

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN KIYMANIN KURUTMA
KİNETİĞİ, MİKROYAPISI, RENGİ VE REHİDRASYON ORANI
ÜZERİNE ETKİSİ**

Aslı AKSOY

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN KIYMANIN KURUTMA
KİNETİĞİ, MİKROYAPISI, RENGİ VE REHİDRASYON ORANI
ÜZERİNE ETKİSİ**

Aslı AKSOY tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 29.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Muhammet ARICI, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Halime PEHLİVANOĞLU, Üye

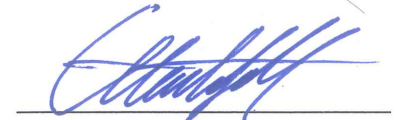
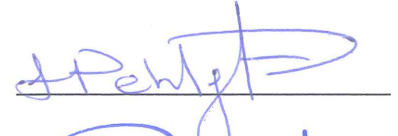
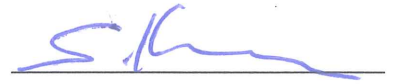
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa MORTAŞ, Üye

Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kıymanın Kurutma Kinetiği, Mikroyapısı, Rengi ve Rehidrasyon Oranı Üzerine Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Aslı AKSOY

İmza

Canım Annem'e

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca tecrübe ve bilgi birikimi ile bana destek olan ve bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada kullandığım endüstriyel hammaddeleri temin ettiğim Soyyiğit Gıda San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm öğretmenlerime, her zaman destek olan dostlarıma ve her koşulda karşılıksız yanımda olan Annem'e sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Aslı AKSOY

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	VII
KISALTMA LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ	X
TABLO LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIV
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	4
2 Kuramsal Temeller	5
2.1 Et.....	5
2.2 Kurutma	6
2.2.1 Kurutma Esnasında Isı ve Kütle Transferi	6
2.2.2 Kurutma Esnasında Gerçekleşen Olaylar	8
2.2.3 Gıdaların Kurutulmasındaki Aşamalar	10
2.2.4 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler	12
2.2.5 Başarılı Bir Kurutma İçin Etkili Faktörler	15
2.2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Ortaya Çıkan Ürün Kalitesindeki Değişiklikler	16
2.2.7 Etin Kurutulması ve Kurutulmuş Et Ürünlerinin Özellikleri.....	18
2.2.8 Kurutma Yöntemleri.....	24
2.3 Hazır Çorba.....	36

2.4 Konu İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları	37
3 Materyal ve Yöntem	43
3.1 Materyal	43
3.2 Yöntem.....	43
3.2.1 Taze Kıymanın Fizikokimyasal Özellikleri.....	44
3.2.2 Kıyma Numunelerinin Farklı Teknikler ile Kurutulması	45
3.2.3 Kurutma Karakteristik Analizleri.....	46
3.2.4 Hazır Çorba Üretimi	51
3.2.5 Hazır Çorbanın Fizikokimyasal Analizleri.....	53
3.2.6 Hazır Çorbanın Mikrobiyolojik Analizleri	57
3.2.7 İstatistiksel Analiz.....	60
4 Araştırma Bulguları	61
4.1 Kıymanın Fizikokimyasal Özellikleri.....	61
4.2 Kurutma Karakteristiği Analizleri	61
4.2.1 Nem İçeriği.	61
4.2.2 Etkin Nem Difüzyonu (D_{eff}) ve Aktivasyon Enerjisi (E_a)	63
4.2.3 Rehidrasyon Oranı	64
4.2.4 Büzülme Oranı.....	66
4.2.5 Mikroyapı.....	67
4.2.6 Renk.....	69
4.2.7 Peroksit Değeri.....	71
4.2.8 Uçucu Bileşen	72
4.3 Hazır Çorba Analiz Sonuçları.....	85
5 Sonuç ve Öneriler	87
Kaynakça	89
Tezden Üretilmiş Yayınlar	99

SİMGE LİSTESİ

a^*	Kırmızı ve yeşil renk değeri
a_w	Su aktivitesi
A	Kurutma yüzey alanı (m^2)
b^*	Sarı ve mavi renk değeri
D_0	Arrhenius denklemindeki üstel faktör (m^2/s)
D_{eff}	Etkin nem difüzyon katsayısı (m^2/dak)
dW/dt	Kurutma hızı (kg/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (J/mol)
ERH	Denge bağıl nemi
ΔE	Toplam renk farkı
F	Çözelti Faktörü
H_a	Havanın nemi ($kg\ su/kg\ kuru\ hava$)
H_s	Yüzeyin nemi ($kg\ su/kg\ kuru\ hava$)
K_g	Kütle transfer katsayısı ($kg/m^2.s$)
L^*	Beyaz ve siyah renk değeri
L	Kurutulan dilimin yarı kalınlığı (m)
M	Rehidrasyon sonrası numune ağırlığı
M_0	Rehidrasyon öncesi numune ağırlığı
M_t	t zamanındaki nem içeriği ($kg\ su / kg\ kuru\ madde$)
M_0	Başlangıç nem içeriği ($kg\ su / kg\ kuru\ madde$)
M_e	Denge nem içeriği ($kg\ su / kg\ kuru\ madde$)
MR	Nem oranı
N	Normalite
P	Anlamlılık seviyesi

p	Gıdanın buhar basıncı
p_0	Saf suyun buhar basıncı
R	İdeal gaz sabiti (8,3145 J/mol.K)
S	Sarfiyat
T	Kurutma sıcaklığı (K, °C)
T_a	Havanın sıcaklığı (°C)
T_s	Yüzeyin sıcaklığı (°C)
t	Kurutma süresi (dak, sn)

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BS	British Standards
FAO	Food and Agriculture Organisation
FD	Dondurarak Kurutma
FDA-BAM	Food and Drug Administration – Bacteriological Analytical Manual
FIR	Uzak Infrared Radyasyon
HCl	Hidroklorik asit
HHP	Yüksek Elektrostatik Basınç
IR	Infrared
Kob	Koloni Oluşturan Birim
MHz	Mega Hertz
MW	Mikrodalga
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TMAB	Toplam Mezofilik Arerobik Bakteri
TS	Türk Standardı
TGK	Türk Gıda Kodeksi
PD	Peroksit Değeri
US	Ultrasonik Kurutma
USV	Ultrasonik Vakum Kurutma
VD	Vakum Kurutma
VEA	Vurgulu Elektrik Alan

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kurutma süresinin zamana göre değişimi.....	10
Şekil 2.2 Kurutma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi.....	10
Şekil 2.3 Gıdalar için sorpsiyon izotermi.....	13
Şekil 2.4 Dondurarak kurutucu şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.5 Kavitasyonun evreleri.....	31
Şekil 2.6 Ultrasonik su banyosunun şematik gösterimi	33
Şekil 2.7 Ultrasonik prob şematik gösterimi.....	34
Şekil 2.8 USV sisteminin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.1 Silikon tabaka üzerine serilen kıyma.....	43
Şekil 3.2 Vakum kurutucuya yerleştirilen taze kıymalar	45
Şekil 3.3 Ultrases destekli vakum kurutma sistemi.....	46
Şekil 3.4 Kurutulmuş ürünün rehidrasyonu.....	48
Şekil 3.5 GC-MS cihazı.....	51
Şekil 3.6 Üretilen çorbaların pişirilmeden önce ve sonraki görüntüleri.....	53
Şekil 4.1 Taze ve kurutulmuş kıyma numuneleri görüntüleri.....	61
Şekil 4.2 Farklı sıcaklıklarda USV ve VD teknikleri ile elde edilen kuruma eğrileri.....	62
Şekil 4.3 D_{eff} ve sıcaklık arasındaki Arrhenius tipi ilişki.....	64
Şekil 4.4 Sıcaklık ve farklı kurutma metodlarının D_{eff} üzerine etkisi.....	64
Şekil 4.5 Farklı sıcaklık ve metodlarla kurutulan kıyma örneklerinin SEM görüntüleri.....	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Yağsız sığır etinin besin öğeleri (%).....	5
Tablo 3.1 Kontrol ve etli hazır çorbanın formülasyonları.....	52
Tablo 4.1 Farklı kurutma yöntemlerinin büzülme ve rehidrasyon kapasitesi üzerine etkisi.....	66
Tablo 4.2 Farklı kurutma metodu ve sıcaklıklarının kıymanın renk kalitesi üzerine etkisi.....	70
Tablo 4.3 Taze ve kurutulmuş örneklerin peroksit değerleri.....	71
Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%).....	74
Tablo 4.5 Kontrol ve etli çorbanın genel kalite özellikleri.....	86

Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kıymanın Kurutma Kinetiği, Mikroyapısı, Rengi ve Rehidrasyon Oranı Üzerine Etkisi

Aslı AKSOY

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih KARASU

Et içerdiği protein, mineral, B vitamini, esansiyel yağ asitleri vb nedeniyle değerli ve besleyici bir gıdadır. Fakat sahip olduğu yüksek su aktivitesinden dolayı mikrobiyal gelişime yatkındır. Kıyma gibi bozulmaya karşı hassas et ürünlerinin uygun bir yöntemle muhafaza edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada vakum kurutma (VD), ultrases destekli vakum kurutma (USV) ve dondurarak kurutma (FD) yöntemlerinin kıymanın kurutma kinetiği ve bazı kalite parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kıyma USV ve VD tekniklerinde 25 °C, 35 °C ve 45 °C'de kurutulmuş, FD tekniğinde ise -55 °C sıcaklık uygulanmıştır. Kıymaların kurutulması amacıyla USV tekniği ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Kurutma yöntemleri ve sıcaklıklarının, numunelerin kuruma sürelerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir ($P<0,05$). Tüm sıcaklık değerlerinde USV tekniği ile kurutmada, VD tekniği ile elde edilenden daha düşük kuruma süreleri elde edilmiştir. FD ile kurutulmuş kıyma numunelerinin rehidrasyon değerleri, VD ve USV teknikleri ile elde edilenlerden daha yüksek saptanmıştır. USV yöntemiyle

kurutulmuş numunelerin rehidrasyon değerlerinin ise, tüm sıcaklıklarda vakum kurutma yöntemiyle kurutulmuş numunelerden elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca farklı kurutma tekniklerinin ve koşullarının kıyma numunelerinin mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkisi SEM aracılığı ile incelenmiştir. FD tekniği ile kurutulan örneğin en fazla gözenekli yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda USV tekniği ile kurutulan numuneler, VD tekniği ile kurutulanlardan daha yüksek gözeneklilik ve açık yapı göstermiştir. Bunun yanı sıra VD tekniği ile kurutulan numunelerin büzülme değerlerinin, USV tekniği ile kurutulanlara göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Kurutma yöntemleri ve sıcaklıklarının numunelerde toplam renk farkı (ΔE) değerini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir ($p < 0,05$). ΔE değerleri VD, USV ve FD teknikleri için sırasıyla 8,27-20,81, 9,58-16,42 ve 9,34 olarak ölçülmüştür. Yüksek kurutma sıcaklıkları ΔE değerlerini arttırmıştır. Peroksit değerleri ise kurutma işleminden sonra yükselmiştir. USV tekniği uygulanan numunelerin peroksit değerleri, VD tekniği ile kurutulanlarınkinden daha düşük tespit edilmiştir. Hazır çorba tüketici kitlesi geniş ve katma değeri daha yüksek bir üründür. Literatürde ısı olmayan yöntemle kurutulmuş kıymanın, hazır çorba üretiminde kullanılmasıyla ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır. İlk kez bu çalışmada 25°C'de VD tekniği ile kurutulan örnekler hazır çorba üretiminde kullanılmıştır. Üretilen çorbanın kalite özelliklerini belirlemek için fizikokimyasal ve mikrobiyolojik analizleri gerçekleştirilmiştir ve sonuçlarının, referans limitlere göre uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen çorba protein kaynağı özelliğine sahiptir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, daha düşük kurutma süreleri ve daha yüksek kalite parametrelerinin sağlanması için kıymaların kurutulması amacıyla USV tekniğinin alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca 25°C'de VD tekniği ile kurutulan örneklerden tüketici beğenisini karşılayabilecek besleyici ve alternatif bir çorba çeşidi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kıyma, kurutma, vakum, ultrases, dondurarak kurutma

Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Microstructural, Color, and the Rehydration Ratio of Minced Meat

Aslı AKSOY

Department of Food Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Salih KARASU

Meat is perceived as a valuable and high-quality food because it contains dietary protein, minerals vitamin B, essential fatty acids. However meat products such as minced meat is susceptible to microbial growth because of high water activity. Therefore, minced meat should be subjected to a suitable preservation method. This study aimed to search the effect of different drying techniques (ultrasound assisted vacuum drying (USV), vacuum drying (VD) and freeze drying (FD) on some quality properties and drying kinetics of dried minced meat. For this purpose minced meat samples were dried by VD, USV and FD techniques. USV technique was for the first time applied to dry minced meat in this study. USV and VD techniques were applied at 25°C, 35°C, and 45°C temperatures and FD technique at -55 °C. Drying time was affected significantly by the drying techniques and temperatures ($p<0.05$). USV method had lower drying times at all drying temperatures. Freeze dried minced meat samples had higher rehydration values than provided by the VD and USV techniques. Dried samples provided by USV techniques had higher rehydration values than those dried by VD technique at all

temperatures. Microstructural characteristics of the minced meat samples dried by different techniques and drying conditions were examined by SEM. Samples dried by USV had higher porous and open structure than those dried by VD. The highest porosity occurred in FD dried sample's structure. The total color differences (ΔE) values of the samples were 8.27–20.81 for VD, 9.58–16.42 for USV and 9.34 for FD methods ($p < 0.05$). ΔE values increased related to higher temperatures. Peroxide values rised significantly as a result of drying process. The samples dried by USV technique, had lower PV values than those dried by VD method. Instant soup has a large consumption and it is a high value added product. There is no any information in the literature about the use of non-thermal dried minced meat in instant soup production. For the first time in this study, the samples dried with VD at 25 °C were used in instant soup production. To determine the physicochemical and microbiological quality parameters of the soup some analyzes were done. It was determined that the results of all the parameters analysed for the soup were in accordance with the reference limits also the soup was protein source. This study provides that USV method could be used as an alternative drying technique to dry minced meat because of lower drying times and higher quality. Also it provides that the instant soup produced from samples dried with VD at 25 °C can be an alternative and nutritious soup kind which can satisfy expectations about quality and consumer acceptance.

Key words: Minced meat, drying, vacuum, ultrasound, freeze drying

1.1 Literatür Özeti

Et ve et ürünleri, içerdği B vitamini, protein, mineraller (özellikle çinko, demir ve fosfor), esansiyel yağ asitleri vb gibi besin öğeleri içermesi nedeniyle yüksek kaliteli gıda olarak değerlendirilmektedir [1, 2]. Bununla birlikte et ve et ürünleri, yüksek su aktivitesi ve besleyici bileşiminden dolayı mikrobiyal gelişime yatkındır [3]. Dolayısıyla kıyma gibi et ürünleri bozulmaya karşı hassas gıda olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle kıyma, raf ömrününün uzatılabilmesi için herhangi bir muhafaza yöntemine tabi tutulmalıdır. Kurutma işlemi, verimli ve ucuz olması nedeniyle eskiden beri yaygın olarak kullanılan muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutma işlemi ile su aktivitesini azaltarak mikrobiyal yükü azaltmak, dolayısıyla et ve et ürünlerinin raf ömrünü uzatmak mümkündür [4]. Ayrıca kurutma işlemi ile daha az hacim ve ağırlığa sahip ürün elde edildiğinden, depolama ve nakliye maliyetleri azaltılabilmektedir [5]. Dilimlenmiş ya da küp parçalara ayrılmış kurutulmuş etler, gıda endüstrisinde bazı gıda ürünlerinin (hamur ürünleri ya da hazır çorba karışımları gibi) besinsel ve duyu kalitesini arttırmak amacıyla çeşitli formülasyonlarda kullanılmaktadır [6].

Geleneksel sıcak hava ile kurutma yöntemlerinde, kuruma oranını ve rehidrasyon oranını azaltan termal denatürasyon nedeniyle lezzet, renk ve besin kaybı (vitamin degradasyonu ve amino asit kaybı) oluşabilmektedir [5]. Bu nedenle çok değerli bir gıda olan et ve et ürünlerinin kurutulması için, ürün kalitesini en az oranda etkileyecek teknolojiler kullanılmalıdır. Kurutma yöntemleri ve proses koşulları gözenekli yapı, büzülme ve kütle yoğunluğu gibi kurutulmuş ürün özelliklerini etkilemektedir [7]. Bu çalışmada, kıymaların kurutulması amacıyla vakum kurutma (VD), ultrases destekli vakum kurutma (USV) ve dondurarak kurutma (FD) gibi modern kurutma teknikleri kullanılmıştır. Bu yöntemler geleneksel kurutma tekniklerine göre bazı avantajlara sahiptir. Geleneksel kurutma yöntemleri,

sıcaklık nedeniyle gıdanın bazı özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir. VD tekniği ile bu problemler önlenabilmektedir. Bu teknikte kurutma işlemi düşük sıcaklıkta gerçekleştiği ve ortamda oksijen bulunmadığı için, ısıya duyarlı ve kolayca oksitlenebilen gıdaların kurutulmasında güvenle kullanılabilir. Böylece aroma, renk ve bazı besin maddelerinin bozulmaması sağlanabilmektedir [8, 9]. Fakat VD tekniği ile kurutulmuş gıdalardaki kalite kaybının tamamen önüne geçilememektedir. Bu nedenle kurutma süresi ve kalite kaybını azaltmak amacıyla ultrases, mikrodalga ve radyofrekans gibi bazı teknikler uygulanabilmektedir.

Kurutma süresini kısaltmak için uygulanan işlemlerden olan ultrases destekli vakum kurutma (USV) tekniğinin esası, ultrasonik işlem ve vakumla prosesinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu teknikte vakum prosesi, gıdanın hücre zarını tahrip ederek, su transferini ve dolayısıyla kuruma hızını arttırmaktadır. Tekniğin diğer ana bileşeni olan ultrasonik işlem, eş zamanlı olarak ısı transferine yardımcı olmakta ve mekanik dalgalar sayesinde iç kısımdan yüzeye doğru su transferini hızlandırmaktadır [10]. Başka bir deyişle bu yeni kurutma tekniği, hızlı kurutma için dış basıncı azaltılmasını sağlayan vakum kurutma ile ısı ve kütle transferini hızlandıran bir ultrasonik prosessten oluşmaktadır. Ultrasonik kurutmanın en önemli etkisi olan kavitasyon, sıvı içinde kabarcık oluşumuna neden olarak su transferini arttırmaktadır. Transfer oranı, ses dalgalarının basıncına ve frekansına göre değişmektedir [10, 11]. Ayrıca ultrases kurutmanın bir sonucu olan kavitasyon, yapıya güçlü bir şekilde bağlı olan suyun ayrılmasını sağlamaktadır. Gıda kurutma prosesine ultrason uygulamasının eklenmesi ile kurutma hızının artırılması, gıda kalitesinin korunması, enerji tüketiminin ve proses maliyetinin azaltılması ve gıda bileşiminin modifikasyonu sağlanabilmektedir [12].

Dondurarak kurutma, özellikle yüksek sıcaklık ve oksidasyona duyarlı biyolojik materyaller için en iyi gıda kurutma yöntemlerinden biridir. Bu teknik protein denatürasyonu ve vitamin kaybına neden olmamaktadır. Dolayısıyla dondurarak kurutulmuş ürünler besin değerini korumaktadır [13]. Bu yöntemle gözenekli bir yapı, iyi bir rehidrasyon kapasitesi, tat ve aromaya sahip ürünler elde etmek mümkündür [11].

Kurutulmuş gıdaların kalitesini etkileyen en önemli faktörler arasında doğru kurutma yönteminin seçilmesinin yanı sıra, kurutma sıcaklığının optimizasyonu da yer almaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamaları ısı ve nem transferini hızlandırdığından, kuruma süresini kısaltmaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık, protein ve vitamin gibi bazı ısıya duyarlı bileşenlerin bozulmasına neden olmakta, renk kalitesini ve rehidrasyon kabiliyetini azaltmakta ve büzülme oranlarını arttırmaktadır [7, 14, 15].

Et ürünlerinin kurutulmasında, mikrobiyolojik ve biyokimyasal bozulmayı azalttıkları için düşük sıcaklıkta kurutma işlemleri önerilmektedir. Ancak çok düşük sıcaklıklar da kuruma süresini uzatmaktadır. Bu nedenle gıdanın fizikokimyasal, besinsel ve duyusal kalitesini azaltmayan ve makul bir kuruma süresi sağlayan bir kurutma sıcaklığı seçilmelidir [16].

Çorbalar yemek kültürümüzün en önemli gıdalarından biridir. Özellikle hazır çorbalar (kuru toz çoba karışımları) muhafazası ve hazırlanması açısından pratik olduğu için günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Hazır çorbaların üretiminde kullanılan hammaddeler kuru ve su aktiviteleri düşük olduğu için kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı dayanıklıdır [18]. Bu nedenle hazır çorba sektörü, gıda endüstrisinde hızla gelişen bir daldır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde kurutulmuş et ve sebzeler çok geniş ve hızla gelişen bir sektör durumuna gelmiştir. Ayrıca kurutulmuş ve su aktivitesi düşük bir çok gıda ürünü formülasyonlarında rehidrasyon yeteneği yüksek olan kurutulmuş etlere ihtiyaç duyulmakta ve dünya pazarında bu konudaki talep artmaktadır. Geleneksel termal kurutma yöntemleri, son ürün özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra kurutma prosesi için harcanan enerji, zaman ve kullanılan iş gücü kurutmanın işleminin maliyetini arttıran unsurlardır. Bu nedenle geleneksel termal yöntemlerin yerine, düşük sıcaklıklar kullanılarak daha kaliteli ve daha ekonomik çalışmaların yapılması gıda endüstrisi açısından önemlidir. Bu bağlamda su aktivitesi düşük kuru gıda karışımlarının içerisinde yer alacak kuru etlerin üretilmesi için geniş yüzey alanı ve küçük parça boyutu nedeniyle yağsız

(oksidasyonun minimize edilebilmesi için) dana kıymasının kurutulması tercih edilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kıyma numunelerinin ultrases destekli ve ultrases uygulanmadan vakum kurutma (25 °C, 35 °C ve 45 °C) ve dondurarak kurutma (-55 °C) yöntemleri ile kurutularak, bu kurutma tekniklerinin numunelerin fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesidir. Ayrıca 25°C'de VD tekniği ile kurutulan örneklerden hazır çorba geliştirilerek, üretilen çorbanın kalite kriterlerini incelemektir.

1.3 Hipotez

Kurutma uygulamalarında ultrases işleminin kavitasyon etkisi ile kurutma süresini kısaltacağı beklenmektedir. Ultrases (US) destekli vakum kurutma tekniği ile kurutulan örneklerin ısı ve kütle transferinin, ultrases işlemi uygulanmadan vakum kurutma ile kurutulan örneklerinkine göre daha hızlı olacağı öngörülmektedir. Ayrıca dondurarak kurutma yöntemiyle, kurutma prosesi vakum ortamında oksijen olmaksızın düşük sıcaklıkta gerçekleştiğinden, kurutulan örneklerin büzülme, su tutma kapasitesi gibi özelliklerinin US işlemi uygulanarak ya da uygulanmadan vakumda kurutulan örneklerinkine göre daha iyi olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden biri olan 25°C'de vakum kurutma (VD) tekniği ile kurutulan örneklerden üretilen hazır çorbanın kalite ve duyusal özelliklerinin tüketici açısından kabul edilebilir nitelikte olacağı öngörülmüştür.

2.1 Et

Et, yüksek miktarda protein, B grubu vitaminleri ve çeşitli mineraller içeren değerli bir gıda maddesidir. Dolayısıyla beslenme ve insan sağlığı açısından önemli bir üründür. Codex Alimentarius'ta et "bir hayvanın insan tüketimi amaçlı uygun ve güvenilir tüm parçaları" olarak tanımlanmıştır. Etin bileşimi su, protein, aminoasitler, mineraller, yağ ve yağ asitleri, vitaminler ve bazı biyoaktif bileşenler ile az miktarda karbonhidrattan oluşmaktadır.

Yağsız sığır etinin yüzde bileşimi Tablo 2.1'de gösterilmiştir [19]. Etin sahip olduğu suyun yaklaşık %85'i iç miyofibriler boşlukta, %15'i ise miyofibriler boşluğun dışında bulunmaktadır [20].

Tablo 2.1 Yağsız sığır etinin besin öğeleri (%)

Bileşen	%
Su	75
Protein	22,3
Yağ	1,8
Enerji	485 kJ

Etin yaklaşık olarak %75'i sudan oluştuğu için mikrobiyal bozulmaya yatkındır ve raf ömrü kısadır. Etin muhafazası ve yeni ürünlerde işlenebilmesi amacı ile basit, hızlı, maliyeti düşük, alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır [21]. Bu amaçla etin kurutulması işlemi, eski çağlardan günümüze kadar uzanan bir et muhafaza yöntemidir [22]. Kurutma işlemi ile etin su aktivitesi 0,6'dan daha düşük değerlere düşürülerek mikrobiyal bozulmanın önüne geçilebilmektedir [23].

Kurutma işlemi Türk Gıda Kodeksi “Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği”nde “üretim sırasında ürünün teknolojisi gereği suyunun bir kısmının uzaklaştırılması işlemi” şeklinde açıklanmıştır [24]. Etin kurutulması esnasında nem miktarı kademeli şekilde azalmaktadır. Etin alt kısımlarındaki nem, kademeli şekilde uzaklaşarak etin yüzeyine doğru geçmekte, buharlaşma yolu ile etin yapısından ayrılmaktadır [21]. Bu şekilde gerçekleşen kurutma işlemi sonunda su aktivitesi (a_w) düşmekte ve mikrobiyal gelişim engellenebilmektedir [23, 25].

2.2 Kurutma

Gıdalar, sahip oldukları yüksek su aktivitesi nedeni ile depolama boyunca kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaya maruz kalabilmektedir [14]. Bu nedenle bu tür sorunların giderilmesi adına gıda muhafaza yöntemleri oldukça önemli bir role sahiptir ve ürünün özelliklerine göre uygun bir muhafaza yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde ürün kalitesinde ve besin değerinde kayıplar ve istenmeyen değişimler meydana gelebilmektedir [26]. Gıdaların kurutulması, en eski muhafaza yöntemi olarak bilinmektedir [27].

Kurutma, en basit şekilde gıdanın içerisindeki suyun buharlaşma, süblimleşme ya da osmotik işlemlerden herhangi biri ile ürün özelliğine göre kabul edilebilir bir oranın altına düşürme prosesi olarak tanımlanmaktadır. Bu proseste kütle ve ısı transferi eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir [27, 28]. Kurutma prosesinin amacı, gıdadaki serbest suyun uzaklaştırılarak, üründe oluşabilecek biyokimyasal reaksiyonları engellemek, su aktivitesinin düşürülmesi ile mikroorganizma gelişimini inhibe etmektir [27, 29, 30].

2.2.1 Kurutma Esnasında Isı ve Kütle Transferi

Kurutma prosesinin matematiksel modellemesi ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleşmesi prensibine dayanmaktadır. Kurutulacak üründe suyun buhar haline gelip ardından buharın uzaklaşması için, sisteme buharlaşma gizli ısı verilmelidir. Buharlaşmanın ardından, suyun gıdadan ve kurutma sisteminden ayrılması gerekmektedir. Gıdalarda nemin hareketi farklı şekillerde gerçekleşebilir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kılcal kanalların emme basınçlarının farklı olmalarından dolayı ortaya çıkan kılcal akışlar
- Yoğunluk farklılığı söz konusu olduğunda gerçekleşen sıvı akışı
- Kısmi buhar basıncı söz konusu olduğunda gerçekleşen buhar yayılımı
- Toplam basınç farklılığı söz konusu olduğunda gerçekleşen viskoz akış

Ürün konveksiyonla kurutulduğunda, ısı transferi yüzeyden iç kısma doğru gerçekleşirken, buharlaşma (kütle transferi) iç kısımdaki hücrelerden yüzeye doğru gerçekleşmektedir.

Kurutma ortamından kurutulacak ürün yüzeyine ve bununla birlikte ürün içine ısı transferi aşağıdaki 2.1 eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_a - T_s) \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'deki kısaltmaların açıklamaları aşağıdaki gibidir:

dQ/dt : Isı aktarımı (kJ/s)

h : Isı transfer katsayısı (kJ/m².s.°C)

A : Kurutulan ürünün yüzey alanı (m²)

T_a : Havanın sıcaklığı (°C)

T_s : Yüzeyin sıcaklığı (°C)

Ürünün iç kısmından yüzeye doğru gerçekleşen ve yüzeyden de ürünün içinde bulunduğu çevreye kütle transferi (buharlaşma) ise 2.2 eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\frac{dW}{dt} = K_g \cdot A \cdot (H_s - H_a) \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2'deki kısaltmaların açıklamaları aşağıdaki gibidir:

dW/dt : Kurutma hızı (kg/s)

K_g : Kütle transfer katsayısı ($\text{kg}/\text{m}^2.\text{s}$)

A : Kurutma yüzey alanı (m^2)

H_s : Yüzeyin nemi ($\text{kg su}/\text{kg kuru hava}$)

H_a : Havanın nemi ($\text{kg su}/\text{kg kuru hava}$)

olarak ifade edilmektedir.

