

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİ İLE DOMATESİN
KURUTULMASI

ECEM ÖZEN

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR

ELAZIĞ-2016

Her Hakkı Saklıdır.

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİ İLE DOMATESİN
KURUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ECEM ÖZEN

(141118110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.12.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.01.2017

Danışman: Doç. Dr. Filiz KAR (F.Ü.)

Diğer Juri Üyeleri: Prof.Dr.Nurhan ARSLAN (F.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Hakan YOĞURTÇU (M.Ü.)

ELAZIĞ-2017

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİ İLE DOMATESİN KURUTULMASI

Ecem ÖZEN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Filiz KAR

Tarımsal ürünlerin güvenli olarak bozulmadan saklanabilmeleri için uygulanan yöntemlerden birisi olan kurutma ilk çağlardan beri yapılmaktadır. Kurutma işleminin amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmaktır.

Bu araştırmada domatese dört farklı kurutma tekniği uygulanmıştır. Bu kurutma teknikleri; tepsili kurutucuda kurutma, infrared kurutucuda kurutma ve püskürtmeli kurutucuda kurutmadır. Deneysel sonuçlar kuruma hızının hem artan kuruma zamanıyla hem de örneklerin nem içeriklerinin düşmesiyle azaldığını göstermiştir. Kurutma işlemlerinde en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmek için 5 matematiksel model deneysel verilere uygulanmıştır. Kurutma verilerine en iyi uyum sağlayan modelin Modifiye Page Eşitliği olduğu görülmüştür.

Kurutulmuş ve taze domateslerin likopen, β -karoten ve askorbik asit değeri HPLC yöntemi ile belirlenmiştir. Domateslerin kurutulmadan önce askorbik asit değeri 493.49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. 60 °C’de ve 1.5 m/s’lik hava hızında yapılan kurutma işleminde askorbik asit miktarında %58.71 oranında azalma meydana gelmiştir. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen ve β -karoten kayıplarının arttığı gözlenmiştir.

Ocak 2017,

Anahtar Kelimeler: Domates, *Lycopersitcum esculentum*, kuru madde, likopen, β -karoten, HPLC, İnce tabaka kuruma modelleri

SUMMARY

Master Thesis

DRYING OF TOMATO BY USING DIFFERENT DRYING TECHNIQUES

Ecem ÖZEN

Firat University

Institute of Science and Technology

Department of Chemical Engineering

Danışman : Doç. Dr. Filiz KAR

Drying which is a practice used to keep agricultural products safely has been carried out since early ages. The purpose of drying process is getting rid of free water so that in biochemical reactions and microorganism activities can be stopped.

In this study, three different drying techniques were applied to tomato. These methods are tray drying, Infrared drying and Spray drying. The experimental results indicated that drying rate decreases both increasing with drying time and decreasing moisture content. To select the best thin-layer drying models for the drying treatments, 5 mathematical models were fitted to the experimental data. The model that best fits the drying data has been found to be Modified Page Equation.

Lycopene, β -carotene and ascorbic acid value of dried and fresh tomatoes were determined by HPLC method. Ascorbic acid content of fresh tomatoes was 493.49 mg/100 g dry matter. Drying at 60 °C and at an air velocity of 1.5 m/s decreased amount of ascorbic acid content of tomatoes by about 58.71. In experiments using a tray dryer, it was observed that lycopene and β -carotene losses increased as the drying temperature increased.

January 2017,

Keywords: Tomato, *Lycopersicon esculentum*, dry matter, lycopene, beta-carotene, HPLC, Thin drying models

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana değerli görüş ve katkılarıyla yol gösteren, çalışmamın her kademesinde büyük bir özveri göstererek bana yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Filiz KAR' a,

Laboratuvar çalışmalarında laboratuvar imkanlarından faydalandığım Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüne, özellikle tecrübeleriyle çalışma arzumuzu görüp yönlendiren ve bakış açısıyla ufukumuzu açan Prof. Dr. Nurhan ARSLAN' a,

Analizlerinin yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü tüm araştırma görevlilerine, özellikle model çalışmaların da emeği geçen Arş. Gör. Ercan AYDOĞMUŞ'a, kendi çalışmalarından esinlenerek yardımcı olan Arş. Gör. Ayşe BİÇER'e,

Analizlerin yürütülmesinde büyük görev üstlenen HPLC cihazında Likopen ve Askorbik asit tayinlerini yapan, laboratuvarlarını kullanmama olanak sağlayan Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Başkanı Prof. Dr. Ökkeş YILMAZ'a

Bu çalışma projesini maddi olarak destekleyen “Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi”ne,

Hayatım boyunca aldığım kararlarda beni destekleyen, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen ve bu yolda sonuna kadar devam etme cesareti veren sevgili aileme,

Tezimin yazım aşamasında benimle birlikte yorulan sevgili annem Zülfiye ÖZEN'e, bölümdeki benimle birlikte emek veren çalışma arkadaşlarıma özellikle meslektaşım Gülsüm KARAKAŞ'a

Ve emeği geçen herkese,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SİMGE VE KISALTMALAR

k: Kinetik sabit (dak^{-1})

n: Page modele ait katsayı

t: Kuruma zamanı (dak)

m: Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdığı kuru madde miktarı (g)

MR: Nem oranı (boyutsuz)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

UV: Ultraviole

BHT: Butil Hidroksi Toluen

İÇİNDEKİLER

ÖZET	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
SİMGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Domatesin Yapısı.....	3
2.2 Domatesin Bileşimi.....	3
2.3 Domatesin Sağlık Üzerine Etkisi.....	4
2.4 Domates Üretimi	5
2.5 Kurutulmuş Domates Üretimi.....	8
3. GIDALARIN KURUTULMASI.....	10
3.1. Gıda Kurutma Tarihçesi.....	10
3.2. Gıda Kurutma Yöntemleri.....	12
3.2.1. Doğal Kurutma.....	12
3.2.2. Yapay Kurutma.....	13
3.3.Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları.....	14
3.3.1.Sabit Hızda Kuruma Periyodu.....	15
3.3.2. Azalan Hızda Kuruma Periyodu.....	16
3.4. Kurutma Hızını Etkileyene Faktörler.....	16
3.4.1.Sıcaklık	16
3.4.2.Kurutma Havasının Hızı.....	17
3.4.3. Kurutulan Ürünün Yüzey Alanı.....	17
3.4.4.Ortamin Nem İçeriği.....	18
3.4.5. Kurutulan Gıdada Meydana Gelen Değişimler.....	19
3.4.5.1. Fiziksel Değişimler.....	19
3.4.5.2. Kimyasal Değişimler.....	21
3.4.5.3.Biyokimyasal Değişimler.....	22
3.4.5.4. Mikrobiyolojik Değişimler	22
3.4.6. Kurutma Esnasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimlerin Önlenmesi.....	23

3.4.6.1. Kükürtleme İşlemi.....	24
3.4.6.2. Tuzlama İşlemi.....	24
3.5. Domateste Bulunan Karotenoidler.....	24
3.5.1. Likopen.....	24
3.5.1.1. Likopenin Yapısı.....	24
3.5.1.2. Likopen Kayıpları.....	26
3.5.1.3. Likopenin Sağlık Üzerine Etkisi.....	26
3.5.1.4. β -Karoten (Beta Karoten).....	27
4. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	28
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
5.1 Materyal.....	33
5.1.1. Kullanılan Kimyasallar.....	33
5.1.2. Kullanılan Cihazlar.....	33
5.1.2.1. Tepsili Kurutucu	33
5.1.2.2. İnfrared Kurutucu (IR)	35
5.1.2.3. Püskürtmeli Kurutucu	36
5.1.2.4. HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi)	36
5.2. Yöntem	38
5.2.1. Kurutma Denemeleri.....	38
5.2.2. Likopen ve β -karotenin HPLC ile belirlenmesi.....	39
5.2.2.1. Ekstraksiyon.....	39
5.2.2.2. Tanımlama ve hesaplama.....	40
5.2.4.3. Kromatografi koşulları.....	40
5.2.3. Kuru madde miktarının belirlenmesi.....	40
5.3.Hesaplamalar.....	41
5.3.1. Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar.....	41
5.3.1.1. Nem içeriğinin hesaplanması.....	41
5.3.1.2. Kuruma hızının hesaplanması.....	41
5.3.1.3. Nem oranının hesaplanması.....	42
5.4. Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları	43
5.5.Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi.....	43
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	45
6.1. Kuru Madde Miktarı.....	45
6.2.Tepsili Kurutucu Kullanılarak Yapılan Kurutma Deney Sonuçları.....	45

6.2.1.Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları.....	48
6.2.3. Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi.....	50
6.3.İnfrared Kurutucu Kullanılarak Yapılan Kurutma Deney Sonuçları.....	51
6.4.Likopen ve β -karoten Miktarındaki Değişmeler.....	52
6.5. Askorbik Asit Miktarındaki Değişmeler.....	54
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
8.KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Doğal Kurutma yöntemiyle kurutulan domatesler.....	13
Şekil 3.2 Yapay Kurutma yöntemiyle kurutulan domatesler	14
Şekil 3.3.Gıdaların Kuruma Eğrisi.....	15
Şekil 3.4. Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağılma ile ilişkisi.....	18
Şekil 3.5. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Askorbik Asit Oksidasyonu	22
Şekil 3.6. Su Aktivitesi ile Su Miktarı ve Bozulumlar Arasındaki İlişkiler.....	23
Şekil 3.7. Likopenin Kimyasal Yapısı.....	25
Şekil 5.1. Tepsili Kurutucu.....	34
Şekil 5.2. Düz akışlı hava ile deneylerin yapıldığı tepsili kanal tip kurutucu şeması.....	35
Şekil 5.3. İnfrared Kurutucu.....	36
Şekil 5.4.Püskürtmeli Kurutucu.....	37
Şekil 5.5. HPLC cihazının genel görünümü.....	37
Şekil 5.6. Laboratuvar Görüntüleri.....	39
Şekil 6.1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s).....	45
Şekil 6.2. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)	46
Şekil 6.3. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s).....	46
Şekil 6.4. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s).....	47
Şekil 6.5. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	51
Şekil 6.6. İnfrared kurutucuda kurutulan domates numunesine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi	52
Şekil 6.7. Sıcaklıkla likopen miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu).....	53
Şekil 6.8. Sıcaklıkla β -karoten miktarındaki değişim (Tepsili Kurutucu).....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Domatesin Bileşimi.....	3
Çizelge 2.2. Domatesin Bileşimi.....	4
Çizelge 2.3. Türkiye’de Domates Üretiminin Bölgelere Göre Dağılımı	5
Çizelge 2.4. Dünyadaki Domatesin Ekimi, Üretim ve Verim Değerleri	6
Çizelge 2.5. Yıllara Göre Yaş Sebze Üretimi.....	7
Çizelge 2.6. Yıllara Göre Domates Üretimi.....	8
Çizelge 3.1. Likopen Kaynakları.....	25
Çizelge 3.2. Domates ürünlerindeki Likopen kayıpları.....	26
Çizelge 5.1. Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller.....	43
Çizelge 6.1. Farklı sıcaklıkta kurutulan domatesin kuruma hızlarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel modeller ve model parametreleri.....	49
Çizelge 6.2. Difzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi.....	50
Çizelge 6.3. Farklı Kurutucular için Askorbik Asit Miktarları.....	54

1.GİRİŞ

Kurutma veya dehidrasyon gıda ürünlerinin korunmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ürün çeşidine bağlı olarak kurutmadan sonraki nem içeriği yaş temele göre %1-15 arasında olmaktadır. Kurutma ile olası mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalarla, istenmeyen kalite kayıpları önlenmektedir. Gerçekten bu işlem doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Kurutma yöntemleri arasında en ekonomik yöntem olmasına rağmen bahsedilen olumsuz yönleri sebebiyle güneşte kurutmanın yanında, birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler içinde, meyve ve sebzelerin kurutulmalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri sıcak havalı kurutmadır.

Kurutmanın amacı yaş üründeki serbest suyu uzaklaştırmak olup, kurutma ile üründe meydana gelen biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimini sınırlandırılmaktır. Aynı zamanda kurutma gıda maddelerinin bozulmadan uzun süre dayanmalarını sağlar. Fakat kurutma, ürünün niteliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Kurutmanın, olmaması gereken belirli reaksiyonları hızlandırması ürünün kalitesinde önemli açıdan rol oynar. Sıcaklık, hava hızı, havanın bağıl nemi gibi kurutma şartları, kurutulmuş ürünün yoğunluk, gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini, su tutma kapasitesi, rehidrasyon hızı gibi özelliklerini etkiler (Demiray, 2009).

Adı *Lycopersicum esculentum* olan domates bitkisi tek yıllık bir bitkidir. Anavatanı Güney Amerika civarında olup Meksika ve Peru'dan Avrupa'ya doğru yöneldiği bilinmektedir. Domates kelimesinin ilk olarak Aztek'ler tarafından kullanıldığı bilinmekte olup "zitomate" kelimesinden türetilmiştir. Ülkemizin domatesle tanışması ise I. Dünya Savaşı Yıllarına denk gelmektedir.

Domates en çok tüketilen sebzelerden bir tanesidir. Bunun asıl sebebi ucuz olması ve bol miktarda vitamin içermesi olup, kendine özgü tat ve aromasıyla dünyanın birçok ülkesinde en çok tüketilen sebzedir. Turfanda olarak da yetiştirilen domatesin hemen her mevsimde bulunması önemli bir avantajdır. Domatesin taze olarak tüketilmesinin yanı sıra farklı şekilde oluşturulan türevleri de çok miktarda kullanılmaktadır. Salça, sos, ketçap, domates suyu, domates püresi, dilim domates, soyulmuş domates, domates konservesi, küp şeklinde domates

başlıcalarıdır (Uylaşer, 1996). Uzun süreli muhafaza etmek amacıyla oluşturulmuş şekli ise kurutulmuş domatestir. Son yıllarda da ekonomik önem kazanan kurutulmuş domates fazlaca yaygınlaşmıştır. Kurutulmuş domates payı ise 30 bin ton civarındadır. Domatesin kimyasal bileşimi; %6.5 kuru madde, %1.1 protein, %4.2 karbonhidrat, % 0.5 selüloz, % 0.5 kül olarak verilmiştir (Anonim, 2007).

Dünyadaki belirli gelişmiş ülkeler bu duruma gelmek için gereken kaynağı tarımdan sağlamışlardır. Ülkemiz 2004 yılı verilerine göre domates üretim alanı açısından dünyada 3.sırada gelmektedir. Üretim miktarı açısından bakıldığında dünyada Çin ve ABD'nin ardından yine 3.sırada yer almaktayız (WEB-1).



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Domatesin Yapısı

10-15 cm boya sahip olan domates bitkisinin hafif odunsu bir gövdesi vardır. 10-25 cm uzunluğunda olan yapraklarının üzerinde 5-9 yaprakçık bulunur. Yaprakları tüylüdür. 1-2 cm uzunluğunda ve genellikle sarı olan domates çiçekleri bir sap üzerinde 3-12 adettir. Genellikle kırmızı, yenilebilen meyvesi yabani bitkilerde 1-2 cm çapında iken kültür bitkilerinin daha büyüktür.

2.2. Domatesin Bileşimi

Domates yapısında provitamin (beta-karoten) (% 0,3-2,1), Vitamin V (%10-30), B ve E grubu Vitaminleri, Likopen, Pektin (1,3-2,5) içerir. Artan olgunlukla taze meyvedeki pektin miktarı azalır. Domates ayrıca organik asitler de (sitrik asit, malik asit) bulunur. Az miktarda da olgunlaşmamış meyvede beslenme fizyolojisi bakımından sakıncalı olabilecek olan solanin vardır (Ayan, 2010).

Çizelge 2.1. Domatesin Bileşimi (100 gr) (Carfi, 1993)

Bileşim Ögesi	Birimi	Miktarı
Su	g	93-95
Protein	g	0.7-1
Ham Selüloz	g	0.5-0.75
Karbonhidrat	g	3-4.2
Kül	g	0.5-0.6
Kalsiyum (Ca)	mg	10-20
Demir (Fe)	mg	0.4-0.6
Magnezyum (Mg)	mg	15-20
Fosfor (P)	mg	20-30
Potasyum (K)	mg	250-300
Sodyum (Na)	mg	3-10
C Vitamini	mg	20-30
Tiamin	mg	0.020-0.080
Riboflavin	mg	0.030-0.085

A Vitamini	IU	540-2300
------------	----	----------

Çizelge 2.2. Domatesin Bileşimi

Birim Ögesi	Birimi	Min-Max	Ortalama
Kuru Madde	%	4.80-6.60	5.80
Titrasyon Asitliği	% SSA	0.26-0.55	0.29
Sitrik Asit	“	1.92-4.74	3.33
Malik Asit	“	0.60-2.08	0.87
İndirgen Şeker	“	1.66-3.99	3.00
Glikoz	“	0.79-1.90	1.49
Früktoz	“	1.15-2.59	1.90
Ham Yağ	“	0.20-0.30	0.21
Mangan	mg/kg	0.40-2.50	1.40
Çinko	“	0.00-1.40	0.70
Niasin	“	3.00-8.50	5.30
Pantoteknik Asit	“	2.80-3.40	3.10
B6 Vitamin	“	3.74-1.50	1.00
Folik Asit	“	0.07-0.09	0.08

2.3. Domatesin Sağlık Üzerine Etkisi

En popüler sebzelerden biri olan domates, aynı zamanda fazla miktarda antioksidan içeriğiyle en sağlıklı gıdalar arasında yer almaktadır. Domatesin sağlığa faydaları, sebzeye kırmızı rengi veren ve güçlü bir antioksidan olan “likopen” bileşeninden kaynaklanmaktadır. Bunun aynı sıra yüksek oranda C vitamini, beta-karoten ve E vitamini içeren domates, kalp ve damar sağlığını korumak, kemikleri desteklemek ve kanseri önlemek için tavsiye edilen gıdalar arasında ilk sıralarda gelmektedir (Rao, 2002; Rao, 2007).

Yapılan araştırmaların çoğu domatesin kanser türlerinin ve kardiyovasküler hastalıkları engelleme yeteneği olduğunu göstermektedir. Özellikle bünyesinde bulunan likopen, karotenoidler ve flavanoidler gibi antioksidan maddelerin koruyucu etkisi saptanmıştır. En çok epitel kanserlerine ve diğer hastalıklara karşı koruyucu etkisi vardır. Likopen, kanser riskini azaltmak için insanlarda serbest radikallere karşı bir “scavenger (radikal uzaklaştırma)” olarak rol oynamaktadır (Muratore vd, 2008). Domatesin özelliklerine bakıldığında domatesin sağlık üzerine olumlu etkisinin önemli derecede karotenoid içeriğinden kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Domates ve domates ürünlerinin sağlık üzerine olumlu etkisinin önemli derecede karotenoid içeriğinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Abustiha vd., 2000). Ayrıca askorbik asit, flavonoidler ve E vitamini gibi antioksidan bileşenlerden kaynaklandığı da bilinmektedir. Domateste bulunan başlıca antioksidanlar için karotenoidler, askorbik asit ve fenolik bileşikler olarak belirtilmektedir (Rao, 1999).

Domatesin yapısında bulunan bu bileşiklerin birbirleri üzerine sinerjistik etkilerinin sağlık için faydalarının önemli olduğu düşünülmektedir.

Yapılan diğer çalışmalarda domates ve domates ürünleri tüketiminin bazı kronik hastalıkları (Rao, 2004), alkol tüketimine bağlı karaciğer hasarını ve yaşa bağlı dejenerasyonu önlediği belirtilmiştir (Tapiero vd., 2004).

2.4. Domates Üretimi

Türkiye, dünyanın önemli sebze üreticisi ülkelerinden bir tanesidir. 2005 yılı toplam yaş sebze üretimi yaklaşık 24 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Sebze üretiminde 8 milyon ton ile domates ilk sırada yer almış, bu ürünü 4.1 milyon tonluk üretimle patates ve 1.83 milyon tonluk üretimle biber izlemiştir.

