



**OSMANLI ÇİLEĞİNİN DONDURARAK  
KURUTMASI VE KİNETİK MODELİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Büşra Meryem YILDIZ**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Bahadır ACAR**

**OSMANLI ILEĞİNİN DONDURARAK KURUTMASI VE KİNETİK  
MODELİNİN BELİRLENMESİ**

**Büşra Meryem YILDIZ**

**TC.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi Hazırlandı**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Bahadır ACAR**

**KARABÜK  
Haziran 2022**

Büşra Meryem YILDIZ tarafından hazırlanan “OSMANLI ÇİLEĞİNİN DONDURARAK KURUTMASI VE KİNETİK MODELİNİN BELİRLENMESİ ” adlı tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Doç. Dr. Bahadır ACAR .....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ) .....

Üye : Doç.Dr.Bahadır ACAR (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü .....

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Büşra Meryem YILDIZ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **OSMANLI ÇİLEĞİNİN DONDURARAK KURUTMASI VE KİNETİK MODELİNİN BELİRLENMESİ**

**Büşra Meryem YILDIZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışanı:**

**Doç. Dr. Bahadır ACAR**

**Mayıs 2022, 42 page**

Bu çalışmada dondurarak kurutma tekniği kullanılarak mayıs sonu olmaya başlayan ve haziran başı gibi biten Osmanlı çileğinden bahsedilmiştir. Osmanlı çileği senede sadece mayıs sonu olmaya başlar ve haziran ortalarına doğru tükendiği için ve toplandıktan sonra tüketilmediği takdirde hemen bozulduğu için bu ürünü uzaklara gönderebilmek ve farklı mevsimlerde de kullanabilmek için dondurarak kurutma tekniği kullanılmıştır. Dondurarak kurutma, üründeki nemin miktarının büyük bir bölümünün katı faza dönüştürmek ve ardından vakum altında maddenin yapısındaki buzun uzaklaştırılmasıdır. Dondurarak kurutma işlemi nem uzaklaştırmada önemli yoldur. Dondurarak kurutma işleminin en bilindik avantajları, ürünün yapısının korunması ve ürünün kaliteli olmasıdır. Osmanlı çileğininde ilk önce yaptığımız işlem kuru madde miktarı belirlemek olmuştur. Dondurarak kurutma deneyleri yapılırken ürün ilk olarak bir gün önceden derin dondurucuda donduruldu ardından kurutma işlemine geçildi. Yapmış olduğumuz deney toplamda 14 saat sürmüştür ve deneyler

sonucunda 100 gr olan Osmanlı çileğinin ağırlığı 12,2 gr düşmüştür. Ayrıca 87,8 olan nem miktarıda 0,485' e düşmüştür. Osmanlı çileği dilimlerinin ne kadar nem kaybettiği ölçüldü ve nem oranları (MR) da hesapladı. Yapmış olduğumuz deneylerin sonuçlarından, MATLAB yazılımından faydalınarak 8 farklı kinetik kurutma modeli bulunmuştur. Bunların sonucunda , 5 mm kalınlığında en düşük indirgenmiş X-kare ( $X^2$ ) değerleri sırasıyla  $6,993 \times 10^{-5}$ ,  $7,8688 \times 10^{-5}$  ve, kök ortalama Kare hata değerleri (RMSE) sırasıyla 0,007242 ve 0,007682 bulunmuştur. Ayrıca, 5 mm kalınlık için belirleme katsayısı ( $R^2$ ) 0.9998 olarak hesaplandı ve bu da 1'e en yakın sonuçtu. 8 farklı kinetik kurutma modeli arasında, logaritmik model Osmanlı çileği ürünleri için uygun bir kinetik kurutma modeli olarak seçilmiştir. Ayrıca, 5 mm kalınlığındaki numuneye etki eden difüzyon katsayısı  $2,73286 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$  olarak hesaplandığı belirlenmiştir

**Anahtar Kelimeler** : Kurutma, dondurarak kurutma, osmanlı çileğinin kurutulması, liyofilizasyon

**Bilim Kodu** : 92808

## **ABSTRACT**

**M.Sc.Thesis**

### **FREEZE-DRYING OF OTTOMAN STRAWBERRY AND INVESTIGATION OF THE KINETIC MODEL**

**Büşra Meryem YILDIZ**

**Karabuk University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Dr. Bahadır ACAR**

**Mayıs 2022, 42 sayfa**

In this study, the Ottoman strawberry, which started to be the and of May and ended in the beginning of June, was mentioned by using the freeze-drying technique. Since the Ottoman strawberry starts to be only at the end of May a year and is consumed towards the middle of June and spoils immediately if not consumed after being picked, freeze-drying technique was used to send this product away and to use it in different seasons. Freeze drying is the removal of moisture from the dryer into a large unit solid phase in-plant cleaning process. Freeze drying is an important way of removing moisture. The most well-known advantages of freeze drying are the preservation of the structure of the product and the quality of the product. The first thing we did for Ottoman strawberries was to determine the amount of dry matter. While performing the freeze drying experiments, the product was first frozen in the deep freezer one day before, and then the drying process was started. The experiment we did lasted for 14 hours in total and as a result of the experiments, the weight of the 100 gr Ottoman

strawberry decreased by 12.2 gr. As a result of our experiments, the moisture content of Ottoman strawberries was reduced from 87.8% to 0.485%. The experiment we did lasted 14 hours in total, and in the experiment, how much moisture 100 g of Ottoman strawberry slices lost every two hours was measured and the humidity ratios (MR) were also calculated. Eight different kinetic drying models were found by using the MATLAB software from the results of our experiments. As a result, the lowest reduced X-square ( $X^2$ ) values at 5 mm thickness were found to be  $6,993 \times 10^{-5}$ ,  $7,8688 \times 10^{-5}$ , and root mean Square error values (RMSE) were 0,007242 and 0,007682, respectively. Also, the coefficient of determination ( $R^2$ ) for 5 mm thickness was calculated as 0,9998, which is the closest result to 1. Among 8 different kinetic drying models, the logarithmic model was chosen as a suitable kinetic drying model for Ottoman strawberry products. In addition, it was determined that the diffusivity coefficient affecting the 5 mm thick sample was calculated as  $2,73286 \times 10^{-10} m^2 /s$ .