Kütle aktarım hızı kurutulacak yüzeydeki nem ile havanın nemi arasındaki fark ile orantılıdır. Aradaki nem farkı arttığında, kütle aktarım hızı da artmaktadır [31].

2.2.2 Kurutma Esnasında Gerçekleşen Olaylar

Kurutma prosesi sırasında kurutulacak ürün yüzeyinden suyun buharla masıyla su aktivitesi ve denge nem değerlerinde değişiklikler olmaktadır.

2.2.2.1 Suyun Yüzeyden Buharla ması

Gıdadaki suyun buharla abilmesi için, buharlaşma gizli ısısı kadar kurutma sistemine ısı vermek gerekmektedir. Dolayısıyla kurutma prosesi endotermik bir işlemdir. Bu proste sıcaklık farkı arttıkça, buharlaşma da artmaktadır. Fakat sıcaklığın yükseltilmesi ile istenmeyen esmerleşme reaksiyonları ortaya çıkabilmektedir. Sıcaklığın yanısıra buharlaşma üzerinde etkili olan faktörler kurutma havasının nemi, hızı, basıncı, ürünün boyutu ve şeklidir [31].

2.2.2.2 Su Aktivitesi

Su aktivitesi yüksek olan gıdaların dehidrasyon yani kurutma ile su aktivitesinin azaltılması ile raf ömürlerinin uzaması, güvenli şartlarda muhafaza edilmesi sağlanmaktadır [32]. Ayrıca gıdanın depolama stabilitesinin sağlanması, ambalajlama gereksiniminin minimize edilmesi, nakliye ağırlığının azaltılması da kurutmanın avantajları olarak belirtilmektedir [11].

Kurutma işlemi ile mikroorganizma gelişimi ve enzimatik reaksiyonlar için ihtiyaç duyulan su uzakla tırılmı  olur. Ayrıca suyun gıdanın yapısından uzakla masıyla, gıdanın bünyesindeki asit tuz ve şekerlerin yüzde bileşimi arttığından, mikrobiyal

gelişim için uygun olmayan bir ortam sağlanır. Bu nedenlerden dolayı kurutma işlemi ile gıdaların muhafazası mümkün olmaktadır.

Su aktivitesi, gıdaların kurutma prosesi için önemli bir parametredir. Su aktivitesi gıdanın buhar basıncının, saf suyun buhar basıncına oranı ya da gıdanın içinde bulunduğu ortamın denge bağıl nemine (ERH) oranı (Eşitlik 2.3) şeklinde ifade edilmektedir.

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{ERH}{100} \quad (2.3)$$

a_w = Su aktivitesi

p : gıdanın buhar basıncı

p_0 : saf suyun buhar basıncı

ERH: gıdanın içinde bulunduğu ortamın denge bağıl nemi

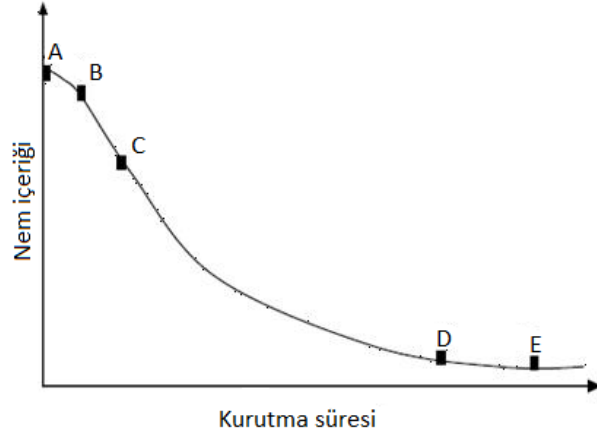
Su aktivitesi, mikrobiyal gelişme için gıdanın bünyesindeki serbest suyun mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirliğinin ölçütüdür. Aynı nem değerine sahip gıdalar için farklı su aktivite değerleri söz konusudur Her bir gıda grubu için de su aktivitesi değerleri mevcuttur. Taze tüketilen sebze-meyve ile et ve sütün su aktivitesi 0,97-0,99 değerleri arasında iken, kurutulmuş gıdaların su aktivitesi değerleri 0,70 ya da daha altındaki değerlerdedir [33]. Mikrobiyal gelişmenin engellenebilmesi için de kritik su aktivite değerleri bozulmaya neden olan bakterilerin çoğu için 0,90, küflerin çoğu için 0,70-0,75 ve mayalar için 0,85'tir [31].

2.2.2.3 Denge Nemi

Kurutma prosesinde, buharlaşma ile birlikte kurutulan ürünün ağırlığında azalma gerçekleşmektedir. Ancak denge halinde ürün ağırlığındaki değişim durmaktadır. Denge halinde üründeki suyun buhar basıncı, havanın su buharı basıncına eşittir. Bu esnadaki ürünün içerdği nem oranı “denge nemi”, havanın bağıl nemi de “denge bağıl nemi” olarak tanımlanmaktadır. Denge nemi, kurutma havasının bağıl nemine ve sıcaklığına göre kuru ürünün yapısında barındırabileceği minimum su miktarını ifade etmektedir [31].

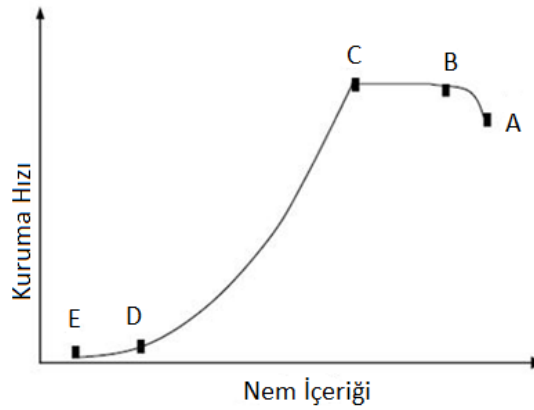
2.2.3 Gıdaların Kurutulmasındaki Aşamalar

Gıdaların değişik koşullarda kurutulması sonucu nem içeriğinin, kuruma süresi ile değişimi baz alınarak kuruma eğrileri oluşturulmaktadır. Kurutma eğrisi örneği Şekil 2.1’de gösterilmiştir [31].



Şekil 2.1 Kurutma süresinin zamana göre değişimi [31]

Genellikle kurutma işleminde yüksek hız evresi, sabit hız evresi ve azalan hız evresi olarak tanımlanan üç kurutma evresi söz konusudur. Kuruma hızına göre nem içeriği Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kurutma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi [34]

A noktası kurutmanın ilk başında zamanın 0 olduğu ürün nemi içeriğini ifade etmektedir. AB aralığında kuruma yüksek hızda gerçekleşmekte ve yüksek hız evresi olarak adlandırılmaktadır [31]. Genellikle çok kısa süren AB kısmı sabit

olmayan ısınma evresini göstermekte ve genelde kurutma süresi ile ilgili hesaplamalarda ihmal edilmektedir [34].

B noktasında ise ürünün yüzey sıcaklığı, denge sıcaklığına gelmekte ve sabit hız evresi başlamaktadır [34]. BC arası, ürünlerdeki serbest suyun büyük kısmının ayrıldığı sabit hız periyodudur. Bu evrede birim zamanda üründen ayrılan su miktarı sabittir. Gıdadaki nem miktarı düştükçe, üründen kalan su yapıya daha güçlü bağlanmaktadır. Kuruma yüzeyinde nemin ayrılması için ince bir film oluşmuştur. Bu durumda buharlaşma hızı, aynı şartlardaki serbest suyun buharlaşma hızına eşittir. Bu sırada ürünün iç kısmından yüzeye doğru nem taşınımı kapiler kuvvet ile gerçekleşmektedir. Kuruma olayı, yüzeyden havaya kütle transferi ile sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda gıdaların yapısında bulunan kapiler suyun (yapıya gevşek olarak bağlı su) daha kolay uzaklaştığı ortaya konmuştur. Bu nedenle bu gevşek bağlı su, kurutma açısından üründeki serbest su olarak kabul edilebilmektedir [31]. Kurutulan ürünün yapısı gözenekli ise, bu evrede buharlaşan suyun önemli bir kısmını, yapının iç kısımlarındaki nem oluşturmaktadır. Bu evrede kuruma hızını etkileyen faktörler kurutulan ürünün kalınlığı, kısmi buhar basıncı, toplam basınç ve sıcaklıktır.

Nem değeri C noktasına ulaştığında, kritik nem değerine ulaşılmıştır. Artık yüzeyde bir tabaka söz konusu değildir, yüzey kurudur. Bu noktadan itibaren azalan hız evresinin ilk kısmına geçilmektedir. CD arası azalan hız evresinin ilk periyodudur ve yüzeyde kurumunun tamamen gerçekleştiği D noktasına kadar sürmektedir. Bu evrede ürünün nem içeriği azaldığından kuruma hızı da yavaşlamakta ve yapıdan daha az su uzaklaşmaktadır. D noktasında azalan hız evresinin ikinci kısmı başlamaktadır. Denge nem içeriğine ulaşıldığı E noktasına kadar sürmektedir ve kuruma hızında daha hızlı düşme gerçekleşmektedir.

Azalan hız evresinde suyun transferi sıvı difüzyonu teorisi ve kılcal hareket teorisi ile ifade edilmektedir. Daha çok püre gibi gözenekli yapıya sahip olan gıdalarda görülen sıvı difüzyonu teorisine göre, ürünün yüzeyi ve iç kısmındaki konsantrasyon farkından dolayı suyun difüzyonu söz konusudur. Gözenekli ya da granül yapıdaki gıdalarda ise suyun uzaklaşması, kılcal hareket teorisi ile

açıklanmaktadır. Bu teoride yapıdaki serbest su kılcal borulara doğru hareket ederek uzaklaşmaktadır. Bu iki teori haricinde gıdalardaki suyun transferi, kısmi buhar basınçları arasındaki farklılıktan kaynaklanan buhar transferi ile toplam basınç farklılığının neden olduğu viskoz akış ile tanımlamak da mümkündür [34].

2.2.4 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

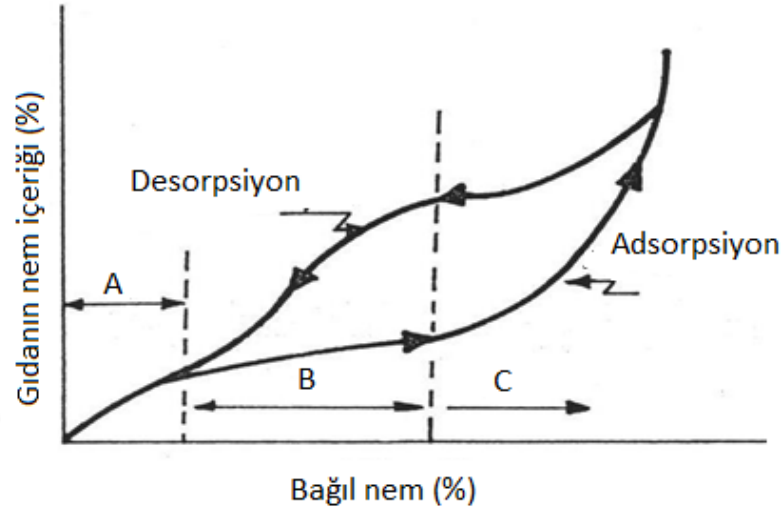
Kurutulmanın hızlandırılması, ısı ve kütle aktarım hızının arttırılması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla kütle ve ısı aktarımının hızını etkileyen faktörler önemlidir. Bu faktörler ürün ait özellikler, kurutma havasının hızı ve nemi, ortam basıncı, sıcaklık, kurutulan yüzey alanının geometrik özellikleri (şekli, genişliği ve kalınlığı) olarak açıklanabilmektedir [31].

2.2.4.1 Sıcaklık

Ürünün başlangıç sıcaklığı ve ortamın sıcaklığı kuruma hızına etki etmektedir. Bu iki sıcaklık arasındaki fark arttıkça ısı transfer hızı, dolayısıyla kurutma hızı artmaktadır. Fakat aşırı yüksek sıcaklıklar üründe renk değişimi, içe çökme ve çatlama gibi kalite kusurlarına neden olmaktadır. Sıcaklığın gereğinden düşük tutulması ise kuruma süresinin artmasına sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla kurutma süresi ve ürün kalitesi açısından uygun olan en yüksek sıcaklığın uygulanması önemlidir [31].

2.2.4.2 Kurutma Havasının Nemi

Kurutma sürecinde gıdanın yapısındaki nem miktarı, içinde bulunduğu ortamın su buharı miktarına göre değişmektedir. Gıdanın içinde bulunduğu ortamın nemi değiştirildiğinde, ürünün neminde de değişiklik gözlenmektedir. Sabit sıcaklıkta ürünü çevreleyen havanın neminin değiştirilmesiyle, ürünün nem içeriğindeki değişim “sorpsiyon izotermi” ile ifade edilmektedir. Şekil 2.3’de tipik bir sorpsiyon izotermi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Gıdalar için sorpsiyon izotermi [34]

Şekil 2.3’de A bölgesindeki su gıdanın yüzeyini tek katlı moleküller halinde sardığından monomoleküler su filmi olarak tanımlanmaktadır. Bu filmin gıdalardaki yaklaşık oranı kuru maddede %5-10 aralığındadır. Bu bölgedeki adsorbe su, bağlandığı gruba ait bir parça gibidir ve sıvı halde bulunmamaktadır. Kurutma esnasında bu bölgeye erişilirse, ürün aşırı ısıya maruz kalarak özelliklerini neredeyse kavrularak kaybedebilmektedir. Bu monomoleküler su filmi gıdayı oksidasyona karşı koruyan bir tabaka görevini görmektedir. Dolayısıyla bu su filminin kurutma esnasında uzaklaştırılması tercih edilmeyen bir durumdur. B bölgesi ise, A bölgesinde bahsedilen su filmi üzerinde yer alan çok sıralı su moleküllerinden oluşan tabakayı ifade etmektedir. Bu tabakadaki su molekülleri gittikçe azalan adsorpsiyon gücü ile bağlı durumda olduğundan, monomoleküler tabakaya göre gevşek bir özelliktedir. C bölgesinde bulunan su ise, gözenekli yapı içinde bulunan serbest su özelliğindedir. Yani çözücü özelliğine sahiptir ve kurutma esnasında kolaylıkla ayrılabilir [34].

2.2.4.3 Kurutma Havaının Hızı

Havanın hızı ve hareketi, ürün yüzeyindeki nemin uzaklaşmasını sağlamakta ve yüzeyde atmosferin doygunlaşarak kurutma prosesini yavaşlatmasını önlemektedir. Kurutma havaının hızı arttırıldığında, kuruma hızının da belli bir değere kadar artması sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda kurutma hızı 5 m/s’yi

aştığında, kuruma hızını etkilemediği ortaya konmuştur. Kurutma prosesinin başında hava hızı etkili iken, sonraki etaplarda etkisi düşmektedir.

2.2.4.4 Ürünün Yüzey Alanı ve Geometrisi

Kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden biri kurutulacak ürünün yüzey alanıdır. Ürünün küçük parçalara ya da dilimlere ayrılmasıyla yüzey alanının arttırılması sağlanarak, bunun sonucu ısıнын merkeze kısa sürede iletilmesi sağlanarak kuruma hızı arttırılabilmektedir. Ancak küçük parça ya da ince dilimler ile kurutma yapıldığında ürünün yanması söz konusu olabilmektedir [31]. Öte yandan et gibi riskli bir gıda ürününde, kurutulacak et parçalarının kalın olması merkezindeki nem oranının düşme süresinin uzamasına ve mikrobiyal bozulmaya karşı yatkın olmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla etin fileto şeklinde kurutulması ile daha iyi sonuçlar alınabilmektedir [25]. Ayrıca özellikle mikrodalga kurutma gibi yöntemlerde elektromagnetik dalgaların gıda ürünü üzerinden yansıması ya da gıda içerisinde iltermesi gibi faktörler gıdanın geometrik özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir [35].

2.2.4.5 Ortam Basıncı

Kurutma işleminde uzaklaştırılmaya çalışan suyun 1 atmosfer basınçtaki kaynama noktası 100°C'dir. 1 atmosferin altındaki basınç değerlerinde kaynama noktası düşmektedir. Bu durum ısıya duyarlı gıdaların kısa sürede düşük sıcaklıkta kurutulmaları için avantaj sağlamaktadır

2.2.4.6 Ürüne Ait Özellikler

Kurutulacak ürünün kimyasal özellikleri kurutma hızı açısından önemlidir. Pek çok gıdanın yapısı homojen değildir. Örneğin etin yapısında yağ mevcuttur. Yağın sürekli faz olarak varlığı, su damlacıklarının yağla kaplanmasına sebep olacağından suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır. Benzer şekilde yapısında tuz, şeker gibi çözülmüş küçük moleküllere sahip bileşenler içeren gıdaların da kuruma hızı, bu öğeleri içermeyenlere göre daha yavaştır.

Kuruma hızına etki eden ürüne ait diğer bir faktör suyu tutma şeklidir. Ürün kompozisyonunda fazla miktarda katı parçacık mevcutsa, adsorpsiyonla tutulan suyun ayrılması zorlaşmaktadır. Pektin, nişasta gibi kolloidal maddelerce tutulan suyun uzaklaştırılması zordur. Öte yandan, meyve ve sebzelerde su sadece hücre içinde değil, hücre arasında da tutulmaktadır. Hücre canlılığını yitirdiğinde, hücre zarının geçirgenliği arttığından suyun ayrılması kolaylaşmaktadır. Bu sebeple sebze, et gibi bazı gıdalar kolay kurutulmaları için genellikle kurutma öncesinde haşlanmaktadır [31].

2.2.5 Başarılı Bir Kurutma İçin Etkili Faktörler

Kurutma prosesinin başarısında kurutulan ürünün kalitesi ve kurutma işleminin ekonomik boyutu önemlidir.

Ürün kalitesi açısından aşağıdaki faktörler kurutmanın başarısını etkilemektedir:

- Bozulmaya yol açan kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonların minimum düzeyde gerçekleşmesi
- Gıdanın yapısının korunması
- Gıdanın yapısındaki suyun, aromatik uçucu bileşenleri etkilemeden uzaklaştırılması
- İstenilen ürün renginin sağlanması
- Rehidrasyonun hızlı ve kolay gerçekleşmesi
- Kurutma işlemi esnasında herhangi bir mikrobiyal kontaminasyonun gerçekleşmemesi

Kurutmanın ekonomik boyutu açısından aşağıdaki faktörler önem arz etmektedir:

- Ürün kaybının minimum olması
- Kurutma prosesinde kullanılan ekipmanın kurutma kapasitesinin yüksek olması (dolayısıyla dehidrasyonun hızlı gerçekleştirilmesi)
- Enerji kaynağının ulaşılabilir ve ekonomik olması
- Kurutma sisteminin kolay ve anlaşılabilir olması [35].

2.2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Ortaya Çıkan Ürün Kalitesindeki Değişiklikler

Kurutulmuş gıdaların başlıca kalite kriterleri; fiziksel, kimyasal, mikrobiyal özellikleri ve besin kalitesidir. Seçilen kurutma yöntemi, son ürünün özellikle vitamin, mineral ve fonksiyonel bileşen içeriğini korumalı, ayrıca bahsedilen diğer kalite kriterleri açısından tüketici beğenisini sağlayacak türde olmalıdır [36].

2.2.6.1 Kararma Reaksiyonları

Karamelizasyon ve Maillard reaksiyonları enzimatik olmayan kararma reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar ürünün yapısını geri dönüşümsüz olarak değiştirmekte, ürün tadını olumsuz yönde etkilenmekte, çözünürlük ve besin kalitesini azaltmakta ve en temel değişiklik olarak ürün renginde değişikliğe neden olmaktadır. Kararma reaksiyonları orta düzeydeki nem değerlerinde hızlanırken, nem düzeyi düşük ya da yüksek düzeyde iken de yavaşlamaktadır. Bazı meyvelerde olgunlaşmanın göstergesi olan ürün rengindeki kararma, kurutma sonrası minimum düzeyde olması istenilen bir durumdur [31].

2.2.6.2 Lipid Oksidasyonu

Gıdaların yapısında bulunan lipidlerin okside olması sonucu üründe acılaşıma, vitamin ve ürüne rengini veren pigment içeriğinde kayıplar meydana gelmektedir. Oksidasyonu etkileyen faktörler arasında gıdanın nem oranı, içerdiği yağ asitleri, serbest aminoasit ve proteinler, metaller, doğal antioksidanlar, enzimler, sıcaklık, oksijen ve ultraviyole radyasyon yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda su aktivitesinin yaklaşık 0,3 seviyesine çekilmesi ve ortamdaki oksijen miktarının azaltılması ile oksidasyonun önemli ölçüde önlenildiği ortaya konulmuştur [37].

2.2.6.3 Rehidrasyon ve Büzülme

Kurutulmuş bir ürünün tekrar su alabilme yeteneği “rehidrasyon” olarak adlandırılmaktadır. Rehidrasyon, kurutma prosesi süresince gerçekleşen yapısal ve kimyasal değişikliklere, varsa kurutma öncesi gerçekleştirilen ön işlem uygulamalarına, kurutma şartlarına ve ürünün bileşimine bağlıdır. Kurutulan

üründe hücresel ve dolayısıyla yapısal değişiklikler ne kadar az gerçekleşirse (büzülme gibi), rehidrasyon kapasitesi o denli yüksek olmaktadır [37, 38].

Kurutulmuş bir ürün rehidre edildiğinde, kaybettiği nem miktarı kadar suyu bünyesine alabilirse, rehidrasyon kapasitesinin mükemmel olduğu kabul görmektedir. Fakat bu durum termal kurutma prosesleri için mümkün değil iken, dondurarak kurutulmuş ürünler için olasıdır. Termal işlemlerle kurutulan ürünlerde sıcaklık ve üründen suyun uzaklaşmasına bağlı olarak tuz konsantrasyonunun artması nedeni ile protein denatürasyonu gerçekleşmektedir. Denatürasyon nedeniyle proteinlerin suyu absorbe etmesi zorlaşırken, gıdanın içerdiği nişasta ve gumların hidrofilik özelliği azalmaktadır. Ayrıca hücre duvarı elastikiyetini kaybetmeye başlamaktadır. Bunu yanısıra hücre bileşimindeki şeker ve tuzun da rehidrasyon suyuna taşınması ile hücrenin turgor özelliği kaybolmaktadır [31].

Kurutulmuş ürünlerde, kurutma işlemi sırasında gerçekleşen en önemli fiziksel değişikliklerden biri büzülmedir. Büzülme kurutulan örneğin kurutma öncesi ve sonrasındaki hacimlerinin oranı olarak tanımlanabilmektedir. Kurutma sonucu oluşan su kaybı sonucunda gıdanın hücre yapısında stres oluşmakta ve bu stres sonucunda da yapısal değişiklikler ve ürün boyutlarında azalma gerçekleşmektedir. Yapıdan ayrılan su miktarı, kuruma hızı ve kurutmanın ilk aşamalarında dış yüzeyde oluşan kabuklaşma gibi faktörler büzülmeyi etkileyen değişkenlerdir. Kurutulan numunelerin şekli ya da boyutunun ise büzülmeyi etkilemediği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur [39].

2.2.6.4 Çözünbilme Kapasitesi

Süttozu gibi kurutulmuş partikül yapısındaki gıda ya da gıda hammaddelerinin en önemli kalite kriterlerinden biri çözünbilme kapasitesidir. Kurutma şartları, ürünün muhafaza koşulları, gıdanın bileşimi, pH'ı ve partikül boyutu çözünbilme kapasitesini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Gıdanın kurutulması için yüksek sıcaklık uygulandığında proteinler denatüre olduğu için çözünbilme kapasitesi azalmaktadır [37].

2.2.6.5 Aroma (Uçucu Bileşen)

Kurutma sonucu ortaya çıkan uçucu bileşenlerin oluşum mekanizması 4 yolla açıklanabilmektedir.

- Aminoasit ya da peptitlerin şekerlerle meydana getirdiği Maillard reaksiyonu
- Lipid oksidasyonu ya da yıkımı
- Okside lipitler ile aminoasit ya da proteinler arasındaki etkileşim
- Vitamin (tiamin) degradasyonu [40, 41, 42, 43].

Genellikle ısı işlem sırasında hidrokarbonlar, alkoller, aldehytler, ketonlar, karboksilik asitler, esterler, laktonlar, furanlar, piranlar, piroller, pirazinler, piridinler, fenoller, tiyofenler, tiazoller, tiazolinler, oksazoller ve diğer azot veya sülfür bileşikleri gibi çeşitli kimyasal sınıflara ait binlerce uçucu bileşen üretilmektedir [40, 43].

Aromatik bileşenler, suyun kaynama noktasından daha düşük bir kaynama noktasına sahip olduklarından, kurutma sırasında buharlaşabilmektedir. Bu durum son ürünün aromasında kayıplara yol açmaktadır. Bu durum kurutmanın ilk etabında gıdanın yüzeyinin ince kuru bir tabaka ile örtülmesiyle önlenebilmektedir [37]. Bazı uçucu bileşen gruplarının karakteristik özellikleri “Etin Kurutulması ve Kurutulmuş Et Ürünlerinin Özellikleri” başlığı altında Madde 2.2.7’de belirtilmiştir.

2.2.6.6 Askorbik Asit (C Vitamini) Kayıpları

Askorbik asit (C vitamin) yüksek nemde, yüksek sıcaklığa karşı hassas bir vitamindir. Bu nedenle kurutma sırasında askorbik asit kaybını azaltmak amacıyla, gıda yüksek nem içeriğinde düşük sıcaklık uygulanmalıdır. Ürünün nemi düştüğünde askorbik asit daha kararlı bir yapıda olacağından, sıcaklık kademeli bir şekilde yükseltilebilmektedir [35].

2.2.7 Etlerin Kurutulması ve Kurutulmuş Et Ürünlerinin Özellikleri

Etin raf ömrü oldukça kısa olması ve depolanması için soğuk zincire gereksinim duyulması, kurutma prosesinin bir et muhafaza yöntemi olarak uygulanmasına sebebiyet vermiştir. Kurutma işleminde kullanılacak ekipmanlar, proses şartları,

etin özellikleri, proses öncesinde yapılan uygulamalar, paketlenme ve muhafaza/depolama gibi aşamalar kurutma prosesini etkilemektedir [22].

Genel olarak gıdaların kurutulmasında kullanılan sıcak hava yöntemi, etin kurutulması için kullanıldığında aroma, doğal tekstür ve renginde istenmeyen değişikliklere ya da kayıplara neden olabilmektedir. Sıcaklığın neden olduğu denatürasyon aynı zamanda kuruma hızını düşürmekte ve etin kurummasını güçleştirmektedir [44]. Dolayısıyla düşük sıcaklıklarda kurutma yöntemlerinin uygulanması, ürün özelliklerinin korunması açısından önemli rol oynamaktadır. Geleneksel et ürünlerimizden sucuk ve pastırma, ısıtma işlemi uygulanmaksızın üretilen ürünlere örnek olarak verilebilir.

Etin kurutulması esnasında etin nem içeriği kademeli olarak azalmaktadır. Dip kısımlardaki nem, migrasyon ile kademeli olarak daha üst bölgelere geçerek ve sonrasında buharlaşarak etin yapısından ayrılmaktadır [25]. Etin kurutulması esnasında kurutulacak parçaların birbiriyle teması istenmeyen bir durumdur. Çünkü temas söz konusu olan bölgeler tam kuruyamayabileceğinden mikrobiyal gelişime uygun bir ortam ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra kurutma esnasında ortaya çıkan iç ve dış ısı transferi direnci, kurutma prosesinin gerçekleşmesi ve kurutulmuş ürünün kalitesi açısından oldukça önemlidir. Ürünün dışına uygulanan yüksek orandaki ısı, iç kısmını verimli bir şekilde etkileyememektedir. Dolayısıyla enerjinin büyük bir kısmı ürün yüzeyinde absorplanmaktadır. Bu durumu yüzeydeki suyun buharlaşmasını hızlandırmakta ve ürün yüzeyinde kuru bir tabakanın oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan kuru tabaka nedeniyle bu kısmın nem geçirgenliği azalacağından buharlaşma güçleşmekte ve dolayısıyla kuruma hızı azalmaktadır. Böyle durumlarda gıdanın yüzeyinin kavrulabilmesi dahi olasıdır [21].

Ete yoğun bir kuruma işlemi uygulandığında primer yapısı değiştiğinden, ürünün kalitesi de değişmektedir. Söz konusu yapısal değişiklikler ürün içindeki nem hareketinin yönünü ve kuruma karakteristiklerini de etkileyebilmektedir [49].

