

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KURUTMANIN PORTAKAL KABUĞUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE
ETKİLERİ**

Cansu TAMER

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Cansu TAMER tarafından hazırlanan “**Kurutmanın Portakal Kabuğu Fiziksel Özelliklerine Etkileri**” adlı tez çalışması 18/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Aslı İŞÇİ YAKAN

Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Gülüm S. ŞUMNU

ODTÜ Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU

Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Aslı İŞÇİ YAKAN

Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

18.04.2017


Cansu TAMER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KURUTMANIN PORTAKAL KABUĞUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Cansu TAMER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aslı İŞÇİ YAKAN

Bu çalışmanın amacı, portakal kabuğunun, farklı koşullarda kurutulması sırasında oluşan bazı fiziksel değişimlerin belirlenmesidir. Tepsili kurutucuda, farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan portakal kabuğu örneklerinin yapısında meydana gelen değişimler (nem içeriği, büzülme, gözeneklilik, renk ve mikroyapı) incelenmiştir. Kurutma esnasında meydana gelen büzülme ve gözeneklilik değişimleri, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Nem içeriği ve büzülme arasında negatif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Nem içeriği ve gözeneklilik arasındaki korelasyonun ise üçüncü dereceden polinom olduğu bulunmuştur. Ortalama 2,4 kg su/ kg kuru madde olan başlangıç nem içeriğinden 0,02 kg su/ kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutulan portakal kabuklarında, sıcaklık ve hava hızının artması ile kurutma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Hava sıcaklığının, örneklerin son büzülme ve gözeneklilik değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, kurutma esnasında, numunelerin gözenekliliği kritik bir değere kadar artmış ve bu noktada nemin daha da azalması gözeneklerin çökmesine neden olmuştur. Hava hızı ve sıcaklıktaki artış, portakal kabuğu örneklerinin parlaklık (L*) ve sarılık (b*) değerlerini etkilemezken, kırmızılık (a*) değerleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Flavedo üzerindeki gözeneklerin çok yoğun olduğu görülen portakal kabuğunun, kurutma sırasında işlem koşullarının şiddeti arttıkça, yüzeyinin çatladığı ve parçalanmış bileşenlerin gözenekleri kapattığı görülmüştür.

Nisan 2017, 47 sayfa

Anahtar Kelimeler: Portakal kabuğu, kurutma, büzülme, gözeneklilik, modelleme

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECT OF DRYING ON PHYSICAL PROPERTIES OF ORANGE PEEL

Cansu TAMER

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aslı İŞÇİ YAKAN

The purpose of the study was to determine some of the physical changes that occur during drying of the orange peel at different conditions. The changes in the orange peel samples (moisture, shrinkage, porosity, color and microstructure) were investigated at different drying temperatures (40, 50 and 60 °C) and air velocities (1 and 2 m/s). Shrinkage and porosity of the samples have been modeled as a function of moisture content. It was determined that there was a negative correlation between moisture content and shrinkage. The porosity of the orange peel, however, was correlated with moisture by a third-order polynomial. The orange peel samples were dried from an average of 2.4 kg water/kg dry matter moisture content to an average of 0.02 kg water/kg dry matter. Increasing air temperature and air velocity had reduced the drying time of orange peel samples. Air temperature had no significant impact on the final shrinkage and porosity values. In addition, during drying, the porosity of the samples first increased until a critical value, at which point further decrease in moisture resulted in collapse of pores. The increase in air velocity and temperature were found to be effective on redness (a^*) while the brightness (L^*) and yellowness (b^*) of the orange peel samples were not affected during drying. The SEM analysis revealed that at extreme process conditions, the orange peel surface was cracked and the characteristic distribution of the waxy components was obstructed.

April 2017, 47 pages

Key Words: Orange peel, drying, shrinkage, porosity, modelling

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, her zaman yanımda olan, bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve desteğini eksik etmeyen değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Aslı İŞÇİ YAKAN'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), çalışmalarım sırasında önemli katkıları bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Serpil ŞAHİN ve Prof. Dr. Gülüm ŞUMNU'ya (ODTÜ, Gıda Mühendisliği Bölümü), laboratuvar çalışmalarım da her türlü teknik bilgi ve deneyimleriyle yardımlarını eksik etmeyen Arş. Gör. Naciye KUTLU'ya (Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü), lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım tüm değerli hocalarıma ve destekleriyle her zaman yanımda hissettiğim arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımın her aşamasında pek çok fedakârlıklar göstererek maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme, özellikle anneme, babama ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

Cansu TAMER

Ankara, Nisan 2017

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Kurutma ve Önemi.....	3
2.2 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....	4
2.3 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri.....	5
2.4 Kurutma Esnasında Büzülme ve Gözeneklilikteki Değişimler.....	7
2.4.1 Büzülme.....	7
2.4.2 Gözeneklilik.....	8
2.5 Matematiksel Modelleme.....	9
2.6 Kurutma Esnasında Büzülme ve Gözeneklilikteki Değişimlerin Matematiksel Modellerle İfade Edilmesi.....	11
2.6.1 Büzülmenin modellenmesi.....	11
2.6.2 Gözenekliliğin modellenmesi.....	15
2.7 Konu İle İlgili Yapılmış Diğer Çalışmalar.....	16
2.7.1 Büzülme değişimi ve büzülme modelleri ile ilgili çalışmalar.....	16
2.7.2 Gözeneklilik değişimi ve gözeneklilik modellerinin anlatıldığı çalışmalar.....	20
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1 Materyal.....	24
3.2 Metot.....	24
3.2.1 Örneklerin kurutulması.....	24
3.2.2 Analizler.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
4.1 Kurutma Sırasındaki Nem Değişimi Bulguları.....	28

4.2 Kurutma Sırasındaki Renk Değişimi Bulguları	29
4.3 Kurutma Sırasındaki Büzülme Bulguları.....	31
4.3.1 Büzülmenin nem içeriği ile değişimi ve matematiksel olarak modellenmesi	32
4.4 Kurutma sırasındaki gözeneklilik bulguları.....	34
4.4.1.Gözenekliliğin nem içeriği ile değişimi ve matematiksel olarak modellenmesi	35
4.5 Mikroyapı Analizi (SEM) Bulguları.....	37
5. SONUÇ	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ.....	47



SİMGELER DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat
a_w	Su aktivitesi
V	Görünür hacim, cm^3
V_f	Hacimsel şişe hacmi, mL
V_t	Gerçek hacim, cm^3
V_a	Materyalin hava hacminin hacmi, cm^3
m	Kütle, g
M_{sf}	Solvent ağırlığı, g
ρ	Yığın yoğunluk, g mL^{-1}
ρ_a	Görünür yoğunluk, g cm^{-3}
ρ_t	Gerçek yoğunluk, g cm^{-3}
S	Büzülme, %
X	Kuru baz nem içeriği, $\text{kg su kg kuru madde}^{-1}$
β	Büzülme oranı katsayısı
ε	Gözeneklilik
k_i	Ampirik denklemlerdeki sayısal sabit
p_i	Temel modellerdeki parametre (değişken)
a_v	Yüzey alanı/hacim oranı, m^{-1}
A	Alan, m^2
L^*	Işık geçirgenlik değeri
a^*	Kırmızılık
$-a^*$	Yeşillik
b^*	Sarılık
$-b^*$	Mavilik

Kısaltmalar

R^2	Korelasyon katsayısı
ΔE	Toplam renk farkı
ΔL	Parlaklık parametresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Küp şeklindeki bir sebzenin kuruma sırasında büzüşmesi	6
Şekil 3.1 İnfrared nem tayin cihazı (HB43-S, Metter Toledo, USA).....	25
Şekil 3.2 SEM (taramalı elektron mikroskopi) (Nova NanoSEM 430, FEI Company, Japan).....	26
Şekil 4.1 Farklı sıcaklık ve farklı hava hızlarında elde edilen nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	29
Şekil 4.2 Farklı sıcaklık ve hava hızlarında elde edilen büzülmenin zamanla değişimi.....	32
Şekil 4.3 Farklı hava hızlarında büzülmenin nem içeriği ile değişimi.....	33
Şekil 4.4 Farklı sıcaklık ve hava hızlarında gözeneklilik miktarı.....	35
Şekil 4.5 60 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızında gözenekliliğin nem içeriği (kg su / kg kuru madde) ile değişimi.....	37
Şekil 4.6 Portakal kabuğunun yapısı (Anonim 2015).....	38
Şekil 4.7 Farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan portakal kabuğu örneklerinin SEM analizi (400x).....	39
Şekil 4.8 Farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan portakal kabuğu örneklerinin SEM analizi (6000).....	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Doğrusal ampirik modeller.....	12
Çizelge 2.2 Doğrusal olmayan ampirik modeller.....	13
Çizelge 2.3 Doğrusal temel modeller.....	14
Çizelge 2.4 Doğrusal olmayan temel modeller.....	14
Çizelge 2.5 Gözenekliliği içeren temel modeller.....	15
Çizelge 4.1 Farklı kurutma koşullarının L^* , a^* ve b^* değerleri üzerine etkisi.....	30



1. GİRİŞ

Gıda maddelerinin zamanında ve verimli şekilde tüketilmesi oldukça önemlidir. Özellikle meyve ve sebzeler bozulmadan tüketilmeli veya uygun yöntemlerle saklanmalıdır (Karim ve Hawlader 2005). İşleme, depolama ve dağıtım esnasında gıdalar fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak birçok değişime uğramaktadır (Karel 1991). Gıda maddelerinin tüketim ömrünü arttırmak için farklı gıda saklama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar dondurma, konserve halinde saklama, kimyasal maddelerle muamele etme ve kurutma gibi yöntemlerdir. Bu yöntemlerden kurutma, gıda dayanıklılığını arttırmak ve sonradan kullanımı sağlamak için geliştirilmiş en eski yöntemlerden biridir (Doymaz 1998). Kurutma, katı maddelerden su gibi buharlaşabilen maddelerin mikroorganizma gelişimini ve/veya kimyasal reaksiyonları yavaşlatmak ve/veya durdurmak amacıyla uzaklaştırılması işlemidir (Geankoplis 1993).

Kurutma esnasında ürünlerde fiziksel ve kimyasal olmak üzere çeşitli değişiklikler meydana gelmektedir. Uygulanan kurutma yöntemleri ve koşulları, ürünün çeşitli karakteristik özellikleri, özellikle gözeneklilik, çekme ve kütle yoğunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Krokida ve Morulis 2007). Isınma ve su kaybı gıdanın hücresel yapısında strese neden olarak gıdanın mikro yapısının (örneğin gözeneklerinin) değişmesine ve büzülmesine neden olmaktadır (Rahman 2003).

Portakal, dünyanın en popüler ve yararlı meyvelerinden birisidir. Gıda endüstrisinde genellikle portakal suyu üretiminde, çeşitli tatlılarda ve soslarda kullanılmaktadır. Portakal kabuğu da bu sektörlerde üretilen atıkların önemli bir parçasını oluşturmaktadır ve kabukları düzgün imha edebilmek zordur (Anwar vd. 2008). Portakal kabuğu, esansiyel yağlar, flavonoidler ve antioksidanlar gibi bileşikler içeren oldukça değerli bir kaynaktır. Bu bileşikler aynı zamanda antibakteriyeldir ve katkı maddeleri olarak kozmetik ve ilaç sanayinde önemli rol oynarlar (Senevirathne vd. 2009). Taze portakal kabukları yaklaşık % 80 nem içeriğine sahiptir. Torres vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada bu nem içeriğinin kabukta mikroorganizma faaliyetini arttırabileceği ve bu durumun kabuğun yapısını ve kimyasal bileşenlerini bozabileceği rapor edilmiştir.

Crasky (2008)'nin çalışmalarına göre, kabuğun nem içeriği % 10'a indirilerek portakal kabuğunun korunması ve raf ömrünün uzaması sağlanabilmektedir.

Dünyada 9 milyon hektar alanda 130 milyon ton turunçgil üretilmekte olup toplam üretimin %57'si portakal, %23'ü mandalin ve %11'i limondur. Turunçgil üretiminde Çin, Brezilya ve ABD dünyada ilk üçü oluşturmaktadır. Türkiye ise 127.000 hektarlık alanda 3,7 milyon ton üretimiyle 9. sırada yer almaktadır (Aktaş vd. 2014). 2016 yılında yapılan araştırmalar doğrultusunda Türkiye'deki portakal üretimi 1.816.798 ton olarak belirlenmiştir (Anonim 2016). Portakalın % 20-40'luk kısmının kabuktan oluştuğu belirtilmektedir. Türkiye'deki portakal üretimi üzerinden hesaplama yapıldığında, portakal kabuğunun gıda endüstrisinin çok önemli bir atığı olduğu açıktır. Gıda, kozmetik, ilaç sanayi gibi sektörlerde hammadde olarak kullanılan portakal kabuğu, yurt içi piyasada alıcı bulduğu gibi Almanya, Fransa, İngiltere gibi Avrupa ülkelerine de ihraç edilmektedir (Aktaş vd. 2014).

Matematiksel modelleme, en genel anlamıyla matematik veya matematik dışındaki bir olayı, olguyu, olaylar arasındaki ilişkileri, matematiksel olarak ifade etmeye çalışma, bu olaylar ve olgular içerisinde matematiksel bağıntılar ortaya çıkarma sürecidir (Verschaffel vd. 2002). Bir işlemi veya olayı formüller dizisi ile açıklayan matematiksel bir model, gerçek, fiziksel dünyayı matematiksel eşitliklerle tarif etmeyi amaçlar. Gıda sistemlerinin matematiksel modellenmesi işlem sırasında oluşan yapısal değişikliklerin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Ayrıca, matematiksel modeller süreç geliştirme ve iyileştirmenin yanı sıra işçilik ve işletme maliyetinin azaltılmasına, pilot tesiste zaman alıcı deneme-yanılma deneysel yöntemlerinin ortadan kaldırılmasına olanak sağlar (Parthasarathi ve Anandharamakrishnan 2014).

Bu çalışmada, portakal kabuğunun tepsili kurutucuda farklı sıcaklık ve farklı hava hızlarında kurutulması ile meydana gelen fiziksel değişikliklerin araştırılması amaçlanmıştır. Farklı sıcaklıklar (40, 50 ve 60 °C) ve farklı hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan örneklerin bazı özelliklerindeki (nem, renk, gözeneklilik ve büzülme) değişimler incelenmiş ve SEM analizleri ile yapısındaki değişimler görsel olarak tespit edilmiştir. Ek olarak büzülme ve gözeneklilik verileri, nemin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Kurutma ve Önemi

Depolama sırasında gıdaların stabilitesini arttırmak için kullanılan en eski yöntemlerden biri olan kurutma ile materyalin su aktivitesi azaltılarak, mikrobiyolojik aktivite, fiziksel ve kimyasal değişimler en aza indirilmektedir (Mayor ve Sereno 2004). Gıdanın raf ömrünün uzamasının yanı sıra nakliye maliyetinin azalması da kurutmanın en önemli avantajlarından biridir (Cohen ve Yang 2007).

Kurutma işleminin amaçları genel olarak;

1. Gıda maddesinin dayanma süresini uzatmak,
2. Ürün hacminin küçültülmesi ile depolama ve taşımada maliyeti düşürmek,
3. Yeni ürün formülasyonları geliştirmek şeklindedir (Bingöl ve Devres 2010).