**Keywords** : Drying, freeze drying, drying of ottoman strawberry, Lyophilization.

**Science Code** : 92808



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam İsmail Hakkı Yıldız'a, her zaman yanımda olan annem Ümmihan YILDIZ'a, bilgilerinden yararlandığım lisans tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, tez çalıőmamda desteklerini esirgemeyen yüksek lisans tez danışmanım Doç. Dr. Bahadır ACAR'a, tez çalıőmamı yaparken yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. Abdullah DAĞDEVİREN' e teşekkür eder , saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiii
KISALTMALAR .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3 .....	11
GIDALARIN MUHAFAZA YÖNTEMLERİ.....	11
3.1. GIDALARIN DONDURULARAK KURUTMA İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ.....	13
3.2. SÜBLİMASYON .....	14
3.3. DONDURULARAK KURUTMANIN AŞAMALARI.....	16
3.3.1. Dondurma Evresi.....	16
3.3.2. Birinci Kurutma Evresi.....	18
3.3.3. İkinci Kurutma Evresi.....	19
BÖLÜM 4 .....	21
DONDURULARAK KURUTMANIN AVANTAJLARI .....	21

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	22
MATARYEL VE METOT .....	22
5.1. MATARYEL.....	22
5.1.1. Osmanlı Çileği (Ottoman Strawberry) .....	22
5.1.2. Dondurarak Kurutma Cihazı.....	23
5.1.3. Deneysel Çalışmalar .....	24
BÖLÜM 6 .....	28
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	28
BÖLÜM 7 .....	34
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	34
7.1. SONUÇ .....	34
7.2. ÖNERİLER .....	35
KAYNAKÇA.....	36
ÖZGEÇMİŞ .....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Basınç ve sıcaklığa göre faz diyagramı. ....	15
Şekil 5.1. Osmanlı çileği .....	23
Şekil 5.2. Dondurarak kurutma cihazının resim olarak ve şematik olarak gösterilmesi.....	23
Şekil 5.3. Mm kesilerek hazırlanan Osmanlı çileği numuneleri. ....	24
Şekil 5.4. Dondurularak kurutma cihazının şematik olarak gösterimi.....	25
Şekil 5.5. Sıcaklık ve zaman grafiği .....	26
Şekil 6.1. Osmanlı çileği numunelerinin zamana göre nem oranları .....	28
Şekil 6.2. Osmanlı çileği numunelerinin kurutma süresine göre nem miktarı.....	31
Şekil 6.3. Osmanlı çileği numuneleri için In(MR) kurutma zaman grafiği. ....	32
Şekil 6.4. Scanvac coolsafe marka dondurarak kurutma cihazında Osmanlı çileğinin kurutulması. ....	33
Şekil 6.5. Dondurularak kurutulmuş Osmanlı çileği numuneleri. ....	33

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 6.1. Dondurarak Kurutma kinetiği için kullanılan yarı ampirik ve ampirik denklemlerinin gösterilmesi. ....	29
Çizelge 6.2. Dondurarak kurutma kinetiği için kullandığımız modellerden bulduğumuz sonuçlar.....	30

## SİMGE VE KISALTMALAR

- $M$  : Su buharı için molekül ağırlığı(kg/mol)  
 $M_k$  : Kurutma hücresinde bulunan havanın molekül ağırlığı(kg/mol)  
 $M$  : Nem miktarı  
 $\dot{m}$  : Kütleli debi  
 $\varphi$  : Bağlı nem (%)  
 $z$  : Kullanılan modeldeki katsayı sayısı  
 $T$  : Sıcaklık (°C)  
 $T_k$  : Kurutma hücresinin mutlak sıcaklığı (K)  
 $N$  : Deneyle elde edilen sonuç sayısı  
 $N_0$  :Başlangıçta ürünün nem miktarı  
 $N_t$  : Numudaki t zamanındaki ne miktarı  
 $N_d$  : Dengedeki ürünün nem miktarı  
 $R$  : Gaz değeri  
 $a$  : Kullanılan modeldeki katsayı  
 $a_w$  : Su aktivitesi değeri  
 $b$  : Kullanılan modeldeki katsayı  
 $c$  : Kullanılan modeldeki katsayı  
 $G$  : Gibbs enerjisi (kJ)  
 $G_{ks}$  : Knudsel süblimleşmesini oranı ( $kg/m^2 s$ )  
 $H$  : Entalpi (kJ)  
 $h_1$  : Soğutkanın kompresöre giriş entalpisi (kJ/kg)  
 $h_2$  : Soğutkanın kompresörden çıkış entalpisi (kJ/kg)  
 $k$  : Kullanılan modeldeki katsayı  
 $k_b$  : Buharlaşma katsayısı  
 $k_0$  : Kullanılan modeldeki katsayısı  
 $k_1$  : Kullanılan modeldeki katsayısı

## **KISALTMALAR**

- MR : Moisture Rate (Nem Oranı)  
MER : Moisture Extraction Rate (Nem Alma Hızı)  
LCA : Döngüsü Analizi (Life Cycle AssessmentYaşam )  
UHP : Ultra Yüksek performans  
RMSE : Root mean squared error(Karakök Ortalama Hata)  
CIP : Commercially Important Person (Ticari Açıdan Önemli Kişi)  
SIP : Session Initiation Protocol (Oturum Başlatma Protokolü)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Çilek ilk başta Fransadan getirilmiştir.Çilek böylelikle tanınmış ve kültürel değerini arttırmıştır.Çileğin tanınması ile dünyanın değişik yerlerinde üretilmiştir.Karadeniz Ereğli'ye has olan çileğin fidesi, dönemin paşası olan Halil Paşa'ya hediye verildiği söylenmektedir. 1900'lü yılların başında Kdz Ereğli'nin kestane toprağına dikilen çilek , yerli kültür olan diğer çilek türü ile etkileşim sürecine girerek ortaya Osmanlı Çileği denen nazik ve aromalı bir çilek meydana gelmiştir.Osmanlı çileği; pembe renginde, orta boy oval görünümü, zengin aroma ve nefis kokusu ile dünyanın eşsiz ve tek çileği olarak literatürlere girmiştir.Osmanlı Çileği mayıs sonu ve haziran ayı ortalarına kadar meyve vermektedir. Osmanlı çileği hassas bir yapıya sahip olduğu için sabahın erken saatlerinde bayanlar tarafından toplanılmaktadır.Ayrıca çileğin hassas olmasından dolayı ince işçilik gerektirmektedir.Bu yüzden bayanlar tarafından toplanmaktadır.Toplanan bu çileklerin yapısının çok sulu olmasından dolayı bozulmaya elverişlidir.Bu nedenle toplandıktan sonra 1-2 saat içinde satılmalıdır. Toplanan çileğin açık havadaki ömrü sadece 15-20 saat olduğundan muhafaza edilmesi çok zor bir çilektir. Ayrıca Osmanlı çileği kendine has lezzetti,aroması ve kendine has reyhasıyla kralların yiyeceğı olarak bilinmektedir (1)