Kurutma sonunda ürün ağırlığındaki azalma, aroma gelişimi (uçucu bileşen içeriği), renk, etin yumuşaklığı değişmektedir. Ayrıca rehidrasyon, büzülme ve su

tutma kapasitesi gibi özellikleri kurutulmuş etin en önemli kalite kriterleridir [19, 21, 44, 48, 52].

Kurutulmuş etlerin organoleptik özelliklerinden renk ve aroma ürüne uygulanan işlemler, ürünün kalitesi ve mikrobiyolojik yükü açısından fikir verebilmektedir. İyi kurutulmuş bir etin kokusunun kötü olmaması beklenmektedir [19, 21].

Kurutulacak etin yağ oranı, son ürün kalitesi için önemlidir. Karkasın yağsız kısımlarından seçilen et parçalarında dahi kas içindeki yağ dokularında oksidasyon gerçekleşebilmektedir. Bu durum da etin aromasında ransit bir tat hissedilmesine neden olabilmektedir [25]. Oluşan ransit tat, bir dereceye kadar ürün tadına olumlu bir katkı sağlayabilmekte, ancak tadın aşırı ransit olması tüketici tarafından istenmeyen bir durum olarak değerlendirilmektedir [21].

Kurutulmuş et ürünlerinin duyuşal özellikleri açısından, kasın yapısında bulunan kas lipitler, lipolitik ve proteolitik enzimler önemli bir paya sahiptir. Lipolitik enzimlerin (lipaz) aktivitesi sonucu yağlardan serbest yağ asitleri, aminopeptitazlar aktivitesi ile de proteinlerden serbest aminoasitler oluşmaktadır. Bu bileşiklerin oluşumu, etin aroma ve tadına olumlu katkıda bulunmaktadır [21]. Etteki kas enzimlerinin aktivitesi taze (çiğ) etin yapısal özelliklerinin (genotip, cinsiyet, yaş vb. gibi) yanısıra etin işlendiği yöntemlerden de etkilenmektedir [19, 21].

Etin kurutulması yavaş bir şekilde, dolayısıyla daha uzun sürede kurutulduğunda proteoliz olayı daha fazla gerçekleştiğinden, son ürünün tekstürü hamurumsu ve yumuşak olmaktadır. Bunun sonucu olarak bazen kurutulmuş etin tadında acımsılık ya da metaliklik olmaktadır. Ayrıca aynı biçimde kurutulan etlerde proteaz aktivitesinin yüksek olması nedeniyle alkali metobolitler oluşur ve ürün pH'ı 6,2'nin üzerindeki değerlere ulaşabilir ki, bu durum ürün yumuşaklığı ve aromasını etkilemektedir [48]. Bunun yanısıra et yapısında büzülme, kısılma ve sertleşme gibi fiziksel değişiklikler ortaya çıkabilmektedir. Ancak bu durum etin kurutulması esnasında besleyici değeri ve protein içeriğini değiştirmemektedir [21].

Ayrıca kurutma öncesi et ürünlerinin tuzlanma süresi, ette meydana gelecek aminoasit ve yağ asidi miktarları üzerinde etkili olacağından, aromasını yani tat ve kokusunu da etkilemektedir. Bunun yanısıra tuzlama işleminin mikrobiyal gelişim ve kurutmanın etkinliğini arttırmada önemli bir faktör olduğu belirtilmektedir [21].

Kurutulmuş et ürünlerinin ambalajlanması için sıklıkla vakum ambalaj tercih edilmekte ve raf ömrünün uzaması sağlanmaktadır [50]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), kurutulmuş et ürünlerinin depolama sürecinde, ayda bir defadan az olmayacak şekilde, kalite ya da duysal değişikliklerin incelenmesini, ortam sıcaklık ve nem değerlerinin takip edilmesini önermektedir [51].

Etler kurutulduğunda hacmi küçülmekte, dolayısıyla taşıma ve depolama süreci daha pratik olmakta ve maliyet azaltılmaktadır. Ayrıca taşıma ve depolama için soğuk zincir gerektirmeyeceğinden, kurutulmuş et ürünlerinin dünya ticaretinde pazarlanması kolaylaşmaktadır [45]. Bunun yanısıra, kurutulmuş et ve sebze ürünleri büyük ve hızlı gelişen bir endüstri haline gelmiştir [7, 46]. Kurutulmuş et ürünleri günümüzde birçok gıdanın üretilmesinde (“noodle” ve hazır çorba gibi) bir bileşen olarak değerlendirilmektedir [47].

2.2.7.1 Rehidrasyon

Rehidrasyon, kurutulmuş bir ürünün tekrar su alabilme yeteneğidir. Kurutma süresince gerçekleşen yapısal ve kimyasal değişiklikler, kurutma öncesi gerçekleştirilen ön işlemler, kurutma şartları ve ürünün bileşimi (etin yağ oranı vb) rehidrasyonu etkilemektedir [37, 38]. Termal işlemlerle kurutulan ürünlerde sıcaklık sonucu denatürasyon nedeniyle proteinlerin suyu absorbe etmesi zorlaşmaktadır [31]. Rehidrasyon kapasitesi kurutulmuş etler için önemli bir kalite kriteri olup, seçilen kurutma yönteminin etin su absorpsiyon kapasitesini olumsuz etkilememesi gerekmektedir. Yapılan bir çalışmada çiğ tavuk kıyması mikrodalga kurutma tekniği kurutulmuş ve elde edilen ürünün taze haldeki kıyma ile benzer görünümde olduğu, su absorpsiyonu açısından emülsiyon kapasitesinin iyi olduğu ve çeşitli gıdalarda bileşen olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [44].

2.2.7.2 Büzülme

Kurutma sırasında fiziksel, kimyasal ve nutrisyonel bazı değişiklikler gerçekleşir. Fiziksel değişikliklerin en önemlilerinden biri büzülmedir. Kurutma esnasında meydana gelen su kaybı gıdaların hücresel yapısında strese neden olmakta ve bunun sonucunda yapısal değişimler ve boyutlarında azalma gerçekleşmektedir. Büzülmenin büyüklüğünü etkileyen faktörler ayrılan suyun hacmi, katı matrisin hareketliliği ve kuruma hızıdır. Yapılan çalışmalarda örneklerin şekli ya da boyutunun önemli bir etken olmadığını, dolayısıyla da hacimsel büzülme üzerinde etkisi olmadığını belirtilmektedir. Kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi gibi kurutma hızını etkileyen faktörlerin büzülmeyi nasıl etkilediği açıklanamamıştır. Bununla birlikte kurutma işleminin ilk aşamalarında, proses koşullarının kombine etkisi ürün dış yüzeyinde kabuk oluşumunu kolaylaştırırken, büzülmenin tipi ve derecesini belirlemektedir [39].

2.2.7.3 Su Tutma Kapasitesi

Birçok gıda grubunda olduğu gibi etin kompozisyonunun en büyük kısmı sudan oluşturmaktadır. Etin su oranı kas yapısına, yaşı ve türüne göre %70-80 arasındadır. Etin yapısındaki suyun hem ekonomik hem de endüstriyel nedenlerle mümkün olduğunca etin bünyesinde tutulması istenmektedir. Etin içerdiği suyu yapısında tutabilme yeteneği en önemli kalite kriterlerinden olup, “su tutma kapasitesi” olarak tanımlanmaktadır. Fakat kasın ete dönüşümü ya da kasın işlenmesi esnasında kasın yapısındaki suyun bir kısmı kaybedilmektedir. Dolayısıyla ekonomik olarak su tutma kapasitesi yüksek olan etler kullanılmaya çalışılmaktadır. Genetik etkenler, sterik etkiler, net yük etkisi, protein oksidasyonu, postmortem proteoliz ve etin işlenmesinde kullanılan yöntemler su tutma kapasitesini etkilemektedir. Etin yapısı heterojen özellikte olduğundan, etin su tutma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan metodların standardizasyonu sağlanamamıştır. Fakat günümüzde etin bu özelliği daha hızlı ve daha iyi standardize şekilde tespit edilebilmektedir [52].

2.4.7.4 Renk

Renk, tüketici açısından etin en önemli duyuşal ve fiziksel kalite kriteridir. Etin rengi, ürünün gevrekliğı, aroması, tazeliğı, muhafazası ve besleyici yönü ile bağdaştırılmaktadır. Taze etin rengi normalde mat kırmızı-mor renkli olan miyoglobinin formu ile ilgilidir. Miyoglobin oksimiyoglobine dönüştüğünde etin rengi parlak kırmızıya, metmiyoglobine dönüştüğünde ise etin rengi kahverengiye dönüşmektedir [53].

İyi kurutulmuş bir etin renginin koyu kırmızı ve tek bir tonda olması tercih edilmektedir. Kurutulmuş etin merkezi renginin parlak kırmızı, dış kısmının ise koyu renkte olması, kurutmanın hızlı yapıldığının göstergesidir. Ayrıca bu durum etin paketleme ve muhafazası sırasınca mikrobiyal bozulma açısından risk taşıdığını ifade etmektedir [19, 21].

2.2.7.5 Uçucu Bileşen

Et, çiğ halde iken tuzlu, metalik ve kanlı bir profil olarak tanımlanan zayıf karakterde bir aromaya sahip iken, yapısında uçucu bileşen öncüsü olan birçok bileşik barındırmaktadır. Pişirme esnasında ortaya çıkan uçucu bileşenler ile etin aroması gelişmektedir [54, 55, 56].

Uçucu bileşenler etin sadece aroması hakkında değil, etin mikrobiyal kalitesi hakkında da fikir verebilmektedir. Mikroorganizma gelişimi ve enzimlerinin aktivitesi sonucu oluşan ya da ayrışan metabolitler, etin bozulmasının bir göstergesi olarak kabul edilebilmektedir. Bazı mikroorganizmalar, belli uçucu bileşenlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu metabolitlerin kalitatif ve kantitatif analiz sonuçları, pH ve glikoz konsantrasyonu gibi etin diğer bazı özellikleri ile birlikte etin kalitesi hakkında tahmin yapmaya imkan sağlamaktadır [57].

Etin aroması et kaynağının türüne, hayvanın cinsiyeti, beslenme koşulları ve yaşı gibi faktörlerin yanısıra [40, 43] etin yağ içeriğı, yağ asidi kompozisyonu, aminoasit içeriğı, indirgen şeker içeriğı ve kompozisyonuna da bağlıdır [54]. Kurutma sıcaklığı ise aromatik bileşenlerin oluşumu üzerinde en önemli faktördür [40].

Isıl işlem ile etin lezzetinin gelişmesine neden olan bir dizi reaksiyon başlamaktadır [40]. Ayrıca proteolitik ve lipolitik enzimler de, uçucu bileşiklerin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Uçucu bileşenlerin çoğu doymamış yağ asitlerinin kimyasal veya enzimatik oksidasyonu ve proteinler, peptidler ve serbest aminoasitlerle etkileşimi sonucu meydana gelmektedir [58].

Aldehitler genel olarak yağlı bir aroma karakterine sahiptir. Pentanal, hekzanal, 2-hekzenal, heptanal, benzaldehid, oktanal ve nonanal gibi bileşikler linoleik ve arşidonik asit gibi doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sonucu oluşmaktadır [41, 59]. Hekzanal literatürde ana oksidasyon ürünü olarak tanımlanmaktadır [58]. Hekzanalın aroma karakteri yeşil, otsu, yağlı, acı, sert, nahoş olarak belirtilmektedir. Oktanal et benzeri, taze, yeşil, narenciye, bitkisel ve çiçek kokusu karakterindedir. Nonanal sert, yağlı, sabun ve plastik olarak tanımlanan kokuya sahiptir [59]. Bazı kaynaklarda da tatlı ve meyvemsi bir aromaya sahip olduğu belirtilmektedir [58]. Dekanalın aroması ise kavrulmuş, tatlı, meyveli, narenciye, balmumu ve çiçeksi olarak tanımlanmaktadır [59].

Esterler, kürlenmiş ve fermente etlerin karakteristik aromalarını sağlayan bileşenlerdir [41]. Kısa zincirli yağ asitlerinden oluşan esterler meyvemsi nota sahipken, uzun zincirli yağ asitlerinden oluşan esterler yağ kokusuna sahiptir [58]. Hidrokarbonlar ete aromasını veren en büyük kimyasal sınıflardan biridir ve uzun zincirli yağ asitlerinin termal bozunmasıyla oluşmaktadır. Etin aromasını oluşturan bileşiklerden ketonlar, genellikle β -keto asitlerin ürünleri olan ve ısı işlem sonucu trigliseritlerden türetilen metilketonlardır. Alifatik alkollerden doymamış alkoller, doymuş olanlara göre daha düşük eşik değerlerine sahip olduğundan etin kokusuna katkıda bulunabilmektedir. Terpenler ise hayvan yemlerinde mevcut ise ya da eti hazırlama ya da pişirmede baharat kullanıldıysa ortaya çıkmaktadır [41].

2.2.8 Kurutma Yöntemleri

Gıdaların kurutulmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kurutma sistemleri güneş enerjisi ile çalışan kurutucular, sıcak hava ile çalışan (konvansiyonel) kurutucular ve diğer kurutucular olarak üç ana başlık altında toplanabilir [60].

Güneş enerjisi ile çalışan kurutucularda direkt ya da dolaylı olarak güneş enerjisi kullanılmaktadır. Kurutulacak olan ürün toprak ya da raflar gibi uygun bir zemine serilerek kurutmanın hasat yerinde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde kurutulan ürünlerde verim düşüktür. Ayrıca küflenme, böceklenme, kemirgen gibi canlı zararı ve hava koşullarının değişken olması gibi dezavantajlar söz konusudur [61].

Sıcak hava ile çalışan (konvansiyonel) kurutuculara örnek olarak kabin (tepsili) kurutucular, tünel kurutucular, bantlı kurutucular, fırın kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, püskürtmeli kurutucular verilebilmektedir.

Günümüzde güneş enerjisi ya da sıcak hava ile çalışan kurutucu sistemleri dışında, sıcak havanın neden olduğu olumsuzlukların engellenebilmesi için diğer çeşitli kurutma yöntemleri de kullanılmaktadır. Tüketicilerin yüksek kaliteli gıdalara talebinin artmasıyla termal olmayan ya da düşük sıcaklıklarda uygulanabilen, gıda kalitesini en az seviyede etkileyen teknikler kullanılmaya başlanmıştır [62]. Bu tekniklere örnek olarak dondurarak kurutma (FD) vakum kurutma (VD), infrared kurutma, mikrodalga (MW) kurutma, ohmik ısıtma gibi sistemler verilebilir [35, 63]. Günümüzde kurutulacak gıdanın yapısına ve istenen son ürün özelliklerine göre birçok sistem ön işlem olarak ya da kombine edilerek kullanılabilir. US destekli kombine sistemlere [12, 64] örnek olarak US destekli vakum kurutma [14], ultrasonik osmotik kurutma [65, 66], ultrasonik IR kurutma [67], ultrasonik dondurarak kurutma [68] yöntemleri verilebilirken, mikrodalga dondurarak kurutma [69], mikrodalga vakum kurutma, mikrodalga-infrared (IR) kurutma, vurgulu elektrik alan (VEA) kurutma [62, 70], yüksek hidrostatik basınç destekli sistemler [11] gibi sistemler üzerinde en fazla çalışılan tekniklerdir.

2.2.8.1 Dondurarak Kurutma

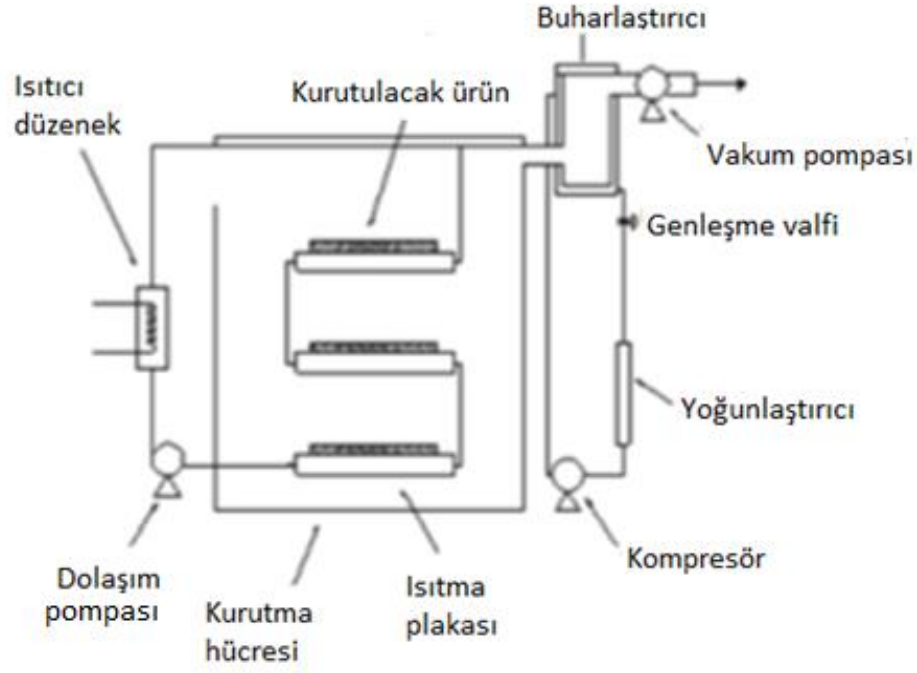
Dondurarak kurutma tekniği “liyoofilizasyon” olarak ta adlandırılmaktadır. Bu kurutma prosesinde ürün dondurulduktan sonra, düşük basınç altında süblimasyon ile kurutulmakta ve yüksek kalitede ürün elde edilmektedir. Ortamdaki hava ihmal edilecek kadar az olduğundan ve düşük sıcaklık uygulandığından, gıdada oksidatif bozulmalar, protein denatürasyonu ve vitamin

kaybı gibi istenmeyen reaksiyonların önüne geçilebilmektedir. Dolayısıyla bu yöntem, ısıya karşı hassas gıdaların kurutulmasında tercih edilmektedir [35]. Şekil 2.4'te dondurarak kurutucu sistemi gösterilmiştir.

Dondurarak kurutma yönteminde kurutulacak ürün öncelikle dondurulmaktadır. Kurutma işlemi ise iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir. İlk kuruma aşamasında ürün içerisindeki buz formunda bulunan su, süblimasyon ile yapıdan uzaklaşmaktadır. Dondurma işleminin hızı buz kristallerinin boyutu, şekli ve dağılımı ile oluşacak gözenek yapısını etkilemektedir. Buz sublime olurken, süblimleşme ara yüzeyinde ürünün dış yüzeyinde poröz bir kabuk oluşmaktadır. Buharlaşan su bu poröz tabakadan taşınmaktadır. Süblimasyon tamamlandığında ilk aşama tamamlanmaktadır. İkinci kurutma aşamasında ise donmadan yapıda kalan su (toplam su içeriğinin %10-30'u) desorpsiyon yolu ile uzaklaşmaktadır [71].

Bu yöntemin en önemli avantajları ürünün aromasının ve besin değerlerinin en iyi şekilde korunabilmesi, renk, boyut ve görünüşün minimum derecede değişmesi, büzülmenin en az düzeyde gerçekleşmesidir [72]. Bunun yanısıra bu yöntemle elde edilen kuru ürünler, yapılarının gözenekli olmasından dolayı yüksek rehidrasyon kapasitesine (havayla kurutulan ürünlerinkine göre 4-6 misli daha yüksek) sahiptir. Bu nedenle de hazır çorba ve hazır yemek karışımları gibi gıdaların üretiminde tercih edilmektedir [73].

Ancak kurutma sırasında ısı ve kütle transferi çok yavaş gerçekleştiği için bu yöntem uzun süren ve pahalı bir dehidrasyon prosesi olarak düşünülmektedir [32].



Şekil 2.4 Dondurarak kurutucu şematik gösterimi [27]

2.2.8.2 Vakum Kurutma

Vakum kurutma yöntemi, gıdanın besin içeriğinde ortaya çıkabilecek kayıpları minimize etmek ve son ürün kalitesini korumak amacıyla ısıya karşı hassas gıdaların daha düşük sıcaklıklarda kurumasını sağlamak ve kurumayı hızlandırmak için sıcak hava ile kurutma sistemleri yerine tercih edilmektedir [7, 8, 74].

Bu sistemlerde kurutma işlemi vakum oluşturulan ortamda gerçekleşmektedir. Vakum ortamı, vakum hücresinin içindeki havanın bir pompa ya da buhar enjektörü yardımıyla emilmesi ile sağlanmaktadır. Oluşan vakum ortamı, belli bir basınca sahiptir [75]. Basıncın azalması, kurutulacak ürünün içerdiği suyun kaynama noktasını düşürdüğünden, ürün yüzeyindeki buharlaşma hızı da artmaktadır. Sonuçta kurutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Böylece yüksek sıcaklığın neden olacağı zararlardan ürün etkilenmesi önlenmektedir.

Kurutulacak ürünlerdeki nemin kondüksiyon, konveksiyon ya da radyasyon yöntemlerinden biri ya da birkaçı ile ısıtarak buharlaşması sağlanmaktadır.

Vakum fırının raflarına yerleştirilen ürün, gerekli ısıyı kondüksiyon ile üzerine konulduğu raftan, radyasyon ile de üst rafından alabilmektedir. Ürün ile raf arasındaki temasın iyi olması, ısı transferi açısından önemlidir [76]. Vakum pompalı sistemlerde buharlaşan su, bir yoğuşturucu aracılığı ile sıvı hale dönüştürülmekte ve vakum odası dışına çıkartılmaktadır [75].

Vakum kurutuculardaki kurutma işlemi, geleneksel kurutma teknikleri ile karşılaştırıldığında, daha düşük sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda oluşturulmaktadır. Bu durum ürün kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Bu sistemlerde kurutma ortamında hava bulunmadığından oksidasyon riski azalmakta, kimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonlar yavaşlamakta ve kurutulmuş ürünlerin renk, aroma ve yapısı daha iyi korunabilmektedir [26, 77]. Özellikle instant kahve gibi oksijen ve ısıya karşı hassas olan ürünler için vakum kurutma yöntemi idealdir [76]. Ayrıca vakum kurutucular, yüksek sıcaklıkta hızlı kuruma sonucu, yüzeyinde çabuk kuruma gerçekleştiği için kabuklaşan ve dolayısıyla iç kısımları nemli kalan ürünlerin kurutulması için de elverişlidir. Vakum ortamındaki düşük sıcaklık ile kabuk oluşumu engellenmekte ve nem difüzyonu, ürünün tamamı kuruyana dek sürmektedir. Vakum kurutucularda koşulların hassas şekilde ayarlanabilmesi de bu sistemin diğer bir avantajıdır [75, 78].

Vakum kurutma yönteminin bazı dezavantajları da söz konusudur. Kurulum ve işletme masrafı yüksek olduğundan, genellikle oksijen ve ısıya karşı duyarlı ürün gruplarının kurutulması için tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, vakum altında ısı transferinin gerçekleşmesi kolay değildir. Bu durum vakum kurutmanın en önemli dezavantajı sayılmaktadır. Isı transferi genelde kondüksiyon veya radyasyon ile sağlanmaktadır. Vakum altında sıvı çok az bulunduğundan, konveksiyon ile ısı transferi nadiren tercih edilmektedir. Bu nedenle yüksek vakum altında, ısı transfer katsayıları ihmal edilebilmektedir. Ayrıca vakum kurutma konvansiyonel yöntemlere göre daha iyi kalitede ürün elde edilmesine olanak sağlarken, kurutulan ürünün merkezindeki suyun yüzeye taşınmasına engel olmaktadır. Bu durum kurutmanın ürün yüzeyinde dik bir nem eğimine neden olur. Dolayısıyla vakum kurutma, diğer kurutma yöntemlerine (dondurarak kurutma, ultrasonik

kurutma, mikrodalga kurutma gibi) bir ön işlem olarak eklendiğinde ya da bu metotlara kombine edildiğinde kurutma verimi arttırılabilmektedir [76].

2.2.8.3 Ultrases

Ultrases (ultrason, ultrasound) 20 kHz veya daha yüksek ses dalgaları tarafından üretilen bir enerji şeklidir. İnsan kulağı bu enerjiyi algılayamamaktadır. Bir ultrases sisteminde genellikle 20 kHz - 10 MHz arasındaki frekanslar kullanılmaktadır [79, 80].

Ultrases “Yüksek Frekans Düşük Güç” (düşük şiddet) (0.1-10 MHz frekans ve $<1 \text{ W/cm}^2$ şiddet) ve ‘Düşük Frekans Yüksek Güç’ (yüksek şiddet) (20-100 kHz frekans ve $10-100 \text{ W/cm}^2$ şiddet) şeklinde ikiye ayrılmaktadır [34].

Ultrases uygulaması, sünger etkisi ve kavitasyon oluşumu ile kurumayı sağlamaktadır. Ultrases dalgaları, içine bulunduğu ortamda kurutulacak ürünün partikülleri üzerinde süngerimsi yapıyı andıran mikro kanallar oluşturarak devamlı gevşeme ve sıkışma hareketleri ile yapıdaki suyun çıkmasını sağlamaktadır. Bu durum sünger etkisi olarak tanımlanmaktadır [81]. Bu hareketlerle meydana gelen etkinin, suyun yapının içinde tutulmasını sağlayan yüzey geriliminden daha fazla bir kuvvete yol açması sonucunda oluşan kılcal kanallar yardımıyla su uzaklaşmaktadır [82].

Yüksek şiddetli ultrases, sıvı bir ortama uygulandığında, düşük ve yüksek basınçlı dalgalar oluşmaktadır. Yüksek şiddete sahip ultrases, uygulandığı sıvı içinde çalkalanmaya neden olarak iç direncin azalmasına yol açmaktadır. Düşük basınçlı dalga oluşumu sonucu ise sıvıda küçük kabarcıklar oluşmaktadır. Bu kabarcıklar daha fazla enerjiyi barındıramayacak boyuta eriştiklerinde, yüksek basınçlı dalga oluşumu sonucu içe doğru patlama meydana gelmektedir. Bu durum "kavitasyon" olarak tanımlanmaktadır. Patlama sırasında baloncukların yapısında sıcaklık (yaklaşık 5000 K) ve basınç (yaklaşık 1000 atm) oluşmaktadır. Bazen oluşan baloncuklar kullanılan sistemin şartlarına bağlı olarak patlamayabilir. Bu durumda sistemde ultrases uygulandığı frekansta süren titreşimler, sıvıdaki karışma

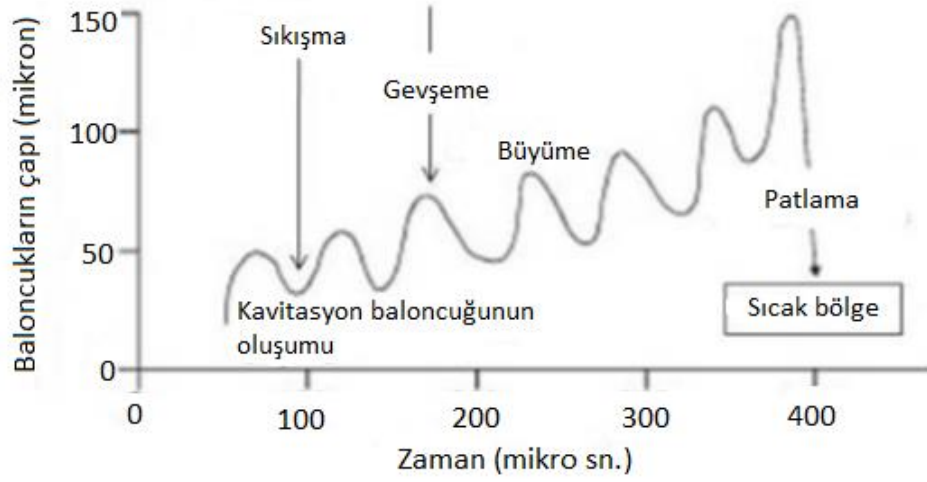
işlemini de gerçekleştirmektedir [76]. Kavitasyonun oluşumu, gelişimi ve patlama evreleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir [83].

Kavitasyonun geçici ve kararlı kavitasyon olarak iki çeşidi mevcuttur [76]. Kararlı kavitasyon $1-3 \text{ W.cm}^{-2}$ düşük şiddete ve 20 kHz’ten daha yüksek frekansa sahip sistemlerde görülmektedir [34, 76]. Kararlı kavitasyonda, düşük akustik basınca sahip ortamda kabarcıklar patlayarak çökmek için gerekli olan seviyeye erişemediklerinde, her bir ultrases çevriminde oluşmakta ve çökmeden oluşmaya devam etmektedir [83]. Kimyasal reaksiyonlar üzerinde önemli bir etkisi söz konusu değildir [76].

Sistemde oluşan kabarcıklar yüksek akustik basınçta gittikçe büyümeye başlarsa, şiddetli bir şekilde patlayarak içe doğru çökme ile geçici kavitasyona dönüşebilmektedir. Geçici kavitasyonda kabarcıkların çöküşe uğramasıyla yüksek basınç (yaklaşık 1000 atm) ve sıcaklık (yaklaşık 5000 °C) oluşmaktadır [12]. Kararlı kavitasyonda ise geçici kavitasyonda meydana geldiği gibi, rezonans büyüklük sınırına gelen kabarcıklar çökmektedir. Ancak bu çökmenin şiddeti geçici kavitasyona göre daha azdır. Bu nedenle kabarcıklar devamlı büyüyerek çökebilmektedir [34].