Başarılı bir kurutma işlemi için King (1974) tarafından bazı önemli noktalar belirtilmiştir. Bunlardan ilki ürünün kalitesidir. Ürün kalitesinin bozulmaması için ise kurutma esnasında kimyasal ve biyokimyasal bozulma reaksiyonlarının minimum seviyede tutulmasına, ürün yapısının muhafaza edilmesine, uzaklaştırılan suyun aroma ve tat gibi uçucu malzemeleri etkilemeden yapıdan ayrılmasına, son ürünün arzulanılan renkte olmasına, hızlı ve basit rehidrasyon gerçekleştirilmesine ve herhangi bir kontaminasyon olmamasına dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Önemli noktalardan bir diğeri ise kurutma ekonomisidir. Kurutma ekonomisinin istenilen seviyede tutabilmek için dikkat edilecek noktalar ise ürün kaybının minimum seviyede tutulması gerektiği, suyun üründen hızlı bir şekilde uzaklaştırılması, enerji kaynağının ürün yapısına en uygun ve ucuz şekilde seçilmesi gerektiği şeklinde belirtilmiştir.

2.2 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Ürünler kuruma esnasında birçok faktörden etkilenmektedir. Ürünün kurutulmasında önemli bir yeri olan kurutma hızı da, kurutma esnasında özellikle ürünün kimyasal bileşiminden, boyutlarından, kurutma sıcaklığından, hava hızından, havanın neminden, atmosfer basıncından etkilenmektedir (Anonim 2007).

Kurutma hızını etkileyen bu faktörler şu şeklide açıklanmaktadır:

- a) **Ürünün kimyasal bileşimi:** Ürünün kimyasal bileşimi kurutma boyunca değişmektedir. Ürün içinde çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürdüğü için suyun üründen ayrılması güçleşmektedir. Bu bakımdan tuz, şeker gibi çözülmüş molekülleri içeren ürünler, diğer sade ürünlere kıyasla daha zor kurumaktadır. İçerikte bulunan yağ oranı kuruma hızını sınırlamaktadır. Aynı zamanda nişasta, pektin ve diğer gam maddelerini oluşturan kolloidal jel içinde tutulan suyun üründen ayrılması da zordur. Bu sebeple, bu tür maddeler içeren ürünlerin kuruması daha güçtür (Anonim 2007).
- b) **Ürünün boyutları:** Ürün yüzey alanı ile kuruma hızı doğru orantılı iken kalınlığı ile ters orantılıdır. Yani ideal kuruma hızı için kurutulan ürünün yüzey alanının fazla, kalınlığının ise az olması istenir (Anonim 2007).
- c) **Sıcaklık:** Kurutma ortam sıcaklığı ile ürünün kendi sıcaklığı kurutma hızı için önemli faktörlerdir. Etkili bir ısı transferi için ürün sıcaklığının düşük ve kurutma ortam sıcaklığının yüksek olması istenir (Anonim 2007).
- d) **Hava hızı:** Kurutma ortamında havanın hızlı olması kurutma hızını olumlu etkilemektedir (Anonim 2007).
- e) **Havanın kuruluğu:** Kurutma ortamında havanın nisbi nemi kurutma hızını belirlemektedir. Kurutulan ürün ile hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder (Anonim 2007).
- f) **Atmosfer basıncı:** Çevre hava basıncı ile kurutma hızı ters orantılıdır (Anonim 2007).

2.3 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri

Kurutma sırasında ürünlerde fiziksel ve kimyasal olmak üzere bazı kalite değişiklikleri olmaktadır. Bunlar:

- a) **Çözünür madde göçü:** Kurutma esnasında ürün içinde hareket eden tek bileşik olmayan su, pek çok bileşeni içeren bir çözelti halinde bulunmaktadır. Bu sebeple, çözünmüş maddelerde kuruma sırasında ürün içinde yer değiştirip, yayılabilmektedir. Kuruma esnasında nem hareketi merkezden yüzeye doğrudur ve çözünür maddelerde su ile birlikte yüzeye taşınır. Yüzeye taşınan kuru madde, su buharlaşınca yüzeyde kuru madde yığılmasına neden olur. Yüzeydeki çözünür madde konsantrasyonu arttığında, bu kez de yüzeyden iç kısma çözünen difüzyonu başlar. Konsantrasyon farkı olduğu sürece difüzyon devam eder. Meyve ve sebzelerdeki sürekli sıvı fazı ortadan kalktığında çözünür madde difüzyonu da durur (Anonim 2014).
- b) **Kabuk oluşumu:** Kurutma koşulları hatalı seçildiğinde ve kurutma başlangıcında, kurutma hızının yüksek olmasından dolayı kabuk oluşumu görülmektedir. Kabuk oluşumu kurutma hızını aniden düşürmektedir. Yüzeyde oluşan kuru tabaka, nemli olan alt tabakalara büzüşerek baskı yapar. Alt tabakada henüz nemli olduğu için bu baskıya direnç gösterir ve kuruma sonucunda büzüşme olanağı bulamayan üst tabaka, sert bir kabuk bağlar (Anonim 2014). Oluşan bu sert kabuk, kurutma işlemi ilerledikçe, alt tabakaların kuruyup buruşmasından etkilenmez ve sert bir tabaka olarak yapısını muhafaza eder. Kabuk bağlama ile birlikte kurutma hızı birden bire düşer. Kabuk oluşumunun önlenmesi için kurutma koşullarının işleme göre ayarlanması gerekmektedir (Cemeroğlu vd. 2003).
- c) **Çekme veya büzülme:** Büzülme, genellikle farklı kurutma işlemleri esnasında ürünün yapısında meydana gelen en önemli fiziksel değişikliklerdendir. Bu değişiklik ürünün kalitesini belirlemektedir. Ayrıca kurutulmuş materyalde nem ve sıcaklık profillerini tahmin ederken dikkate alınmalıdır. Kurutma esnasında sıcaklığa maruz kalan materyal su kaybeder ve boyutlarında azalma meydana gelirken hücre yapısı şekil değiştirmeye başlar. Gıdada sulu çözelti halinde olan sıvı faz ile katı matrisi oluşturan biyopolimerler ortak bir yapı meydana getirir. Bu ortak yapı elemanları ürünün hacmini tamamlayarak boyut ve şeklini belirler. Kurutma işlemi

ile üründen su uzaklaştırıldığında malzemenin iç kısmı ile dış kısmı arasında basınç farklılığı oluşur. Bu fark sonucu ürünün boyutlarında büzülme veya çekme bunun sonucunda da şekil değişikliği meydana gelir (Mayor ve Sereno 2004). Küp şeklindeki bir sebzenin kurutma esnasında çekmesi şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Küp şeklindeki bir sebzenin kuruma sırasında büzülmesi (Anonim 2014)

- d) **Rehidrasyon kapasitesindeki değişimler:** Kurutulmuş bir ürünün tekrardan su alabilme kapasitesi olarak tanımlanan rehidrasyon, kuru gıdalarda dikkat edilen en önemli özelliklerdendir. Rehidrasyon kapasitesi, kuru gıdanın suda belli koşullarda tutulması sonucu kazandığı su miktarı ile ölçülür (Anonim 2014) ve olabildiğince su tutarak taze haline ve şekline dönmesi istenir. Rehidrasyon özellikleri, kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve yapısal değişimler, kurutma koşulları, ürüne kurutma öncesi uygulanan ön-işlemler ve ürün kompozisyonu ile doğrudan ilişkilidir (Bingöl ve Devres 2010).
- e) **Kararma reaksiyonları:** Gıda maddelerinin kurutulması sırasında meydana gelen en önemli sorunlardan biri olan esmerleşme, renk değişimidir. Ürün renginde değişimlere sebep olan bu reaksiyonlar, aynı zamanda besin değerlerini azaltmakta, tadını değiştirmekte ve geri dönüşü olmayan yapısal kayıplara neden olmaktadır (Bingöl ve Devres 2010). Esmerleşme, enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu olabilir. Özellikle meyvelerin kurutulması sırasında oluşan esmerleşme Maillard tipi esmerleşmedir (Nielsen vd. 1993). Maillard reaksiyonu, reaktif karbonil grupları (indirgen şekerler, glikoz ve fruktoz) ile amino nitrojeninin (aminler, amino asitler, peptidler ve proteinler) reaksiyonu sonucu oluşan stabil ara ürünlerin kondensasyonu ile yüksek molekül ağırlığına sahip kahverengi pigmentlerin oluşmasıdır (Özkan 1996).
- f) **Lipid oksidasyonu:** Lipid oksidasyonu, birçok gıdada acılaşıma, istenmeyen tat değişimlerinden ya da çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybından sorumludur. Ürünün nem miktarı, substrat tipi (yağ asitleri) ve enzim aktivitesi, reaksiyon

uzunluğu, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin varlığı, doğal antioksidanların varlığı, UV ışığı, protein ve serbest aminoasit içeriği, oksidasyonu etkileyen faktörler arasında sayılabilmektedir (Anonim 2014). Gıda maddeleri sahip oldukları nem düzeylerine göre lipid oksidasyonunun etkileri de değişkenlik göstermektedir. Saguy ve Karel'e (1980) göre, özellikle nem içeriği, oksidasyon hızı üzerinde etkili olmakta ve su aktivitesinin 0,3 civarlarına düşürülmesi oksidasyon reaksiyonları önemli ölçüde azaltmaktadır. Oksijen varlığının oldukça düşük seviyelere indirgenmesi de reaksiyon hızını önemli ölçüde düşürmektedir (Okos vd. 2007).

g) **Aroma ve tat:** Aroma ve tadı sağlayan uçucu bileşikler sudan daha düşük kaynama noktasına sahip olduğundan, kurutma esnasında buharlaşma yoluyla üründen uzaklaşabilmektedir. Bu nedenle, kurutmanın ilk aşamalarında ürün yüzeyinde ince kuru bir tabaka oluşturulabilirse bu bileşikler muhafaza edilebilmektedir (Okos vd. 2007).

2.4 Kurutma Esnasında Büzülme ve Gözeneklilikteki Değişimler

2.4.1 Büzülme

Genellikle büzülme, kurutma sırasında gıdanın hacminde meydana gelen değişim olarak ifade edilmektedir. Bazı araştırmacılar, örnek boyutlarındaki küçülme olarak da tanımlamaktadırlar (Marouis ve Saravacos 1990). Gıda maddelerinde genellikle iki tür büzülme görülür. Materyalin tüm boyutlarında homojen bir büzülme varsa buna izotropik büzülme denir. Öte yandan, farklı boyutlarda homojen olmayan büzülme, anizotropik büzülme olarak adlandırılır (Şahin ve Şumnu 2006). Büzülme genel olarak görünür hacim ile eşitlik 2.1'deki gibi ifade edilir (Yan vd. 2007):

$$S \% = \left(1 - \frac{V_d}{V_o}\right) * 100 \quad (2.1)$$

Burada görünür hacim, Arşimet prensibi ya da bazı yer değiştirme metotları ile ölçülür. Numunenin hacmini gravimetrik olarak tahmin etmek için, bir organik solvent ile yer değiştirme metodu kullanılır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Yan vd. 2007).

$$V = V_f - \left(\frac{M_{sf}}{\rho_s} \right) \quad (2.2)$$

Meyve, sebze gibi ilk nem içeriği yüksek biyolojik maddeler kurutulduğunda hacimlerinde önemli bir azalma görülür. Genellikle kurutma süresiyle gıdadaki büzülme hızlı bir şekilde artar ve daha sonrasında sabit kalır. Biyolojik materyalin büzülmesi, kurutma esnasında nem difüzyonu ile aynı anda gerçekleşir. Bu yüzden büzülme, kurutma hızını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla kurutma işleminin daha iyi anlaşılabilmesi için büzülme olayını incelemek önemlidir (Liu vd. 2011).

2.4.2 Gözeneklilik

Gözeneklilik veya boşluk oranı, bir malzemedeki boşlukların ölçüsüdür. Yani katı materyal tarafından doldurulamayan hacimdir. 0 ile 1 arasında değişir (Anonim 2014). Gıdalarda gözenekler, kapalı gözenekler, kör gözenekler ve açık gözenekler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kapalı gözenekler, her taraftan kapalı; kör gözenekler bir ucu kapalı, açık gözenekler ise her iki uçta akışın olduğu gözeneklerdir (Şahin ve Şumnu 2006).

Gözeneklilik kuru ve orta derecede nemli gıdaların tekstür ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde önemli fiziksel bir özelliktir. Gıdaların difüzyon özelliklerini belirlemede önemli bir parametre olan gözeneklilik hesabının yapılması, kurutma, kızartma, fırınlama, ısıtma, soğutma ve ekstrüzyon gibi çeşitli ısı ve kütle transferi proseslerinin tasarımında ve modellenmesinde de oldukça önemlidir (Şahin ve Şumnu 2006). Gözeneklilik, gerçek ve görünür hacmin ölçülmesi ile belirlenebilir. Görünür hacim, yukarıda anlatılan teknikler kullanılarak; gerçek hacim ise, örnek toz haline getirilip gaz piknometresi ile ölçülür. Ancak öğütme külfetli olabilir, bu yüzden genellikle öğütme yapılmadan gerçek hacim ölçülür. Eğer kapalı gözenekler toplam gözeneklerin küçük bir yüzdesini oluşturuyorsa öğütme yapılmadan gerçek hacmin ölçülmesi yaklaşımı kabul edilebilir. Örnekleri ezerek sıvı piknometresi ile gözeneklilik ölçen araştırmacılar da bulunmaktadır (Sablani vd. 2002).

Gerçek hacim ve görünür hacmi kullanılarak gözeneklilik hesabının yapılması eşitlik 2.3 ve 2.4'te gösterilmektedir.

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{V_t}{V} \right) \quad (2.3)$$

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_t} \right) \quad (2.4)$$

Gözeneklilik, partikül hacim kullanılarak da eşitlik 2.5'teki gibi hesaplanabilmektedir. Partikül hacim, gaz piknometresi ile ölçülür (Yan vd. 2007).

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{V_p}{V} \right) \quad (2.5)$$

Kurutma esnasında gözeneklilikte meydana gelen değişimler, proses tasarımı ve ürünün kalite özelliklerinin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Gıdaların fiziksel özellikleri üzerinde direkt etkili olan gözeneklilik, yapılan çalışmalarda gıdaların mekaniksel ve tekstürel özellikleriyle de ilişkilendirilmiştir (Rahman 2003). Rahman (2000) yaptığı çalışmada, kurutma esnasında gıdalardaki gözenek oluşumunu dört farklı şekilde değerlendirmiştir. İlk olarak kurutma başlangıcında gözeneklerin kapandığı ve kritik bir değere ulaştıktan sonra ürün tamamen kuruyana kadar gözenek oluşumunun arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, bu durumun tam tersinin de gerçekleşebileceği ifade edilmiştir. Bir başka durumda ise, su içeriğine bağlı olarak gözenekliliğin artabildiği ya da azalabildiği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, yüzey geriliminin, ürün yapısının, çevre basıncının ve nem taşınım mekanizmalarının gözeneklilik oluşumunu önemli ölçüde etkileyebileceği belirtilmiştir.

2.5 Matematiksel Modelleme

Matematiksel modelleme, bir olayın geçmişte elde edilmiş sonuçlarından yararlanarak bu olayın gelecekte ne gibi sonuçlar doğuracağını araştırmamıza yardımcı olan niceleyici tekniklerdir (Bingöl ve Devres 2010).

Matematiksel modeller, bir olayın fiziksel gerçeğini anlamak ve olayı matematiksel olarak tanımlamak, diğer olaylardan ayırt etmek ve ayrıca matematiksel olarak formüllendirilmiş modeli bir sistemin değişik koşullardaki davranışını ön görmede bir araç olarak kullanılmaktadır.