Domates, 90 – 150 günlük vejetasyon dönemiyle hızlı gelişen bir bitkidir. Optimum gelişme için günlük ortalama sıcaklık değeri ise 10°C – 20°C arasındadır. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkının fazla olması, verimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu iklim koşullarına göre Türkiye’de domates üretiminin bölgelere göre dağılımı Çizelge 2.3’deki gibidir. Karşılaştırma açısından dünyadaki domates üretimi Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye’de Domates Üretiminin Bölgelere Göre Dağılımı (WEB-1)

Bölgeler	Dağılım Oranı (%)
Akdeniz Bölgesi	84.64
Doğu Anadolu Bölgesi	0.09
Ege Bölgesi	13.93
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	0.05
İç Anadolu Bölgesi	0.84
Karadeniz Bölgesi	0.41
Marmara Bölgesi	0.04

Çizelge 2.4. Dünyadaki Domatesin Ekimi, Üretim ve Verim Değerleri (WEB-1)

Ülkeler	Ekim Alanı (ha)	Üretim (t)	Verim (t/ha)
Çin	1.255.103	30.142.040	24.02
Hindistan	540.000	7.600.000	14.07
Türkiye	220.000	8.000.000	36.36
Mısır	191.000	6.780.000	35.50
ABD	176.000	12.400.000	70.45
Rusya	155.000	2.090.000	13.48
İtalya	130.000	6.500.000	50.00
Nijerya	127.000	889.000	7.00
İran	115.000	3.150.000	27.39
Ukrayna	100.000	1.000.000	10.00
İspanya	69.600	3.900.000	56.03
Dünya	4.397.873	115.950.851	26.36

Ülkemiz, tüm dünyada domates üreten ülkeler içinde ilk sıralarda yer almaktadır. Yaklaşık 10 milyon tonu aşan bir miktar ile başlıca Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaygın olarak üretilmektedir. Domates bitkisinin farklı çeşitlerde üretimi yapılmaktadır. Mesela, Marmara bölgesinde sanayi tipi, Akdeniz bölgesinde ise örtü altı domates yetiştiriciliği yaygındır. Ege bölgesinde ise her iki usulde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin adı geçen üç bölgesi toplam domates üretiminin dörtte üçünü gerçekleştirmektedir. Domates üretimi mevsim bazında yetiştirme yönünden farklılık göstermektedir. Mesela Mayıs-Ekim ayları arasında tarlada üretim gerçekleşirken, kışın Ekim-Haziran ayları arasında serada yapılmaktadır. Dünyanın toplam domates üretimini % 8.6'sı ülkemiz tarafından karşılanmaktadır.

Ülkemiz sadece yaş sebzelerden domates değil, diğer sebze üreticiliğinde de ilk sıralarda yer almakta olup, 2007 yılı toplam yaş sebze üretimi 28 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2.5). Ülkemizde üretilen sebzelerin en önemlisi domates olup, ardından patates, biber ve salatalık takip etmektedir.

Çizelge 2.5. Yıllara Göre Yaş Sebze Üretimi (1.000 ton) (TÜİK)

Sebze	2003	2004	2005	2006	2007
Domates	9.820	9.440	10.050	9.855	9.945
Patates	5.300	4.800	4.060	4.366	4.227
Biber	1.790	1.700	1.829	1.842	1.759
Salatalık	1.780	1.725	1.745	1.800	1.675
Patlıcan	935	900	930	924	864
Lahana	721	700	675	687	648
Fasulye	545	582	555	564	520
Havuç	405	438	388	395	642
Pırasa	305	295	326	320	256
Ispanak	223	213	238	242	236
Soğan	220	207	203	201	185
Turp	173	171	170	169	156
Bezelye	54	58	122	90	88
Karnabahar	108	110	117	136	135
Maydanoz	45	47	57	53	49
Barbunya	52	54	54	56	58
Bakla	44	49	49	49	43
Bamya	36	43	36	37	37
Enginar	28	30	36	35	34
Sarımsak	27	25	27	27	24
Kereviz	17	18	23	18	17
Nane	6	7	8	10	9
Toplam	24.019	23.162	24.226	28.384	27.970

Çizelge 2.6. Yıllara Göre Domates Üretimi (TUIK)

Yıl	Miktarı
1988	5.250.000
1989	5.750.000
1990	6.000.000
1991	6.200.000
1992	6.453.000
1993	6.150.000
1994	6.350.000
1995	7.250.000
1996	7.800.000
1997	6.600.000
1998	8.290.000
1999	8.956.000
2000	8.893.000
2001	8.425.000
2002	9.450.000
2003	9.823.000
2004	9.440.000
2005	10.050.000
2006	9.854.877
2007	9.945.045
2008	10.985.355
2009	10.745.572

2.5. Kurutulmuş Domates Üretimi

Türkiye’de kurutulmuş domates ihracatı 1990 ların başında başlamıştır. 2000’li yıllarda ise büyük talep görmüş olup, 2000 yılında 4275 tona ulaşmıştır. Kurutulmuş ürünlerin en popülerlerinden birisi ise domatestir. Kurutulmuş domatesin kurutulmuş sebze ihtiyacının yaklaşık %68’ini oluşturduğu bilinmektedir. Türkiye 27 ülkeye kuru domates ihraç etmektedir. Sırasıyla ilk üç ülke, ABD, İtalya ve İngiltere’dir.

Kurutulmuş sebzeler genel olarak güneşte kurutma yöntemiyle kurutulur. Fakat zamanla gelişen hayat şartları ve modern yaşama uyum sağlaması açısından modern kurutma yöntemleri büyük önem kazanmaktadır.

Kurutulmuş sebzeler genel olarak, hazır çorbalar soslar, hazır yemekler, bebek mamaları, çeşitli et, balık ve süt ürünleri gibi çok farklı ürünlerde kullanım alanı bulunmaktadır.



3. GIDALARIN KURUTULMASI

3.1. Gıda Kurutma Tarihçesi

Gıda kurutma, gıdaların korunmasında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Eski zamanlarda gıda muhafaza amaçlı birçok yöntemin kullanıldığı bilinmektedir. Her yörede kullanılan bu yöntem, bulundukları bölgede yetiştirilen ürünlere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Akdenizli balıkçılar avladıkları balıkları güneş altında kurutup, mevsimi dışında tüketime sunmaktadır. Eski Mısır'da kazılar sonucunda kurutulmuş buğday tanelerine rastlanılmıştır. Aynı şekilde Çinlilerin eski zamanlardan beri çay yapraklarını kuruttukları bilinmektedir. Bunlar gibi birçok örnek daha sıralanabilir.

Özellikle incir, üzüm, et ve balık güneş ya da rüzgar altında kurutulan ürünlerin başında gelir. Bunun yanı sıra Mısır'da etin tuzlanarak, balığın da ikiye bölünerek kurutulduğu da bilinmektedir. İlk çağlardan bu yana ürünü muhafaza etmek amaçlı dört ana yöntemin varlığını söylenebilir. Bunlar kurutma, dumanlama, tuzlama ve turşu yapmaktır (Yılmaz, 2000).

Gıda kurutmaya sebep olan temel amaç belirli ihtiyaçlar ve zorunluluk durumlarıdır. Uzun süren deniz seyahatleri, savaşlar, keşif zamanları gibi şartlar kurutmanın doğmasına neden olmuştur. Kolomb'un yeni keşifler için çıktığı yolculuklarda erzak olarak kurutulmuş gıdalar aldığı eski metinlerde yazılıdır (Dadalı, 2007).

Savaşlarda gıdaların uzun süreli muhafazasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu ciddi ihtiyaçtan doğan sanayi ürünleri son yıllarda önem kazanmıştır. Bununla alakalı olarak ilk fırınların Fransızlar tarafından yapıldığı bilinmektedir. Bu sayede sebze ve meyvelerin endüstriyel boyutta kurutulmasının ilk adımı atılmıştır. Özellikle savaş zamanlarında yiyeceklerin cephelere taşınması esnasında hafif olması ve uzun süre saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Kurutmanın tarihçesine bakıldığında 1800-1900 yıllar arasında önemli bir dönüm noktasıdır. En ilkel kurutma yöntemi olan güneşte kurutma metodunun yerini alabilecek püskürtmeli kurutucular ise II. Dünya Savaşı'ndan önce geliştirilmiştir. Püskürtmeli kurutucular yaygın olarak süt ve süt ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Güneş ve rüzgarın etkisiyle en

çok kullanılan kurutma yöntemleri gitgide modernize olarak ve daha fazla önem kazanarak kullanılmaya devam edilmektedir. Kurutma yapmanın temel amacı gıdaları uzun süre muhafaza etmenin yanı sıra gıda ürünlerinin ağırlık ve hacimsel azalmalarına paralel olarak, taşıma, depolama, paketleme maliyetlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çözünebilir kahve, çay, patates püresi gibi tüketime hazır gıdaların üretimini de kurutma teknolojisiyle başarmak mümkündür (Hatipoğlu, 2002).

Lutz (1987), meyve ve sebzelerin kurutulması esnasında sadece güneşten faydalanmayıp, sisteme fan, güneşli hava ısıtıcısı ve tünel tip bir kurutucudan faydalanmışlardır. Bitki kurutmada, özellikle tıbbi bitkilerin kurutulmasına yönelik çok yönlü çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalara yönelik plastik güneşli bir hava ısıtıcısı ve kurutucu kullanılarak farklı ürünlerin nem içeriklerindeki farklılık, kurutmanın süresi, enerji tüketimi ve ürünün kalitesi belirlenmelidir (Yılmaz, 2000).

Yapılan çalışmalardan birisi de güneşli tünel kurutucularda patates, bamya, domates, soğan, üzüm ve fesleğenin kurutulmasına yöneliktir (Yılmaz, 2000).

Kurutma sistemi tasarımı üzerine de çalışmalar mevcuttur. Sharma vd. (1993) de güneş kollektörü, kurutma odası ve borular kullanmıştır. Sistemin üç yıl boyunca yağmur, kar ve güneş ışıklarına dayanıklı olacağı ve maliyetinin küçük çiftçiler için uygun olacağı belirtilmiştir. (Yılmaz, 2000)

Günümüzde ise değişik kurutma sistemlerinde, kurutma amacıyla kullanılacak havanın ısıtılması için güneş enerjisinden yararlanma yollarına başvurulmuştur. Bunun yanı sıra kurutulacak ürünleri güneş ışınlarına maruz bırakarak kurutmayı sağlayan kurutucular üzerinde de halen çalışılmaktadır. Bununla ilgili ilk çalışmayı İsmailova (1957) yapmıştır. Çalışma üzeri cam ile kaplı bir dolabın içerisindeki meyve ve sebzeleri kurutmaya yöneliktir. Kurutmanın 4 temel amacı şu şekilde sıralanabilir;

- Farklı ürünler kullanılarak en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi
- Kurutma süresinin kısaltılması için gereken çalışmalar
- Kurutucu tiplerinin geliştirilmesi
- Kurutucu tasarımında şart olan verilerin elde edilmesi

3.2. Gıda Kurutma Yöntemleri

3.2.1. Doğal Kurutma

Bilinen en eski kurutma yöntemi güneşte kurutmadır. Güneş ısısından faydalanılarak ürünün bileşimindeki su oranının azaltılması için uygulanan yöntem doğal kurutma denir. İklim koşullarının elverişli olduğu yerlerde, yüksek miktarlarda enerji maliyeti gerekmeden güneş ısısından yararlanılarak yüksek kalitede kurutma ürünü elde edilebilmektedir.

Doğal kurutma yönteminde en önemli parametre sıcaklıktır. Ürünün içinde bulunan su, ürün deforme olmadan sıcaklık etkisiyle dışarı alınarak kurutma havasına aktarılabilir. Ürün kalitesini korumak amacıyla kurutma esnasında branda, temiz bez ya da naylon serilerek beton kirliliğinden korunabilir.

Domatesin su miktarı fazla olması nedeniyle kurutma yöntemi olarak en tercih edilen yöntem doğal kurutmadır. Yapay kurutmanın ürünümüz için maliyeti yükselteceği tahmin edilmektedir.

Her gıda için doğal kurutma yöntemi tavsiye edilmez. Kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, böcek, kuş ve benzeri hayvanların gıdaya verecekleri zarar dezavantajlardır. Bunun yanı sıra gıda kurutmada özellikle doğal kurutma yönteminde başka bir dezavantaj ise geniş yerlere gereksinim olduğudur. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kurutma işlemi uzun sürmektedir. Su oranı % 15 in altına inmemektedir. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun değildir (Soysal, 2004).



Şekil 3.1. Doğal Kurutma Yöntemiyle Kurutulan Domatesler

3.2.2. Yapay Kurutma

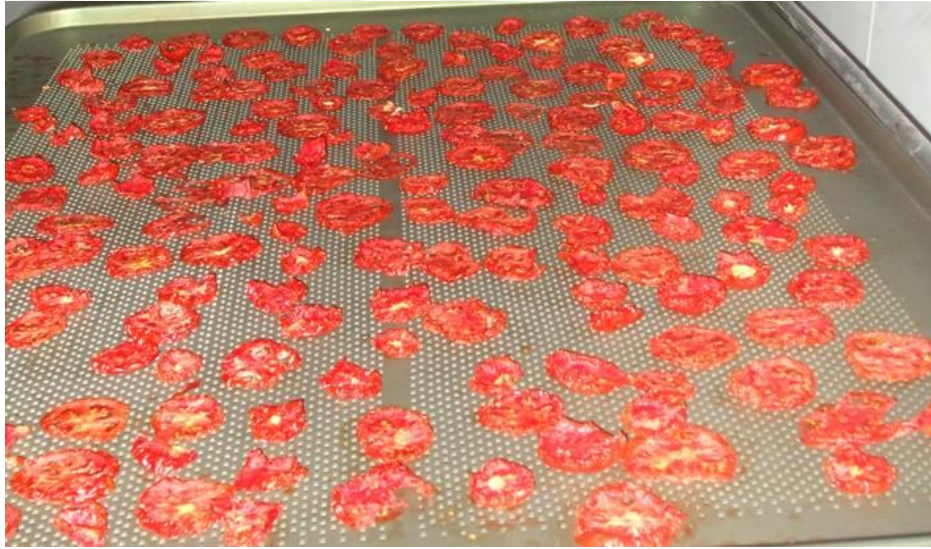
Kurutma işleminin muhafaza edilebilir bir alanda aynı zamanda kontrollü koşullarda yapılmasına yapay kurutma denir. Yapay kurutmada suyun tamamının veya tamamına yakın bir kısmını üründen uzaklaştırmak mümkündür. Kurutulan üründeki önemli ölçüt, gıdanın rehidrasyonu halinde ilk durumlarına yakın bir hal almasıdır. Yapay kurutmanın avantajları daha kısa sürede tamamlanması, daha temiz ve kaliteli ürün eldesi, su miktarını istediğimiz ölçüde azaltma, vitamin kayıpları daha az olması gibi ciddi avantajları vardır. Bunun yanı sıra dezavantajlarından en önemlisi yapay kurutma işleminin maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Son yıllarda bu maliyeti düşürücü çalışmalar yapılmaktadır. Kurutma havasının ısıtmasından sanayi tesislerinin veya enerji santrallerinin atık ısılarının kullanılması, güneş enerjisinin kullanılması; jeotermal kaynakların kullanılması gibi yollar bu maliyeti ciddi oranda düşürecektir. Yapay kurutma yöntemini de kendi içinde üç farklı başlığa ayırmak mümkündür. Bunlar “konveksiyon kurutma”, “kontakt kurutma” ve “radyasyonla kurutma”dır (Cemeroğlu, 2003).

Konveksiyon ile kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarı, çoğunlukla bir hava tarafından taşınır. Sıcak hava kurutulacak ürünün içinden, üzerinden ve arasında geçilerek kurutma yapılır. Bu yöntemin birçok uygulama çeşidi vardır. Kabin kurutucular, tepsili

kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürtmeli kurutucular bu yöntemin bazı farklı uygulamalarıdır (Cemeroğlu, 2003).

Kontakt kurutma yönteminde evaporasyon için gerekli ısı kondüksiyonla taşınır. Bu işlemde kurutulacak ürün hareketsizdir veya hareket esnasında temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Bu yöntemin çeşitli uygulamaları olup, en yaygın kullanılan valsli (silindirik) kurutuculardır (Cemeroğlu, 2003).

Radyasyondan yararlanılan kurutma yönteminde ise, kurutulacak ürüne ısı veya herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek olmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile kurutma yapılmaktadır. Bu yöntemde de çeşitli uygulamalar mevcuttur. Bunlardan bazıları, mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi uygulamalardır (Cemeroğlu, 2003).

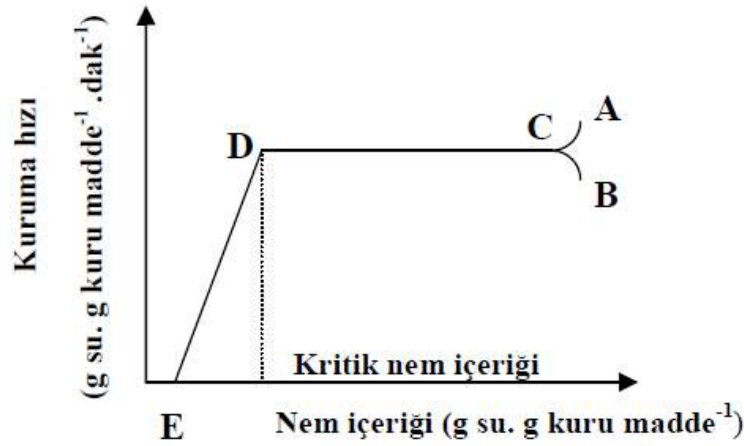


şekil 3.2. Yapay Kurutma Yöntemiyle Kurutulan Domatesler

3.3. Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları

Pek çok gıdanın farklı koşullarda kurutulmaları sonucunda elde edilen kuruma eğrileri farklı olmakla birlikte genelde gıdaların kurutulması sırasında, iki farklı kuruma periyodu gözlemlenir. En başta kurumanın yüksek bir hızda gerçekleştiği ve nemin büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, daha sonra ise; su içeriğinin artık azalmış olmasından

dolayı hızın yavaşladığı ve nispeten daha az suyun buharlaştırıldığı, uzun süre alan azalan hız periyodu gözlemlenir (Baker, 1997).



Şekil 3.3. Gıdaların Kuruma Eğrisi (Baker, 1997)

Şekil 3.3’de gösterildiği gibi; gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik bir eğride, CD arasındaki kısım sabit hız ile kurumanın olduğu, DE arasındaki kısım ise azalan hızda kurumanın olduğu aralıklardır. Grafikte gösterilen AC arası gıdanın kurutma işlemine başlarken sıcak olması durumunda gerçekleşir. BC arasındaki bölüm ise, gıdanın kurutma işlemine başlandığında soğuk olması durumunda elde edilen eğridir. C noktasında sistem artık dengeye gelir ve kurutma işlemi kararlı halde devam eder (Toledo, 1991).

3.3.1. Sabit Hızda Kuruma Periyodu

Sabit hızda kuruma periyodunda, katının yüzeyi ıslaktır ve kuruma yüzeyinde suyun ısıtma ortamına transferini sağlamak için bir film tabaka oluşmuştur. Gıdanın bünyesinde bulunan serbest haldeki su, bu film tabakası sayesinde yüzeyden havaya transfer edilir. Bu periyotta buharlaşma hızı, katıdan bağımsız ve aynı koşullardaki serbest haldeki suyun, buharlaşma hızı ile aynı değerdedir (Baker, 1997).

Eğer gıdanın yapısı gözenekli bir yapıya sahip ise, sabit hızda kuruma periyodunda buharlaştırılan suyun büyük bir bölümü iç kısımlarda bulunan bünye nemidir. Sabit hızda kuruma periyodunda, kuruma hızı; kurutulan gıdanın dilim kalınlığına, sıcaklığa, toplam basınca ve kısmi buhar basıncına bağlı olarak değişir (Toledo, 1991; Baker, 1997).

3.3.2. Azalan Hızda Kuruma Periyodu

Gıdaların kurutulması sırasında kritik nem içeriğine gelindikten sonra sabit hızda kuruma periyodundan azalan hızda kuruma periyoduna geçilir. Kritik nem içeriği yüzeyde artık suyun hiç kalmadığı andaki nem içeriği değeridir. Her bir gıdanın kritik nem içeriği değeri farklıdır. Bu noktadan sonra, gıdanın yüzeyi artık kurudur ve bu yüzden gıdanın iç kısımlarında bulunan su, buhar olarak yüzeye taşınır ve gıdadan uzaklaştırılır. Bu periyotta gıdanın nem kaybı az olmasına rağmen sabit hızda kuruma periyodundan daha uzun sürer. Bunun nedeni, gıdanın içerisindeki suyun azalmış olmasıdır. Azalan hızda kuruma periyodunda kuruma hızı devamlı düşme gösterir. Azalan hızda kuruma periyodunda kütle transferi çözümü zor bir mekanizma olmasına rağmen, etkin tek fiziksel olayın difüzyon olduğu kabul edilir (Abe ve Afzal, 1997). Difüzyon teorisi ile kütle transferi açıklanırken işlemlerde kolaylık açısından bazı varsayımlar yapmak gerekir (Crank, 1975).