İki kavitasyon çeşidi birbiriyle kıyaslandığında, kavitasyon esnasında patlama gerçekleşmediği için kararlı kavitasyon ürün yapısında daha az değişikliğe neden olmaktadır. Bu nedenle vakum ortamında düşük şiddetli ultrases uygulaması önerilmektedir.

Kavitasyon gıdadaki sıkıca bağlanmış suyun yapıdan uzaklaştırılmasında etkili olduğundan, kurutmayı hızlandırmaktadır. Bunun yanı sıra mikroorganizmalar ve gıdadaki enzimler üzerinde de etkilidir [76]. Kavitasyon ile hücre duvarının yapısı bozulduğundan mikroorganizmaların inhibisyonu gerçekleşmektedir. Ayrıca US uygulaması nedeniyle ortamda oluşan hidroksil ($\text{OH}^\cdot$) radikalleri ve hidrojen peroksit bakterisid etki göstermektedir [62]. Kavitasyonun enzimler üzerindeki etkisi ise, kavitasyon sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık, ultrases dalgaları sonucu oluşan mekanik güç ve suyun sonolizi sonucu serbest radikal oluşumu nedeniyle gerçekleşen enzim inaktivasyonu olarak açıklanmaktadır [76].



Şekil 2.5 Kavitasyonun evreleri [83].

Kavitasyonu Etkileyen Faktörler

Sıcaklık:

Yüksek sıcaklık ile artan buhar basıncının yanı sıra gerilim kuvveti düşmekte ve oluşan kabarcık sayısı artmaktadır. Fakat sayısı artan kabarcıkların patlayarak içe çökme anındaki şiddeti, bunun sonucu olarak ta etkisi azalmaktadır [83].

Frekans:

Yüksek şiddetli ultrases sistemleri 20 kHz civarındaki düşük frekanslarda daha iyi etki etmektedir. Bunun sebebi, düşük frekans ortamında yüksek basınç ve genliğe sahip dalga üretmenin kolay olması ile açıklanabilmektedir. Ancak 1 MHz ve bundan daha büyük frekansta akustik basınç düşük olduğundan, genlik içerisinde kolayca dağılabilmektedir.

Ultrases Şiddeti:

Kavitasyonun meydana gelmesi için aşılması gereken eşik şiddeti, ultrasesin frekansına ve kurutulacak olan gıdaya göre değişmektedir. Ultrases şiddeti arttırıldığında, oluşan kabarcık sayısı artmasına rağmen bazen bu kabarcıklar birbiriyle etkileşime girerek kaynaşmaya çalıştığı için kavitasyonun oluşmasını ve dolayısıyla patlamayı geciktirmektedir [84].

Ultrasonik Cihazların Mekanizması

Ultrasonik cihazlar, transduserler (dönüştürücüler) yardımıyla elektrik akımının mekanik titreşime dönüşmesini sağlayan ses dalgaları oluşturan sistemlerdir. Transduserler gaz zorlamalı transduser ve sıvı zorlamalı transduser ile elektromekanik transduser şeklinde üç sınıfta gruplanmaktadır. Elektromagnetik transduserler de kendi içinde piezoelektrik ve magnetostriktif olarak iki sınıfa ayrılmaktadır [83].

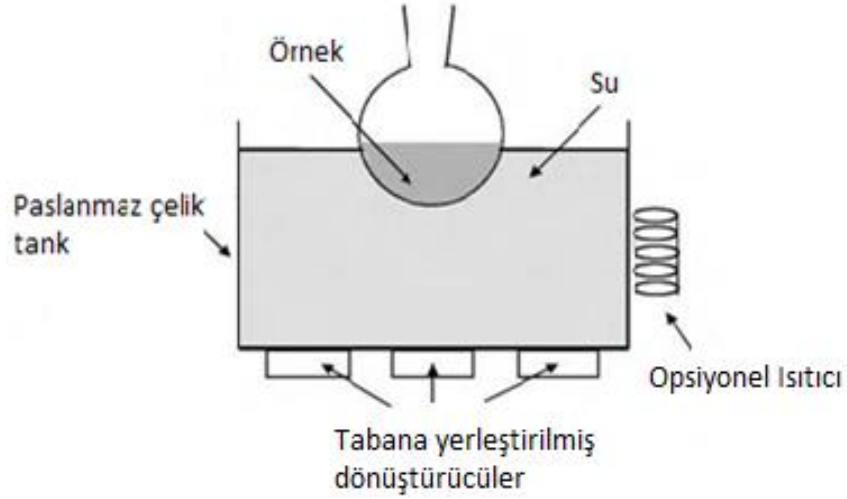
Magnetostriktif transduserler ferromanyetik (demir, nikel gibi) malzemelerde, mıknatıssal büzülme etkisini kullanarak şekil değişikliğine neden olan ekipmanlardır. 100 kHz'den daha düşük frekanslarda kullanılabilmesi ve ısınmaya yol açması ve etkisinin % 60 civarında olması nedeniyle kullanımı sınırlıdır [34].

Piezoelektrik transduserler ise en sık kullanılan dönüştürücü çeşididir. Piezoelektrik özellik, bazı seramik ya da kristal maddeler üzerine mekanik basınç uygulandığında elektriksel gerilim oluşması olarak tanımlanmaktadır. Piezoelektrik kristal malzemeden prizma ya da disk şeklinde kesilerek çıkarılan kısmın yüzeyi, altın gibi iletken bir elementle ince bir tabaka şeklinde kaplanmaktadır. Bu kristalin alt ve üst yüzeyine basınç uygulandığında, malzemede elektriksel alan oluşmakta, malzeme uzayıp kısalmakta, titreşim meydana gelmekte ve ultrases oluşmaktadır. Ters durumda (ters piezoelektrik olay) ise bu yüzeylere elektrik uygulayarak elektrik alan oluşturulduğunda malzeme uzayıp kısalırken titreşim sonucu ultrases meydana gelmektedir. Bu şekilde piezoelektrik olay çift yönlüdür. Terspiezoelektrik olayla ultrases elde edilirken sistem verici olarak kullanılırken, normal piezoelektrik olayda ise ultrases algılanır, sistem alıcı olarak kullanılmaktadır. Piezoelektrik transduserler, magnetostriktif transduserlerin aksine tüm frekanslarda kullanılabildiği ve enerji verimi yüksek olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dönüştürücüler tarafından mekanik titreşime dönüştürülen ses dalgalarının ortama yayılmasını sağlamak için ultrasonik banyo ya da prob sistemlerine ihtiyaç vardır.

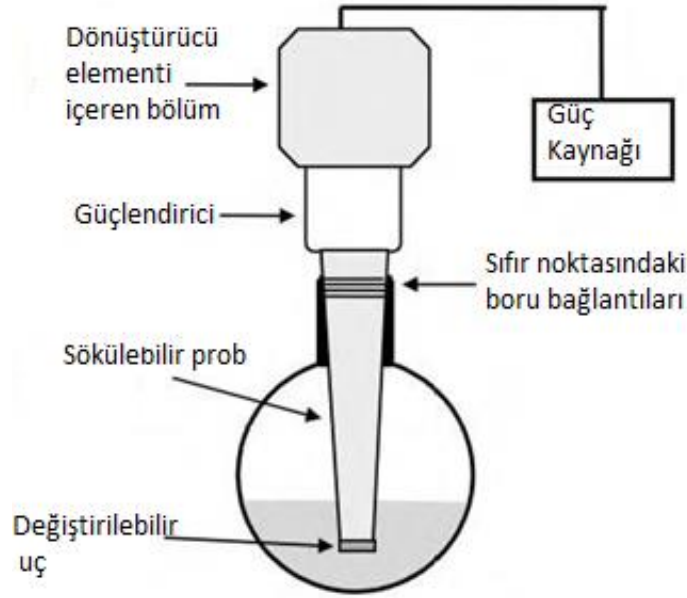
Ultrasonik su banyosunun şematik gösterimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu sistemde alt taraftaki metal gövdeye piezoelektrik dönüştürücü yerleştirilmiştir.

Titreşimler dönüştürücü tarafından cihazın gövdesine, gövdeden de içindeki suya iletilir. Bu sistemin avantajları arasında dalgaların homojen olarak dağılması ve banyo sisteminin kolay uygulanabilir olması yer alırken; sıcaklık kontrolünün güçlü olmaması, sabit bir frekansta çalışılabilme, numunenin su banyosu içindeki yerleştirildiği konuma göre sistemin etkisinin değişebilmesi gibi bazı dezavantajlara da sahiptir [34].



Şekil 2.6 Ultrasonik su banyosunun şematik gösterimi [34]

Prob sistemlerinde (Şekil 2.7) ise, ultrases sinyalini iletme ve güçlendirme görevi gören, dönüştürüceye adapte edilen, yorulma dayanımı yüksek, enerji kaybı düşük, kavitasyonun neden olabileceği erozyona karşı dayanıklı (titanyum ve alüminyum alaşımları gibi) inert bir prob mevcuttur. Bu sistemlerde enerji direkt sisteme aktarılabilirdiği için herhangi bir kayıp söz konusu değildir. Fakat her ne kadar erozyona karşı dayanıklı bir prob kullanılsa da, uçlarda erozyon oluşabilmekte ve bunun sonucu olarak ta ürüne metal kontaminasyonu gerçekleşebilmektedir. Aynı zamanda bu erozyon ultrasesin gücünü düşürmektedir [34, 81].



Şekil 2.7 Ultrasonik prob şematik gösterimi[34]

Ultrasesin Gıdalara Uygulanması

Gıda işleme proseslerinde ultrases uygulamasından geniş ölçüde yararlanılmaktadır. Kesme, sterilizasyon/pastörizasyon, emülsifikasyon/homojenizasyon, sıvı gıdalarda gazın giderilmesi (degassing), etin yumuşatılması gibi uygulamalarda ultrasesin kullanımı geleneksel işleme tekniklerinin yerini almaya başlamıştır. Bunun yanı sıra kurutma, ekstraksiyon, oksidasyon, dondurma, çözündürme, salamura etme, filtrasyon gibi işlemlerde de geleneksel yöntemleri desteklemek amacıyla kullanılmaktadır [12].

Ultrases uygulaması poröz yapıya sahip gıda maddelerinin kurutulmasında, sıcaklık ve işlem süresinin azaltılmasında oldukça etkin bir yöntemdir. Ayrıca uygulama sırasında oluşan mekanik dalgalar gıda içindeki kütle ve ısı transferinin, iç kısımdan yüzeye doğru artmasını sağlamaktadırlar [14, 85].

Ultrases teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda ultrases uygulamalarının gelecekte gıda endüstrisinde daha etkin bir şekilde kullanılacağı tahmin edilmektedir [87].

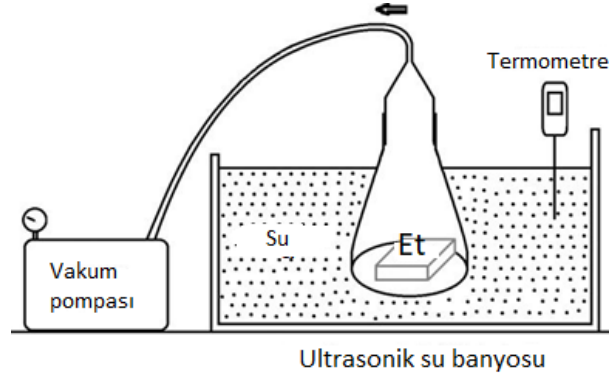
Ultrases Destekli Vakum Kurutma

Ultrases uygulaması ısıya karşı hassas gıdalara uygulanabilmesi, gıdanın organoleptik özelliklerinde minimal değişikliğe neden olması, işletme maliyetinin düşük olması ve çevreye zararlı etkileri olmaması gibi avantajlara sahiptir. Ancak bazı durumlarda yapılacaklar işlemler açısından tek başına tam bir etkinlik gösteremeyebildiğinden, diğer bazı tekniklerle birlikte kullanımı da söz konusudur [82, 86, 87]. Örneğin ultrasonik IR kurutma [67], ultrasonik osmotik kurutma [65, 66] ve ultrasonik dondurarak kurutma [68] üzerinde en fazla çalışılan tekniklerdir. Ultrasesin vakum ile kombine edildiği çalışmalar ilk kez Başlar ve ark. (2014) tarafından sığır ve tavuk etleri üzerinde yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [14].

Bu kurutma sistemi (USV) ultrases ile vakum sisteminin kombine edilmesiyle uygulanabilmektedir [14]. Ultrasesin sünger etkisi ve kavitasyon oluşumuyla kurutmaya katkı sağlamasının yanı sıra, vakumun da kurutmanın düşük sıcaklarda gerçekleşmesine olanak vermesi gibi en önemli avantajları, bu sistemde bir arada toplanarak kurutmanın etkinliği ve hızını arttırmaktadır [76].

Başka bir deyişle bu yeni kurutma tekniği, hızlı kurutma için dış basıncı azaltılmasını sağlayan vakum kurutma ile ısı ve kütle transferini hızlandıran bir ultrasonik prosessten oluşmaktadır. Ultrasonik kurutmanın en önemli etkisi olan kavitasyon, sıvı içinde kabarcık oluşumuna neden olarak su transferini arttırmaktadır. Transfer oranı, sonik dalgaların basıncına ve frekansına göre değişmektedir [10, 11]. Ayrıca ultrasonik kurutmanın bir sonucu olan kavitasyon, yapıya üçlü bir şekilde bağlı olan suyun ayrılmasını sağlamaktadır. Gıda kurutma prosesine ultrases uygulamasının eklenmesi ile kurutma oranının artması, gıda kalitesinin korunması, enerji tüketiminin ve proses maliyetinin azaltılması ve gıda bileşiminin modifikasyonu sağlanabilmektedir [12].

USV kurutmanın et ürünlerine uygulanması, ilk kez Başlar vd. [14] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan düzeneğin şematik gösterimi Şekil 2.8'de belirtilmiştir.



Şekil 2.8 USV sisteminin şematik gösterimi [14]

Ultrasesin Et Ürünlerinin İşlenmesinde Kullanımı

Ultrasesin et ürünlerinin işlenmesinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ultrases teknolojisi etin yapısında miyofibrilleri değişime uğrattığından ete gevreklik kazandırılması, salamura edilmesi (sodyum klorür transferinin arttırılması), dondurma ya da çözündürme (dondurulan ette damlama kaybının azaltılması, liflerin birbiriyle tutunması gücünde artış, elastikiyet ve sertliğinde düşüş, su tutma kapasitesinde artış) gibi uygulamalara kolaylık sağlamaktadır [83].

2.3 Hazır Çorba

Çorbalar genellikle yemeğin başlangıcında tüketilen ve yemek kültürümüzün vazgeçilmez bir gıdasıdır. Hazır çorbaların hacmi ve ağırlığı az olduğu için sevkiyat ve depolama aşamalarında maliyeti azaltırken, tüketiciler açısından da muhafaza kolaylığı ve pratik olarak hazırlanabilmesi nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle gıda üreticileri, farklı çorbaları tüketicilerin beğenisine sunmak için sürekli kendilerini geliştirmektedirler [17].

Hazır çorbaların üretimi en basit şekliyle genellikle ön işlem görmüş kuru hammaddelerin ve yağ ya da yağ tozunun formülasyona göre uygun oranda karıştırılmasıyla gerçekleşebilmektedir. Söz konusu kuru hammaddeler genelde kurutulmuş sebzeler, baharatlar, tahıl ve bakliyatlar ile bu ürünlerin unları, yoğurt tozu, peynir altı suyu tozu ve aroma gibi ingrediyenlerdir [18].

Bileşiminde kuru ürünler barındırdığından ve su aktivitesi düşük olduğundan, hazır kuru çorba karışımlarında mikrobiyal ve enzimatik bozulmaların önüne geçilebilmektedir [88]. Hazır çorba tüketici kitlesi geniş (öğrenci, çalışan, evde ya da ev dışı tüketim amaçlı, yardım kuruluşları, askeri birlikler) ve katma değeri daha yüksek bir üründür.

Türk Gıda Kodeksi (T GK) Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği ve Türk Standardı (TS) 3190'a göre hazır kuru çorba karışımlarının kalite kriterleri nem, %10'luk HCl'de çözünmeyen kül, yağ, protein, tuz, koliform bakteri, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* ve *Salmonella*'dır [89, 90].

2.4 Konu İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları

Literatürde bu tez çalışmasında kullanılan kurutma yöntemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Chin vd. [91] tarafından domuz ve sığır eti, dekstrozu, sodyum nitrat, dekstrozu ve tuz karışımından bir çeşit sucuk üretilerek, 15-20 cm uzunluğunda 12 kısıma ayrılmış ve 100 kPa'lık vakum altında 17, 19 ve 22 °C'de kurutulmuştur. Numunelerin nem oranı/protein oranı 1,6/1 değerine ulaşana kadar 3 günlük periyotlarla analizlere alınmıştır. Kontrol olarak aynı formülasyonda hazırlanan sucuk örnekleri %65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta 18 gün süreyle kurumaya bırakılmış ve 3'er günlük ara ile yapılan analiz sonuçları vakumda kurutulan örneklerle kıyaslanmıştır. Vakum kurutmada sıcaklığın pH, kimyasal kompozisyon, kırılma direnci, çap ve su aktivitesi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir. Nem içeriğini azalması sonucunda ise protein ve yağ oranı yüzde bileşim olarak arttığı saptanmıştır. Vakum uygulamasının kuruma süresini 18 günden 9-12 güne düşürdüğü tespit edilmiştir. Vakum kurutmada elde edilen nem değeri %4.54–4.58 iken, kontrol örneklerinde nem %4.61 olarak tespit edilmiştir. Her iki yöntemin pH üzerinde etkisinin önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Kurutma sonunda iki kurutma yöntemi için de su aktivitesi açısından bir fark bulunamazken, kurutmadan 15 gün sonra vakumla kurutulan örneklerin a_w değerinin, kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Her uygulamada sıcaklığa bağlı olarak çaplarda azalma meydana gelmiştir. Ağırlık kaybı 12. gün sonunda vakumda kurutulan örneklerde %20'den

fazla iken, kontrol numunelerinde ise %16 olarak tespit edilmiştir. Renk açısından kıyaslandığında vakumda kurutulmuş örneklerin beyazlık derecesi kontrol numunelerine göre farklı değil iken, kırmızılık ve sarılık değerleri daha düşük tespit edilmiştir.

Sığır kaslarının rigor mortis önce ve sonrası US uygulamasına tabi tutulduğu bir çalışmada, rigor mortis öncesi US uygulamasının, rigor mortisin gerçekleşmesinde çok az gecikmeye sebep olduğu, sarkomer kısımda gerilmeye, kalsiyum salgısında artışa neden olurken olgunlaşma üzerine ise etkisinin kesin olmadığı sonucuna varılmıştır. Rigor mortis sonrası US uygulamasının yapıda değişime neden olmadığı, 6. gün sonunda olgunlaşma açısından olumlu katkısının olduğu belirlenmiş, 14. gün olan son günde olgunlaşma açısından herhangi bir iyileşme saptanmadığı belirtilmiştir [92].

Ozuna vd. [93] morina balığı salamurasını 21.9 kHz ferkanslı US desteği kullanarak -10, 0, 10 ve 20°C sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre US uygulamasının kurutma süresinde % 35-54'lük azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. En kısa kurutma süresi 10 °C ve 20 °C sıcaklıkta yapılan kurutmalarda saptanmıştır. Bunun yanı sıra US uygulamasının her sıcaklık için D_{eff} değerini arttırdığı belirtilmiş, renk değerleri ve rehidrasyon kapasiteleri üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğu ifade edilmiştir.

Hii vd. [47] tarafından çiğ ve pişmiş tavuk göğüs eti üzerinde 60, 70 ve 80 °C sıcak hava ile yapılan kurutma çalışmalarında, pişmiş örneklerin, çiğ örneklerle göre daha düşük başlangıç nem içeriğine sahip olduğu ve çiğ örneklerle göre daha hızlı kuruduğu belirlenmiştir. Çiğ numunelerinin kalınlığının, iç su buharı oluşumundan dolayı ilk 2 saatte arttığı görülmüştür. Pişmiş numunelerin büzülme derecesi, çiğ numunelere göre daha düşük tespit edilmiştir. Pişmiş numunelerin rehidrasyon kapasitesi de daha düşük tespit edilmiş, bunun nedeninin ön pişirme işleminden kaynaklanan rijit yapı olabileceği belirtilmiştir. Bu durum, suyun numune tarafından emilimini daha da azaltmıştır. Etkin difüzyon değerleri $10^{-11} \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak tespit edilmiştir. Kurutma sonrası pişirilmiş numunelerin sertlik değerleri

çiğ numunelerden anlamlı derecede yüksek tespit edilmiş iken, elastikiyetlerinin önemli derecede düşük olduğu belirlenmiştir.

Pişmiş, doğranmış tavuk etinin, çeşitli sıcaklıktaki hava ve dondurarak kurutma teknikleriyle kurutulduğu bir çalışmada, numuneler kayma mukavemeti, gevreklik, renk, rehidrasyon, yüzey alanı, gözeneklilik, yoğunluk ve gözenek büyüklüğü açısından değerlendirilmiştir. Kurutma işleminin et lifi yapısı üzerindeki etkileri SEM ile incelenmiştir. Dondurarak kurutma ile mükemmel sayılabilecek rehidrasyon özelliklerine sahip gözenekli bir son ürün edildiği, sıcak hava ile kurutulan numunelerde ise daha az gözenekli yapı ve daha düşük rehidrasyon kapasitesinin elde edildiği belirtilmiştir. Gözenekliliğin rehidrasyon potansiyeli ve yüzey alanında birincil faktör olduğu ve gözenek büyüklüğün dağılımının daha az önemli olduğu ifade edilmiştir [94].

Pawlak vd. [95] tarafından yapılan çalışmada, et örneklerine papain ve mikrodalga- vakumda kurutma (MWDP) uygulaması ile et dokusunun şişmesi incelenmiştir. Merkezi kompozit tasarım kullanılarak yapılan deneyler sırasında MVDP işlem koşullarının (et dilimlerinin başlangıç nem içeriği, mikrodalga enerjisi ve vakum mutlak basıncı gibi değerler açısından) en iyi kombinasyonu tespit edildikten sonra, bu şartlar altında şişirilen dilimlerin hacminin, MVDP uygulanmayan dilimlerin hacminden 1,60-1,78 kat daha yüksek olduğu ve ürün duyusal kalitesinin kabul edilebilir düzeyde sağlandığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ön muamelenin, numunenin sertliğini% 25'in üzerinde azalttığını ve bu durumun kriyo-taramalı elektron mikroskopi görüntüleri ile de doğrulandığı ifade edilmiştir.

Toplam endüstriyel enerji tüketimi içerisinde kurutma prosesine ait enerjinin yaklaşık olarak %10-25 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Gıda sektöründe ciddi bir paya sahip olan kurutma işlemi için enerji tüketimi oldukça önemlidir [70].

Etkin bir kurutma işleminde amaç son ürün kalitesini arttırırken, enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Genelde tek bir kurutma metodu bu açıdan tek başına yeterli olamamaktadır. Ürün kalitesi ve maliyeti, sektörde satışının

sürdürülebilirliği için gereklidir. Bu nedenle maliyetin düşürülmesi ve son ürün kalitesinin artırılması amacıyla farklı metotlar birbirine kombine edilmekte ya da ön işlem olarak uygulanabilmektedir [35]. Bu açıdan VD, USV, FD ve etüvde kurutma teknikleri açısından da enerji tüketimi ve maliyet üzerinde durulan çalışmalar mevcuttur.

Fernandes, Gallão ve Rodrigues [96] tarafından muzun ultrases ön işlemi ve sıcak hava kombinasyonu, osmotik kurutma ve etüvde kurutulması kombinasyonu ile ilgili yapılan çalışmada, bu yöntemlerin enerji tüketimi ve maliyeti hakkında bilgiler verilmiştir. 1kg'lık muz numunesinin kurutulması için harcanan enerji ultrases ve osmotik ön işlemi için sırasıyla 30 kJ/dak. ve 36 kJ/dak. olarak belirtilmiştir. Ultrases ön işlemi ve sıcak hava kombinasyonundan oluşan sistem ve osmotik kurutma ile sıcak hava kombinasyonundan oluşan sistemlerin enerji tüketimi ise sırasıyla 44.100 kJ ve 45.456 kJ'dür. Çalışmanın yapıldığı 2006 yılı Aralık ayı Brezilya'daki elektrik enerjisi birim fiyatı 0,253 USD/kWh olarak alınıp hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçta ultrases ön işlemi ve osmotik ön işlem ile kurutulan örnekler için birim fiyat maliyeti sırasıyla 3,10 USD/kg ve 3,19 USD/kg olduğu saptanmıştır. Hiçbir ön işlem uygulamadan sadece sıcak hava ile kurutma yapıldığında ise enerji maliyeti 3,54 USD/kg olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ultrases ön işlemi ve osmotik ön işlem uygulamasının kurutma maliyetini sırasıyla %12,4 ve %9,9 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Başlar vd. [14] tavuk ve sığır etlerini 55 °C, 65 °C ve 75 °C'de USV, VD ve sıcak hava kurutma teknikleri ile kuruttuklarında, her iki ürün için de tüm metotlarda sıcaklık artışı ile enerji tüketiminin azaldığını belirtmişlerdir. 65 °C ve 75 °C 'de sığır eti için yöntemlere göre enerji tüketimi büyükten küçüğe doğru etüv, VD ve USV şeklindedir. Aynı durum 75 °C sıcaklıkta kurutulan tavuk eti için de geçerlidir. Ancak bu sıralama 55 °C ve 65 °C'de kurutma için yine sırasıyla USV, vakum, etüv ve vakum, etüv, USV olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre sığır eti için USV kurutma tekniğinin tüm sıcaklıklarda enerji tüketimi açısından kullanılabileceği belirtilmiştir.

Başlar vd. [97]'nin somon ve alabalık ile aynı sıcaklık ve metotları kullanarak yaptıkları çalışmada ise somon için en düşük enerji tüketiminin VD tekniğinde, alabalık için ise 55 °C ve 75 °C'de USV tekniği ile elde edildiği belirtilmiştir.

Kırmacı [27]'nin dondurarak kurutma tekniği ile çilekleri kuruttuğu bir çalışmada, başlangıç nem oranı kuru maddede % 91,2 iken, işlem sonucunda %9,1'e düşürülmüştür. 5 mm dilim kalınlığı için 9,5 saatlik kurutma sonucunda su aktivitesi 0,918'den 0,34'e; 7 mm kalınlık için 13 saatlik işlem sonrası su aktivitesi 0,915'ten 0,39'a düşürülmüştür. Donmuş üründe süblimasyon için gerekli ısıyı sağlamak için 1 kW'lık güce sahip bir ısıtıcı kullanılmış ve kurutma hücresinin sıcaklığı yavaşça yükseltilmiştir. Dilim kalınlıklarına göre verilen ısı miktarı 5 mm'lik çilek dilimleri için 0,133 kW/h iken, 7 mm'lik çilek dilimleri için 0,147 kW/h'tir. Soğutma amacıyla R 404A akışkanı kullanılmış ve buharlaştırıcı yüzeyin sıcaklığı -45 °C olarak sağlanmıştır. Kurutma prosesinde vakum pompası ve soğutma sisteminin tükettiği enerji 5 mm kalınlığındaki örnekler için 9,5 saatte 4,573 kW/h ve 7 mm kalınlığındaki örnekler için 13 saatte 7,893 kW/h olarak hesaplanmıştır. 5 mm kalınlığındaki çileklerin ilk kuruma evresi 5 saat, ikinci kurutma evresi 4,5 saat sürmüştür. Dilim kalınlığı arttıkça, kurutma süresinin arttığı ve kurutma hızının azaldığı belirlenmiştir. 7 mm kalınlığındaki çileklerin ilk kuruma evresi 8 saat, ikinci kurutma evresi 5 saat sürmüştür. Sonuçta elde edilen kurutulmuş ürünlerin rengini ve tadını koruduğu belirlenmiştir.

Hazır toz çorba karışımları ile ilgili olarak ta çeşitli çalışmalar mevcuttur. Raitio vd. [88] tarafından yapılan bir çalışmada kuru toz karnabahar çorbası karışımı 12 hafta boyunca hızlandırılmış raf ömrü testine tabi tutulduğunda, duyuşal özelliklerinde düşüş tespit edilmiştir. Çorba bileşimine eklenen antioksidanın depolama stabilitesi üzerinde etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Depolama süresi sonunda numunelerde lipid oksidasyonunun gerçekleştiğini gösteren bileşenler tespit edilmiştir. Enzimatk olmayan esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesi sonucu çorba renginde kahverengiye dönüş gerçekleşmiştir. Ayrıca protein oksidasyonu sonucu dimetil sülfür oranında artış gözlenmiştir.