Matematiksel modeller:

- karmaşık sistemlerin anlaşılmasını kolaylaştırmak,
- tasarım, denetim ve çalışma değişkenlerini hesaplamak,
- simülasyon, duyarlılık analizi, optimizasyon yapmak,
- deneysel tasarım ve sorun gidermeye yardımcı olmak,
- araştırma-geliştirme için kullanılmaktadır.

Matematiksel modeller, ampirik modeller ve teorik modeller olarak 2 şekilde sınıflandırılır. Ampirik modeller, deneysel verilerin model parametrelerine uygulanması ile elde edilir. Ampirik modellerin geliştirilmesinde nem, sıcaklık, basınç gibi proses koşulları etkilidir. Teorik modeller kütle korunumu, momentum ve enerji denklemlerini temel alarak geliştirilir. Teorik modeller, mikroskobik ve makroskobik modelleri içerirler (Parthasarathi ve Anandharamakrishnan 2014).

Modelleme gıda işlemlerinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle gıdanın yapısal analizlerinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Parthasarathi ve Anandharamakrishnan 2014). Gıda sistemlerinin matematiksel modellenmesi işlem sırasında oluşan yapısal değişikliklerin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Kurutma teknolojisinde, geleneksel matematiksel modelleme yaklaşımları ısı ve kütle transferi olgularına dayanmaktadır ve işlem sırasında gıda ürününün sıcaklığını, nem ve hacim değişimini tahmin etmemizi sağlamaktadır (Krokida ve Maroulis 1997).

2.6 Kurutma Esnasında Büzülme ve Gözeneklilikteki Değişimlerin Matematiksel Modellerle İfade Edilmesi

2.6.1 Büzülmenin modellenmesi

Büzülme, kuruma sırasında gıda maddesinin su kaybına bağlı olarak hacminde meydana gelen değişiklik olarak ifade edilmektedir. Kuruma sırasında oluşan büzülme, kurutma işlemi optimizasyonu, ekipman tasarımı ve ürün kalitesinin değerlendirilmesinde önemlidir (Parthasarathi ve Anandharamkrishnan 2014).

Literatürde birçok matematiksel kurutma modelleri, ısı ve kütle transferi denklemlerini içermektedir. Modelleme sırasında büyük bir çoğunlukla modelleri çözebilmek için büzülme ihmal edilebilir olarak belirtilmiştir, ancak bu biyolojik maddeler için uygun değildir (Liu vd. 2011). Kurutma işlemi esnasında materyalin nem içeriği tahmin edilirken büzülme dikkate alınmalıdır. Bu nedenle kurutma işlemlerinin modellenmesi, tasarımı ve kontrolü sırasında ürünün fiziksel boyutu, nem içeriği, hacmi, gözenekliliği hesap edilirken büzülme ihmal edilmemelidir (Koç vd. 2008).

Kuruma esnasındaki büzülme, literatürde ampirik ve temel modeller kullanılarak 2 farklı şekilde açıklanmıştır. Ampirik modeller, regresyon analizi ile elde edilirken temel modeller gıda maddelerinin yapısının fiziksel olarak yorumlanmasına dayanır ve kurutma sürecindeki gıda sistemindeki farklı fazların hacim değişimine bağlı olarak boyutsal değişiklikleri öngörmeye çalışır (Mayor ve Sereno 2004). Ampirik modeller büzülmeyle nem içeriğiyle ilişkilendirmektedir. Doğrusal modeller kurutma sırasında gözeneklilik gelişiminin ihmal edildiği durumlarda kullanılabilir. Kurutmanın son aşamalarında gözenekliliğin arttığı durumlarda ise doğrusal olmayan ampirik modeller kullanılmaktadır (Şahin ve Şumnu 2006). Ampirik model türü, Lozano vd. (1980), Ratti (1994), Zogzas vd. (1994), Azzouz vd. (1998), Mayor ve Sereno (2004) tarafından yapılan çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Doğrusal modeller sadece sınırlı ürün ve kurutma şartları için kullanılabilir (Madiouli vd. 2012). Temel büzülme modelleri ise, ürünün nem içeriğinin ve/veya hacmindeki değişikliğin, karmaşık matematiksel hesaplamalar yapılmaksızın tahmin edilmesini sağlamaktadır (Şahin ve

Şumnu 2006). Temel modeller, her fazdaki kütle koruma denklemlerine dayanmaktadır. Vacarezza (1975), Suzuki vd. (1976), Lozano vd. (1983), Perez ve Calvelo (1984), Rahman vd. (1996), Katekawa ve Silva (2004) yaptıkları çalışmalarda temel modellerin, varsayımları ve matematiksel ifadeleriyle doğrusal modellerden ayırt edilebildiğini göstermişlerdir. (Madiouli vd. 2012).

Yukarıda da değinildiği üzere doğrusal modeller kurutma işlemi esnasında gözeneklilik gelişiminin ihmal edildiği materyallerde proses koşullarını tanımlamak için yeterlidir. Ancak ölçüm yapılan nem aralığında hacmin doğrusal olarak azalması ile gözenekliliğin ihmal edilemeyeceği durumlarda özellikle kurutmanın son aşamasında gözenekliliğin keskin bir şekilde artması ile doğrusallık kaybolur ve üstel modeller ya da ikinci, üçüncü dereceden polinom modelleri proses koşullarını tanımlar (Mayor ve Sereno 2004). Doğrusal modeller çizelge 2.1’de, doğrusal olmayan modeller ise çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Bu modeller genellikle deneysel verilere çok iyi uyum sağlamaktadır. Ancak, kurutma koşullarına ve malzeme özelliklerine bağımlı olmaları nedeniyle kullanım alanları sınırlıdır (Mayor ve Sereno 2004).

Çizelge 2.1 Doğrusal ampirik modeller

Model	Kaynak
$S = k_1X + k_2$	Lozano vd. (1980), Ratti (1994), Moreira vd. (2000)
$S = k_3 + k_4X$	Ratti (1994)
$S_0=1 + \beta X$	Zogzas vd. (1994)

Çizelge 2.2 Doğrusal olmayan ampirik modeller

Model	Kaynak
$S = 0,16 + 0,816 \frac{X}{X_0} + 0,022 \exp\left(\frac{0,018}{X+0,025}\right) + p_1\left(1 - \frac{X}{X_0}\right)$	Lozano vd. (1983)
$p_1 = 0,209 - p_2 \quad p_1 = \frac{0,966}{X_0+0,796}$	
$\frac{a_v}{a_{v0}} = k_5 + k_6X + k_7X^2 + k_8X^3$	Ratti (1994)
$S = k_9 + k_{10}X + k_{11}X^2 + k_{12}X^3$	Ratti (1994)
$S = k_{13} + k_{14}\left(\frac{X}{1+X}\right) + \exp\left(k_{15}\frac{X}{1+X}\right)$	Mulet vd. (1997)
$S = k_{16} + k_{17}X + k_{18}X^{3/2} + k_{19}\exp(k_{20}X)$	Vazquez vd. (1999)
$S = k_{21} + k_{22}\left(\frac{X}{X_0}\right) + k_{23}\left(\frac{X}{X_0}\right)^2$	Mayor ve Sereno (2004)
$S = k_{24}\exp(k_{25}X/X_0)$	Mayor ve Sereno (2004)

Temel modeller ise karmaşık matematiksel hesaplamalar yapılarak büzülmenin tahmin edilmesinde kullanılır. Hesaplama yapılırken genellikle ampirik modellerde olduğu gibi her işlem koşulunda deneysel büzülme değerleri elde etmek gerekli değildir. Bu model türü genellikle kütle dengesine, maddenin yoğunluğuna ve gözenekliliğine dayanmaktadır. Temel modeller üç grupta sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.3'te tüm kurutma işlemi boyunca lineer büzülme davranışı gösteren modeller; çizelge 2.4'te doğrusal davranışın sapmalarını içeren modeller ve çizelge 2.5'te ise, kurutma prosesi boyunca gözenekliliğin değişimini de içeren temel modeller gösterilmiştir (Mayor ve Sereno 2004).

Çizelge 2.3 Doğrusal temel modeller

Model	Kaynak
$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{X+0,8}{X_0+0,8}\right); \frac{A}{A_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{2/3}$	Kilpatrick vd. (1955)
$\frac{V}{V_0} = p_3 + p_4 \left(\frac{X}{X_0}\right); p_3 = \frac{1}{X_0(\rho_s/\rho_w)+1}$	Vacarezza (1975)
$\frac{V}{V_0} = p_5 X + 1; p_5 = \frac{1+p_6}{X_0+X_e}$	Suzuki vd. (1976)
$p_6 = \frac{(X_e+1)\rho_0}{(X_0+1)\rho_e}; \frac{A}{A_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{2/3}$	

Çizelge 2.4 Doğrusal olmayan temel modeller

Model	Kaynak
$\frac{V}{V_0} = p_7 X + p_8; \frac{A}{A_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{2/3}$	Suzuki vd. (1976)
$p_7 = \frac{1-p_6}{(X_0-X_e-p_9(p_6X_0-X_e+p_6-1))}$	
$p_8 = \frac{p_6X_0-X_e-p_9(p_6X_0-X_e+p_6-1)}{(X_0-X_e-p_9(p_6X_0-X_e+p_6-1))}$	
$p_9 = \frac{\rho_e-(1-X)\rho_e}{\rho_0}$	
$S = p_3 + p_4 \left(\frac{X}{X_0}\right) + 0,26p_2 \left(1 - \frac{X}{X_0}\right)^3$	Sgroppo vd. (1990)

Çizelge 2.5 Gözenekliliği içeren temel modeller

Model	Kaynak
$S = [p_{10} \frac{X}{X_0} + p_{11}(X)] p_{12}$ $p_{10} = (1 + \frac{X_{sg}}{X_0} + \frac{\rho_{sn,0}}{X_0} p_{13})^{-1}$ $p_{11} = \frac{(X_{sg} + \rho_{sn}(X) p_{13}) p_{10}}{(X_0)}$ $p_{12} = \frac{1 - \varepsilon(X_0) \rho_{sn}(X_0)}{1 - \varepsilon(X) \rho_{sn}(X)}$ $p_{13} = \frac{X_{cw}}{\rho_{cw}} + \frac{X_{st}}{\rho_{st}}$ $S = \frac{1}{(1-\varepsilon)} \frac{(p_{14} + \frac{X_{cw}}{\rho_{cw}} + \frac{X_{st}}{\rho_{st}}) \rho_0}{X_0 + 1}$	Lozano vd. (1983)
$S = \frac{1}{(1-\varepsilon)} + [1 + \frac{\rho_0(X-X_0)}{\rho_W(X_0+1)}$	Perez ve Calvelo (1984)
$S = \frac{1}{(1-\varepsilon)} + [1 + \frac{\rho_0(X-X_0)}{\rho_W(X_0+1)} - \varepsilon_0]$	Mayor ve Sereno (2004)

2.6.2 Gözenekliliğin modellenmesi

Gözenekli materyallerin kurutulmasında gözeneklilik, nem içeriği ve büzölmeye bağlı bir değişkendir. Gözeneklilik su taşınımını önemli ölçüde etkilediği için, kurutmanın kontrolü ve optimizasyonu için önemli bir özelliktir. Gözeneklilik doğrudan ölçölen bir değişken değildir. Direk ölçölemese de hacim değişikliğinin ölçümüne dayanan özel ekipmanlarla örneğin gaz piknometresi ya da civa porozimetresi tarafından ölçölebilmektedir. Ancak, ne yazık ki, bu teknikler gözenekliliğin gerçek zamanlı değerlendirilmesine izin vermemektedir. Anlık gözenekliliğin gerçek zamanlı değerlendirilmesi ancak nem içeriği ve büzölme gibi direk ölçölebilen değişkenlerin korelasyonu ile mümkün olmaktadır (Martynenko 2010).

Gözenekliliğin modellenmesinde nem ve büzülmenin fonksiyonu olarak iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. İlk yaklaşım nem içeriğinin fonksiyonu olarak gözeneklilik ve/veya yoğunluğun ampirik olarak modellenmesidir. Ancak, ampirik ilişkiler ürüne özeldir ve diğer ürünler ya da deney koşulları için değişiklik gerektirir. Kütle dengesine dayalı ikinci yaklaşım, daha çeşitli ürünler ve kurutma koşulları için daha temeldir. Bu modeller çeşitli yazarlar tarafından geliştirilmiştir (Martynenko 2010). Mayor ve Sereno (2004) mevcut nem-büzülme korelasyonlarının yaygınlaştırılmasında büyük katkılar sağlamışlardır. Ancak, nem, büzülme, yoğunluk ve gözeneklilik arasındaki ilişkiyi tam açıklamamışlardır. Daha sonra, Maduilo vd. (2007) tarafından deforme olabilen malzemelerin çekme eğrilerinden gözenek değişiminin belirlenmesini sağlayan grafik-analitik yöntemin önerilmesi önemli bir katkı sağlamıştır. Martynenko (2010) da çalışmasında ana değişken olan nem, büzülme, yoğunluk ve gözenekliliği birbirleriyle ilişkilendirerek korelasyon oluşturmuş ve matematiksel bir analiz yapmıştır.

2.7 Konu İle İlgili Yapılmış Diğer Çalışmalar

2.7.1 Büzülme değişimi ve büzülme modelleri ile ilgili çalışmalar

Literatürde kurutmanın gıdaların büzülmesi üzerine etkisini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Bir çalışmada, kivi örnekleri mikrodalga (210 W), sıcak hava (60 °C) ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu (210 W – 60 °C) ile kurutulmuşlardır. Örneklerin büzülme miktarları, mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutmada sırasıyla %86, 81 ve 76 olarak bulunmuştur. Mikrodalğanın, dokulardan suyu daha hızlı ve etkin uzaklaştırılmasını sağlamasından dolayı kivi'nin daha çok büzülmesine neden olduğu rapor edilmiştir (Maskan 2001).

Giri ve Prasad (2006), kurutmanın mantar üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, mikrodalga-vakum ile iki farklı güç (150 ve 250 W) ve basınçta (10 ve 20 kPa) ayrıca 60 °C sıcaklık ile 1,5 m/s hava hızında konveksiyonlu sıcak havada kurutmuşlardır.

Mikrodalga vakum kurutma ile örnek hacminin % 77 oranında azaldığını, konvektif hava kurutmada ise % 90 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Her iki kurutma yönteminin mantarın hacim değişikliğinde ve büzülmesinde önemli etkilere sahip olduğunu ve modelleme esnasında büzülmenin ihmal edilmemesi gerektiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Her iki kurutma metodunda da büzülmenin nem içeriği ile doğrusal olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bu doğrusal ilişkinin mantarda meydana gelen hacim değişiminin kaybedilen su hacmine eşit olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Piotrowski vd. (2014) yaptıkları çalışmalarında, çileği 45, 55 ve 65 °C sıcaklıkta nem değeri % 30, 50 ve 70'e düşürülene kadar vakum, konvektif ve konvektif-vakum kurutma teknikleri ile kurutup yapısında meydana gelen değişimi ve büzülme miktarlarını incelemişlerdir. Konveksiyonel kurutmada büzülmenin daha fazla olduğu (%68,1), konveksiyonel-vakum (%26) ve sadece vakum kurutma (%19,4) yöntemlerinde ise sonuçların birbirine benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu farkın çileğin daha uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmasının hacimde daha fazla değişikliğe sebep olması ile açıklamışlardır. Bu sebeple, vakum kurutma yönteminde büzülmenin konvektif kurutma yöntemine oranla çok daha az olduğunu rapor etmişlerdir.