Gıdaların tüketimi çevrede yetişen bitkilere, toprak yapısına, iklim ve coğrafya olarak hepsi bir etkileşim içindedir.Gıdaların çoğu mevsimi dışında kullanılmak üzere gıda muhafaza yöntemleri ile muhafaza edilmektedir. Sürekli değişim içinde olan mutfak kültürü ile besinlerin muhafaza yöntemleri ve saklama kapları da her geçen gün yenileri çıkmaktadır. Eskiden bizim mutfaklarımızda sıvı besinler sırlı ve sırsız toprak küp ve çömlerlerde, içi temizlenerek kurutulmuş su kabaklarında ve kalaylı bakır kaplarda, kuru besinler ise tahta sandıklarda, toprak küplerde ve çuvallarda saklanmaktaydı. Şimdi ise bu gereçlerin yerini cam, emaye ve plastik kaplar almıştır. Geçmişten ve günümüzde kullanılmakta olan muhafaza yöntemleri, konserve yapımı,



kurutma, fermantasyon,tuzlama,baharatlama,turşu, kurutma,derin dondurucu,güneşte kurutma olmak üzere çeşitli yollarla saklanmaktadır.

Gıdaların muhafaza yöntemleri geçmişten günümüze çok değişmiştir. (2) Fakat muhafaza yöntemlerinden ülkemiz genelinde uygulaması araştırma kapsamına alınmaya çalışılmış, yörelere göre uygulanan yöntemler ise unutulmaya yüz tutmuştur (3). Bu yöntemlerden en çok kullanılan yöntem ise kurutma yöntemidir.Gıdaların kurutulması işlemi; gıdadan nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Kurutma veya dehidrasyon, katı maddelerden suyu uzaklaştırarak mikroorganizma gelişimini veya kimyasal reaksiyonları yavaşlatmak veya durdurmak amacıyla uzaklaştırılmasıdır. Gıdalarda kurutma, meyve ve sebzelerin bünyesindeki % 80–95 oranındaki suyun % 10–20 oranına düşürülerek uzun süre dayanmasını sağlamaktır. Gıdalardaki nem miktarının düşürülmesiyle tat, koku ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin de korunması amaçlanmıştır (4).

Genellikle kullanılan ve en maliyetsiz olan yöntem güneşte kurutma yöntemidir. Bu yöntem genellikle doğada kendiliğinden gerçekleşir. Doğada kuruma işlemi güneş enerjisi ile gerçekleştiğinden dolayı yılın on iki ayı ve geceleri kurutma yönteminin uygulanması mümkün değildir.Bu nedenlerle yeni kurutma yöntemleri gelişmiştir (5).Güneşte kurutma yöntemi ile ürün daha uzun sürede ve kalitesiz olarak kurutulmuş olur. Bu süre arttıkça besindeki A,B,C vitaminleri azalmaya başlar.Kurutma işlemi ile üründe istenmeyen bakteriler oluşmakta ve istenmeyen mikrobiyolojik bozulmalar oluşmaktadır. Direk güneşe maruz kalması, ürün içerisinde radyasyon miktarını arttırmış, açık havada bulunması, uçucu böcekler tarafından ürüne zarar vermiştir . Bu nedenlerle gelişen teknolojilerle birlikte yeni kurutma yöntemleri ortaya çıkmıştır.Bunların başında dondurarak kurutma gelir.

Tarihte ilk defa dondurarak kurutma yöntemini İnkalar patatesin kurutulması için kullanmışlardır.Bu ürünün adına “chuno” vermişlerdir. Dondurarak kurutma yöntemi yakın tarihimizde II. Dünya Savaşı zamanlarında tıpta kullanılan ilaç ve serumların nakliyesi için kullanılmıştır.Dondurarak kurutma işlemini günümüz tarihinde ise gıda ve ilaç sanayisinde ,sudan zarara uğrayan tarihi belgelerin düzeltilmesinde,yarı iletken

endüstrisinde kullanılan seramik ürünlerin üretilmesinde ve yapay deri üretmek için kullanılmıştır. (6).

Dondurarak kurutma işlemi,dondurulmuş bir ürünün düşük basınç altında tutularak süblimasyonla dehidrasyon işlemidir. Gıda endüstrisinde bu işlemi ısıya duyarlı olan bir çok ürünün muhafaza edilmesi için kullanmışlardır.

Çalışmalarda bu dondurarak kurutma işlemi kullanılarak dondurulmuş gıdalardan suyun düşük sıcaklık ve düşük basınç altında süblimasyon ile uzaklaştırılması ve donmamış suyun ise desorpsiyon ile uzaklaştırılmasına denir.Dondurarak kurutma işlemi yapıldıktan sonra ürünlerde kalan nem miktarı % 1 ile % 5 aralığında olmaktadır (7).

Çalışmalarda bakterilerin üremesini engellemek,taşıma maliyetlerini azaltmak için liyofilizasyondan yararlanılmıştır.Ürünün uluslar arası nakliyesi için çeşitli paketleme ve muhafaza yöntemleri araştırılmıştır.Dondurularak kurutulmuş ürünler soğutulmuş vakum koşullarında 4 C<sup>0</sup>'de 3 ay ürün yapısında herhangi bir değişiklik görülmedi.Liyofilizasyon işlemi kullanılarak ürünlerin taşınması kolaylaşmış ve maliyette azalmış oldu (8).

Meyve suları ,kahve esansaları gibi sıvı ürünler,tavuk,mantar,muz ve çilek gibi ürünlerin kurutulmasında genellikle dondurularak kurutma işlemi kullanılır (9). Osmanlı çileği de Kdz Ereğli'nin kestane toprağında yetişen Ereğli'ye has bir türdür. Osmanlı çileği mayıs sonu gibi çıkar ve haziran başı gibi biter.Diğer çileklere göre pahalı ve bulunması zordur.Bu yüzden dondurarak kurutma yöntemi kullanılması daha avantajlıdır.Dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak Kdz. Ereğli'de yetişen Osmanlı çileğinin daha uzun süre muhafaza ederiz, başka şehir ve ülkelere de gönderebiliriz.

Yapılan çalışmanın konusu: Kdz. Ereğliye özgü olan Osmanlı çileğinin dondurarak kurutulması kinetik modelinin incelenmesi.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Dondurarak kurutma yönteminde ilk olarak ürün dondurulur ve ardından vakum altında üründeki buzun süblimleştirilmesi ile ürün kurutulmuş olur. Dondurarak kurutma yönteminin en belirgin özelliği üründen nem uzaklaştırmasıdır. Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Jia ve ark (10) , Üç farklı kurutma tekniğinin hurma cipslerinin özellikleri üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Sıcak hava, sıcak hava-mikrodalga ve vakum-dondurarak kurutma tekniklerinin hurma cipsleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üç farklı kurutma yönteminin hurma cipslerinin duyu, dokusal, besinsel ve diğer kalite özellikleri üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Sonuç, dondurularak kurutulmuş cipslerin en iyi beslenme ve kalite özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca sıcak hava tekniği yardımıyla kurutulan hurma cipsleri en düşük çiğnenebilirlik değerine sahipti ve gereksinimleri neredeyse hiç karşılamadı. Bu dezavantaj, diğerlerine kıyasla daha düşük güç tüketimi olan sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak önlenir. Sıcak hava-mikrodalga kurutma tekniğinin , düşük işletme maliyetlerinin yanı sıra yüksek kalite ve besin değerleri ile hurma cipslerinin kurutulmasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır .

Cüneyt Tunckal ve ark (11) , Bu çalışmada ısı pompalı kurutma sisteminde muz dilimlerinin performans analizi ve matematiksel modellemesini incelemiştir. Isı pompalı kurutma sisteminde muz dilimleri farklı sıcaklıklarda kurutuldu. Sıcaklık ve dilim kalınlığı arttıkça kuruma süresi de artmıştır. Etkili nem yayılımı  $1.12 \times 10$  m/s arasında değişmektedir . Nem yayılımının sıcaklığa bağlılığı Arrhenius tipi bir denklemle tanımlandı ve aktivasyon enerjisi -51.45 kJ/mol olarak bulundu. Isı pompalı kurutma sisteminin en yüksek ortalama özgül nem ekstraksiyon oranı ve performans

katsayısı ve en yüksek kurutma havası sıcaklığı sırasıyla 0,212 kg/kWh ve 3.059 olarak elde edilmiştir.

C.de Torres ve ark (12) , Dondurarak kurutma ve fırında kurutmanın üzüm kabuğunun uçuculuğuna ve polifenolik bileşimi üzerine etkisi incelenmiştir. Üzüm kabukları, meyvenin uçucu ve polifenolik bileşiklerin en fazla olduğu kısmıdır. Uçucu bileşikler meyve ve diğer üzüm türevlerine lezzetlerini verir. Polifenolik bileşikler meyve, meyve suyu ve şarabın renginden sorumludur ve ayrıca çok önemli doğal antioksidan bileşikler olarak işlev görür. Dehidrasyon, bu bileşiklerin zamanla zarar görmemesi için kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte, uçucu bileşikler söz konusu olduğunda, suyun çıkarılması, bileşiğin bozulmasına veya bu tür bileşiklerin buharlaşmasına neden olabilir. Bu çalışmada 60 °C derecede dondurarak kurutma ve fırında kurutma olmak üzere iki kurutma yöntemi incelenmiştir. Hem fenolik bileşikler, hem de antosiyaninler, flavonoller taze ve suyu alınmış numunelerde tanımlandı ve böylece dondurarak kurutma yönteminin fırında kurutma yönteminden daha az numuneye zarar verdiği belirlendi.

Cunshan Zhou ve ark (13) , Bu çalışma, vakumla dondurularak ve sıcak havayla kurutulmuş sarımsak dilimlerinin rehidrasyon özelliklerini incelemeyi ve rehidrasyon mekanizmasını açıklamayı amaçladı. Vakumla dondurularak kurutulmuş numunelerinin sıcak havayla kurutulmuş numunelerinden önemli ölçüde daha hızlı su emme oranlarına sahip olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte, vakumla dondurularak kurutulmuş numunelerin, havayla kurutulmuş numunelerden daha düşük nihai nem içeriğine sahip olduğu tespit edildi. Vakum dondurularak kurutulmuş sarımsak dilimlerinin mikro yapısı ve gözenekli yapısının suyu hızlı emmesini sağladı. Ayrıca vakumla dondurularak kurutulmuş sarımsak numunelerinde tutulan çok sayıda hava kabarcığının su emilimini engellediğini tespit edildi.

Renata Różyło ve ark (14) , Bitkilerden elde edilen doğal gıda renklendiricilerinin güvenli olması, sağlıklı olması ve gıdanın rengini olumlu etkilediği için bu renklendiricilere olan ilgi giderek artmıştır. Fakat bugüne kadar doğal gıda renklendiricileri hakkında bazı çalışmalar yapılmış ancak dondurarak kurutma yöntemi sürecini ve kullanılan ön işlemleri açıklayan herhangi bir çalışma yoktur. Bu

çalışmada ise dondurarak kurutma yöntemleri ve ön işlemleri anlatılmaktadır. Dondurarak kurutma bütün veya parçalanmış bitkilerden kaliteli ürün verebilen, renk stabilizatörleri ilave edilmeden de yapılabilen bir yöntemdir. Dondurarak kurutma tekniği birkaç işlevi birleştiren ideal bir yöntem olmuştur. Dondurarak kurutma ile elde edilen doğal renklendiricilerin antiseptik özellikleri belirlenmiştir.

Rui Wang ve ark (15) , Patates dilimlerinin vakumla ve mikrodalgada dondurarak kurutmanın mikro yapısı ve kalitesinin üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca vakumla ve mikrodalga ile kurutmanın patates dilimlerinin içeriğine etki eden C vitamini içeriği, renk, nişasta içeriği, doku ve şeker içeriği açısından test edilmiştir. Deneyler aynı zamanda geleneksel vakumlu dondurarak kurutucunun yanı sıra birde mikrodalga dondurarak kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden yola çıkarak süblimasyon kurutma aşaması sırasında kristal büyümesinin hücre duvarlarında yapısal hasara neden olması ile hem beyazlatılmamış hem de beyazlatılmış patates dokularının oluşması gözlemlendi. Beyazlatılmış doku dondurma işlemi sırasında daha çok hasar görmüştür. İlginç bir şekilde, mikrodalgada dondurarak kurutma ile vakumla dondurarak kurutmada elde edilen ürünler birbirine benzer olmuştur.

VRN Telis ve ark (16), Bu çalışmada dondurarak kurutulmuş ve havada kurutulmuş domateslerin cam geçiş aktiviteleri incelenmiştir. Dondurularak kurutulmuş domateslerin cam geçiş sıcaklıkları 25 °C'de çeşitli su aktivitelerinde şartlandırılmış olan diferansiyel tarama kalorimetrisi ile belirlendi. Deneysel veriler düşük sıcaklık alanında her iki geçiş de su ile pratikleştirildi ve yüksek sıcaklık alanında Gordon-Taylor denklemi ve Kwei modeli ile iyi bir şekilde ilişkilendirildi. Daha yüksek su aktiviteleri için, düşük sıcaklıktaki cam geçiş eğrisi bir süreksizlik sergiledi ve aniden artan cam geçiş sıcaklıkları maksimum dondurularak konsantre amorf matrisin Tg'sine karşılık gelen sabit bir değere yaklaşıyor. Dondurulamayan su içeriği, nem içeriğine bağlı olarak erime entalpisi yoluyla belirlendi.

