün karakteristik tat-aromasında önemli kayıplara neden olmaktadır [40].

3.6.6 C Vitamini Kayıpları

C vitamini veya diğler adıyla askorbik asit yüksek nem içeriğinde yüksek sıcaklıklara duyarlıdır. Kurutma esnasında askorbik asit kayıplarını minimize edebilmek için, yüksek nem içeriğinde düşük sıcaklık uygulanmalı ve ürünün nem içeriği azaldığı zaman askorbik asit daha stabil bir yapıya sahip olduğundan, sıcaklık kademeli olarak arttırılabilmektedir. Güneşte kurutmada, karoten ve C vitamini kaybının diğler yöntemlere göre daha fazladır [41].

3.7 Kurutma Zamanının Belirlenmesi

3.7.1 Davranış Testi

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

3.7.2 Yapay Madde Testi

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

3.7.3 Teorik Tahmin

Kurutma 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 maddelerin, ticari kurutucuda kurutulacak madde ile benzeşmesi (veya aynı madde olması) gerekir. Birçok denemedeki sonuçlar uygunluk için karşılaştırılır. Aksi durumda test sonuçları ticari maddenin kurutma karakteristiklerini hassas olarak yansıtmayabilir [42].

3.8 Kurutma Yöntemleri

Sebze ve meyveler için uygulanacak kurutma yöntemleri şüphesiz büyük önem taşımaktadır [43]. Kurutma teknolojisinde, uygun metodun doğru bir şekilde belirlenmesi için ürünün fiziksel ve kimyasal kompozisyonu, rehidrasyon yeteneği ile başlangıç ve son nem değerlerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Aksi takdirde nemin gereğinden hızlı, fazla/az veya yanlış metot ile uzaklaştırılması, ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerine zarar vermektedir [2]. Dünya üzerinde farklı kurutma yöntemlerinin yaygınlaşması ve üretim tesislerinin çeşitlenmesi ile kuru ürün ticareti de önem kazanmıştır [1].

Kurutma, yöntem olarak “yapay kurutma” ve “güneşte kurutma” olarak iki gruba ayrılabilir [19]. Şekil 3.6’da güneşte kurutulan dolmalık patlıcanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Güneşte patlıcan kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine “yapay kurutma” denir [22]. Yapay kurutma yönteminin esasını, kurutmaya tabi tutulan üründeki nemin uzaklaştırılması amacı ile sağlanan ısının transfer şekli oluşturmaktadır. Kurutmada üç şekilde ısı geçişi olmaktadır:

- Taşınım ile ısı geçişi
- İletimle ısı geçişi

- Isınım ile ısı geçişi [19].

Güneşte kurutma, güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada yapılan kurutma işlemidir. Tabi kurutma olarak da adlandırılır [38]. Güneşte kurutma yönteminde ise sınıflandırma şu şekilde yapılabilir:

- Doğal sistemler; meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin direkt güneş ışınları altında serilerek kurutulması,
- Pasif sistemler; sistemde ek enerji olmadan kurutma,
- Aktif sistemler; kurulan sisteme ek enerji verilerek kurutma [19].

3.9 Kurutucu Tipleri

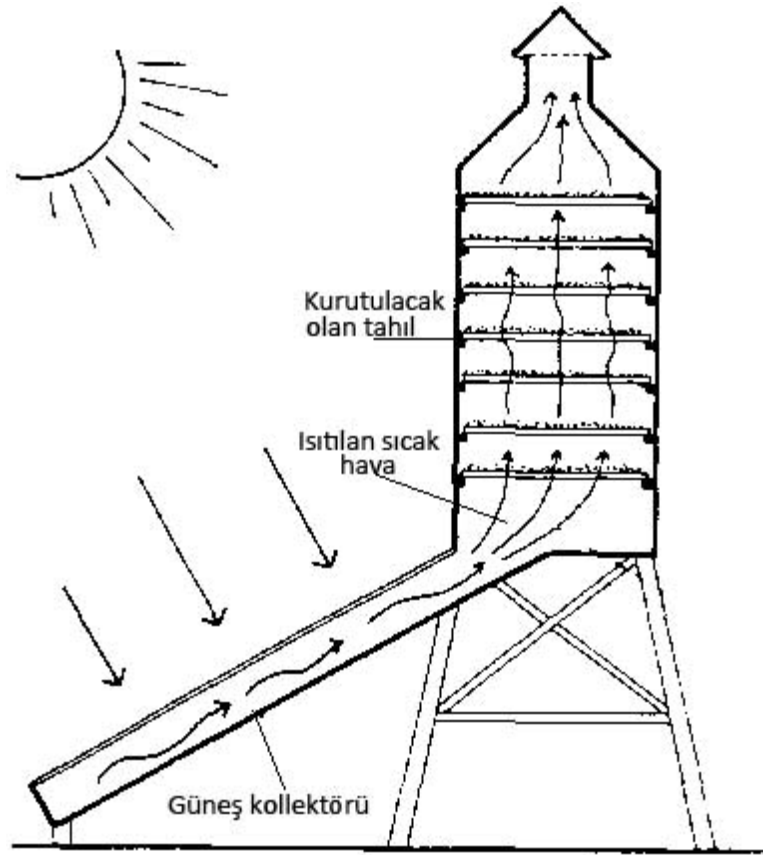
Kurutucular, saniyelerden aylara kadar uzanan çeşitli sürelerde, hassas ürünlerin hassas kurutmalarında kullanılan çok düşük kapasitelerden, hızlı kurutmalarda ihtiyaç duyulan yüksek kapasitelere kadar geniş aralıklarda çalışabilir. Ürünün kurutucu içindeki durumunun çeşitli hallerinde (durgun, hareketli ve yüksek hızlı vb.), çeşitli basınç değerlerinde (vakumlu ve yüksek basınçlı vs.) çalışan, istenildiği şekilde suyun uzaklaşması için ürüne gerekli enerjiyi çeşitli şekillerde sağlayan sistemlerdir. Çok uzun yıllardır süre gelen güneşte kurutma gibi 8-10 gün süren, ara işlem gerektiren, bulaşmadan ve kirden etkilenmeye açık olan ilkel kurutma şartlarının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli denemeler yardımıyla bulunmuş birçok kurutma sistemi ve kurutucu tipi günümüzde halen kullanılmaktadır. Bunlardan konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan birkaç kurutucu aşağıda sıralanmıştır [29].

3.9.1 Konvansiyonel Kurutucular

Isı, ısıtılmış hava veya gaz ile madde yüzeyine uygulanır. Buharlaştırma ısısı madde yüzeyine yayılım ile aktarılır ve buharlaştırılan nem kurutucu gaz veya hava ile uzaklaştırılır. Bu tip kurutucular doğrudan kurutucu olarak da adlandırılır [35]. Ülkemizde son yıllarda konvansiyonel kurutucu üretimi yapan firma sayısında artışlar kaydedilmiştir. Özgül enerji tüketimi genelde yüksektir [44]. Çoğu proseste geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha ekonomik kurutma yapılması gereklidir. Bu sebeple kurutulmak istenen ürüne göre birçok kurutucu tipi devreye girer [29].

3.9.1.1 Güneş Enerjili Doğal Kurutucular

Güneş enerjisi ile tarım ürünlerini kurutma en eski gıda saklama yöntemlerinden birisi olarak bilinmektedir [45]. Bir örneği Şekil 3.7’de gösterilen güneş enerjili kurutucular, güneş enerjisinden ısı enerjisi elde ederek kurutma işlemini gerçekleştirmektedir [46]. Bu kurutucular kendi aralarında aktif ve pasif kurutucular olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Pasif tiplere, örnek olarak güneş kabinleri, çadır veya seraları, aktif tiplere ise güneş pilli bataryalar veya rüzgar enerjisi ile çalışan fana sahip olan kurutucu tiplerini gösterebiliriz [29].

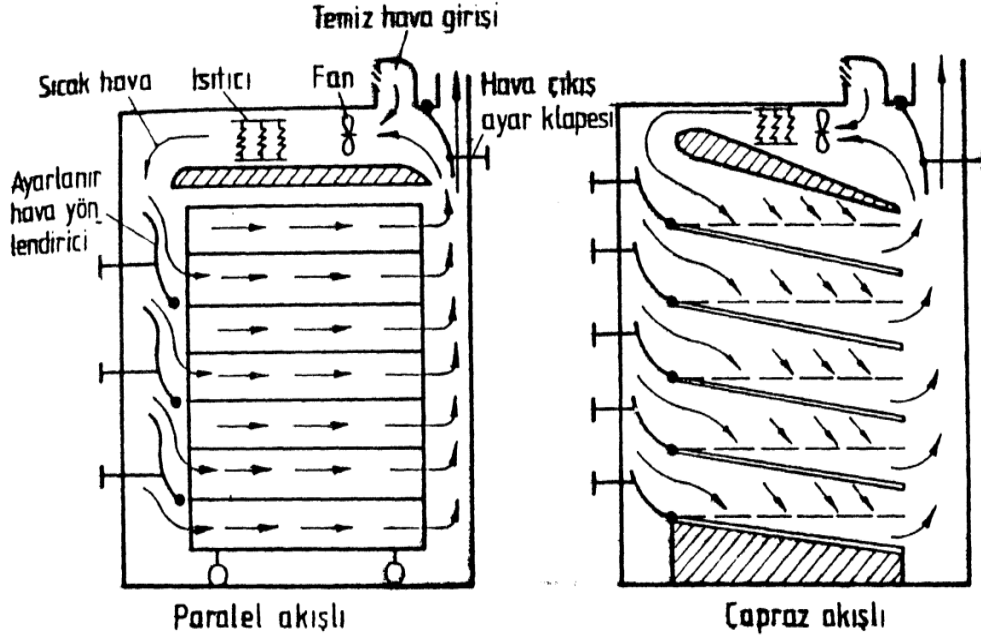


Şekil 3.7 Güneş enerjili kurutucu

3.9.1.2 Kabin Tipi Kurutucu

Kurutulacak ürün, tabanı delikli veya ızgaralı tepsilere serildikten sonra, kabin içindeki raflara yerleştirilir. Kuru hava bu odalara fan yardımıyla verilir. Raflar ve tepsiler havanın dolaşımını engelleyemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gıdaların yüzeyini dolaşan hava aldığı nemle birlikte dışarı atılır. İnsan faktörü göz önünde bulundurularak doldurma ve boşaltmalarda zamandan ve iş gücünden tasarruf etmek

için arabalı sistem yapılabilir. Kabin tipi kurutucular (Şekil 3.8), kurutma havasının, kabin içinde dolaşımı sırasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak paralel ve çapraz akışlı olmak üzere farklı tiplerde tasarlanabilir [29]. Kabin tipi kurutucular daha çok taneli ve dilimlenmiş ürünler için (fındık, ceviz, elma, erik ve mantar v.b) uygun olup, raflar üzerine serilerek kurutulmaktadır. Bu tip kurutucularda ürüne göre belli bir hava hızı uygulanmakta olup, ürün kısa kurutma zamanına sahiptir [47].



Şekil 3.8 Paralel ve çapraz akışlı kabin tipi kurutucu şematik gösterimleri [29]

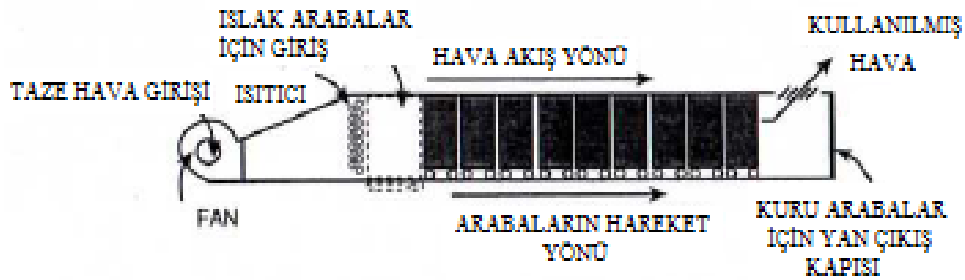
3.9.1.3 Tünel Tipi Kurutucu

Tünel kurutucular, kabin kurutucuların daha gelişmiş bir şekli olarak düşünülebilir [41]. Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucular modifiye edilmiş kurutucu tipidir. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava fan yardımı ile sistemde dolaştırılır. Madde, kurutucuda sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava tepsi yüzeyi boyunca, dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır [46].

Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar kullanılması ile sistemi terk etmeden önce daha fazla nem alması sağlanabilir. Tünel kurutucularda farklı hava hızı, sıcaklığı ve akış yönü ile kurutma yapmak mümkündür [19]. Hava akışı paralel, çapraz şeklinde hareket edebilir. Kurutma ünitesi Şekil 3.9-3.11'de görülmektedir [46]. Ürün ile hava

aynı yönde hareket ederse bunlara paralel akış tüneli (Şekil 3.9) denir. Paralel akış tünellerinde başlangıçta kuruma hızı çok fazladır. Materyalin yüzeyi çok süratli kuruduğu için üründe çok az bir buruşma belirir. Ancak parçacıkların içinde boşluk ve çatlaklar oluşur. Kurutma tünelinin sonunda kurutucu hava nispeten soğuk ve fazla nemli olduğu için kurutmanın son aşaması çok yavaş gerçekleşir. Ürün ve havanın birbirine zıt yönde hareket ettiği tünellere zıt (ters) akış tüneli denir (Şekil 3.10). Zıt akış tünellerinde ise madde kurudukça daha uygun kurutma koşulları ile karşılaşır. Kurutmanın ilk aşaması daha soğuk ve daha nemli hava ile gerçekleştiğinden ve kurutulan materyal içinde nem dağılımındaki farklılık fazla olmadığından, tam ve engelsiz bir buruşma olur. Zıt akış tüneli, özellikle Erik gibi yumuşak meyveler için çok uygundur. Aksi halde kurutmanın ilk aşamasında ürünün öz suyu dışarı çıkar [38].

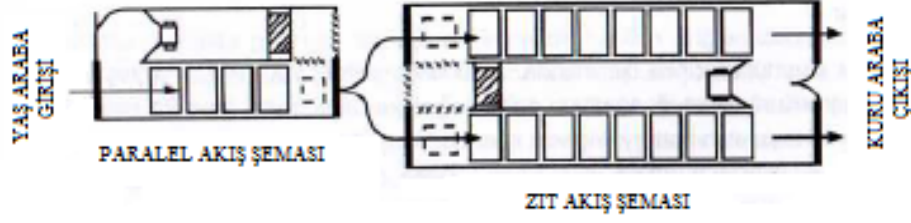
Diğer taraftan Şekil 3.11’de gösterilen bir bölmesi paralel akış, diğer bölmesi zıt akışlı olan iki kademeli veya çok kademeli tünellerde mevcuttur. Çift aşamalı tünellerin genellikle ilk aşaması paralel, ikinci aşaması zıt akım tüneli şeklindedir [41].



Şekil 3.9 Paralel akışlı tünel kurutucu



Şekil 3.10 Zıt akışlı tünel kurutucu



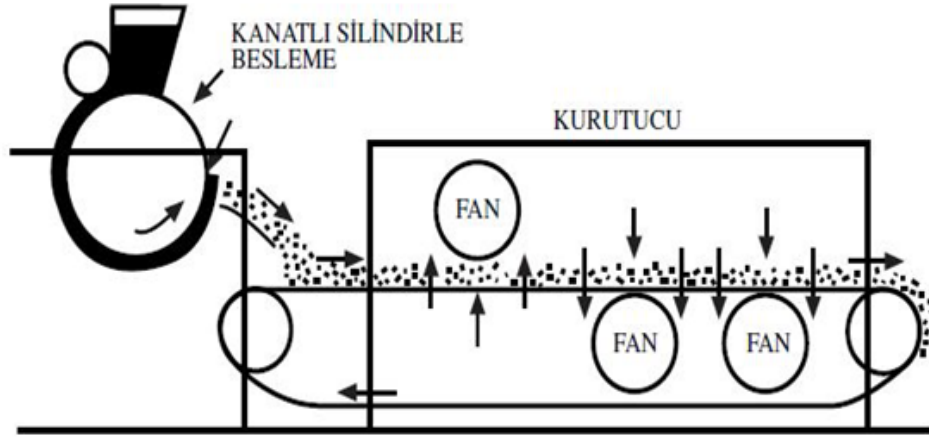
Şekil 3.11 İki kademeli kurutma sistemi

3.9.1.4 Düşük Sıcaklıklı Fırın Kurutucu

Tuğladan yapılan bu fırınların çoğu daire biçimindedir. Çapları 6 m kadar olan fırınlar, konik biçimi andırır. Kurutulacak ürün, fırının tabanına yayılır, 65°C'yi aşmayan sıcak hava vantilatörlerle fırın içinde dolaştırılır. Hava genellikle buhar dolu borularla ısıtılır. Bu fırınlar ahşap ya da betondan da yapılabilir. Kereste ve şerbetçiotu vs. gibi açık havada kurutulan, hassas ürünlerin kurutma zamanını belirli ölçülerde kısaltmak için uygun kurutuculardır [29].

3.9.1.5 Bantlı Kurutucu

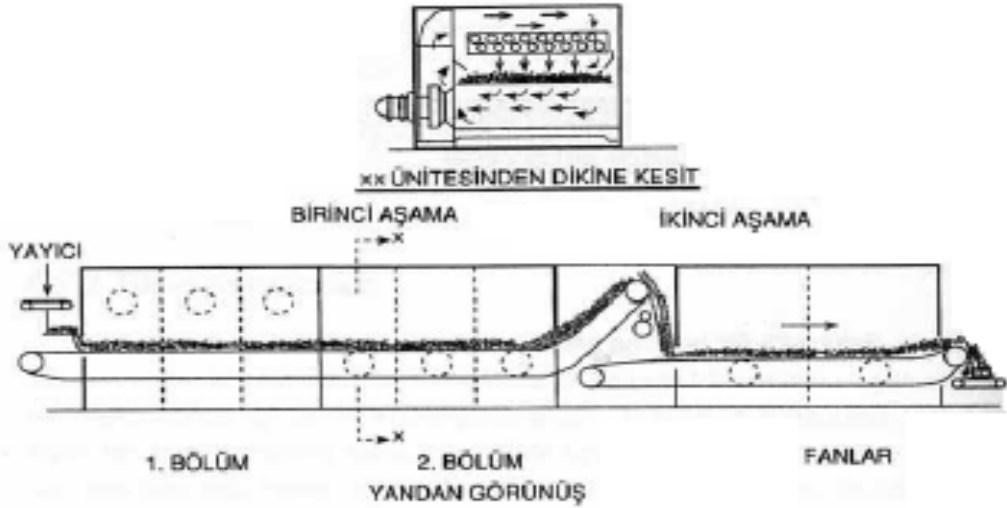
Bu kurutucularda, tünel kurutuculardaki raylı-araba sisteminin yerini sonsuz dönüş hareketli bir bant almıştır. Paslanmaz çelik örgü zincirden yapılmış olan bandın taşıdığı ürüne alttan ve üstten sıcak hava verilmektedir [22]. Bant açık, yarı açık veya tümü ile kapalı bir tünelin içinde olabilir. Şekil 3.12'de bant tipi bir kurutucu görülmektedir. Bu sistemlerin en önemli özelliği, kurutulacak maddenin fazla hırpalanmadan kurutulması ve proses koşullarının kolayca ayarlanabilmesidir. Kurutma zamanı uzun olan maddeler söz konusu olduğu durumlarda, üst üste konuşlandırılmış bir dizi bant içeren kurutucular kullanılmaktadır. Bu kurutucularda, madde üst banttın bir alttaki banda akarak kurutucu içinde yol alır. Sıcak gazlar ise bantlara paralel ve/veya dik yönde hareket eder [41]. Gıda maddelerindeki kullanımıyla genelde %80 nem içeriği oranlarından %10 nem içeriği oranlarına geçişi sağlayan basit sistemlerdendir [29].



Şekil 3.12 Bantlı tünel tipi kurutucu [46]

3.9.1.6 Konveyörlü Kurutucu

Konveyör kurutuculara sürekli bant sistemi de denir. Şekil 3.13’de gösterilen konveyör kurutucuların çalışma ilkesi, tünel kurutucular gibidir. Tünel kurutuculardaki tavaların yerini sürekli çalışan bir bant almıştır. Paslanmaz çelikten yapılmış elek şeklinde bir bantla taşınan ürüne, alttan ve üstten sıcak hava verilmektedir [38]. Bantlı kurutucu sistemine üstünlükleri, konveyör kullanımıyla çeşitli şekildeki alanlarda en yüksek alan kullanım performansını yakalamasıdır. Kurutma sistemi olarak çok büyük değişiklik göstermezler. Konveyörler sayesinde çeşitli şekillerde alanda dolaşan ürün daha üniform bir şekilde kurur [29]. Konveyör kurutucular, bir sezon boyunca aynı ürünü büyük miktarlarda kurutmaya elverişlidir. Elma, havuç, soğan ve fasülye gibi doğranmış, kıyılmış, parça halindeki gıdaların kurutulmaları için uygundur.

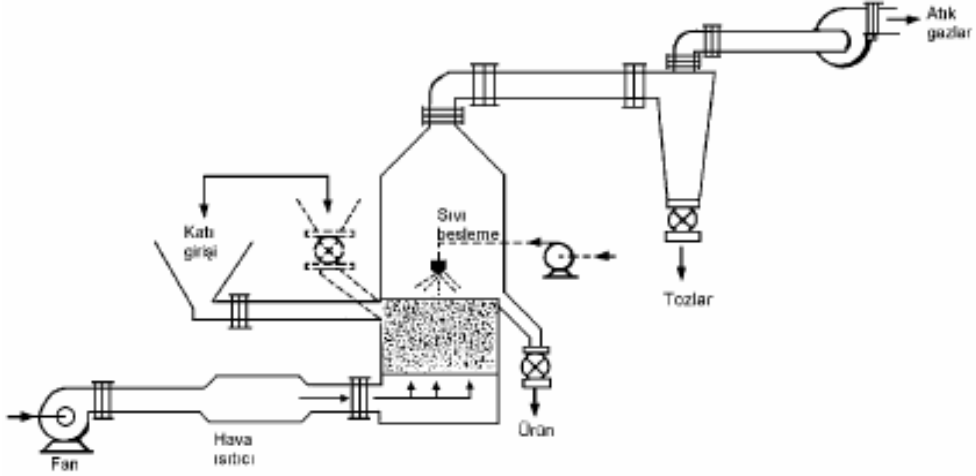


Şekil 3.13 İki aşamalı konveyör kurutucu

Bu sistem iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. Her iki aşamada sıcaklık ve nem içeriği bakımından farklı niteliklerde hava kullanılmaktadır. İlk bölmede yüksek sıcaklıkta, hızı fazla ve orta derecede nem içeren hava kullanılırken ikinci bölmede daha ılık fakat son derece kuru hava kullanılmaktadır [38].

3.9.1.7 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkanlaştırılmış yatakta, tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma ortamı gaz akımı geçirilir. Şekil 3.14'de gösterilen bir akışkan kurutucuda hava hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular madde ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ile tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın maddelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı kurutma işleminin kısa zamanda tamamlanmasıdır [48]. Akışkan yataklı kurutucular bezelye, taze fasulye, havuç, soğan, patates, et, kahve, kakao, tuz ve şekerin kurutulmasında kullanılır [28].



Şekil 3.14 Akışkan yataklı kurutucu [49]

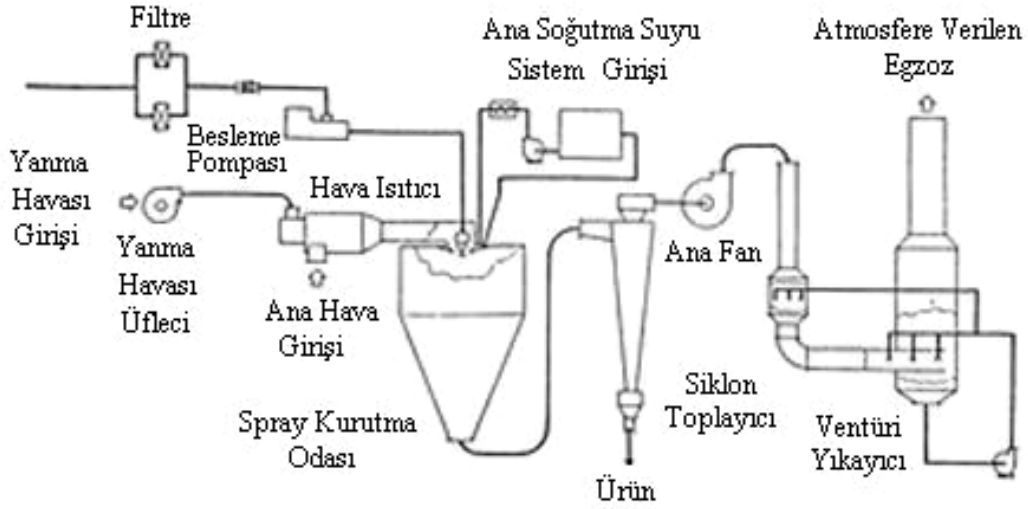
3.9.1.8 Pnömatik Kurutucu

Yüksek sıcaklık ve ürün tanecik yapısının fiziksel olarak değişmesinin problem oluşturmadığı durumlarda kullanılır. Kurutma bir kırıcı içerisinde ürünün mekanik ve pnömatik işleme kırılarak ve ardından kurutulacak ürünün boru içerisinde pnömatik taşınmasıyla sağlanmaktadır. Son ürün toz halindedir. Ürünün çok kısa bir sürede kurutulması sebebiyle yüksek sıcaklıkta ürünün içyapısı minimum zarara uğramaktadır [29].