Literatürde, büzülmenin modellenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ise çok daha eskilere dayanmaktadır. Genel amprik büzülme modelleri meyve ve sebzeler için Suzuki vd. (1976), Lozano vd. (1980, 1983), Ratti (1994) ve Zogzas vd. (1994) tarafından önerilmiştir ve daha sonra literatürde yer almış çalışmalar genel olarak bu yazarların önermiş olduğu modellerin geliştirilmesine yönelik olmuştur.

Lozano vd. (1980) 60 °C'de kurutulan elmanın büzülme davranışını, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak doğrusal bir modelle göstermiştir. Yaptıkları bir diğer çalışmada (Lozano vd. 1983) havuç, armut, sarımsak ve patates örneklerini 40 ve 60 °C sıcaklıkta 1 m/s hava hızı ile kurutmuşlar ve örneklerinin benzer büzülme değişimi gösterdiğini tespit etmişler ve büzülme eğrilerinin doğrusal değiştiğini açıklamışlardır. Kurutmanın

ilk aşamalarında havuç, sarımsak ve patates için gözenekliliğin az bir miktarda artarken armut içinse kurutmanın başında az bir miktarda azaldığını daha sonra arttığını göstermişlerdir. Doğrusal modellerin yanı sıra Mayor ve Sereno (2004), daha sonraki çalışmalarda doğrusal olmayan ampirik modellerin, meyve ve sebzelerin büzülme davranışını daha iyi açıkladığını belirtmişlerdir.

Akışkan yataklı kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin büzülmesi üzerine yapılan bir çalışmada (Hatamipour ve Mowla 2002), hava sıcaklığı (40, 48, 60 ve 70 °C), hava hızı (500, 600, 650, 660 ve 680 L/dk), örnek çapı (8, 10 ve 12.5 mm) ve örnek başlangıç nem içeriği (%90) gibi çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Farklı koşullar altında örneklerin %10 ile %90 arasında büzüldüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada, örneğin ilk nem içeriği ile büzülme arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve hava hızı, ile sıcaklığın büzülmeye önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Ayrıca, silindirik havuç örneklerinin çapının da büzülme üzerine bariz bir etkisinin olmadığı, hava neminin ise örneklerinin kurutma hızlarına etki ettiği tespit edilmiştir.

Koç vd. (2007) kurutma metotlarının ayvanın büzülme, gözeneklilik ve yığın yoğunluğu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Konveksiyonel kurutma, infrared kurutma, ozmatik dehidrasyon ön işlemlilerle konveksiyonel kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin büzülme üzerine etkilerini incelediklerinde dondurarak kurutma yönteminde büzülmenin diğer yöntemlere oranla çok daha az gerçekleştiğini açıklamışlardır. Lineer olmayan modellerin korelasyon katsayılarının lineer modellere oranla daha yüksek olduğunu ve kurutma metotları ile büzülme miktarının önemli ölçüde değiştiğini tespit etmişlerdir.

Yadollahinia ve Jahangiri (2009), farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve farklı hava hızlarının (0,5 ve 1 m/s) patatesin büzülmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Büzülmenin nem içeriğiyle doğrusal bir ilişki izlediğini ve hava hızının kurutma süresi ve büzülme üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, kurutma sıcaklığının ise kurutma hızına ve kurutma süresine önemli ölçüde etki ettiğini rapor etmişlerdir.

Boukouvalas vd. (2010) yaptıkları bir çalışmada, on iki farklı sebzenin sıcak hava ile kurutulması sırasında (70 °C) yapısal özelliklerinde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Mantar, yeşilbiber, kabak, ıspanak, kereviz, pırasa, soğan, domates, sarımsak, bezelye, mısır ve havucun nem, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerlerini kullanarak literatürdeki modellere uygunluğunu incelemişlerdir. Sonuç olarak, nem içeriğinin azalması ile gözenekliliğin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca Krokida ve Maroulis (1997), Saravacos ve Maroulis (2001) ve Zogzas vd. (1994)'nin çalışmalarında yer alan modeller ile elde edilen deneysel verilerin çok iyi uyum sağladığını bildirmişlerdir.

Ramallo (2010) ananası farklı sıcaklıklarda (45, 60 ve 70 °C) ve 1,5 m/s hava hızında kurutmuştur. Kurutma sırasında meydana gelen kütle transferini modellemek için iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. Birinci modelde büzülme göz ardı edilmişler, ikinci modelde ise büzülme de hesaba katılmışlardır. Sonuç olarak, RMSE değeri büzülme içeren model için daha düşük bulunmuş ve büzülme içeren modelin, verileri açıklamakta daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Mercier vd. (2011) farklı sıcaklıklarda (40 ve 80 °C) konveksiyonel hava kurutma yöntemi ile kuruttuğu makarnada meydana gelen değişiklikleri, büzülme, gözeneklilik ve yoğunluğu inceleyerek literatürdeki modellere uygunluğunu araştırmışlardır. Büzülme Khalloufi vd. (2009)'nin rapor ettiği modelle açıklamaya çalışmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda makarnada meydana gelen anlamlı bir büzülmenin, radyal büzülme hızı nedeniyle uzunlamasına olduğu gözlenmiştir.

Martynenko (2014) yaban mersini ve ginseng kökünü, 40 ve 80 °C sıcaklık aralığında tepsili kurutucuda konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Büzülme ve gözenekliliğini modellediği çalışmasında, nem içeriği-büzülme ilişkisinden doğrusal ampirik model elde etmiş ve kurutma sıcaklığının artması ile büzülmenin arttığını göstermiştir. Gözeneklilik ve büzülme arasındaki ilişkiden yararlanarak, başlangıç gözenekliliğini örneklerin yüksek sıcaklığa ilk maruz kaldığı andaki büzülmesinden hesaplamıştır.

Aprajeeta vd. (2014), patatesin kurutulması esnasında gerçekleşen büzülme ve gözeneklilik değişimini inceledikleri çalışmalarında, patates dilimleri 62 °C’de yaklaşık 7 saat süre ile kurutulmuştur. Patates dilimlerinde yaklaşık %35 oranında büzülme olduğunu ve büzülmenin nem içeriği ile doğrusal olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Gözenekliliğin ise kurutmanın son aşamalarında örnek belirli bir nem içeriğine ulaştıktan sonra hızlı bir artışa uğradığını göstermişlerdir.

2.7.2 Gözeneklilik değişimi ve gözeneklilik modellerinin anlatıldığı çalışmalar

Rapusas ve Driscoll (1993) tarafından yapılan bir çalışmada, 70 °C’de hava ile kurutma ve 70 °C sıcaklık ve 85 kPa basınç altında vakum kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan soğanın termofiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada soğanın gözeneklilik aralığı 0,09 ile 0,27 arasında olduğu belirtilmiştir. Gözeneklilikteki bu değişim, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak üçüncü dereceden polinom denklemi ile açıklanmıştır.

Gözeneklilik modellerinin geliştirildiği bir çalışmada, kalamar 70 ve 100 °C’de sıcak hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Gözeneklilik ve büzülme verileri deneysel olarak elde edilen yoğunluk verilerinden türetilmiştir ve ampirik korelasyonlar ile açıklanmıştır. Gözenekliliğin, nem içeriğindeki artış ile keskin bir düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Daha önceden yapılmış çalışmalarda, Rahman modeli olarak belirlenen modeller modifiye edilerek gözeneklilikteki keskin düşüşün hem kuadratik hem de üstel korelasyonlarla en iyi şekilde açıklandığı belirtilmiştir (Rahman vd. 1996).

Marabi ve Saguy (2004) yaptıkları bir çalışmada, havucu farklı yöntemler ile kurutmuş (dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutma) ve kurutma sırasında gözeneklilikte meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Dondurarak kurutma yönteminde elde edilen gözeneklilik değerleri oldukça yüksekken, hava ile kurutma yönteminde daha düşük bulunmuştur. Ayrıca SEM ile incelenen havuç örneklerinde, dondurarak kurutma yönteminde gözeneklerin hava ile kurutma yöntemine göre daha düzenli bulunduğu ve daha açık olduğu gösterilmiştir.

Rahman vd. (2005) yaptıkları bir çalışmada, elmayı 50, 80 ve 105 °C'de konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutup gözeneklilik değişimini incelemişlerdir. Gözenekliliğin, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak önemli derecede değişim gösterdiğini, nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, bu durumun ikinci dereceden polinom denklemi ile en iyi şekilde açıklandığını belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada ise (Guine 2006), güneşte geleneksel olarak ve 30 °C'de kurutma odasında olmak üzere 2 farklı yöntem ile kurutmuş olan armutun yoğunluk ve gözeneklilik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen gözeneklilik değerlerinin Zogzas vd. (1994)'nin önerdiği modellere uygunluğunu araştırmıştır. Her iki kurutma yönteminden elde edilen verilerin, model parametrelerine uygunluk gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, yavaş olan kurutma yönteminde (güneşte kurutma) gözenekliliğin, hızlı olan yöntemde (sıcak hava ile kurutma) göre daha az arttığı ve her iki yöntemde de büzülmenin oldukça fazla olduğu bildirilmiştir.

Bir diğer çalışmada (Yan vd. 2007), muz, ananas ve mango örnekleri 70 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Büzülme ve gözeneklilikte meydana gelen değişim araştırılmıştır. Üç farklı örnek içinde kurutma süresince, nem içeriği düştükçe büzülme miktarının azaldığı, gözenekliliğin ise muz ve mango da arttığı, ananasta ise önce arttığı daha sonra tam tersi düştüğü tespit edilmiştir. Büzülme grafiklerinde her üç örnek içinde büzülme verileri ile nem miktarı arasındaki ilişki ikinci dereceden polinom olarak gözlemlenmiştir. Belirlenen modellerin R^2 'leri sırasıyla 0,94, 0,99 ve 1 olarak bulunmuştur.

Witrowa-Rajchert ve Rzaca (2009)'da yapmış oldukları çalışmalarında, konveksiyonel, mikrodalga-konveksiyonel ve infrared-konveksiyonel kurutma yöntemlerini kullanarak kuruttıkları elmada yoğunluk, büzülme ve gözeneklilik incelemişlerdir. Mikrodalga ve infrared kurutma yöntemleri konveksiyonel kurutma yöntemi ile kıyaslandığında, örneklerde % 11-12 daha az büzülme, % 18-23 daha az yoğunluk değişimi ve % 25-28 daha yüksek gözeneklilik değişimi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu kurutma yöntemleri ile kurutulan elma örneklerinin gözeneklilik ve yoğunluk değişimi taramalı elektron mikroskopunda doku analizi ile incelenmiştir. Konveksiyonel kurutmanın elma

hücrelerinin gerçek boyutlarında ve dağılımında önemli değişime neden olduğunu göstermişlerdir.

Russo vd. (2013)'nin, kurutmanın patlıcanın fiziksel özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, patlıcan örneklerini 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70 °C) kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığındaki artışın kurutma süresini kısalttığını açıkladıkları bu çalışmada, patlıcanın yapısında meydana gelen fiziksel değişimlerden biri olan gözenekliliğin, sıcak hava ile arttığını göstermişlerdir.

Lopez-Ortiz vd. (2013), sıcak hava ile kurutmanın sarımsak dilimlerinin yapısal özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, sarımsak örneklerini 3 farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60 °C) kurutmuşlardır. Görünür ve parçacık yoğunlukları verilerine dayanarak hesaplamış oldukları gözeneklilik değişimi verilerinin, doğrusal olmayan ve nem içeriğine bağlı üç değişkenli üstel modele uygun olduğunu ($R^2 > 0,85$) göstermişlerdir. Ayrıca kurutma işlemi sonunda yoğunluğu daha az olan sarımsak örneklerinin daha gözenekli olduğunu vurgulamışlardır.

Calin-Sanchez vd. (2014), kurutma metotlarının siyah kuş kirazının mikro yapısal özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, gözenekliliğin dondurarak kurutma yönteminde %76, vakum-mikrodalga kurutma yönteminde ise %39 olduğunu bulmuşlardır. Konveksiyonel ön kurutmalı vakum-mikrodalga kombine kurutma yönteminde gözeneklilik ve toplam gözenek hacmi kurutma ile azalırken, ozmatik dehidrasyon ön kurutmalı yöntemde gözeneklilik ve toplam gözenek hacminin arttığını bulmuşlardır.

Elma ve patatesin kurutulması sırasında gözenekliliklerinde meydana gelen değişimin incelendiği bir çalışmada (Singh vd. 2015), farklı kurutma metotları (konvektif kurutma, vakum kurutma, dondurarak kurutma, ozmatik dehidrasyon, mikrodalga kurutma ve konveksiyonel kurutma) karşılaştırılmıştır. Ayrıca ilk ve son gözeneklilik değerleri arasında da matematiksel bir ilişki geliştirilmiştir. Elma için son gözeneklilik değerinin en yüksek (%92) dondurarak kurutma yöntemi ile, en düşük (%54) ozmatik dehidrasyon yöntemi ile elde edildiği; patates için ise en yüksek (%89) dondurarak kurutma yöntemi

ile elde edilirken en düşük (%21) konvektif kurutma yöntemi ile elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, geliştirilen matematiksel ilişki ile son gözeneklilik miktarının başlangıçtaki gözeneklilik miktarına bağlı olduğu rapor edilmiştir.

Wang ve Martynenko (2016) tarafından 80 °C’de konvektif hava kurutma yöntemi ile kurutulan elmanın gözeneklilik değişimi üç farklı yöntem ile (doğrudan hacim ve kütle ölçümü, piknometre ölçümü ve teorik model) tespit edilmiştir. Teorik model olarak Martynenko (2010) tarafından geliştirilen ve nem içeriği ile büzülmenin bir fonksiyonu olan gözeneklilik modeli kullanılmıştır. Deneysel verilerin teorik model ile karşılaştırılması sonucu, teorik modelin kurumanın her aşaması hakkında bilgi verdiği ve literatürdeki çalışmalar ile sonuçların uyumlu olduğu rapor edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan portakallar lokal marketlerden tedarik edilmiştir. Portakal kabukları, meyveden ayrıştırıldıktan sonra 1,5x1,5 cm boyutlarında kesilerek deneyler için hazır hale getirilmiştir.

3.2 Metot

3.2.1 Örneklerin kurutulması

1,5x1,5 cm boyutlarında kesilen örnekler üç farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve iki farklı hava hızında (1 ve 2 m/s) pilot tipi tepsili kurutucuda (TK-LAB, Eksis Endüstriyel Kurutma Sistemleri, Türkiye) sıcak hava ile kurutulmuştur. Kurutulan örnekler önce desikatörde soğutulmuş ardından vakumlanmıştır. Belli sürelerle kurutucudan alınan örneklerin nem takibi ve diğer analizleri uygun yöntem ve cihazlarla yapılmıştır.

3.2.2 Analizler

3.2.2.1 Nem analizi

Örneklerin kurutma öncesi ve sonrasındaki nem miktarları 105 °C’de infrared nem tayin cihazı (HB43-S, Metter Toledo, USA) (Şekil 3.1) ile belirlenmiştir.