Bunlar;

- Gıdanın içinde bulunan nem, gıdanın her yerine eşit olarak dağılmıştır,
- Kütle transferi gıdanın merkezine göre simetriktr,
- Kütle transferine yüzey direncinin etkisi, iç dirence göre çok az olduğundan ihmal edilebilir,
- Kütle transferi sadece difüzyonla gerçekleşir,
- Difüzyon katsayısı sabittir ve gıda yüzeyindeki büzüşme ihmal edilebilir.

3.4. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Gıdalar kuruma esnasında birçok faktörden etkilenmektedir. Bazıları doğrudan bazıları da dolaylı olarak etki etmektedir. Bunlar başlıca; sıcaklık derecesi, havanın nemi, havanın kurutucudaki hızı, yüzey alanı gibi fiziksel faktörler olarak sınıflandırılır (Krokida vd., 2003).

3.4.1. Sıcaklık

Gıdaların kuruması esnasında, kuruma hızını etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. Sıcaklık derecesi arttıkça difüzyon hızı artmaktadır. Bununla ilişkili olarak kuruma hızı yükselir ve kurutma süresi kısalmır. Yüksek sıcaklıkta gıda ürününün kurutulmasının belirli avantajları vardır. Bunlar yüksek sıcaklıkta havanın nem tutma oranının yüksek olması ve yüksek buhar basıncı sağlanmasıdır. Bu şekilde hızlı kurutma işlemi gerçekleşir. Isı kayıpları minimal seviyeye indirilmiş olur ve gıdanın erişeceği denge nem içeriği yükselir (Dadalı, 2007).

Yüksek sıcaklıkta kurutma işlemi yapmanın avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. İnce tabakalı gıdaların kuruması esnasında yüksek sıcaklıklarda yanma ve besin değerlerinde ciddi kayıplar gözlenebilir (Pratt, 1974).

3.4.2. Kurutma Havaının Hızı

Kurutma havaının hızı oldukça önemli bir parametredir. Kurutma havaını gıdadan absorplayabileceği nem miktarı sınırlı ölçüdedir. Düşük hava hızlarında ürünün yüzeyinden absorplanan nem, kurutma havaının hızlıca doymuş hale gelmesini sağlar ve hava debisi düşük olduğundan doymuş halde olmayan kurutma havasıyla yer değiştirmesi zaman alır ve bu yüzden kurutma işlemi uzun sürer (Demiray, 2009). Fakat yüksek kurutma havası hızında, doymuş havanın doymuş halde olmayan kurutma havasıyla yer değiştirmesi daha çabuk olacağından kurutma işlemlerinde yüksek kurutma havası hızı tercih sebebidir (Dadalı, 2007).

Kurutma esnasında kurutulan ürünün etrafında bir film tabakası oluşur. Bu durumun önlenmesi halinde kuruma hızında artma görülür. Çünkü su çok daha çabuk buharlaşacaktır. Fakat havanın olumlu etkisi, kurutmanın bulunduğu periyoda göre değişir. Kurutma işleminin ilk dakikalarında hava hızı çok etkilidir. Ancak kurutma işleminin sonlarına doğru alt tabakadaki suyun yüzeye taşınması ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda çokta fazla bir etkisi bulunmadığı belirtilmektedir.

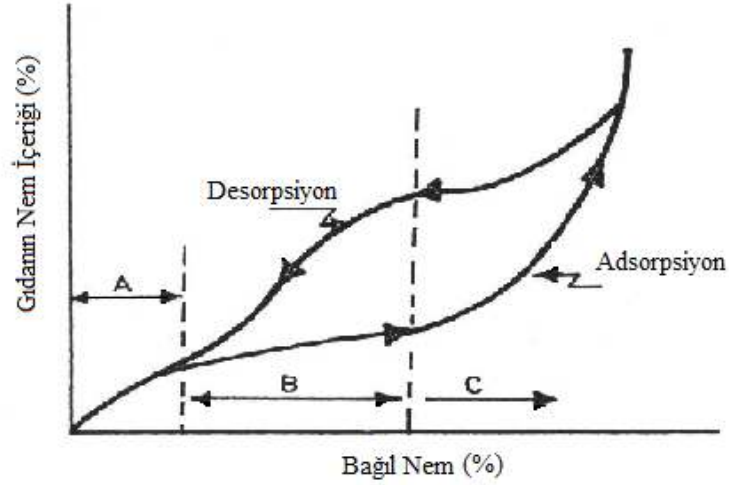
3.4.3. Kurutulan Ürünün Yüzey Alanı

Kurutulacak olan ürünün yüzey alanı, ısı ve kütle transferiyle direkt bağlantılıdır. Daha geniş bir yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için ürünün yüzey alanını büyütme gerekir. Bu amaçla kurutulacak maddeyi küçük parçalara ya da ince dilimlere parçalamak gerekebilir. Bu şekilde suyun uzaklaşacağı alan artırılmış olur. Aşırı ince dilimlenmiş ya da küçük dilimler haline getirilmiş ürün de dezavantajı olabilir. Çünkü bu şekilde de ürün yanabilir. Bu açıdan optimum kalınlık tespit edilmelidir (Heldman ve Hartel, 1997).

3.4.4. Ortamın Nem İçeriği

Kurutulacak olan ürünün içerisinde barındırdığı nem miktarı, ortamda bulunmakta olan su buharı miktarına göre değişmektedir. Kurutulacak olan ürünün içinde bulunduğu havanın nem

miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesiyle maddenin içerdiği nem miktarının değişikliğini belirten eğrilere sorbsiyon izotermi adı verilmektedir (Anonim, 2004). Maddenin nem alması olayına adsorpsiyon, nemini kaybetmesine ise desorpsiyon denir. Kurutulan gıdalardaki nem miktarının havanın bağıl nemine bağılı olarak değişimi Şekil 3.4'te verilmiştir (Cemeroğlu, 2003).



Şekil 3.4. Kurutulan Gıdanın Nem İçeriğinin Bağıl Nem ile İlişkisi (Cemeroğlu, 2003)

Desorpsiyonun, adsorpsiyonla aynı yolu izlemeyip, bir bombe yaparak farklı bir yoldan gitmesine histeriks olayı denir.

Desorpsiyon histeriksi genel olarak tek moleküllü su katmanının başlangıcında sona ermektedir. A bölgesinde su, ürünün yüzeyinde tek bir molekül suyu sıkı bir şekilde tutunmaktadır. Bu açıdan suyun uzaklaştırılması oldukça zordur. B bölgesinde ise su molekülleri, A bölgesine göre daha gevşektir. C bölgesinde ise su serbesttir (Cemeroğlu, 2003)

Adsorpsiyon izotermi, grafiğin sol kısmı ve yüksek bir eğilimi ile gelişen gıdalar higroskopik nitelikli gıdalardır. Grafiğin sağ kısmı ve az bir eğimle gelişen adsorpsiyon veren gıdalar ise, higroskopik değildirler ve bu yüzden neme az duyarlıdır (Cemeroğlu, 2003).

3.4.5. Kurutulan Gıdada Meydana Gelen Değişimler

Gıdaların kurutulması sırasında; fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimler meydana gelebilmektedir. Bu değişimler esnasında kurutulacak gıdada vitamin değerlerinin düşmesi, kalite kayıplarının meydana gelmesi gibi olumsuz gelişmeler görülebilmektedir. Bunların oluşmasındaki temel sebepler kurutma esnasında meydana gelen ve iyi olmayan kurutma koşullarıdır.

3.4.5.1. Fiziksel Değişimler

Kurutma koşullarının tam ayarlanmadan kuruma işleminin başlatılması sonucu fiziksel değişimler görülebilir. Kuruma işlemi çok yüksek sıcaklıklarda başladığında gıdanın çevresinde büzüşme meydana gelir. Kuru tabaka şeklinde oluşan büzüşme alt tabakalara baskı yapar. Fakat alt tabakalarda kuruma başlamamış olduğundan halen ıslaktır ve bu ıslaklık kurumaya karşı direnç gösterecektir. Bu olay sonucunda kuruma işlemi sonucu büzüşme olanağı bulamayan üst tabaka gerilip sert bir tabaka haline dönüşür. Böylece oluşan sert kabuk tabaka, kuruma işleminin ileri safhalarında, alt tabakalar kurusa ve büzüşse dahi bir daha değişmez. Kabuk bağlama sonucunda kuruma hızı aniden düşer. Kurutma koşullarının uygun olarak ayarlanması sonucunda kabuk bağlamanın önüne geçilebilir (İzgi, 2012).

Kurutulmuş gıdanın rehidrasyon yeteneği, her ne kadar fiziksel olay gibi görünse de, kuruma sıradaki değişimlerin belirli özellikleri kimyasal, fiziko-kimyasal ve fiziksel olarak açıklanması da mümkündür. Nitekim kurutma koşullarına bağlı olarak buruşma ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapiler yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz etkileyen fiziksel faktörlerdir.

Bu özelliklerin yanı sıra rehidrasyon yeteneği özellikle kimyasal ve fiziko-kimyasal nedenlerle etkilenmektedir. Kurutma işleminde kullanılan ısı, gıdadaki hücrede bulunan tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak proteinlerin denatüre olmasına sebep olur. Bu proteinler suyu tekrar absorbe etme ve bağlama gibi özelliklerini kaybetmiş olurlar. Bu sebeple nişasta gibi gıdalar daha az hidrofilik özellik kazanır. Bu hücrelerin eskisi gibi hücre duvarı esnek olmaz (İzgi, 2012).

Rehidrasyon yeteneğini etkileyen faktörler, suyun sıcaklığı ve süredir. Rehidrasyonda sadece yeterli miktarda su kullanılarak belirli kayıplar azaltılabilir (Cemeroğlu, 2003).

3.4.5.2. Kimyasal Değişimler

Kimyasal değişiklikler kurutulacak gıdanın esmerleşmesi ile alakalıdır. Kurutulacak gıdanın esmerleşmesi, gıdanın besin değerlerinin, tadının, renginin ve görünümünün değişmesine sebep olur. Kurutulacak gıdanın renginin değişmesi istenmeyen bir durumdur. Bu tüketici için caydırıcı olabilmektedir. Esmerleşme reaksiyonunun hızı belirli faktörlere bağlıdır. Bunlar; kuruma hızı, pH, nem içeriği, süre ve gıdanın bileşimidir. Reaksiyon hızı yüksek sıcaklıkta kurutma sırasında ve yüksek şeker içeriği olan gıdalarda daha fazladır (Maskan, 2001).

Kurutulacak gıdanın esmerleşmesi; kurutma öncesinde, kurutma esnasında ve depolama sürecinde oluşabilir. Esmerleşme; enzimatik ve enzimatik olmayan tepkimelerin ardından oluşmaktadır. Sıcaklık arttıkça ve konsantrasyon yükseldikçe esmerleşme tepkimeleri hızlanmaktadır.

Nem miktarı eğer %2' nin altında olursa, esmerleşme tepkimesi gerçekleşmez. Şayet nem miktarı %15-20 arasında olursa Maillard tepkimesi olur. Maillard tepkimesi, hızlıca gerçekleşen esmerleşme tepkimesidir.

Maillard reaksiyonun gerçekleşmesinde şekerlerin aldehit grupları ile proteinlerin amino grupları rol oynar. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, kurutma işlemi esnasında ve depolamada ise şartlara göre belirli bir hızla devam eden sürekli olaylardır. Esmerleşme reaksiyonu sıcaklık derecesine bağlı olduğundan depolamada, sıcaklık olabildiğince düşük olmalıdır. Gerçekten depolamada her 10°C sıcaklık artışının, ürünün içerdiği su oranına bağlı olarak esmerleşme reaksiyon hızının 6-8 misli artışına neden olduğu belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2003).

Üstünde durulmayan noktalardan birisi de esmerleşme reaksiyonlarının sadece renkte kendini göstermemesidir. Kurutulacak gıdanın lezzet ve besin değerlerindeki değişimler meydana gelebilir ve ara ürün olarak karbondioksit oluşur.

Furfural (HMF) oluşumu, protein kayıpları gibi geri dönüşümsüz sonuçlar doğurabilmektedir (Gedik, 2001).

Maillard tepkimesinin oluşumu aşağıdaki gibidir.



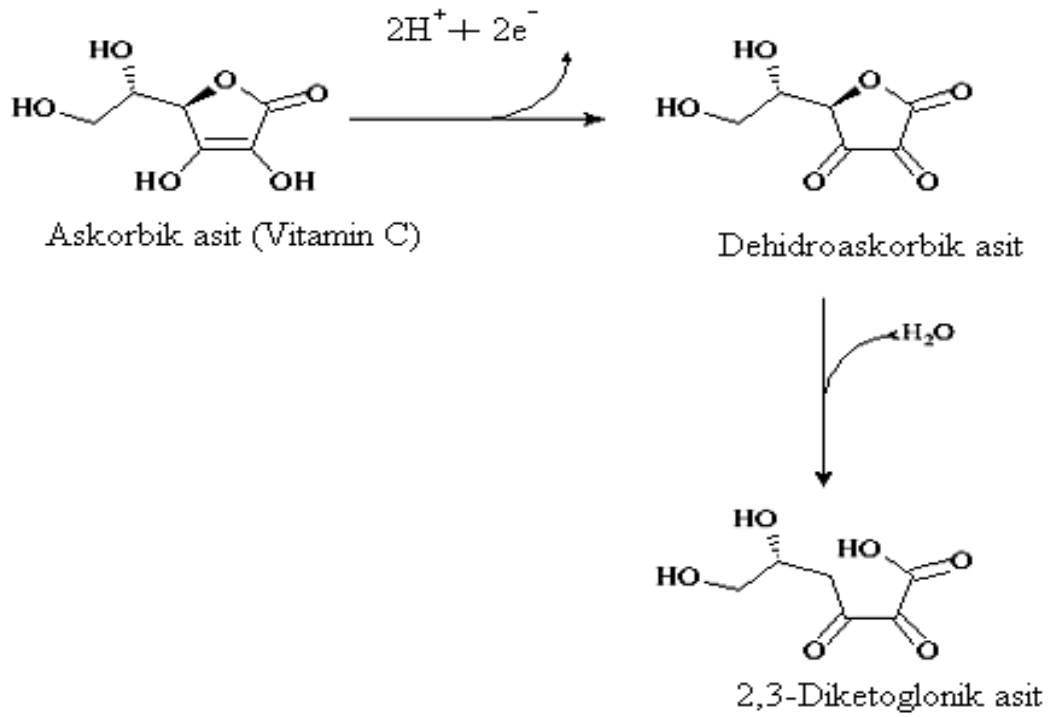
3.4.5.3. Biyokimyasal Değişimler

Kurutma işlemi esnasında su miktarı azaldıkça şeker, yağ protein ve diğer madensel maddelerin miktarı artar. Sakkaroz maddesini yapısında bulunduran gıda ürünlerinde asit miktarı artmışsa, sakkaroz da kısmi olarak inversiyona uğrar. Bu olayın sonucunda gıdanın lezzet ve yapısının da değişme gerçekleşir. İndirgen şekerlerle azotlu bileşiklerin birleşmesinin ardından kahverengi renk tonları biraz azalır. Bu olaylar kurutma süresi uzadıkça daha sık meydana gelir.

Gıdaların kurutulmasıyla özellikle gıdaların yapılarında bulunan yağda çözünebilen (A,D,E ve K Vitamini) ve suda çözünebilen (B ve C vitamini) vitaminlerin kurutma işlemi sırasında meydana gelen oksidasyon ürünleri ile tepkimeleri sonucunda vitamin miktarında azalma görülmektedir (Hernandez vd., 2006). Vitamin kayıplarını azaltmak için belli önlemler alınabilir. Örneğin, kurutma süresi kısa tutulmalı ve depolanmaları sırasındaki sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük tutulmalıdır.

Güneşte kurutulan gıdalarda, kurutma cihazlarında kurutulan gıdalara göre kayıplar daha çok olur. Vitamin kayıpları kurutma işlemi bittikten sonra da devam etmektedir. Özellikle nemi ve kükürt dioksit kullanılır. Kükürt dioksit, C vitamini değerinin belli bir düzeyde kalmasını sağlar. Karoten kaybı ise C vitaminine göre daha az olur. C vitamini (askorbik asit) oksijensiz ortamda (inert) ve az nemde iyi muhafaza edilir.

Kurutma ile proteinlerin stabilitelelerinin artış göstermesinden dolayı gıdaların kurutulması esnasında, proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmaktadır (Allison vd., 1998). Askorbik asidin değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

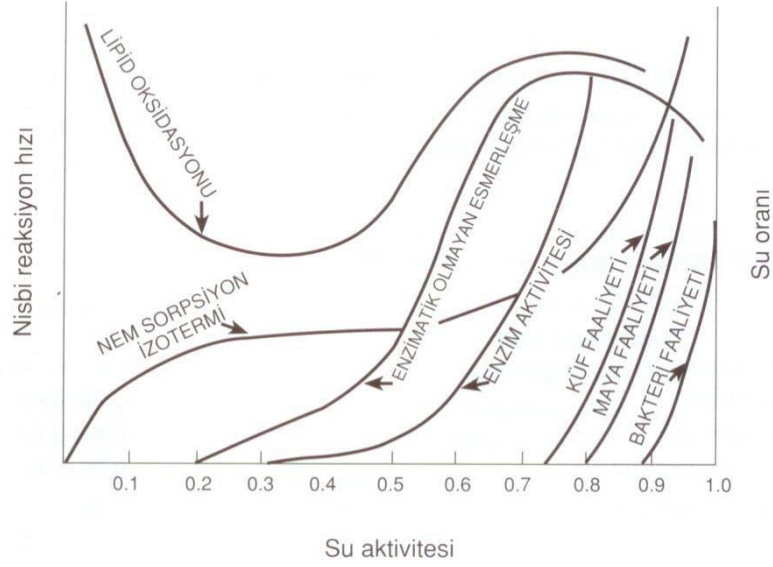


Şekil 3.5. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Askorbik Asit Oksidasyonu (Hernandez vd, 2006)

3.4.5.4. Mikrobiyolojik Değişimler

Kurutma işlemi esnasında, kurutulacak gıdanın mikroflorası değişmektedir. Mikroflora; bakteriler, bir hücreli mantarlar ve alglerden oluşan, başka organizmaların içinde, üzerinde ya da belli bir ekosistemde yaşayan mikroorganizmalardır. Birçok gıda da uygulanan kükürtleme işlemi mikroorganizma faaliyetini durdurabilmektedir. Kurutma işlemi sırasında olumsuzlukları önlemede kesin çözüm, mikrobiyolojik açıdan sağlıklı hammadde kullanılması ve hammaddelerin hazırlanma ve kurutulmasında hijyenik olunmasına dikkat edilmesidir. Eğer nem oranı düşükse gıdada herhangi bir bozulma beklenmez. Bu yüzden şöyle bir açıklama yapılabilir; kurutulmuş gıdada canlı mikroorganizmalar vardır fakat ortam elverişli olmadığından yaşayabilmeleri mümkün olmamaktadır.

Su aktivitesi değeri kurutulan gıda için güven sınırını oluşturur. Bu değer 0.7 olarak meyveler için yüksek bir güven sınırıdır denilebilir. Aktif bakteriler 0.9 maya ve küfler 0.7 su aktivitesi arzu ederler. Özetle şöyle açıklanabilir; su aktivitesi değeri 0.7'nin altına indiğinde mikrobiyolojik faaliyet gerçekleşemez. Fakat bu değer sabit olmayıp gıdadan gıdaya göre değişiklik göstermektedir (Karaçalı, 2002).