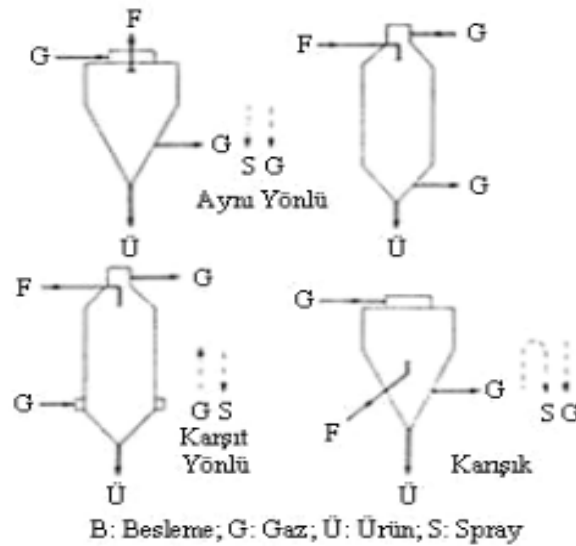
3.9.1.9 Püskürtmeli (Sprey) Kurutucu

Sprey kurutucular süt tozu, peynir altı suyu tozu, süt, tereyağı ve peynirle yapılan bazı kuru çocuk mamalarının yapımında, öz çay, öz kahve, meyve ve sebze suları tozları, et özü ve maya özü yapımında kullanılır [28]. Çünkü kurutulmuş madde damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kurutma zamanı oldukça kısadır (5-15 s). Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, sprej kurutucular yüksek üretim miktarlarında çalışabilir. Sprej, iki akışkanlı meme, yüksek basınçlı meme veya dönen disk şeklinde olabilir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında değişirken, yüksek sıcaklıklar için özel yapı malzemeleri kullanılır. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısı verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kurutma zamanı sayesinde kurutulabilir. Sıcak hava, dökülen madde damlacıklarıyla aynı yönde veya ters yönde

sisteme verilebilir (Şekil 3.16). Kuruyan madde, yerçekimi etkisiyle dökülmektedir. Egzoz havası içerisindeki madde parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır. Şekil 3.15’de, tipik bir sprey kurutucu sistemi verilmiştir. Kurutulan maddenin fiziksel özellikleri (örneğin; parça boyutu, yığın yoğunluğu ve toz içeriği) püskürtme karakteristiği ve kurutucu havanın sıcaklık ve akış yönüyle değişebilir. Ürünün son nem içeriği, hava akımının sıcaklık ve nemliliği ile kontrol edilebilir [50].



Şekil 3.15 Püskürtmeli kurutucu ünitesinin akım şeması

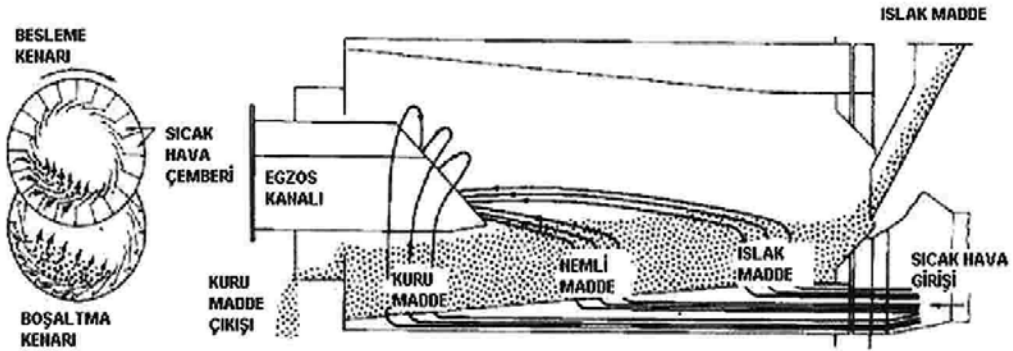


Şekil 3.16 Paralel, karşıt ve çapraz akımlı püskürtmeli kurutucunun kurutma hazneleri [44]

3.9.1.10 Döner Kurutucu

Geniş çaplı uzun silindirik bir boru şeklinde olan kurutma ortamı ve ürünün boru içinde hareketini kolaylaştırmak için bu silindirik boruya gerekli açığı veren ayarlanabilen ayaklardan oluşan bir kurutucu sistemidir (Şekil 3.17). Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilir [29].

Döner kurutucularda gıda maddesi silindir içerisine verilir. Gıda maddesi silindir içerisinde ilerlerken silindir boyunca verilen sıcak hava akımı ile veya ısıtılan silindir duvarlarından kondüksiyon yolu ile ısıtma işlemi yapılır. Bazı kurutucularda silindirin kendisi döner bazılarında ise silindir sabittir ve içerisinde dönen paletler veya bir sonsuz vida yardımıyla gıda maddesi silindir boyunca taşınır [41].



Şekil 3.17 Döner tip kurutucu

3.10 Kurutucu Seçimi

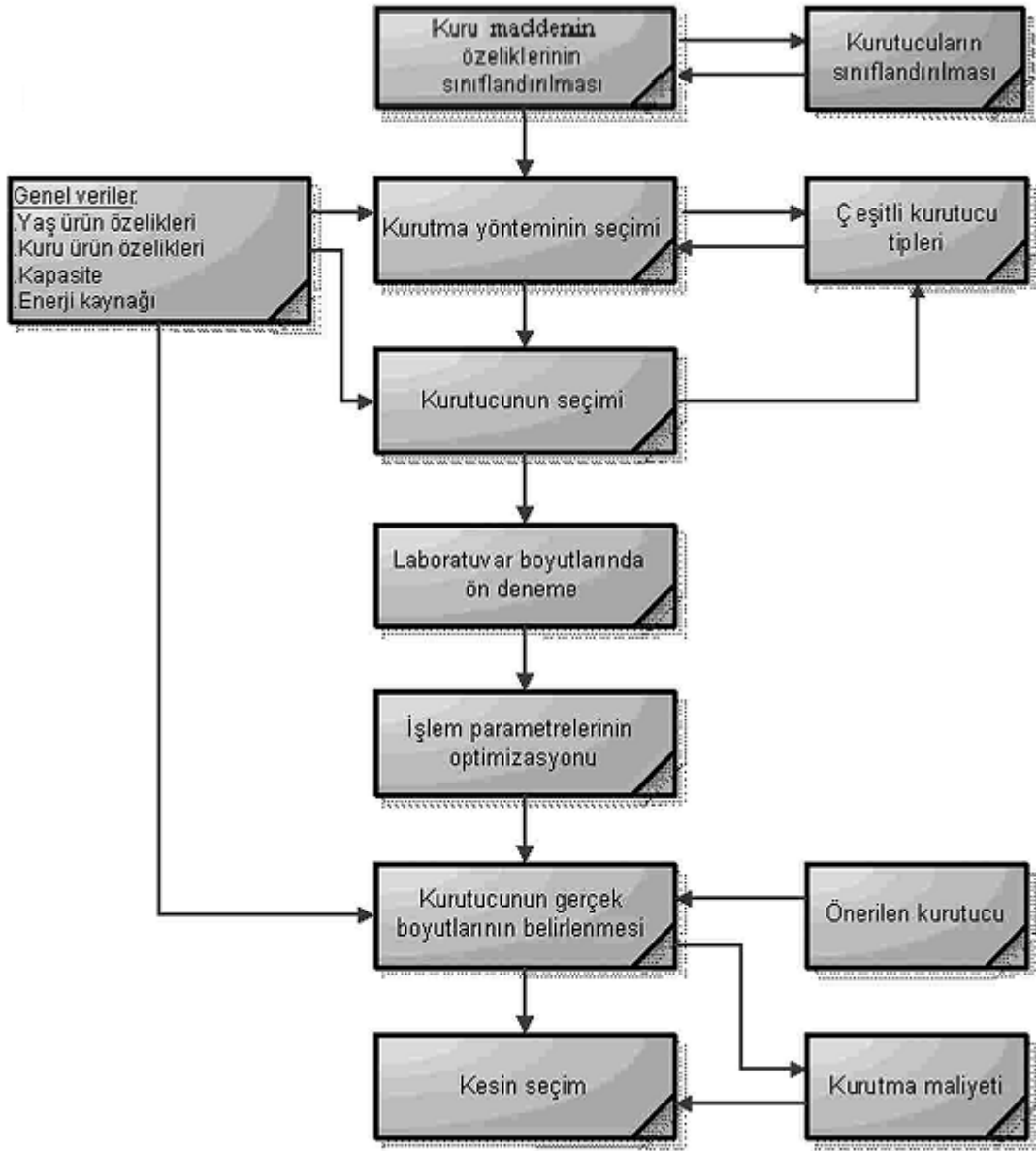
Kurutucu seçimi uzun zamandır önceki tecrübeler ve üretici tavsiyelerine, bilimden daha fazla, bağımlı hale gelmiştir. Kurutma teknolojileri daha fazla geliştikçe, daha karmaşık ve farklı bir hale geldikçe, kurutucu seçimi çok daha fazla sayıda takım ve bunların uygulanması açısından bilgisi ve tecrübesi olmayan kişiler için artan bir şekilde zor ve ilgi gerektiren bir görev olmuştur [44].

Kurutma işleminin gerek ürün kalitesi ve gerekse sistemin karlılığı açılarından başarısı, uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her türlü kurutma işlemine uygun çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeniyle, ilk adım olarak, kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimine önem vermek gerekmektedir [46].

Yapılmak istenen kurutma için uygun kurutucu seçimi, birçok etkenin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir. Kurutulacak maddenin özellikleri, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile madde arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır. Seçim sırasında teknolojik gereksinimler, ekonomik çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterler olarak ele alınmalıdır. Kurutma yöntemleri ve kurutucular seçimli olarak belirlendikten sonra kesin seçim için aşağıda verilen unsurlar dikkate alınmalıdır:

- Yıllık kurutulacak ürün miktarı,
- Tesisin kuruluş maliyeti,
- Tesisin işletme masrafları,
- İşlem sırasında kurutulacak maddeden verilecek fire miktarı,
- Emniyetli çalışma,
- Kurumuş ürünün kalitesinin uygunluğu,
- Kurumuş ürünün dış görünüşünün isteğe uygunluğu,
- Kurutucunun çeşitli kapasitelerde çalıştırılabilme esnekliği,
- Çevre kirliliğine etkisi olup olmadığı,
- Çalışma sırasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi,
- Tamir ve bakım kolaylığı,

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası maddenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak maddenin statik ve kinetik kurutma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Maddenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorpsiyon) eşsıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı ve kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır [46]. Şekil 3.18'de kurutucu seçimi için izlenecek adımlar gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Kurutucu seçimi için işlem adımları [50]

3.11 Diğer Kurutma Yöntemleri

3.11.1 Vakum Kurutma

Besin içeriğinde meydana gelen kayıpları azaltmak ve kurutulmuş gıdanın kalitesini korumak için, vakumlu kurutma işlemi geleneksel yöntemlerin yerine başarılı şekilde uygulanmaktadır. Vakum kurutucular ısıya duyarlı ürünlerin, daha düşük sıcaklıklarda hızla kurumasını sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Atmosferik koşullarda kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, vakumlu kurutma yöntemi; daha düşük kurutma

sıcaklığı ve oksijensiz ortamda kurutma gibi bazı karakteristik özelliklere sahip olup, daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Ürünün kurutulması sırasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonları azaltmakta ve vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk, tekstür ve aroma özellikleri daha iyi korunabilmektedir [51].

3.11.2 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma yöntemi,, hassas ürünlerin (eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılarda meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt gibi) kurutulması için kullanılır. Madde önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş maddeye ısı iletilir (genelde kızılötesi ışınım), uzaklaştırılmak istenen uçucu (genelde su), gaz haline gelir, yoğuşur veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurarak kurutma işlemi, düşük basınç altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı maddeler için oldukça uygundur [50].

3.11.3 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma özellikle meyve ve sebze gibi ürünlerin, konsantre çözeltiler içinde sularının uzaklaştırılması işlemidir. Ozmotik kurutmada aynı anda üründen çözeltilere doğru olan su akışı, çözeltilerden ürüne (herhangi bir besin ögesi, koruyucu ya da duyu kalite geliştiriciyi ürüne katmayı sağlamak için) çözünen aktarımı ve ürüne ait çözünenlerin çözeltilere geçmesi gibi üç farklı kütle aktarımı oluşur. Ürüne ait çözünenlerin çözeltilere geçmesi, su kaybı ve çözünen kazancının yanında nicelik bakımından çok az miktarlarda ise de, son ürünün bileşimi açısından önemlidir. Böylece ozmotik kurutmaya üründen su uzaklaştırılması ve çözünür kuru madde katılımı ile formülasyon etkisi sağlanabilir. Diğer taraftan en önemli sınırlama, üründeki nem miktarının belirli bir orana kadar düşürülebilmesidir. Bu nedenle ozmotik kurutma; dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön işlem olarak kullanılmaktadır [29].

3.11.4 Morötesi Radyasyon Kurutma

Elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı kurutucudur. Yüksek yatırım maliyeti sebebiyle çok sık rastlanan bir kurutma tipi değildir. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddelerin kurutulmasında etkin şekilde kullanılır [29].

3.11.5 Kızıl Ötesi Işınımlı Kurutma

Gıda ürünlerinde infrared (kızıl ötesi) kurutma uygulaması, sıcak hava kurutma tekniğine göre daha kısa zamanda kurutma ve daha az enerji sarfiyatı gibi üstünlükleri olması nedeniyle son yıllarda hız kazanmıştır. Çok yönlü bir kullanıma sahip olması, basit aksam donanımı, hızlı kurutma zamanı, herhangi bir kurutma zincirine kolayca entegre edilebilmesi ve düşük kurulum maliyetine sahip olması gibi avantajlara sahiptir.

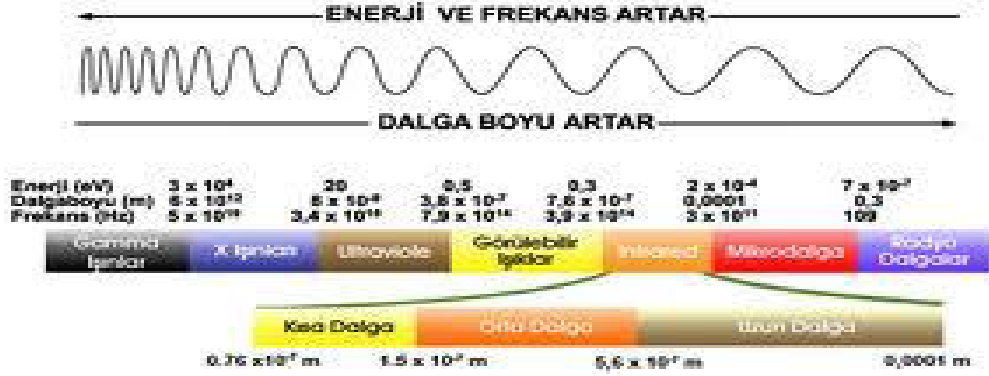
İnfrared ile kurutmada, ürün elektromanyetik radyasyona maruz bırakılır. Biyolojik maddelere nüfuz eden infrared ışını, ürün içerisindeki su moleküllerinin harekete geçmesini sağlar ve hareket halindeki su molekülleri ürünü terk etmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyar. Buharlaşma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin düşmesi kurutma verimini arttırarak, kurutma zamanının azalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte infrared ve sıcak havalı kurutma tekniği kombinasyonunun birlikte yarattığı sinerjistik etki nedeniyle her iki tekniğin de tek başına uygulanmasına nispeten çok daha verimli bir sonuç verdiği belirtilmektedir [52].

3.11.6 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ile kurutmada ürün kalitesi, renk, koku, tat gibi yapısal değişikliklerin korunmasında etkili bir kurutma metodudur. Diğer sistemlere göre daha ekonomiktir. Sanayi de genellikle vakum ile birlikte kullanılarak yapılan kurutmalarda, diğer sistemlere göre daha kısa sürede kurutma yapılabilir. Şekil 3.19'da dalga boylarına göre elektromanyetik dalgalar gösterilmektedir.

Mikrodalga tasarımlarının canlılar üzerindeki olumsuz etkilerinin düşünülmesi ve güvenlik önlemlerinin alınması gerekliliğinden maliyetler yüksek olmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde fazla bilinen ve kullanılan bir teknoloji olmadığından mikrodalga

ekipmanlarının yurt dışından getirilme zorunluluğu bulunmaktadır. Ayrıca tasarımlar sırasında gerekli ölçüm ve hesaplamaların yapılması, test cihazlarının alımı, kurulumu ve mühendislik hizmet bedelinin yüksek olması, mikrodalga konusunda çalışma yapan kuruluşları oldukça zorlamakta, dolayısıyla ürünlerin maliyetlerini yüksek oranlarda etkilemektedir [46].



Şekil 3.19 Dalga boyları ve elektromanyetik spektrum için verilmiş bir örnek

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Ertekin vd. [53] tarafından yapılan bir çalışmada patlıcan dilimlerini 30-70°C arasındaki sıcaklıklarda ve 0,5-2 m/s aralıklarındaki hava akış hızlarında bir laboratuvar kurutucusunda kurutmuşlardır. Bu çalışmalarda, ön işlem ve dilim kalınlığının kurutma zamanı ve kuru ürünün kalitesine etkisini çalışmalarında ele almışlardır. Deneyde kullanılan örneklerin kalınlığı 0,635, 1,27 ve 2,54 cm olacak şekilde bıçakla kesilip 5 dakika boyunca kaynar suda bekletilmiştir. Elde edilen verilere değişik matematiksel modeller uygulanmış ve modellerdeki sabitlerin ve katsayıların kurutma sıcaklığı ve hava akış hızına etkileri çoklu regresyon teknikleriyle değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ön işlem uygulanan örneklerde parlaklık artarken rehidrasyon oranı ve kurutma zamanının azaldığı gözlenmiştir. Artan dilim kalınlığı kurutma zamanı ve rehidrasyon oranını arttırırken kurumuş patlıcanın renginde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Sıcaklığın ve hava akış hızının artması kurutma zamanını azaltmıştır. En yüksek rehidrasyon oranı 50°C'de gözlenirken artan hava akış hızı ayrıca bu oranı daha da arttırmıştır. Midilli vd. tarafından patlıcanın kurutma eğrilerini ifade eden en iyi model olduğu bulunmuştur.

Russo vd. [8] patlıcanın kurutulması sırasında büzülmenin etkisini iki matematiksel model geliştirilerek açıklamaya çalışmışlardır. Modeller difüzyon denklemleriyle modifiye edilmiş ve kurutma boyunca patlıcan dilimlerinin yapısındaki değişiklikler dikkate alınmıştır. İki modelde kurutma prosesini tanımlamak için uygundur. Değişik sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma deneyleri ile karşılaştırılarak non-lineer regresyon prosedürü yoluyla parametre değerleri tespit edilmiştir. Modellerden

türeyen kalınlık değişimi hakkındaki bilgi, deneysel verilerle uyum içinde bulunmuştur. Hazırlanan numuneler 30 mm çapında ve 6 mm kalınlığında olup ilk nem içeriği $12,704 \pm 0,04$ g/kg kuru madde'dir. Kurutma denemeleri 40, 50, 60 ve 70°C'de yürütölmüştür. Sıcaklığa karşılık gelen bekleme zamanı 40°C'de 270 dakika, 50°C'de 225 dakika, 60°C'de 165 dakika ve 70°C'de 135 dakika olarak bulunmuştur.

Wu vd. [54] patlıcanın vakumla kurutma karakteristiğini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada dikdörtgen prizması şeklinde (45x25x20 mm) dilimlenmiş ilk nem içeriği yaş baza göre yaklaşık %94 olan patlıcanları üç farklı vakum basıncında (2,5, 5,0 ve 10 kPa) ve üç farklı kurutma havası sıcaklığında (30, 40 ve 50°C) kurutmuşlardır. Basınc ve sıcaklığın kurutma oranı ve büzölme üzerine etkilerini ele almışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, sıcaklığın artmasıyla patlıcanların kurutma süresinin önemli ölçüde kısalđığını ancak vakum basıncının arttırılmasının kurutma prosesinden bağımsız olduğu ve aynı önemli etkiyi göstermediğini tespit etmişlerdir. Patlıcan örneklerin büzölmesinde ise vakum basıncının artması büzölme derecesini arttırırken, kurutma sıcaklığının artmasının büzölmeden tamamen bağımsız olduğunu görmüşlerdir.

Russo vd. [55] tarafından yapılan başka bir çalışmada, kurutma sıcaklığının kurutulmuş ve rehidre edilmiş patlıcanın fiziksel özelliklerine etkisini ele almışlardır. Bu çalışmada 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) konvektif hava sıcaklığında 2,3 m/s hava akış hızında kurutulan patlıcanların, yapısal değişikliklerinin rehidrasyon prosesi üzerine etkileri incelenerek kurutma ve rehidrasyon davranışları ölçölmüştür. Gözenek, gözenek büyüklük dağılımı ve hacim yoğunluğu gibi değişen fiziksel özellikler civa porozimetresi taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmiştir. Ayrıca tüm bu yapısal değişikliklerin rehidrasyon üzerine etkileri de ele alınmıştır. İlk nem içeriği $12,58 \pm 0,03$ kg su/kg kuru madde olan 30 mm çapında ve 6 mm kalınlığındaki silindirik patlıcan dilimleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçları incelendiğinde, kurutma sıcaklığı arttıka kurutma zamanı kısalmaktadır. 60°C'de kurutulan patlıcan örneğinin yapısı 40, 50 ve 70°C'de kurutulan örneklere göre daha az zarar görmüştür. Ayrıca 40, 50 ve 70°C'de rehidrasyon işleminden sonra Young's modölü ve ortalama gözenek ölçümleri 60°C'deki örneğe göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Akpınar [56] yaptığı bir çalışmada, 30 cm çapında ve 6 mm kalınlığındaki patlıcan dilimlerini kurutmak için konvektif tipi siklon kurutucu kullanmıştır. İnce tabaka kurutma deneylerinde, 500 g'lık patlıcan dilimleri 55, 65 ve 75°C sıcaklıkta ve 1-1,5 m/sn hava akış hızında kurutulmuştur. Kurutucu havanın bağıl nemi 55°C'nin %15, 65°C'nin %9 ve 75°C'nin %5 olarak belirlenmiştir. Kurutma, son nem içeriği tahmini 0,04 g su/g kuru madde olana kadar devam etmiştir. Deney boyunca, ortam sıcaklığı, bağıl nem ve kurutma odasının giriş çıkış sıcaklıkları kayıt edilmiştir. Farklı kurutma sıcaklığı ve akış hızlarında nem içeriğinin 0,04 g su/g kuru madde olması için 180 dakika ile 340 dakika arasında kurutma işlemine devam edileceği tespit edilmiştir. Patlıcan kurutma işleminde hava akış hızlarındaki farkların, kurutma sıcaklıklarındaki farklar kadar etkili olmadığı anlaşılmıştır.

Perez vd. [57] konvektif olarak kurutulmuş patlıcan dokusunda (ultrasonik ve konveksiyonel uygulamayla) kaybedilen nem kinetiği ve yapısındaki değişiklikleri araştırmışlardır. 40°C, 1 m/s hava akış hızında, 45 ve 90 W'lık iki ayrı ultrasonik kurutucu ve konveksiyonel kurutucu olmak üzere üç farklı kurutma deneyi yapılmıştır. SEM (taramalı elektron mikroskopu) ile kurutulmuş örneklerin mikro yapısı incelenmiştir. Ultrasonik kurutma boyunca kurutma zamanında önemli azalışlar söz konusu olmuştur. Ultrasonik kurutmada kullanılan enerjinin kurutma ile ilişkili olduğu ve daha yüksek enerjide örneklerin daha kısa zamanda kuruduğu gözlenmiştir. Konveksiyonel kurutucu ile kurutulmuş patlıcan örneklerinin dokusundaki büyük değişimin kurutma zamanının uzun olmasından kaynaklandığı da bir diğer sonuçtur. 45 W gibi orta ölçekte uygulanan kurutma işleminde, kurutma zamanının daha kısa olması ve dokular üzerine mekanik etkinin daha az olmasından dolayı ultrasonik yolla kurutulan patlıcan örneklerinin dokusu daha iyi korunmuştur.