Şekil 3.1 İnfrared nem tayin cihazı (HB43-S, Mettler Toledo, USA)

3.2.2.2 Renk analizi

Portakal kabuğunda renk tayini, renk ölçer cihazı (C-400, Konica Minolta, Japonya) ile yapılmıştır. Örneklerin CIE sisteminde L*, a*, b* parametreleri belirlenmiştir (Bakker vd. 1986). CIE sisteminde L*, a*, b* parametreleri için, L* ışık geçirgenlik değerlerini, 0 (geçirgenlik yok) ve 100 (tamamen geçirgen), a* kırmızılık (-a* yeşillik), b*sarıklık (-b* mavilik) değerlerini belirtmektedir (Bakker vd. 1986). Kalibrasyon için ölçüm öncesi beyaz plaka kullanılmıştır.

3.2.2.3 Büzülme miktarı

Örneklerdeki büzülme miktarı, hacimsel değişimleri dikkate alınarak eşitlik 1 kullanılarak belirlenmiştir (Sablani vd. 2002). Görünür hacim, oda sıcaklığında su ile yer değiştirme tekniği kullanılarak belirlenmiştir (Yan vd. 2007).

$$S = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100 \quad (3.1)$$

S = % Büzülme miktarı

V_t = Kurutmanın t anındaki örneğin hacmi (mL)

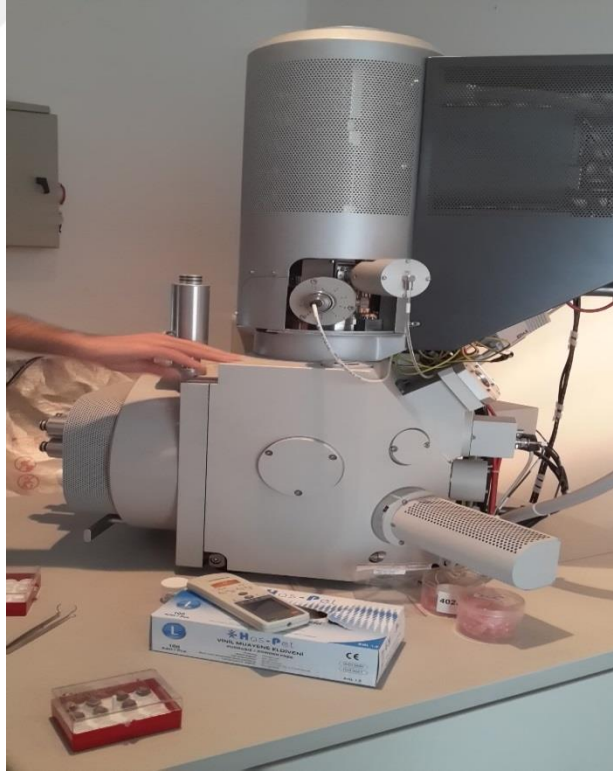
$V_0 = \text{Örneğin başlangıçtaki görünür hacmi (mL)}$

3.2.2.4 Gözeneklilik analizi

Portakal kabuğu içindeki gözeneklilik, porozimetri işlemlerini otomatik olarak gerçekleştiren civa porozimetresi (Poremaster 60, Quantichrome Corp., Florida) ile ölçülmüştür (Kahyaoglu vd. 2010).

3.2.2.5 SEM analizi

Kurutulmuş örneklerin mikro yapısının gözlenmesi amacıyla SEM (taramalı elektron mikroskopi) (Nova NanoSEM 430, FEI Company, Japonya) (Şekil 3.2) analizi yapılmıştır (Kahyaoglu vd. 2010). Örneklerin, SEM görüntüleri 2 farklı büyüklükte (400x ve 6000x) elde edilmiştir.



Şekil 3.2 SEM (taramalı elektron mikroskopi) (Nova NanoSEM 430, FEI Company, Japan)

3.2.3.3 İstatiksel analizler

Analizler sonucu elde edilen verilerin istatiksel analizleri MINITAB 17.1.1.0 (Minitab, State College, PA, USA) paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Değerlendirme sonucu, istatistiksel açıdan önemli bulunan değerler ANOVA yöntemi Tukey testi ile $p \leq 0,05$ önem derecesine göre belirlenmiştir.



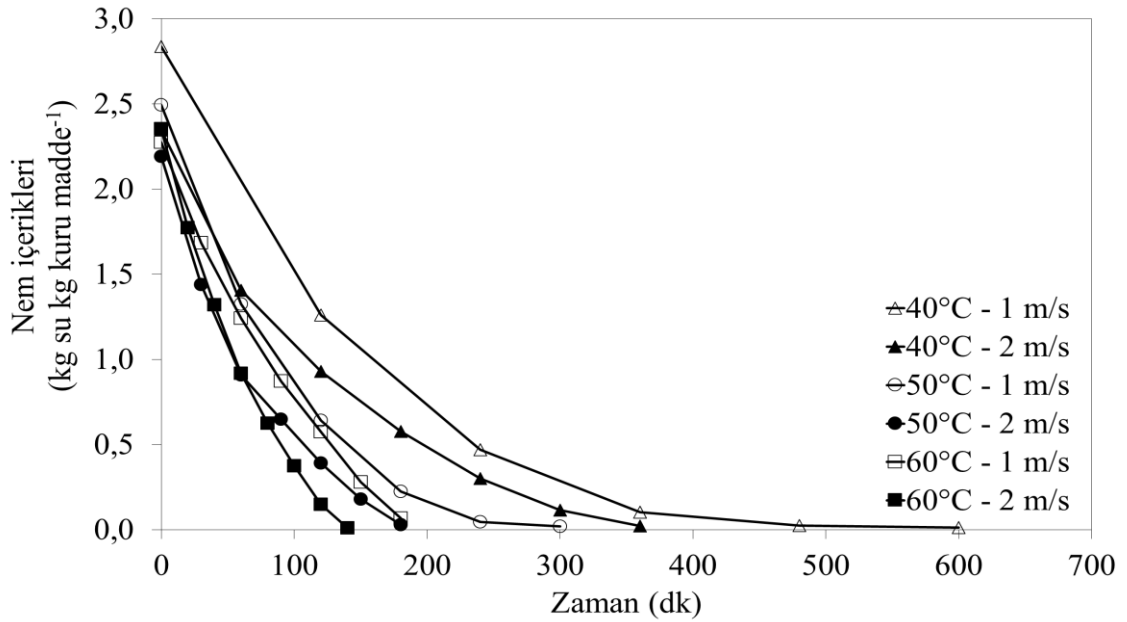
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kurutma Sırasındaki Nem Değişimi Bulguları

Portakal kabukları, tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklar (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulmuştur. Başlangıç nem içerikleri yaklaşık % 70,5±1,5 olan portakal kabuklarının nem içeriklerindeki değişimler, farklı sürelerde alınan örneklerde yapılan analizlerle takip edilmiştir. Portakal kabukları başlangıçta ortalama 2,4 kg su/ kg kuru madde nem içeriğinden ortalama 0,02 kg su/ kg kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, nem içeriğinin kuruma süresince sürekli olarak azaldığı görülmüştür (Şekil 4.1). Ayrıca, sıcaklık ve hava hızlarının etkisi ile portakal kabuklarının kurutma sürelerinin değiştiği tespit edilmiştir. Örneklerin kurutma süreleri 140 ile 600 dakika arasında değişmiştir. Aynı hava hızında farklı sıcaklıklarda kurutulan örneklerde, yüksek sıcaklıkta örneklerin daha hızlı kuruduğu görülmüştür. Benzer şekilde, sabit sıcaklıkta farklı hava hızları karşılaştırıldığında, yüksek hava hızında, kurumanın çok daha hızlı olduğu bulunmuştur. Bir başka deyişle, sıcaklık ve hava hızı arttıkça kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Rakamsal olarak ifade etmek gerekirse, sabit hava hızında, sıcaklığın 40 °C' den 60 °C'ye çıkartılması ile kuruma süresinin 1 m/s hava hızında %70, 2 m/s hava hızında ise %61 azaldığı görülmüştür. Sabit sıcaklıkta, hava hızının 2 katına çıkartılması ile kuruma süresinin ortalama %34 azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, sıcaklığın kurutma süresine etkisinin, hava hızına oranla daha fazla olduğunu göstermektedir.

Garau vd. (2007) portakal kabuğunu farklı sıcaklıklarda (30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C) 78,6 g su/ 100 g taze kabuk nem miktarından 0,12 g su/ 100 g taze kabuk nem miktarına kadar kurutmuşlardır. Bizim çalışmamıza benzer şekilde, kurutma sıcaklığının kurutma süresi üzerine önemli bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada örneklerin, 30 °C sıcaklıkta yaklaşık 8 saatte kurduğunu, 70 °C sıcaklıkta ise kuruma süresinin yaklaşık 2 saatte tamamlandığını gözlemlemişlerdir. Yani sıcaklık iki katından fazla arttığında kurutma süresi yaklaşık %75 azalmıştır. Bu sonuçlara dayanarak, yüksek sıcaklığın kurutma hızını arttırdığını yani beklenildiği gibi

sıcaklık arttıkça kurutma süresinin düştüğünü rapor etmişlerdir. Farklı bir çalışmada, sıcak hava ile kurutmanın (40, 50, 60 ve 70 °C) patlıcanın fiziksel özelliklerine etkilerini incelenmiş ve kurutma sıcaklığındaki artışın kurutma süresini kısalttığı belirtilmiştir. Ayrıca patlıcanın kurutma süresinin sırasıyla 270, 225, 165 ve 135 dk olduğu ifade edilmiştir. (Russo vd. 2013). Benzer şekilde bir başka çalışmada, Yadollahinia ve Jahangiri (2009), farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve farklı hava hızlarının (0,5 ve 1 m/s) patatesin kurutulması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kurutma sıcaklığının kurutma süresine önemli ölçüde etki ettiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.1 Farklı sıcaklık ve farklı hava hızlarında elde edilen nem içeriklerinin zamanla değişimi

4.2 Kurutma Sırasındaki Renk Değişimi Bulguları

Gıda maddelerinin rengi tüketici tercihi açısından son derece önemlidir. Ek olarak, kurutulmuş sebze ve meyvelerde önemli kalite parametrelerden biridir. Gıdaların yüksek sıcaklıklara maruz kalması, Maillard reaksiyonlarına ve enzimatik olmayan reaksiyonlara neden olmaktadır. Bu reaksiyonlarda gıdaların rengi üzerine önemli etkilere sahiptir (Garau vd. 2007).

Farklı sıcaklıklar ve hava hızlarında kurutulan portakal kabuklarının renk ölçümleri yapılmış ve çizelge 4.1’ de verilmiştir. Bu çalışmada, taze portakal kabuğunun ortalama L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 65,39±1,45; 21,47±1,76 ve 66,49±2,74 olarak bulunmuştur. Sıcaklık ve hava hızının L* ve b* değerlerini önemli ölçüde etkilemediği ancak, a* değerlerindeki etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Hava hızındaki artış, örneklerin kırmızılık değerinde bir artışa sebep olmuştur. Ek olarak, her ne kadar 40 ve 50 °C sıcaklıkta kurutulan örneklerin a* değerleri arasındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmasa da, 60 °C sıcaklıkta kurutulan örneklerin a* değerlerinde belirgin bir artış olduğu bulunmuştur ($P < 0.05$). Bu renk değişikliğinin portakal kabuğu bünyesindeki flavonoidlerin ve karotenlerin kurutma sırasında tahribata uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Contreras vd. 2008).

Garau vd. (2007)’nin, portakal kabuğu ve pulpunun kurutulması üzerine yaptıkları bir çalışmada, pulptaki renk değişiminin kabuktaki renk değişimine göre daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir. 30 ile 90 °C arasındaki sıcaklıklarda hava ile kurutma yapılan örneklerde, sıcaklığın artması ile kararmanın daha çok arttığını belirtmişlerdir. Kabuktan ziyade pulpta kalan, indirgen şeker miktarının fazla olması, enzimatik esmerleşmeyi arttırmış ve pulptaki renk değişiminin daha çok olmasına sebep olmuştur.

Çizelge 4.1 Farklı kurutma koşullarının L*, a* ve b* değerleri üzerine etkisi

Kurutma koşulu	L*	a*	b*
1 m/s 40°C	59,26 ± 3,88 ^{a*}	26,42 ± 3,13 ^{ce}	60,95 ± 4,09 ^a
1 m/s 50°C	61,48 ± 2,06 ^a	24,20 ± 1,86 ^{ce}	63,76 ± 4,60 ^a
1 m/s 60°C	59,44 ± 2,81 ^a	28,32 ± 1,37 ^{cd}	64,14 ± 3,00 ^a
2 m/s 40°C	60,85 ± 0,95 ^a	26,72 ± 1,26 ^{ac}	65,29 ± 1,88 ^a
2 m/s 50°C	59,10 ± 2,07 ^a	28,00 ± 2,02 ^{ac}	31,67 ± 4,87 ^a
2 m/s 60°C	59,82 ± 0,99 ^a	30,15 ± 1,86 ^{ab}	61,14 ± 3,46 ^a

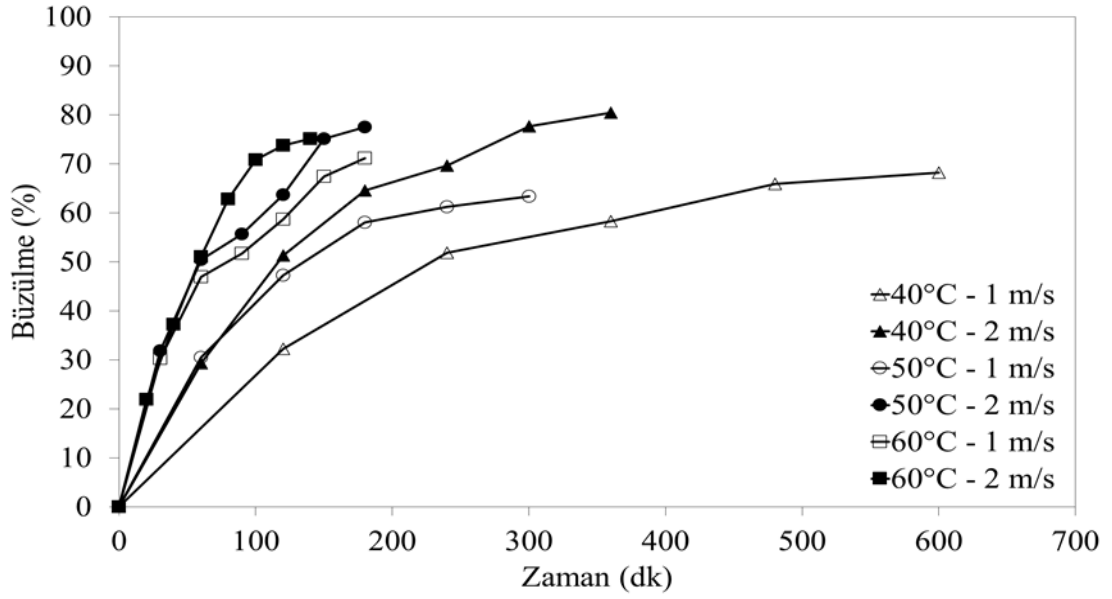
*sütündeki farklı harfler istatistiksel farkı gösterir ($P \leq 0.05$).

4.3 Kurutma Sırasındaki Büzülme Bulguları

Kurutma sırasında örneklerin hacmindeki değişim olarak ifade edilen büzülme, biyolojik materyallerin kurutulmasında nem difüzyonu ile ilişkilidir. Dolayısıyla kurutma işleminin daha iyi anlaşılabilmesi için büzülme olaylarını incelemek önemlidir (Liu vd. 2011).