Mohammad Shafiur Rahman ve ark (17), Bu çalışmada dondurularak kurutulmuş bütün ve yağsız deve sütü ve ana bileşenlerinin termal özellikleri incelenmiştir, diferansiyel taramalı kalorimetri ile ölçülmüştür. Deve sütü yağının

termogramı,biri geniş ve diğeri keskin olan iki endotermik tepe gösterdi.Yağ için endotermik tepenin şekli,yağ asidinin erimesiyle ilgilidir. İzole edilen kazein, peynir altı suyu ve laktozun cam geçişleri de ayrı ayrı belirlenmiştir.

Rafeeya Shams ve ark (18), Kurutma sürecini keşfederek,dondurarak kurutma ve dolapta kurutma yönteminin düğme mantarının fiziko-kimyasal özellikleri renk parametreleri,biyoaktif bileşikleri ve yapısı üzerindeki etkisi araştırıldı.Dondurarak kurutulmuş mantarlardaki nem içeriği ve su aktivitesi kabinde kurutulmuş mantarlara göre daha azdır.Dolapta kurutulmuş düğme mantar tozunun kristal boyutunun dondurarak kurutmaya göre daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle dondurarak kurutma, beyaz düğme mantarı için uygun bir kurutma yöntemi olarak düşünülebilir.

Luanda G. Marques ve ark (19) , Açerola meyvelerinin dondurularak kurutulması için su aktivitesi,cam geçiş sıcaklığı,C vitamini miktarı,büzülme ve rehidrasyon kapasitesi gibi çeşitli kalite parametreleri araştırıldı.Dondurarak kurutmadan önce gerçekleştirilen numunelerin dondurulması sırasında numunelerin farklı pozisyonlarında zamanla sıcaklık değişimi ölçülmüştür. Farklı numune türleri için kurutma kinetik eğrileri elde edilmiştir. Dondurularak kurutulmuş açerola meyvelerinin ıslatıldığında kolayca yumuşar ve işlem sonrasında önemli besin parametrelerinin iyi korunduğu gözlemlendi.Olgunlaşmış açerola meyvelerinin dondurarak kurutulması sonucunda C vitamini miktarı korunmuştur.

Yang Qiu ve ark (20) ,Shiitake mantarları, dondurarak kurutma işlemi sırasında çeşitli kimyasal ve fiziksel özelliklerden etkilenen, gözenekli yapıları bakımından diğerlerinden farklıdır. Bu çalışmada, -20 °C, -40 °C, -80 °C ve -196 °C (sıvı nitrojen ile) dondurularak kurutulacak mantarların rehidrasyon özellikleri,gözenekli yapısı , lifli hücre duvarı ve özellikleri açısından araştırılmıştır. Dondurarak kurutma işlemi 30 °C ile 90 °C arasında değişen sıcak hava ile kurutulmuş numunelerden daha iyi olmasına rağmen oluşan yapısal hasar nedeniyle dondurularak kurutulmuş numunelerin görünümü ve rehidrasyon hızı, kurutma sıcaklığı, nihai rehidrasyon oranı, düşük sıcaklıkta kurutulmuş sıcak hava ile kurutulmuş numunelerden daha

düşüktür . Dondurarak kurutma ile hücre duvarı lifinin hidrasyon özelliğini arttırmıştır, bu da hücre duvarının gevşek yapısındanadır.

Lihui Zhang ve ark (21), Mevcut çalışmada vakumla dondurularak kurutulmuş çilek numunelerinin özellikleri üzerine ön işlem olarak ultra yüksek basınç , ultrason ve bunların kombinasyonunun etkilerini araştırdı. Vakumla dondurarak kurutma sırasında kurutma süresi ve toplam enerji tüketimi azalmıştır. Ön işleme tabi tutulmuş numunelerde serbest suya karşılık gelen enine gevşeme süreleri ve pik alanı belirgin şekilde azalmıştır, bu da ön işleme tabi tutulmuş numunelerde daha düşük hareketliliğe işaret etmektedir.Çilek numunelerinin vakumla dondurularak kurutulması için umut verici bir teknik olmuştur.

Lue-lue Huang ve ark (22), Dondurularak kurutulmuş çilek parçalarının rengi, aroması ve tadı çok iyi olsa da, rehidrasyondan sonra doku çökmesi, sıvı taşıyıcılarda dondurularak kurutulmuş çilek parçalarının uygulanmasını sınırlar. Çilek parçalarının rengi, kaplamaya Na ve  $\beta$ -Siklodekstrin eklenerek bir yere kadar korunabilir. Bu çalışmada, dondurularak kurutulmuş parçaların kaplanması ve kaplama sonrası kurutma yönteminin etkileri araştırılmıştır. Kaplanmış dondurularak kurutulmuş çilek parçaları, ağızlı bir yatakta kurutuldu. Çilek parçalarının rengi, kaplama çözeltisine Na ve  $\beta$ -Siklodekstrin eklenerek bir dereceye kadar korunabilir. Kaplanmış çilek parçalarının rehidrasyon özelliklerinin, kullanılan kurutma koşullarının yanı sıra kaplama süresinden etkilendiği de bulunmuştur.

Kyuya Nakagawa ve ark (23) , Dilimlenmiş meyveler atmosferik dondurarak kurutma ve düşük sıcaklıkta kurutma koşulları altında kurutuldu.Kurutma kinetiği sonucunda ortaya çıkan büzülme derecesi ve C vitamini miktarı değerlendirildi. Cihazdan sıcaklığı -20 ila 10 °C aralığında ayarlandı ve sıfırın altındaki sıcaklık ayarının etkisi araştırıldı. Sıfırın altındaki sıcaklık koşullarının uygulanması, hem elma hem de kiviinin kurutulması işlemi C vitaminin korunması için avantajlıydı. Bununla birlikte, donmanın meyvelerdeki kaliteye olan olumsuz etkisinin yanında ,kuruma süresinin azalması avantajlı bulunmuştur.

Baoguo Xu ve ark (24) Vakumlu dondurularak kurutmada önce farklı frekans modlarında ultrason destekli ozmotik ön işlemin çilek dilimlerinin nem ve kalite özelliklerinin üzerindeki etkileri araştırıldı. Sonuçlar, ultrasonla ışınlanan çilek dilimlerinin kuruma süresinin kontrol örneklerine kıyasla %15,25 – %50,00 oranında azaldığını gösterdi. Vakumla dondurularak kurutulmuş çilek ürünleri için etkili bir ön arıtma yöntemi olduğu sonucuna varılabilir. Çilek dilimlerinin nem durumunu ve mikro yapısını değiştirerek kuruma süresini büyük ölçüde azalttı. Ultrasonla ışınlanmış dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin rehidrasyon kapasitesi, sertliği ve tadı iyileştirildi.