Doymaz [58] farklı sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerinin ($2,4 \pm 0,003$ m/s hava akış hızında ve $150 \pm 0,5$ g ağırlığında) kurutma kinetiğine etkisini incelemiştir. 1,5 cm kalınlığındaki patlıcan dilimlerinin bir kısmını 70°C'deki suda 3 dakika boyunca muamele edilmiştir. Diğer taraftan ise hiçbir ön işlem uygulanmayan 1,5 cm kalınlığındaki patlıcan dilimlerini sırası ile 50, 60, 70 ve 80°C'de kurutulmuştur. Nem oranları 11 farklı matematiksel modele uyarlanmış ve bu modellerden Logaritmik,

Wang ve Singh ve Midilli vd. modellerinin en uygun tahminleri verdiği görülmüştür. Haşlanmamış örneklerdeki difüzyon katsayı değerlerinin $5,575-9,745 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında olduğu, haşlanmış örneklerde ise difüzyon katsayı değerlerinin $5,851-11,077 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Aktivasyon enerjisi değerleri ise haşlanmayan örnekler için $18,27 \text{ kJ/mol}$ ve haşlanan örnekler için $20,76 \text{ kJ/mol}$ olarak bulunmuştur.

Doymaz ve Göl [59], dilim kalınlıklarının ve kurutma havası sıcaklığının, haşlanan ve haşlanmayan patlıcan dilimlerinin kurutma kinetiğine etkisini araştırmışlardır. Kurutma deneyleri dört farklı sıcaklıkta ($50, 60, 70$ ve 80°C) 2 m/s hava akış hızında $0,5$ ve 1 cm dilim kalınlığında ($150 \pm 0,5 \text{ g}$) iki ayrı grupta gerçekleştirilmiştir. İlk grup 70°C 'ye ısıtılan suda 3 dakika boyunca bekletilip ardından sıcaklığın etkisini ortadan kaldırmak için 20°C 'deki su ile 3 dakika boyunca muamele edilen patlıcan dilimlerinden oluşmaktadır. İkinci grup ise hiçbir ön işlem yapılmadan kurutulmuş patlıcan dilimlerini temsil eder.

Yapılan çalışma sonucunda, haşlanan patlıcan dilimlerinin haşlanmayan dilimlere göre daha kısa sürede kuruduğu gözlenmiştir. Kurutma sıcaklığı ve dilim kalınlığının patlıcan dilimlerini kurutmada oldukça önemli etkiye sahip olduğu, yüksek sıcaklık ve ince dilimlerin kurutma zamanını kısalttığı bulunmuştur. Efektif difüzyon değerleri sıcaklığın artması ile artarken, bu değerler $0,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $8,84 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Aktivasyon enerji değerleri haşlanmamış patlıcan dilimleri için $20,12-24,54 \text{ kJ/mol}$ arasında değişirken, haşlanmış patlıcan dilimleri için $25,35-30,83 \text{ kJ/mol}$ arasında bulunmuştur. Sonuçlar iki farklı (Henderson ve Pabis ve Page) matematiksel modele uyarlanmış ve bu modellerden Page modeli, patlıcan dilimlerinin kurutma karakteristiklerini en iyi şekilde tanımlamıştır.

Aversa vd. [60] patlıcanın kurutulması sırasında büzülme, görünür yoğunluk değişimleri ve efektif difüzyon katsayısını belirlemeye çalışmışlardır. Birçok gıdada uygulanan bu teknolojinin, daha az enerji gerektirmesi ve oldukça ucuz olması gibi birçok avantajı vardır. Efektif difüzyon katsayısını tahmin etmek için gıdalarda suyun tek boyutlu taşınmasını sağlayan klasik bir matematiksel model kullanılarak deneysel veriler yorumlanmıştır. Deney koşulları altında efektif difüzyon katsayısı değerleri $1,13 \times 10^{-10} - 5,65 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında bulunmuştur. Büzülme modellemesi gıdanın nem

içeriğine ve gıdanın hacmine bağlı olarak non-lineerlik göstermiştir. Kurutmanın ilk periyodunda yoğunluk önemli ölçüde değişmezken son periyodunda belirgin bir azalma gözlenmiştir. 8 mm çapında 3 farklı dilim kalınlığındaki ($6\pm 0,1$, $8\pm 0,1$ ve $10\pm 0,1$ cm) patlıcan örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Örneklerin başlangıç nem içeriği 0,92 ve 0,94 kg su/kg yaş madde olarak hesaplanmıştır. Her kalınlıktaki patlıcan örnekleri 70, 80 ve 90°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Sıcaklık arttıkça D_{eff} katsayısının da arttığı tespit edilmiş fakat ilk örnek kalınlığı ile arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Birinci kurutma periyodunda gıdanın nem içeriği ve hacmi arasında lineer bir bağlantı olduğu anlaşılırken gıdanın görünür yoğunluğunda önemli bir değişim olmamıştır. Bunun aksine son kurutma periyodunda, su ve hacim arasında güçlü bir sapma ve görünür yoğunlukta kayda değer azalma gözlenmiştir.

Akpınar [61] ince tabaka kurutulmuş patlıcan dilimlerinin enerji ve ekserji analizleri üzerine çalışmıştır. Kurutma denemeleri 55, 65 ve 75°C'de 1 ve 1,5 m/s hava akış hızında siklon tipi bir kurutucuda yapılmıştır. Enerji kullanım oranını tahmin etmek için termodinamiğin birinci yasası kullanılarak enerji analizi yapılmıştır. Bununla birlikte termodinamiğin ikinci kanunu kullanılarak kurutma prosesi boyunca kaybolan ekserji tipi ve boyutunu belirlemek için ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. 0-0,739 kJ/s ekserji kaybına rağmen, 1 ve 1,5 m/s hava akış hızında 12000-21600 saniyede 55-75°C'de patlıcan dilimlerinin yeterince kurutulduğu sonucuna varılmıştır.

Kurutma odasında kullanılan enerji, hava akış hızı ve kurutma hava sıcaklığının artması ile artmıştır. Kurutma zamanının artması ile kurutma odasının enerji kullanımı ve enerji kullanım oranının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca artan kurutma sıcaklığı ve hava akış hızı ile kurutma odasının enerji kullanım oranı azalmıştır. Giriş, çıkış ve kaybolan ekserji çeşitleri kurutma havası sıcaklığına ve hava akış hızına bağlıdır. Kurutma zamanının artması ile ekserji verim oranının arttığı gözlenmiştir.

Akpınar [62] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, siklon tipi konvektif bir kurutucuda 5 mm kalınlığında ve ortalama olarak 35 mm çapında kesilmiş patlıcan dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemiştir. Deneyler üç farklı kurutma havası sıcaklığında (55, 65 ve 75°C) ve iki farklı kurutma havası hızında (1 ve 1,5 m/s) yapılmıştır. Kuruma kinetiğini belirlemek için patlıcanın kütle değişimi bütün kurutma

havası şartlarında kaydedilmiştir. Deneysel olarak belirlenen kurutma hızı-kurutma zamanı ve kurutma hızı-nem içeriği eğrileri ampirik bağıntılar yardımıyla modellenmiştir. Bu modellerde bulunan katsayılar üzerinde kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkisi çoklu regresyon yöntemiyle araştırılmıştır. Meydana gelen yeni modeller yardımıyla, kurutma hızının-kurutma zamanıyla değişimi $R^2=0,9589$, kurutma hızının-nem içeriğiyle değişimi $R^2=0,9896$ doğrulukla ifade edilebilmiştir. Kurutma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiği patlıcan dilimlerinden havaya olan nem transferi deneysel olarak belirlenen difüzyon katsayısı yardımıyla ifade edilmiştir. Difüzyon katsayısının kurutma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimi lineer bir bağıntıyla $R^2=0,94678$ doğrulukla ifade edilebilmiştir.

Tunç [4], bir laboratuvar kurutucusunda, patlıcanın farklı kurutma şartlarındaki (hava sıcaklığı: 45, 55, 65 ve 75°C; ön işlem; dilim kalınlığı: 6 mm ve 9 mm; hava hızı: 1,5 m/s ve 2,5 m/s) kurutma karakteristikleri üzerinde çalışmıştır. Ayrıca; patlıcanın kurutma zamanının belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla 13 matematiksel model uygulanmış ve Midilli vd. matematiksel modelinin en uygun tahminleri verdiği görülmüştür. Kurutma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve bunlara ek olarak modelin modelleme yeterliliği de (EF) belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, kurutmada kullanılan kurutma havası sıcaklığı arttıkça, farklı ön işlem uygulanmış patlıcan örneklerinden buharlaşan nem miktarının arttığı, dolayısıyla kurutma zamanının kısaldığı gözlenmiştir. Yapılan işlemlerde kurutma havası hızının arttırılmasıyla da kurutma zamanının kısaldığı görülmüştür.

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

5.1.1 Hammadde

Bu çalışmada, marketten satın alınan Kemer patlıcanları kullanılmıştır (Şekil 5.1). Kemer patlıcanı, toplu gelişen 70-80 cm boylu bir patlıcan çeşididir. Meyveler silindirik, uca doğru eğri, uç kısmı küt, orta uzunlukta (14-18 cm), meyve çapı 4-6 cm, parlak koyu mor renkte meyve eti yumuşak erkenci bir çeşittir.



Şekil 5.1 Denemelerde kullanılan Kemer patlıcanı

5.1.2 Araç ve Gereçler

Denemeler, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümündeki Gıda ve Polimer Teknolojileri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminde APV&Pasilac (Cumbria, Birleşik Krallık) marka Şekil 5.2’de gösterilen bir kabin kurutucu kullanılmıştır.



Şekil 5.2 Patlıcanın kurutulmasında kullanılan kurutucunun genel görünüşü

Ön işlem yaparak kurutulacak patlıcanlar için, %0,5’lik sitrik asit ($C_6H_8O_7$) çözeltisi ve $80^{\circ}C$ ’de sıcak su kullanılmıştır. Patlıcanların tartılması işlemi için Şekil 5.3’de gösterilen Mettler (model BB3000, Mettler-Toledo AG, Greifensee, İsviçre) marka bir tartım cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.3 Tartım cihazının genel görünüşü

Kuru madde tayininde ve rehidrasyon deneylerinde hassas tartım almak için Precisa marka (model XB220A, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) bir hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Hassas tartım cihazının genel görünüşü

5.2 Yöntemler

5.2.1 Kurutma Sistemi

Patlıcanların kurutulması, Gıda ve Polimer Teknolojileri Laboratuvarında bulunan ve Şekil 5.2'de gösterilen kurutma kabiniinde gerçekleştirilmiştir. Kurutma kabini, çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun, istenilen sıcaklıkta hava akımı sağlayabilen pilot ölçekli bir kurutucudur. Kurutucu çelikten imal edilmiş olup 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın hızını ise, hızı değiştirilebilen sirkülasyon fanı tarafından kontrol edilebilmektedir. 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. İstenen sıcaklık ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital sıcaklık göstergesinden ayarlanabilmektedir.

5.2.2 Kuru Madde Tayini

Patlıcanların kuru madde miktarlarının belirlenmesi için darası önceden belirlenmiş örnek kabında yaklaşık 5 gram olarak tartılan küçük parçalar halinde kesilmiş örnekler, 110°C'ye ayarlanmış ve Şekil 5.5'de gösterilen etüv cihazında (DIGITHEAT, Abrera, Barselona, İspanya) sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

Etüvdeki bu kurutma işlemi yaklaşık 24 saat sürmüştür. Etüvden alınan örnekler desikatörde 30 dakika bekletildikten sonra Şekil 5.4'te gösterilen hassas terazide tartılmışlardır.



Şekil 5.5 Selecta marka etüv cihazının genel görünümü

Alınan tartımlar sonucu, örneklerin kuru madde miktarları % olarak aşağıdaki (5.1) eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$\%Kuru\ madde = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (5.1)$$

Burada;

m_0 : Örnek kabın boş ağırlığı (g),

m_1 : Örnek kabın ve örneğin kuruma öncesi ağırlıkları toplamı (g),

m_2 : Örnek kabın ve örneğin kuruma sonrası ağırlıkları toplamı (g)

olarak ifade edilmektedir.

5.2.3 Hava Akış Hızı

Kurutma denemeleri sırasında havanın akış hızının ölçümü için Şekil 5.6'da gösterilen Testo 440 Vane Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Tayvan) kullanılmıştır. Patlıcan kurutma denemeleri gerçekleştirilen kurutucudaki havanın hızı $2 \pm 0,1$ m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.6 Anemometre genel görünümü

5.3 Kurutma Denemeleri

Kurutma denemelerinde kullanılacak patlıcanların kuru madde içeriği, yapılan kuru madde tayini sonucunda ortalama %6,02 olarak bulunmuştur. Benzer ebatlardaki temin edilen patlıcanların kabukları soyulup 0,6 cm kalınlığındaki dilimlere ayrılmıştır. Üç gruba ayrılan patlıcanlardan ilk gruptakiler (sitrik asit kodlu) sitrik asit ile ikinci gruptakiler (haşlama kodlu) ise ısıtılmış saf su ile muamele edilip kurutmaya alınmıştır. Son olarak da hiçbir ön işlem uygulanmayan patlıcan dilimleri (natürel kodlu) doğal şekilde kurutma işlemine alınmıştır. 2,5 g sitrik asit üzerine 500 g saf su ilave edilerek hazırlanan %0,5'lik asidik sitrik asit çözeltisi, 1 dakika boyunca sitrik asit kodlu patlıcan dilimleri ile muamele edilmiştir. Yine 1 dakika boyunca 80°C'lik saf suya daldırılan haşlama kodlu patlıcan dilimlerinin, önce su ile soğutulup ardından kurulama kağıdı ile üzerindeki fazla suyun alınması sağlanmıştır. Natürel kodlu patlıcan dilimleri ise direkt kurutma fırınına alınmıştır. Aynı işlemler 0,9 cm ve 1,2 cm kalınlığındaki patlıcan dilimleri için de uygulanmıştır. Kurutma denemeleri her dilim kalınlığı için 40, 50, 60 ve 70°C'deki sıcak hava ile gerçekleştirilmiştir.

Patlıcanların farklı sıcaklıklarda hava ile kurutulması için öncelikle kurutucuda hava akış hızı ve sıcaklık ayarları yapılmıştır. Sistem kararlı duruma eriştikten sonra her kurutma denemesi için, yaklaşık 75 g alınan patlıcan dilimleri, ağırlıkları önceden ölçülen

kurutma tepsilerine ince bir tabaka halinde homojen bir şekilde konulmuş ve kurutma kabineine yerleştirilerek kurutma işlemi başlamıştır. Kurutma işlemi sırasında madde ağırlık kaybını belirlemek için her 15 dakikada bir tartım alınmıştır (Şekil 5.7). Kurutulan patlıcan dilimlerinde ağırlık ölçümleri Şekil 5.3’de gösterilen Mettler marka bir terazi ile yapılmıştır. Bu terazi 3 kg’a kadar olan ağırlıkları 0,1 g hassasiyetinde ölçebilmektedir. Kurutma işlemi örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10’a düşüncüye kadar devam edilmiştir. Kurutma işlemi tamamlanan örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, örnekler LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) torbalara doldurulmuş ve torbaların ağzı ısısal yöntemle kapatılarak saklanmıştır (Şekil 5.8). Aynı işlemler her dilim kalınlığı için 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarında $2\pm 0,1$ m/s sabit hava hızı koşullarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 Kurutma sırasında yapılan tartım işlemi



Şekil 5.8 Paketlenmiş kuru patlıcanlar

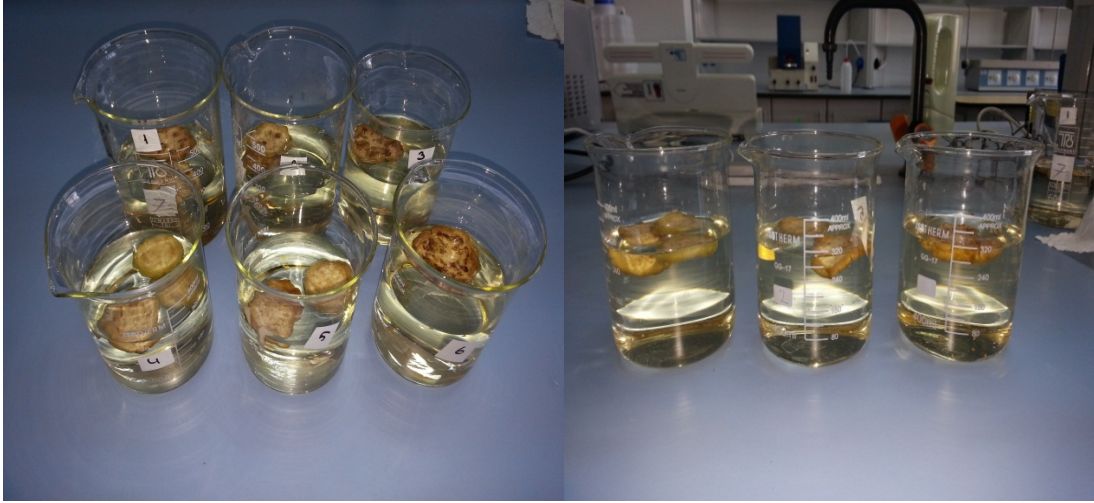
5.4 Rehidrasyon (Tekrar Su Alma Yeteneği) Kapasitesinin Ölçülmesi

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belirli 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 [41].

Rehidrasyon işlemi 0,6 cm kalınlığında 40, 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuş patlıcan örneklerine uygulanmıştır. Önceden hazırlanarak sabit tartıma getirilmiş beherlere 300 ml saf su ilave edilerek iki farklı sıcaklıkta rehidrasyon işlemine başlanmıştır. Rehidrasyon denemeleri 25°C ve 50°C'de gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan sulara ilk ağırlıkları bilinen kurutulmuş patlıcan dilimlerini atılarak 30 dakika boyunca bekletilmiş, örnekler kurulama kâğıdı ile kurulandıktan sonra hassas terazi ile tartım alınmıştır. Bu işlem her 30 dakikada bir (toplam bekleme süresi 6 saat olacak şekilde) gerçekleştirilmiş ve elde edilen verilerden yararlanarak rehidrasyon kapasite (RC) değerleri (5.2) eşitliği ile hesaplanmıştır [63]:

$$RC = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (5.2)$$

Burada W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki kuru madde miktarını (kg) ve rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarını (kg) göstermektedir. Kurutulmuş patlıcan dilimlerinin rehidrasyon işlem görünüşleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Kurutulmuş patlıcan dilimlerine rehidrasyon işleminin uygulanması

5.5 Matematiksel Modelleme

Kurutma denemelerinde kullanılan patlıcan dilimlerinin nem içeriği kuru baza göre (5.3) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (5.3)$$

Denklemden;

M : Nem içeriği (kg su/kg kuru madde),

m_w : Su miktarı (kg)

m_d : Kuru madde miktarıdır (kg).

Kurutma hızı ise aşağıdaki (5.4) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır [64, 65].

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (5.4)$$

Burada;

$\Delta M/\Delta t$: Kurutma hızı (kg su/kg kuru madde.dakika),

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 : Zaman (dakika)

olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise (5.5) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [65].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5.5)$$

Denklemdede;

MR: Nem oranı,

M: Herhangi bir andaki su miktarı (kg su/kg kuru madde),

M_0 : Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarı (kg su/kg kuru madde)

M_e : Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)

olarak ifade edilmektedir. M_e değeri M ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilir [66, 67].

Deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kurutma zamanı arasında bir ilişki sağlanması amacıyla Çizelge 5.1'de gösterilen Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Midilli vd., Verma vd., Parabolik ve Weibull denklemleri test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.1 Patlıcanın kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Denklem Adı	Denklem	Kaynaklar
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Roberts vd. [68]
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Ghodake vd. [69]
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Wang vd. [70]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Sobukola ve Dairo [71]
Midilli vd.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Karaaslan vd. [67]
Verma vd.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Verma vd. [72]
Parabolik	$MR = a + bt + ct^2$	Sharma ve Prasad [73]
Weibull	$MR = \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)$	Corzo vd. [74]

5.6 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 [75-77]. χ^2 ve RMSE değerleri, aşağıdaki (5.6), (5.7) ve (5.8) eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (5.6)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (5.7)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.8)$$

Denklemden;

MR_{exp} : Deneysel nem oranı,

MR_{pre} : Tahmin edilen nem oranı,

N : Deneysel veri sayısı

n : Kullanılan kurutma modelindeki katsayı sayısını gösterir.

Tahminin standart hatası (RMSE), ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. En iyi kurutma modelinin seçilmesinde, RMSE değerinin sıfıra yakın olması istenmektedir. Ayrıca, model seçiminde göz önünde bulundurulacak parametrelerden biri olan khi-kare (χ^2) değerinin de düşük olması tercih edilir [62].

5.7 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 [78, 79].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \cdot \nabla M) \quad (5.9)$$

(5.9) eşitliği difüzyon katsayısı sabit alınarak kartezyen koordinatlar için çözümlenip uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa, aşağıdaki (5.10) eşitliği elde edilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.10)$$

Burada;

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s),

L : Dilim yarı kalınlığı (m)

t : Kurutma zamanı (s)

olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma zamanları için, (5.11) denkleminin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır [80].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.11)$$

Kurutma zamanına karşı $\ln(MR)$ grafiğinin eğimi, (5.12) eşitliğindeki K 'yı vermektedir.

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

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi aşağıda verilen (5.13) eşitliği Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır [76, 81].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)}\right) \quad (5.13)$$

Denklemden;

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s),

D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s),

E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol),

R : Gaz sabiti ($8,314 kJ/mol.K$)

T : Kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}C$)

Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanır [82].

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kurutma işleminde daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir [83].

DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

6.1 Ön İşlemin, Sıcaklığın ve Dilim Kalınlığının Kurutma Zamanına Etkisi

Patlıcanın kurutma karakteristikleri 40, 50, 60 ve 70°C hava sıcaklığında ve 2±0,1 m/s hızında incelenmiştir. Taze haldeki patlıcanların ortalama %6,02 kuru madde içerdiği belirlenmiştir. Kurutma işlemine, örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşüncüye kadar devam edilmiştir.

Çizelge 6.1'de, 0,6, 0,9 ve 1,2 cm kalınlığında kurutulmuş patlıcan dilimlerinin kurutma zamanları gösterilmektedir. 40°C'de 0,6 cm kalınlığındaki sitrik asit kodlu patlıcan dilimlerinin 240 dakikada, haşlama kodlu patlıcan dilimlerinin 285 dakikada ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin ise 435 dakikada kurudukları saptanmıştır. 40°C'de 0,9 cm kalınlığında dilimlenmiş sitrik asit kodlu patlıcan dilimleri 360 dakikada, haşlama kodlu patlıcan dilimleri 420 dakikada ve natürel kodlu patlıcan dilimleri ise 465 dakikada kurumuştur. 40°C'de 1,2 cm kalınlığında dilimlenmiş sitrik asit kodlu patlıcan dilimleri 390 dakikada, haşlama kodlu patlıcan dilimleri 465 dakikada ve natürel kodlu patlıcan dilimleri 585 dakikada kurumuştur.