Başka bir çalışmada Bursa’da satışı yapılan 5 farklı markaya ait mercimek, yayla, domates ve tarhana çorbalarında TMAB, koliform bakteri, küf-maya, nem ve pH değerleri incelenmiştir. TMAB açısından değerlendirildiğinde tüm numunelerde $1,28 \times 10^2$ - $7,54 \times 10^4$ kob/g aralığında saptanmıştır. Maya ve küf sayısı 10^2 kob/g’dan düşük tespit edilmiştir. Bu açıdan elde edilen sonuçlar TS 3190’a göre limitlere uygun olarak değerlendirilmiştir. *E. coli* domates ve mercimek çorbalarında saptanırken, tarhana ve yayla çorbalarında tespit edilememiştir. Bu sonuçlar üretim esnasında hijyen kurallarına uyulmadığının göstergesidir ve koliform bakteri açısından sonuçlar TS 3190’a göre uygun değildir. Çalışılan numunelerin %11’inin nemi referans değerlere göre daha yüksek tespit edilmiştir [17].

3.1 Materyal

Kıyma örnekleri İstanbul'daki yerel bir marketten temin edilmiş ve 4 °C'de laboratuvara ulaştırılmıştır. Numuneler analizleri yapılana ve kurutma prosesine alınincaya kadar (maksimum 2 saat içerisinde) buzdolabında muhafaza edilmiştir. Kıyma numuneleri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi silikon yüzey üzerine 9 cm çapında ve 5 mm kalınlığında ($21 \pm 0,5$ g) serilerek kurutma işlemine hazırlanmıştır. Hazır çorba üretiminde kullanılan hammaddeler Soyyiğit Gıda San. ve Tic. A.Ş'den (İstanbul) temin edilmiştir. Ayrıca 25 °C'de VD yöntemi ile kurutulan kıyma örnekleri de hazır çorba formülasyonunda kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Silikon tabaka üzerine serilen kıyma

3.2 Yöntem

Bu çalışmada ilk olarak kıyma numuneleri farklı kurutma teknikleriyle kurutulmuştur. 25 °C'de VD yöntemi ile kurutulan kıyma örnekleri de hazır çorba formülasyonunda kullanılmıştır. Kullanılan tüm kurutma metotları için kurutulan kıymaların rehidrasyon oranı, büzülme, renk, mikroyapısal özellikleri, peroksit değeri ve uçucu bileşenleri incelenmiştir. Tüm ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Taze Kıymanın Fizikokimyasal Özellikleri

3.2.1.1 Kuru Madde

Kıyma numunelerinin kuru madde içeriği AOAC 950.46 (2006) metodu ile belirlenmiştir [98]. Kurutma işlemi yaklaşık iki saat boyunca 105 °C'de etüvde (Memmert UF110, Almanya) gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.2 Yağ

Numunelerin yağ miktarı AOAC 960.39 (2012) metoduna göre Soxhlet sisteminde (Daihan, WHM-12293, Gangwon-do, Güney Kore) hekzan ile yağ ekstrakte edilerek belirlenmiştir. Numune, 800C'yi aşmayacak şekilde kurutularak öğütülmüştür. Ekstraksiyon aşamasına geçene kadar sürenin 30 dk'yı aşmamasına dikkat edilmiştir. Sabit tartıma getirilen balon içerisine cam boncuk eklenerek darası alınmıştır. 5-10 gr arasında öğütülmüş numune tartılarak kartuş içerisine konmuş, kartuşun ağzı pamuk ile örtülmüş ve kartuş ekstraktör sistemine yerleştirilmiştir. Balon içerisine 150 ml hekzan eklenmiştir. Ekstraktör, soğutucu ve balon birbiriyle bağlanarak oluşturulan düzenek mantolu ısıtıcıya yerleştirilmiştir. Damıtma hızı minimum 3 damla/dak. olacak ve hekzan yavaş kaynayacak şekilde sıcaklık 6 saat boyunca yağ toplanana kadar ekstraksiyona devam edilmiştir. Balon içindeki hekzan damıtılarak geri toplanmıştır. Balon içinde kalabilecek hekzanın uçurulması için balon 103±2°C'de etüvde sabit tartıma gelene kadar bekletilmiştir. Balonun tartılan son ağırlığı üzerinden % yağ miktarı olarak eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır [99].

$$\% \text{ yağ} = \frac{M_2 - M_1}{m} \times 100 \quad (3.1)$$

M_1 = Balonun darası

M_2 = Balonun işlem sonundaki ağırlığı

m = Numune ağırlığı

3.2.2 Kıyma Numunelerinin Farklı Teknikler ile Kurutulması

Kurutma işlemini gerçekleştirmek için ultrasonik vakum (USV), vakum kurutma (VD) ve dondurarak kurutma (FD) gibi farklı kurutma teknikleri kullanılmıştır. Tüm kurutma yöntemleri için numuneler (yaklaşık 21 g) 0,1 mg hassasiyetle analitik bir terazi (Shimadzu, Japonya) ile tartılmıştır. USV ve VD teknikleri için 25°C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda kurutma gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi sırasında her 15-30 dakikada bir ölçüm yapılarak, su içeriği % 12 ± 0,1'e (a/a) düşene kadar devam edilmiştir.

3.2.2.1 Vakum Kurutma

Vakum kurutma tekniği, Şekil 3.2'de gösterilen laboratuvar ölçekli bir kurutma ünitesi (DaihanWOV-30, Güney Kore) kullanılarak yapılmıştır. Vakum, 60 mbar'lık nihai basınç ve 2 L/s pompa hızına sahip bir vakum pompası (EVP 2XZ-2C, Çin) ile sağlanmıştır [14].



Şekil 3.2 Vakum kurutucuya yerleştirilen taze kıymalar

3.2.2.2 Ultrases Destekli (Ultrasonik) Vakum Kurutma

USV tekniği için Başlar vd. [14]'nin çalışmalarında kullandıkları metot uygulanmıştır. İşlemlerde Şekil 3.3'de gösterilen ultrasonik su banyosu (Daihan, Güney Kore) kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Ultrases destekli vakum kurutma sistemi

3.2.2.3 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma tekniği, -55 °C'de ve 1 hPa basınçta, 72 saat boyunca laboratuvar ölçekli dondurarak kurutucu (Martin Christ, Beta 1-8 LSC plus, Almanya) kullanılarak yapılmıştır.

3.2.3 Kurutma Karakteristik Analizleri

Kurutulmuş numuneler için aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1 Nem içeriği

Kıyma örneklerinin nem oranı (MR) Eşitlik 3.2 ile gösterilmiştir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.2)$$

MR: nem oranı

M_t : t zamanındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_0 : başlangıç nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_e : denge nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

Kurutma deneylerinde sürekli olarak değişen kurutma havasının bağıl nemi, Eşitlik 3.3 haline sadeleştirilmiştir [28].

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3.3)$$

3.2.3.2 Etkin Nem Difüzyonu (D_{eff}) ve Aktivasyon Enerjisi (E_a)

Bu çalışmada elde edilen verilere göre etkin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi (E_a) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

Fick'in ikinci difüzyon yasası (Eşitlik 3.4), çoğu gıda maddesinin kurutulması sırasında etkin nem difüzyonunun (D_{eff}) tanımlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (3.4)$$

D_{eff} : Etkin nem difüzyonu (etkin yayılma) (m^2/s)

t: Kurutma süresi (sn)

Eşitlik 3.4 kullanılarak Eşitlik 3.5 elde edilebilir [100].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.5)$$

MR: nem oranı

t: kuruma süresi,

D_{eff} : Etkin nem difüzyonu (m^2/s)

n: Fourier serisinin terimlerinin sayısı

L: Kurutulan dilimin yarı kalınlığı (m)

Uzun kuruma süreleri için bu eşitlik sadeleştirilerek Eşitlik 3.6 elde edilebilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (3.6)$$

D_{eff} değerleri, $\ln(MR)$ değerinin bir zaman fonksiyonu olarak çizilmesiyle hesaplanabilir ve bu çizimden Eşitlik 3.7 ile ifade edilebilen (K) eğimli bir düz doğru hesaplanabilir.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (3.7)$$

D_{eff} değerinin sıcaklığa göre değişimi Arrhenius eşitliği (3.8) ile tanımlanmaktadır [101].

$$D_{eff} = D_{eff}^0 \exp \left[\frac{-E_a}{RT} \right] \quad (3.8)$$

D_{eff}^0 : Arrhenius eşitliğinin üstel katsayısı (m^2/s)

E_a : aktivasyon enerjisi (kJ / mol)

R : ideal gaz sabiti (kJ / mol · K)

T : kurutma sıcaklığı (K)

3.2.3.3 Rehidrasyon Oranı

2 gr olarak tartılan kurutulmuş kıyma örnekleri, sabit su içeriğine erişinceye kadar 20 dakika boyunca 90 °C'de 20 mL damıtılmış suda rehidre edilmiştir (Şekil 3.4) [102]. Rehidrasyon oranı, rehidrasyondan sonra ve önce numune ağırlığının oranı olarak tanımlanmaktadır ve Eşitlik 3.8 ile hesaplanmıştır [104].

$$D_{eff} = D_{eff}^0 \exp \left[\frac{-E_a}{RT} \right] \quad (3.9)$$

RR: rehidrasyon oranı

M : rehidrasyon sonrası numune ağırlığı

M_0 : rehidrasyon öncesi numune ağırlığı



Şekil 3.4 Kurutulmuş ürünün rehidrasyonu

3.2.3.4 Büzülme Oranı

Büzülme, kurutma esnasında yüzeydeki değişimin bir göstergesidir. Büzülme oranı (%) taze ve kurutulmuş numunelerin çap ve kalınlıkların bir kumpas yardımıyla ölçülerek Eşitlik 3.9'a göre hesaplanmıştır [105].

$$\text{Büzülme (\%)} = \frac{(\text{çiğ kalınlık}-\text{kurutulmuş kalınlık})+(\text{çiğ çap}-\text{kurutulmuş çap})}{\text{çiğ kalınlık}+\text{çiğ çap}} \times 100 \quad (3.10)$$

3.2.3.5 Mikroyapı

Kurutulmuş kıyma örneklerinin mikroskobik yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Zeiss EVO LS 50, Almanya) kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla kurutulmuş kıyma örneklerinden alınan parçalar elektron ışını için yansıtıcı bir yüzey sağlamak amacıyla altın kaplama ile kaplanmıştır. Daha sonra, altın kaplanmış örnekler 5 kV'lık bir mikroskop altında görüntülenmiştir [97].

3.2.3.6 Renk

Farklı kurutma yöntemlerinin ve sıcaklıklarının kurutulmuş kıymaların renkleri üzerine etkileri, bir kroma ölçer (KONICA MINOLTA CR-13, Japonya) ile oda sıcaklığında her bir numunenin yüzeyinde dört farklı noktadan ölçüm yapılarak değerlendirilmiştir. Numunelerin L* (beyazlık/siyahlık), a* (kırmızılık/ yeşillik), b* (sarılık/mavilik) değerleri ölçülerek, Eşitlik 3.10 ile toplam renk farkı (ΔE) değeri aşağıdaki hesaplanmıştır. ΔE değeri yükseldikçe, ölçülen iki renk arasındaki fark artmaktadır [76].

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3.11)$$

3.2.3.7 Peroksit Değeri

Örnekten ekstrakte edilen yağdan 5 g tartılmış, üzerine 50 mL asetik asit-izooktan çözeltisinden ilave edilmiş ve çözünene dek karıştırılmıştır. Üzerine doymuş potasyum iyodür çözeltisinden 0,5 mL eklenerek, 1 dakika ışık almayacak şekilde bekletilmiş ve bu esnada 3 kez çalkalanmıştır. Süre sonunda karışımın üzerine bekletilmeden 100 mL distile su konmuştur. 0,5 mL nişasta çözeltisi de eklenerek

hemen meydana gelen iyot 0,01 N ayarlı sodyum tiyosülfat çözeltisi ile koyu mor renkten renk renksiz hale gelinceye kadar titre edilmiştir. Aşağıdaki formüle (Eşitlik 3.11) göre hesaplama yapılmıştır [106].

$$\text{Peroksit değeri} = (N \times F \times S) / T \times 1000 \quad (3.12)$$

N= Sodyum tiyosülfat çözeltisi normalitesi

F= Sodyum tiyosülfat çözeltisi faktörü

S= Sodyum tiyosülfat çözeltisi sarfiyatı

T= Tartılan numune miktarı

3.2.3.8 Uçucu Bileşen

Kurutulmuş et numunelerinin uçucu bileşen analizi Şekil. 3.5’de görülen CTC-Combi-PAL (Bender and Hobein, İsviçre) oto-örnekleyici ile kombine edilmiş olan GCMS-QP2010 (Shimadzu, Japonya) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kromatografik ayırım için Rtx-5MS silika kapiler kolon (30 m×0,25 mm (iç çap) 0,25 µm) (Restec, Amerika Birleşik Devletleri) ve taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. 1,7 g olarak tartılan kurutulmuş et numuneleri 20 mL’lik tepe boşluklu viallere konulmuştur. Vialler oto-örnekleyici tarafından ısıtılarak 15 dk boyunca 70 °C’de çalkalanmıştır. Tepe boşluğu oto-örnekleyicinin inkübasyon sıcaklığı 70 °C, inkübasyon süresi 15 dakika, enjeksiyon sıcaklığı 70 °C, çalkalama hızı 500 rpm, enjeksiyon hacmi 1000 µL, dolum hızı 200 µL/s, enjeksiyon hızı 350 µL/s olarak ayarlanmıştır. GC-MS sistemine 0,5 mL tepe boşluğu numunesi verilmiştir. Sıcaklık programı 3 dak. 40°C, 8 dak. 40–176 °C ve 20 dak. 176 °C olacak şekilde kullanılmıştır. Enjektörün sıcaklığı 150 °C’de sabit tutulmuştur. Basınç 95,8 kPa ve lineer hız 47,1 cm/s, taşıyıcı gaz akış hızı 1,71 mL/dak olarak ayarlanmıştır. Ara yüzey sıcaklığı 280 °C ve iyon kaynağı sıcaklığı 230 °C olarak kullanılmıştır. Kütle spektrometresi seçili iyon-izleme modunda, elektron iyonizasyon dedektörünün voltajı 70 eV’a ayarlanmış ve bilgiler 35–550 m/z aralığında toplanmıştır. Analizler her numune için iki kez tekrarlanmıştır. Temel uçucu bileşenler NIST27 ve WILEY7 kütüphaneleri kullanılarak tanımlanmıştır. Uçucu bileşenlerin toplam iyon

kromatogramı (TIC) piklerinin nisbi alanı üzerinden miktar analizine gidilmiştir [107].



Şekil 3.5 GC-MS cihazı

3.2.4 Hazır Çorba Üretimi

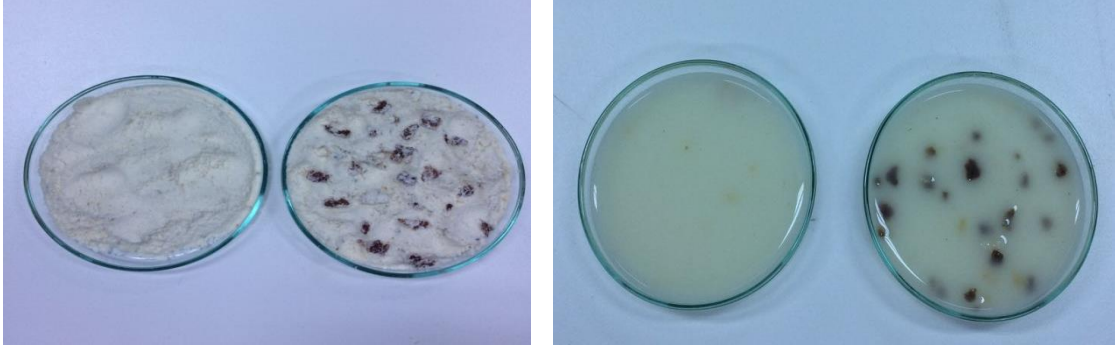
25°C'de VD ile kurutulan kıymayla üretilen hazır çorba (etli çorba) ile kontrol olarak üretilen çorbanın formülasyonları Tablo 3.1'de verilmiştir. Analizler için elde edilen etli kuru toz çorba karışımının 80 g'ı 1 L soğuk suya, kontrol numunesi olarak hazırlanan çorbanın da 73 g'ı 1 L soğuk suya eklenerek, kaynamaya başlayana kadar sürekli karıştırılmıştır Kaynamaya başladıktan sonra 10 dakika kısık ateşte ara sıra karıştırılarak pişirilmiştir.

Tablo 3.1 Kontrol ve etli hazır çorbanın formülasyonları

Hammadde	ETLİ ÇORBA	KONTROL
	% Bileşen	% Bileşen
Buğday unu	33,2	33,2
Mısır nişastası	17	17
¹ Yağ tozu	13	13
Peynir altı suyu tozu	10,5	10,5
Tuz	8,5	8,5
Soğan tozu	1,5	1,5
Maya ekstraktı	1,6	1,6
Soya granülü	1	1
Soya proteini	1,9	1,9
Yoğurt tozu	0,7	0,7
Guar gum	2,1	2,1
Karabiber	0,2	0,2
Beyaz biber	0,05	0,05
Et aroması	1,1	1,1
Soğan aroması	0,6	0,6
Sirke aroması	0,05	0,05
Kurutulmuş kıyma (et)	7	-

(1): Yağ tozu (palm yağı, glikoz şurubu, süt proteini, stabilizer-trifosfat, topaklanmayı önleyici - silikondioksit)

Üretilen çorbaların pişirilmeden önce ve sonraki görüntüleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Üretilen çorbaların pişirilmeden önce ve sonraki görüntüleri

3.2.5 Hazır Çorbanın Fizikokimyasal Analizleri

Hazır çorbalarda yapılacak analizler için Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği ve TS 3190 Hazır Kuru Çorbalık standardı baz alınmıştır [88, 89]. Etli ve kontrol çorba numunelerinde nem, su aktivitesi, %10'luk HCl'de çözünmeyen kül, kül, diyet lif, selüloz, yağ, protein, tuz, peroksit, renk, duyu ve mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiş ve enerji hesabı yapılmıştır.

3.2.5.1 Nem

Madde 3.2.1.1'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.2 Su Aktivitesi

Numunelerin su aktivitesi değerleri, su aktivitesi cihazı (Novasina, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin bulunduğu özel plastik kapların kapakları açılarak cihazın ölçme kabineye yerleştirilmiş ve a_w değerleri belirlenmiştir.

3.2.5.3 %10'luk HCl'de Çözünmeyen Kül

TS 1128'e göre kül analizi gerçekleştirilmiştir. Krozeye 10 mL HCl konulmuş, üzeri saat camı ile kapatıldıktan sonra birkaç kez HCl ile yıkanmıştır. Kabın içindekiler 250 mL'lik bir behere alınmış ve ısıtılarak, 10 dk boyunca kaynatılmıştır. Ardından süzülerek, klorür iyonlarının uzaklaştırılması kaynar su ile yıkanmıştır. Gümüş nitrat çözeltisi ile klorür iyonunu uzaklaşıp uzaklaşmadığı kontrol edilmiştir. Sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış kroze, kalıntı ve süzgeç kağıdı tartılmış, 550 °C sıcaklıktaki kül fırınına yerleştirilmiş ve külleşene kadar yakılmıştır. Kroze

desikatöre alınarak soğutulmuş ve sabit tartıma getirilmiştir. Aşağıdaki formüle (Eşitlik 3.13) göre HCl’de çözünmeyen kül hesaplanmıştır [108].

$$\%HCl'de\ çözünmeyen\ kül = \frac{(kapsül + yakma\ sonrası\ kalıntı\ ağırlığı) - (kapsül\ darası) \times 100}{tartılan\ numune\ miktarı} \quad (3.13)$$

3.2.5.4 Kül

TS 3190’ın refere ettiği TS 5000’e [109] göre gerçekleştirilmiştir. Darası alınmış porselen kroze içine hazırlanan 1,5 gr tartılan numune 550 °C’de 6 saat yakılmış ve aşağıdaki formüle göre toplam kül (TK) yüzdesi hesaplanmıştır.

$$TK\% = \frac{(m_2 - m_0) \times 100}{(m_1 - m_0)} \quad (3.14)$$

m_0 = Boş krozenin ağırlığı (g)

m_1 = Kroze ve deney numunesinin ağırlığı (g)

m_2 = Kroze ve toplam külün ağırlığı (g)

3.2.5.5 Diyet Lif

AOAC 985.29’a göre diyet lif analizi gerçekleştirilmiştir. 500 mg numune bir behere tartılmış ve üzerine 25 mL distile su eklenmiştir. Bagetle iyice karıştırılarak, beher cidarı ve baget 2-3 ml su ile yıkanmıştır. Alüminyum folyo ile ışık almayacak şekilde kaplanmış ve 37°C’lik etüvde da 90 dakika bekletilmiştir. Ardından 100 mL etil alkol ilave edilmiştir. Darası alınmış süzgeç kağıtlarından vakum altında süzölmüştür. Süzgeç kağıtlarındaki kalıntı iki defa 20 mL %78’lik etil alkol ile, 2 defa 10 mL % 95’lik etil alkol ve 2 defa 10 mL aseton ile yıkanmıştır. Süzgeç kağıtları 105°C’lik etüvde 2 saat kurutulmuş, desikatörde yaklaşık 2 saat soğutulmuş ve tartılmıştır. Süzgeç kağıtlarından biri 550°C’lik kül fırınında 6 saat küllendirilmiş, desikatörde yaklaşık 2 saat soğutulmuş ve tartılmıştır. Süzgeç kağıtlarından ikincisinde ise kjeldahl azot tayini yöntemi ile (% N x 6,25) kullanılarak protein tayini yapılmıştır. Eşitlik 3.15 ve eşitlik 3.16’ya göre diyet lif oranı hesaplanmıştır [110].

$$Kalıntı\ (W_r,\ mg) = (Süzgeç\ kağıdı\ darası + Kalıntı) - Süzgeç\ kağıdı \quad (3.15)$$

$$\text{Toplam diyet lifi \%} = \frac{W_r - (\text{Protein} + \text{Kül} / 100) \times \text{kalıntı} \times 100}{W_s} \quad (3.16)$$

W_r: Kalıntı (mg)

Kül: Kalıntıda yapılan kül %si

Protein: Kalıntıda yapılan protein miktarı %'si

W_s: Numune ağırlığı (mg)

3.2.5.6 Selüloz

Selüloz analizi TS 6932'ye göre gerçekleştirilmiştir. 3 g numune bir balona tartılarak, 95 °C – 100 °C'ye ısıtılan 200 mL sülfürik asit çözeltisi balona aktarılmıştır. Geri soğutucu bağlandıktan sonra, hızlıca ısıtılarak (yaklaşık 2 dakika) kaynama durumuna getirilmiş ve 30 dakika devam edilmiştir. Bu sırada balon çeperinde kalıntı kalmaması için ara sıra balon çevrilerek karıştırılmıştır. Kaynama süresi sonunda 50 mL soğuk su ilave edilmiş ve külsüz süzgeç kağıdında süzölmüştür. Süzöntü turnusol kağıdı ile asit reaksiyonu vermeyinceye kadar 50 mL sıcak su ile yıkanmış yıkanmıştır. Kalıntının ayrılması ve yıkanması işlemi 30 dakikadan daha kısa sürede bitirilmiştir. Kalıntı tekrar erlene alınmış ve üzerine 95°C-100°C'ye ısıtılan 200 mL NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. Geri soğutucu bağlanmış ve karışım 30 dakika kaynatılmıştır. Kaynama süresi sonunda yaklaşık 50 mL soğuk su ilave edilmiştir ve yine külsüz süzgeç kağıdından süzölmüştür. Önce 95 °C-100 °C' ye getirilmiş 25 mL sülfürik asit çözeltisi ile ve ardından su ile yıkanmıştır. Daha sonra aseton ile yıkanarak kurutulmuştur. Petrol eteri ile sabunlaşmadan kalan yağın ayrılması için yıkanarak, yakma kabına konmuştur. Etüvde 130°C'de kurutulmuştur. Desikatörde soğutulmuş tartılmıştır. Kurutmadan sonra kalıntı kül fırınında 550 °C'de sabit tartıma gelene kadar yakılmış, desikatörde soğutulmuş tartılmıştır [111].

$$\text{Selüloz \%} = (m_1 - m_2) \times \frac{100}{m} \quad (3.17)$$

m₁= Kurutulmuş kalıntı ve kabın kurutmadan sonraki toplam ağırlığı (%)

m₂= Kurutulmuş kalıntı ve kabın yakmadan sonraki toplam ağırlığı (%)

m= Deney numunesinin ağırlığı (g)

3.2.5.7 Yağ

Madde 3.2.1.2'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.8 Protein

Protein tayini Kjeldahl metodu uygulanarak belirlenmiştir. Kjeldahl sistemi (Behr InKjel 625P/S5/TB1, Almanya) infrared ısıtıcı, distilatör ve titratörden oluşmaktadır. 2 g kıyma numunesi tartılarak 20 mL H₂SO₄ eklenmiş ve ardından 2 adet Kjeldahl tableti (SIAL) ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım infrared Kjeldahl ısıtıcı ile yakılmıştır (30 dakika %50 güç; 30 dakika %70 güç ve 60 dakika %100 güç). Sistemin maksimum ısıtma gücü (%100) 1500 W'tır. Daha sonra yakılan karışım %40'lık NaOH ve %5'lik (w/v) borik asit ile seyreltilmiş ve ardından otomatik titratör yardımıyla 0,1 N HCl ile pH 4,6'ya ulaşıncaya kadar titre edilmiştir. Protein miktarının hesabında (Eşitlik 3.18) 6,25 faktörü kullanılmıştır [14].

$$\% N = \frac{[\text{Örnek için harcanan HCl (mL)} - \text{Şahit için harcanan HCl (mL)}] \times 0,014 \times 100}{(\text{HCl'in N} \times F) \times 100 / \text{örnek ağırlığı (g)}} \quad (3.18)$$

Hazır çorba için % protein değeri hesaplama ile g/L'ye çevrilmiştir

3.2.5.9 Tuz

TS 3190'ın refere ettiği TS 5000'e göre gerçekleştirilmiştir. 5 g numune tartılarak, üzerine kaynar su eklenmiş ve 5-10 dk bekletilmiştir. Örneğin sıcaklığı 50-55 °C'ye düşene kadar birkaç kez çalkalanarak karıştırılmıştır. Karışım üzerine 2 mL potasyum iyodür çözeltisi eklenerek, gümüş nitrat ile titre edilmiştir. Şahit olarak 100 mL distile su ve 2 mL potasyum kromat çözeltisi kullanılmıştır. Aşağıdaki formüle göre (Eşitlik 3.19) % tuz oranı hesaplanmış, daha sonra g/L'ye çevrilmiştir [109].

$$\%Tuz = 5,85 \times N \times (V1-V) / M \quad (3.19)$$

N= Gümüş nitrat çözeltisi normalitesi

V1= Numune sarfiyatı

V= Şahit sarfiyatı

M= Tartılan numune miktarı

3.2.5.10 Enerji Hesabı

Enerji hesabı eşitlik 3.20 ve 3.21'ye göre hesaplanmıştır [112].

$$\text{Karbonhidrat miktarı (\%)} = 100 - (\%rutubet + \%k\ddot{u}l + \%protein + \%yağ) \quad (3.20)$$

$$\text{Enerji miktarı (kcal/100 g)} = (\%Karbonhidrat \text{ miktarı} - \%diyet \text{ lifi}) \times 4 + (\%diyet \text{ lifi} - \%sel\ddot{u}loz) \times 2 + (\%Protein \text{ miktarı} \times 4) + (\%Yağ \text{ miktarı} \times 9) \quad (3.21)$$

3.2.5.11 Peroksit Değeri

Madde 3.2.3.7'de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.12 Renk

Madde 3.2.3.6'da belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.5.13 Duyusal Analiz

Duyusal özelliklerdeki değişimi belirlemek amacıyla mikrobiyolojik analiz sonuçlarını müteakip duyusal analiz testi uygulanmıştır. Duyusal analizler 9 panelist tarafından 9 skalalı (1-9 arası) hedonik gösterge çizelgesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazır çorba için görünüş, renk, koku, tat, kıvam ve genel beğeni kriterlerine göre inceleme yapılmıştır. 1 puan aşırı kötüyü, 9 puan ise mükemmeli temsil edecek şekilde skorlar değerlendirilmiştir.

3.2.6 Hazır Çorbanın Mikrobiyolojik Özellikleri

3.2.6.1 Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB)

FDA-BAM'a göre Plate Count Agar (PCA) sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüş ve petrilere katılaştıktan sonra uygun dilüsyonlardan ekim yapılarak 35°C de 48 saat süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra sayım yapılmıştır [113].

3.2.6.2 Toplam Maya-Küf

FDA-BAM'a göre Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC) agar sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüştür. Petriler katılaştıktan sonra uygun dilüsyonlardan ekim yapılarak 25°C'de 5 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra sayım yapılmıştır [114].