İbrahim Doymaz ve ark (25), Çileklerin laboratuvarında konvektif kurutma kinetiği incelenmiştir. Alkali etil alkol çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş ve işlem görmemiş çilekler 1.2 m/s sabit hava hızıyla seçilen 50, 55 ve 65 °C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kurutma hızı eğrileri, kurutma işleminin sadece hızın düştüğü dönemde gerçekleştiğini göstermiştir Logaritmik modelin hem 50 °C hem de 55°C sıcaklıkları çileğin özelliklerini tanımlamada daha iyi bir model olduğunu buldu. Kurutma sırasında suyun taşınması Fick denklemi ile tanımlanmıştır ve etkili difüzyon değeri  $4.95 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  ile  $1,42 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  arasındadır .

Alica Lammerskitten ve ark (26), Bu çalışmada dondurularak kurutulmuş çilek küplerinin mikroyapısı üzerine darbeli elektrik alanı ön işleminin etkisi araştırılmıştır. Numuneler 45 °C sıcaklıkta ve 1 mbar basınçta dondurularak kurutulmuştur. Ayrıca mekanik ve akustik özelliklerin yanı sıra işlenen malzemenin rengi de analiz edilmiştir. Darbeli elektrik alanı ön işlem gören çilekler görmeyenlere göre daha gevrek, nem oranı daha az, renkleri daha canlı ve görünüşleri daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

T. Fauster ve ark (27) , Bu çalışma için, dondurularak kurutma sonrası ürünlerin fiziksel özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için çilekler ve kırmızı biberler darbeli elektrik alanı ön işlemine tabi tutulmuştur. Araştırmalar, darbeli elektrik alanı ön işlemine bağlı olarak hem dolmalık biber hem de çileğin büzülmesi, işlenmemiş numunelere kıyasla sırasıyla %30 ve %50 daha düşük hacim kayıplarıyla önemli bir azalma tespit edildiğini göstermiştir. Darbeli elektrik alanı ön işleme tabi tutulmuş



dondurularak kurutulmuş numunelerin rehidrasyon kapasitesi, her iki numune için de %50'ye kadar arttı. Bu çalışmanın sonuçları, darbeli elektrik alanı ön işleminin dondurularak kurutulmuş meyve ve sebzelerin kalitesini iyileştirmek için düşük enerji gereksinimleri ile etkili bir ön işlem olabileceğini göstermektedir.

M.Kopjar ve ark (28) , Bu çalışmada dondurarak kurutma, trehaloz ilavesi ve saklama koşullarının çilek kreması dolgusu kalitesine etkisi ve iki işlemde elde edilen ürünlerin kalitesi karşılaştırılmıştır. Numunelerin hem rengi hem de aroması trehaloz ilavesinden önemli ölçüde değişmiştir. Çilek krema dolgularının antosiyanin içeriği, trehaloz ilavesiyle orantılı olarak yükselmiştir. Dondurularak kurutulmuş numuneler, buharlaşma ile üretilen numunelere kıyasla daha iyi renk ve daha yüksek antosiyanin içeriğinin yanı sıra meyve aroması daha iyi korundu. Ayrıca çilek kreması dolguları oda sıcaklığında 5 ay saklandı.

## BÖLÜM 3

### GIDALARIN MUHAFAZA YÖNTEMLERİ

Gıdaları daha uzun zaman saklamak için kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır;

- Yüksek sıcaklıkta saklama
- Dondurarak saklama
- Asitle saklama
- Tuzlayarak saklama
- Konserve yaparak saklama
- İşleyerek saklama
- Baharatlayarak saklama
- Dondurularak kurutma ile saklama
- Güneşte kurularak saklama

Gıda muhafaza edilmesinde temizlik en önemli adımlardan biridir. Kimyasal dezenfektanlar mikroorganizmaları öldürmede farklılık gösterebilir. Bu durum mikroorganizmaların türlerine, bağlanma mekanizmalarına ve ürünün fiziksel özelliklerine göre değişir. Bazı dezenfektanlar doğrudan temaslı yıkamalarda kullanıma uygundur. Dezenfektanların gıdalara nasıl etki ettiğinin yanında dezenfektanların etkinliğinin de bilmek önemlidir. Klor, klor dioksit, hidrojen peroksit, ozon, peroksiasetik asit, iyot, trisodyum fosfat ve kuaterner amonyum gibi çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu dezenfekte işlemleri yerine daha çevresel yeni yöntemler geliştirmelidir (29).

Gıdasal ürünlerin uzun süre saklanması için geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Bu teknikler yukarıdaki yazıda belirttiğimiz gibi soğutma, kimyasal işlemlerden geçirme, turşu yapmak, tuzlayarak salamura yapmak, derin dondurucularda saklamak gibi çeşitli yöntemlerle saklama yöntemleri kullanılmıştır. Fakat bunlardan

en yaygın kullanılan yöntem kurutma yöntemi olmuştur.Kurutma işlemi ürünlerdeki su veya nemin uzaklaştırması yöntemidir.Kurutma işlemi sonucu ürünlerde bakteri üremesi ,bozulması,gevrekliğinin azalması diğer yöntemlere kıyasla daha az olur.Bu nedenle kurutma yöntemi günden güne gelişmektedir (30).

Gıdaların muhafazası ve işlenmesi geçmişte olduğu kadar basit veya kolay değildir. Günümüzde ekonomik koşulları ile birlikte ürünlerde beklentiler artmıştır .Bu beklentiler ürünün daha uzun süre bozulmadan dayanması, renginin daha canlı olması,kaliteli olması,kimyasal bir şey içermemesi,koku olarakta insanı cezbetmesi gibi halk tarafından çeşitli talepler ortaya çıkmış ve böylelikle yeni muhafaza yöntemleri gelişmeye başlamıştır (29).

Güneşte kurutma yöntemi çok eskilere dayanan bir kurutma yöntemidir.Bu yöntem maliyeti en düşük yöntemdir.Fakat bu yöntemle açık havada kurutulan ürünlerde tozlar,bakteriler,böcekler,kuş pisliği gibi çeşitli kirliliklerden dolayı cazipliğini yitirmiştir.Ayrıca pazarda satışıda bu nedenlerden ötürü azalmıştır. (31) Güneş tüneli kurutucusu kullanılarak ürünler kurutulmuş.Kurutma sıcaklığı ve bağıl nemin kurutma modeli üzerindeki etkisi sabit tutulmuş ve katsayıları da belirlenmiştir. Güneş tüneli kurutucusunda kurutulan numuneler böceklerden, yağmurdan ve tozlardan tamamen korunmuş, kurutulmuş numuneler renk ve hijyenik açıdan daha kaliteli ürünler elde edilmiş. Bu sistem çeşitli tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılabilir. Ayrıca bu yöntemin maliyetide düşüktür (32).