Şekil 3.6. Su Aktivitesi ile Su Miktarı ve Bozulumlar Arasındaki İlişkiler (Cemeroğlu vd, 2003)

3.4.6. Kurutma Esnasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimlerin Önlenmesi

3.4.6.1. Kükürtleme İşlemi

Kurutulacak gıdanın belirli değişimlere maruz kalmaması açısından tercih edilen bir yöntemdir. Bunun asıl amacı gıdanın renginin bozulmaması (taze rengini koruması) ve vitamin kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Kükürt kurutulacak gıdanın yüzeyinde yarıklar oluşturur. Bu yarıklardan su daha hızlı bir şekilde buharlaşır ve gıdanın daha hızlı kuruması sağlanır.

Kükürtleme (sülfürleme) işleme aynı zamanda gıdanın içerisinde bulunan zararlı böceklerin yumurta ve kurtçukların öldürerek gıdanın uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

Kükürtleme (sülfürleme) işlemi, kükürtleme odalarında toz kükürt yakılarak elde edilen SO_2 gazı numune ile temas ettirilir. Belirli yoğunluktaki sodyum bisülfid, sodyum sülfid vb. çözeltilere batırılır. Bu çözeltiler gıdanın üzerine de püskürtülebilir. Yakma işlemi ile kükürtleme daha çok kullanılır.

Kükürtleme (sülfürleme) işlemi ile kurutulmuş gıdalarda bulunması gereken minimum ve maximum değerler SO_2 standartlarında belirtilmiştir. Bu miktarların üstüne çıkılmasına izin verilmez.

3.4.6.2. Tuzlama İşlemi

Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelebilecek negatif yönde olan değişmelerin (renk kararması, mikrobiyolojik bozulma vb.) önlenmesinde SO₂ dışında da bazı kimyasal maddelerin kullanılması mümkündür. Tuz, antimikrobiyal olarak kabul edilmemesine karşın belli bir dozun üstünde bu etkiyi göstermekte olup aynı zamanda rengi korumaktadır (Pazır vd., 1996). Bu doz gıdaya, mikrobiyal yüke göre değişmektedir. Genelde %6'dan sonra koruyucu etki başlamaktadır.

Tuz miktarı, kurutma öncesi yapılan ön işlemlere bağlıdır. Sonuç olarak, antimikrobiyal maddelerin yalnız başlarına kullanımlarının gıdalarda mutlak bir stabilite sağlayacağını düşünmek yanlış olur. Gıdanın su aktivitesi, su niceliği, pH'sı, ortam sıcaklığı, osmotik basınç, besinin bileşimi vb. gibi faktörler besinin stabilitesine etki edeceklerdir. Domatesin kurutulmasında başta SO₂ gibi çok yönlü antimikrobiyal maddelerin kullanılması, özellikle başlangıçtaki nem oranının çok yüksek olması nedeni ile zorunludur.

Ancak SO₂ yalnızca antimikrobiyal etki yapmayacak antioksidan ve enzimatik esmerleşmeyi önleme etkisi ile de başta renk olmak üzere domatesin stabilitesini arttıracaktır (Ural, 1996).

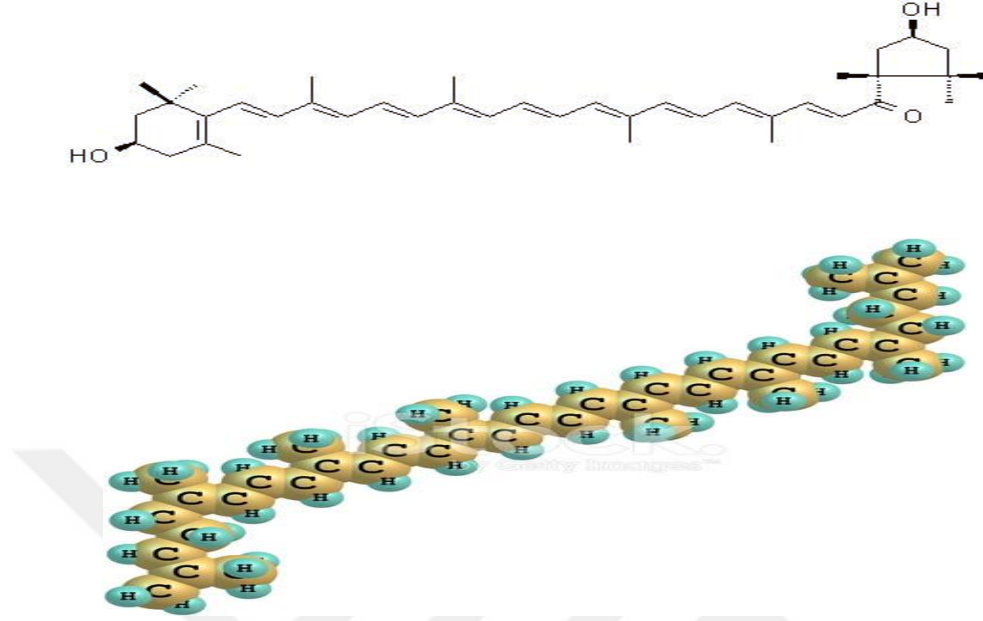
3.5. Domateste Bulunan Karotenoidler

3.5.1. Likopen

3.5.1.1. Likopenin Yapısı

Domatese kırmızı rengini veren güçlü antioksidan, bir karotenoittir. Karotenoid, yağda çözünebilen ve A vitaminin besinlerle alınabilen bir başlangıç maddesidir. Karotenoid

maddeler sağlık açısından ciddi önem arz etmektedir. Bunların en önemlileri likopendir. Likopen, simetrik bir düzleme sahip olup, alifatik bir hidrokarbondur (İzgi, 2012).



Şekil 3.7. Likopenin Kimyasal Yapısı

Gıdalara rengini veren madde likopen olup, tonu ise karotenoidin çift bağ sayısıyla alakalıdır. Yani C=C ift bağı arttıkça renk koyulaşır. Likopen antioksidan bir madde olup, bu antioksidan etkisi serbest radikaller ile oksijenin aktif formlarını bağlama yeteneğiyle açıklanabilir. Yapılan çalışmalarda; likopen, α-karoten ve β-karoten gibi antioksidanların aktiviteleri detaylıca incelenmiş ve en yüksek antioksidan aktiviteyi likopenin gösterdiği saptanmıştır (Anguelova ve Warthesen, 2000). Likopen domates dışında, karpuz, pembe greyfurt ve kayısıda da bulunur. Mevsiminde yetişen olgun bir domatesin likopen miktarı % 80-90 dır (Shi ve Le Maguer, 2000).

Çizelge 3.1. Likopen Kaynakları (%)

Domates	Taze	31-77.4
	İşlenmiş	112
	İşlenmiş Suyu	78.3
	Salça	300
	Ketçap	166
Kayısı	Taze	0.05
	Konserve	0.65
	Kurutulmuş	8.6

Kırmızı Biber	İşlenmiş	10.8-26.2
Greyfurt	Taze	33.6
Karpuz		41

3.5.1.2. Likopen Kayıpları

Likopenin yapısında çift bağlar mevcuttur. Bu çift bağların bulunması dolayısıyla çabuk oksidasyona uğrar. Oksidasyon hızını etkileyen belli faktörler vardır. Bunlar; hava, ışık ve ısı olarak sıralanabilir. Likopen miktarı çeşitli aşamalarda azalabilir. Kurutma esnasında ve depolamada likopen hızlıca izomerize veya okside olabilir. Buda likopen miktarında azalmalara sebep olur. Kurutma sırasındaki likopen kayıpları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Domates Ürünlerindeki Likopen Kayıpları

Ürün	Sıcaklık (°C)	Süre (h)	Likopen Kaybı (%)	Kurutma Yöntemi
Domates Salçası	<50	-	%20 izomerizasyon	Köpük Kurutma
Domates	95	6-10	3.9	Geleneksel Kurutma
	55	4-8	3.2	Vakum Kurutma
	25+55	4+4-8	2.4	Ozmotik+vakum kurutma
Domates	80	7	Kayıp Gözlenmemiş	
	110	7	12	

Likopen kaybı üzerine, ışığın ve ışınlamanın da önemli etkisi bulunmaktadır. Nitekim, Likopen standardının 6 gün süre ile 25 °C’de 2000–3000 Lux ışığı altında bırakılması durumunda % 94 düzeyinde likopen kaybı gerçekleşmiştir (Lee ve Chen, 2002).

Işığın yanı sıra ısının da önemli etkisi olduğu saptanmıştır. Likopen miktarının değişimini gözlemlemek amacıyla, domatesler suda 15 dk kaynatılıp, 18 dk süre ile pişirilip, ardından zeytinyağında 4 dk kızartılıp ve 20 °C zeytinyağı: sirke (75/25 v/v) içinde 20 dk bekletilmiştir. Bu ard arda olan ısıtma işlemlerinde en fazla likopen kaybının kızartma esnasında meydana geldiği görülmüştür. Likopen kaybı miktarı % 48’dir. En az kayıp ise zeytinyağında bekletilen domateslerde olmuştur.

3.5.1.3. Likopenin Sağlık Üzerine Etkisi

Likopenin sağlık açısından önemli olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Sağlık açısından olumlu etkilerinin nedeni yapısında barındığı çift bağlardır. Bu çift bağlar

antioksidan etki göstermesine yarar. Likopenin antioksidan etkisi ise serbest radikallerden ve oksijenin aktif formundan kaynaklanmaktadır.

Serbest radikallerin ortaklaşmamış elektronları mevcuttur. Bu sebepten serbest radikallerin tahrip edici özelliği vardır. Serbest radikaller, kimyasal reaksiyonların ara kademelerinde rol oynar. Herhangi hücre bileşenleri ile tepkimeye girebilir. Buda kalıcı hasarlara sebebiyet verir.

Sigara, çevre kirliliği, zararlı ışınlar, zehirler gibi bazı etkenler oksidatif strese sebep olarak bağışıklık sisteminin savunma mekanizmasını güdüler. Serbest radikaller, bağışıklık sisteminin beyaz kan hücreleri sayesinde yok edilir.

Antioksidanların bu noktadaki vazifesi de, serbest radikallerin ortaklaşmamış elektronlarına tutunarak vücuttan atılır ve bu sayede hücre zarar görmeden bağışıklık sistemi korunur.

Likopenle yapılan çalışmalar sayesinde artık diyetlerde önemli bir yere sahip olmuştur. Likopen kilolu insanlarda kalp krizi riskini azaltabilen bir karotenoiddir. β -karotenden 2 kat, E vitamininden ise 100 kat daha etkili olduğu bilinmektedir.

Likopenin insan vücudunda sentezi yapılamadığı için dışarıdan alınması gerekmektedir. Etkisi de alındığı doza bağlıdır. İnsan vücudunda likopen emilimi % 10-30 arasında değişmektedir. Geri kalan kısmı ise vücuttan atılır. Likopen emilimini, yaş, cinsiyet, hormonal durum, vücut kitlesi, kandaki yağ seviyesi, sigara, alkol gibi faktörler etkileyebilir. Aşırı likopen tüketimi durumunda ise dokuların deri ve karaciğer renklenmesiyle karakterize serum likopeninin artışıyla “likopenemi” durumu ortaya çıkar (Stahl ve Sies, 1992).

3.5.1.4. β -Karoten (Beta Karoten)

β -karoten, vitamin A'nın temel maddesi olup bir provitamindir Karaciğerlerde depolanır ve gerek duyulduğunda A vitaminine dönüşmektedir. Tüm karotenoidler A vitaminine dönüşmez. 600 çeşit karotenoidin içinde dönüşme ihtimali en fazla olan karotenoid, β -karotendir.

Karotenoidler, meyve ve sebzelerin rengini verir. En önemlilerini, β -karoten, lutein, likopen ve zeoksantindir. β -karoten serbest radikallerin nötralize edilmesini sağlar. Aynı zamanda bağışıklık sistemini destekleyerek mikroplara savaş açar. β -karoten de daha önce anlatılan likopenin olumlu etkilerini taşımaktadır.



4. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Baloch vd. (1997), domates dilimlerini farklı kimyasallara daldırdıktan sonra kurutarak domates tozu elde etmişlerdir. Daldırma çözeltisi olarak kalsiyum klorid (%1), potasyum metabisülfid (%2) ve sodyum klorid (%2) kullanmışlardır. Kurutulmuş domates tozunu elde ettikten sonra 40°C’de 90 gün süre ile depolama yapmışlardır. Bu süre sonunda karotenoid kayıplarını ve üründe enzimatik olmayan esmerleşmeyi incelemişlerdir. Sonuçta kalsiyum

klorid çözeltisine daldırılan örneklerde 30. günden sonra karotenoid kayıpları artarken, metabisülfid çözeltisine daldırılan örneklerde depolama süresince kayıplar azalmıştır.

Zanoni vd. (1999a), yapmış oldukları bir çalışmada, 80°C ve 110°C hava sıcaklığı ve 1.5 m/s hava hızı şartlarında kurutulan Rita çeşidi domateslerde oksidasyona bağlı ısı zararını incelemişlerdir. Kurutma sırasında domatesleri yaş temele göre %10 neme kadar kurutmuşlardır. Bu çalışmada hem 80°C hem de 110°C için kısa bir ısınma ve sabit hızlı kuruma periyodunun ardından uzun, azalan bir hızla kuruma evresinin bulunduğunu belirtmişlerdir. Oksidasyona bağlı ısı zararını ölçmek amacıyla toplam kuru madde, likopen, askorbik asit ve 5-Hidroksimetil-2-Furfural (HMF) miktarları belirlenmiştir.

Shi ve Le Maguer (2000), domateslerdeki likopen miktarının çeşide, olgunluğa ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ifade etmişler ve yaz dönemi yetiştirilen domateslerde kışın yetiştirilenlere göre, ayrıca açık alanlarda yetiştirilenlerde de seralarda yetiştirilenlere göre daha fazla likopen içerdiği sonucuna varmışlardır.

Lavelli vd. (2001), domatesleri iki parçaya böldükten sonra 80°C'de kurutmuşlardır. Kurutulan bu üründe %2 oranında likopen azalması belirlemişlerdir. Domates pulpunun 70°C'de kurutulmasıyla da toplam likopen miktarında %0.7 oranında azalma tespit etmişlerdir.

Giovanelli vd. (2001), domateslerin işleme teknolojisine bağlı olarak maruz kaldıkları oksidasyon ve sıcaklık hasarının domateslerin antioksidan özelliklerine etkilerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, domates pulpu, püresi, salçası ve kurutulmuş domatesleri materyal olarak kullanarak antioksidan içeriklerini (askorbik asit, likopen, polifenol) antioksidan aktivitelerini ve HMF özelliklerini incelemişlerdir.

Lewicki vd. (2002), domateslerin sıcak hava ile kurutulmalarında ön işlem uygulamalarının etkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kurutma işlemleri uygulanan ön işlemlere bağlı olarak 7-10 saat sürmüştür. Denemeler sonucunda Lima çeşidinin Revermun çeşidine oranla daha hızlı kuruduğu, bu farkın, kurutma öncesi yapılan farklı ön uygulamalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Kalsiyum klorür ile yapılan ön işlem kuruma kinetiklerini fazlasıyla etkilemiş, kuruma sırasında ön işlemsiz uygulamalara göre

suyun daha hızlı uzaklaşmasını sağlamıştır. Kuruma zamanları arasındaki farkın yaklaşık %20 olduğu belirtilmiştir.

Nowak ve Lewicki (2004), elma dilimlerini kızılötesi ışınlam ile kurutmuşlardır. Kızılötesi kurutma kinetiğinin ısı ısıtılmış yüzey ile ısı yayan yüzey arasındaki mesafeye ve hava hızına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir

Uzun vd.(2005) depolama koşullarının kaliteye etkisini araştırmak için güneşte kurutulmuş domatesler üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Kükürt dioksit (4000-4500 ppm) veya tuzla (%6-7) muamele edildikten sonra güneşte kurutulmuş Rio Grande çeşidi domatesler kullanılmıştır. Sonuç olarak; depolama süresi boyunca modifiye atmosfer (N₂, CO₂) ve Ageless oksijen absorbantı koşullarının renk bozulmasını önlediği, bu uygulamaların kurutulmuş domateslerin kalitesinin korunmasında önemli olduğu görülmüştür. Renk açısından özellikle normal depo koşullarında Ageless oksijen absorbantlı uygulamalar her iki tip üründe metabisüfitli-tuzlu işleme etkili olmuştur.

Chang vd. (2006), taze, dondurularak kurutulmuş ve sıcak hava ile kurutulmuş domateslerin antioksidan özelliklerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda sıcak hava ile kurutulan örneklerde, kurutulmamış domates ve dondurarak kurutulmuş domatese göre likopen, flavonoid ve fenolik içeriğinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür.

Karakaya ve Yılmaz (2007) yaptıkları bir araştırmada taze, güneşte kurutulmuş ve konserve domateslerin likopen içeriklerini sırası ile 1.75, 5.51 ve 3.55 mg/100 g olarak bulmuşlardır.

Davoodi vd. (2007), farklı kurutma metotlarının ve ön işlemlerin, domates tozunun depolanması ve kalite karakteristikleri üzerine etkisini incelemişler, ön işlemler uygulaması olarak kalsiyum klorid, potasyum metabisüfit, kalsiyum klorid + potasyum metabisüfit ve sodyum klorid kullanmışlardır. Kurutma uygulamalarının, nem içeriği, şeker, titrasyon asitliği, likopen içeriği, rehidrasyon oranı, dehidrasyon oranı ve enzimatik olmayan kahverengileşme gibi kalite karakteristiklerini nasıl etkilediğini saptamışlardır.

Muratore vd. (2008) yapmış oldukları bir çalışmada domatesler farklı sıcaklıklarda (40°C, 60°C ve 80°C) ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kurutulmuştur. İşlem sonunda 40°C’de

ön işlem uygulanarak yapılan kurutma sonunda β -karoten kaybına rastlanmazken, ön işlem uygulanmadan yapılan kurutmada %24,73 oranında β -karoten kaybı belirlenmiştir.

Demiray (2009) yaptığı bir çalışmada, “Rio Grande” tipi domateslerin farklı kurutma sıcaklıklarında (60-100 °C) ve %20 bağıl nem koşulunda kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla herhangi bir ön işlem uygulamadan domatesler ortalama %10 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Domateslerin kuruma kinetikleri incelenmiş, kabin tipi kurutucu ile kurutma sırasında meydana gelen likopen, β -karoten, askorbik asit ve renk değişimleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, uygulanan sıcaklık değeri arttıkça numunelerin kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Domateslerin kurutulmadan önce askorbik asit değeri 544,84 mg/100g kuru madde olarak belirlenmiştir. 60°C’de 20 saat süren kurutma işleminde askorbik asit miktarında %75.13 oranında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca likopen, β -karoten ve askorbik asit değişimlerine ait aktivasyon enerjileri de belirlenmiştir.

Şahin (2010), dört farklı kurutma yönteminin uygulandığı domateslerde karşılaştırmalar yapmıştır. Bu kurutma yöntemleri; güneşte kurutma, sıcak havalı kabin tipi kurutucuda kurutma, vakumlu kurutma ve dondurarak kurutmadır. Kurutma uygulamaları, hem ön işlemsiz, hem de ön işlemliler olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde ön işlem uygulaması olarak domatesler önce bütün halde %2 etil oleat+%4 potasyum karbonat karışımına daldırılmış, daha sonra dilimlenen domatesler iki gruba ayrılmış, bir grup %1 sitrik asit+%1 askorbik asit karışımına, diğer grup ise %2 sodyum metabisülfite çözeltisine daldırılmıştır. Hem kurutulmuş domateste, hem de taze domateste kaliteyi ve besin içeriklerini belirleyici çeşitli analizler yapılmıştır (renk ölçümü, toplam kuru madde içeriği, suda çözünür kuru madde içeriği, indirgen şeker, toplam şeker içeriği, pH, titrasyon asitliği değerleri, HMF içeriği, sodyum ve potasyum içeriği, askorbik asit, likopen değerleri, su aktivite değerleri). Sonuç olarak ön işlem uygulamalarının kuruma sürelerini oldukça kısalttığı saptanmıştır. Dondurarak kurutma birçok kriter açısından en iyi sonuçları vermiştir. En yüksek askorbik asit, potasyum, likopen gibi besin değerleri bu yöntemle kurutulan domateste saptanmıştır. Sıcak havalı kurutmada sürenin uzaması ve kurutma sıcaklıklarının yükselmesi likopen miktarlarında azalmalara neden olmuştur.