3.2.6.3 Koliform Bakteri

BS ISO 4882:2006 metoduna göre 10 g numune tartılarak üzerine dilüsyon sıvısı 90 mL MRD (Maximum Recovery Diluent) eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra gerekli seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. 10⁻¹ seviyesinden başlayarak poş petrilere 1 mL ekimler yapılmış ve hazırlanan VRBL (Violet Red Bile Lactose) besiyerinden 15 mL petriye dökülüp, karıştırılmıştır. 37°C' de 24 saatlik inkübasyon sonucunda petrillerdeki karakteristik üremeler kontrol edilmiştir. Doğrulama amaçlı seçilen tipik (mor menekşe renkli) kolonilerden durham tüpü ihtiva eden Brilliant Breen Bile Broth besiyerine geçiş yapılmıştır ve 37°C' de 24 saatlik inkübasyon sonucunda durham tüplerinde gaz oluşumunun varlığı pozitif sonuçları göstermiştir [115].

3.2.6.4 *Clostridium perfringens*

BS EN ISO 7937:2004'e göre analiz gerçekleştirilmiştir. 10 g numune tartılarak, üzerine 90 mL MRD (Maximum Recovery Diluent) eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra gerekli seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. 10⁻¹seviyesinden başlayarak boş petrilere 1 mL ekimler yapılır ve hazırlanan TSC (Tryptose Sulfite Cycloserine) besiyerinden 15 mL petriye dökülerek, karıştırılmıştır. Tüm inokülasyonlar anaerobik koşullar sağlandıktan sonra 37°C' de 24 saatlik inkübasyon sonucunda petrillerdeki karakteristik üremeler kontrol edilmiştir. İnkübasyon sonunda TSC agarda oluşan opak zonlu siyah renkli koloniler şüpheli *C. perfringens* kolonileridir. Seçilen şüpheli koloniler Thioglycollae Broth'a geçilerek ve anaerobik şartlarda 37±1°C' da 20 saat inkübe edilmiştir. Buradan 5 damla Durham içeren LS Broth'a eklenerek, 46 °C'de 18-24 saat su banyosunda inkübe edilmiştir. LS Broth

içerisindeki durham tüpünün çeyreğinden fazlasında gaz oluşumu ve siyah renk oluşumu pozitif kabul edilmiştir [116].

3.2.6.5 *Staphylococcus aureus*

BS EN ISO 6886-1:1999'a göre analiz gerçekleştirilmiştir. 10 g numune, 90 mL MRD (Maximum Recovery Diluent) ile homojenize edildikten sonra Baird Parker Agar besiyerine ekim yapılmıştır. Petriler 35±1°C 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. 48 saatlik inkübasyon sonunda her petrideki tipik ve atipik kolonilere koagülaz testi uygulanarak doğrulama yapılmıştır. Tipik kolonilerden Brain Heart Infusion (BHI) Broth besiyeri içeren tüplere geçiş yapılmıştır. 37°C' de 24 saatlik inkübasyon sonucunda BHI besiyerinde 0,1 mL alınmış ve 0,3 mL tavşan plazması içeren tüplere aktarılmıştır. 37°C de 4-6 saat inkübasyon sonrası koagülasyon gözlenen tüpler pozitif sonuç olarak değerlendirilmiştir [117].

3.2.6.6 *Bacillus cereus*

BS EN ISO 7932:2004'e göre analiz gerçekleştirilmiştir. 10 g numune tartılarak, üzerine 90 mL MRD (Maximum Recovery Diluent) eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra gerekli seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. 10⁻¹ seviyesinden başlayarak önceden hazırlanmış petriye dökülmüş MYP (Mannitol Egg Yolk Polymyxin Agar) besiyerlerine 1 mL ekimler yapılmıştır. Tüm inokülasyonlar 30°C'de 24 saatlik inkübasyon sonucunda petrilerdeki karakteristik üremeler kontrol edilmiştir. Tipik pembe zonlu koloniler kanlı agarda hemoliz testi uygulanmış, hemoliz zonu oluşturan koloniler pozitif sonuç olarak değerlendirilmiştir [118].

3.2.6.7 *Salmonella*

ISO 6579-1:2017'ye göre analiz gerçekleştirilmiştir. 25 g numune tartılmış, üzerine 225 mL ön zenginleştirme besiyeri BPW (Buffered Pepton Agar) eklenmiş ve 37°C'de 24 saatlik inkübasyon sonucunda daha önceden hazırlanmış seçici besiyerleri olan ve 10 mL tüplerde bulunan RVS (Rappaport vassiliadis soya broth) (0,1 mL geçiş) ve MKTTn (Muller Kaufman Tetrathionate novobiocin) (1 mL geçiş) besiyerlerine geçişler yapılmıştır. RVS (Rappaport Vasiliadis Soya Broth)

besiyerleri 41,5 °C'de MKTTn (Muller Kaufman Tetrathionate novobiocin) besiyerlerinin 37°C'de 24 saatlik inkübasyon sonucunda her iki seçici besiyerinden XLD (Xylose Lysine Desoxycholate) agar içeren petrilere çizimler yapılmış ve petrilere 37°C'de 24 saatlik inkübasyon sonucunda petrillerdeki karakteristik üremeler kontrol edilmiştir. Petrilerde gözlenen siyah kolonilerden API 20E test kiti kullanılarak doğrulama yapılmıştır [119].

3.2.7 İstatistiksel Analiz

Ölçümler üç replikasyon ile iki kez tekrarlanmıştır. Toplanan veriler JMP 9 (SAS, Cary, NC, ABD) kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Anlamlı bir ($p<0.05$) farklılık bulunduğunda, ortalama değerler Duncan'ın Çoklu Aralık Test'i (karşılaştırma testi) kullanılarak ayrıca analiz edilmiştir.

4.1 Taze Kıymanın Fizikokimyasal Özellikleri

Kurutulacak taze kıymanın kuru maddesi %24,44, yağ içeriği ise %24,07 (kuru maddede) olarak tespit edilmiştir.

4.2 Kurutma Karakteristiği Analizleri

Şekil 4.1’de nem içeriği VD, USV ve FD tekniği ile kurutulmuş kıyma numuneleri gösterilmiştir.

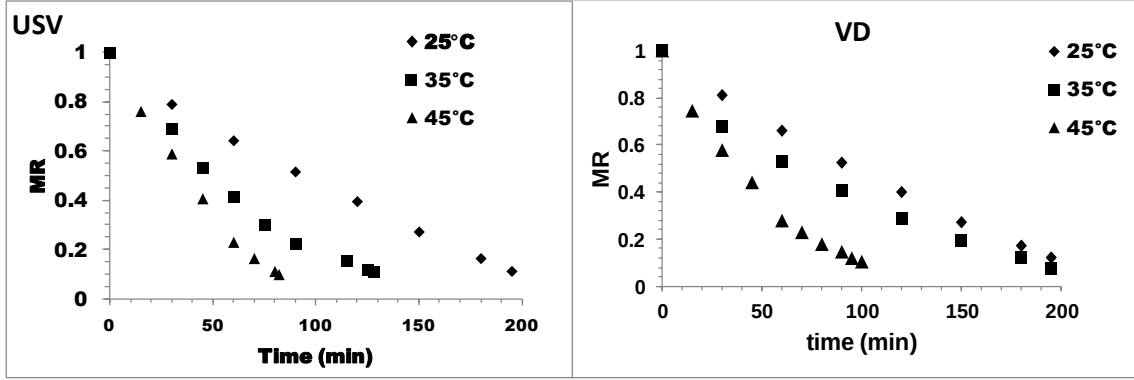


Şekil 4.1 Taze ve kurutulmuş kıyma numuneleri görüntüleri (1: 25 °C VD, 2:25 °C USV, 3: 35 °C VD, 4:35 °C USV, 5: 45°C VD, 6: 45 °C USV, 7: FD, 8: Taze)

4.2.1 Nem İçeriği

25 °C, 35 °C ve 45 °C’de USV ve VD teknikleriyle gerçekleştirilen işlemlere ait kuruma eğrileri Şekil 4.2’de yer almaktadır. Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi kuruma periyodunun başlangıcında MR hızlı bir düşüş göstermiştir. Bu durum hem USV hem de VD için sabit kurutma hızının gerçekleştiğini göstermektedir. Elde edilen bu sonuç, daha önce konu ile yapılan çalışmalar ile uyumludur. Başlar vd. [97]

somon ve alabalığı USV ile kuruttukları çalışmada, Gamboa-Santos vd. [104] çileği US destekli kurutma ve Kroehnke vd. [120] havuç dilimlerini US ve mikrodalga destekli kurutma yöntemleriyle kuruttukları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmada geçen zamanla kuruma hızının düşmesi, her iki metotta da azalan hızla kuruma periyodunun gerçekleştiğini göstermiştir.



Şekil 4.2 Farklı sıcaklıklarda USV ve VD teknikleri ile elde edilen kuruma eğrileri

Toplam kurutma süresi, hem kurutma yöntemine hem de sıcaklığa göre önemli ölçüde farklılık göstermiştir. En kısa kuruma süresi 45 °C'de USV kurutma tekniğinde 82 dakika olarak gözlenmiştir ve 45° C VD tekniğinde elde edilen 100 dk'lık kurutma süresine göre %20 daha az sürede kuruma sağlanmıştır. Sabit hız periyodu USV için 60 dak., VD için ise 70 dak.'dır. Toplam kuruma süresi 25 °C'de USV için 165 dak. ve VD için 195 dak. iken, 35 °C'de USV için 115 dak. ve VD için 125 dak.'dır. Ultrases uygulamasının bir sonucu olarak, difüzyon sınır tabakası değişmiştir. Bu değişiklik ultrasesin neden olduğu akustik dalgaların özellikleri ile açıklanabilmektedir [14, 82].

Başlar vd. [10] tarafından yapılan bir çalışmada; tavuk ve sığır etinin kurutma süresini azaltmak için ultrasonik vakum kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada USV ile daha kısa kuruma periyodu sağlanmış ve ultrasesin kurutma sürecini hızlandırdığı gözlenmiştir. Benzer sonuçlar Başlar vd. [97]'nin somon ve alabalığı; Tekin vd. 'nin [121] taze fasulyeyi USV ile kuruttukları çalışmalarda; ayrıca Kroehnke vd.'nin [120] havuç dilimlerini US destekli kurutma ile kuruttukları çalışmada elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, bahsedilen literatür çalışmalar ile uyumludur.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kurutma sıcaklığının yükseltilmesi, kurutma süresini önemli ölçüde azaltmıştır. USV ve VD teknikleri için yüksek sıcaklıklarda kuruma hızının artması, artan ısı ve kütle transferi sonucu artan su buharı basıncı ile açıklanabilmektedir.

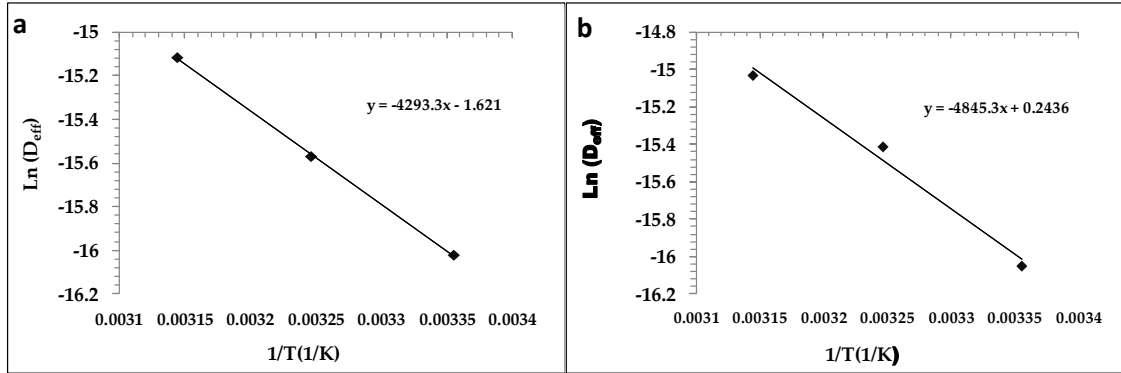
Katı malzemelerdeki ultrasonik dalgalar tarafından oluşturulan kuvvetler ve etkiler, sünger etkisine benzer bir etki oluşturmaktadır. Sünger etkisinin bir sonucu olarak su, katı partikülün iç kısmından yüzeye doğru çıkmaktadır. Ultrasonik dalgalardan kaynaklanan sistemdeki kuvvetler genellikle yüzey gerilim kuvvetinden daha büyüktür [14]. Bütün bu faktörler kütle transferine karşı iç direnci etkilemektedir.

Kurutma süresini azaltılması gıda endüstrisi için çok önemlidir. Özellikle et gibi yağ içeren gıdalara ısı işlem uygulanması sonucu meydana gelen yağ oksidasyonu, et ve et ürünlerinin kalite ve raf ömrü üzerinde önemli kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, yağ oksidasyonunun negatif etkisi, ultrasonik vakum kurutma tekniği kullanılarak azaltılabilmektedir. Yüksek kurutma sıcaklıklarının, nem içeriğinde hızlı bir azalmaya neden olduğu ve kuruma süresini kısalttığını gösteren ve yukarıda bahsedilen literatürdeki bazı çalışmalar bu çalışmayı desteklemektedir [14, 114].

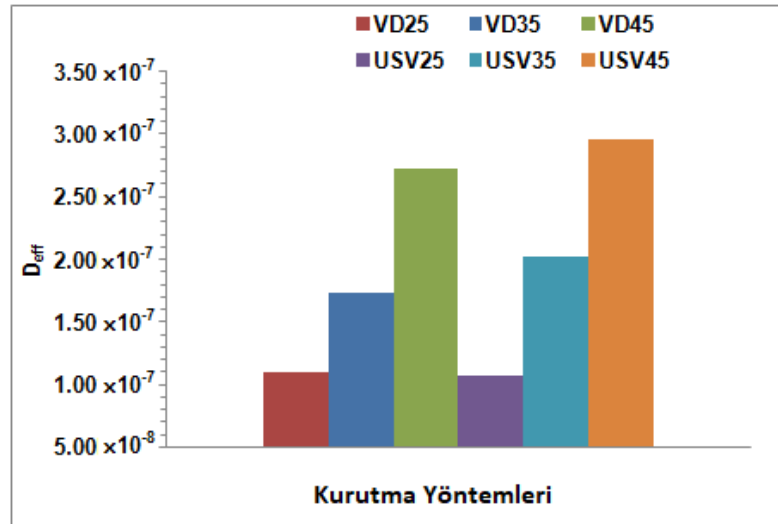
4.2.2 Etkin Nem Difüzyonu (D_{eff}) ve Aktivasyon Enerjisi (E_a)

Etkin nem difüzyonu (D_{eff}), nem transferi, fiziksel ve termal özelliklerin anlaşılması için gıdaların kurutulmasında önemli bir parametredir. Şekil 4.3 ve 4.4’te görüldüğü gibi sıcaklığın yükselmesi ile D_{eff} değerleri de artmıştır. D_{eff} değerleri USV için $1,07 \times 10^{-8}$ - $2,96 \times 10^{-8}$ m²/s, -ve VD için $1,10 \times 10^{-8}$ - $2,72 \times 10^{-8}$ m²/s olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar daha önce literatürde farklı gıdalarla yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Başlar vd.’nin [97] somon ve alabalığı USV kurutma ile; Doymaz ve Karasu [122]’nin da adaçayını sıcak hava ile kuruttuğu çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. D_{eff} değerleri açısından kıyaslandığında, 35 ve 45 °C’de USV tekniği ile elde edilen değerler, aynı sıcaklıklarda VD tekniği ile elde edilen D_{eff} değerlerinden daha büyüktür ($P < 0,05$).

Aktivasyon enerjileri ise VD tekniği için 35,69 kJ/mol ve USV tekniği için 40,28 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3 D_{eff} ve sıcaklık arasındaki Arrhenius tipi ilişki (a: VD, b: USV)



Şekil 4.4 Sıcaklık ve farklı kurutma metotlarının D_{eff} üzerine etkisi

4.2.3 Rehidrasyon Oranı

Kurutulan örneklerin büzülme ve rehidrasyon kapasitesi değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1’de gözüktüğü gibi rehidrasyon oranı, sıcaklık ve uygulanan metoda göre önemli ölçüde değişmiştir ($P < 0,05$). Dondurularak kurutulmuş kıyma örneklerinin rehidrasyon değerleri, vakumla kurutma ve USV teknikleri ile elde edilenlerden daha yüksektir. USV ile kurutulmuş numunelerin rehidrasyon oranı, VD ile kurutulmuş örneklerden daha yüksek tespit edilmiştir. Bu durum ultrasonik proses sonucu gözenekli yapının oluşumu ile açıklanabilmektedir. VD ve USV teknikleri için en yüksek rehidrasyon değerleri 35 °C’de elde edilmiştir. Bu durum

makul bir kurutma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak gıdanın yapısının daha az deforme olması ile açıklanabilmektedir. USV tekniğinde sıcaklık arttıkça rehidrasyon değerlerindeki dalgalanmanın, sıcaklık etkisiyle mikroyapının değişmesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Jambrak vd. [123] tarafından mantarın bazı kalite parametreleri üzerinde farklı kurutma tekniklerinin etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada en iyi rehidrasyon oranı, bu çalışmada da olduğu gibi FD ile kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada elde edilen sonuçlara göre ultrases kurutma işlemi ile elde edilen rehidrasyon oranı, konvansiyonel yöntemlere göre daha yüksektir. Yazarlar, uygulanan ultrases gücünün (20 kHz probu ile) daha büyük iç stresin gelişmesine ve gözeneklerin oluşumuna yol açabileceğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada, ultrases ön işleminin havuç dilimlerinin bazı kalite parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ultrasonik ön işleme tabi tutulan örneklerin rehidrasyon oranının daha fazla olduğu bildirilmiştir [124]. Çilek dilimlerinin US destekli osmotik dehidrasyon sonrası sıcak hava ile kurutulduğu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir [125]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yukarıda bahsedilen çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur. Elde edilen bilgiler sonucunda, kıyma örneklerinin kurutulması için rehidrasyon özellikleri açısından, dondurarak kurutma ve alternatif olarak düşük sıcaklık USV teknikleri tercih edilmiştir. Rehidrasyon oranı arttıkça, suyun absorpsiyonu da artmış ve orijinaline daha yakın bir formda son ürün elde edilmiştir.

Laopoolkitve ve Suwannaporn [7], endüstriyel olarak yüksek rehidrasyon kabiliyetine sahip kurutulmuş etlere ihtiyaç duyulduğu ve bu amaçla daha ekonomik çalışmalar yapılmasının önemli olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4. 1 Farklı kurutma yöntemlerinin büzülme ve rehidrasyon kapasitesi üzerine etkisi

Metod	Büzülme			Rehidrasyon Oranı		
	Sıcaklık (°C)			Sıcaklık (°C)		
	25	35	45	25	35	45
VD	22,14±0,07 ^{Ca}	30,00±1,52 ^{Ba}	37,14±0,71 ^{Aa}	1,40±0,09 ^{Bc}	1,45±0,02 ^{Ac}	1,27±0,09 ^{Cc}
USV	21,42±0,06 ^{Aa}	25,71±0,58 ^{Bb}	29,28±0,87 ^{Ab}	1,49±0,04 ^{Bb}	1,54±0,05 ^{Ab}	1,31±0,03 ^{Cb}
FD	17,14±1,26 ^b	17,14±1,26 ^c	17,14±1,26 ^c	1,93±0,05 ^a	1,93±0,05 ^a	1,93±0,05 ^a

Aynı sütun boyunca farklı küçük harfler kurutma metotları arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir (P<0,05).

Aynı satır boyunca farklı büyük harfler kurutma parametreleri arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir (P<0,05).

4.2.4 Büzülme Oranı

Kıymaların büzülme özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Tablo 4.1’de görüldüğü gibi, VD ve USV tekniklerinde, sıcaklığın artmasıyla büzülme oranı artmıştır. Kaveh vd. [126]’nin badem çekirdeği ve Nowacka vd.’nin [127] elma dilimlerini US ön işlemi uygulanarak gerçekleştirdiği kurutma çalışmalarında da, yüksek sıcaklıkta büzülme değerinin arttığı bildirilmiştir.

Bu çalışmada vakum tekniği ile kurutulan numunelerin, aynı sıcaklıkta USV tekniği ile kurutulmuş numunelerden daha yüksek büzülme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, USV ile kurutulan numunelerde ultrasonik işlemin kuruma süresini azaltması sonucu, yapıda daha düşük büzülmeye yol açması ile açıklanabilmektedir. Benzer şekilde Liu vd. [128] ökaliptus yaprakları ile yaptıkları çalışmada ultrases ön işlemiyle daha düşük büzülme değerleri elde etmiştir.

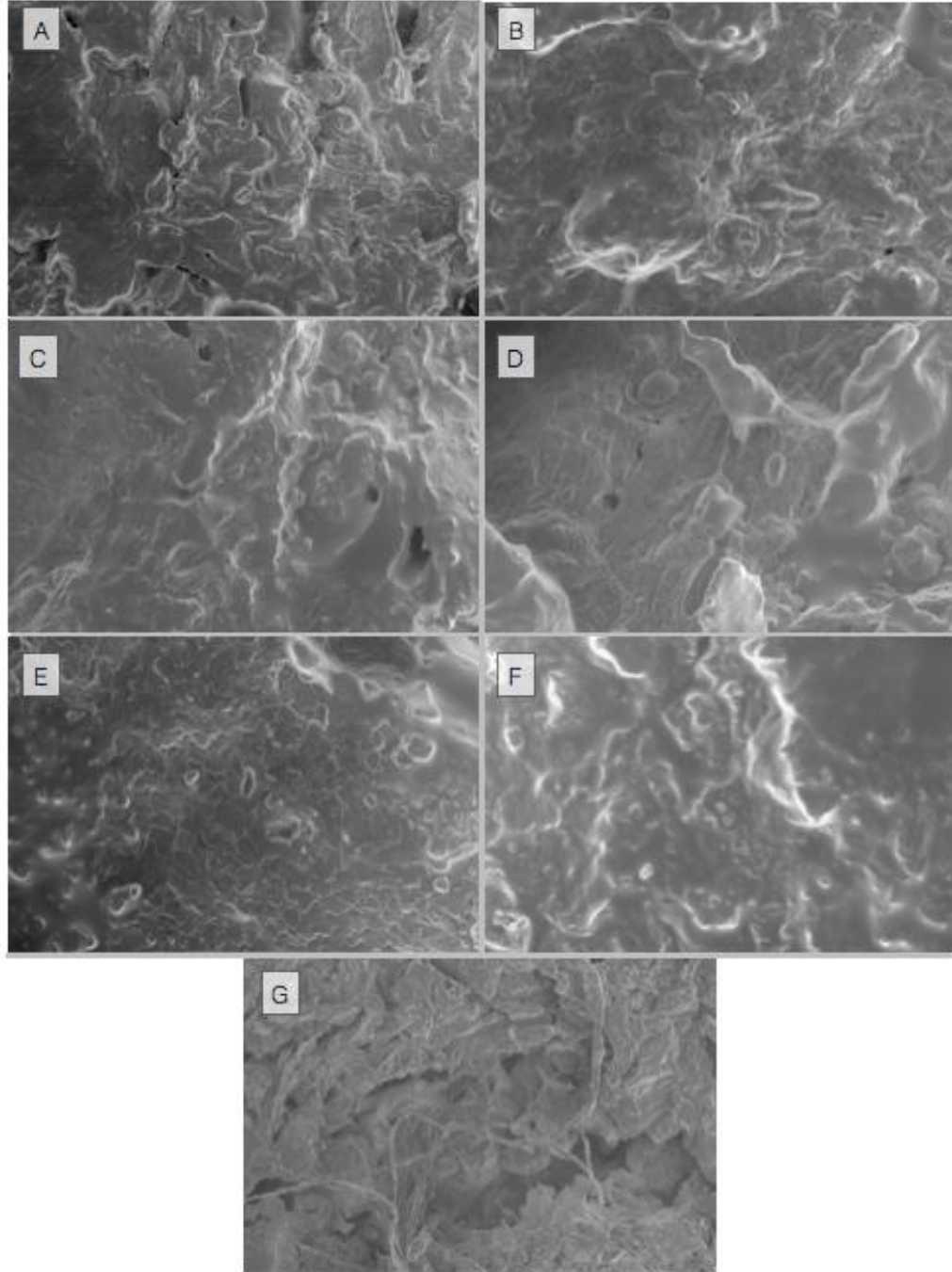
Kurutulmuş kıyma örnekleri için düşük büzülme değerleri oldukça önemlidir. Tablo 4.1’de görüldüğü gibi FD ile kurutulmuş kıyma örneklerinin büzülme oranı, VD ve USV teknikleri ile elde edilen değerlere göre daha düşüktür. Düşük büzülme oranına sahip kurutulmuş kıyma numuneleri daha kararlı mikroyapısal özelliklere sahiptir. Bu durum camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ile açıklanabilir. Bu teoriye göre bir materyal camsı geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklara maruz bırakılırsa, yapısında çok sayıda gözenek ya da daha az çökme meydana gelmektedir. FD tekniğinde kurutma sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığının altında olduğundan üründe çok az büzülmeye ve oldukça gözenekli bir yapıya neden olmaktadır. Sıcak hava ile

kurutma sistemlerinde ise kurutma sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığının üzerinde olduğundan önemli ölçüde büzülme meydana gelmektedir [129].

4.2.5 Mikroyapı

Farklı kurutma tekniklerinin ve koşullarının, kurutulan kıyma örneklerinin mikroyapısal özellikleri üzerine etkisi SEM ile gözlenmiştir. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi farklı sıcaklıklarda farklı kurutma teknikleri, farklı mikroyapıların oluşmasına neden olmuştur. USV tekniği kullanılarak elde edilen numuneler, vakum kurutma tekniği ile kurutulan örneklerden daha açık bir yapıya ve gözenekliliğe sahiptir. USV kurutma tekniği ile vakum kurutma tekniğine kıyasla numunelerde daha az büzülme gözlenmiştir. Bunun nedeninin daha kısa kuruma süresi ve suyun iç yüzeyde buharlaşması olduğu ifade edilebilmektedir. Rajewska ve Mierzwa [130] yaptıkları bir çalışmada ultrasesin soğan dokusundaki mikrokanaallara hasar verdiği için porozitenin ve hücre içi boşlukların arttığını ortaya koymuşlardır.

Bununla birlikte, sıcaklık artışı ile her iki kurutma tekniğinde de gözenekli yapıların yüzeyinin yağ nedeniyle kapanmasından dolayı büzülme meydana gelmiştir. Bu durum et ürünlerinde istenen bir durum değildir. Ayrıca Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi FD ile kurutulan örneklerin porozitesi ve açık yapısı, VD ve USV ile kurutulanlardan daha iyidir. Bunun nedeni düşük sıcaklıklarda porozite ve açık yapının daha az zarar görmesidir. Sabarez, Gallego-Juarez ve Riera [131] tarafından elma dilimleri ile yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Farklı sıcaklık ve metodlarla kurutulan kıyma örneklerinin SEM görüntüleri (A: 25 °C VD, B: 25 °C USV, C: 35 °C VD, D:35 °C USV, E: 45 °C VD, F: 45 USV, G: FD).

4.2.6 Renk

Farklı kurutma teknikleri kullanılarak kurutulan kıyma örneklerinin renk özelliklerini değerlendirmek için Hunter renk skalası kullanılmıştır. Tablo 4.2'de gösterildiği gibi 45 °C 'de VD tekniği ile kurutulan kıyma numunesi en yüksek ΔE değerine (taze ve kurutulmuş örnekler arasındaki renk farkı) sahiptir. Bu durum, uzun süre uygulanan yüksek sıcaklığın renk kaybına ve daha koyu bir görünüme neden olabileceğini göstermektedir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi, 45 °C'de USV uygulaması aynı sıcaklıkta VD ile karşılaştırıldığında, ürünün renk özelliklerinde daha az değişikliğe neden olmuş, başka bir deyişle renk özelliklerini daha iyi koruyabilmiştir.

Kurutma esnasında meydana gelen renk değişimi oksidasyon, etin yüzey yapısının değişmesi ve non-enzimatik kararma reaksiyonları ile açıklanabilmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıcaklık artışı VD ve USV kurutma tekniğiyle kurutulmuş kıyma örneklerinde renk kaybına neden olmuştur. VD ve USV tekniği ile kıyaslandığında, FD ile kurutulan örneklerde renk daha iyi korunabilmiştir. FD ile kurutulan örneklerin L^* değeri, diğer metodlarla kurutulan örneklerinkinden daha yüksektir. Bu durum FD ile kurutulan numunelerdeki yüksek gözenekli yapının yüzeyden daha düzgün bir ışık yansımaya ve kısmen yarı saydam bir nesne gibi gözükmesine neden olması ile açıklanabilir [125]. Bu nedenle kıyma örneklerinde FD tekniği ile renk daha iyi korunabilmektedir. Amami vd. [125] çilek üzerinde gerçekleştirdiği ultrases destekli kurutmada, geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla daha düşük renk değişimi gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Mendez-Calderon, Ocampo-Castano ve Orrego [132] tarafından mango ile yapılan çalışmada da, ultrases destekli işlemle üründe daha düşük renk değişimi sağlandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada da VD ile kıyaslandığında USV ile kurutulan örneklerde daha az renk değişimi tespit edilmiştir.