Kırılma penceresi dehidrasyon teknolojisi yeni bir kurutma yöntemidir.Bu yöntemle sıvı gıdaları toz haline getirilerek kurutulan yeni bir kurutma yöntemidir.Bu yöntemle meyve ,sebze ve bitkilerden elde edilen sular 3-5 dk kurutulmuş ve ürünlerin renk,vitamin değerleri korunmuştur. Bu kurutma sistemleri atmosferik basınçta çalışır ve çirpılmış yumurta karışımı, avokado tozu, yüksek karotenoid içeren algler, bitkisel özler ve insan beslenme takviyeleri ve gıda bileşenlerinin yanı sıra kurutulmuş meyve ve sebzelerin ticari üretimi için kullanılır (33).

Mikrodalga ve radyo frekanslı enerjisine sahip dielektrik kurutma yöntemleri, son yıllarda araştırılmakta ve çok dikkat çekmektedir. Doğru uygulandığında,mikrodalga

ve radyo frekansı ile kurutma kullanılarak enerjiden tasarruf edilmiş olur ve çok çeşitli ürünler içinde kullanılabilir. Bununla birlikte, hem mikro dalga hem de radyo frekans kurutma teknolojilerini kapsayan çok az inceleme vardır. Enerjiyi verimli kullanmak adına bu tarz yöntemler araştırılıp geliştirilmelidir (34).

Gıdasal ürünler yüksek su içeriği nedeniyle depolaması sırasında sorun yaşar . Bu nedenle, son 100 yılda, düşük sıcaklıkta donma, metabolik ve biyokimyasal bozulmaları önlemek için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ürünlerin içindeki suyun buza dönüşümü tüm kimyasal reaksiyonları sona erdirmiştir. Dondurulmuş halde korumanın geniş olanaklar sunmasına rağmen, bazı durumlarda uygulanması hala zordur, çünkü sürekli düşük sıcaklıkta depolama istemesi ve nakliye edilmesi zordur. Bu nedenle dondurarak kurutma veya liyofilizasyon geliştirilmiştir.. Muhafaza edilecek ürünlerin önce derin dondurularak daha sonra buzun düşük basınç altında doğrudan süblimasyonu ile kurutulduğu iki aşamalı bir işlemdir. Dondurularak kurutulmuş ürünler tamamen susuz bırakıldığında, maddeler kuru, nötr bir atmosferde ve karanlıkta tutulursa neredeyse süresiz olarak saklanabilir. (35)

### **3.1. GIDALARIN DONDURULARAK KURUTMA İLE MUHAFAZA YÖNTEMLERİ**

Tarihte dondurarak kurutma işlemi 1940' yıllarda ilk olarak kan ürünlerinin üretilmesinde ve sağlık alanında kuru plazma üretilmesinde kullanılmışlar. Daha sonralarda da biyolojik ve antibiyotik gibi ürünlerin kurutulma işlemindedeki kullanılmıştır.

Dondurarak kurutma yöntemi raf ömrünün uzatılmasında etkin bir işlemdir ve iki önemli özelliğe sahiptir:

- Deneyle sırasında ortamda hava yoktur.
- Kurutma işlemi çevre sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta meydana getirilmektedir (36).

Dondurarak kurutma işlemi kimya ,eczacılık ,biyoteknoloji ve gıda alanlarındada çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir.Dondurarak kurutma yapılırken dondurulmuş olan üründen düşük basınç altındaki ortamda bulunmakta olan serbest su süblimasyonla uzaklaştırılmış ve bağlı su ise desorpsiyonla uzaklaştırılmıştır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında dondurarak kurutma işlemiyle kurutulan ürünler daha az hasara uğrar ve ürünün içinde bulunan C vitamini ,aromo ve mineral gibi değerli bileşenlerin kayıpları diğerlerine kıyasla çok daha az olur (37).

Liyofilizasyon ve dondurarak kurutma, endüstriye ve kurutmanın yapıldığı yere bağlı olarak kullanılan aynı anlama gelen terimlerdir. Kontrollü olarak dondurarak kurutma ile kurutulmuş ürün görünümünde ve özelliklerinde değişiklikleri önlemek için işlem sırasında ürün sıcaklığını yeterince düşük tutulmuştur. Ayrıca bu yöntemle ilaçlar , dokular, plazmalar ve proteinler gibi çok çeşitli ısıya duyarlı malzemeleri korumak bu yöntem çok faydalı olmuştur (38).

Dondurularak kurutma sonucu oluşan ürünlerde en çok dikkat çeken özellik rehidratasyon işlemi yani kaybettiği suyu aynı şekilde geri alma özelliği olmuştur. Bu yöntemle numunenin dış görünüşünde bir zarara uğrayıp ,uğramadığı görülmüş olur.Deneylerde ilk başta dondurma işlemini yapmadan önce numune tartılmış, aynı zamanda ürün dondurarak kurutma işlemi yapıldıktan sonrada tartılır ve kurutulan ürün oda ısısında su içinde ıslatılmıştır, belirli bir zaman geçtikten sonra numune kurutulduktan sonrada tartılmıştır. Bu işlemler sonucunda ürünün kaybettiği kadar su alması iyi bir kurutmanın olduğunu gösterir, kaybettiğinden az su alması ise proteinlerin bozulduğunu gösterir. Ayrıca kaybettiğinden fazla su alması ürünün donma sırasında yavaş donup büyük kristallerin oluştuğunu ve süblimasyondan ardından geniş boşluklar kaldığının bir göstergesidir (39).

### **3.2. SÜBLİMASYON**

Süblimleşme olayı bir katının sıvı fazından geçmeden doğrudan buhara dönüşmesi olayıdır. Süblimasyon işemini tam olarak anlamak, dondurarak kurutma hakkında bilgi edinmenin temel yoludur.



dayandığından, kurutulacak olan ürünün gözenek yapısı ve dondurma işlemi sonrası ürün içindeki buzun yapısı önemlidir. Dondurma işlemini yapmadan öncede numune belirgin özelliklerine bağlı olarak küçük parçalara kesilebilir.Yaptığımız bu kesme işleminin ürünün kurutulması aşamasında süblimasyon hızına faydalı olmasıyla birlikte aynı zamanda donma hızında etki etmektedir. Mesela bir meyvenin ince parçalara bölünmesi ile donma işlemi hızlanmış olur ama kalın parçalara kesilen meyvenin iç kısımlarında bulunan suyun donması ise daha çok zaman almıştır. Böylelikle kalın parçalara ayrılan meyvelerin dondurma işlemi sonrasında dış yüzeydeki donma yapısı ile iç yüzeydeki donma yapısı aynı olmaz (41)

### **3.3. DONDURULARAK KURUTMANIN AŞAMALARI**

Dondurularak kurutma evresi üçe ana gruba ayrılmaktadır.Bunlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Dondurma
- Birinci kurutma
- İkinci kurutma

Olarak yukardaki gibi gruplandırılmıştır.