Çizelge 6.1 Farklı kalınlık ve sıcaklıktaki patlıcan dilimlerinin kurutma zamanları

Kalınlık	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kurutma zamanı (dakika)		
		Sitrik asit	Haşlama	Natürel
0,6 cm	40	240	285	435
	50	210	240	345
	60	150	165	210
	70	90	135	180
0,9 cm	40	360	420	465
	50	225	255	360
	60	195	225	300
	70	120	165	195
1,2 cm	40	390	465	585
	50	240	330	375
	60	225	300	360
	70	135	165	210

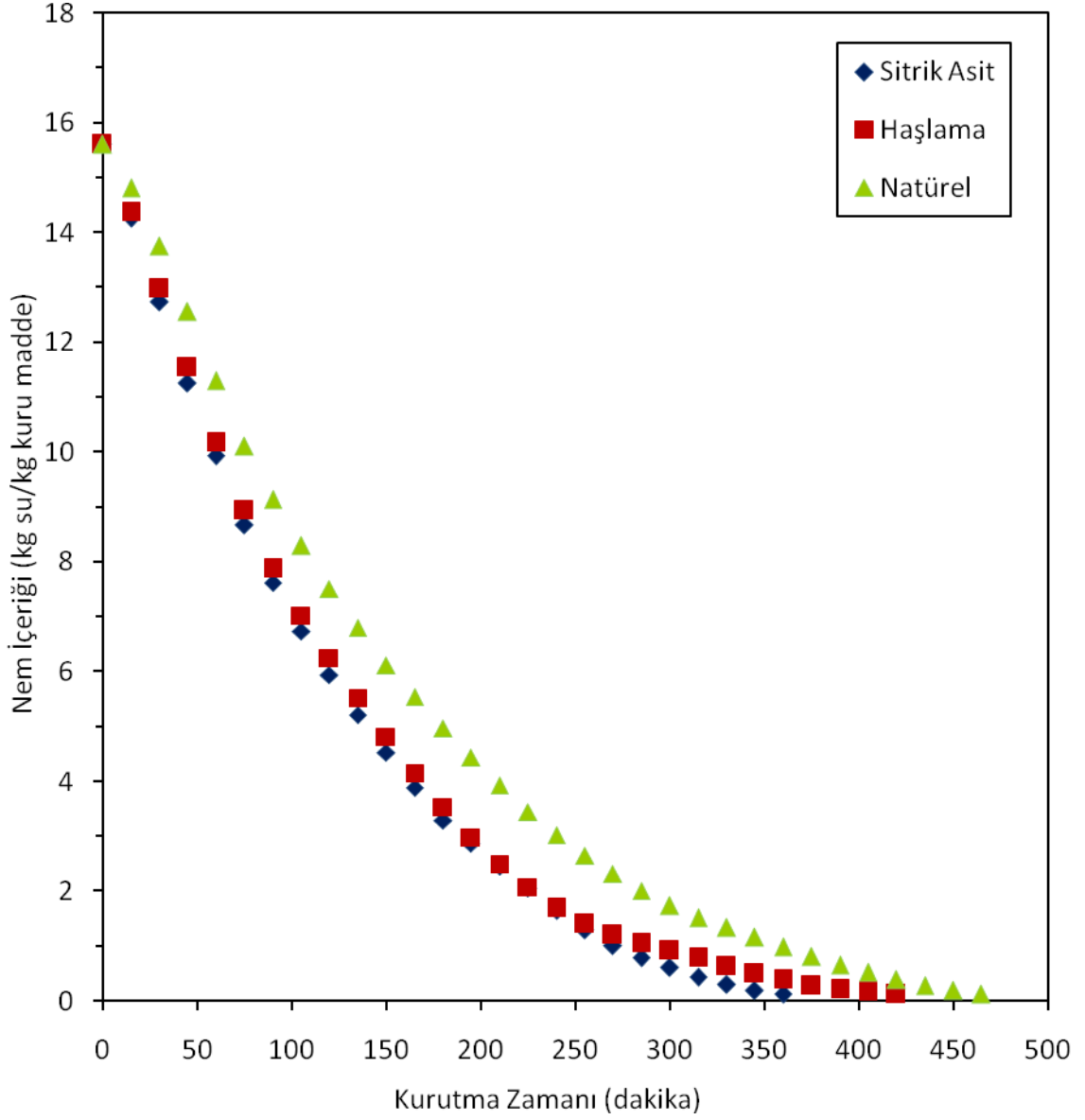
0,6 cm kalınlığında sitrik asit çözeltisiyle ön işlem görmüş patlıcan dilimlerinin, aynı kalınlıktaki natürel halde kurutulan dilimlerine göre 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutma zamanlarındaki düşüşü sırasıyla %44,82, %39,13, %28,57 ve %50 oranındadır. Aynı dilim kalınlığındaki haşlanmış örneklerin natürel halde kurutulan örneklere göre aynı sıcaklıklarda kurutma zamanındaki düşüşü ise sırasıyla %34,48, %30,43, %21,42 ve %25'dir. Bu durum 0,9 ve 1,2 cm dilim kalınlıklarında ve 50, 60 ve 70°C'deki sıcaklıklar için de geçerlidir. Bu sonuçlara göre, ön işlemin kurutma zamanını önemli bir oranda kısalttığı görülmüştür. Uygulanan ön işlemlerden sitrik asit çözeltisi ile muamelenin, patlıcan dilimlerinin kurutulmasında daha etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Dilim kalınlığı 0,6 cm olan sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin 40 ve 70°C'de kurutma zamanları sırasıyla 240 ve 90, 285 ve 135, 435 ve 180 dakikadır. Kurutma sıcaklığındaki 30°C'lik bir artış sitrik asit kodlu örnekler için %62,50, haşlama kodlu örnekler için %52,63 ve natürel kodlu örnekler için %58,62 oranında kurutma zamanından tasarruf sağlamıştır. Bu durum 0,9 ve 1,2 cm kalınlığındaki patlıcan dilimlerinde de görülmektedir. Kurutma sıcaklığının artması ile kurutma zamanı kısaltmakta bu durum da enerji açısından büyük bir kazanım meydana getirmektedir. Kurutma sıcaklığındaki artışın kurutma zamanına etkisi, Ertekin vd. [1], Tunç vd. [4], Russo vd. [8] ve Doymaz [58] çalışmalarıyla uyum göstermektedir.

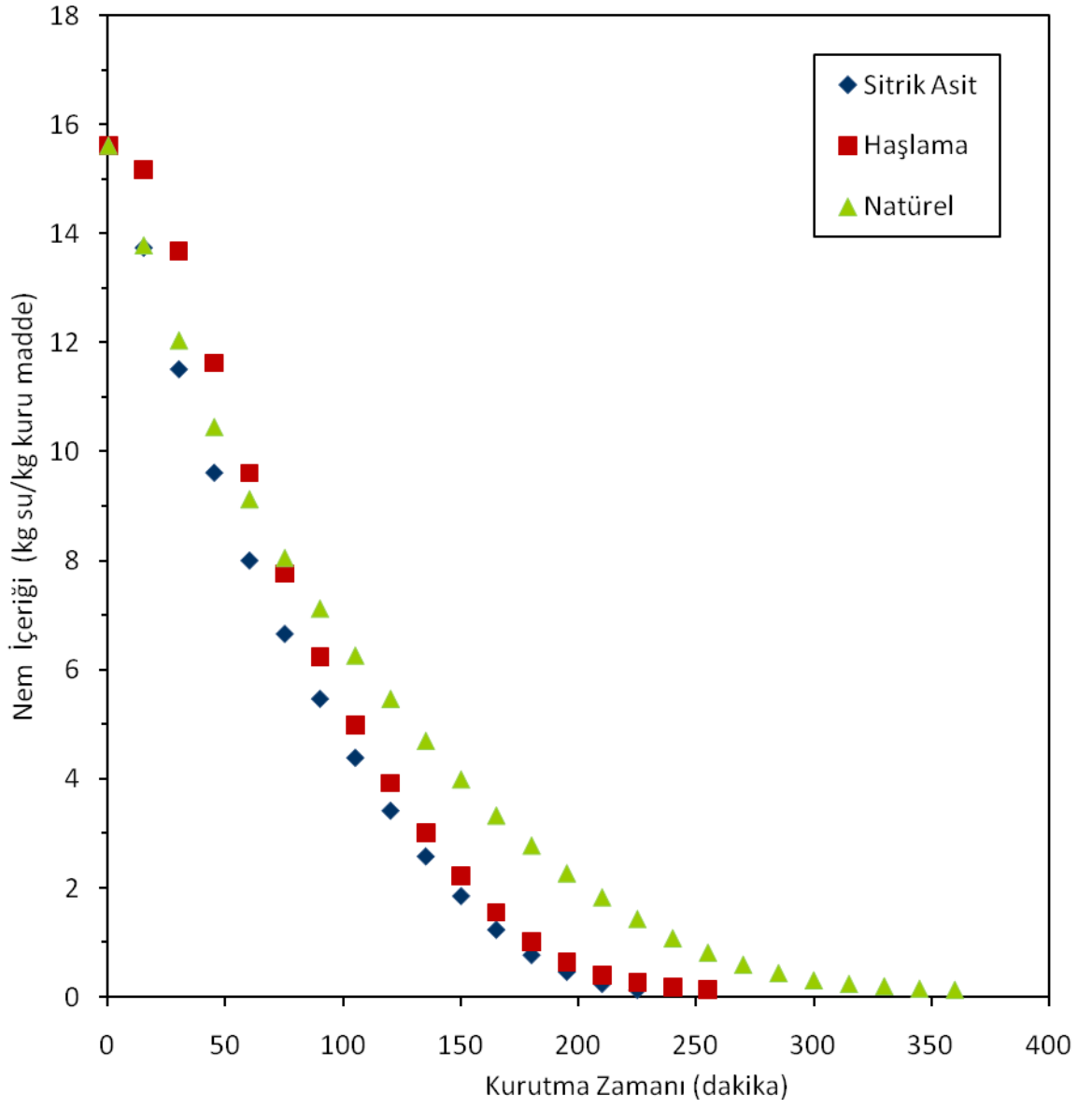
Dilim kalınlıkları 0,6, 0,9 ve 1,2 cm olan sitrik asit kodlu örneklerin, 40°C'de kurutma zamanları sırasıyla 240, 360 ve 390 dakikadır. Aynı koşullarda haşlama kodlu örnekler için kurutma zamanları sırasıyla 285, 420 ve 465 dakika ve natürel kodlu örnekler için de sırasıyla 435, 465 ve 585 dakikadır. Bu verilerden yararlanarak artan patlıcan dilim kalınlıklarının kurutma hızını azalttığı ve kurutma zamanını da arttırdığı gözlenmektedir. Benzer çalışmalar Ertekin vd. [1] ve Doymaz [58] yapmışlardır.

Dilim kalınlığı 0,9 cm olan patlıcan örneklerinin nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi Şekil 6.1-6.4'de gösterilmektedir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, kurutma zamanı, kurutma havası sıcaklığından etkilenmekte, hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta olup kurutma zamanı azalmaktadır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etki, 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 etkin bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, kurutma 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 kurutma hızının görülmesine neden olmaktadır [84]. Sonuç olarak 0,9 cm kalınlıktaki patlıcan dilimlerdeki nem miktarları kurutma zamanı ile azalmaktadır. Bu durum, dört sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70°C) kurutulan örnekler için de geçerlidir. Ayrıca,

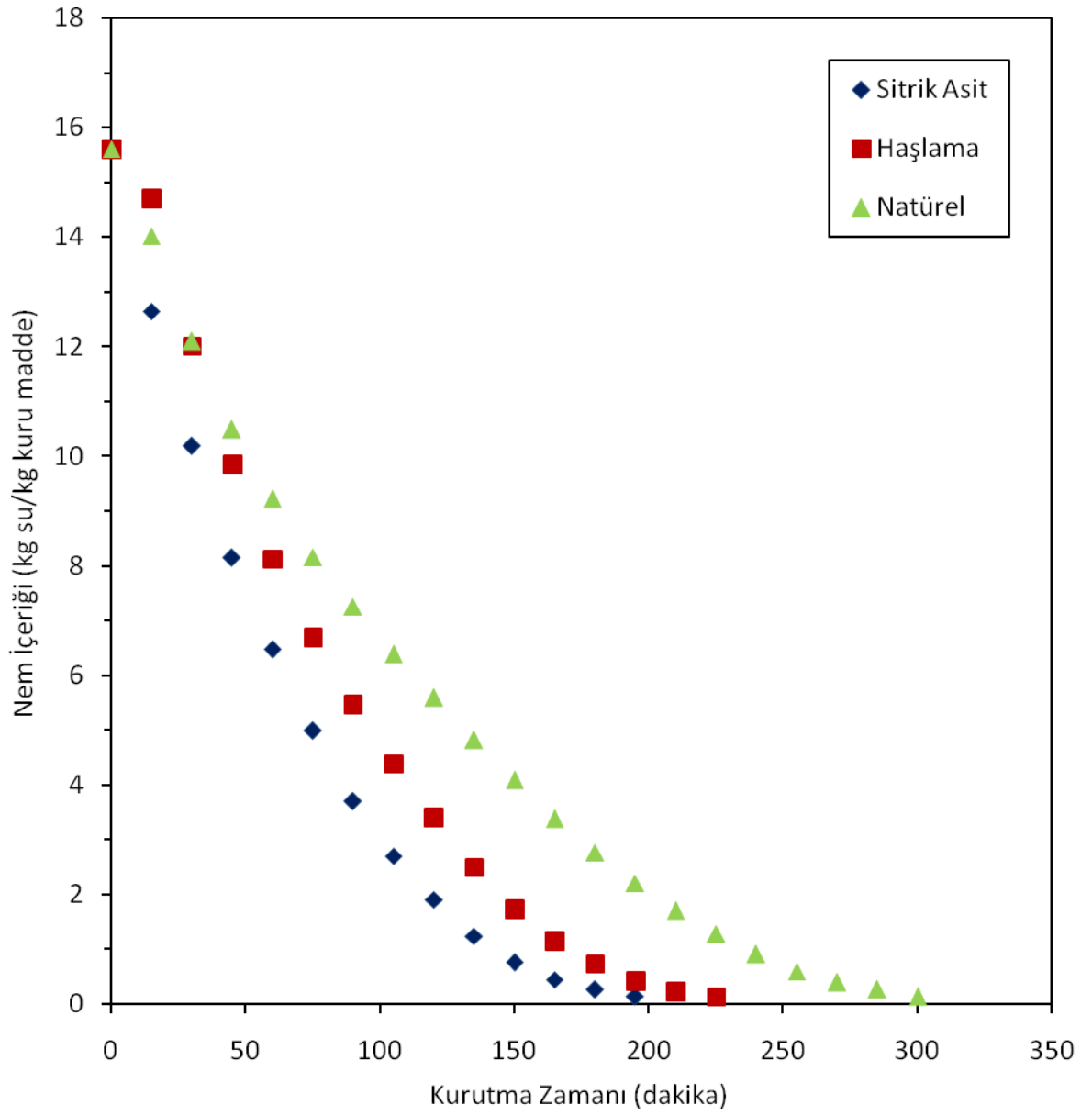
sitrik asit kodlu patlıcanların, her sıcaklıkta en kısa zamanda kurudukları da şekillerde görülmektedir.



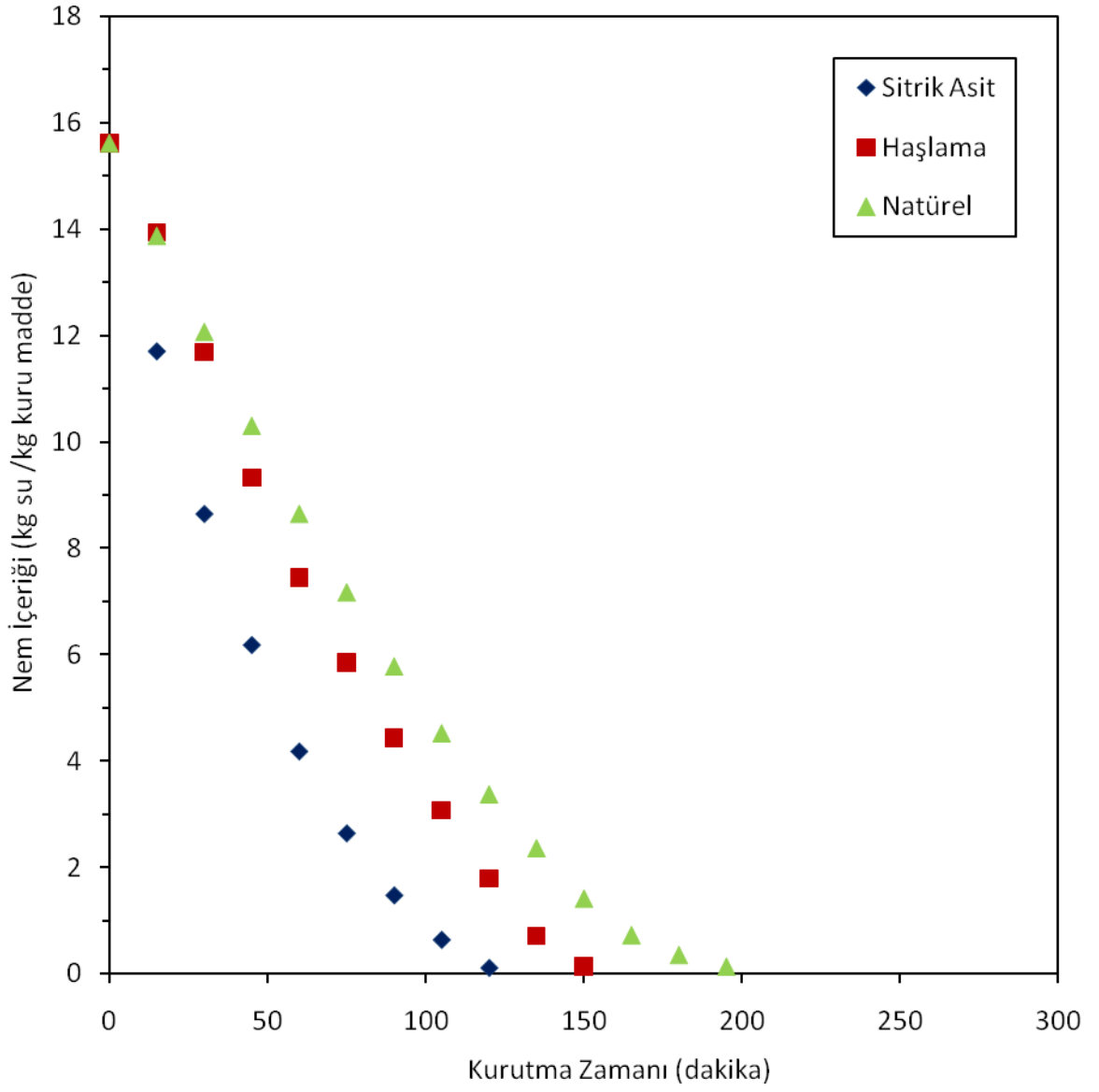
Şekil 6.1 Patlıcan dilimlerinin 40°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi



Şekil 6.2 Patlıcan dilimlerinin 50°C’deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi



Şekil 6.3 Patlıcan dilimlerinin 60°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi

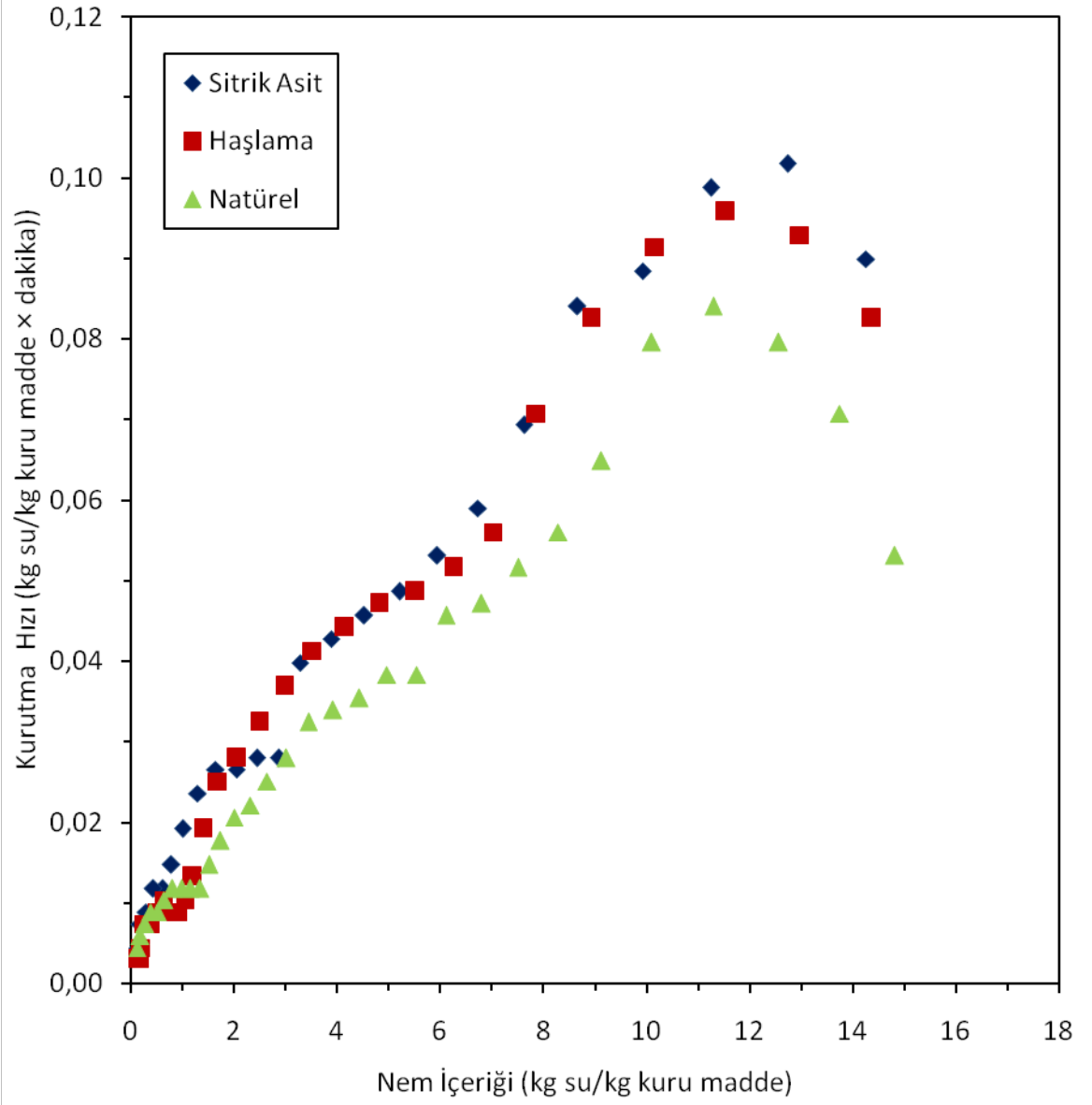


Şekil 6.4 Patlıcan dilimlerinin 70°C'deki nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişimi

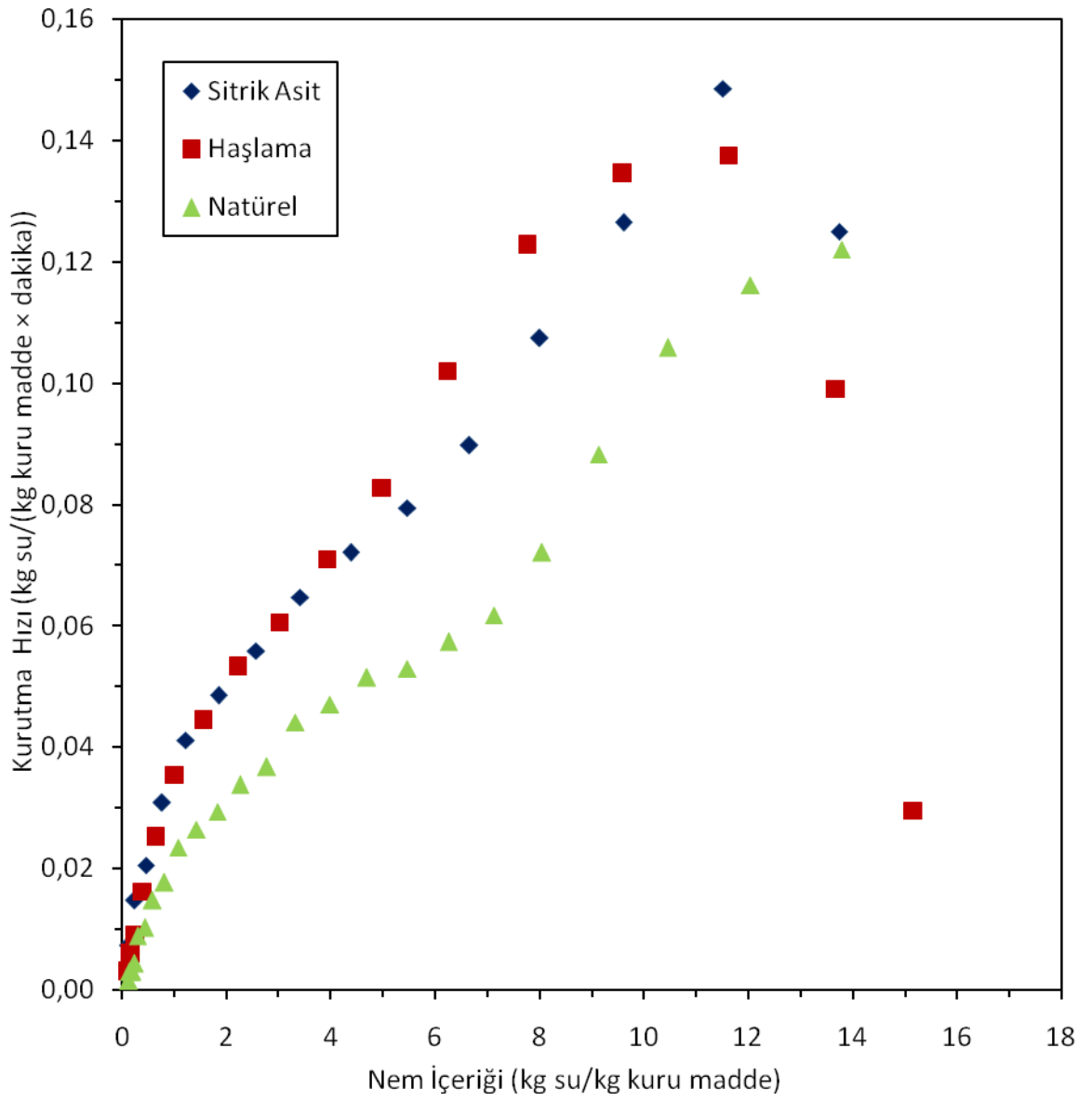
6.2 Kurutma Hızı ile Nem İçeriğinin Değişimi

Denklem (5.4) kullanılarak hesaplanan kurutma hızlarının nem içeriği ile değişimi Şekil 6.5-6.8'de gösterilmektedir. Bu Őekillere göre, kurutma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Bu da kurutma işleminin katı içinden nem difüzyonu ile gerçekleştiğini göstermektedir. Bu bulgu, daha önce yapılan meyve ve sebze kurutma çalışmalarıyla da uyum göstermiştir [75, 58, 85].