Ayan (2010) tarafından yapılan çalışmada güneşte ve hava ile güçlendirilmiş fırınlarda farklı sıcaklıklarda (40°C, 50°C, 60°C) yapay yolla kurutulan domateslerin özelliklerini

incelemiştir. Fırında ve güneşte kurutma işlemi sonucunda domates örneklerindeki likopen içerikleri taze domates örneğine göre daha yüksek olduğunu saptanmıştır.

Alibaş (2012a) yapmış olduğu bir çalışmada asma yaprağının mikrodalga enerjisi ile kurutulması esnasında bazı kalite parametrelerini saptamıştır. Kurutma işlemi üç farklı güç yoğunluğunda gerçekleştirilmiş ve sonuçların matematiksel modellerle uyumu incelenmiştir. Çalışmada ayrıca renk ve askorbik asit değişimleri de incelenmiştir.

Alibaş (2012b) sıcak havada kurutulan enginar dilimlerinin kuruma eğrilerinin tanımlanmasında yeni bir modelin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapmış ve Alibaş yaklaşımı adını verdiği bir modele verilerini uygulamıştır.

Kocabıyık vd. (2012) çalışmalarında domates dilimlerini kurutmada enerji etkinliğinin geliştirilmesi ve kaliteli kurutulmuş domates elde edilmesi için infrared kurutma tekniğinin kullanılabilirliğini incelenmişlerdir. Domates dilimlerinin kuruma süresi, özgül enerji tüketimi gibi işletme özellikleri, büzülme oranı, rehidrasyon oranı, renk özellikleri ve tekstür gibi fiziksel özellikler ve C-vitamini ve likopen gibi kimyasal (besin) özellikleri incelenmiş ve bu özellikler üzerine kurutma değişkenlerinin etkileri araştırılmıştır.

Alibaş (2015), ince tabaka mango dilimlerini mikrodalga tekniği ile nem içeriği yaş baza göre %12.75 oluncaya kadar kurutmuş ve kurutma verilerini 13 farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellemiştir. Kurutmayı en iyi temsil eden modelin Jena- Das modeli olduğu sonucuna varmıştır.

Kamer ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışları incelenmiş ve kuruma eğrileri literatürdeki kuruma modellerine uygulanmıştır. Ayrıca D_{eff} ve kütle taşınım katsayısı h_m 'nin kurutma havası hızı ve sıcaklığı ile değişimleri incelenmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Bu çalışmada, Türkiye’de üretimi yapılan kurutma ve salça yapımına uygun domates çeşitlerinden biri olan Rio Grande çeşidi domates (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. *Rio Grande*) materyal olarak seçilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılacak olan Rio Grande çeşidi domatesler ağustos ayının ortasından itibaren Elazığ ili Akmezra köyünde direkt üreticiden satın alınarak temin edilmiştir. Domatesler, kurutma denemelerinde kullanılıncaya kadar polietilen ambalaj içerisinde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

5.1.1. Kullanılan Kimyasallar

HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) analizlerinde kullanılan β -karoten (C-4582), likopen (L-9879) ve askorbik asit (G-002722) standartları Sigma firmasından (St. Louis, MO, A.B.D.) satın alınmıştır. Bu bileşiklerin materyallerden, ekstraksiyon ve HPLC ile analizlerinde, Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilen HPLC saflığında (HPLC grade) hekzan, asetonitril, metanol ve diklormetan solventleri kullanılmıştır.

5.1.2. Kullanılan Cihazlar

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde bulunan Tepsili Kurutucu, İnfrared Kurutucu ve Püskürtmeli Kurutucu cihazları kullanılmıştır. Ayrıca Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde bulunan HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) kullanılmıştır.

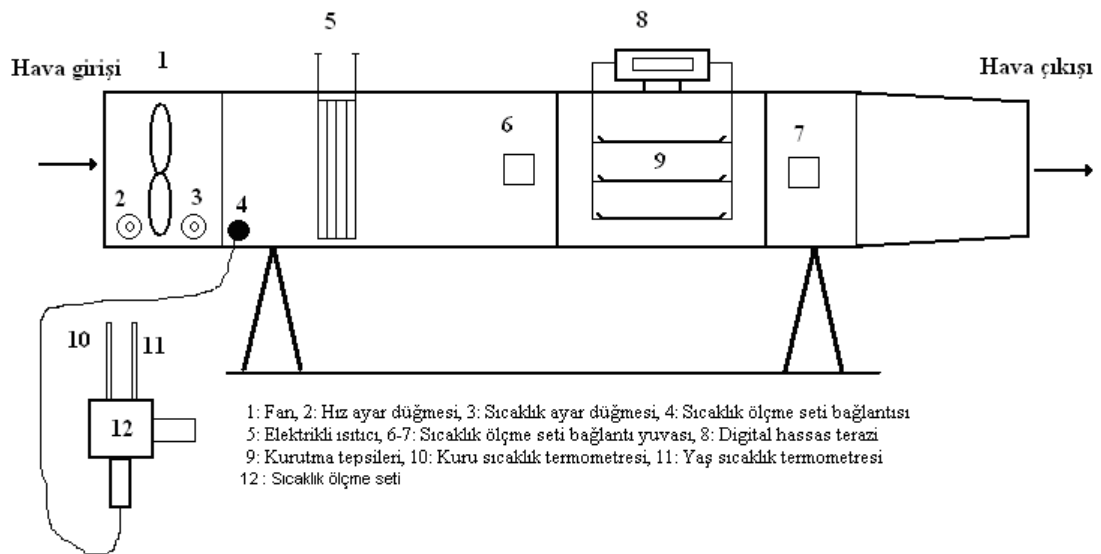
5.1.2.1. Tepsili Kurutucu

Bu kurutucuda kabin malzemesi olarak 2 mm kalınlığında galvaniz sac ve sıcak havanın oluşması için serpantinli ısıtıcı kullanılmıştır. Isıtıcılar 2 kademeli bir kontrol anahtarı vasıtasıyla birbirinden ayrı şekilde devreye girebilmektedir. Kurutucu içine gönderilecek kurutma havasına hız kazandırabilmek için yuvarlak kanal tipi, metal gövdeli santrifüj bir fan (Vortice - CA 150D model) kullanılmıştır. Bu fan 65-82 Watt güç, 300-530 m³/h hava debisi, 1440-2460 rpm çalışma koşullarına sahiptir.

Fanın farklı hızlarda çalışmasını sağlamak için bu fana uyumlu 5 kademeli hız anahtarından (SCNR5 model) yararlanılmıştır.



Şekil 5.1.Tepsili Kurutucu



Şekil 5.2. Düz Akışlı Hava ile Deneylerin Yapıldığı Tepsili Kanal Tip Kurutucu Şeması

Isıtıcıların belli sıcaklıklarda çalışmasını sağlamak amacıyla da 0-400 °C sıcaklıklar arasında çalışma özelliğine sahip bir ısı kontrol ünitesi (ARM 396 model dijital göstergeli analog termostat) kullanılmıştır. Kurutucuda ısı kayıplarını önleyebilmek amacıyla izolasyon malzemesi olarak 30 mm kalınlığında cam yünü ve alüminyum folyo kullanılmıştır. Yeterli havalandırmanın sağlanabilmesi amacıyla domatesler ızgaralı tepsilere yerleştirilmiştir.

5.1.2.2. İnfrared Kurutucu (IR)

Kızılötesi ısıtma (0,5-100 µm dalga boyunda uygulanan) birçok gıda maddesinin ısıtılması, kurutulması ve yüzey pastörizasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Kızılötesi ışınım, gıda maddelerinin işlenmesinde yararlanılan 0,5-100 µm dalga boyu arasındaki elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Kızılötesi radyasyonun tıp, plastik ve kâğıt endüstrisi gibi birçok alanda uygulaması vardır. Kızılötesi radyasyon dalga boyuna göre kısa, orta ve uzak olmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır. Kızılötesi ışınım ısı transfer özelliği, ürüne direkt nüfuz etme ve hızlı proses kontrolü özellikleri sayesinde diğer kurutuculardan ayrılarak ideal enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. İlk kurulum ve işletme maliyetinin düşük olması çevreye zarar vermeyişi ve kullanımında mevsim değişikliklerinden etkilenmemesi özellikleri sayesinde kurutma alanında tercih edilebilir.



Şekil 5.3. İnfrared Kurutucu

5.1.2.3. Püskürtmeli Kurutucu

Püskürtmeli kurutucu katı-sıvı çözelti ya da süspansiyonlar içerisinde bulunan katı maddenin kuru olarak elde edilmesi prensibine göre çalışır. Atomizer deneyinde püskürtmeli kurutma gerçekleştirilmektedir. Püskürtmeli kurutmada kurutulacak ürün çok küçük damlacıklar halinde sıcak hava akımı içine gönderilerek, çözeltinin buharlaşması sağlanır. Bu tip bir kurutma cihazının en önemli birimi atomizerdir. Atomizer, kurutulacak olan sıvıyı, çeşitli faktörlere bağlı olarak 50-500 μm çapında küçük zerreciklere parçalayan cihazdır. Atomizerde ne kadar küçük damlacıklar elde edilirse, o kadar hızlı kurutma gerçekleşir. Kurutulacak olan çözelti, atomizerde zerreciklere ayrılarak sıcak gaz akımı içine püskürtülür. Sikloidal hava hareketiyle önce damlacık, birkaç saniye içinde katı partiküle dönüşerek ilerleyen ürün, siklonda gaz akımından ayrılarak ürün toplama kabında elde edilir. Püskürtmeli kurutma en fazla gıda endüstrisinde uygulanmaktadır. Deneylerde LAB-PLANT SD-04 model püskürtmeli kurutucu kullanılmıştır.

Örneğin: süttozu, hazır çorba, instant-cafe vb içecekler bu şekilde elde edilir.



Şekil 5.4. Püskürtmeli Kurutucu

5.1.2.4. HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi)

Domateslerin kurutulmadan önceki, kurutmanın belli aşamalarındaki ve kurutulduktan sonraki likopen, β -karoten ve askorbik asit miktarlarının belirlenebilmesi için, SHIMADZU

firmasının ürettiği HPLC cihazı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan HPLC cihazının genel görünümü Şekil 5.5’ te verilmiştir.



Şekil 5.5. HPLC Cihazının Genel Görünümü

5.2. Yöntem

5.2.1. Kurutma Denemeleri

Farklı kurutma cihazlarında domates kurutma işlemleri yapılmıştır. Tepsili kurutucuda domates kurutma işlemi dört farklı sıcaklıkta (30 °C, 40 °C, 50 °C ve 60 °C) ve 2 farklı hava hızında (1.5 m/s, 3 m/s) yapılmıştır. Böylece sıcaklığın yanı sıra hava hızının da kurutmaya etkisi incelenmiştir. Gıdaların yapısı belirli bir sıcaklığın üzerine çıkıldığında bozulmaktadır. 60 °C’nin üstüne çıkıldığında bozunmalar ve ciddi besin değeri kayıpları meydana geldiğinden tercih edilmemektedir. Düşük sıcaklıklarda ve düşük hava hızlarında kurutma da ise süre uzayacağından bozunmalar oluşabilir. Ürün kalitesinin korunabilmesi için kurutma işlemi mümkün olduğunca hızlı gerçekleştirilmelidir. Tepsili kurutucularda hem sıcaklık hem de hava hızı ayarları yapılabildiğinden diğer yapay kurutma yöntemlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Kurutma süresi her ne kadar sıcaklık ve hava hızıyla alakalı olsa da aynı zamanda kurutulacak gıdanın yüzey alanıyla da ilişkilidir. Mümkün olduğunca sıcak havaya temas eden yüzeyin artırılması gerekmektedir. Bu yüzden 1 cm kalınlığında ve eşit çaplarda olmasına dikkat edilerek hazırlanan domateslerin kurutma işlemi için uygun olacağı tahmin edilmektedir.

İnfrared kurutucu cihazında da 1 cm kalınlığında olan domates numunesi 2 farklı sıcaklıkta (105 °C, 160 °C) kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

İnfrared kurutucularda hava hızı ayarı olmadığından kurutma süresi diğer yapay kurutuculara göre daha uzun süre almaktadır. Cihazın kurutma haznesinin büyüklüğü ancak sınırlı ölçüde arttırılabileceğinden tepsili kurutucuya göre daha az tercih edilir.

Püskürtmeli kurutucu cihazında ise kurutma işlemi diğer iki cihaza göre daha farklı gerçekleşmektedir. Püskürtmeli kurutucu yüksek derecelerde çalışabilen çok hızlı kurutma yapabilen bir cihazdır. Sıvı ürünü kısa bir sürede katıya çevirebilir. Madde kayıpları diğer yapay kurutuculara göre daha azdır. Diğer yapay kurutuculara göre süre ve maliyet daha avantajlı olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda çalışma zorunluluğu olduğundan gıdanın yapısını bozabileceğinden dolayı dezavantajlı olabilir. Püskürtmeli kurutucu da tek bir hava hızında ve 100 °C de kurutma işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.6. Laboratuvar Görüntüleri

5.2.2. Likopen ve β -karotenin HPLC ile belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş domates numunelerinde likopen ve β -karoten miktarları, HPLC yöntemiyle 2 aşamadan (ekstraksiyon ile tanımlama ve hesaplama) oluşan bir uygulama sonunda belirlenmiş olup, bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

5.2.2.1. Ekstraksiyon

Karotenoidlerin analizi ile ilgili kaynaklarda standart bir ekstraksiyon metodu bulunmadığından bu çalışmada, Giovanelli vd (2002) tarafından önerilen metotlardan yararlanılarak yeni bir metot oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, taze ve kuru domates örneklerinden 1 g tartılıp içinde %1 oranında BHT bulunan 7 ml etanol ve hekzandan (1:1, v/v) oluşan ekstraksiyon çözeltisiyle karıştırılıp, blender kullanılarak pulp haline getirilmiştir. Elde edilen pulp vortekslelendikten sonra tüpler, 5°C’de 7000 devir de 15 dakika süreyle santrifüj işlemi yapılmıştır. Bu süre sonunda santrifüj tüplerinde faz ayrımı gerçekleşmiş ve üst kısımda toplanan etanol-hekzan fazı pasteur pipeti ile amber şişelere aktarılmıştır. 0.1 N KOH’dan 5 ml eklenip tekrar vorteksleme işlemi yapılmıştır. 85 °C ‘de 15-20 dakika etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarıldıktan sonra 5 ml saf su ilave edilmiş ve tekrar vortekslenmiştir. Üzerine 3 ml hekzan ilave edilip, hepsini aynı çizgide eşitleyene kadar hekzan eklenmiştir. İyi karışım sağlanması için iyice alt-üst edilir. 1 gece 4 °C’de buzdolabında bekletildikten sonra üst faz alınmış ve 40 °C’de etüvde uçması beklenmiştir. Asetonitril:Kloroform=92:8 oranında hazırlayıp, tüplere 1’er ml ilave edip, vorteksten sonra viallere 1’er ml alınır ve HPLC cihazında okuma yapılır.

5.2.2.2. Tanımlama ve Hesaplama

Likopen ve β -karotenin tanımlanması ve miktarının hesaplanmasında “yüksek performanslı sıvı kromatografisi” cihazından yararlanılmıştır. HPLC cihazı; 4’lü pompa (quaternary pump), UV dedektör, gaz giderici (degasser) ve kolon fırınından oluşmaktadır. Elde edilen kromatogramlar “Shimadzu LC solution” yazılım programı ile değerlendirilmiştir.

5.2.4.3. Kromatografi Koşulları

- Kolon: C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5 μ m) (ACE, Aberdeen, İskoçya)
- Akış hızı: 0,5 mL/dak.
- Elüsyon süresi: 25 dak.
- Enjeksiyon hacmi: 20 μ L
- Dalga boyu: 254 nm
- Hareketli faz (Mobile phase): H₃PO₄ ile pH’sı 3’e ayarlanmış su

- Kolon fırın sıcaklığı: 35°C

Kromatogramlardan elde edilen askorbik asit pikleri, standart maddelerin geliş süreleri ve UV spektrumlarının karşılaştırılmasıyla tanımlanmıştır. Örnekteki askorbik asit miktarı, bu bileşenin standartları ile hazırlanmış olan standart eğrilerden hesaplanmıştır.

5.2.3. Kuru Madde Miktarının Belirlenmesi

Kuru madde tayini TS 1129(ISO 1026/Ekim 1198)'e göre yapılmıştır. Buna göre sıvı ve yarı sıvı ürünler (domates suyu) için bir pipet yardımı ile süzgeç kağıdına alınan 10 ml numune etüvde kurumaya bırakılarak sabit tartıma gelinceye kadar beklenir. Bu analizde külsüz süzgeç kağıdı kullanılmalıdır.

Külsüz süzgeç kağıdı bulunmadığı durumlarda alternatif olarak 2 g/l'lik HCl çözeltisinde 8 saat yıkanmış ve sonra damıtık su ile beş defa durulanmış ve kurutulmuş süzgeç kağıdı kullanılır.

Kağıt 20 mm genişliğinde şeritler halinde kesilir, birbirine yakın pililerle akordeon tarzında katlanır. Süzgeç kağıdı hazır olduktan sonra kuruma işlemine uygun olur. Kuru madde tayini için, petri kabı sabit tartıma gelmesi için temiz ve kapağı açık vaziyette etüve bırakılır 3 saat kalır daha sonra desikatöre alınarak tartım yapılır. 0,0002 g yaklaşıma gelene kadar bu işlem(en az iki defa) tekrarlanır. Daha sonra petri kabına yerleştirilen süzgeç kağıdı ve üzerine sıkılan 10 ml numune miktarı 70 °C'e ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurumaya bırakılır.

5.3. Hesaplamalar

5.3.1. Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

5.3.1.1. Nem İçeriğinin Hesaplanması

Domates numunelerinin kabin tipi kurutucuda kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$Mt=(m-KM)/KM \dots\dots\dots(5.1)$$

Burada;

Mt : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

m: Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdği kuru madde miktarı (g)
olarak tanımlanmıştır.

5.3.1.2. Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur.

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t) / dt \text{ (g su / g kuru madde. dak)} \dots\dots\dots (5.2)$$

Burada;

M_{t+dt} : t + dt anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

dt: Kuruma zamanı (dakika)

olarak tanımlanmıştır.

5.3.1.3. Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_o - M_e) \dots\dots\dots (5.3)$$

Burada;

MR: Nem oranı (boyutsuz)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde)

olarak tanımlanmıştır. Gıdaların sıcak hava ile kurutulması işleminde; M_e değeri M_t ve M_o ile kıyaslandığında çok küçüktür. Bu nedenle hesaplamalarda M_e değerinin sıfır alınabileceği belirtilmektedir (Maskan 2001). MR değerleri hesaplanırken doğrudan M_t/M_o eşitliği kullanılmıştır.

5.4. Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Gıda kurutma proseslerinde en çok kullanılan 5 model (Çizelge 5.1) regresyon katsayılarına bakılarak kıyaslanmış ve modellerdeki katsayılar doğrusal olmayan regresyon analizi (MAT-CAT) yapılarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Kuruma Eğrilerine Uygulanan Matematiksel Modeller

Page model	$MR = \exp (-kt^n)$	k: Kinetik sabit (dak^{-1}) n: Page modele ait katsayı t: Kuruma zamanı (dak)
Henderson ve Pabis model	$MR = a \exp (-kt)$	a: Katsayı (birimsiz) k: Kinetik sabit (dak^{-1}) t: Kuruma zamanı (dak)
Lewis model	$MR = \exp (-kt)$	k: Kinetik sabit (dak^{-1}) t: Kuruma zamanı (dak)

Logaritmik model	MR= a exp (-kt) + b	a: Katsayı (birimsiz) b: Katsayı (birimsiz) k: Kinetik sabit (dak ⁻¹) t: Kuruma zamanı (dak.)
Modifiye model	MR= exp [(-kt)n]	k: Kinetik sabit (dak ⁻¹) t: Kuruma zamanı (dak.) n: Modele ait katsayı

5.5. Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Gıdaların kurutulması sırasında gerçekleşen difüzyon karmaşık bir prosestir. Azalan hız periyodunda biyolojik ürünlerin kurutma parametreleri Fick'in difüzyon eşitliği kullanılarak tanımlanabilir (Sacilik vd., 2006; Liu vd., 2009). Kurutmada önemli parametrelerden biri olan difüzyon katsayısı, domates için farklı hız ve sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Difüzyon katsayısının sabit, ilk nem içeriğinin homojen olduğu dilim şeklinde kesilen domates için bu denklem Crank tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Crank, 1975).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \dots \dots \dots (5.4)$$

Burada D_{eff} difüzyon katsayısı (m^2/s), L kurutulan ürünün yarı kalınlığı, t kurutma süresidir. Bu denklem uzun kuruma süreleri için serinin ilk terimi alınarak basitleştirilebilir (Doymaz, 2012);

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \dots \dots \dots (5.5)$$

Denklem (5.5)'in regrasyon analizi ile çözümü sonunda difüzyon katsayısı bulunabilir.

Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (5.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir (Aghbashlo vd., 2010).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \dots \dots \dots (5.6)$$

Bu denklemde;

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

D_0 : Sonsuz sıcaklıktaki difüzyon katsayısına eşdeğer sabit(m^2/s)

E_A : Aktivasyon enerjisi (kj/mol)

R: Evrensel gaz sabiti (kj/mol.K)

T: Kurutma hava sıcaklığıdır (K)

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

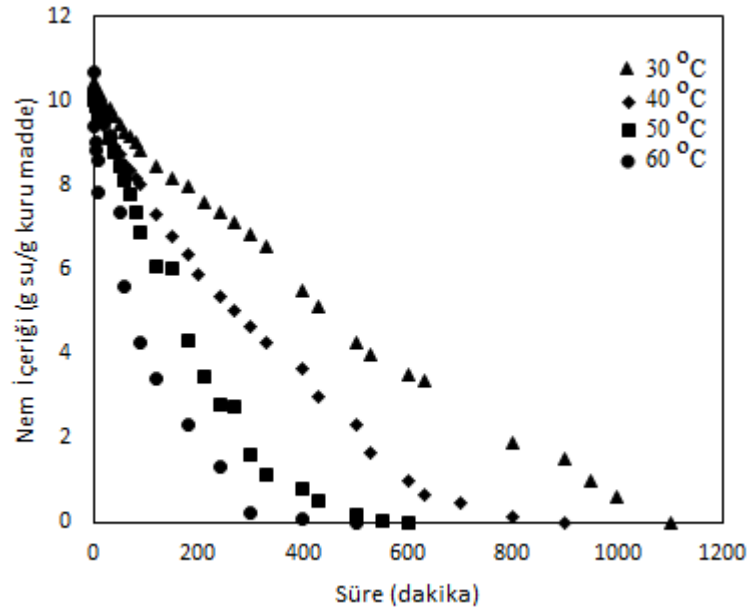
6.1. Kuru Madde Miktarı

Kuru madde tayini TS 1129(ISO 1026/Ekim 1198)'e göre yapılmıştır. Buna göre sabit tartıma getirilen petri kabı tartılmış (m_1) ve 10 ml numune süzgeç kağıdı üzerine eşit bir şekilde yayılmıştır. Tekrar sabit tartıma gelinceye kadar 70 °C'lik etüvde bekletilmiştir. Son tartım (m_2)yapıldıktan sonra. Kuru madde miktarı hesaplanmıştır.

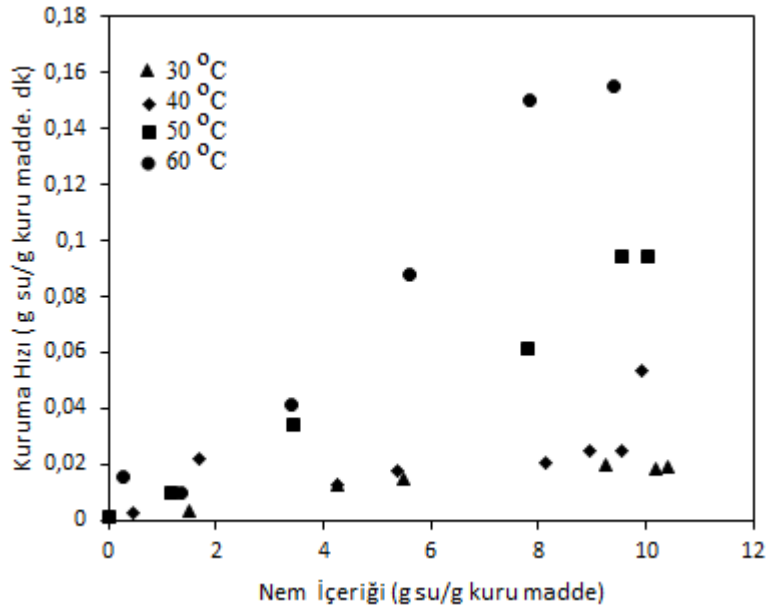
Buna göre; kuru madde miktarı 9.76 g/ 100 g domates olarak bulunmuştur.

6.2. Tepsili Kurutucu Kullanılarak Yapılan Kurutma Deney Sonuçları

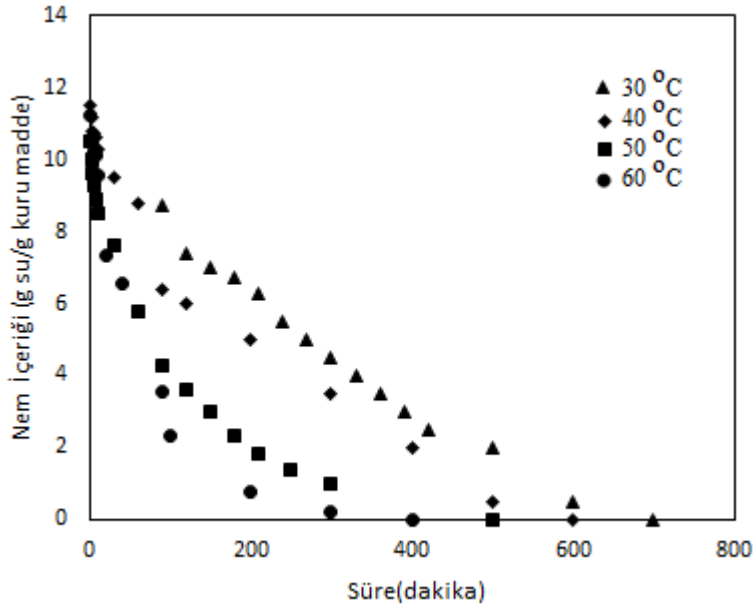
Bu çalışmada kullanılan domates numunelerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_0= 10.50$ g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Farklı kurutma sıcaklığı (30, 40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1,5 ve 3 m/s) yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla nem içeriği ve kuruma hızları hesaplanarak grafiğe geçirilmiştir.



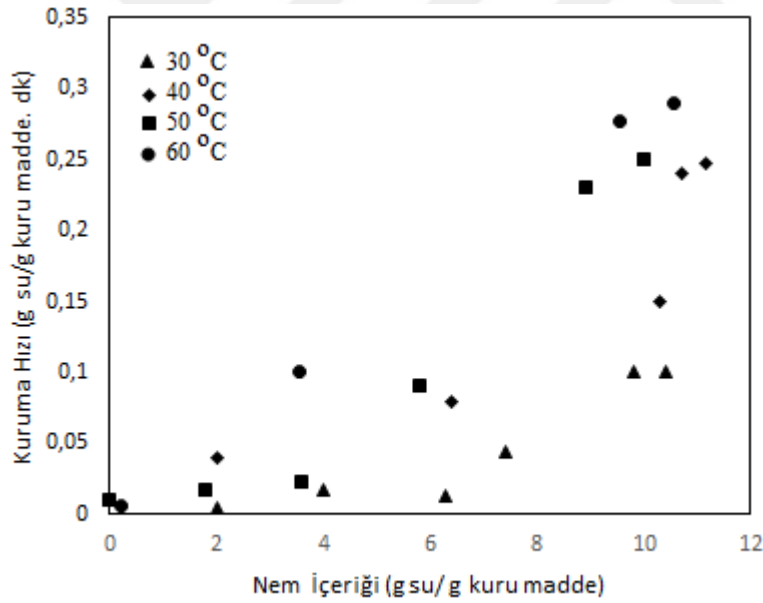
Şekil 6.1. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Kurutulan Domates Numunesine Ait Nem İçeriği Değerlerinin Kuruma Zamanı ile Değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)



Şekil 6.2. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Kurutulan Domates Numunesine Ait Kuruma Hızı Değerlerinin Nem İçeriği ile Değişimi (Kurutma havası hızı: 1.5m/s)



Şekil 6.3. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Kurutulan Domates Numunesine Ait Nem İçeriği Değerlerinin Kuruma Zamanı ile Değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)



Şekil 6.4. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Kurutulan Domates Numunesine Ait Kuruma Hızı Değerlerinin Nem İçeriği ile Değişimi (Kurutma havası hızı: 3 m/s)

Şekil 6.1'den de görüldüğü gibi kurutma sıcaklığının artması ile kuruma sürelerinde önemli ölçüde azalmalar saptanmıştır. Nitekim, 30°C sıcaklık derecesi için domates numunesinin nem içeriğinin 10.50'den 0,1 g su/ g kuru madde değerine düşmesi 1100 dakika sürerken, 60°C sıcaklık ortamında işlem 500 dakikada tamamlanmıştır. Aynı şekilde hava hızındaki artış da

kuruma süresi üzerinde oldukça etkilidir. Aynı sıcaklık değerinde farklı hava hızlarında yapılan kurutma sonunda kurutma zamanının 1100 dakikadan 700 dakikaya düştüğü görülmüştür.

Şekil 6.2 incelendiğinde, domates numunelerinin kurumalarının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür. Başlangıçta nem içeriği yüksek olduğundan kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızları birbirlerinden oldukça farklı çıkmıştır. Ancak nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kurutma hızları arasındaki farklar da azalmış ve düşük nem içeriği değerlerinde farklar sıfıra yaklaşmıştır.

Gıda maddelerinde bulunan su içeriğinin fazla olduğu durumlarda kurutma işleminde suyun uzaklaştırılabilmesi oldukça kolaydır. Bu dönemde ortam sıcaklığının yüksek olması kuruma hızının da aynı oranda yüksek olmasına neden olurken, su içeriğinin azalması ile birlikte suyun gıda maddesinden uzaklaştırılması da zorlaşmakla birlikte tek başına ortam sıcaklığının yüksekliği, kuruma hızının artırılmasına ciddi bir katkı sağlamamaktadır. Su içeriğinin azaldığı kurumanın son evrelerinde, kurutma işleminde kullanılan havanın, sıcaklığın artırılması kadar bağıl neminin de düşürülmesi gerekmektedir. Benzer sonuçlar 3 m/s hava hızında kurutulan domates örnekleri içinde bulunmuştur.

Meyve ve sebzelerde başlangıç nem değerlerinin yüksek olmasından dolayı kuruma sırasında sabit hızda kuruma periyodunun yer alması beklenmektedir. Fakat yapılan birçok araştırmada, meyve ve sebzelerin kurumalarında yalnızca azalan hızda kuruma periyodunun varlığı saptanmıştır. Pabis (1999), bunun nedeninin, kuruma sırasında numunelerin büzülmesi nedeniyle kuruyan numunenin boyutlarının değişmesi sonucu numunenin kuruma yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak, numuneden birim zamanda daha az nemin buharlaşması olduğunu ifade etmektedir.

6.2.1. Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

Tepsili kurutucuda kurutulan domates numunelerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanıyla değişimini gösteren deneysel veriler beş ayrı kurutma modeli ile modellenmiştir.

Çizelge 6.1. Farklı Sıcaklıkta Kurutulan Domatesin Kuruma Hızlarının Belirlenmesinde Kullanılan Matematiksel Modeller ve Model Parametreleri

Model İsmi	Deney Şartları	k	a	n	c	R ²
Lewis Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0021	-	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0032	-	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0032	-	-	-	0.9578
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0052	-	-	-	0.9407
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0056	-	-	-	0.9878
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0079	-	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0078	-	-	-	0.9924
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0128	-	-	-	0.8912
Page Model Eşitliği $M_R = \exp(-kt^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.00016	-	1.300	-	0.9857
	30 °C ve 3.0 m/s	0.00029	-	1.300	-	0.9942
	40 °C ve 1.5 m/s	0.00007	-	1.500	-	0.9548
	40 °C ve 3.0 m/s	0.00021	-	1.380	-	0.9640
	50 °C ve 1.5 m/s	0.00015	-	1.500	-	0.9898
	50 °C ve 3.0 m/s	0.00022	-	1.500	-	0.9679
	60 °C ve 1.5 m/s	0.00059	-	1.370	-	0.9623
	60 °C ve 3.0 m/s	0.00011	-	1.800	-	0.9817
Modifiye Page Eşitliği $M_R = \exp(-(kt)^n)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.22047	-	0.2813	-	0.9967
	30 °C ve 3.0 m/s	0.21134	-	0.3102	-	0.9949
	40 °C ve 1.5 m/s	0.23453	-	0.3003	-	0.9979
	40 °C ve 3.0 m/s	0.21895	-	0.3208	-	0.9604
	50 °C ve 1.5 m/s	0.23813	-	0.3340	-	0.9905
	50 °C ve 3.0 m/s	0.20303	-	0.3669	-	0.9742
	60 °C ve 1.5 m/s	0.23481	-	0.3613	-	0.9645

	60 °C ve 3.0 m/s	0.23214	-	0.4095	-	0.9545
Henderson ve Pabis Eşitliği $M_R = (a)\exp(-kt)$	30 °C ve 1.5 m/s	0.002	1.0611	-	-	0.9638
	30 °C ve 3.0 m/s	0.003	1.0180	-	-	0.9791
	40 °C ve 1.5 m/s	0.003	1.0799	-	-	0.9399
	40 °C ve 3.0 m/s	0.005	1.0033	-	-	0.9380
	50 °C ve 1.5 m/s	0.006	1.1216	-	-	0.9681
	50 °C ve 3.0 m/s	0.008	0.909	-	-	0.9965
	60 °C ve 1.5 m/s	0.008	0.8659	-	-	0.9784
	60 °C ve 3.0 m/s	0.013	1.0209	-	-	0.8912
Logaritmik Eşitlik $M_R = (a)\exp(-kt)+c$	30 °C ve 1.5 m/s	0.0025	1.220	-	-0.0155	0.9325
	30 °C ve 3.0 m/s	0.0034	1.100	-	-0.0216	0.9562
	40 °C ve 1.5 m/s	0.0036	1.250	-	-0.0173	0.8952
	40 °C ve 3.0 m/s	0.0054	1.114	-	-0.0096	0.9654
	50 °C ve 1.5 m/s	0.0063	1.150	-	-0.0118	0.9516
	50 °C ve 3.0 m/s	0.0084	0.990	-	-0.0210	0.9755
	60 °C ve 1.5 m/s	0.0082	0.850	-	-0.0105	0.9642
	60 °C ve 3.0 m/s	0.0135	1.0702	-	-0.0178	0.9536

Çizelge 6.1. incelendiğinde, R^2 değerlerine bakılarak 30-60 °C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Bu durum sıcaklığın arttırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Diğer yandan modifiye Page Eşitliğinin diğer parametresi olan n'in sıcaklıkla değişiminin düzenli olmadığı görülmektedir. Benzer sonuçlara literatürde farklı gıda ürünleri içinde rastlanmıştır (Kamer vd. 2016; Alibaş, 2012b; Kaya, 2014) . Domates ile ilgili yapılan çalışmalarda Page Modelin en uygun model olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi (Doymaz, 2007a; Chawla vd., 2006) Modifiye Page Eşitliğinin kurutmayı en iyi temsil eden eşitlik olduğunu ifade eden çalışmalar da vardır (Demiray,2009).

6.2.2. Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Difüzyon hızının belirlenmesi için Eşitlik 5.5'in çözümü yapılır. Çizelge 6.2'de difüzyon katsayısının sıcaklık ve hava hızı ile değişimi verilmiştir.

Çizelge 6.2. Difüzyon Katsayısının Sıcaklık ve Hava Hızı ile Değişimi

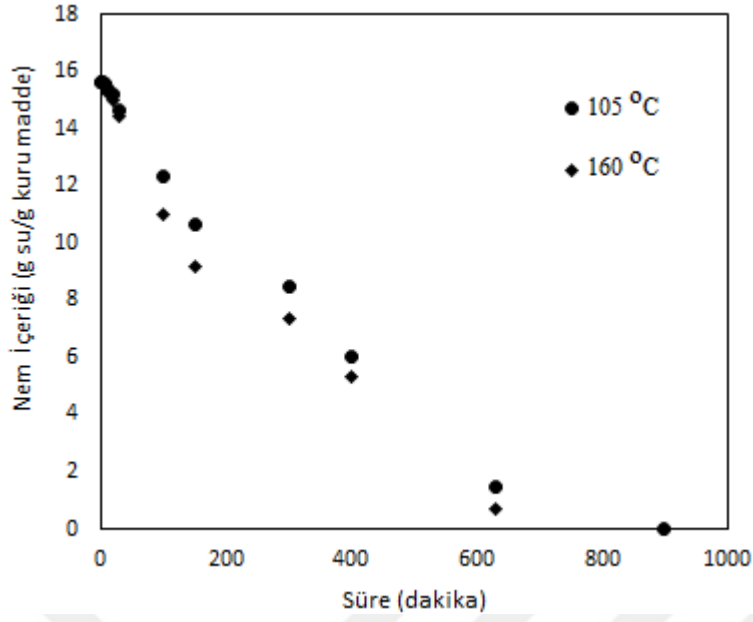
Hava Hızı	Sıcaklık (°C)	Difüzyon Katsayıları (m ² /s)
1.5 m/s	30	$3,798 \times 10^{-10}$

	40	$5,900 \times 10^{-10}$
	50	$9,198 \times 10^{-10}$
	60	$1,305 \times 10^{-9}$
3 m/s	30	$4,923 \times 10^{-10}$
	40	$6,498 \times 10^{-10}$
	50	$1,173 \times 10^{-9}$
	60	$1,762 \times 10^{-9}$

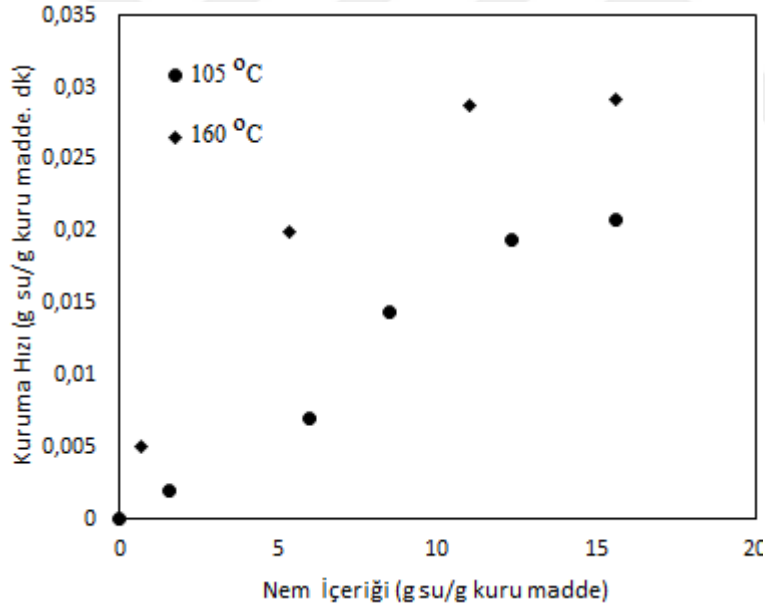
Çizelge 6.2'den difüzyon katsayısının 3 m/s hava hızında yapılan deneylerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalar incelendiğinde difüzyon katsayılarının 10^{-7} - 10^{-11} m²/s ve aktivasyon enerjisinin 10-80 kJ/mol aralığında değiştiği bildirilmiştir. Difüzyon katsayısının değişimi Arrhenius tipi üssel bir fonksiyonla açıklanabilmektedir. Eşitlik (5.6) kullanılarak aktivasyon enerjileri hesaplanabilir. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir. 1/T ye karşı $\ln D_{\text{eff}}$ değerlerinin grafiğe geçirilmesi sonucu eğimden E_A hesaplanmıştır. Buna göre 1.5 m/s hava hızında yapılan kurutma işlemi için E_A değeri 34.81 kJ/mol, 3 m/s hava hızında yapılan kurutma işlemi için E_A değerinin 36.93 kJ/mol olduğu bulunmuştur. Benzer çalışmalarda da aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Vega-Galvez (2012) yapmış oldukları bir çalışmada çilek için E_A değerinin 38.78 kJ/mol olduğu ifade edilmiştir.