Farklı kurutma koşullarındaki büzülme miktarları (%), örneklerin ilk ve son hacimleri dikkate alarak hesaplanmış ve şekil 4.2'deki gibi grafiğe aktarılmıştır. Beklenildiği üzere, kurutma süresince örneklerin büzülme miktarları artmış ve kurutma sonunda sabit bir değere ulaşmıştır. 2 m/s hava hızında kurutulan örneklerin büzülme miktarlarının, 1 m/s hava hızında kurutulan örneklerin büzülme miktarlarına oranla daha yüksek olduğu ($P < 0.05$) tespit edilmiştir. 1 ve 2 m/s hava hızında kurutulmuş örneklerin ortalama büzülme miktarları sırasıyla %68 ve 78 olarak bulunmuştur. Hava hızı sabitken sıcaklığın etkisi incelendiğinde, yüksek sıcaklıklarda büzülmenin daha kısa sürede gerçekleştiği görülmüştür. Benzer şekilde, sabit sıcaklıkta, hava hızının artışı daha hızlı bir büzülmeye sebep olmuştur. Bunun yanı sıra, aynı hava hızında kurutulan örneklerin kurutma sonundaki büzülme miktarları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu gözlenmiştir. Başka bir deyişle, hava sıcaklığının kurutma sonundaki büzülme değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır ($P > 0.05$).

Benzer bulgular literatürde de rapor edilmiştir. Hatamipour ve Mowla (2002) havucun akışkan yataklı kurutucuda farklı sıcaklıklarda (40, 48, 60 ve 70°C) kurutmuşlar ve sıcaklığın büzülme üzerinde etkili olmadığını göstermişlerdir. Benzer şekilde, Ratti (1994) patates, elma ve havucu 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta ve 1-5 m/s hava hızı aralığında konveksiyonel kurutucu ile kurutmuştur. Bu çalışmada da sıcaklık artışının büzülme üzerinde bir etkisinin olmadığı, ancak hava hızındaki artışın elma ve patates örneklerinin büzülmesinde etkili olduğu rapor edilmiştir.



Şekil 4.2 Farklı sıcaklık ve hava hızlarında elde edilen büzülmenin zamanla değişimi

4.3.1 Büzülmenin nem içeriği ile değişimi ve matematiksel olarak modellenmesi

Literatürdeki çalışmalar, gıdaların kurutma sırasındaki büzülmesinde, nem içeriğindeki değişimin etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Mayor ve Sereno 2004). Portakal kabuklarının büzülmesi üzerine nem içeriğinin etkisi şekil 4.3'te gösterilmiştir. Örnekteki nem miktarının azalmasıyla, büzülmenin doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Nem ve büzülme arasındaki Pearson korelasyonu -0.968 olarak bulunmuştur ($P = 0.000$). Bu sonuç bize nem ve büzülme arasında kuvvetli bir negatif korelasyon olduğunu göstermektedir. Lineer modelden elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir. Denklemlerin korelasyon katsayıları (R^2), 1 ve 2 m/s hava hızında kurutulan örnekler için sırasıyla 0,94 ve 0,99 olarak tespit edilmiştir. Korelasyon katsayıların yüksek olması denklemlerin büzülme miktarını tahmin etmekte ne kadar başarılı olabileceğinin bir göstergesidir. Bu bulgulara ek olarak, 2 m/s hava hızında kurutulan örneklerden elde edilen doğrunun eğiminin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu veri, portakal kabuğu örneklerinin yüksek hava hızında kurutulurken, örneğin büzülme miktarındaki değişimin nem miktarına daha bağımlı olarak değiştiğini göstermektedir.

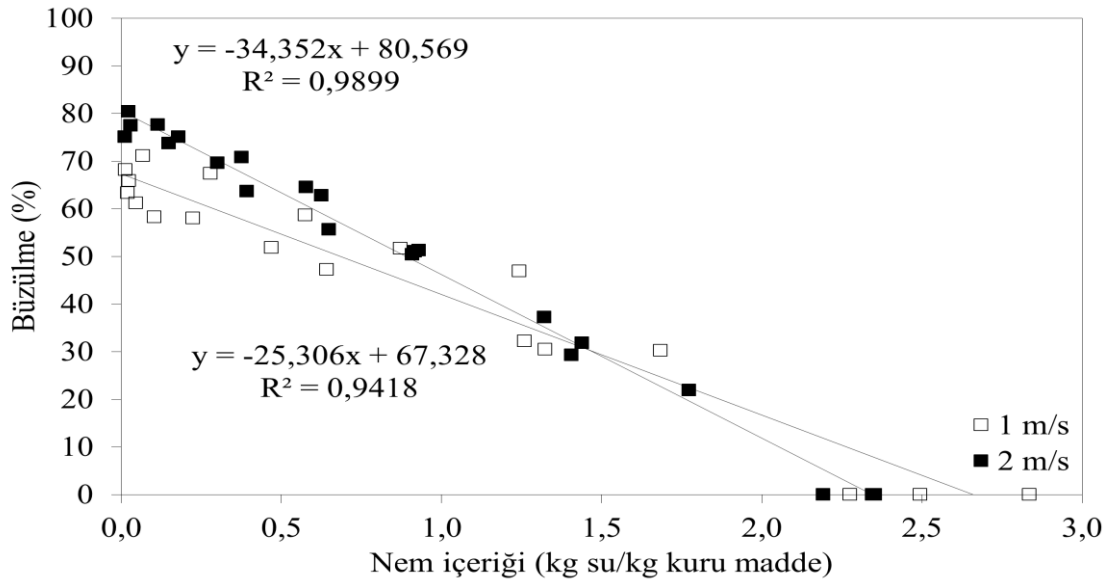
1 m/s hava hızında kurutulan örnekler için elde edilen denklem (Eşitlik 4.1):

$$\text{Büzülme (\%)} = -25,306 \text{ Nem İçeriği (kg su/kg kuru madde)} + 67,328 \quad (4.1)$$

2 m/s hava hızında kurutulan örnekler için elde edilen denklem (Eşitlik 4.2):

$$\text{Büzülme (\%)} = -34,352 \text{ Nem İçeriği (kg su/kg kuru madde)} + 80,569 \quad (4.2)$$

Büzülme miktarının gıdaların nem içeriği ile doğrusal olarak değiştiği literatürde birçok çalışmada rapor edilmiştir. Giri ve Prasad (2006) mantarı konveksiyonel ve mikrodalga-vakum ile iki farklı şekilde kurutmuşlar ve büzülmenin nem içeriği ile doğrusal değiştiğini göstermişlerdir. Benzer şekilde, pancar üzerinde yapılan bir çalışmada konvektif kurutma (60 °C) ve vakum-mikrodalga kurutma (240, 360 ve 480 W) sırasında büzülmenin nem içeriği ile doğrusal değiştiği belirtilmiştir (Figiel 2010). Martynenko (2014) yaban mersini ve ginseng kökünü, konveksiyonel kurutma yöntemi (40 ve 80 °C) ile kuruttuğu çalışmasında, nem içeriği-büzülme ilişkisinden doğrusal ampirik model elde etmiştir. Ayrıca bir başka çalışmada, Aprajeeta vd. (2014) patates dilimlerini 62 °C’de yaklaşık 7 saat süre ile kurutmuşlardır. Patates dilimlerinde yaklaşık %35 oranında büzülme olduğunu ve büzülmenin nem içeriği ile doğrusal olarak değiştiğini elde ettikleri model ile açıklamışlardır.

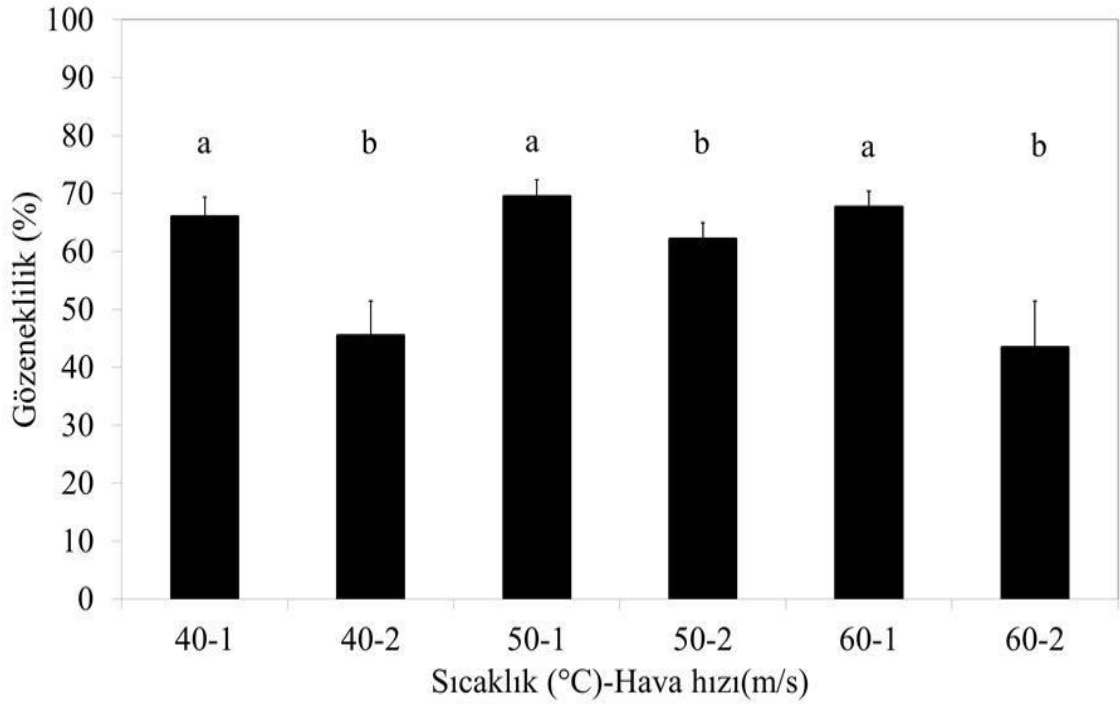


Şekil 4.3 Farklı hava hızlarında büzülmenin nem içeriği ile değişimi

4.4 Kurutma Sırasındaki Gözeneklilik Bulguları

Kurutma esnasındaki gözenek oluşumunun çok karmaşık bir olgu olduğu bilinmektedir. Gözeneklilik, materyalin içyapısına (kimyasal bileşim) ve dış faktörlere (sıcaklık, basınç, bağıl nem, hava dolaşımı vb.) bağlı olarak değişmektedir (Rahman 2003). Farklı hava hızı ve sıcaklıklarda kurutulmuş portakal kabuklarının gözenekliliği ölçülmüş ve bulgular şekil 4.4'te gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre gözeneklilik değişiminde hava sıcaklığının herhangi bir etkisinin olmadığı ancak hava hızının iki katına çıkması ile gözenekliliğin azaldığı tespit edilmiştir. 1 ve 2 m/s'de kurutulan portakal kabukları için ortalama gözeneklilik değerleri sırasıyla %67,7 ve %50,4 olarak ölçülmüştür. Bu bulguların büzülme sonuçları ile paralel olduğu ve kurutulan örneğin büzülmesinin gözenekliliği etkilediği düşünülmektedir. Gıdaların kurutulmasında, öncesinde su ile dolu olan hücre içi boşluklar (yani gözenekler), kurutma esnasında hava ile dolmakta veya büzülmenin etkisiyle sıkışmaktadır (Marquez ve Mechalis 2011). Bu bilgiden yola çıkarak, yüksek hava hızında kurutulan portakal kabuğu örneklerinde büzülmenin yüksek olması, boşluklarda oluşan hücre içi baskıyı arttırmış ve bu örneklerde gözeneklilik azalmıştır sonucuna varılmıştır.

Literatürde, gıda materyallerinin içyapısına ve kurutma faktörlerine bağlı olarak çok farklı gözeneklilik miktarları rapor edilmiştir. Kurutmanın patlıcanın fiziksel özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, patlıcan örnekleri 4 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60 ve 70 °C) konvektif hava kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Taze patlıcan örneğinde gözeneklilik %42 olarak tespit edilirken farklı kurutma sıcaklıklarında sırasıyla %75, %78, %83 ve %95 olarak bulunmuştur. Hava sıcaklığındaki artışın gözeneklilik değerlerinde artışa neden olduğu rapor edilmiştir (Russo vd. 2013). Bir başka çalışmada, elma, sıcak havada (50, 80 ve 105 °C) kurutulmuş ve sıcaklığın, gözeneklilik değişimi üzerine etkisi örnekteki nem oranı %55'e düşene kadar gözlenmemiştir. Gözeneklilik sonuçlarının 3 farklı sıcaklıkta, 50 °C için %47,8, 80 °C için %56,2 ve 105 °C için %77,8 olduğu tespit edilmiştir (Rahman 2005).



Şekil 4.4 Farklı sıcaklık ve hava hızlarında gözeneklilik miktarı

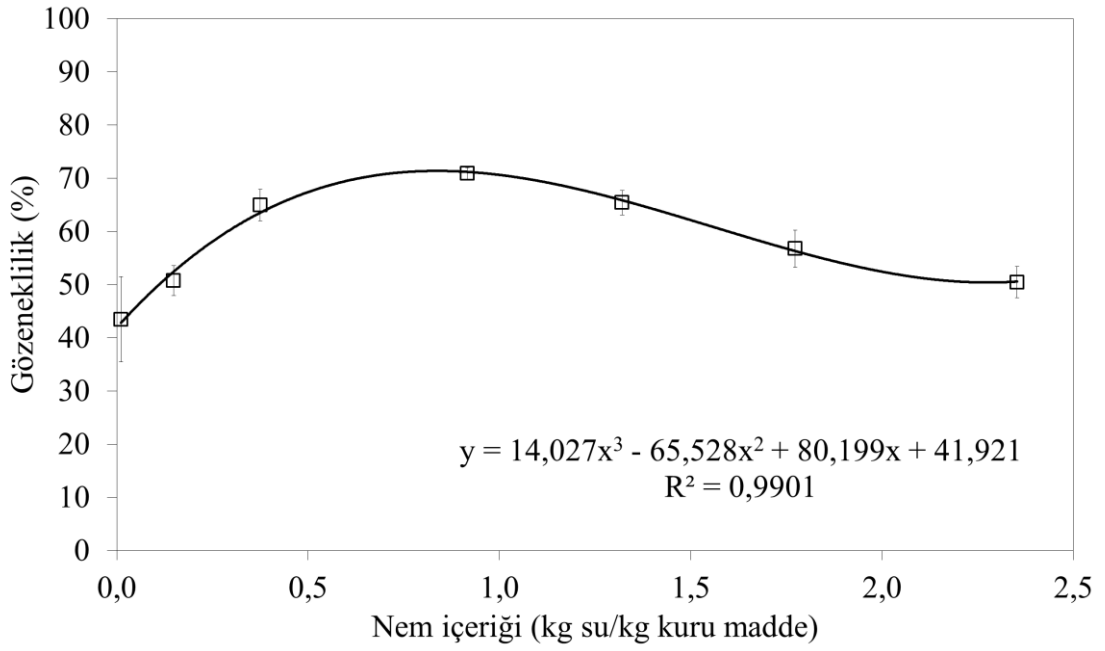
4.4.1 Gözenekliliğin nem içeriği ile değişimi ve matematiksel olarak modellenmesi

Taze portakal kabuğu örneğinde gözenekliliğin %50 olduğu tespit edilmiştir. 60 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızında kurutulan portakal kabuklarının gözeneklilik değerlerinin nem içeriği (kg su / kg kuru madde) ile değişimi şekil 4.5'te gösterilmiştir. Kurutma esnasında gözenekliliğin, kritik bir değere ulaşana kadar artış gösterdiği ve bu noktadan sonra nemin daha da azalmasının gözeneklerin çökmesine (yığılmasına/kapanmasına) sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu çökmeler sonucunda, gözeneklilik kritik nem değerinden sonra azalmıştır. Gözeneklerdeki çökme ve kapanmanın sebebi literatürde farklı görüşlerle açıklanmıştır. Suyun uzaklaşması sırasında oluşan kapılar kuvvetler ve hücre içerisindeki turgor basıncının düşmesi bunlardan bazılarıdır (Prothon vd. 2003).