Literatürde FD yöntemi ile kurutulan etlerin organoleptik özelliklerinin iyi olmadığı, uçucu bileşen, aroma ve renk kaybının gözlemlendiği belirtilmektedir. Ayrıca FD ile kurutulan etler kontaminasyona açıktır ve dondurulma koşullarından doğrudan etkilenmektedir [38].

Farkas ve Singh [94] tavuk etlerini FD tekniği ile kuruttukları çalışmada, hızlı dondurulan örneklerin renginin, daha yavaş dondurulan örneklerinkine göre daha beyaz olduğunu gözlemiştir. Bunu sebebinin hızlı dondurma işlemi sonucu çok sayıda küçük buz kristalleri oluşumunun neden olduğu gözenek yapısının ürünün renginin daha parlak-açık göstermesi olduğu belirtilmiştir. Benzer durum FD tekniği ile kurutulan kahveler için de geçerlidir.

Tablo 4.2 Farklı kurutma metodu ve sıcaklıklarının kıymanın renk kalitesi üzerine etkisi

Yöntem	ΔL			Δa		
	Sıcaklık (°C)			Sıcaklık (°C)		
	25	35	45	25	35	45
	25	35	45	25	35	45
VD	6,04±0,07 ^{cB}	10,00±1,41 ^{bB}	16,18±0,10 ^{aA}	4,39±0,09 ^{bB}	2,69±0,02 ^{cB}	9,73±0,15 ^{aA}
USV	7,8±0,03 ^{bA}	11,98±0,10 ^{aA}	12,18±1,44 ^{aB}	4,04±0,07 ^{bB}	0,74±0,00 ^{cC}	7,91±0,09 ^{aB}
FD	6,64±0,01 ^B	6,64±0,01 ^C	6,64±0,01 ^C	6,09±0,01 ^A	6,09±0,01 ^A	6,09±0,01 ^C
	Δb			ΔE		
	Sıcaklık (°C)			Sıcaklık (°C)		
	25	35	45	25	35	45
	25	35	45	25	35	45
VD	3,55±0,07 ^{cA}	4,55±0,09 ^{bA}	8,75±0,09 ^{aA}	8,27±0,06 ^{cB}	11,31±0,03 ^{bA}	20,81±0,05 ^{aA}
USV	3,82±0,01 ^{bA}	3,05±0,09 ^{bB}	7,67±0,10 ^{bB}	9,58±0,09 ^{cA}	12,38±1,04 ^{bA}	16,42±1,28 ^{aB}
FD	2,48±0,00 ^B	2,48±0,00 ^C	2,48±0,00 ^C	9,34±0,80 ^A	9,34±0,80 ^B	9,34±0,80 ^C

Aynı satır boyunca farklı küçük harfler kurutma parametreleri arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir ($P<0,05$).

Aynı sütun boyunca farklı büyük harfler kurutma metotları arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir ($P<0,05$).

VD: Vakum kurutma, USV: Ultrases destekli vakum kurutma, FD: Dondurarak kurutma.

4.2.7 Peroksit Değeri

Taze ve kurutulmuş örneklerin peroksit değerleri (PD) Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Peroksit oluşumu uygulanan metoda ve sıcaklığa bağlı olarak önemli derecede değişmektedir. Tablo 4.3'te görüldüğü gibi peroksit değerleri VD için 5,71–6,91, USV için ise 5,02–5,63 arasında belirlenmiştir. Aynı sıcaklıklarda USV ile kurutulan örneklerin peroksit değerleri, VD ile kurutulan örneklerinkine göre daha düşüktür. En yüksek PD (10,42) FD ile kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. FD tekniği kullanılarak Rahman vd. [133] tarafından et ile ve Rahman vd. [134] tarafından ton balığı ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumludur. Bu çalışmalarda da FD ile kurutulan örneklerin peroksit değeri, sıcak hava ile kurutulan örneklerin peroksit değerinden daha yüksektir. Rahman vd. [134], et ürünlerinde yüksek porozite ve geniş yüzey alanına sahip örneklerde, yüzeyden iç kısma doğru oksijen transferinin arttığını ve kurutma sıcaklığının önemli derecede peroksit değerini yükselttiğini belirtmişlerdir. Bu durum, artan sıcaklıkla birlikte çoklu doymamış yağ asitlerinin ısı oksidasyon hızının artmasıyla açıklanabilmektedir. Oksidasyonun aktivasyon enerjisi, hidroperoksitlerin serbest radikallere parçalanmasına neden olacak şekilde azaltılmış olabilir [135].

Tablo 4.3 Taze ve Kurutulmuş Örneklerin Peroksit Değerleri

Kurutma metodu	PD (mEq O ₂ /kg)		
	Sıcaklık (°C)		
	25	35	45
Taze	0,96±0,02 ^D	0,96±0,02 ^D	0,96±0,02 ^D
VD	5,71±0,04 ^{cB}	5,97±0,04 ^{bB}	6,91±0,06 ^{aB}
USV	5,02±0,01 ^{bC}	5,61±0,01 ^{aC}	5,63±0,02 ^{aC}
FD	10,42±0,29 ^A	10,42±0,29 ^A	10,42±0,29 ^A

Aynı satır boyunca farklı küçük harfler kurutma metodları arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir (P<0,05).

Aynı sütun boyunca farklı büyük harfler kurutma parametreleri arasında istatistiksel olarak fark olduğunu gösterir (P<0,05).

4.2.8 Uçucu Bileşen

Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) olarak Tablo 4.4'te verilmiştir. Kurutma yöntemlerinin ve sıcaklıklarının uçucu bileşen içeriğini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Deng vd. [40] tarafından kalamar üzerinde yapılan çalışmada ve Dominguez vd. [41] tarafından yapılan et üzerinde farklı pişirme metotlarının (kavurma, ızgara, mikrodalga ve kızartma) uygulandığı çalışmalarda ortaya konulmuştur.

Deng vd. [40] tarafından yapılan çalışmada çiğ kalamarda tespit edilen uçucu bileşenlerden birçoğu, sıcak hava ile kurutma, ısı pompalı kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerde tespit edilememiştir. Bunun nedeni kurutma prosesi sonucu uçucu bileşenlerden çoğunun buharlaşması olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada da taze kıymada tespit edilen uçucu bileşenlerin çok büyük bir kısmı VD, USV ve FD yöntemleri ile kurutulan örneklerde tespit edilememiştir. Söz konusu çalışmada kurutma sonucu uçucu bileşenlerin sayısının azaldığı ancak toplam uçucu bileşen içeriğinin ise arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada da kurutulmuş kıyma numunelerinin uçucu bileşen içeriğinin arttığı saptanmıştır.

Dominguez vd. [41] tarafından yapılan çalışmada aldehitlerin pişmiş etlerde, esterlerin ise çiğ ette yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da kurutulmuş örneklerde aldehit oranı %49,82-80,32 aralığında iken taze kıymada aldehit tespit edilememiştir. Ester oranı ise kurutulmuş kıymada %1,75 – 13,7 aralığında iken taze kıymada % 40,71 oranında saptanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, bahsedilen çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumludur. Aynı çalışmada ester ve ketonların ısı işlem sonucu azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise artan sıcaklık ile ester oranında önemli bir azalma gözlenmemiştir. Bunun nedenin 45 °C'yi aşmayan ve çok yüksek olmayan sıcaklıkların uygulanması olabileceği düşünülmüştür.

Yine Dominguez vd. [41] yaptıkları çalışmada aldehit ve hekzanal içeriği ile TBARS değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğunu, bu bileşenlerin pişmiş etteki lipid oksidasyon derecesini temsil ettiğini, ester içeriği ile TBARS değerleri arasında ise negatif bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada da peroksit değerleri ile

oksidasyonun göstergesi olarak kabul edilen aldehit ve hekzanal içeriği arasında pozitif, ester içeriği arasında ise negatif bir ilişki konusudur.

Huang vd. [42] tarafından yapılan ve mantarların güneşte kurutma, sıcak hava ile ve dondurarak kurutma metodları ile kurutulduğu bir çalışmada, maksimum uçucu bileşenin dondurarak kurutma tekniği ile elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun nedeninin sıcaklığın mümkün olduğu kadar düşük tutulması nedeniyle orijinal uçucu bileşenlerin mükemmel bir şekilde korunabilmesi olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ise söz konusu çalışmadan farklı olarak, taze kıymada aldehit tespit edilememişken, benzer şekilde FD tekniği ile en yüksek oranda aldehit elde edilmiştir. Bunun nedeni ise diğer yöntemlere göre sahip olduğu en yüksek peroksit değerinden de anlaşılacağı gibi FD ile kurutulan numunelerde oksidasyonun fazla olması sonucu uçucu aldehit bileşenlerinin meydana gelmesi olabilir.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ		METOT							
ALDEHİT (%)	25 °C.VD	25 °C USV	35 °C.VD	35 °C USV	45 °C.VD	45 °C USV	FD	TAZE	
Hexanal	43,73	41,36	43,92	48,5	54,45	42,77	59,23	1)TE	
Heptanal	6,62	5,61	9,46	8,91	8,18	6,86	13,9	1)TE	
Octanal	2,08	1,15	2,39	1,25	1,89	1,94	3,74	1)TE	
Nonanal	2,06	1,7	1,99	1,94	2,26	2,36	3,45	1)TE	
2-Butenal, 2-methyl-, dimethylhydrazone (Dimethylhydrazone 2-methyl-2-butenylaldehyde)	1)T.E.	1)T.E.	1,12	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	
Cyclopropanecarbaldehyde-cis-1,2,3-d3	1,86	0	0	0	0	0	0	0	
TOPLAM ALDEHİT %	56,35	49,82	58,88	60,6	66,78	53,93	80,32	0	
ESTER (%)									
Hexanoic acid, methyl ester (Methyl caproate)	3,94	3,12	5,58	4,91	3,62	4,76	0,98	1)TE	
Hexanoic acid, 2-methyl-, 1-methylpropyl ester	1)TE	1)TE	1)TE	1)TE	1)TE	1)TE	1)TE	6,6	
Hexanoic acid, 2-ethyl-, methyl ester	1)TE	1)TE	1)TE	1,54	0,65	2,27	1)TE	1)TE	
Hexanoic acid, ethyl ester (Ethl n-caproate)	1)TE	1)TE	1,5	1,27	1,9	1,88	1)TE	1)TE	
Heptanoic acid, methyl ester	1)TE	1)TE	1,69	1,57	1)TE	1)TE	1)TE	1)TE	
Heptanoic acid, 2-ethyl-, methyl ester (Methyl 2-ethylheptanoate)	1)T.E.	1,54	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	

1)T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
ESTER (%)								
7-(2-(3-oxo-1-octenyl)-3-hydroxy-5-oxocyclopentyl)-2(Z)-heptenoic acid methyl ester	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,78	1,1E.	1,1E.
1,2,4-Benzenetricarboxylic acid, cyclic 1,2-anhydride, decyl ester	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,02	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.
Octanoic acid, methyl ester (Methyl octanoate)	1,14	0	1,69	1,26	1,32	1,1E.	0,77	1,1E.
Butanoic acid, ethyl ester (Ethyl butyrate)	1,19	1,11	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.
Tetracyclo[3.3.0.0(2.4).0(3.6)]oct-7-ene-4-carboxylic acid, methyl ester	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	0,3	1,1E.	1,1E.	1,1E.
Acrylsaeure, Bornylester	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,03	1,1E.	1,1E.	1,1E.
Acetic acid, trifluoro-, 4-chlorophenyl ester (p-chlorophenyl trifluoroacetate)	1,1E.	1,1E.	1,1E.	2,13	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.
.beta.-D-arabino-Hexopyranose, 2-(acetylamino)-2,3-dideoxy-, 1,4,6-triacetate	1,1E.	1,1E.	1,12	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.
Riboflavin, 2',3',4',5'-tetraacetate	1,1E.	1,1E.	1,28	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.	1,1E.

1,1E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
ESTER (%)								
Methyl (E,E)-7-nitro-2,6-octadienoate	1)T.E.	1,41	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	0
Exobornyl acetate	1,28	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,3
8.alpha.-Podocarp-13-en-15-oic acid, 8,12.alpha.-dihydroxy-13-isopropyl-, methyl ester	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,34
Benzoic acid, methyl ester (Methyl benzoate)	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,28
Dibutyl chlorophosphate	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,05
Phorbol myristate acetate	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,92
D-ribo-Hexitol, 2-(acetylamino)-1,5-anhydro-2,3-dideoxy-, 4,6-diacetate	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,74
Octadecanoic acid, 9,10-dihydroxy-, methyl ester, (R*,R*)- (Methyl threo-9,10-dihydroxystearate)	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,6
Malonic acid, thio-, S-ester with N-(2-mercaptopethyl)octanamide (s malonyl-n-octanoyl cysteamine)	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	2,88
Phthalimidomethyl(ethoxy)phosphorylaminomethyl(ethoxy)phosphorylalanineethyl ester	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3

1,7E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
ESTER (%)								
TOPLAM ESTER %	7,55	7,18	12,86	13,7	8,82	10,69	1,75	40,71
TERPEN %								
.Alpha.-pinene, (-)-	6,14	9,73	3,68	3,05	3,64	2,92	3,11	11T.E.
(-)-.beta.-pinene (2-.Beta.-Pinene)	1,74	2,64	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.	0,64	11T.E.
Camphene	1,95	3,06	11T.E.	2,16	11T.E.	11T.E.	1,25	11T.E.
l-Limonene	2,8	3,33	2,41	2,26	2,15	2,03	1,37	4,08
Styrene	11T.E.	11T.E.	6,45	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.
Benzene, (2,2-dimethyl-1-methylenepropyl)- (.alpha.-tert-butylstyrene)	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.	1,21	11T.E.	11T.E.	11T.E.
.Beta.-myrcene	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.	0,63	11T.E.	0,69	11T.E.
Eucalyptol (1,8-Cineole)	2,43	6,16	2,6	2,26	2,16	11T.E.	2,02	11T.E.
Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)- (o-cymene)	1,36	1,45	11T.E.	11T.E.	11T.E.	11T.E.	0,7	11T.E.
TOPLAM TERPEN %	16,42	26,37	15,14	9,73	9,79	4,95	9,78	4,08

11T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
KETON (%)								
3-Octanone, 2-methyl (2-Methyl-3-octanone)	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	2,28	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.
2,3-Octanedione	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	2,36	1,T.E.	1,T.E.
Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, cis- (Isomenthone)	1,28	1,T.E.	1,T.E.	1,21	1,T.E.	1,T.E.	0,64	6,06
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2,3-dimethoxy-5-methyl- (2,3-Dimethoxy-5-methyl-1,4-benzoquinone)	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	4,22
5-Phenylcyclohexane-1,3-dione	1,T.E.	1,14	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.
2-(1-Phenylselanylmethyl-propyl)-isindole-1,3-dione	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,76	1,T.E.	1,T.E.
Tetrahydroaracurone	1,T.E.	1,T.E.	1,17	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.
2-Carboxytetrachlorophenyl biphenyl-2-yl ketone	1,T.E.	1,T.E.	1,52	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.
(Z,Z)-4-Ethyl-3-methyl-5-(5-(3,4-dimethyl-1H-pyrrolyl-2-methyle)-3,4-dimethyl-5H-pyrrolyl-2-methyle)-3-pyrrolin-2-on	1,T.E.	1,17	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.
Androst-8-en-11-one, (5.alpha.)-	1,06	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.	1,T.E.

1,T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
KETON (%)	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
5.alpha.-Pregnane-12,20-dione, cyclic 12- (ethylene mercaptole)	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	0,56	1)T.E.
TOPLAM KETON %	2,34	2,31	2,69	3,49	1)T.E.	4,12	1,2	10,28
ALKOL %								
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)- (3-p-Menthanol)	1,97	1)T.E.	1,22	1,53	1)T.E.	1,93	1)T.E.	1)T.E.
1,3-Cyclohexanediol, cis- (cis-1,3- Cyclohexanediol)	1)T.E.	1)T.E.	1,14	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
(+)-Isomenthol	1)T.E.	1,73	1)T.E.	1)T.E.	1,2	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
1-Butanol, 3-methyl- (3-Methyl-1-butanol)	1,42	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
2-Hexanol	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,12	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
1-Heptanol (Heptanol)	1)T.E.	1)T.E.	1,21	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
1-(2'-ethenyl-1'-cyclohexenyl)-2,2- dimethyl-1-propanol	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,59	1)T.E.	1)T.E.
4-(2-hydroxy-3-bromo-5- nitrobenzylideneamino) veratrole	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,23	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
1,3-Dioxolane-4-methanol, 2,2-dimethyl- (1,2-O-isopropylideneglycerol)	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,15	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.

1,T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
ALKOL %								
TOPLAM ALKOL %	3,39	1,73	3,57	3,91	4,32	3,52	10T.E.	10T.E.
DİĞER %								
1,3,5,7-Cyclooctatetraene (Cyclooctatetraene)	5,44	4,15	10T.E.	10T.E.	6,46	7,88	1,79	10T.E.
anti-2-Thiatricyclo[4.1.0.0(3,5)] heptane // Homothiophen	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,79	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.
N-[1-(2,4-Difluoroanilino)-2,2,2-Trifluoro-1-	10T.E.	10T.E.	10T.E.	2,45	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.
Bicyclo [2.2.1]heptane, 2-chloro-1,7,7-trimethyl-, exo -	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,12	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.
L-Proline, 1-[(2,4-dichlorophenoxy)acetyl]- (2,4-D Proline)	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,38	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.
Heptafluoro-1,1-bis (trifluoromethyl) butyl n-(3,4-	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,83	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.
3-Aza-A-homoandrostan-16-ol, (5.beta.,16.beta.)- (16.Beta.-hydroxy-3-aza-a-homo-5.beta.-androstane)	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,44	10T.E.	10T.E.
Trans-2,3-epoxyoctane	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.	10T.E.	1,42	10T.E.	10T.E.

10T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ		METOT						
DİĞER %	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
Digitoxin	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	2,53	1)T.E.	1)T.E.
Oxirane, decyl-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,37	1)T.E.	1)T.E.
L-Lysine, N6-[2-(2-furanyl)-2-oxoethyl]-N2,N6-bis(trifluoroacetyl)-, methyl ester	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,47	1)T.E.	1)T.E.
Methyl (3R)-6t,9-dihydroxy-8-methylene-(11at)-5,6,7,8,9,10,11,11a-octahydro-3r,11bc-epoxido-6ac,9c-methanocyclohepta[a]naphthal	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,22	1)T.E.	1)T.E.
2-Keto-3-methylene-5-methyltetrahydrothiophene	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	2,53	1)T.E.	1)T.E.
N,N-Bis (4'-P-Bromophenylsulfonyl-2'-Butynyl)-4-Anisidine	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,74	1)T.E.	1)T.E.
3-Bromo-1',4-dihydroxy-2,3'-dimethyl-4',5,5',8,8'-pentamethoxy-1,2'-binaphthalene	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1,19	1)T.E.	1)T.E.
Pentanedioic acid	1)T.E.	1)T.E.	1,19	1)T.E.	1)T.E.	0	1)T.E.	1)T.E.

1)T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	DİĞER %	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	TAZE
Viridicatumtoxin		1)T.E.	1)T.E.	1,15	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
8.Alpha.,9.alpha.-Dimethylmethylenedioxy-7.beta.,10.alpha.-dihydroxy-7,8,9,10-Tetrahydrobenzo(a)pyrene		1)T.E.	1)T.E.	1,79	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
2-Chloro-5-dimethylaminomethylene aminopyrimidine		1)T.E.	1)T.E.	1,56	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Butanedioic acid, mercapto-		1)T.E.	1)T.E.	1,17	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Guanidine, N,N-dimethyl-		1)T.E.	1,4	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
N-Benzoyloxycarbonyl-L-tyrosine		1)T.E.	1,28	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Spiro[9H-fluorene-9,2'(3'H)-thiophen]-4-amine, 4',5'-dihydro-N,N,3'-trimethyl-, 1',1'-dioxide		1)T.E.	1,21	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
4-Methoxy-2-(2-dimethylaminoethyl)-3-ethyl-1,2,3,4-tetrahydro-1-methylene carbazole		1)T.E.	1,7	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
rel-(2aR,4aS,5S,6S,8aS,12bS,12cS,12dR)-2a,3,4,4a,5,6,7,8a,12b,12c-decahydro-6-methyl-2H-5,12d-ethanofuro[4',3',2':4,10]anthra[9		1)T.E.	1,57	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
1,1'-Biphenyl, 2,2',3,3',4,5-hexachloro-		1)T.E.	1,28	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.

1)T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
DİĞER %								
1,2-Tetramethylenediborane	2,55	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Thiazolidine, 2-methyl-	1,1	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Permethyl-.Alpha.-D-Glucopyranosyl-(1-2)-.Beta.-D-Glucopyranose	1,26	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.
Ergoline-8-carboxamide, 10-methoxy-6-methyl-, (8.beta.)-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,84
3-ethyl-5-methyl-1,2,4-trithiolane	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,26
4H-Naphtho[1,2-b]pyran-4-one, 3-acetyl-2-methyl-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,55
2-(4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1-phenyl-4-pyrazolyl)-5-nitrobenzoic acid	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,06
2-methylthio-(1,2-dideoxy-.alpha.-D-galactofurano)[1,2-D]-2-oxazoline	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,19
2-Naphthacenecarboxamide, 4-(dimethylamino)-1,4,4a,5,5a,6,11,12a-octahydro-3,6,10,12,12a-pentahydroxy-1,11-dioxo-, [4S-(4.alpha	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,5

1)T.E.: Tespit edilemedi.

Tablo 4.4 Taze kıyma ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kıymaların uçucu bileşen miktarları (%) (devam)

UÇUCU BİLEŞEN CİNSİ	METOT							
	25 °C VD	25 °C USV	35 °C VD	35 °C USV	45 °C VD	45 °C USV	FD	TAZE
3-d2-Thiocamphor	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	2,63
Voachalotine oxindole, 10-bromo-19,20-dihydro-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	4,65
Acetamide, N-[(8.alpha.,9R)-9-hydroxy-6'-methoxycinchonan-5'-yl]-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	3,57
Germane, 1,3-pentadiyn-1-yl-5-ylidynetetrakis[trimethyl-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	5,25
1-Butanamine, 3-methyl-	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	1)T.E.	2,98
TOPLAM DIĞER	10,35	12,59	6,86	8,57	6,46	22,79	1,79	41,48

1)T.E: Tespit edilemedi.

4.3 Hazır Çorba Analiz Sonuçları

VD ile 25 °C'de kurutulan kıymadan üretilen çorba (etli çorba diye anılacaktır) ve kontrol çorba örneklerinin genel kalite özellikleri ve TS 3190'a ve ürün olarak çabuk çorba büyük ölçüde benzerlik gösterdiği için TS 11342'ye [136] göre değerlendirilmesi Tablo 4.5'te verilmiştir.

TGK "Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği"ne [137] göre gıdanın enerjisinin en az % 12'sini protein oluşturduğunda, sözkonusu ürün protein kaynağı olarak nitelendirilebilmektedir. Bu koşula göre bu çalışmadaki etli çorbanın enerjisinin %15,65'i proteinden kaynaklandığı için "protein kaynağı" olarak tanımlanabilmektedir. Kontrol çorbanın ise enerjisinin %8,51'i proteinden kaynaklanmaktadır. Tablo 4.5 değerlendirildiğinde, her iki çorbanın nem, yağ, tuz, peroksit sayısı, duysal analizde görünüş harici tat, koku, renk, kıvam; TMAB ve küf maya sayıları arasında istatistiki açıdan 0,05 önem düzeyinde bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Etli çorbanın görüntüsü, kontrole göre daha iyi olarak değerlendirilmiştir. Etli çorbanın %10'luk HCl'de çözünmeyen kül ve protein değeri, kontrol çorbasına göre 0,05 önem düzeyinde daha yüksek tespit edilmiştir. Her iki çorbanın L*, a*, b* değerlerinin de 0,05 önem düzeyinde birbirinden farklı olduğu saptanmıştır. Koliform bakteri, *C. perfringens*, *S. aureus*, *B. cereus* ve *Salmonella* her iki çorbada da tespit edilmemiştir. Üretilen çorbaların; TS 3190'da [90] yer alan parametrelerinin analiz sonuçları belirtilen limitlere açısından uygun olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda peroksit değeri de TS 11342'e [136] göre uygun olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.5 Kontrol ve etli çorbanın genel kalite özellikleri

ANALİZ	ÜRÜN		Limit	Kaynak
	KONTROL	ETLİ ÇORBA		
Nem (%)	3,27 ^a ±0,13	3,36 ^a ±0,17	mak. 11	TS 3190
Su aktivitesi (aw)	0,336 ^b ±0,01	0,369 ^a ±0,01	-	-
%10'luk HCl'de çözünmeyen kül (km)%	0,19 ^b ±0,01	0,22 ^a ±0,01	mak. 0,25	TS 3190
Kül (%)	11,7 ^b ±0,02	12 ^a ±0,04	-	-
Diyet Lif (%)	3,9 ^a ±0,01	3,1 ^b ±0,03	-	-
¹ Yağ (g/l)	10,95 ^a ±0,13	11,07 ^a ±0,38	min. 3	TS 3190
¹ Protein (g/l)	6,82 ^b ±0,38	12,56 ^a ±0,22	min. 5	TS 3190
¹ Tuz (g/l)	8,11 ^a ±0,37	8,20 ^a ±0,41	mak 15	TS 3190
Selüloz (%)	0,12 ^a ±0,01	0,11 ^a ±0,02	-	-
Karbonhidrat (%)	62,81 ^a ±0,02	55,10 ^b ±0,04		
Enerji kcal/100 g	400,52 ^a	401,33 ^a	-	-
	kcal/250 mL	80,10 ^a	80,27 ^a	-
² Peroksit sayısı (meg O ₂ /kg)	0,70 ^a ±0,04	0,66 ^a ±0,03	10	TS 11342
Renk L* a* b*	91,62 ^a ±0,16	88,82 ^b ±2,72	-	-
	-0,87 ^b ±0,02	-0,61 ^a ±0,20	-	-
	11,45 ^a ±0,15	9,88 ^b ±1,32	-	-
Duyusal analiz Görünüş Tat Koku Renk Kıvam	7 ^b ±0,00	8 ^a ±0,00	-	-
	7 ^a ±0,00	7 ^a ±0,00	-	-
	7 ^a ±0,00	7 ^a ±0,00	-	-
	7 ^a ±0,00	7 ^a ±0,00	-	-
	7 ^a ±0,00	7 ^a ±0,00	-	-
TMAB (log kob/g)	4,95 ^a ±0,07	4,99 ^a ±0,06	-	-
Küf - maya (log kob/g)	3,06 ^a ±0,10	3,16 ^a ±0,07	-	-
Koliform bakteri (kob/g)	³ TE	³ TE	mak 10 ³	TS 3190
<i>C. perfringens</i> (kob/g)	³ TE	³ TE	mak 10 ⁴	TS 3190
<i>S. aureus</i> (kob/g)	³ TE	³ TE	mak 10 ⁴	TS 3190
<i>B. cereus</i> (kob/g)	³ TE	³ TE	mak 10 ⁴	TS 3190
<i>Salmonella</i> (kob/25g)	³ TE	³ TE	0	TS 3190 MKY

a-b: 0,05 önem düzeyinde aynı satır boyunca aynı harfi taşıyan ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.

(1): Yağ, protein ve tuz analizlerinin sonuçları % cinsinden kontrol örneği için sırasıyla 13,69; 8,52 ve 10,14 iken; bu değerler etli çorba içi sırasıyla 13,85; 15,69 ve 10,25'tir.

(2): TS 11342 Hazır Kuru Çorbalık – Çabuk Çorba Standardı'na göre mak. değer 10 meg O₂ /kg'dır (127).

(3) Tespit edilemedi.

Et, içerdği protein ve besin öğeleri açısından besleyici bir gıdadır. Su aktivitesi yüksek ve mikrobiyal bozulmaya yatkın olduğu için uygun bir muhafaza metodu ile raf ömrünün arttırılması gerekmektedir. Bilinen en eski muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma işleminde, geleneksel teknikler uygulandığında sıcaklık nedeniyle gıdaların bazı özellikleri bozulabilmektedir. Bu nedenle et gibi sıcaklığa duyarlı gıdaların düşük sıcaklıklarda ya da ısıl olmayan yöntemlerle kurutulması gerekmektedir.

Bu çalışmada kıyma numuneleri VD, USV ve FD teknikleri ile kurutulmuştur. Bu yöntemler geleneksel kurutma tekniklerine göre bazı avantajlara sahiptir. Geleneksel kurutma yöntemleri, sıcaklık nedeniyle gıdanın bazı özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir.