6.3. İnfrared Kurutucu Kullanılarak Yapılan Kurutma Deney Sonuçları

İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyi sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek zamanla nem içeriğindeki değişim (Şekil 6.5) ve nem içeriği- kurutma hızı ilişkisi (Şekil 6.6) verilmiştir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma deneyinde aynı kuru madde yüzdesine ulaşma süresinin tepsili kurutucuda düşük sıcaklıklarda yapılan kurutmaya oranla daha kısa olduğu saptanmıştır. Bu sonucun kurutma sıcaklığındaki yükseklikten ve numune miktarının düşük olması sebebiyle bünyedeki nemin daha kolay uzaklaşmasından ileri geldiği düşünülmektedir.



Şekil 6.5. İnfrared Kurutucuda Kurutulan Domates Numunesine Ait Nem İçeriği Değerlerinin Kuruma Zamanı ile Değişimi



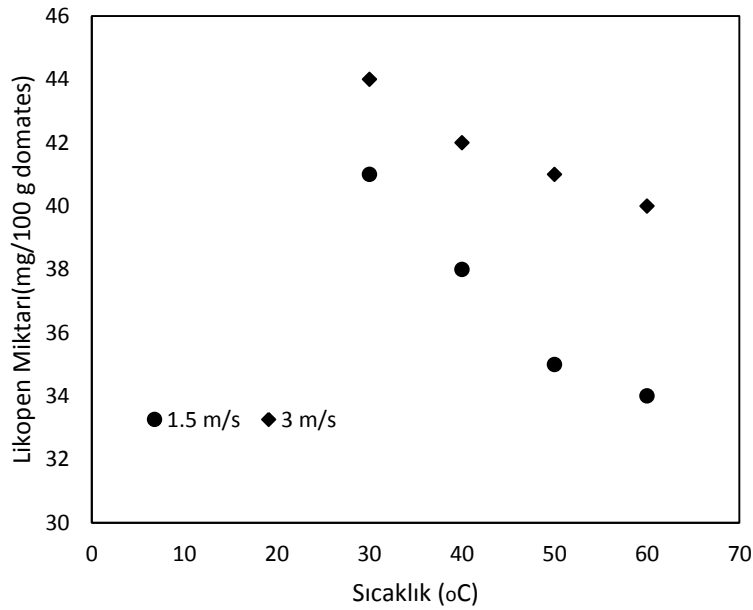
Şekil 6.6. İnfrared Kurutucuda Kurutulan Domates Numunesine Ait kuruma Hızı Değerlerinin Nem İçeriği ile Değişimi

6.4. Likopen ve β -karoten Miktarındaki Değişmeler

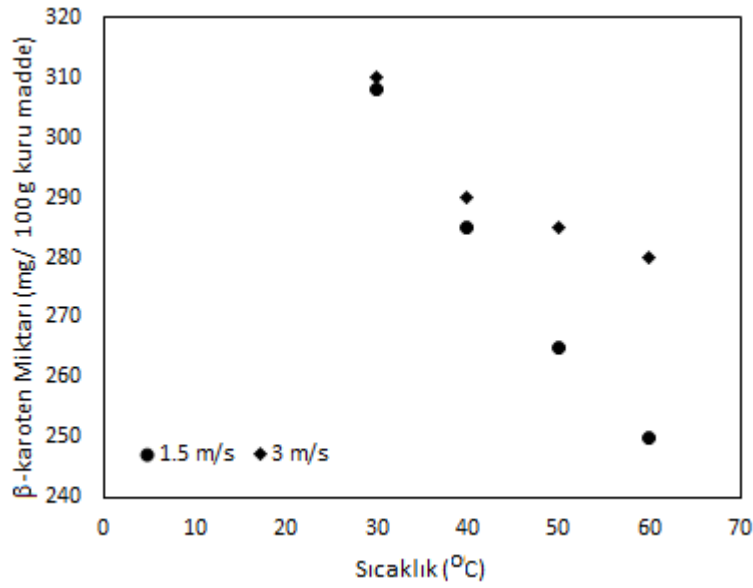
HPLC cihazı ile likopen tayini için gerekli olan likopen standart eğrisi oluşturulmuş ve bu eğri kullanılarak likopen içerikleri hesaplanmıştır. HPLC analizleri sonucu elde edilen kromatogramlardan bazıları örnek olarak Ekler kısmında verilmiştir. Deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45.25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Meyve ve

sebzelerdeki karotenoid bileşiklerin miktarı; çeşit, tür, olgunluk, yetiştirme koşulları gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir (Shi ve Le Maguer, 2000). Çalışmamızda kullanılan domateslerin içerdiği likopen miktarının literatürde verilen değerlerle uyum içinde olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, taze domatesteki likopen miktarı 913.86 mg/ 100 g kuru madde olarak verilmiştir (Demiray, 2009), bir diğer çalışmada olgun, taze domateslerin yaş ağırlık üzerinden 53,821 mg/100g domates (Chawla vd, 2008) düzeyinde likopen içerdiği bildirilmektedir. Kurutma işlemleri sonucu elde edilen domateslerin likopen içeriklerinin sıcaklıkla değişimleri Şekil 6.7’de verilmiştir.

β -karoten tayini yapılan domateslerde kuruma sıcaklığı arttıkça β -karoten kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan bir çalışmada (Muratore vd, 2008), domatesler farklı sıcaklıklarda (40°C, 60°C ve 80°C) ön işlem uygulanarak ve uygulanmadan kurutulmuştur. 40°C’de ön işlem uygulanarak yapılan kurutma sonunda β -karoten kaybına rastlanmazken, ön işlem uygulanmadan yapılan kurutmada %24.73 oranında β -karoten kaybı belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada (Demiray, 2009) 60 °C deki kurutma işleminde beta-karoten miktarının 305.24 mg /100 g kuru madde değerinden 58.02 mg /100 g kuru madde değerine düşmüştür



Şekil 6.7. Sıcaklıkla Likopen Miktarındaki Değişim (Tepsili Kurutucu)



Şekil 6.8. Sıcaklıkla β -karoten Miktarındaki Değişim (Tepsili Kurutucu)

Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30.21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276.5 mg/100 g kuru madde'dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105 °C için 27.36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160 °C için ise 22.82 mg/100 g domates ve 102.37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur.

Özellikle püskürtmeli kurutucuda likopen ve β -karoten kaybının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun püskürtmeli kurutucudaki sıcaklığın yüksek olması sonucu yapıda meydana gelen bozunmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum tepsili kurutucuda yüksek sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlardan da görülmektedir.

6.5. Askorbik Asit Miktarındaki Değişmeler

HPLC cihazı ile askorbik asit tayini için gerekli olan askorbik asit standart eğrisi likopen ve β -karoten analizlerinde olduğu gibi öncelikle belirlenmiş ve veriler bu eğriden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Farklı kurutucular için bulunan askorbik asit miktarları Çizelge 6.3'de verilmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizde domates için askorbik asit

miktarı 493.49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada domatesin 60 °C’de 20 saatlik kurutma işlemi sonunda askorbik asit miktarının 544.84 mg/100 g kuru maddeden 135.55 mg/100 g kuru maddeye düştüğü rapor edilmiştir (Demiray, 2009).

Çizelge 6.3. Farklı Kurutucular için Askorbik Asit Miktarları

Kurutucu Tipi		Sıcaklık (°C)	Askorbik Asit (mg/100 g kuru madde)
Tepsili Kurutucu	1.5 m/s hava hızı	30	438.27
		40	315.18
		50	256.89
		60	203.74
	3.0 m/s hava hızı	30	448.12
		40	440.14
		50	323.57
		60	285.16
Püskürtmeli Kurutucu		100	32.17
Infrared Kurutucu		105	-
		160	-

Çizelgeden görüleceği gibi askorbik asit miktarları sıcaklıktaki artışla birlikte azalmıştır. Buda askorbik asidin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. İnfrared kurutucu ile yapılan kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru domates ile yapılan deneylerde askorbik asit tespit edilememiştir. Bu durumun kurutma sıcaklığının yüksek olması ve kurutma odasında kalış süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırma sonucu ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetle sunulmuştur:

1. Farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulan domates numunelerinin kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süreleri azalmıştır. Bulunan kuruma süreleri literatürde verilen kuruma süreleri ile uyum içindedir. Ayrıca domates numunelerinin kurumasının sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodunu takip ettiği görülmüştür.
2. Tepsili kurutucu, İnfrared kurutucu ve püskürtmeli kurutucu kıyaslandığı zaman en hızlı kurumanın püskürtmeli kurutucu cihazında gerçekleştiği gözlenmiştir.
3. Besin değerleri ve süre bakımından bir karşılaştırılma yapıldığında ise dezavantajlı sayılabilecek kurutucu ise infrared kurutucudur. İnfrared kurutucuda kurutulan domates ürünlerinin kuruma süreleri çok uzamıştır ve domatesler esmerleşme reaksiyonuna maruz kalıp renkleri koyulaşmıştır. Ayrıca tüketici bakımından görsellik her ne kadar büyük önem arzetsen de besinleri de önemlidir. İnfrared kurutucu cihazında kurutulan domates ürünlerinin askorbik asit değeri sıfır çıkmıştır.

4. Deneysel değerlere en iyi yaklaşımı veren teorik modeli tanımlamak için 5 farklı kurutma modeli, (Modifiye Page model, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model) kullanılmıştır. 30-60 °C sıcaklıklarda ve 1.5 ve 3 m/s hava hızlarında Modifiye Page Eşitliğinin domatesin kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kuruma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hava hızı ve sıcaklıkla arttığı görölmüştür. Bu durum sıcaklığın artırılması ile kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğinin bir göstergesidir.
5. Kurutma sıcaklığı arttıkça kurutulacak olan domates ürünlerinin rengi de kırmızıdan kahverengiye doğru bir değişim gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak yüksek sıcaklıklarda renk pigmentlerinin bozunmasının sonucu kahverengi renk bileşenlerin oluşmasıdır. Bu giriş kısmında esmerleşme reaksiyonu olarak açıklanmıştır.
6. Çalışma sonunda elde edilen bulgulardan 50°C ve üzerinde yapılan kurutma işleminde domates açısından önemli sayılabilecek bileşenlerin ciddi oranda kayba uğradığı belirlenmiştir.
7. Kurutma işlemine başlamadan önce deneylerde kullanılan domatesin likopen içeriği 45,25 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde kurutma sıcaklığı arttıkça likopen kayıplarının arttığı gözlenmiştir 1.5 m/s hava hızında ve 60°C sıcaklıkta likopen kaybının %24 olduğu bu oranın 3 m/s hava hızı için ise %11 olduğu bulunmuştur. Püskürtmeli kurutucu ile yapılan işlemler sonucu elde edilen domates tozunun likopen içeriği ise 30,21 mg/100 g domates olarak bulunmuştur. Aynı numunenin β -karoten içeriği ise 276,5 mg/100 g kuru madde'dir. İnfrared kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işlemi sonucu elde edilen kuru domatesin likopen ve β -karoten içeriği sırasıyla 105 °C için 27,36 mg/100 g domates ve 220 mg/100 g kuru madde, 160 °C için ise 22,82 mg/100 g domates ve 102,37 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur.
8. Kurutma işlemine başlamadan önce yapılan analizde domates için askorbik asit miktarı 493.49 mg/100 g kuru madde olarak bulunmuştur. Bu değer tepsili kurutucu da 60 °C'de yapılan deney sonucu elde edilen kuru domates için 203.74 mg/100 g kuru maddeye kadar düşmüştür. Bu da askorbik asidin yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilendiğinin ve önemli kayıpların meydana geldiğinin bir göstergesidir. İnfrared

kurutucu ile yapılan kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru domates ile yapılan deneylerde askorbik asit tespit edilememiştir. Bu durumun kurutma sıcaklığının yüksek olması ve kurutma odasında kalış süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

9. Domates tozu üretiminde püskürtmeli kurutucunun kullanılabilirliği açısından değerlendirildiğinde deneyler süresince karşılaşılan sorunların bertaraf edilmesine yönelik çalışmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Deneyler süresince toz toplama ünitesine yapışma ve hava hızının ayarlanmasındaki zorluklarla karşılaşmış ve sorunlar deneme yanılma yoluyla giderilmeye çalışılmıştır. Daha ileri bir çalışma ile optimum şartlar belirlenebilir ve sorunların çözümü ile püskürtmeli kurutucunun kullanımı endüstriyel açıdan önem kazanabilir. Ayrıca farklı ön işlemler uygulanmış domateslerin kuruma kinetiklerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılabilir.

8. KAYNAKLAR

- Abe, T. and Afzal, T. M., (1997). Thin-layer Infrared Radition Drying of Rough Rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67: 289 – 297.
- Abushita, A.A., Daood, H.G. and Biacs, P.A., (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48:2075-2081.
- Aghbashlo M, Kianmehr MH, Beygi SRH., (2010). Drying and Rehtdration Charactericstic of Sour Cherry (*Prunus Cerasus L.*). *J Food Process Preservation*, 34,351-365.
- Alibaş İ., (2012a). Asma Yaprığının (*Vitis vinifera L.*) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*.
- Alibaş İ., (2012b). Sıcak Havayla Kurutulan Enginar (*Cynara Cardunculus L. Var. Scolymus*) Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Tanımlanmasında Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Mevcut Modellerle Kıyaslanması, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, Sayı 1, 49-61.
- Alibaş İ., (2015). İnce Tabaka Mango Dilimlerinin Mikrodalga Tekniği ile Kurutulması, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 99-109.
- Allison, S.D., Theodore, W.R., Mark, C. M., Kim, M., Ashley, D. and John, F.C., (1998). Effects of Drying Methods and Additives on Structure and Function of Actin:

- Mechanisms of Dehydration-Induced Damage and Its Inhibition. Archives of Biochemistry And Biophysics, 358(1): 171–181.
- Anguelova, T. and Warthesen, J., (2000). Lycopene Stability in Tomato Powders. Journal of Food Science, 65(1): 67-70.
- Anonim, (2004). Preservation of Fruits and Vegetables by Drying III UNISWORK. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Program Raporu, Gebze Kocaeli.
- Anonim, (2007). Sun and Solar Drying, Techniques and Equipment. http://www.unido.org/fileadmin/import/32146_33SUNANDSOLARDRYING.16.pdf (erisim tarihi, 13.11.2007)
- Ayan, H., (2010). Güneşte ve yapay kurutucularda kurutulmuş domatesin (*Lycopersitcum esculentum*) üretimi ve proses sırasındaki değişimlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baker, G.J.C., (1997). Industrial Drying of Foods, Chapman&Hall Publication, New York, 299s.
- Baloch WA, Khan S, Baloch A., (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. International Journal of Food Science and Technology, 32: 117-120.
- Barbosa – Canovas, G. V. and Vega – Mercado, H., (1996). Dehydration of Foods, Chapman & Hall Publication., First Edition, New York, 327s.
- Carfi, A., (1993). Salçaya işlenen önemli domates çeşitlerindeki pektinin metil esteraz enziminin nicelikleri ve bu enzimin inaktivasyon koşullarının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 68s.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M., (2003). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 28, s541- 675.
- Cemeroğlu, B., (2007). Gıda Analizleri, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 535s.
- Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. and Liu, Y.C., (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. Journal of Food Engineering 77: 478- 485.
- Chawla, C., Kaur, D., Oberoi D.P.S and Sogi, D.S., (2008). Drying Characteristics, Sorption Isotherms, and Lycopene Retention of Tomato Pulp. Drying Technology, 26: 1257-1264.
- Crank J., (1975). The mathematics of diffusion. Oxford University Press, OX,UK.
- Dadalı, G. (2007) Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniğini kullanarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi., Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

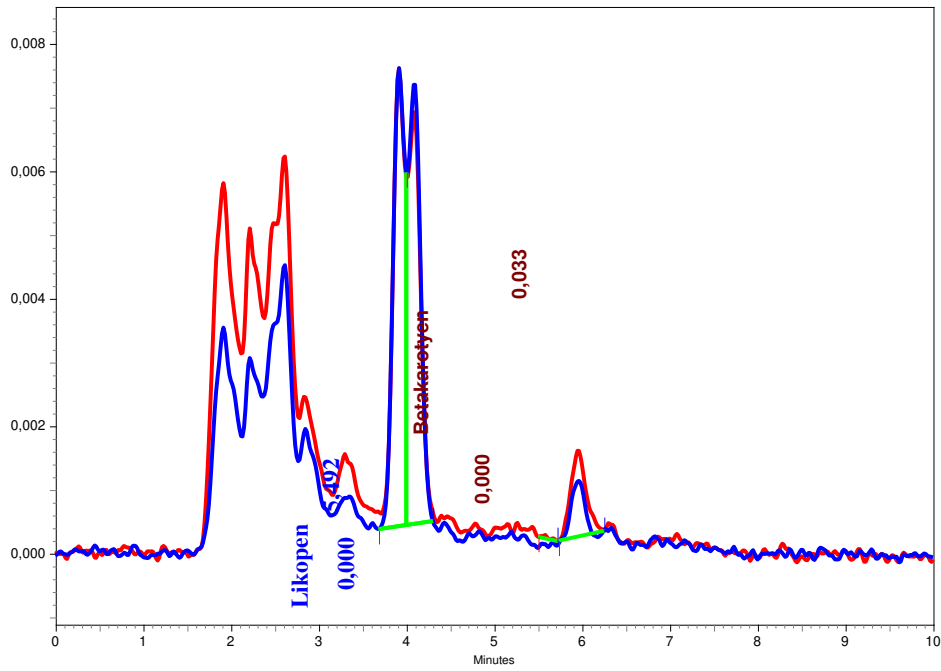
- Davoodi MG, Vijayanand P, Kulkarni SG, Ramana KVR., (2007). Effect of Different Pre-treatments and Dehydration Methods on Quality Characteristics and Storage Stability of Tomato Powder, LWT, 40, 1832-1840.
- Doymaz İ., (2012). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyos kaki* L.) Energy Conver Manag, 56, 199-205.
- Demiray, E., (2009). Kurutma işleminde domatesin likopen, β -Karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- El-Shiatry, M., A., Müller, J., Mühlbauer, W., (1991). Drying Fruits and Vegetables with solar Energy in Egypt, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 22 (4).
- Gedik, A., (2001). Kuru soğanların kurutulması ve depolanması sırasında bazı kalite karakteristiklerinin (renk, aroma) bozunma kinetiği ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 92s.
- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., Pagliarini, B., Zanoni, B. and Spigno, P., (2001). The antioxidant activity of tomato. III. effects of processing technologies on oxidative heat damage. Proceedings of 7th International Symposium on The Processing Tomato, İstanbul, s217-220.
- Hatipoğlu, N., (2002). Ozmatic ön işlemlerin kayısı ve kavunların kurutulması ve depolanma stabilitesine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Heldman, D., R. and Hartel, R., W., (1997). Principles of Food Processing, Chapman & Hall Publication, New York, 288s.
- Hernandez, Y. Lobo, M.G. and Gonzalez, M., (2006). Determination of Vitamin C in Tropical Fruits: A Comparative Evaluation of Methods", Food Chemistry, 96:654– 664.
- İsmailova A. A., (1957). The Possibilities Of Using Solar Energy For Drying Fruits And Vegetables, 232-47, 22s.
- İzgi C., (2012). Farklı Kurutma Metotlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Kamer M.S., Şahin H.E., Sönmez K., İmal M. (2016) Kabak ve Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Karaçalı, İ. (2002) Meyve ve Sebze Değerlendirme. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Notları: 19/5, İzmir.
- Karakaya S, Yılmaz N., (2007). Lycopene content and antioxidant activity of fresh and processed tomatoes and in vitro bioavailability of lycopene. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 2342-2347.