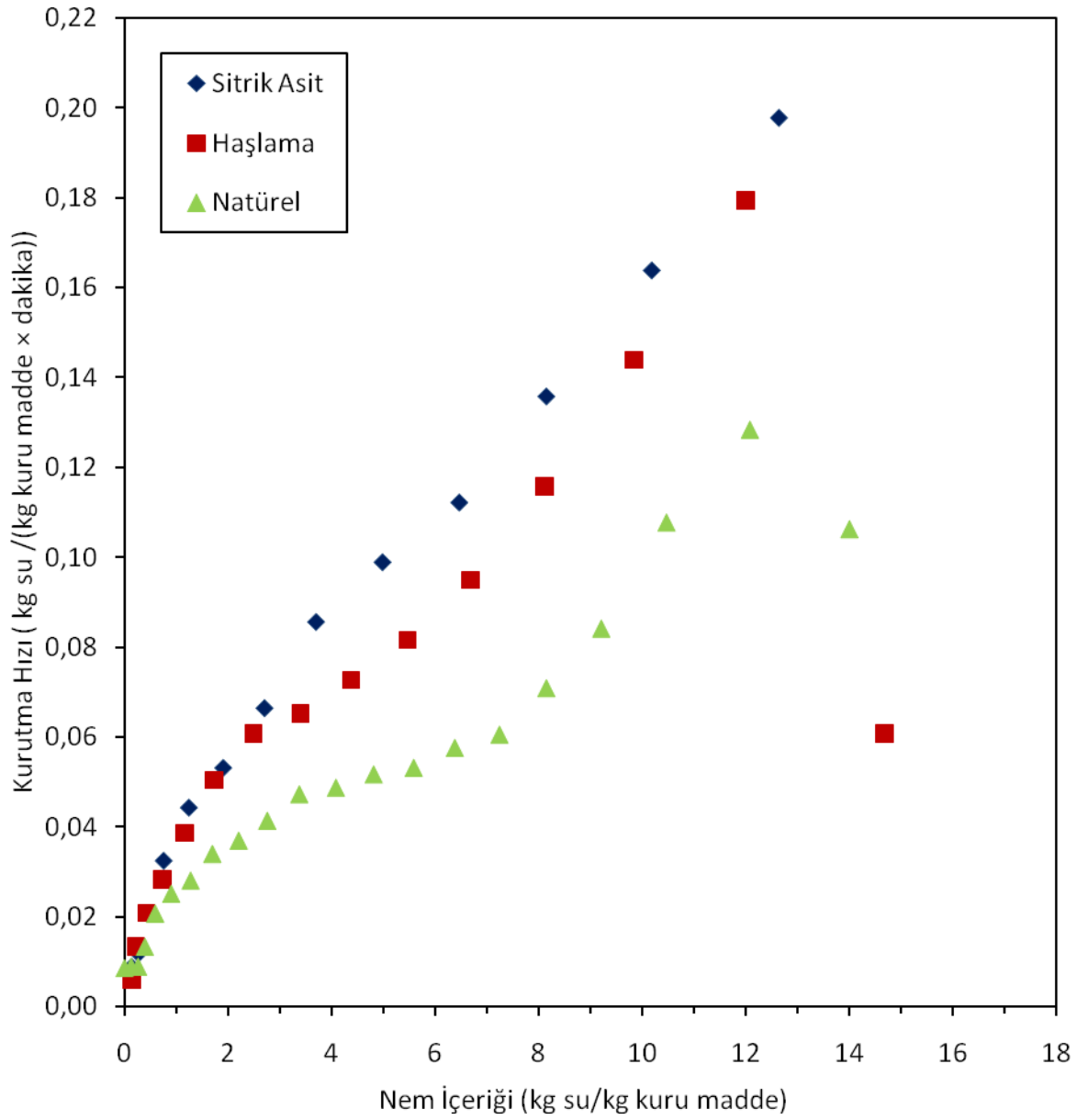
Kurutma havası sıcaklığı arttıķa kurutma hızı da artmaktadır. Bununla birlikte, ön işleme tabi tutulan örneklerin kurutma hızları, natürel kodlu ürünlere göre daha yüksektir. Karşılaşılan bu durum, Tunç vd. [4], Ertekin vd. [53], Doymaz [58] ve Doymaz vd. [59] çalışmalarıyla uyum göstermektedir. n işlem uygulanmış patlıcan dilimlerinden sitrik asit kodlu olanın da en yüksek kurutma hızına sahip olduğu belirlenmiştir.



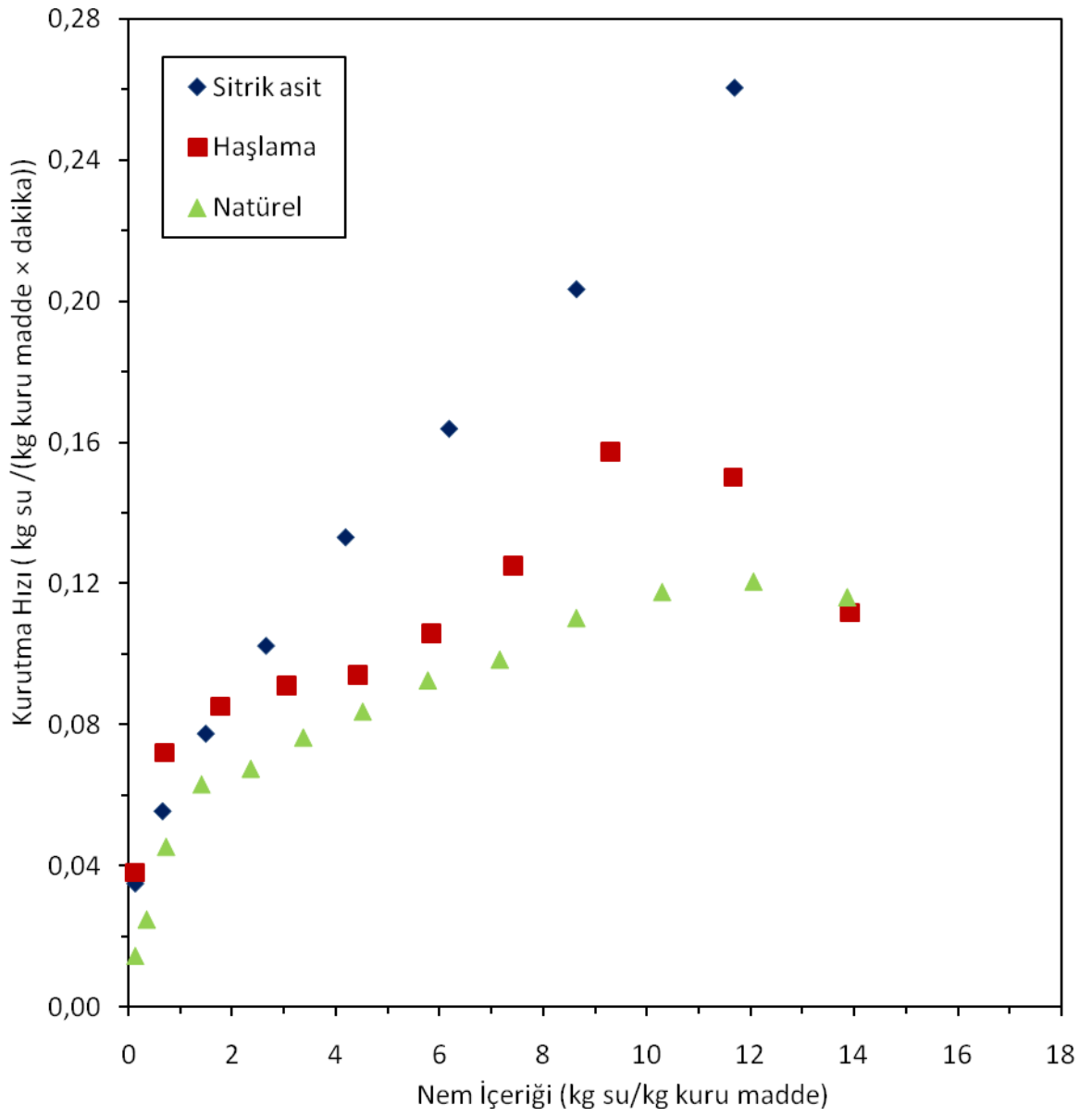
Şekil 6.5 Patlıcan dilimlerinin 40°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.6 Patlıcan dilimlerinin 50°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.7 Patlıcan dilimlerinin 60°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.8 Patlıcan dilimlerinin 70°C'deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi

6.3 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla 0,9 cm dilim kalınlığındaki patlıcan dilimlerinin nem içeriğinin kurutma zamanı ile değişim eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Çizelge 5.1'deki denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (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 [86]. 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 khi-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir [82].

Çizelge 6.2-6.5'de görüldüğü gibi, Midilli vd. denkleminin R^2 değerleri sitrik asit kodlu örnekler için 0,9994-0,9998 arasında, haşlama kodlu örnekler için 0,9985-0,9995 arasında ve natürel kodlu örnekler için 0,9988-0,9996 arasında olup diğer denklemlere göre daha yüksektir. χ^2 değerleri sitrik asit kodlu örnekler için 0,000019-0,000072 arasında, haşlama kodlu örnekler için 0,000041-0,000205 arasında ve natürel kodlu örnekler için 0,000030-0,000114 arasında olup diğer denklemlere göre daha düşüktür. RMSE değerleri ise sitrik asit kodlu örnekler için 0,011893-0,024020 arasında, haşlama kodlu örnekler için 0,021746-0,038258 arasında ve natürel kodlu örnekler için 0,020465-0,042629 arasında olup diğer denklemlere göre daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, Midilli vd. denkleminin patlıcanın kurutma davranışını daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Tüm sıcaklıklarda kurutulan örnekler için deneysel ve Midilli vd. denkleminin hesaplanan tahmini nem oranlarından faydalanarak çizilen grafikler Şekil 6.9-6.12'de verilmektedir.

Çizelge 6.2 40°C'deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

Ön İşlem	Model	R ²	χ ²	RMSE
Sitrik asit	Lewis	0,9905	0,000867	0,127870
	Henderson ve Pabis	0,9903	0,000631	0,103270
	Logaritmik	0,9995	0,000046	0,023431
	Page	0,9984	0,000147	0,051573
	Midilli vd.	0,9998	0,000019	0,017611
	Verma	0,9994	0,000053	0,022829
	Parabolic	0,9964	0,000351	0,076573
	Weibull	0,9984	0,000147	0,051573
Haşlama	Lewis	0,9910	0,000814	0,139460
	Henderson ve Pabis	0,9942	0,000537	0,110203
	Logaritmik	0,9984	0,000156	0,051626
	Page	0,9993	0,000065	0,035814
	Midilli vd.	0,9995	0,000041	0,024937
	Verma	0,9982	0,000172	0,053001
	Parabolic	0,9946	0,000519	0,098664
	Weibull	0,9993	0,000065	0,035814
Natürel	Lewis	0,9886	0,001040	0,159749
	Henderson ve Pabis	0,9936	0,000603	0,117321
	Logaritmik	0,9988	0,000108	0,035356
	Page	0,9991	0,000080	0,039592
	Midilli vd.	0,9996	0,000030	0,020465
	Verma	0,9980	0,000187	0,048804
	Parabolic	0,9960	0,000385	0,091397
	Weibull	0,9991	0,000080	0,039592

Çizelge 6.3 50°C'deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

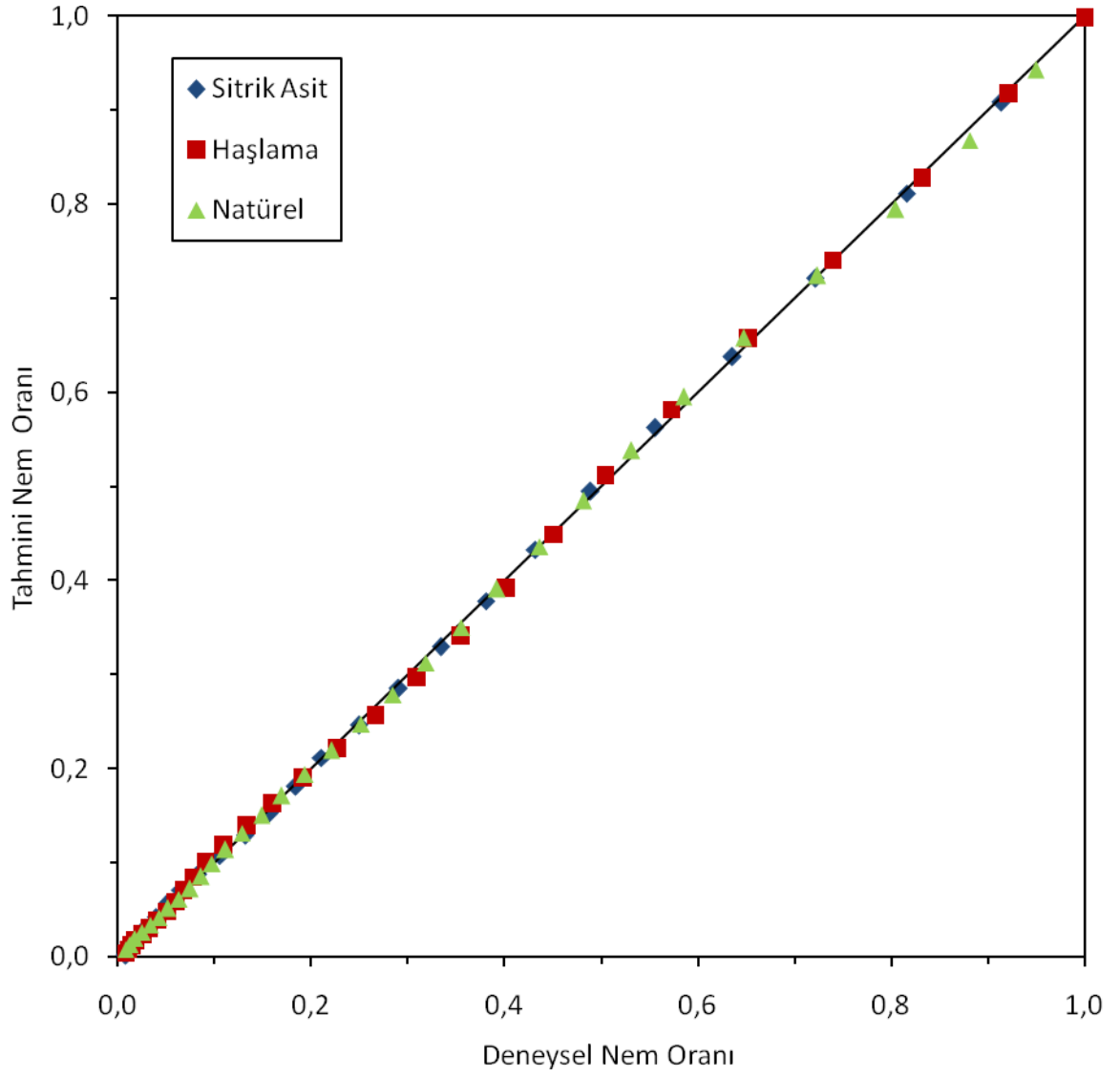
Ön İşlem	Model	R ²	χ ²	RMSE
Sitrik asit	Lewis	0,9824	0,001822	0,147652
	Henderson ve Pabis	0,9866	0,001487	0,129397
	Logaritmik	0,9988	0,000139	0,034269
	Page	0,9972	0,000305	0,057473
	Midilli vd.	0,9995	0,000059	0,022939
	Verma	0,9988	0,000137	0,030440
	Parabolic	0,9992	0,000095	0,029827
	Weibull	0,9972	0,000305	0,057473
Haşlama	Lewis	0,9490	0,006304	0,277289
	Henderson ve Pabis	0,9686	0,004120	0,219590
	Logaritmik	0,9871	0,001803	0,134849
	Page	0,9991	0,000108	0,031430
	Midilli vd.	0,9993	0,000094	0,029467
	Verma	0,9991	0,000124	0,034833
	Parabolic	0,9941	0,000813	0,073110
	Weibull	0,9991	0,000108	0,031430
Natürel	Lewis	0,9918	0,000724	0,119174
	Henderson ve Pabis	0,9929	0,000653	0,108465
	Logaritmik	0,9989	0,000103	0,039767
	Page	0,9967	0,000306	0,075961
	Midilli vd.	0,9988	0,000114	0,042629
	Verma	0,9992	0,000076	0,034961
	Parabolic	0,9956	0,000419	0,075263
	Weibull	0,9967	0,000306	0,075961

Çizelge 6.4 60°C'deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

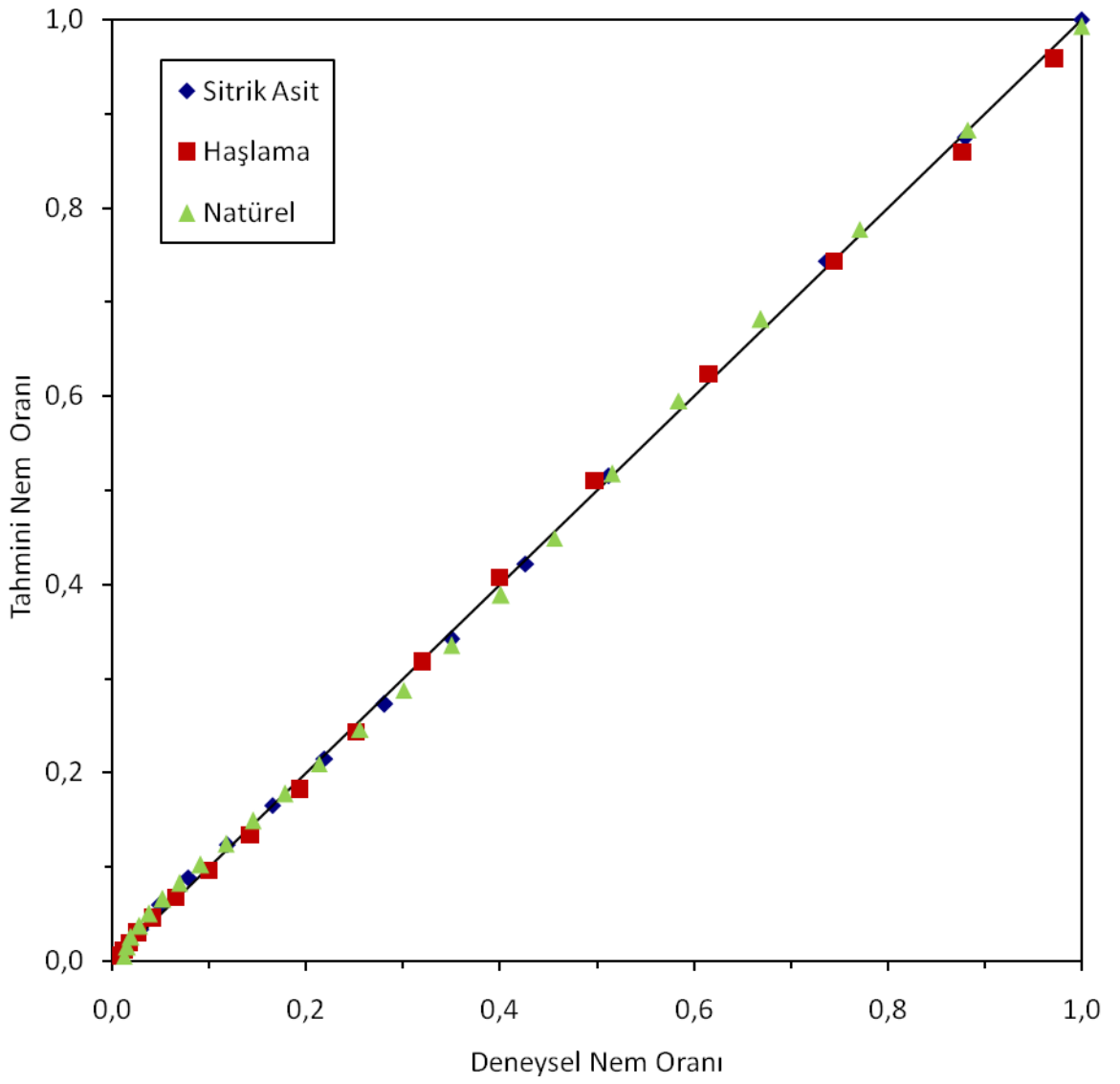
Ön İşlem	Model	R ²	χ ²	RMSE
Sitrik asit	Lewis	0,9904	0,000984	0,100955
	Henderson ve Pabis	0,9918	0,000905	0,094370
	Logaritmik	0,9991	0,000100	0,029226
	Page	0,9977	0,000248	0,047243
	Midilli vd.	0,9994	0,000072	0,024020
	Verma	0,9995	0,000060	0,021736
	Parabolic	0,9978	0,000265	0,045107
	Weibull	0,9977	0,000248	0,047243
Haşlama	Lewis	0,9728	0,003042	0,182438
	Henderson ve Pabis	0,9823	0,002121	0,152753
	Logaritmik	0,9954	0,000582	0,058718
	Page	0,9975	0,000289	0,054782
	Midilli vd.	0,9985	0,000205	0,038258
	Verma	0,9935	0,000829	0,067707
	Parabolic	0,9973	0,000347	0,045425
	Weibull	0,9975	0,000289	0,054782
Natürel	Lewis	0,9872	0,001185	0,134912
	Henderson ve Pabis	0,9890	0,001069	0,119608
	Logaritmik	0,9990	0,000094	0,036185
	Page	0,9944	0,000546	0,089263
	Midilli vd.	0,9990	0,000104	0,037332
	Verma	0,9990	0,000094	0,035978
	Parabolic	0,9970	0,000301	0,059035
	Weibull	0,9944	0,000546	0,089263

Çizelge 6.5 70°C'deki kurutulmuş patlıcan dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayıları, khi-kare ve RMSE değerleri

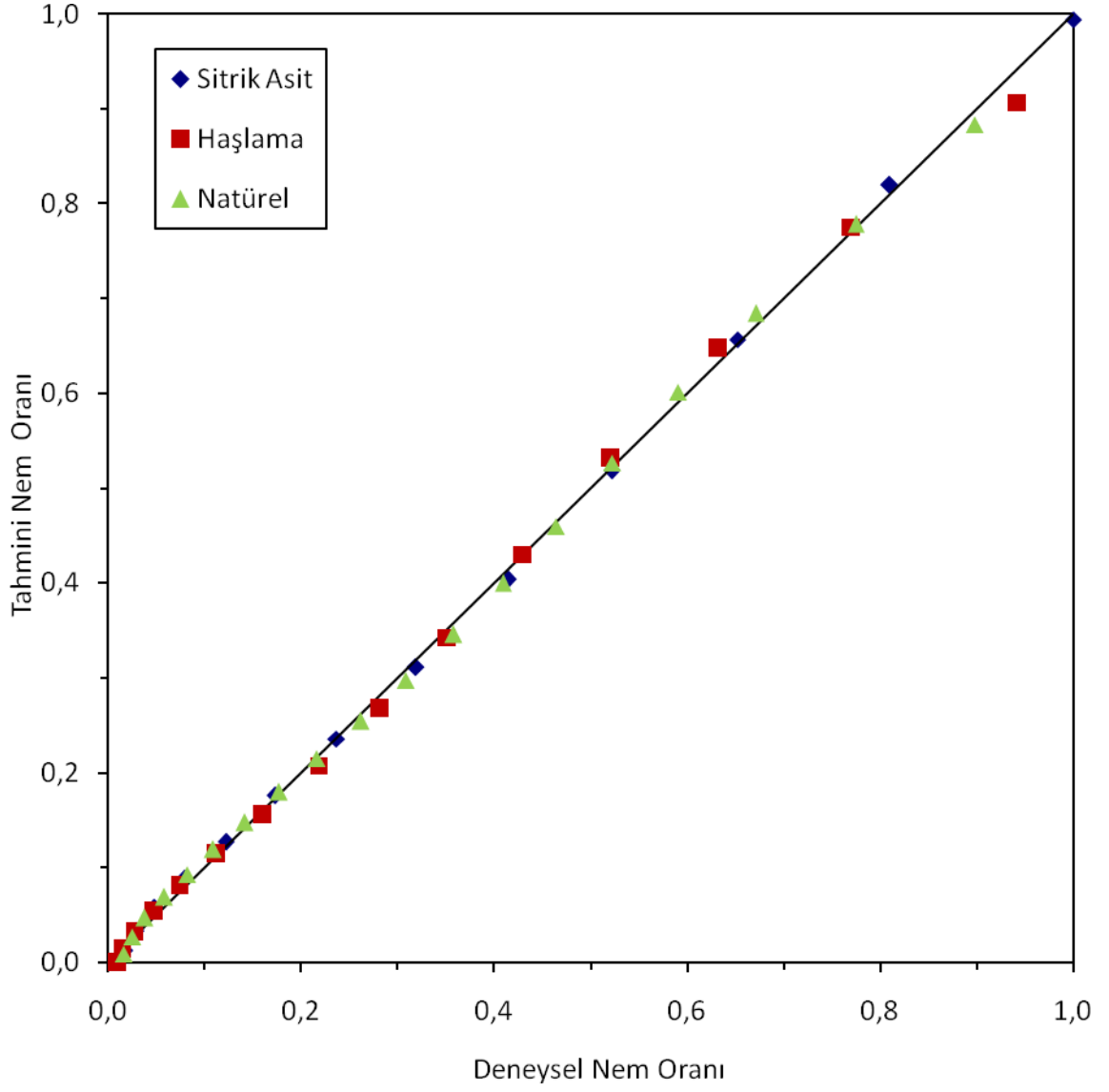
Ön İşlem	Model	R ²	χ ²	RMSE
Sitrik asit	Lewis	0,9868	0,001544	0,095352
	Henderson ve Pabis	0,9883	0,001563	0,094829
	Logaritmik	0,9997	0,000039	0,013719
	Page	0,9968	0,000426	0,044198
	Midilli vd.	0,9998	0,000034	0,011893
	Verma	0,9998	0,000019	0,008811
	Parabolic	0,9990	0,000154	0,027619
	Weibull	0,9968	0,000426	0,044198
Haşlama	Lewis	0,9554	0,005236	0,192354
	Henderson ve Pabis	0,9656	0,004480	0,177077
	Logaritmik	0,9981	0,000275	0,037987
	Page	0,9948	0,000674	0,064390
	Midilli vd.	0,9995	0,000080	0,021746
	Verma	0,9974	0,000374	0,040934
	Parabolic	0,9987	0,000184	0,031435
	Weibull	0,9948	0,000674	0,064391
Natürel	Lewis	0,9618	0,004281	0,208082
	Henderson ve Pabis	0,9701	0,003626	0,183791
	Logaritmik	0,9978	0,000283	0,047091
	Page	0,9947	0,000634	0,078664
	Midilli vd.	0,9992	0,000105	0,026043
	Verma	0,9976	0,000314	0,049116
	Parabolic	0,9993	0,000084	0,024771
	Lewis	0,9868	0,001544	0,095352