Gıdaların kurutulması sırasında, gözeneklilik neme bağlı olarak çok farklı eğilimler gösterebilmektedir (Rahman 2003). Lozano vd. (1983) havuç, sarımsak ve patates örneklerini 40 ve 60 °C sıcaklıkta 1 m/s hava hızı ile kuruttukları çalışmalarında kurutmanın ilk aşamalarında gözenekliliğin az miktarda arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca

Boukouvalas vd. (2010) on iki farklı sebzenin sıcak hava ile kurutulması sırasında yapısal özelliklerinde meydana gelen değişimi inceledikleri çalışmalarında, nem içeriğinin azalması ile gözenekliliğin arttığını tespit etmişlerdir. Koç vd. (2007)'de kurutma metotlarının ayvanın büzülme, gözeneklilik ve yığın yoğunluğu üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulan ayvanın nem içeriğinin azaldıkça gözenekliliğin arttığını rapor etmişlerdir.

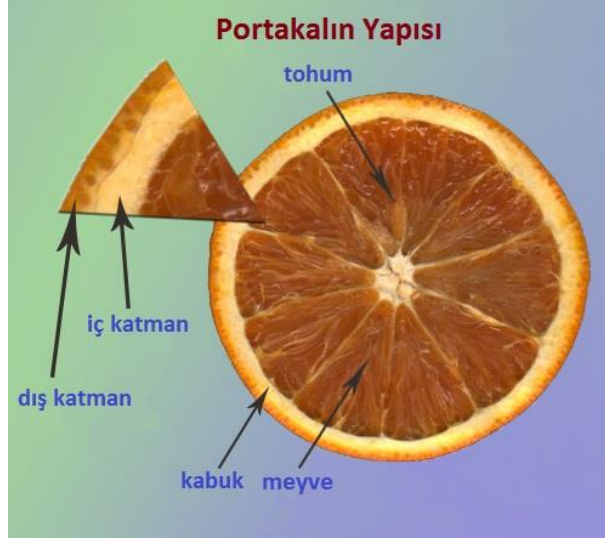
Portakal kabuğunun gözenekliliğinin, şekil 4.4'te gösterildiği gibi nem içeriği ile üçüncü dereceden bir polinom ile ($R^2 = 0,99$) korelasyon yaptığı gözlemlenmiştir. Literatürde gözeneklilik ile nem arasında çok farklı bağıntılar bulunmuştur. Bu farklılıkların sebebi önceden de değinildiği gibi gıdanın yapısındaki farklılıklar ve dış faktörlerdir. Rahman vd. (1996) tarafından yapılan bir çalışmada, kalamar 70 ve 100 °C'de sıcak hava ile kabin kurutucuda kurutulmuştur. Daha önceden yapılmış çalışmalarda Rahman modeli olarak belirlenen gözeneklilik modelini, çalışmalarında elde ettikleri verilerle modifiye ederek nem içeriği gözeneklilik değişimini hem kuadratik hem de üstel korelasyonlarla açıklamışlardır. Başka bir çalışmada ise, sıcak hava ile kurutulan (40, 50 ve 60 °C) sarımsak örneklerinin gözeneklilik değişimi görünür ve parçacık yoğunlukları verilerine dayanarak hesaplanmıştır. Gözeneklilik değişimi doğrusal olmayan ve nem içeriğine bağlı üç değişkenli üstel modellerle açıklanmıştır (Lopez-Ortiz vd. 2013). Diğer bir çalışmada (Rapusas ve Driscoll 1993), soğan, sıcak hava ile (70 °C) ve vakum altında (70 °C - 85 kPa) kurutulmuştur. Bizim çalışmamızdaki sonuca benzer şekilde, soğanın gözenekliliğindeki değişim, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak üçüncü dereceden polinom denklemi ile açıklanmıştır.



Şekil 4.5 60 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızında gözenekliliğin nem içeriği (kg su / kg kuru madde) ile değişimi

4.5 Mikroyapı Analizi (SEM) Bulguları

Portakal kabuğu flavedo ve albedo olmak üzere iki ana dokudan oluşmaktadır. Flavedo, kütikül adı verilen mumsu yapı ile kaplı dış katmanı oluştururken; albedo, kabuğun iç kısmındaki beyaz katmandır. Flavedo hücreler arası boşluk içermeyen oval ve küresel hücrelerden oluşan bir yapıdadır. Mikroyapısal olarak incelenen portakal kabuklarında kütikül üzerindeki gözenekler, halka yapısında ve mumsu tabaka ile kaplanmıştır (Ortuno vd. 2010). Şekil 4.6'da portakal kabuğunun yapısı gösterilmektedir.

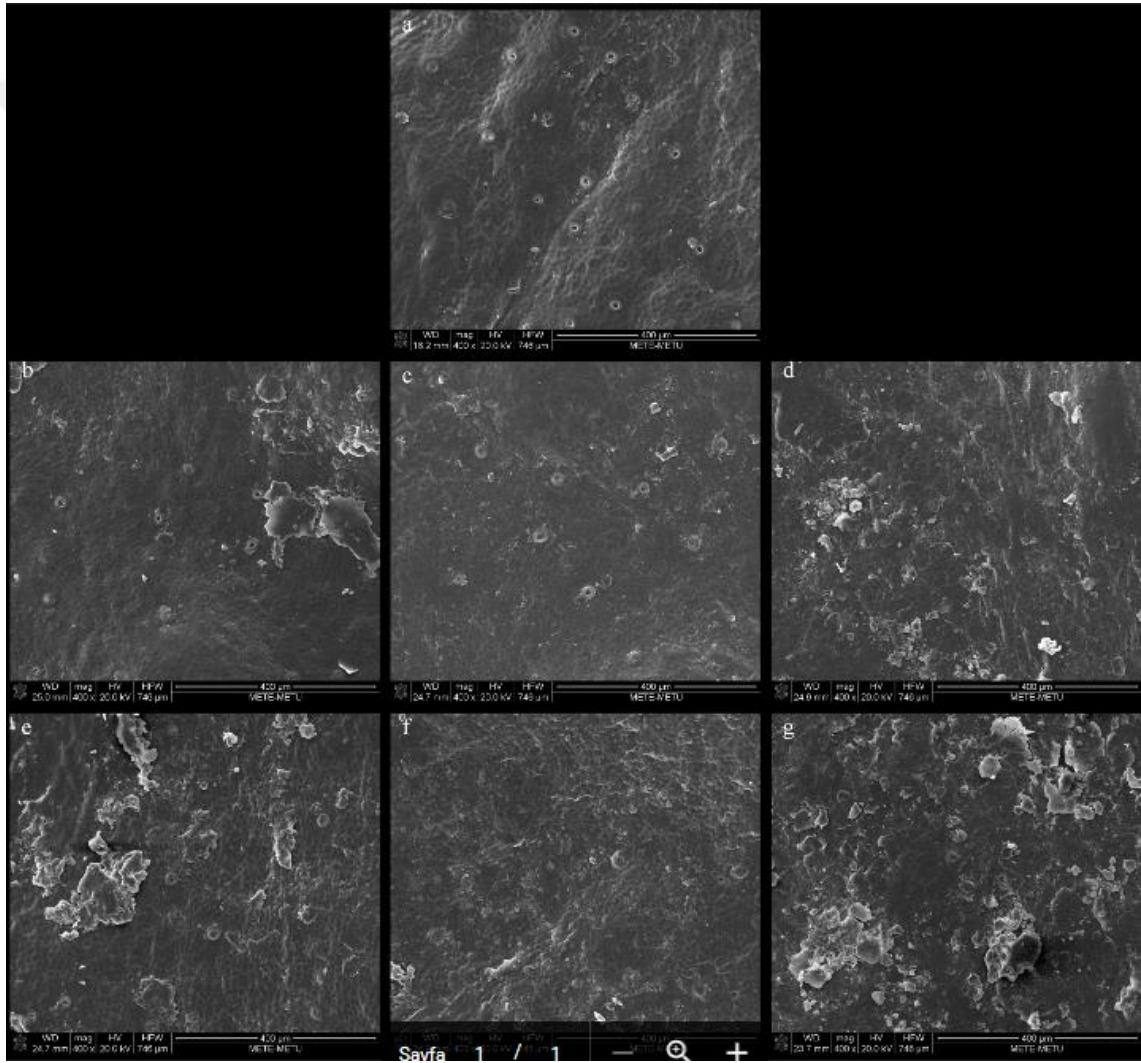


Şekil 4.6 Portakal kabuğunun yapısı (www.geochembio.com 2015)

1 m/s ve 2 m/s hava hızlarında 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda kurutulan portakal kabuklarının taze ve kurutulmuş örneklerinin mikroyapı analiz sonuçları şekil 4.7 ve şekil 4.8’de gösterilmiştir. Portakal kabuklarının yapısı 400x ve 6000x olmak üzere 2 farklı büyüklük ölçüsünde incelenmiştir. 400x ölçülerinde flavedo üzerinde gözeneklerin genel görünümü gözükmemekte iken, 6000x ölçülerinde tek bir gözenegin yapısı incelenebilmektedir. Taze örneğin yapısı incelendiğinde flavedo üzerindeki gözeneklerin çok sık olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça gözenek dağılımının azaldığı görülmektedir. 60 °C’de gözeneklerin neredeyse bulunamayacak kadar az olduğu görülmüştür. Ayrıca gözenek açıklığı taze örneklerde ve 40 °C’de oldukça büyükken sıcaklık arttıkça yani 50 ve 60 °C’lerde gözenek açıklığının önemli ölçüde küçüldüğü tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve hava hızında kurutulmuş örneklerde mumsu yapının parçalanarak dağıldığı ve kabuk yüzeyinin çatlamış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca gözenek çevresindeki halka şeklindeki yapıların aşırı kurutma koşullarında parçalanarak yok olduğu ve gözeneklerin parçalanmış mumsu bileşenler tarafından tıkanmış olduğu görülmüştür.

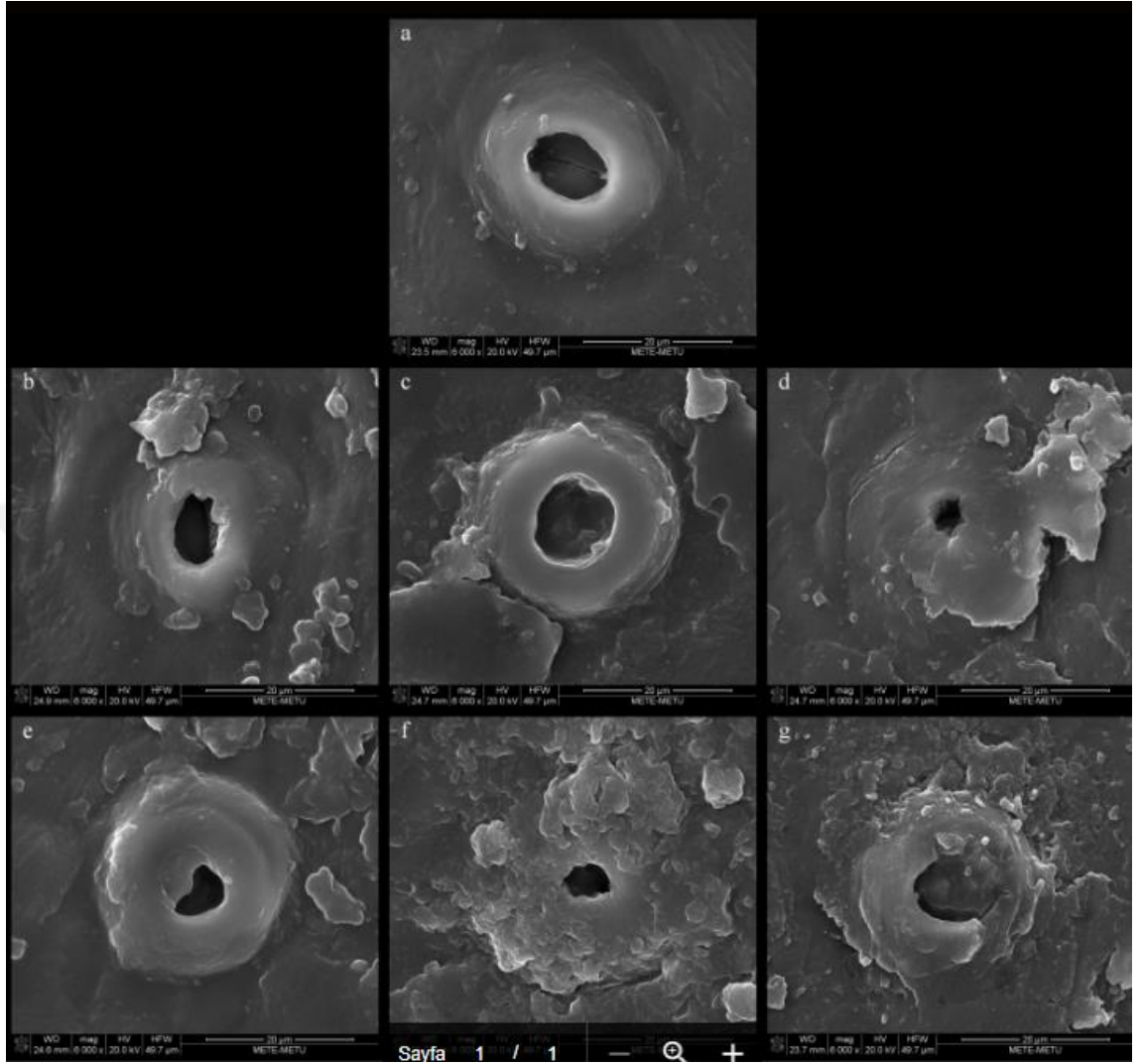
Benzer yapısal değişimler literatürde diğer araştırmacılar tarafında da rapor edilmiştir. Ortuno vd. (2010), 40 °C ve 1 m/s hava hızında portakal kabuğunu kurutmuşlar ve sonucunda mumsu tabakanın dağılarak gözeneklerin kapanmasına ve su geçirmez bir

tabakanın oluşmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Böylece kurutma sırasında su transferinin sadece albedo tabakasından olduğunu tespit etmişlerdir. Garcia-Perez ve Ortuno (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, 40 °C ve 1 m/s hava hızında portakal kabuğunun konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulması sırasında meydana gelen mikroyapısal değişiklikler incelenmiştir. Çalışmamızdaki sonuçlara benzer şekilde, kurutma ile birlikte flavedo üzerinde yer alan mumsu bileşenlerin kabuk yüzeyine dağılması ile yapı üzerindeki gözeneklerin tıkanıdığı ve su geçirmez bir bariyer oluştuğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 4.7 Farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan portakal kabuğu örneklerinin SEM analizi (400x)

a.taze örnek b. 40 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 600 dk c. 40 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 360 dk d. 50 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 300 dk e. 50 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 180 dk f. 60 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 180 dk g. 60 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 140 dk