VD tekniğinde kurutma işlemi düşük sıcaklıkta gerçekleştiği ve ortamda oksijen bulunmadığı için, ısıya duyarlı ve kolay okside olabilen gıdaların kurutulmasında güvenle kullanılabilir. Dolayısıyla aroma, renk ve bazı besin maddelerinin korunması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada VD tekniği ile elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan çalışmalarla uyumludur. Ancak tek başına VD tekniği ile kurutulmuş gıdalardaki kalite kaybının önüne tamamen geçilememektedir. Bu nedenle kurutma süresi ve kalite kaybını azaltmak amacıyla ultrases, mikrodalga ve radyofrekans gibi bazı teknikler ön işlem olarak ya da vakum kurutmaya kombine edilerek uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada kurutma süresini kısaltmak için ultrases destekli vakum kurutma (USV) tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte vakum prosesi, gıdanın hücre zarını tahrip ederek, su transferini ve dolayısıyla kuruma hızını arttırmaktadır. Ultrasonik işlem de eş zamanlı olarak ısı transferine yardımcı olmakta ve mekanik ses dalgaları sayesinde iç kısımdan yüzeye doğru su transferini hızlandırmaktadır. Ayrıca kavitasyon, yapıya sıkıca bağlı olan suyun ayrılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla

gıda kurutma prosesine ultrases uygulamasının eklenmesi ile kurutma hızının artması, gıda kalitesinin korunması, enerji tüketiminin ve proses maliyetinin azaltılmasını sağlamak mümkündür.

Dondurarak kurutma yöntemi ile özellikle yüksek sıcaklık ve oksidasyona duyarlı biyolojik materyaller başarıyla kurutulabilmektedir. Bu teknik protein denatürasyonu ve vitamin kaybına neden olmamaktadır. Bu yöntemle gözenekli bir yapı, iyi bir rehidrasyon kapasitesi, tat ve aromaya sahip ürünler elde etmek mümkündür. Bu çalışmada en iyi rehidrasyon değeri ve en gözenekli yapı, FD tekniği ile kurutulan numunelerde tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kurutma yöntemlerinin ve kurutma sıcaklığının, kıymanın kuruma süresini ve kalite özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. VD tekniği ile elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalarla uyumludur. Ayrıca kıymaların kurutulması için USV metodunun daha düşük kurutma süreleri ve daha yüksek kalite parametrelerinin sağlanması nedeniyle alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. FD tekniği ile elde edilen sonuçlar ürün kalitesi açısından tatmin edicidir. Ancak işlem süresinin uzun ve maliyetinin yüksek olması nedeniyle ön işlem olarak ya da kombine edilerek diğer bazı muhafaza yöntemleriyle birlikte uygulanması kurutma verimini arttırabilir.

Et ürünlerinin kurutulmasında, mikrobiyolojik ve biyokimyasal bozulmayı azalttıkları için düşük sıcaklıkta kurutma işlemleri tercih edilmelidir. Ancak çok düşük sıcaklıklar da kuruma süresini uzatmaktadır. Bu nedenle gıdanın fizikokimyasal, besinsel ve duyusal kalitesini azaltmayan ve makul bir kuruma süresi sağlayan uygun bir kurutma sıcaklığı ve kurutma metodu seçilmelidir.

Ayrıca bu çalışmada 25°C'de VD tekniği ile kurutulan örneklerden üretilen hazır toz çorbanın kalite ve tüketici beğenisi açısından beklentileri karşılayabilecek alternatif bir çorba çeşidi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen toz çorba karışımı, protein kaynağı olarak değerlendirilebilecek özelliğe sahiptir. Dolayısıyla toz çorba karışımlarına daha fazla fonksiyonel özellikler kazandırmak için zenginleştirme yapılabilir ya da ısıl olmayan farklı metotlarla kurutulmuş etlerin ingrediyen olarak kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

- [1] Djordjevic, J., Boskovic, M., Dokmanovic, M., Lazic, I., Ledina, T., Suvajdzic, B., & Baltic, M., "Vacuum and Modified Atmosphere Packaging Effect on Enterobacteriaceae Behaviour in Minced Meat: Vacuum and Modified Atmosphere Packaging Effect", *Journal of Food Processing and Preservation* c. 41, s. 2, 2016.
- [2] Doulgeraki, A. I., Ercolini, D., Villani, F., & Nychas, G. J. E., "Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions", *International Journal of Food Microbiology*, c.157, sayı 2, ss. 130-141, 2012.
- [3] Casaburi, A., Piombino, P., Nychas, G.-J., Villani, F., & Ercolini, D., "Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage", *Food Microbiology*, c. 45, ss. 83-102, 2015.
- [4] Modi, V. K., Sachindra, N. M., Nagegowda, P., Mahendrakar, N. S., & Narasimha Rao, D., "Quality changes during the storage of dehydrated chicken kebab mix.", *International Journal of Food Science & Technology*, c. 42, sayı 7, ss. 827-835, 2007.
- [5] Doymaz, İ., Karasu, S., & Başlar, M., "Effects of infrared heating on drying kinetics, antioxidant activity, phenolic content, and color of jujube fruit", *Journal of Food Measurement and Characterization*, c.10, sayı 2, ss. 283-291, 2016.
- [6] Aykın Dinçer, E., Erbaş, M., "Kurutulmuş et ürünlerinin kalite özellikleri", *Gıda*, c.44, s.3, ss. 472-482, 2019
- [7] Laopoolkit, P., & Suwannaporn, P., "Effect of pretreatments and vacuum drying on instant dried pork process optimization", *Meat Science*, c. 88, sayı 3, ss. 553-558, 2011.
- [8] Mousa, N., Farid, M., "Microwave Vacuum Drying Of Banana Slices", *Drying Technology*, C. 20, Sayı 10, Ss. 2055-2066, 2002.
- [9] Tekin, Z. H., & Baslar, M., "The effect of ultrasound-assisted vacuum drying on the drying rate and quality of red peppers", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, c. 13, sayı 2, ss. 1131-1143, 2018.
- [10] Tekin, Z. H., Başlar, M., Karasu, S., Kılıçlı, M., "Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters." *Journal of Food Processing and Preservation*, c. 41, sayı 6, 2017.
- [11] Sagar, V. R., Suresh Kumar, P., "Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review", *Journal of Food Science and Technology*, c. 47, sayı 1, ss.15-26, 2010.
- [12] Tao, Y., & Sun, D.-W., "Enhancement of Food Processes by Ultrasound: A

- Review and Critical Reviews”, Food Science and Nutrition, c. 55, sayı 4, ss. 570-594, 2015.
- [13] Ma, Y., Wu, X., Zhang, Q., Giovanni, V., & Meng, X., “Key composition optimization of meat processed protein source by vacuum freeze-drying technology”, Saudi Journal of Biological Sciences, c. 25, sayı 4, ss. 724-732, 2018.
- [14] Başlar, M., Kılıçlı, M., Toker, O. S., Sağdıç, O., & Arıcı, M., “Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats”, Innovative Food Science & Emerging Technologies, c. 26, ss. 182-190, 2014
- [15] Xu, L.; Fang, X.; Wu, W.; Chen, H.; Mu, H.; Gao, H. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). Food Chem., sayı 285, ss. 406–413, 2019.
- [16] Kilic, A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality. Journal of Food Engineering, c. 91, ss. 173-182, 2009.
- [17] Çoksaygılı, N., Başoğlu, F., “Bursa Piyasasında Satılan Hazır Toz Çorbaların Mikrobiyolojik ve Bazı Kimyasal Özellikleri”, U. Ü. ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ, c. 25, sayı 1, ss. 87-95, 2011.
- [18] Apaydın, H., “Propolisin Hazır Çorbalardan İzole Edilen *Staphylococcus Aureus* Üzerine İnhibisyon Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2015.
- [19] FAO,
http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_composition.html
. Erişim Tarihi: 21.03.2019
- [20] Li, X., Xie, X., Zhang, C., Zhen, S., Jia, W., “Role of mid- and far-infrared for improving dehydration efficiency in beef jerky drying”, Drying Technology, c. 36, sayı 3, ss. 283-293, 2018.
- [21] Özbay Doğu, S., Sarıçoban, S., “Et kurutma teknolojisi ve dünyada tüketilen bazı kurutulmuş et ürünleri”, Journal of Food and Health Science, c. 1, sayı 3, 103-117, 2015a.
- [22] Karabacak, M. S., Esin, A., Çekmecelioğlu, D., “Drying behavior of meat samples at various fiber directions and air conditions”, Drying Technology, c. 32, ss. 695–707, 2014.
- [23] Speckhahn, A., Srzednicki, G., Desai, K. D., “Drying of Beef in Superheated Steam”, Drying Technology, 28: 1072–1082, 2010.
- [24] TKG, “Et, Hazırlanmış Et Karışımları Ve Et Ürünleri Tebliği”, 2018
- [25] Heinz, G., Hautzinger, P., “Meat Processing Technology for Small-To Medium-Scale Producers”, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Bangkok, 2007
- [26] Erbay, B., Küçüköner, E., “Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum, ss.

1045-1048, 2008.

- [27] Kırmacı, V., “Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2008.
- [28] Akpınar, E. K., “Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants”, Journal of Food Engineering, sayı 77, ss. 864–870, 2006.
- [29] Kutlu, N., İşci, A., Şakıyan Demirkol, Ö., “Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri”, Gıda, 40, 1, 39-46, 2015.
- [30] Traffano-Schiffo, M. V., Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., Balaguer, N., “Thermodynamic model of meat drying by infrared thermography”, Journal of Food Engineering, c. 128, ss. 103-110, 2014.
- [31] Aktaş, C., “Patlıcanın Kurutma Ve Rehidrasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [32] Zhang, M., Jiang, H., “Food Drying R&D at Jiangnan University: An Overview”, Drying Technology, c. 32, sayı 15, ss. 1743-1750, 2014.
- [33] Ramaswamy, H.S. ve Marcott, M., “Food Dehydration, in Food Processing: Principles and Applications”, Taylor & Francis Group, CRC Press, USA, 2006.
- [34] Tüfekçi, S., “Ultrases Ön İşleminin Bamya Ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2014
- [35] Bingöl, G., Devres, Y.O., “Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri”, IV. İstanbul Sanayi Odası- İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi, ss. 31-49, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, 2010.
- [36] Sablani, S.S., “Drying of Fruits and Vegetables: Retention of Nutritional/Functional Quality”, Drying Technology, c. 24, sayı 2, ss. 123-135, 2006.
- [37] Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., SingTaylor & Francis Group, LLC., Floridah, R.K. ve Weitnauer, A.C., “Food Dehydration”, in Handbook of Food Engineering, Eds. Valentas, K.J., Rotstein, R. ve Singh, R.P., ss. 601-744, Taylor and Francis Group, LLC, London, UK, 2007.
- [38] Mounir, S., “Texturing of Chicken Breast Meat as an Innovative Way to Intensify Drying: Use of a Coupled Washing/Diffusion CWD Phenomenological Model to Enhance Kinetics and Functional Properties”, Drying Technology, c. 33, ss. 1369–1381, 2015.
- [39] Clemente, G, Bon, J. , Sanjuan, N., Mulet, A., “Determination of Shrinkage Function for Pork Meat Drying”, Drying Technology, c. 27, ss. 143–148, 2009
- [40] Deng, Y., Luo, Y., Wang, Y., Zhao, Y., “Effect of Different Drying Methods on the Myosin Structure, Amino Acid Composition, Protein Digestibility and Volatile Profile of Squid Fillets”, Food Chemistry, c. 171, 168-175, 2015.

- [41] Dominguez, R., Gomez, M., Fonseca, S., Lorenzo, J.M., "Effect of Different Cooking Methods on lipid oxidation formation and volatile compounds in foal meat", *Meat Science*, c.97, 223-230, 2014.
- [42] Huang, Q., Chen, L., Song, H., An, F., Teng, H., Xu, M., "Effect of Different Drying Method on Volatile Flavor Compounds of *Lactarius deliciosus*", *Journal of Food Processing and Technology*, c.7, s.8, ss 1-5, 2016.
- [43] Kosowska, M., Majcher, M.A., "Volatile compounds in meat and meat products", *Food Science and Technology*, Campinas, c.37, s.1, ss. 1-7, 2017.
- [44] Matashige, E., Akahoshi, R., "Production of dehydrated chicken meat by forced draft microwave drying (studies on forced draft, microwave drying part)", *Japan Soc. Food Science Technology*, c. 49, sayı 6, ss. 359-367, 2002.
- [45] Özbay Doğu, S., Sarıçoban, S., "Et kurutmada mikrodalga kullanımına ilişkin yaklaşımlar ve uygulamalar", *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, c. 4, ss. 24-35, 2015b.
- [46] Pinijsarakarn, S., "Mama sees green shoots in noodles", *The Nation*, August 14, 2009.
- [47] Hii, C. L., Itam, C. E., Ong, S. P., "Convective Air Drying of Raw and Cooked Chicken Meats", *Drying Technology*, 32: 1304–1309, 2014.
- [48] Feiner, G., "Meat Products Handbook Practical Science and Technology", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006
- [49] Uengkimbuan, n., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., Nathkaranakule, A., "A Comparative Study of Pork Drying Using Superheated Steam and Hot Air", *Drying Technology*, c. 24, ss. 1665–1672, 2006.
- [50] Engez, S. T., & Ergönül, B., "Kurutulmuş et üretiminde HACCP sisteminin uygulanması", *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 4, sayı 3, ss. 12-19, 2009.
- [51] FAO, "Manual on simple methods of meat preservation", FAO Animal Production and Health, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, ss. 79, 1990.
- [52] Ergezer, H., Gökçe, R., Hozer, Ş., Akcan, T., "Et ve Ürünlerinde Protein Oksidasyonu: Etki Mekanizması, Tespit Yöntemleri ve Etkileri", *Akademik Gıda*, c. 14, sayı 1, ss. 54-60, 2016. [53]
- [53] Abril, M., Campo, M.M., Önenç, A., Sanudo, C., Alberti, P., Negueruela, A.I., "Beef colour evolution as a function of ultimate pH", *Meat Science*, c. 58, ss. 69-78, 2001.
- [54] Jung, S., Jo, C., Kim, I.S., Nam, K. C., Ahn, D.U., Lee, K.H., "The Influence of Spices on the Volatile Compounds of Cooked Beef Patty", *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, c.34, s.2, ss. 166-171, 2014.
- [55] Shahidi, F., Rubin, L.J., D'Souza, L.A., Teranishi, R., Buttery, R.G., "Meat flavor volatiles: A review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation", *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, c.24, s.2, ss.147, 1986.

- [56] Wang, X., Zhu, L., Han, Y., Xu, L., Jin, Cai, Y., Wang, H., "Analysis of volatile compounds between raw and cooked beef by HS-SPME-GC-MS", *Journal of Food Processing and Preservation*, e13503, 2017.
- [57] Argyri, A.A., Mallouchos, A., Panagou, E., Z., Nychas, G.J.E., "The dynamics of the HS/SPME-GC/MS as a tool to assess the spoilage of minced beef stored under different packaging and temperature conditions", *International Journal of Food Microbiology*, c.193, 51-58, 2015.
- [58] Marušić, N., Vidaček, S., Janči, T., Petrak, T., Medić, H., "Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham", c.96, ss. 1409-1416, 2014
- [59] Gorska, E., Nowicka, K., Jaworska, D., Przybylski, W., Tambor, K., "Relationship between sensory attributes and volatile compounds of polish dry-cured loin", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, c.,30, s.5, ss. 720-725, 2017.
- [60] Kartal, A.S.K., Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [61] Ekechukwu, O.V. ve Norton, B., "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology", *Energy Conversion & Management*, c. 40, ss. 615-655, 1999.
- [62] Açı, M., Yerlikaya, O., Kınık, Ö., "Gıdalarda ısı olmayan yeni teknikler ve mikroorganizmalar üzerine etkileri", *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, sayı 14, ss. 23-35, 2014.
- [63] Moses, J.A., Karthickumar, P., Sinija, V.R., Alagusundaram, K., Tiwari, B.K., "Effect of microwave treatment on drying characteristics and quality parameters of thin layer drying of coconut.", *Asian Journal of Food and Agro Industry Abbreviation*, c. 6, sayı 02, ss. 72-85, 2013.
- [64] Cárcel, J.A., Garcia-Perez, J.V., Riera, E., Mulet, A., "Improvement of convective drying of carrot by applying power ultrasound—Influence of mass load density", *Drying Technology*, c. 29, sayı 2, ss. 174-182, 2011.
- [65] Garcia-Noguera, J., Oliveira, F.I., Gallão, M.I., Weller, C.L., Rodrigues, S., Fernandes, F.A., "Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency", *Dry Technology*, c. 28, sayı 2, ss. 294-303, 2010.
- [66] Topdaş, E.F., Ertugay, M., "Kayısların ultras ses yardımlı ozmotik kurutulması.", *Gıda*, c. 38, sayı 5, ss. 299-306, 2013.
- [67] Dujmić, F., Brnčić, M., Karlović, S., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B., Mofardin, I., "Ultrasound-assisted infrared drying of pear slices: textural issues", *Journal of Food Processing Engineering*, c. 36, sayı 3, ss. 397-406, 2013.
- [68] Schossler, K., Jager, H., Knorr, D., "Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables", *Innovative Food Science &*

Emerging Technologies, 16, 113-120, 2012.

- [69] Eikevik, T.M., Alves-Filho, O., Bantle, M., "Microwave-assisted atmospheric freeze drying of green peas: a case study", *Drying Technology*, c. 30, sayı 14, ss. 1592-1599, 2012.
- [70] Eroğlu, E., Yıldız, H., "Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi", *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, sayı 2, ss. 41-48, 2011.
- [71] Cumhuri, Ö., Şeker, M., Sadıkoğlu, H., "Freeze drying of turkey breast meat: Mathematical modeling and estimation of transport parameters", *Drying Technology*, c. 34, sayı 5, ss. 584-594, 2016
- [72] George, J.P., Datta, A.K., 2002, Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. *JournaTaylor & Francis Group, LLC., Floridal of Food Engineering*, 52(1), 89-93, 2002.
- [73] Ratti, C., "Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review", *Journal of Food Engineering*, 49, 4, 311-319, 2001.
- [74] Are'valo-Pinedo, A., Murr, F. E.X., "Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage", *Journal of Food Engineering*, c. 76, ss. 562-567, 2006.
- [75] Çelen, S., "Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi", *Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye*, 2010.
- [76] Tekin, H., Biberlerin Kurutulmasında Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi Amacıyla Ultrason Destekli Vakum Kurutma Yönteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [77] Şahin, F. H., Ülger, P, Aktaş, T., Orak, H.H., "Farklı Önışlemlerin ve Vakum Kurutma Yönteminin Domatesin Kuruma Karakteristikleri ve Kalite Kriterleri Üzerine Etkisi", *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 15-25, 2012.
- [78] Ayhan, A., "Çeşitli tarımsal ürünlerin vakumla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye*, 2005.
- [79] Demirdöven, A., Baysal, T., "The use of ultrasound and combined technologies in food preservation", *Food Reviews*, c. 25, ss. 1-11, 2009.
- [80] Sayın, L., Tamer, C.E., "Yüksek hidrostatik basınç ve ultrasonun gıda koruma yöntemi olarak kullanımı", *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 28, sayı 1, ss. 83-94, 2014.
- [81] Mulet, A., Carcel, J., Sanjuan, N. , Bon, J., "New Food Drying Technologies - Use of Ultrasound", *Food Science and Technology International*, 215-221, 2003.
- [82] de la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V.M., Blanco-Blanco, A., Gallego-Juarez, J.A., "Food drying process by power ultrasound", *Ultrasonics*, 44 e523-e527, 2006.

- [83] Zambak, .Ö., “Ultrasen Önişleminin Sığır Bonfile Ve Tavuk Göğüs Etlerinin Kurutma Davranışları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2015.
- [84] Başlar, M., “Ultrasen, Fotosonikasyon Ve Vurgulu Elektriksel Alan İşlemlerinin Elma Suyunun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 2011.
- [85] García-Pérez, J.V. Cárcel, J.A., De La Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., “Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: Parametric study”, *Ultrasonics*, c. 44, ss. 539–543, 2006.
- [86] Siucinska, K., Konopacka, D., “Application of Ultrasound to Modify and Improve Dried Fruit and Vegetable Tissue: A Review”, *Drying Technology*, 32: 1360–1368, 2014.
- [87] Yüksel, F., “Gıda Teknolojisinde Ultrasen Uygulamaları”, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, sayı 2, ss. 29-38, 2013.
- [88] Raitio, R., Orlén, V., Skibsted, L. H., “Storage Stability of Cauliflower soup powder: The Effect of Lipid Oxidation and Protein Degradation Reactions”, *Food Chemistry*, 128, 371-379, 2011.
- [89] TKG, “Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği”, 2011.
- [90] TS 3190, “Hazır Kuru Çorbalık Standardı”, 2014.
- [91] Chin, K. B., Keeton, J. T., Lacey R. E., Reduction of drying time for pepperoni by vacuum-drying. *Journal of Food Science*, 61 (1):142-144, 148, 1996
- [92] Ozuna, C., Cárcel, J. A., Walde, P. M. and García- Pérez, J. V., “Low – temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound : Kinetics and physical properties”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, c.23, ss. 146-155, 2014.
- [93] Got, F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T., Quideau, J.M. and Lethiecq. M., Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef, *Meat Science*, c 51, ss. 35–42, 1999.
- [94] Farkas, B., Singh, R.P., “Physical Properties of Air-Dried and Freeze-Dried Chicken White Meat”, *Journal Of Food Science*, c. 56, sayı 3, ss. 611-615, 1991.
- [95] Pawlak, T., Gawalek, J., Ryniecki, A., Stangierski, J., Siatkowski, I, Peplinska, B., Pospiech, E., Microwave vacuum drying and puffing of the meat tissue - process analysis, *Drying Technology*, c.37 sayı 2, 2019.
- [96] Fernandes, F.A.N., Gallão, M. I., Rodrigues, S., Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration, *LWT* c. 41, ss. 604-610, 2008.
- [97] Başlar, M., Kılıçlı, M., & Yalınkılıç, B., “Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique”, *Ultrasonics Sonochemistry*, c. 27, ss. 495-502, 2015.

- [98] AOAC 950.46., "Official methods of analysis Proximate Analysis and Calculations Moisture (M) Meat - item 108", Association of Analytical Communities, Gaithersburg, MD, 17th edition., 2006.
- [99] AOAC 960.39., "Fat (crude) or ether extract in meat, in: Official Methods of Analysis of AOAC International", Gaithersburg, MD, USA, 2012.
- [100] Mujaffar, S.; Sankat, C.K. Modeling the drying behavior of unsalted and salted catfish (*Arius* sp.) slabs. *Journal of Food Processing and Preservation*, c. 39, ss. 1385-1398, 2015.
- [101] Doymaz, İ., Hot-air drying of purslane (*Portulaca oleracea* L.), *Heat and Mass Transfer*, c. 49, ss. 835-841, 2013.
- [102] Mishra, B.P.; Chauhan, G.; Mendiratta, S.K.; Sharma, B.D.; Desai, B.A.; Rath, P.K. Development and quality evaluation of dehydrated chicken meat rings using spent hen meat and different extenders. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, c. 52, sayı 4, 2015.
- [104] Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J. A., Villamiel, M., & Garcia-Perez, J. V., "Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry", *Journal of Food Engineering*, c. 128, ss. 132-139, 2014.
- [105] Tekin,H., Sarıçoban, C.,Yılmaz, M.T., "Fat, wheat bran and salt effects on cooking properties of meat patties studied by response surface methodology", *International Journal of Food Science and Technology* , c. 45, ss. 1980–1992, 2010.
- [106] TS 3960, "Hayvansal ve bitkisel katı ve sıvı yağlar - Peroksit değeri tayini - İyodometrik (görsel) son nokta tayini", 2017.
- [107] Tulukçu, E., Çebi, N., Sagdıç, O., "Chemical Fingerprinting of Seeds of Some *Salvia* Species in Turkey by Using GC-MS and FTIR", *Foods*, c. 8, sayı 118, 2019.
- [108] TS 1128 ISO 763, "Meyve ve sebze mamulleri- Hidroklorik asitte çözünmeyen kül tayini", 2000.
- [109] TS 5000, "Ekmek Standardı", 2014.
- [110] AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods, 1986.
- [111] TS 6932, Gıda maddelerinde ham selüloz tayini-Genel metot, 1989.
- [112] FAO, "Food and Nutrition Paper 77", Food energy – methods of analysis and conversion factors, 2003.
- [113] Maturin L.J, Peeler J.T., "Aerobic plate count. In: Food and Drug Administration (FDA)", *Bacteriological analytical manual online*, 2001.
- [114] Tournas V, Stack M.E., Mislivec, P.B., Koch H.A., Bandler R., Chapter 18. "Yeast, mold and mycotoxins." In: Food and Drug Administration (FDA), *Bacteriological Analytical Manual*. Available online , 2001
- [115] BS ISO 4882:2006, "Microbiology of food and animal feeding stuffs- Horizontal method for the enumeration of coliforms -Colony-count technique", 2006.

- [116] BS EN ISO 7937:2004, "Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of *Clostridium perfringens*-Colony-count technique", 2004.
- [117] BS EN ISO 6886-1:1999, "Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species)", 1999.
- [118] BS EN ISO 7932:2004 "Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of presumptive *Bacillus cereus*-Colony-count technique at 30°C", 2004.
- [119] ISO 6579-1:2017 "Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* -- Part 1: Detection of *Salmonella* spp.", 2017.
- [120] Kroehnke, J., Szadzinska, J., Stasiak, M., Radziejewska-Kubzdela, E., Bieganska-Marecik, R., & Musielak, G., "Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots - Process kinetics and product's quality analysis.", *Ultrasonics Sonochemistry*, c. 48, ss. 249-258, 2018.
- [121] Tekin, Z.H., Başlar, M., Karasu, S., Kılıçlı, M., "Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters", *Journal of Food Processing and Preservation*, c.41, e13227, 2017.
- [122] Doymaz, I., & Karasu, S., "Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*)", *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, c. 10, sayı 3, ss. 269-276, 2018.
- [123] Jambrak, A. R., Mason, T. J., Paniwnyk, L., & Lelas, V., "Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties", *Journal of Food Engineering*, c. 81, sayı 1, ss. 88-97, 2007.
- [124] Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., & Augusto, P. E. D., "Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration", *Food Research International*, c. 89, ss. 701-708, 2016.
- [125] Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N., "Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry", *Ultrasonics Sonochemistry*, c. 36, ss. 286-300, 2017.
- [126] Kaveh, M., Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., Taghinezhad, E., & Moghimi, M. B. F., "The effect of ultrasound pre-treatment on quality, drying, and thermodynamic attributes of almond kernel under convective dryer using ANNs and ANFIS network", *Journal of Food Process Engineering*, c. 41, sayı 7, 2018.
- [127] Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M., Jurek, N., & Witrowa-Rajchert, D., "Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties.", *Journal of Food Engineering*, c. 113, sayı 3, ss. 427-433, 2012.
- [128] Liu, H. H., Zhang, Y. T., Yang, L., & Wu, Z. H., "Effects of Ultrasound

- Pretreatment on Microstructure and Drying Characteristics of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*", *Bioresources*, c. 13, sayı 3, ss. 5953-5964, 2018.
- [129] Rahman, M.S., "Post-drying aspects for meat and horticultural products", *Drying Technologies in Food Processing*, Xiao Dong Chen, Mujumdar, A.S., Eds. Blackwell publishing, ss. 260-226, 2008.
- [130] Rajewska, K., & Mierzwa, D., "Influence of ultrasound on the microstructure of plant tissue", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, c. 43, ss. 117-129, 2017.
- [131] Sabarez, H., Gallego-Juarez, J., & Riera, "Ultrasonic-Assisted Convective Drying of Apple Slices", *Drying Technology*, c. 30, sayı 9, 2012.
- [132] Mendez-Calderon, E. K., Ocampo-Castano, J. C., & Orrego, C. E., "Optimization of convective drying assisted by ultrasound for Mango Tommy (*Mangifera indica* L.)", *Journal of Food Process Engineering*, c. 41, sayı 1, 2018.
- [133] Rahman, M. S., Salman, Z., Kadim, I. T., Mothershaw, A., Al-Riziqi, M. H., Guizani, N., Ali, A. , "Microbial and physico-chemical characteristics of dried meat processed by different methods", *International Journal of Food Engineering*, c. 1, sayı 2, 2005.
- [134] Rahman, M.S.; Al-Amri, O.S., Al-Bulushi, I.M., "Pores and physico-chemical characteristics of dried tuna produced by different methods of drying", *Journal of Food Engineering*, c. 53, ss. 301-313, 2002
- [135] Amaral, A.B.; Silva, M.V.D., Lannes, S.C.D.S., "Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors a review", *Food Science and Technology*, c. 38, ss. 1-15, 2018.
- [136] TS 11342, "Hazır Kuru Çorbalık – Çabuk Çorba Standardı", 2005.
- [137] TKG, "Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği", 2017.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: aksoyas@gmail.com

Makaleler

1. Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., Kayacan, S., Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat, Foods, 8 (6), 216, 2019.