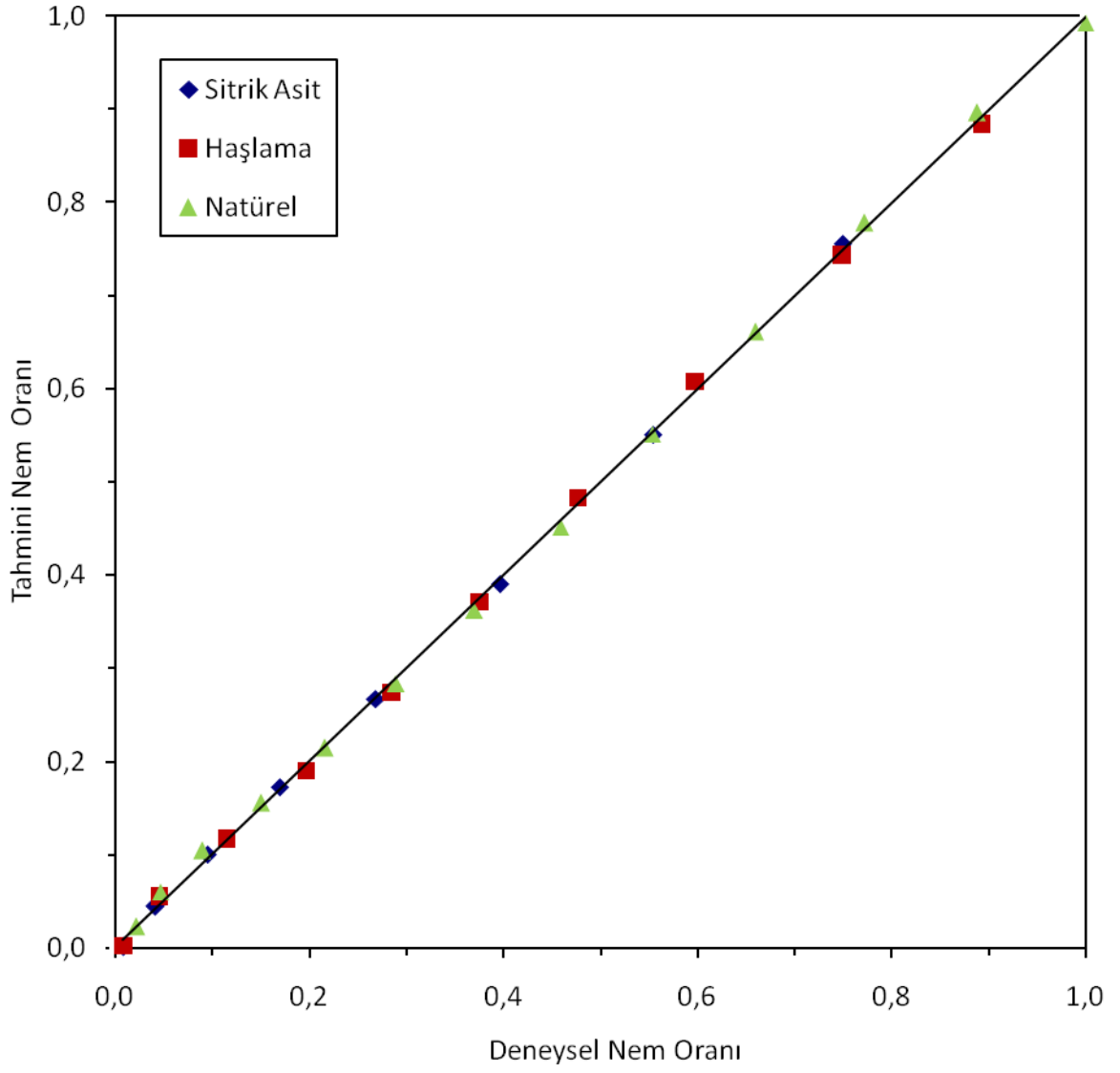
Şekil 6.9 40°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



Şekil 6.10 50°C sıcaklıklarda kurutulmuş patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



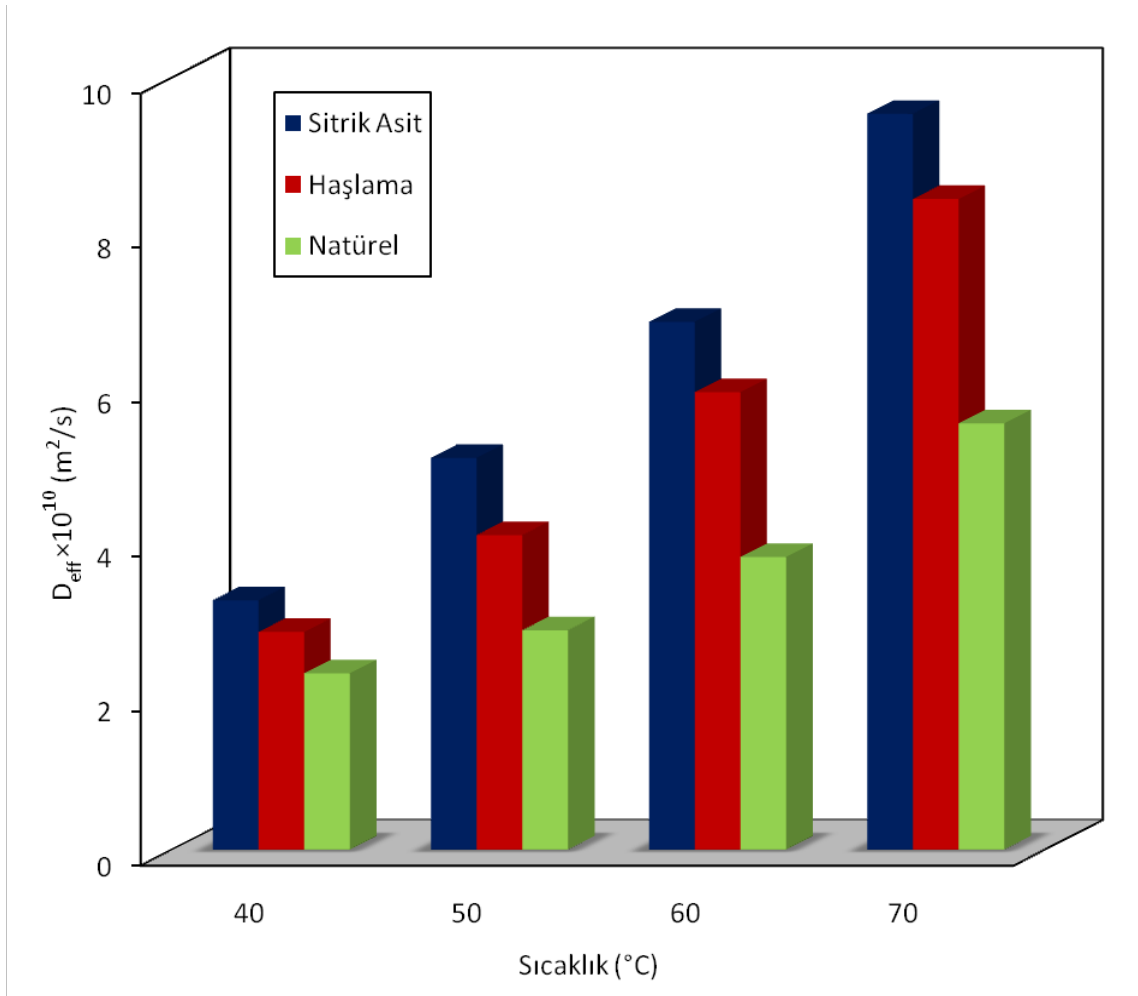
Şekil 6.11 60°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri



Şekil 6.12 70°C sıcaklıklarda kurutulan patlıcan dilimlerine ait deneysel ve Midilli vd. denklemleri kullanılarak hesaplanan tahmini nem oranı değerleri

6.4 Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Ön işlem gören ve natürel olarak kurutulmuş 0,9 cm dilim kalınlığındaki patlıcan dilimlerinin (5.11) denklemi kullanılarak her bir kurutma havası sıcaklığında efektif difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Şekil 6.13'de gösterilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri $2,28-9,52 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte ön işlem görmüş ve ön işlem görmeden kurutulmuş patlıcan dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasıyla açıklanabilir. Dikkat edilecek diğer bir nokta ise; ön işlem uygulanarak kurutulmuş patlıcan dilimlerinde efektif difüzyon katsayısı değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulmuşlara göre daha büyük olmasıdır. Bu durum, ön işlemin çözeltilerin kuruma hızını arttırıcı etkisine bağlanabilir[82, 87].



Şekil 6.13 Patlıcanların efektif difüzyon katsayıları

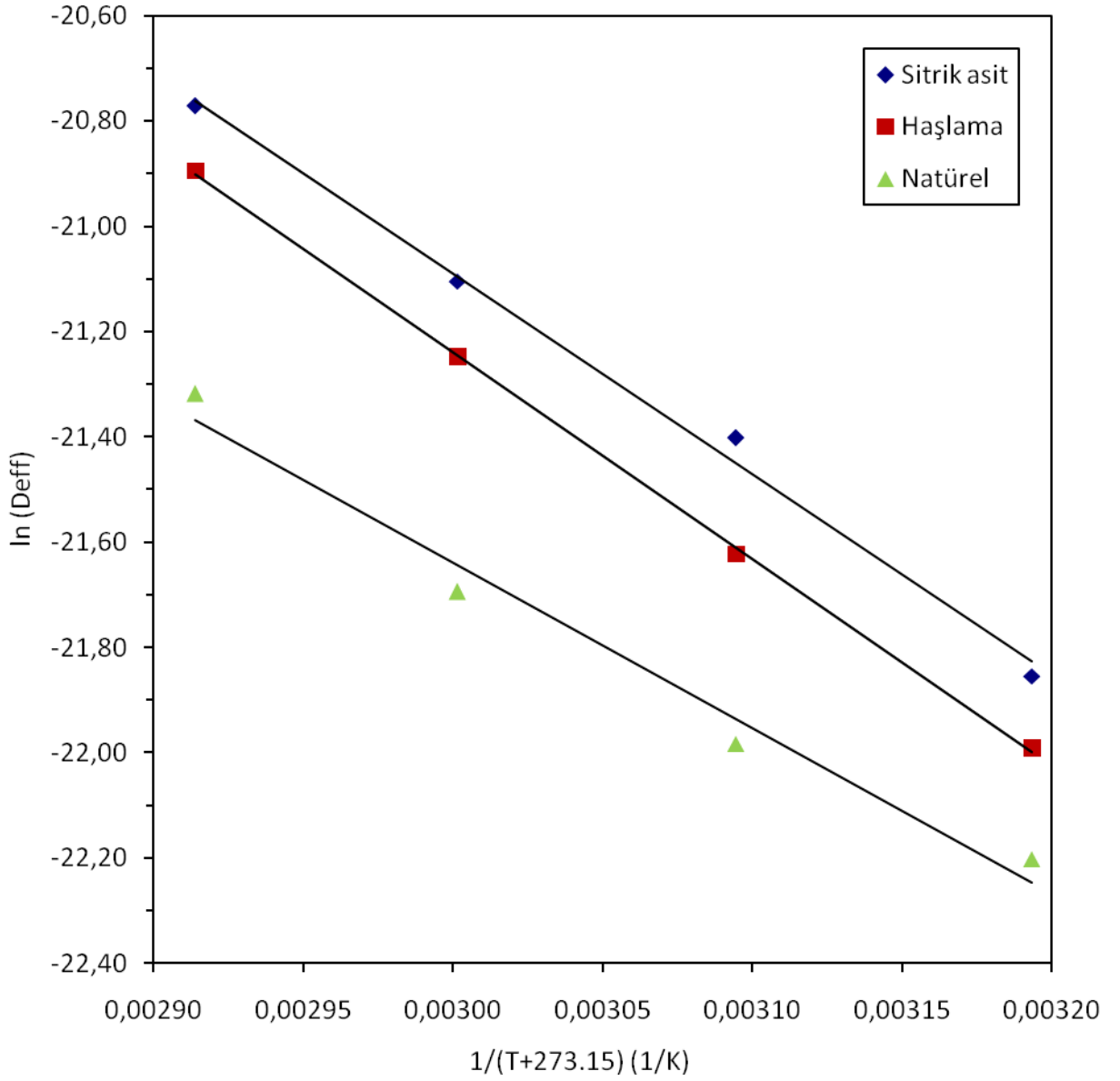
Elde edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri, sitrik asit kodlu örneklerde $3,22 \times 10^{-10}$ - $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s, haşlama kodlu örneklerde $2,8185 \times 10^{-10}$ - $8,42 \times 10^{-10}$ m²/s ve natürel kodlu örneklerde ise $2,28 \times 10^{-10}$ - $5,52 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değişmekte olup literatürde belirtilen difüzyon katsayısı değerleri olan 10^{-12} - 10^{-8} m²/s aralığındadır [88]. Çizelge 6.6'da bazı sebzelerin difüzyon katsayıları görülmekte ve bu çalışmadan elde edilen difüzyon katsayıları ile uyum göstermektedir.

Çizelge 6.6 Bazı sebzelerin efektif difüzyon katsayısı değerleri

Ürün	T (°C)	D _{eff} (m ² /s)	Referans
Patlıcan	55-75	5,33 - 10,4x10 ⁻⁸	Akpınar ve Biçer [62]
Patlıcan	50-80	0,93 - 2,31x10 ⁻¹⁰	Doymaz [58]
Patlıcan	70-90	1,13 - 5,65x10 ⁻¹⁰	Aversa vd. [60]
Patlıcan	50-80	0,93 - 8,84x10 ⁻¹⁰	Doymaz ve Göl [59]
Patlıcan	30-50	1,65 - 3,41x10 ⁻⁹	Wu vd. [54]
Havuç	35 - 55	1,25 - 2,20x10 ⁻⁹	Kaya vd. [89]
Mantar	50 - 80	2,00 - 29,0x10 ⁻⁹	Sahbaz vd. [90]
Kırmızı Biber	50 - 65	3,78 - 7,10x10 ⁻⁹	Kaleemullah ve Kaippan [91]
Domates	45 - 75	3,72 - 12,27x10 ⁻⁹	Akanbi vd. [92]
Bamya	50 - 70	4,27 - 13,0x10 ⁻¹⁰	Doymaz [93]

6.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, $\ln(D_{eff})$ ile $1/(T+273,15)$ arasında çizilen grafikten (Şekil 6.14) yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.14 Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi

Aşağıdaki denklemlerde (6.1-6.3), ön işlem uygulanarak (sitrik asit ve haşlama) ve ön işlem uygulanmadan (natürel) kurutulmuş patlıcan dilimleri için difüzyon katsayı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.

Sitrik asit kodlu patlıcan dilimlerinde:

$$D_{eff} = 6,49 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3815}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2: 0,994) \quad (6.1)$$

Haşlama kodlu patlıcan dilimlerinde:

$$D_{eff} = 7,94 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3932}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2: 0,999) \quad (6.2)$$

Natürel kodlu patlıcan dilimlerinde:

$$D_{eff} = 5,03 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3145}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2: 0,978) \quad (6.3)$$

Yukarıda gösterilen denklemlerinden yararlanarak sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 31,71, 32,69 ve 26,14 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bazı gıda maddelerinin aktivasyon enerji değerleri Çizelge 6.7'de verilmiş olup bu çalışmada elde edilen veriler ile uyum göstermektedir.

Çizelge 6.7 Bazı gıda maddelerinin aktivasyon enerjileri

Ürün	E_a (kJ/mol)	Referans
Patlıcan	18,27-20,76	Doymaz [58]
Patlıcan	20,12-30,83	Doymaz ve Göl [59]
Patlıcan	31,46	Wu vd. [54]
Havuç	22,43	Togrul [94]
Kırmızı Biber	37,76	Kaleemullah ve Kailappan [91]
Bamya	51,26	Doymaz [93]
Havuç Posası	23,05	Kumar vd. [95]

6.6 Rehidrasyon Grafikleri

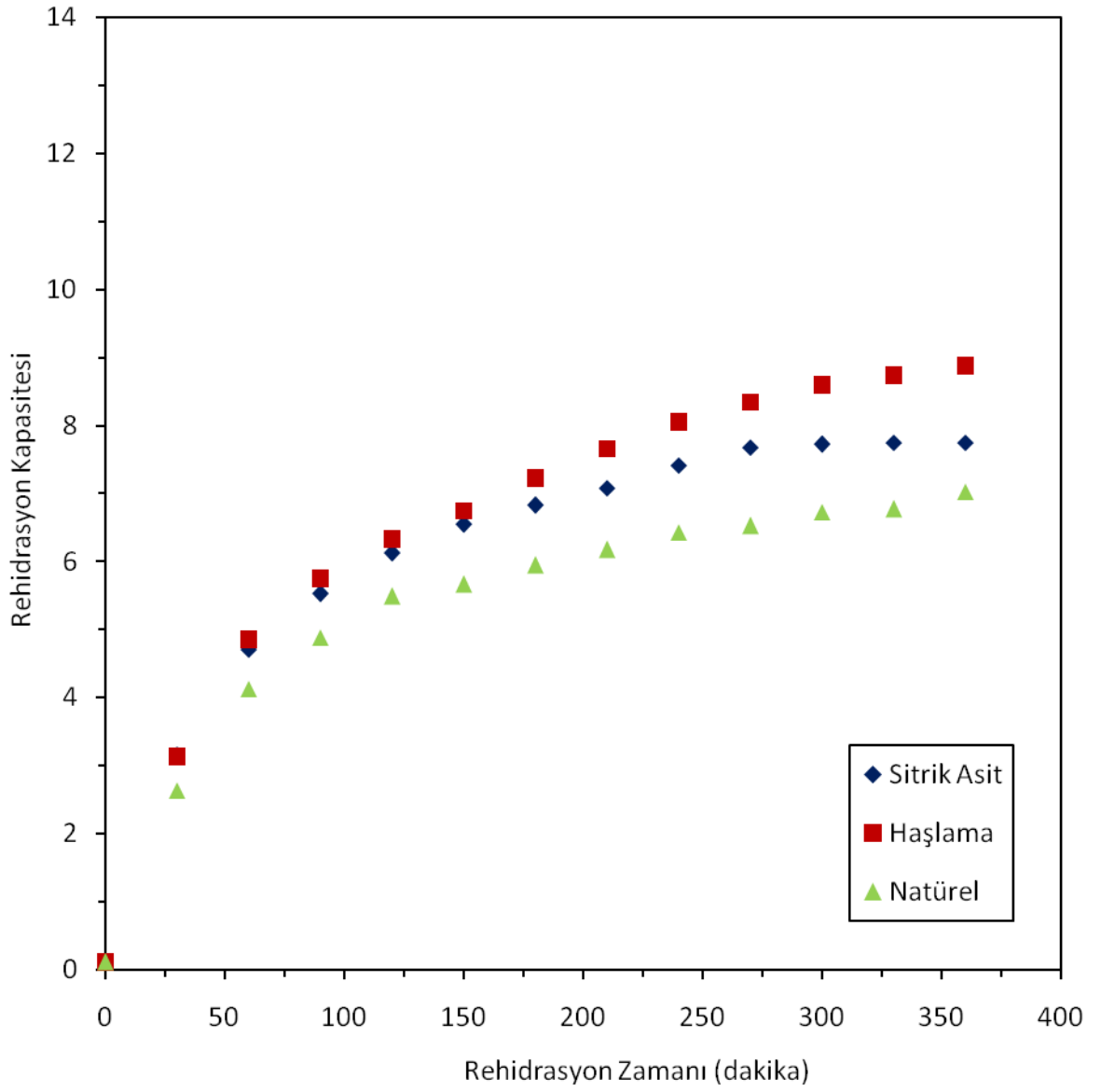
0,6 cm kalınlığında kurutulmuş patlıcan dilimlerinin rehidrasyon kapasitelerini bulmak için 25 ve 50°C rehidrasyon sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve elde edilen veriler (5.2) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.8’de, 25°C rehidrasyon sıcaklığında 40, 50, 60 ve 70°C’de kurutulmuş sitrik asit kodlu örneklerin rehidrasyon kapasiteleri 7,75, 8,57, 9,14 ve 7,54 kg su/kg kuru madde iken, 50°C rehidrasyon sıcaklığında 40, 50, 60 ve 70°C’de kurutulmuş sitrik asit kodlu patlıcan örneklerinin rehidrasyon kapasiteleri 8,51, 9,57, 9,58 ve 8,50 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Rehidrasyon sıcaklığı arttıkça patlıcan örneklerinin suyu bünyelerine alma kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir. Haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimleri incelendiğinde de aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Benzer sonuçlar Singh vd. [96] ve Cunningham vd. [97] tarafından da bulunmuştur.

Ayrıca, kurutma işleminden önce uygulanan ön işlemlerin rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği görülmüştür. Şekil 6.15-6.22’den de anlaşılacağı üzere, sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu kurutulmuş örnekler arasında rehidrasyon kapasitesi en fazla haşlama kodlu olan patlıcan örneğinde, en az ise natürel kodlu olan patlıcan örneklerinde gözlenmiştir.