Şekil 4.8 Farklı sıcaklık (40, 50 ve 60 °C) ve hava hızlarında (1 ve 2 m/s) kurutulan portakal kabuğu örneklerinin SEM analizi (6000x)

a. taze örnek, b. 40 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 600 dk c. 40 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 360 dk d. 50 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 300 dk e. 50 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 180 dk f. 60 °C – 1 m/s; kurutma süresi: 180 dk g) 60 °C – 2 m/s; kurutma süresi: 140 dk

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kurutma hava sıcaklığı (40, 50 ve 60 °C) ve hızının (1 ve 2 m/s) portakal kabuğunun fiziksel ve yapısal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kurutma süresinin hava sıcaklığındaki artıştan etkilendiği tespit edilmiştir. Sıcaklığın 40 °C' den 60 °C'ye yükseltilmesi ile 1 ve 2 m/s hava hızlarında kurutulmuş örnekler için kurutma süresi sırasıyla %70 ve %61 oranında azaldığı görülmüştür. Kurutma boyunca büzülme miktarının arttığı ve işlem sonunda, 1 ve 2 m/s hava hızlarında sırasıyla %68 ve %78 olmak üzere sabit bir değere ulaştığı görülmüştür. Portakal kabuğu örneklerinde nem miktarı azaldıkça büzülmenin doğrusal olarak arttığı, bir başka deyişle aralarında negatif bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Kurutulmuş portakal kabuğu örneklerinin düşük hava hızında daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Ortalama gözeneklilik değerleri 1 ve 2 m/s hava hızları için sırasıyla %67,7 ve %50,4 olarak bulunmuştur. Ayrıca, kurutma sonundaki büzülme ve gözeneklilik değerlerinin hava sıcaklığından etkilenmediği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, örneklerin gözeneklilik değerleri ve nem içeriği arasında bağıntının üçüncü dereceden bir polinom olduğu bulunmuştur. Hava hızı ve sıcaklıkta meydana gelen artışın portakal kabuğu örneklerinde parlaklık ve sarılığı etkilemezken kırmızılık üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Mikroyapı analizinde ise başlangıçta flavedo tabakasında gözenekler fazla iken sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. İşlem sıcaklığı ve hava hızı arttıkça örnek üzerindeki mumsu yapının parçalandığı ve gözeneklerin tıklandığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, M., Menlik, T., Boran, K., Aktekeli, B. ve Aktekeli, Z. 2014. Isı pompalı bir kurutucuda portakal kabuğunun kurutulması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji, 2(2), 229-238.
- Anonim. 2007. MEGEP, Gıda Teknolojisi, Sebze kurutma. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Anonim. 2014. Meyve ve sebzelerin kurutularak muhafazası. Hacettepe Üniversitesi, Ders Notu. Ankara.
- Anonim. 2015. Web Sitesi: <http://www.geochembio.com/biology/organisms/citrus/>. Erişim Tarihi: 14.03.2015.
- Anonim. 2016. Web Sitesi: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001. Erişim Tarihi: 10.02.2017.
- Anwar, F., Naseer, R., Bhanger, M.I., Ashraf, S., Talpur, F.N. and Aladedunye, F.A. 2008. Physico-chemical characteristics of citrus seeds and seed oils from Pakistan. Journal of the American Oil Chemists' Society, 85(4), 321–330.
- Aprajeeta, J., Gopirajah, R. and Anandharamakrishnan, C. 2014. Shrinkage and porosity effects on heat and mass transfer during potato drying. Journal of Food Engineering, 144 (2015), 119–128.
- Azzouz, S., Jomaa, W. and Belghith, A. 1998. Drying kinetic equation of single layer of grapes. In: IDS'98, Proceedings of 11th International Drying Symposium (IDS'98), vol. B, Halkidiki, Greece, August 19–22, 988–997.
- Bakker, J., Bridle, P. and Timberlake, C.F. 1986. Tristimulus measurements (CIELAB 76) of portwine colour. Vitis, 25,67-78.
- Bingöl, G. and Devres, O. 2010. Gıda işlemede kurutma teknolojilerinin temel ilkeleri. İstanbul Sanayi Odası -İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Boukouvalas, C.J., Bisharat, G.I. and Krokida, M.K. 2010. Structural properties of vegetables during air drying. International Journal of Food Properties, 13(6), 1393-1404.
- Calin-Sanchez, A., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A. and Tsotsas, E. 2014. Drying kinetics and microstructural and sensory properties of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as affected by drying method. Food Bioprocess Technology, 8 (2015), 63-74.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Özkan, M. 2003. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları: 28, 541, Ankara.
- Cohen, J.S. and Yang, T.C.S. 1995. Progress in food dehydration, Trends in Food Science and Technology, 6, 20-25.
- Contreras, C., Martín-Esparza M.E, Chiralt, A. and Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. Journal of Food Engineering, 88(1), 55–64.

- Doymaz, İ. 1998. Üzüm ve Kahramanmaraş biberinin kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 127, İstanbul.
- Figiel, A. 2012. Drying kinetics and kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Food Eng.*, 98, 461-470.
- Garau, M.C., Simal, S., Rossello, C. and Femenia, A. 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry*, 104 (3), 1014–1024.
- Garcia-Perez, J.V., Ortuno, C., Puig, A., Carcel, J.A. and Perez-Munuera, I. 2011. Enhancement of water transport and microstructural changes induced by high-intensity ultrasound application on orange peel drying. *Food Bioprocess Tech*, 5(2012), 2256–65.
- Geankoplis, C.J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*, 3. Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Giri, S.K. and Prasad, S. 2006. Modeling shrinkage and density changes during microwave-vacuum drying of button mushroom. *International Journal of Food Properties*, 9, 409–419.
- Guine, F. 2006. Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioprocess Processing*, 84(C3), 179–185.
- Hatamipour, M.S. and Mowla, D. 2002. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 5(2002), 247-252.
- Kahyaoglu, L.N., Sahin, S. and Sumnu, G. 2010. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering*, 98(2010), 159–69.
- Karel, M. 1991. Physical structure and quality of dehydrated foods. In A.S. Mujumdar I. Filkova, *Drying 91*, Amsterdam.
- Karim, M.A. and Hawlader, M.N.A. 2005. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. *Int. J. Heat Mass Tran.*, 48, 4914-4925.
- Katekawa, M.E. and Silva, M.A. 2004. Study of porosity behavior in convective drying of bananas. In: *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, vol. B, Sao-Paulo, Brazil, August 22–25, 1427–1434.
- King, C.J. 1974. *Understanding and conceiving chemical processes*. Aiche Monograph Series, Am. Inst. Chem. Eng., New York.
- Koç, B., Eren, İ. and Ertekin, K.F. 2007. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85 (2008), 340-349.
- Krokida, M.K. and Maroulis, Z.B. 2007. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology: An International Journal*, 15(10), 2441-2458.

- Liu, G., Chen, J., Liu, M. and Wan, X. 2011. Shrinkage, porosity and density behaviour during convective drying of bio-porous material. *Procedia Engineering*, 31 (2012), 634-640.
- Lopez-Ortiz, A., Rodriguez-Ramirez, J. and Mendez-Lagunas, L.L. 2013. Effects of drying air temperature on the structural properties of garlic evaluated during drying. *International Journal of Food Properties*, 16(7), 1516-1529.
- Lozano, J.E., Rotstein, E. and Urbicain, M.J. 1980. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. *Journal of Food Science*, 45, 1403–1407.
- Lozano, J.E., Rotstein, E. and Urbicain, M.J. 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. *Journal of Food Science*, 48, 1497–1502.
- Madiouli, J., Sghaier, J., Lecomte, D. and Sammouda, H. 2012. Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food and Bioprocess Processing*, 90(2012) 43-51.
- Marabi, A. and Saguy, S. 2004. Effect of porosity on rehydration of dry food particulates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1105-1110.
- Marquez, C.A. and Mechalis, A.D. 2011. Comparison of drying kinetics for small fruits with and without particle shrinkage considerations. *Food Bioprocess Technology*, 4(7), 1212–1218.
- Marouis, S.N. and Saravacos, G.D. 1990. Density and porosity in drying starch materials. *Journal of Food Science*, 55, 1367–1372.
- Martynenko, A. 2010. The system of correlations between moisture, shrinkage, density and porosity. *Drying Technology: An International Journal*, 26(12), 1496–1499.
- Martynenko, A. 2014. True, particle, and bulk density of shrinkable biomaterials: evaluation from drying experiments. *Drying Technology: An International Journal*, 32(11), 1319-1325.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2001), 177-182.
- Mayor, L. and Sereno, A.M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(2004), 373–86.
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M. and Marchais, L.P.D. 2011. Evolution of porosity, shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *LWT – Food Science Technology*, 44, 883–890.
- Mulet, A., Garcia-Reverter, J., Bon, J. and Berna, A. 2000. Effect of shape on potato and cauliflower shrinkage during drying. *Drying Technology*, 18(6), 1201–1219.
- Nielsen, S.S., Marcy, J.E. and Sadler, G.D. 1993. Chemistry of aseptically processed foods. In *Principles of Aseptic Processing and Packing*, J.V. Chambers and P.E. Nelson eds., 2nd ed., Food Processors Institute, Washington.

- Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., Floridah, R.K. and Weitnauer, A.C. 2007. Food Dehydration in Handbook of Food Engineering Eds. Valentas, Taylor and Francis Group, LLC, London.
- Ortuno, C., Perez-Munuera, I., Puig, A., Riera, E. and Garcia-Perez, J.V. 2010. Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Physics Procedia*, 3(2010), 153–159.
- Özkan, M. 1996. Gıdalarda sülfıt uygulamaları. Seminer. Ankara Üniversitesi, 20-21, Ankara.
- Parthasarathi, S. and Anandharamakrishnan, C. 2014. Modeling of shrinkage, rehydration and textural changes for food structural analysis: a review. *Journal of Food Process Engineering*, 10, 1745-4530.
- Perez, M.G. and Calvelo, A. 1984. Modeling the thermal conductivity of cooked meat. *Journal of Food Science*, 49, 152–156.
- Piotrowski, D., Golos, A. and Grzegory, P. 2014. Shrinkage and mechanical properties of defrosted strawberries dried by convective, vacuum and convective-vacuum methods. *Acta Agrophysica*, 21(2), 193-204.
- Prothon, F., Ahrne, L. and Sjöholm I. 2003. Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. *Food Sci. Nutr.*, 43, 447–79.
- Rahman, M.S., Perera, C.O., Chen, X.D., Driscoll, R.H. and Potluri, P.L. 1996. Density shrinkage and porosity of calamari mantle meat during air drying in a cabinet dryer as a function of water content. *Journal of Food Engineering*, 30, 135–145.
- Rahman, M.S. 2000. Mechanism of pore formation in foods during drying: present status. In *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food ICEF-8*, Peubla.
- Rahman, M.S. 2003. A theoretical model to predict the formation of pores in foods during drying. *International Journal of Food Properties*, 6(1), 61–72.
- Rahman, M.S., Al-Zakwani, I. and Guizani, N. 2005. Pore formation in apple during air-drying as a function of temperature: porosity and pore-size distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2005), 979–989.
- Ramallo, L.A. and Mascheroni, R.H. 2010. Effect of shrinkage on prediction accuracy of the water diffusion model for pineapple drying. *Journal of Food Process Engineering*, 10, 1745-4530.
- Rapusas, R.S. and Driscoll, R.H. 1995. Thermophysical properties of fresh and dried white onion slices. *Journal of Food Engineering*, 24(1995), 149–64.
- Ratti, C. 1994. Shrinkage during drying of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 23 (1994), 91-105.
- Russo, P., Adiletta, G. and Matteo, M. 2013. The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant. *Food and Bioproducts Processing*, 9(2013), 249–256.

- Sablani, S., Rahman, M.S. and Al-Sadeiri, D.S. 2002. Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*, 52, 193–199.
- Saguay, I. and Karel, M. 1980. Modelling of quality deterioration during food processing and storage. *Food Technology*, 45, 1755-1767.
- Senevirathne, M., Jeon, Y.J., Ha, J.H. and Kim, S.H. 2009. Effective drying of citrus by-product by high speed drying: A novel drying technique and their antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 157–163.
- Sgrosso, S., Gabitto, J.F., Aguerre, R.J., Fusco, A.J.V. and Avanza, J.R. 1990. Transferencia de masa en solidos con cambio de volumen. Aplicacion al secado de mandioca. *Revista Cientifica de la Universidad del Nordeste de la Repuuacutublica Argentina (FACENA). Serie: Ciencias exactas*, 8, 131–146.
- Singh, F., Katiyar, V.K. and Singh, B.P. 2015. Mathematical modeling to study influence of porosity on apple and potato during dehydration. *Journal of Food Science Technology*, 52(9), 5442–5455.
- Suzuki, K., Kubota, K., Hasegawa, T. and Hosaka, H. 1976. Shrinkage in dehydration of root vegetables. *Journal of Food Science*, 41, 1189–1193.
- Şahin, S. ve Şumnu, S.G. 2006. *Physical properties of foods. Food Science Text Series* Springer, New York.
- Torres, J.D., Talens, P., Carot, J.M., Chiralt, A. and Escriche, I. 2007. Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. *Food Chemistry*, 101(1), 219-228.
- Vacarezza, L. 1975. *Cinetica y mecanismo de transporte de agua durante la deshidratación de la remolacha azucarera*. Ph.D. Thesis, Universidad de Buenos Aires.
- Vazquez, G., Chenlo, F., Moreira, R. and Costoyas, A. 1999. The dehydration of garlic. 1. Desorption isotherms and modelling of drying kinetics. *Drying Technology*, 17(6), 1095-1108.
- Verschaffel, L., Greer, B. and De Corte, E. 2002. Everyday knowledge and mathematical modeling of school word problems. In K. P. Gravemeijer, R. Lehrer, H. J. van Oers, L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, modeling and tool use in mathematics education*, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 171-195, Dordrecht.
- Wang, D. and Martynenko, A. 2016. Estimation of total, open-, and closed-pore porosity of apple slices during drying, *Drying Technology*, 34(8), 892-899.
- Witrowa-Rajchert, D. and Rzaca, M. 2009. Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. *Drying Technology: An International Journal*, 27(7-8), 903-909.
- Yadollahinia, A. and Jahangiri, M. 2009. Shrinkage of potato slice during drying *Journal of Food Engineering*, 94(2009), 52–58.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M. and Oliveira, F. 2007. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84, 430–440.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. 1994. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. *Drying Technology*, 12(7), 1653–1666.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cansu TAMER
Doğum Yeri : İzmit
Doğum Tarihi : 23.06.1989
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İncirli Lisesi (2006)
Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
Bölümü (2012)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği
Anabilim Dalı (Şubat 2014 –Nisan 2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Uzman (2015- Devam ediyor)
Doyum Tat Yemek Gıda Turizm Ltd. Şti., Gıda Mühendisi (2012-2015)
Arçelik A.Ş., Buzdolabı İşletmesi, Ar-Ge Bölümü, Stajyer (2011)
Türk Standartları Enstitüsü, Gıda Laboratuvarı, Stajyer (2010)

Yayını

Tamer, C., İşçi,, A., Kutlu, N., Şakiyan, O., Şahin, S., Şumnu, G. 2016. *Effect of drying on porous characteristics of orange peel*. International Journal of Food Engineering, 12(9):921-928.