- Kaya A., (2014) Trabzon Hurmasının (*Diospyros Kakı L.*) Kurutma Davranışının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 15-21.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D., (2003). Drying Kinetics of Some Vegetables *Journal of Food Engineering*, 59: 391-403.
- Kocabıyık H, Sümer SK, Tuncel NB, Büyükcan B, Yılmaz N., (2012). İnfrared Kurutma Yönteminin Domates Kurutmada Kullanılması ve Kurutulmuş Domatesin Bazı Kalite Özellikleri ve Özgül Enerji Tüketimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Tübitak Projesi, No:109 O 578.
- Kutlu N., (2015). Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39-46.
- Lavelli, V., Hippeli, S., Dornisch, K., Peri, C. and Elstner, E. F., (2001). Properties of Tomato Powders as Additives for Food Fortification and Stabilization, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (4):2037-2042.
- Lee MT and Chen BH., (2002). Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. *Food Chemistry*, 78(4), 425-432.
- Lee, S. K. and Kader, A.A., (2000). Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 207-220.
- Lewicki, P. and Pomaranska-Lazuka, W., (2002). Effects of Pretreatment on Convective Drying of Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54 : 141-146.
- Liu Q, Bakker-Arkema F W., (1997). Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 275–280.
- Lutz, A. R., (1987). Raft Culture, Mussel Aquaculture in the United States.
- Maskan, M., (2001a). Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48 : (2), 177-182.
- Muratore G, Licciardello F, Restuccia C, Puglisi M L, Giudici P., (2006). Role of different factors affecting the formation of 5-hydroxymethyl-2-furancarboxaldehyde in heated grape must. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 860–863.
- Muratore G, Rizzo V, Licciardello F, Maccarone E., (2008). Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products. *Food Chemistry*, 111: 887-891.
- Nowak, D. and Lewicki, P. P., (2004). Infrared Drying of Apple Slices, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 353-360.
- Pabis, S., (1999). The Initial Phase of Convection Drying of Vegetables and Mushrooms and the Effect of Shrinkage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72 :187-195.

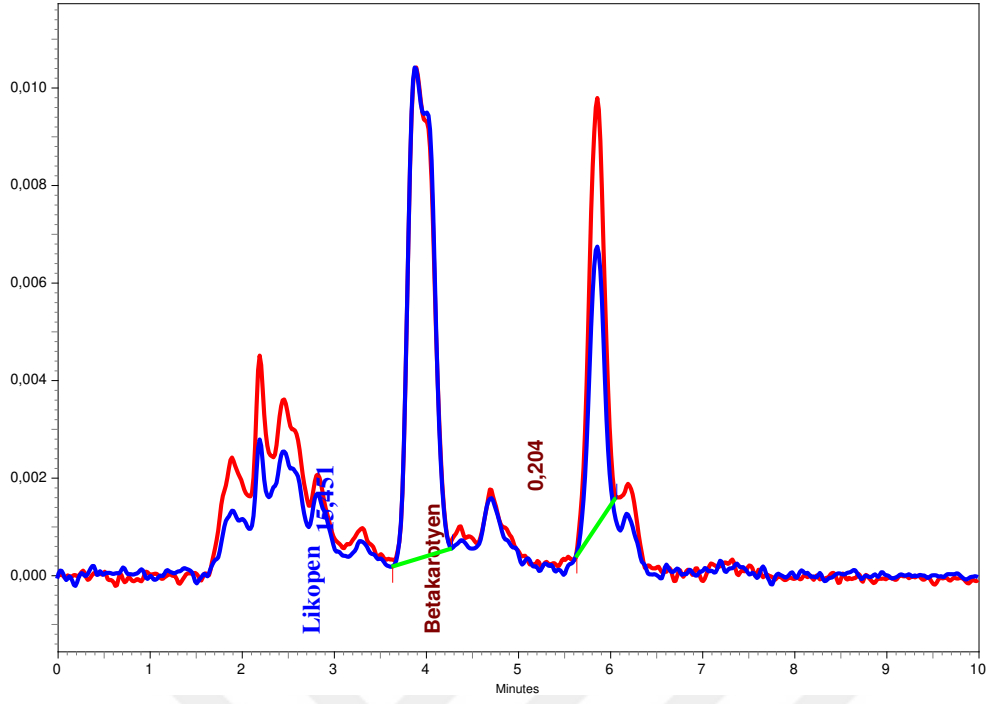
- Pazır, F.,(1996). Domates kurutulmasında tuz veya tuz+betabisülfıt uygulaması. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Meyve Sebze İşleme Mühendisliği Bilim Dalı Güneşte Kurutulmuş Domates Üretimi Semineri, s.73-87, İzmir.
- Pratt, G.H., (1974). Timber Drying Manual, Building Research Establishment Report, Londra
- Rao, A.V., Waseem Z. and Agarwal S., (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene, Food Research International, 31:737-741.
- Rao A V, Agarwal S (1999). Role of lycopene as antioxidant caretenoid in the prevention of choronic diseases: A review. Nutrition Research, 19: 305-323.
- Rao, A.V., (2004). Processed tomato products as a source of dieatary lycopene: bioavailability and antioxidant properties, Canadian Journal of Dietetic Practice and Research, 65(4), 161.
- Rao, A.V. and Honglei, S., (2002). Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stres. Nutr. Res., 22; 1125-1131.
- Sacilik K, Keskin R, Elicin AK., 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. J Food Eng, 73, 231-238.
- Şahin FH., (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Sharma S.K. and Le Maguer M., (1996) . Kinetics of Lycopene Degradation in Tomato Pulp Solids Under Different Processing and Storage Canditions. Food Research International, 29 (3-4) : 309-315.
- Shi, J. and Le Maguer, M., (2000). Lycopene in Tomotoes :Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40 (1) : 1-42.
- Stahl W and Sies H., (1992). Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. J Nutr; 122:2161-2166.
- Sharma, S.K. and Le Maguer, M., (1996). Lycopene in tomatoes and tomato pulp fractions. Intl. J. Food Sci., 2: 107–113.
- Soysal, Y., (2004). Microwave Drying Characteristics of Parsley. Biosystems Engineering, 89: (2)167 – 173
- Tapiero, H., Townsend, D.M. and Tew, K.D., (2004). The role of carotenoids in the prevention of human pathologies, Biomedicine and Pharmacotherapy, 58:100- 110.

- Teymur, N., (1999). Maydanoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 64s.
- Toledo, R. T., (1991). Fundamentals of Food Process Engineering. Chapman & Hall Publication, 602s.
- Ural, A., (1996). Kurutulmuş domates yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Meyve Sebze işleme Mühendisliği Bilim Dalı Güneşte Kurutulmuş Domates Üretimi Semineri, İzmir.
- Uylaşer, V., (1996). Salça üretim aşamalarına göre bakteri ve maya florasındaki değişim ve bozulmadaki etkileri üzerinde araştırmalar. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Uzun N, Şen F, Karaçalı İ., (2005). Güneşte Kurutulmuş Domateslerin Kalitesi Üzerine Farklı Depolama Koşulları ve Oksijen Absorbantının Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(1):1-12, İzmir.
- Vega-Galvez A, Miranda M, Diaz LP, Lopez L, Rodriguez K, Di-Scala K., (2010). Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive- waste cake. Bioresour Technol, 101, 7265-7270.
- Vega-Galvez A, Puente-Diaz L, Lemus- Mondaca R, Miranda M, Torres MJ, (2012). Mathematical Modelling of Thin-layer Drying Kinetics of Cape Gooseberry (Physalis Peruviana L.) J Food Process Preservation. 38, 728-736.
- Yılmaz H N., (2000). Güneş Pili Tahrikli Model Bir Güneşli Kurutucunun Geliştirilmesi ve Kurutulmuş Domates Üretiminde Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zanoni, B., Peri, C., Nani, R. and Lavelli, V., (1999). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. Food Research International, Vol.31, No.5, pp.395-401.
- WEB_1. (2005) FAOSTAT's web site. <http://faostat.fao.org/> (23.10.2008).
- WEB_2 (2008) <http://www.hunterlab.com/> (27.10.2008).

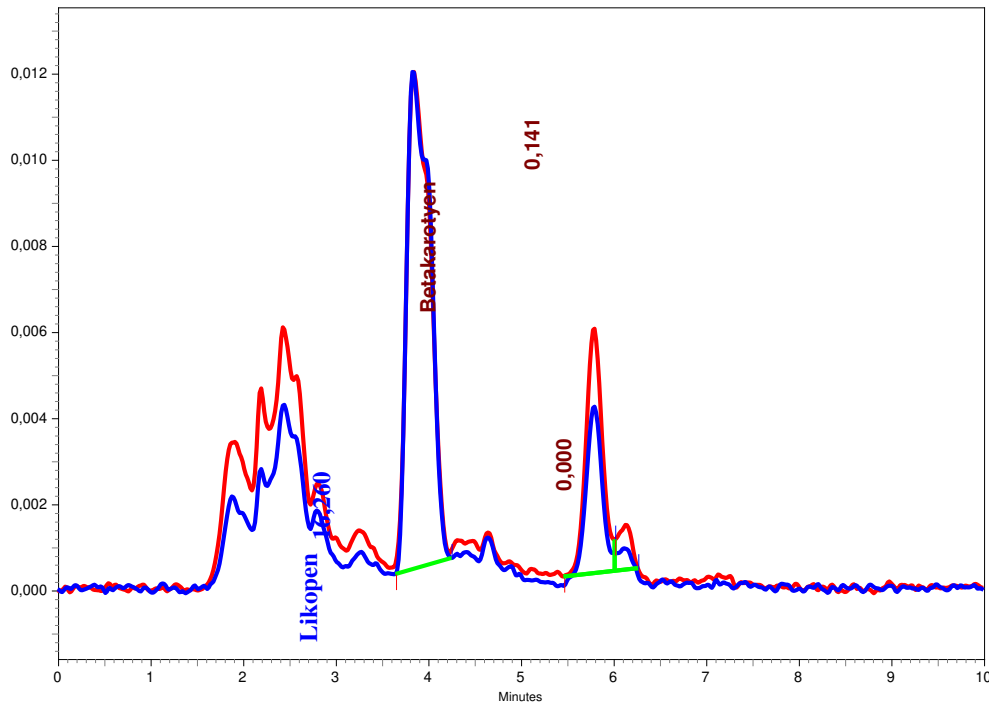
EKLER



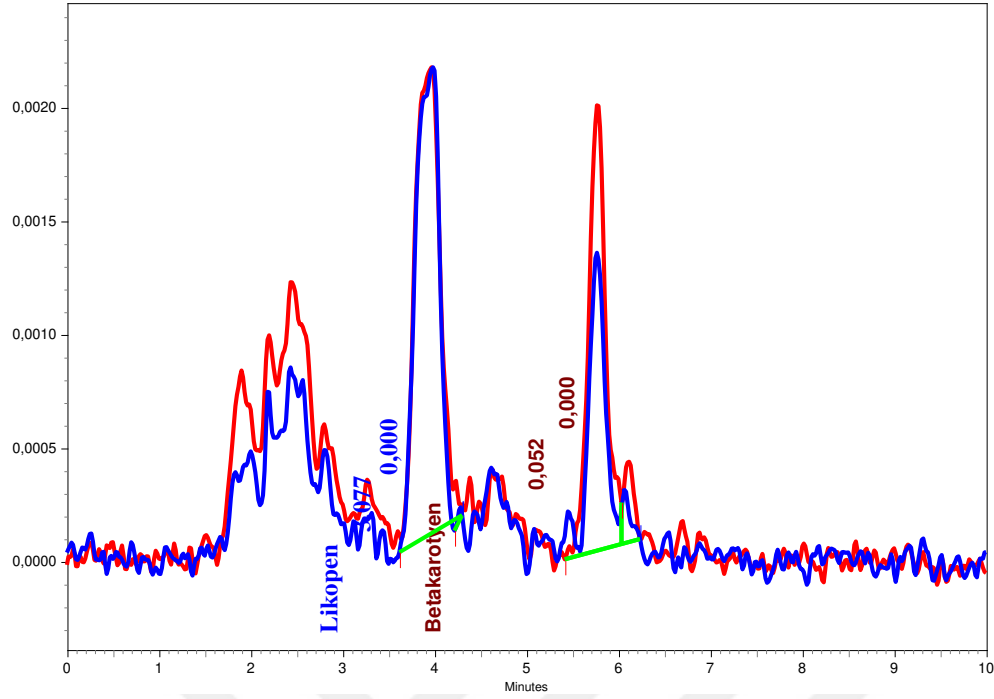
Şekil 1. Püskürtmeli kurutucu cihazında kurutulan domatesin likopen ve beta-karoten kromatogramı



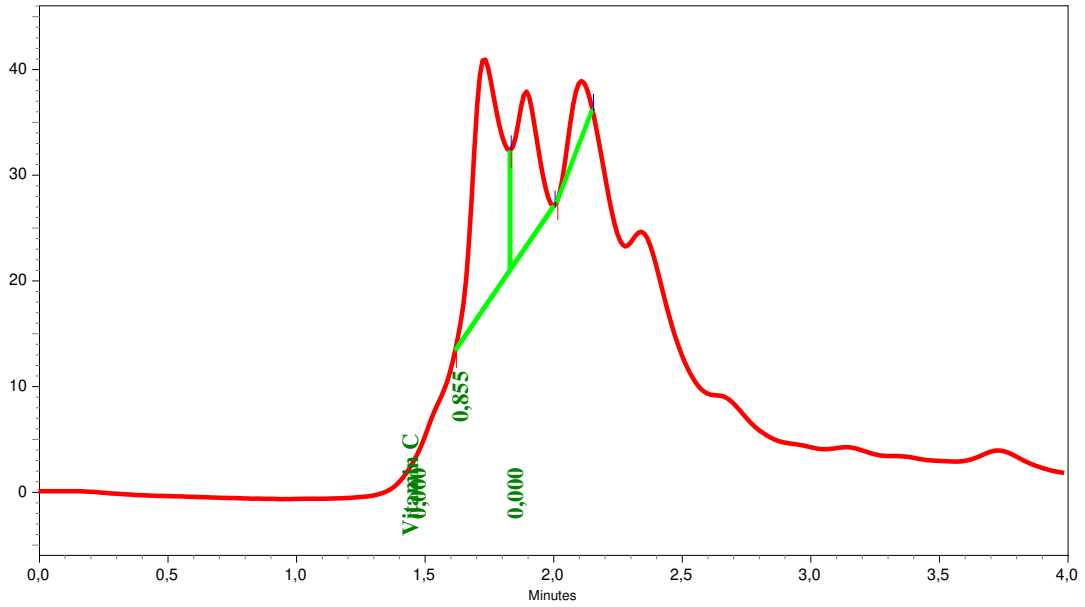
Şekil 2. Tepsili Kurutucu cihazında 1,5 m/s hava hızında 30 °C’de yapılan kurutma ürünün likopen ve beta-karoten kromatogramı



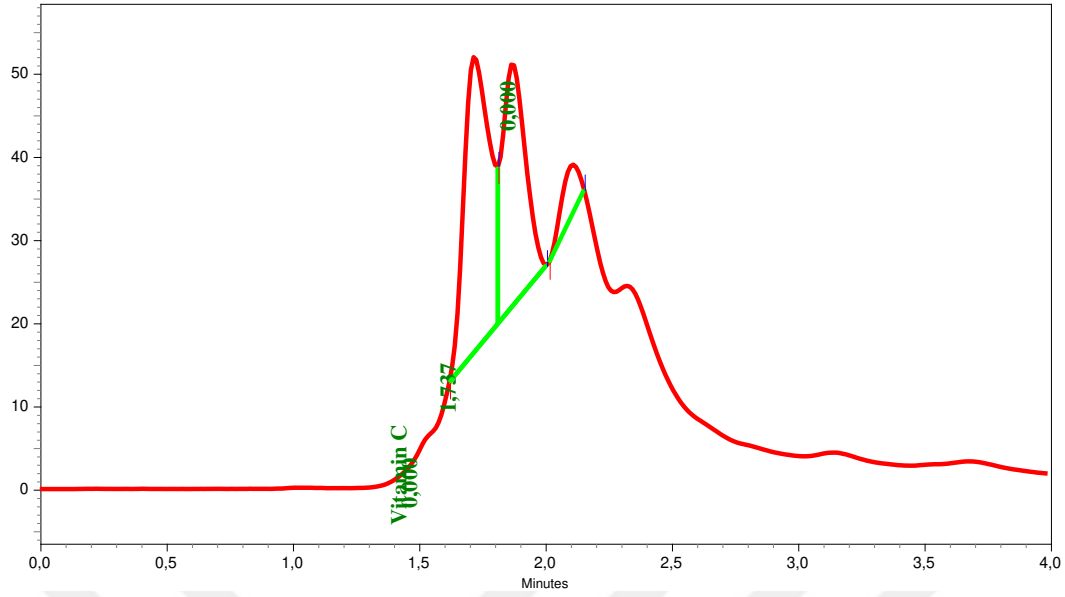
Şekil 3. Tepsili Kurutucu cihazında 3 m/s hava hızında 30 °C’de yapılan kurutma ürünün likopen ve beta-karoten kromatogramı



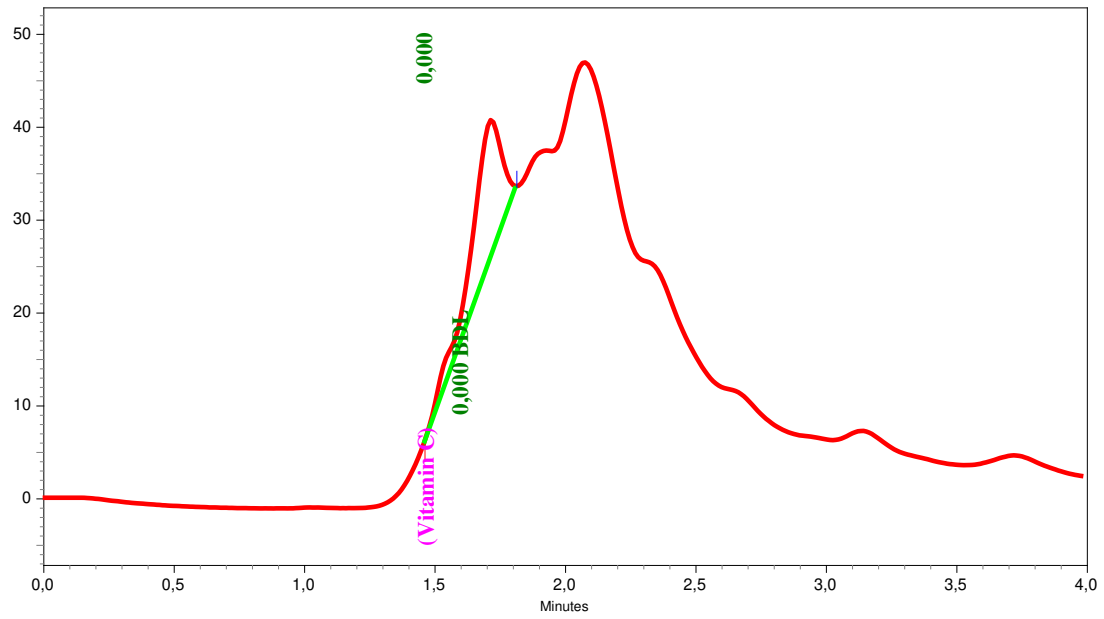
Şekil 4. İnfrared Kurutucu cihazında 105 °C’de yapılan kurutma ürünün likopen ve beta-karoten kromatogramı



Şekil 5. Püskürtmeli Kurutucu cihazında yapılan kurutma ürünün C vitamini kromatogramı



Şekil 6. Tepsili Kurutucu cihazında 1,5 m/s hava hızında 30 °C’de yapılan kurutma ürünün askorbik asit kromatogramı



Şekil 7. İnfrared Kurutucu cihazında yapılan kurutma ürünün Askorbik Asit kromatogramı

Çizelge 1. Tepsili kurutucuda yapılan deneyler sonucu elde edilen kuru domatesler için likopen miktarları

Sıcaklık	1.5 m/s	3 m/s
Başlangıç	45	45
30	41	44

40	38	42
50	35	41
60	34	40

Çizelge 2. Tepsili kurutucuda yapılan deneyler sonucu elde edilen kuru domatesler için β -karoten miktarları

Sıcaklık	1.5 m/s	3 m/s
Başlangıç	320	320
30	308	310
40	285	290
50	265	285
60	250	280

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Elazığ/Merkez’de doğan Ecem ÖZEN, ilköğrenimini Elazığ Atatürk İlköğretim okulunda, ortaokulu Namık Kemal İlkokulunda, liseyi Hıdır Sever Lisesi’nde tamamlamıştır. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği girmiştir. 2014 yılında mezuniyetini tamamlayıp, aynı yıl içerisinde Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda lisansüstü eğitime başlamıştır. Aynı zamanda 2015 yılında başlayan Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda lisansüstü eğitime de devam etmektedir.