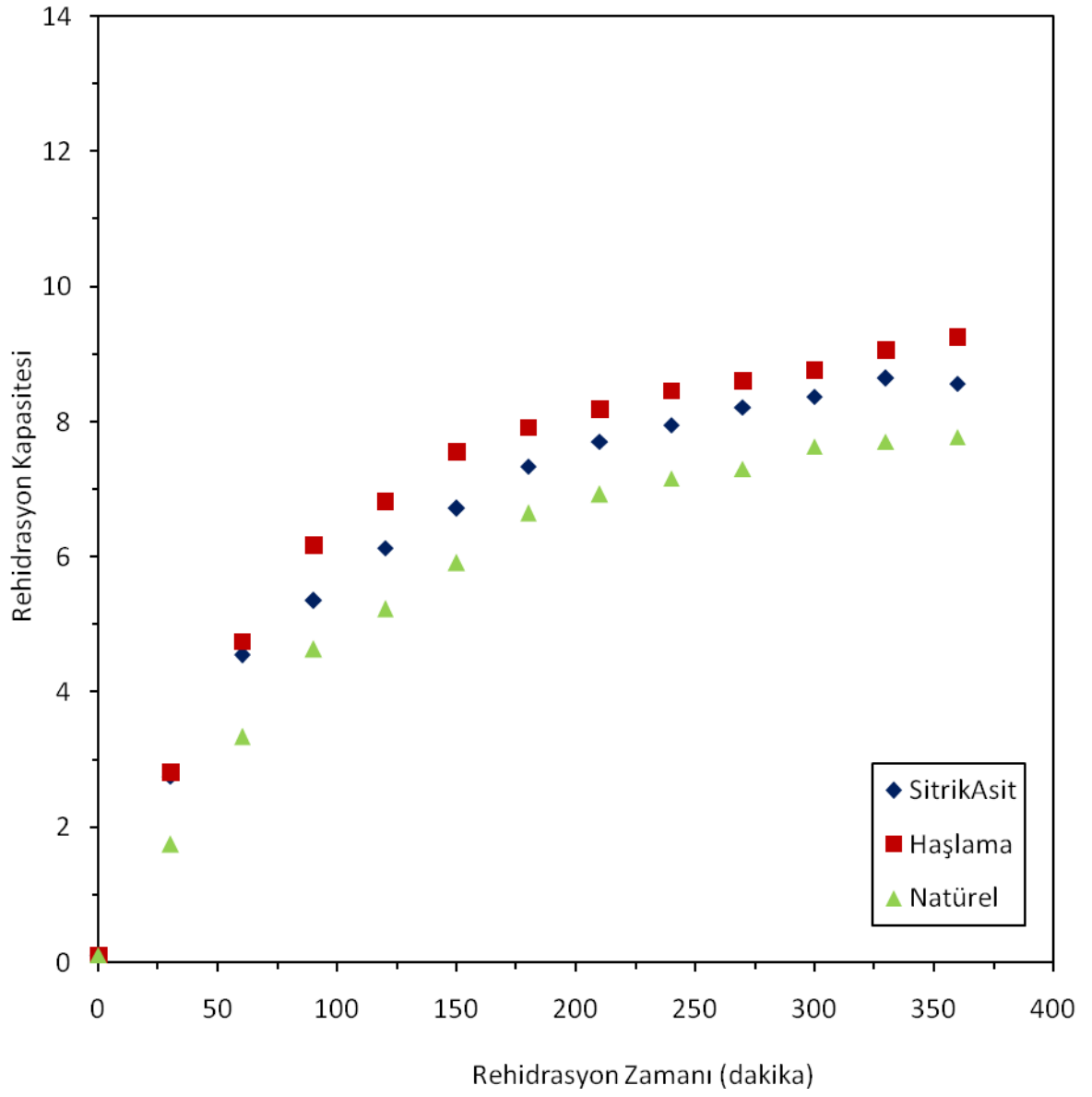
Çizelge 6.8 Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş patlıcanların rehidrasyon kapasiteleri

Rehidrasyon sıcaklığı 25°C				
Kurutma sıcaklığı (°C)	40	50	60	70
Sitrik asit	7,75	8,57	9,14	7,54
Haşlama	8,88	9,25	9,92	9,48
Natürel	7,03	7,77	7,83	6,86
Rehidrasyon sıcaklığı 50°C				
Kurutma sıcaklığı (°C)	40	50	60	70
Sitrik asit	8,51	9,57	9,58	8,50
Haşlama	9,03	13,07	13,76	10,37
Natürel	7,07	7,89	8,15	7,21

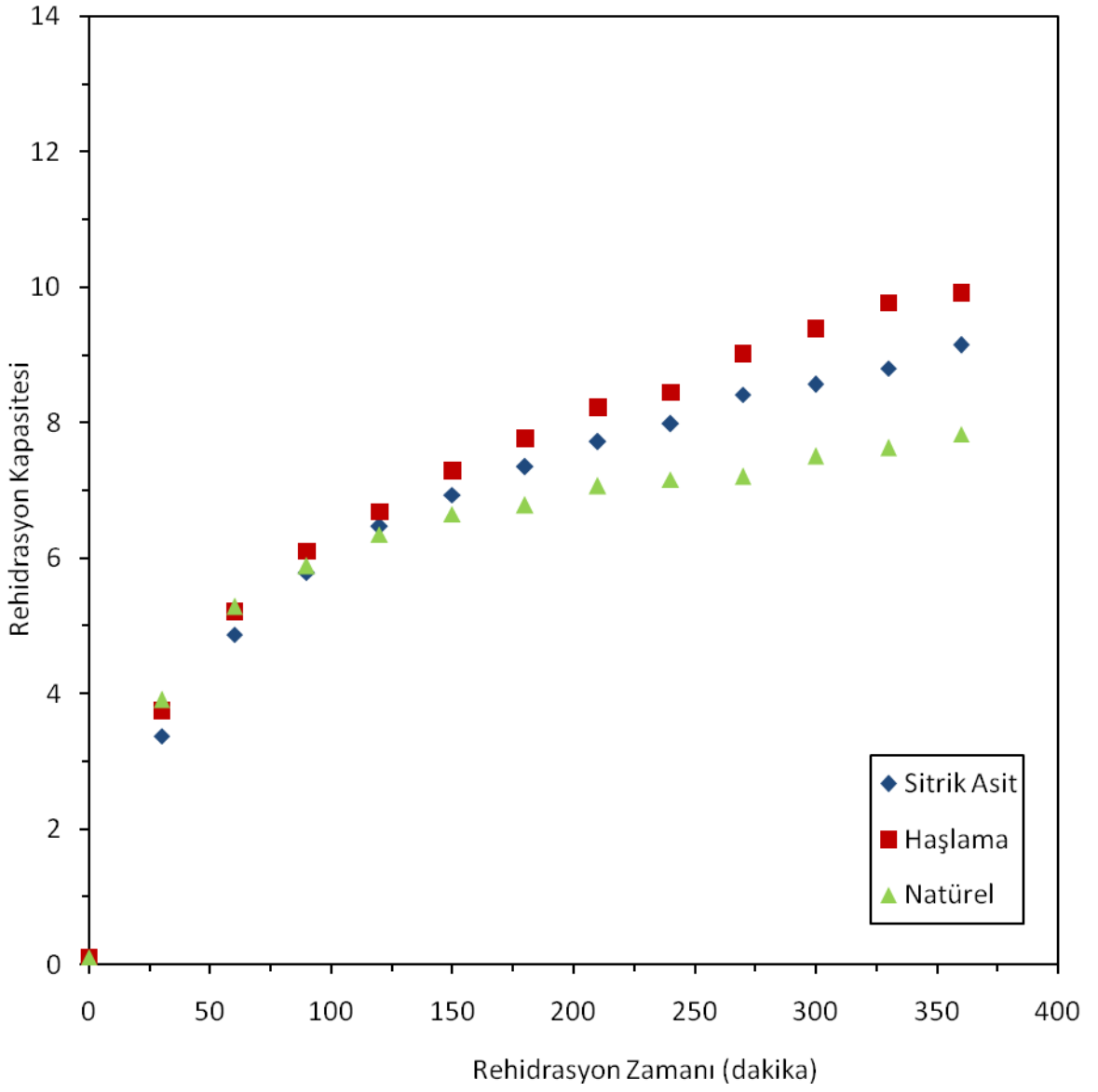
Çizelge 6.8’de görüldüğü gibi, en yüksek rehidrasyon kapasitesi 60°C’de kurutulan patlıcan örneklerinde gerçekleşmiştir. Daha yüksek sıcaklıkta kurutulan sebzelerin pişmesine sebep olduğundan nemin dışarı çıkması zorlaşır. Ayrıca eğer kurutma sıcaklığı çok yüksek ve ortam nemi çok düşük ise sebzelerde pişme olmasa da gıda yüzeyi sertleşir ve yüzeyde bir kabuk oluşur. Bu durum suyun gıdadan uzaklaştırılmasını zorlaştırdığı gibi rehidrasyon oranını da düşürür. Çizelge 6.8’e göre kurutma sıcaklığı, kurutma deneylerinde optimum 60°C olarak saptanmıştır. Benzer çalışmalar Kartal [29] tarafından da yapılmıştır.



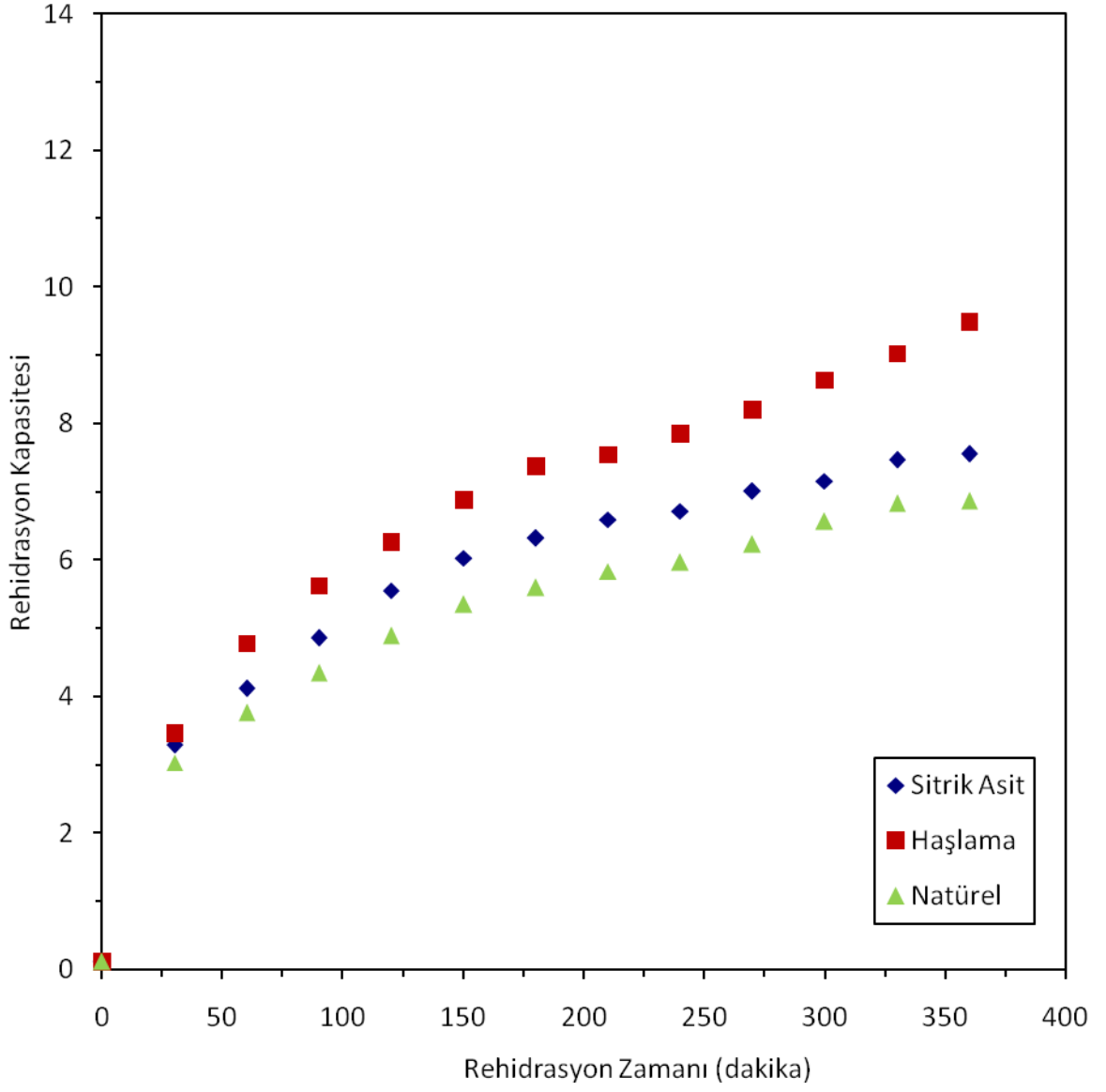
Şekil 6.15 40°C’de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C’deki rehidasyon kapasitesinin rehidasyon zamanı ile değişimi



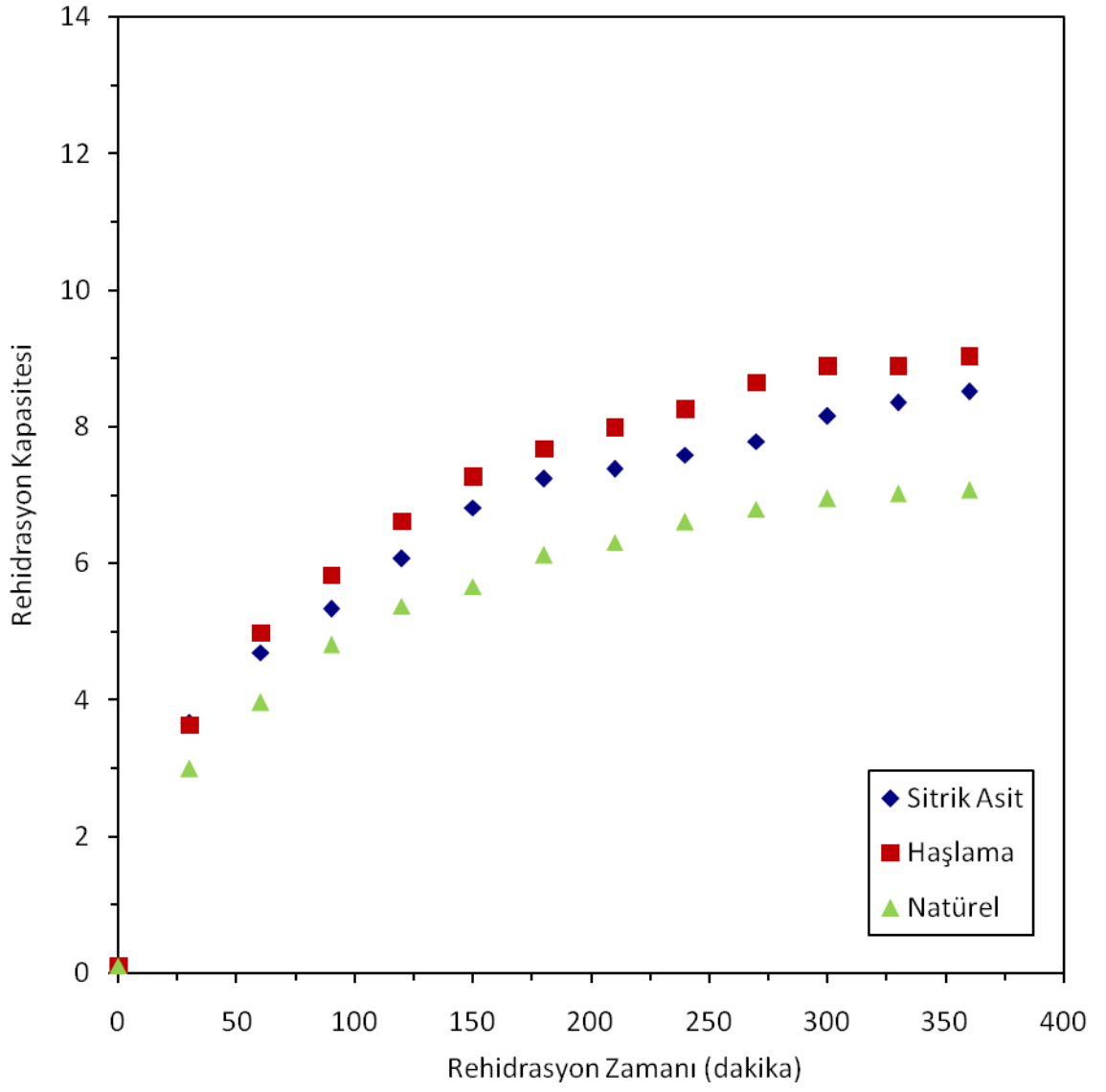
Şekil 6.16 50°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi



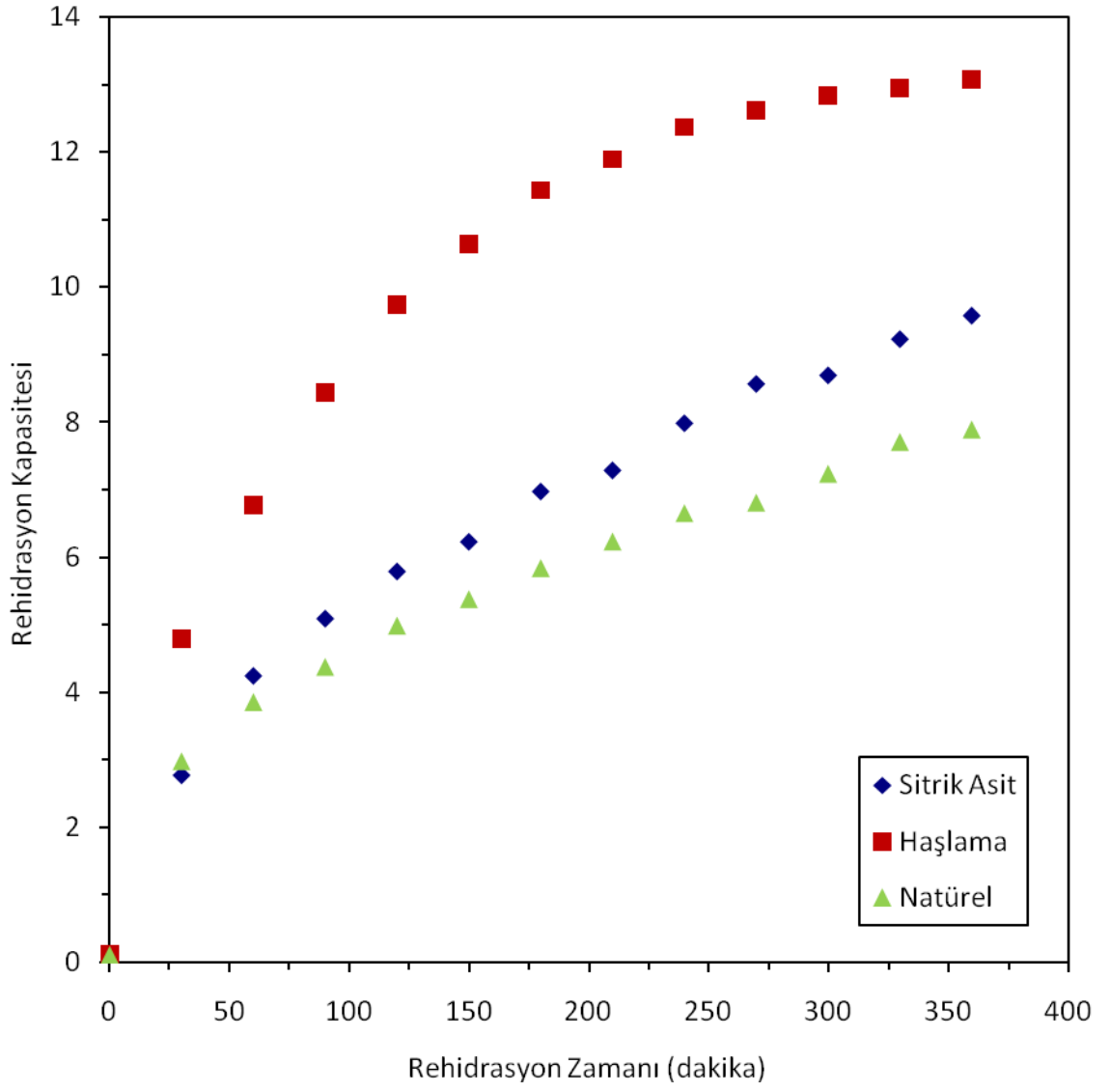
Şekil 6.17 60°C’de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C’deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi



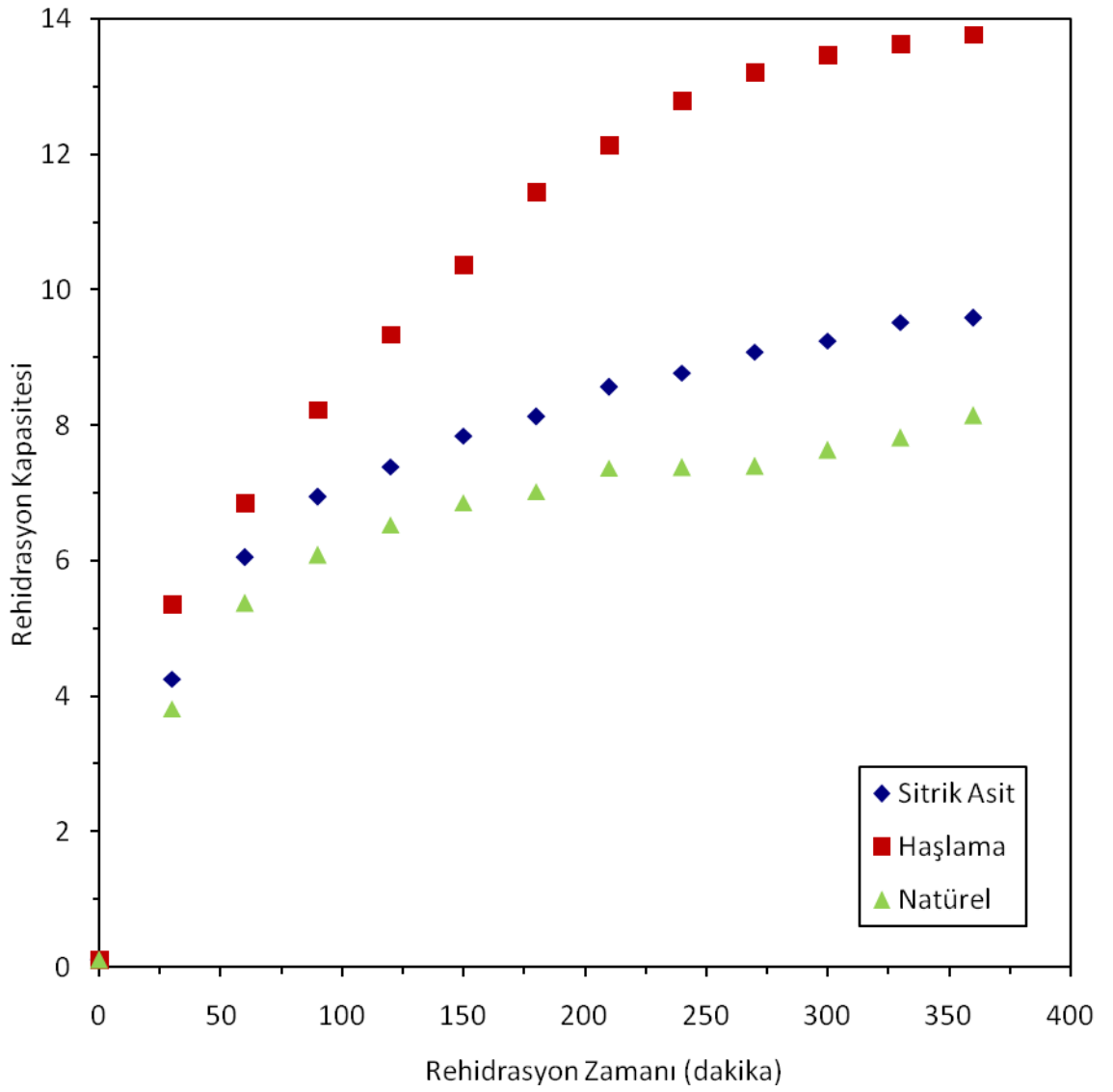
Şekil 6.18 70°C’de kurutulan patlıcan dilimlerinin 25°C’deki rehidasyon kapasitesinin rehidasyon zamanı ile değişimi



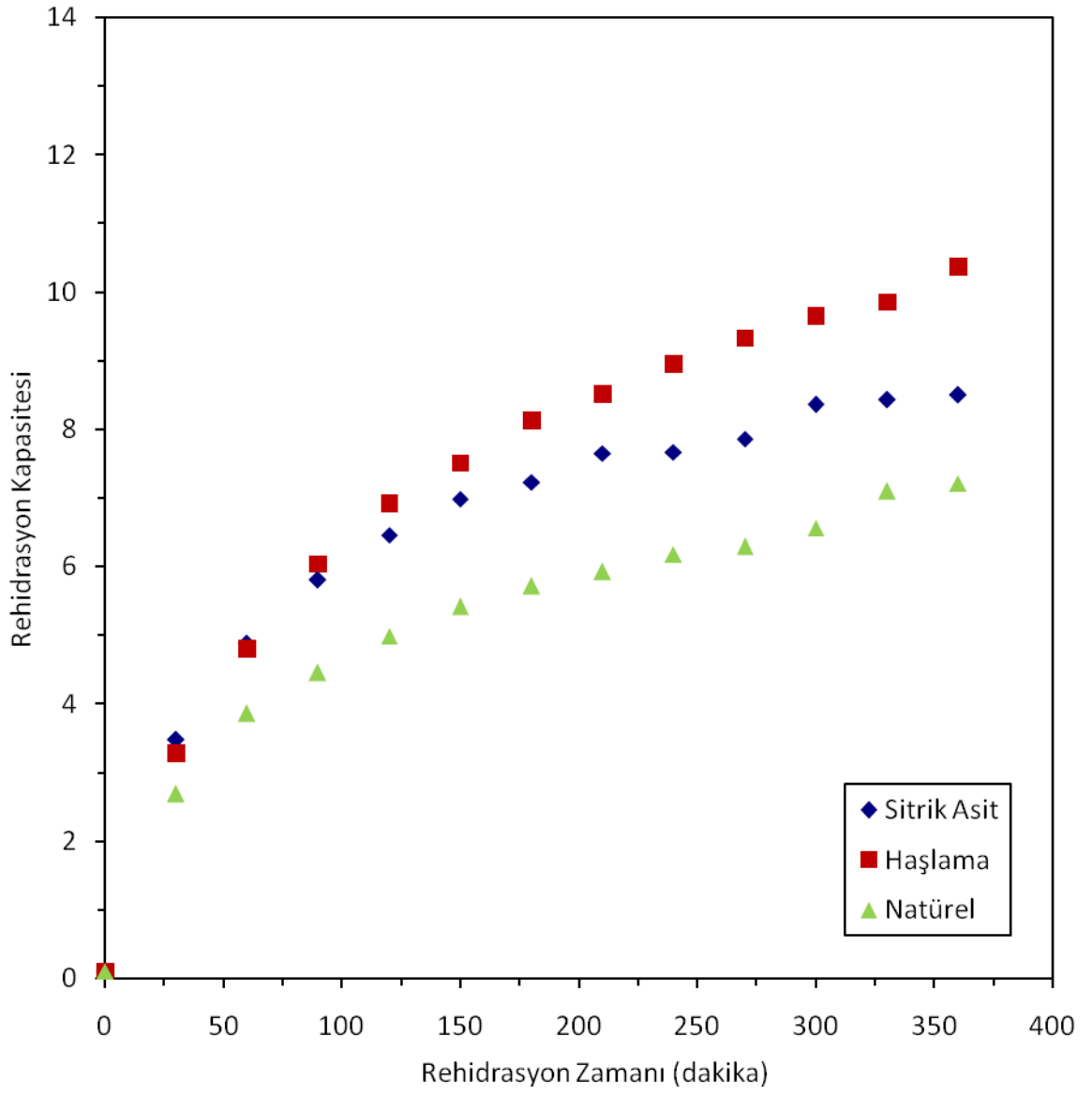
Şekil 6.19 40°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidasyon kapasitesinin rehidasyon zamanı ile değişimi



Şekil 6.20 50°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi



Şekil 6.21 60°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidrasyon kapasitesinin rehidrasyon zamanı ile değişimi

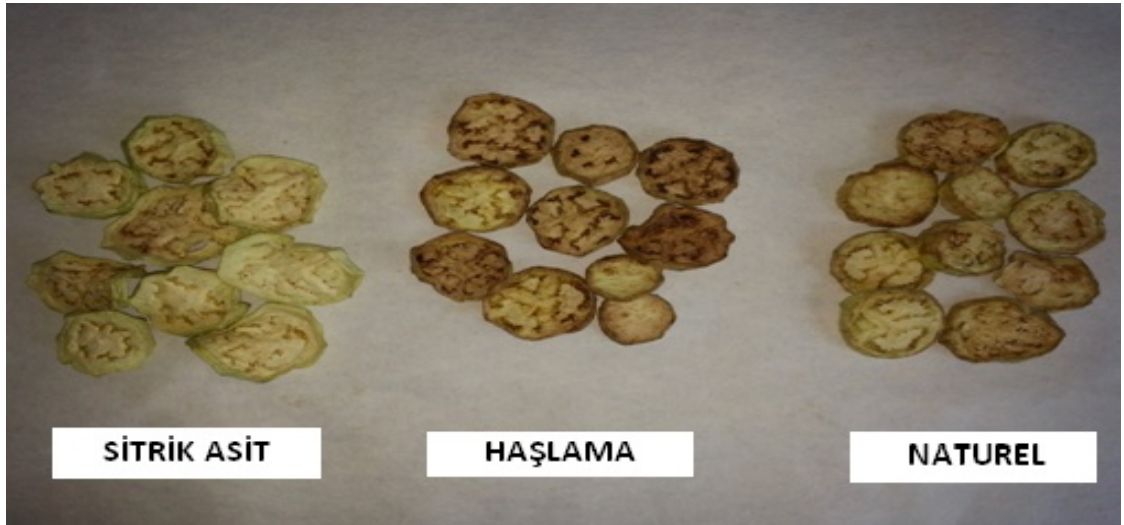


Şekil 6.22 70°C'de kurutulan patlıcan dilimlerinin 50°C'deki rehidasyon kapasitesinin rehidasyon zamanı ile değişimi

6.7 Renk ve Görünüm

Enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşmeyi kontrol etmek, gıda endüstrisindeki en önemli sorunlardan biridir. Gıda endüstrisinde en önemli noktalardan biri renktir. Tüketicinin kararını etkileyen önemli nitelikler ve kahverengi gıdalar (özellikle meyveler) bozuk görünür.

Enzimatik esmerleşmeyi önlemek için çeşitli metotlar uygulanabilir, bunlar enzimi inaktif etmeye (ısı) ya da gerekli bileşenleri (oksijen) üründen uzaklaştırmaya dayanır [98]. Enzimleri inaktive etme yöntemlerinden biride inhibitör eklenmesidir. Asitlendiriciler sınıfındaki sitrik asit inhibitörü pH'ı düşürerek enzim inaktivasyonunu sağlar. Şekil 6.23'den de görüldüğü gibi sitrik asit ile muamele edildikten sonra kurutulmuş patlıcan dilimleri natürel kodlu patlıcan dilimlerine göre açık renktedir. Sıcak su ile muamele edilip kurutulmuş haşlama kodlu patlıcan dilimlerinde ise sıcaklık etkisiyle polifenoloksidaz enzimi aktifleştirdiğinden en çok kararma burada gözlenmektedir [99].



Şekil 6.23 Sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu kurutulmuş patlıcan dilimleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda yapılan kurutma işleminin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve kurutulmuş patlıcan örneklerine rehidrasyon analizleri yapılarak sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kemer patlıcanının sıcak havalı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kurutma hızı ve zamanı, ön işlemlerin etkileri, efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisindeki değişim belirlenmiş ve deneysel verilerden hareket edilerek modelleme çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, kurutulan patlıcanlara rehidrasyon analizleri de yapılarak, rehidrasyon kapasitesine rehidrasyon sıcaklığının, uygulanan ön işlemin ve kurutma sıcaklığının etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

a) Kurutma hız eğrileri incelendiğinde;

Farklı dilim kalınlığındaki (0,6, 0,9 ve 1,2 cm) patlıcanların kurutma kinetiğini incelemek için örnekler, bir kurutma kabininde 40, 50, 60 ve 70°C'de ve $2\pm 0,1$ m/s hava hızında kurutulmuştur. Patlıcan dilimlerinin kuru madde içerikleri kuru madde analizleri sonucunda %6,02 oranında belirlenmiştir.

Sonuçlara göre 0,6 cm dilim kalınlığında kurutulmuş sitrik asit kodlu örneklerde 40 ve 70°C'lerdeki kurutma zamanları sırasıyla 240 ve 90 dakikadır. Kurutma sıcaklığındaki 30°C'deki bir artış sonucunda kurutma zamanında %62,5 oranında bir azalma saptanmıştır. 0,6 cm dilim kalınlığında kurutulmuş haşlama kodlu örneklerde 40 ve

70°C'lerdeki kurutma zamanları sırasıyla 285 ve 135 dakikadır. Kurutma sıcaklığındaki 30°C'deki bir artış sonucunda kurutma zamanında %52,63 oranında bir azalma saptanmıştır. 0,6 cm dilim kalınlığında kurutulmuş natürel kodlu örneklerde 40 ve 70°C'lerdeki kurutma zamanları sırasıyla 435 ve 180 dakikadır. Kurutma sıcaklığındaki 30°C'deki bir artış sonucunda kurutma zamanında %58,62 oranında bir azalma saptanmıştır.

Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere sıcaklık yükseldikçe kurutma zamanı azalmakta ve kurutma hızı artmaktadır. Bu durum diğer dilim kalınlıklarındaki patlıcan örnekleri içinde geçerlidir. Bu da enerjide büyük bir kazanım meydana getirmektedir. Kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir.

b) Ön işlemin kurutmaya etkisi incelendiğinde;

Dilim kalınlığı 0,6 cm olan sitrik asit kodlu patlıcan dilimlerinin 40, 50, 60 ve 70°C'deki kurutma zamanları sırasıyla 240, 210, 150 ve 90 dakika iken haşlama kodlu patlıcan dilimlerinin kurutma zamanları 285, 240, 165 ve 135 dakikadır. Hiçbir ön işlem yapılmadan kurutulan natürel kodlu patlıcan dilimlerinde ise kurutma zamanları ise sırasıyla 435, 345, 210 ve 180 dakikadır.

Ön işleme tabi tutularak kurutulan örneklerin kurutma zamanlarının ön işlemsiz örneklere göre daha kısa olduğu saptanmıştır. Ön işlem çözeltileri, dokuların hücre duvarlarında tahribata sebep olduğu için kurutmaya hızlandırmıştır. 0,6 cm kalınlığında 40°C'de kurutulan sitrik asit kodlu patlıcanların natürel kodlu olanlara göre %44,82 oranında daha hızlı kuruduğu ve haşlama kodlu patlıcanların natürel kodlu olanlara göre %34,48 oranında daha hızlı kuruduğu gözlenmiştir. Diğer dilim kalınlıkları için de yapılan bu çalışmada, en iyi sonuç sitrik asit çözeltisi ile sağlanmıştır.

c) Dilim kalınlığının kurutmaya etkisi incelendiğinde;

40°C kurutma sıcaklığındaki 0,6, 0,9 ve 1,2 cm dilim kalınlıkları ele alındığında sitrik asit kodlu patlıcan dilimleri için kurutma zamanı sırasıyla 240, 360 ve 390 dakikadır. Haşlama kodlu patlıcan dilimlerinin kurutma zamanı sırasıyla 285, 420 ve 465 dakika ve

natürel kodlu patlıcan dilimlerinin kurutma zamanı ise sırasıyla 435, 465 ve 585 dakikadır. Veriler incelendiğinde dilim kalınlıklarının artması ile kurutma zamanının uzadığı görülmüştür. Aynı sonuçlar diğer kurutma sıcaklıklarında da gözlenmiştir.

d) Kurutma kinetiği incelendiğinde;

Deney sonuçlarından yararlanarak ürünlerin nem oranlarının kurutma zamanına göre değişimini belirlemek amacıyla Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Midilli vd., Verma vd., Parabolik ve Weibull denklemleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kurutma olayını en iyi açıklayan denklemde bulunan katsayılar ile kurutma havası sıcaklığındaki değişim etkileri çoklu regrasyon yöntemiyle incelenmiştir. Regrasyon katsayıları (R^2), (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE) değerleri kullanılarak en uygun denklem saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Midilli vd. denkleminin patlıcan dilimlerinin kurutma davranışlarını diğer denklemlerden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

e) Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

Efektif difüzyon katsayısı 40, 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuş patlıcan dilimleri için; sitrik asit kodlu örneklerde $3,22 \times 10^{-10}$ ve $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s, haşlama kodlu örneklerde $2,81 \times 10^{-10}$ ve $8,42 \times 10^{-10}$ m²/s ve natürel kodlu örneklerde $2,28 \times 10^{-10}$ ve $5,52 \times 10^{-10}$ m²/s değerleri arasında değişmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasıyla açıklanabilir. Ön işlem uygulanarak kurutulan patlıcanlarda efektif difüzyon katsayısı değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulanlara göre daha büyüktür.

Kurutulmuş sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu patlıcanların aktivasyon enerjisi değerleri sırasıyla 31,71, 32,69 ve 26,14 kJ/mol olarak bulunmuştur.

f) Patlıcan dilimlerinin rehidrasyon özelliği incelendiğinde;

Dilim kalınlığı 0,6 cm olan kurutulmuş patlıcan örnekleri 25 ve 50°C'deki suda bekletilerek ne ölçüde suyu bünyelerinde tutabileceği (rehidrasyon kapasitesi) gözlenmiştir. Rehidrasyon sıcaklığının artması ile kurutulmuş patlıcan dilimlerinin rehidrasyon kapasitesinin arttığı, uygulanan ön işlemlerinde natürel kodlu örneklere göre rehidrasyon oranını arttırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda en fazla su tutma kapasitesi 50°C'deki rehidrasyon sıcaklığında 60°C'de kurutulan haşlama kodlu örneklerde görülmüştür.

g) Patlıcan dilimleri renk ve görünümü incelendiğinde;

Sitrik asit ile muamele edildikten sonra kurutulan örneklerin rengi diğer örneklere göre daha açık bulunmuştur.

KAYNAKLAR

-
- [1] Ertekin, C., Heybeli, N. ve Dikici, G., (2013). "İnfrared Kurutucu ile Kerevizin Kurutulması", "Tralleis Elektronik Dergisi", 2: 16-25.
- [2] Erbay, B. ve Küçüköner, E., (2008). "Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri", Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- [3] Demirtaş, C., (1996). Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [4] Tunç, M., (2008). İnce Tabaka Halinde Kurutulan Patlıcan Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi ve Kuruma Davranışının Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [5] Arvanitoyannis, I.S., Khah, E.M., Christakou, E.C. ve Bletsos, F.A., (2005). "Effect of Grafting and Modified Atmosphere Packaging on Eggplant Quality Parameters During Storage", International Journal of Food Science and Technology, 40: 311–322.
- [6] Öğüt, E., (2008). Şanlıurfa, Mardin, Batman ve Diyarbakır İllerinde Patlıcan Solgunluk Hastalıklarının Etmenleri, Yaygınlıkları ile Bazı Çeşitlerinin Bu Hastalıklara Karşı Tepkileri, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [7] Tuncer, N., (2007). Patlıcanda Tuza Toleransın Kalıtımı Üzerinde Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] Brasiello, A., Adiletta, G., Russo, P., Crescitelli, S., Albanese, D., Di Matteo, M., (2013). "Mathematical Modeling of Eggplant Drying: Shrinkage Effect", Journal of Food Engineering, 114: 99-105.
- [9] Adiletta, G., Iannone, G., Russo, P., Patimo, G., De Pasquale, S. ve Di Matteo, M., (2014). "Moisture Migration By Magnetic Resonance Imaging During Eggplant Drying: A Preliminary Study", International Journal of Food Science and Technology.
- [10] Akan, S. ve Demir, K., (2012). "Patlıcan Yetiştiriciliği", Tarım Türk Dergisi.
- [11] Dünya Gıda Dergisi, Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Yetiştiriciliği ve Besin İçeriği, <http://www.dunyagida.com.tr/haber.php?nid=1262> 20 Mayıs 2014.

- [12] Kashyap, V., Kumar, S.V., Collonnier, C., Fusari, F., Haicour, R., Rotino, G. L., Sihachakr, D. ve Rajam, M. V., (2003). "Biotechnology of Eggplant", *Scientia Horticulturae*, 97: 1-25.
- [13] Şen, Ö., (2008). Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Patlıcan Fidelerinin Gelişimi ve Besin Elementi İçerikleri Üzerine Arbuscular Mikorizal Fungus Uygulamalarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [14] Türkiye İstatistik Kurumu, Patlıcan Üretim İstatistikleri, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>, 09 Ekim 2014.
- [15] Food and Agriculture Organization, <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>, 13 Ekim 2014.
- [16] Başaran, M., (2012). Solarizasyon ve Taze Tavuk Gübresi Uygulamalarının Patlıcanda Solgunluk (*Verticillium Dahliae* Kleb.) Hastalığı ve Verime Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [17] Topçu, V. ve Boyacı, H. F., Patlıcan Yetiştiriciliğinin Dünya ve Türkiye'deki Durumu, http://www.batem.gov.tr/yayinlar/bilimsel_makaleler/sebzecilik/volkan_topcu/patlican_yetiitiriciligi.pdf, 05 Mayıs 2014.
- [18] Bingöl, G. ve Devres, B., (2010). Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri 4, Kısaltılmış doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- [19] Özel, F. Ö., (2010). Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Konya.
- [20] Doymaz, İ., (2004). "Drying kinetics of white mulberry", *Journal of Food Engineering*, 61(3): 341-346.
- [21] Çolak Güneş, N., (2009). Gıda Kurutma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [22] Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990). Gıda Endüstrisi Makinaları, Birinci Baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- [23] Tunç, M. ve Mengeş, H.O., (2010). "Patlıcan Kurutmasa Kurutmanın Çeşitli Modellerle Açıklanması", *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1):1-9.
- [24] Doboğlu, H., (2012). Liyofilizasyonun Karadut (*Morus Nigra*) Kurutmadaki Potansiyelinin Konveksiyonel ve Vakumlu Kurutma Teknikleriyle Kıyaslanarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Kahramanmaraş.
- [25] Çınar, İ., (2006), "Gıda Kurutma Teknolojisinde Matematik Modellerin Kullanımı", Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs 2006, Bolu, 805-806.

- [26] Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X. ve Hu, X., (2006). "Mathematical Modelling On Thin Layer Microwave Drying of Apple Pomace With And Without Hot Air Pre- Drying", Journal of Food Engineering, 80: 536-544.
- [27] Acartürk, F., Ağabeyoğlu, İ., Çelebi, N., Değim, T., Değim, Z., Doğanay, T., Takka, S. ve Tırnaksız, F., (2007). Modern Farmasötik Teknoloji, Türk Eczacıları Birliği Eczacılık Akademisi Yayını, Ankara.
- [28] Gürses, Ö. L., (1986). Gıda İşleme Mühendisliği-II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- [29] Kartal, A.S.K., (2011). Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] İçier, F. ve Sabancı, S., (2013). "Kurutma ve İşletmede Hijyen", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir.
- [31] Doymaz, İ., (1998). Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Mujumdar, A. S., (1995). Handbook of Industrial Drying, 1, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [33] Dikbasan, T., (2007). Determination of Effective Parameters For Drying of Apples, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Institute of Technology, İzmir.
- [34] Sarsılmaz, C., (1998). Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [35] Öz, Ö., (2009). Dondurarak Kurutma Yöntemi İle Çözünebilir Çay Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [36] Heldman, D.R. ve Hartel, R.W., (1997). Principles of Food Processing, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York.
- [37] İsaeva, J., (2007). Kayısı Kurutmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, <http://hboqm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/sebzeleri%20kurutma.pdf>, 02 Ocak 2013.
- [39] İntepe, M., (2010). Farklı Şekillerde Kurutulmuş Kayısların Rehidrasyon Yeteneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [40] Konak, Ü.İ., Certel, M., ve Helhel,S., (2009). "Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3): 20-31.
- [41] Cemeroğlu, B., (1986). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği, Ankara.

- [42] Özbalta, N. ve Güngör A., (1997). III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Altındağ Matbaacılık, İzmir.
- [43] Mengeş, G., (2005). Patatesin Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [44] Güngör, A., (2013). "Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, İzmir.
- [45] Özgen, F., (2013). "Kurutma Havası Hızının Kızılciğın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 25(2): 99-105.
- [46] Dündar, H., (2010). Bir Vakumlu Gıda Kurutma Sisteminin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [47] Olgun, H., Rzayev, P., (2000). "Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24: 1-14.
- [48] Bayhan, H. A., (2011). Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [49] McKetta, J.J., (1983). Encyclopedia of Chemical Process and Design, Marcel Dekker, New York.
- [50] Günerban, H., "Endüstriyel Kurutma Sistemleri", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler Tasarım ve Uygulama Eki, 13.
- [51] Hastürk, F.Ş., Ülger, P., Aktaş, T. ve Orak, H. H., (2012). "Farklı Önışlemlerin ve Vakum Kurutma Yönteminin Domatesin Kuruma Karakteristikleri ve Kalite Kriterleri Üzerine Etkisi", Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1): 15-25.
- [52] Tuncel, N.B., (2008). Farklı Kurutma Tekniklerinin Mısırın Fiziksel, Kimyasal ve Toksikolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- [53] Ertekin, C. ve Yaldiz, O., (2004). "Drying of Eggplant and Selection of A Suitable Thin Layer Drying Model", Journal of Food Engineering, 63: 349-359.
- [54] Wu, L., Oriksa, T., Ogawa, Y. ve Tagawa, A., (2007). "Vacuum Drying Characteristic of Eggplant", Journal of Food Engineering.
- [55] Russo, P., Adiletta, G. ve Di Matteo, M., (2012). "The Influence of Drying Air Temperature on The Physical Properties of Dried and Rehydrated Eggplant", Food and Bioproducts Processing.
- [56] Akpınar, E. ve Biçer, Y., (2005). "Modelling of The Drying of Eggplants in Thin-Layers", International Journal of Food Science and Technology, 40: 273-281.

- [57] Puig, A., Perez-Munuera, I., Carcel, J.A., Hernando, I. ve Garcia-Perez, J.V., (2012). "Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying", *Food and Bioproducts Processing*, 90: 624-632.
- [58] Doymaz, İ., (2011). "Drying of Eggplant Slices in Thin Layers at Different Air Temperatures", *Journal of Processing and Preservation*, 35: 280-289.
- [59] Doymaz, İ. ve Göl, E., (2011). "Convective Drying Characteristics of Eggplant Slices", *Journal of Food Process Engineering*, 34: 1234-1252.
- [60] Aversa, M., Curcio, S., Calabro, V. ve Iorio, G, (2011). "Measurement of The Water-Diffusion Coefficient, Apparent Density Changes and Shrinkage During The Drying of Eggplant (*Solanum Melongena*)", *International Journal of Food Properties*, 14: 523-537.
- [61] Akpınar, E.K., (2005). " Energy and Exergy Analyses of Eggplant Slices In A Cyclone Type Dryer", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19(2):692-703.
- [62] Akpınar, E.K. ve Biçer, Y., (2003). "Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Kinetiğinin Ampirik Bağlantılarla Açıklanması", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 2: 28-36.
- [63] Lewicki, P.P., (1998). "Some Remarks on Rehydration of Dried Foods", *Journal of Food Engineering*, 36: 81-87.
- [64] Doymaz, İ., (2006). "Thin-Layer Drying Behaviour of Mint Leaves", *Journal of Food Engineering*, 74: 370-375.
- [65] 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.
- [66] Wang, Z.F., Fang, S.Z. ve Hu, X.S., (2009). "Effective Diffusivities and Energy Consumption of Whole Fruit Jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) in Microwave Drying", *Drying Technology*, 27: 1097-1104.
- [67] Mundada, M., Hathan, B.S. ve Maske, S., (2010). "Convective Dehydration Kinetics of Osmotically Pretreated Pomegranate Arils", *Journal of Biosystems Engineering*, 107: 307-316.
- [68] Roberts, J.S., Kidd, D.R. ve Padilla-Zakour, O., (2008). "Drying Kinetics of Grape Seeds", *Journal of Food Engineering*, 89: 460-465.
- [69] Ghodake, H.M., Goswami, T.K. ve Chakraverty, A., (2006). "Mathematical Modeling of Withering Characteristics of Tea Leaves", *Drying Technology*, 24: 159-164.
- [70] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. ve Hu, X., (2007). "Mathematical Modelling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace", *Food Research International*, 40: 39-46.

- [71] 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.
- [72] Verma, L.R., Bucklin, R.A., Ednan, J.B. ve Wratten, F.T., (1985). "Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models", Transaction of ASAE, 28: 296-301.
- [73] Sharma, G.P. ve Prasad, S., (2004). "Effective Moisture Diffusivity of Garlic Cloves Undergoing Microwave-Convective Drying", Journal of Food Engineering, 65: 609-617.
- [74] Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A. ve Vásquez, A., (2008). "Weibull Distribution for Modelling Air Drying of Coroba Slices", LWT-Food Science and Technology, 41: 2023-2028.
- [75] Sacilik, K. ve Elicin, A.K., (2006). "The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices", Journal of Food Engineering, 73: 281-289.
- [76] 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.
- [77] Tunde-Akintude, T.Y. ve Ajala, A., (2010). "Air Drying Characteristics of Chili Pepper", International Journal of Food Engineering, 6(1): Article 7.
- [78] Hutchinson, D. ve Otten L., (1983). "Thin Layer Air Drying of Soybeans and White Beans", Journal of Food Technology, 18: 507-522.
- [79] Madhiyanon, T., Phila, A. ve Soponronnarit, S., (2009). "Models of Fluidized Bed Drying for Thin-Layer Chopped Coconut", Applied Thermal Engineering, 29: 2849-2854.
- [80] Madamba, P. S., (2003). "Thin Layer Drying Models for Osmotically Pre-Dried Young Coconut", Drying Technology, 21: 1759-1780.
- [81] Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascal, 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.
- [82] Mengeş, H.O. ve Ertekin, C., (2007). "Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması", Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(42): 4-10.
- [83] Devahastin, S., (2000). Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying, Exergex Corporation, Canada.
- [84] Mengeş, H. O. ve Ertekin, C., (2006). "Havucun İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi", Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2(4):353-362.
- [85] Kaymak-Ertekin, F., (2002). "Drying and Rehydrating Kinetics of Green and Red Peppers", Journal of Food Science, 67: 168-175.

- [86] 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.
- [87] Doymaz, İ. ve Pala, M., (2001). "Daldırma Çözeltisi Kullanımının Biber Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 4: 44-50.
- [88] Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (1996). "Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs", *Drying Technology*, 14: 2225-2253.
- [89] Kaya, A., Aydın, O. ve Demirtaş, C., (2009). "Experimental and Theoretical Analysis of Drying Carrots", *Desalination*, 237: 285-295.
- [90] Şahbaz, F., Uzman, D. ve Palazoğlu, T.K., (2000). "Drying Kinetics of Blanched and Unblanched Mushrooms", *Nahrung*, 44: 283-284.
- [91] Kaleemullah, S. ve Kailappan, R., (2006). "Modelling of Thin-Layer Drying Kinetics of Red Chillies", *Journal Food Engineering*, 76: 531-537.
- [92] Akanbi, C.T., Adeyemi, R.S. ve Ojo, A., (2006). "Drying Characteristics and Sorption Isotherm of Tomato Slices", *Journal Food Engineering* 73: 157-163.
- [93] Doymaz, İ., (2005). "Drying Characteristics ve Kinetics of Okra", *Journal Food Engineering*, 69: 275-279.
- [94] Togrul, H., (2006). "Suitable Drying Model for Infrared Drying of Carrot", *Journal Food Engineering*, 77: 610-619.
- [95] Kumar, A. ve Chauhan, G.S., (2010). "Extraction and Characterization of Pectin From Apple Pomace and Its Evoulution as Lipase (Steapsin) Inhibitor", *Carbonhydrate Polymers*, 82: 454-459.
- [96] 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.
- [97] 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.
- [98] Food-Info.net, Enzimatik esmerleşme, <http://www.food-info.net/tr/colour/enzymaticbrowning.htm>
- [99] Yemencioğlu A. ve Cemeroğlu B., (1998). "Enzimlerin Aktivasyon ve Rejenerasyonunun Gıdaların Kalitesi Üzerindeki Etkisi", 23(6): 415-423

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Cansu AKTAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri :18.02.1987 İSTANBUL
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :cansuaktas1987@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	İşletme	Anadolu Ünivesitesi	2011
	Gıda Mühendisliği	Celal Bayar Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Halide Edip Adıvar Lisesi (Y.D.A.)	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012--2015	Compass-Sofra Grup	Kalite ve Hijyen Sorumlusu