#### **3.3.1. Dondurma Evresi**

Dondurma evresi dondurarak kurutma için çok önemlidir ve işlemin ilk evresini oluşturmaktadır.Dondurarak kurutulacak madde çözelti halinde ise bu çözeltinin denge hızı diyagramındaki ötektik noktasının altındaki sıcaklığa kadar soğutulur.Bu işlemin sonucunda madde kristalleşmiş olur (42).

Hızlı dondurma ile numunede küçük buz kristalleri oluşmaktadır. Küçük buz kristallerinin oluşması dondurarak kurutma sonucunda maddede daha az hasar oluşur. Ancak dondurarak kurutma işlemi zorlaşır. Ürünün yavaş dondurulmasında ise büyük buz kristalleri oluşur. Ayrıca büyük buz kristallerini kurutma işlemi, küçük buz kristallerine göre basit bir işlemdir. Fakat bu durum maddenin yapısına daha çok

hasara uğratmıştır (43) (44).Buz kristali ufak olduğunda gözeneklerindeki boşluk azdır. Buz çapı büyüdükçe gözenekli yapıda aynı oranda büyür. Bunların sonucunda ürünü dondurma işlemi iki şekilde yapılmaktadır.

- Hızlı dondurma işlemi : Küçük buz kristalleri oluşmuştur. Küçük kristalleri dondurarak kurutmak işlemi çok zordur fakat bunların süblimasyonu materyalinin yapısına daha az hasar vermektedir.
- Yavaş dondurma işlemi : Büyük buz kristalleri meydana getirir. Dondurularak kurutulması küçük kristallere göre daha basittir fakat bu durum ürünü çok fazla hasara uğratmıştır (45).

Ürün özelliğine göre uygun bir şekilde dondurulmaktadır. Eğer çalışmada saf su kurutulacaksa 0,0098°C ve 4,58 mm basınçta dondurarak kurutma işlemi yapılmalıdır. Bu değerlerde bulunan saf suyun sıvı ,katı ve gaz olarak üç hali dengede olmuş olur. Dokularda su saf olarak bulunamaz. Suyun içinde bulunan ürünün özelliği ve konsantrasyonuna bağlı olarak ötektik değeri değişebilir. Biyolojik dokular için sıcaklık genellikle NaCFin ötektik değeri olan -21,6°C olarak bulunmuş olur.Ürünler bu değerlerin altındaki kalan sıcaklıklarda ürün dondurulmuş olur (46) (47).

Ayrıca dondurma işleminde uygulanan hız ve sıcaklık değeri oldukça önemli olmaktadır. Çünkü gerek hayvansal gerekse bitkisel kaynaklı hücreleri, hücre zarı, sitoplazma ve çekirdek oluşturduğu için, hücre zarının çatlatılmadan ve sitoplazma içeriğinin yani hücre özsuyunun dışarı çıkmasına izin vermeden, hücre yapısını değiştirmeden, seri olarak dondurmak gerekir. Böylelikle yağ ,karbonhidrat ,mineral vitamin, protein ve aromatik maddelerin değeri azalmadan muhafaza edilmiş olur (48).

Birde dondurma evresi en çok enerji tüketen evredir.Bu sürecin uzunluğu dondurulan maddenin içeriğine bağlıdır.Çoğu gıda malzemesi %40 ile %80 arasında değişen nem içermektedir.Bu büyük nem içeriği suyun donmasında gerekli gizli ısı nedeniyle yüksek enerjiye ihtiyaç duyar.Bu nedenle maddenin nem içeriği ne kadar az olursa enerji tüketimide ona oranla azalır (48).



### 3.3.2. Birinci Kurutma Evresi

Dondurma evresi bittikten sonra ürünün bulunduğu kurutma odası boşaltılıp, kurutma odasının basıncı çözücünün süblimasyonunu sağlayacak şekilde azaltılır (49). Süblimleşme işlemi donmuş ürünlerin alçak basınçta, katı fazından gaz fazına dönüşmesidir. Donmuş üründen suyun gaz fazına geçmesi buhar derişim farkıyla olur. Bu şekilde üründen ayrılan su buharı kurutma kabine yayılır. Su buharının üründen devamlı olarak buhar derişiminin olması için su buharı kurutma kabine vakumla taşınmaktadır. Bunun sonucunda kurutma kabindeki buhar basıncı numunenin süblimleşmesi için alçak alınmalıdır. (43).

Süblimasyon ilkönce numunenin dış yüzeyinde olur ve dış yüzeyin kurumasıyla birlikte kurutma işlemi ürün içerisine doğru ilerler. Numunenin merkezinde bulunan buz kristallerinin de süblimasyona uğramasıyla ürünün nem içeriği yaklaşık olarak %5'e kadar inmiş olur. Dondurarak kurutmadan belirli bir zamandan sonra ürünün içinde kalmış buz kristallerine ısının ulaşması zorlaşmaktadır. Bunun sonucunda dondurarak kurutma işleminde kuruma hızı bir süre sonra düşüşe geçer (50).

Ayrıca su molekülleri katı fazdan buhar haline geçerken, çok yüksek olan süblimasyon ısısını (2840 kJ/kg) kurutulacak olan üründen alır ve böylelikle donmuş tabakanın sıcaklığı düşmüş olur. Sisteme eğer herhangi bir ısı kaynağından ısı sağlanmazsa, ürünün içindeki donmuş suyun buhar basıncı kurutma odasının içindeki su buharının kısmi basıncı ile dengeye ulaşır ve üründen suyun süblimasyonla ayrılması biter. Anlatılanlardan da yola çıkarak kurutulacak olan maddeden suyun sürekli bir şekilde süblime edilebilmesi için süblimasyon ısısı herhangi bir ısı kaynağından sisteme alınmalıdır. Sisteme ısı genellikle kondüksiyon, konveksiyon veya radyasyonla sağlanır. Kondüksiyon ile ürünün ısıtılması ürünün bulunduğu kabin altındaki plakaların ısıtılması ile gerçekleşmektedir (49).

Kurutma yapılırken sistem içindeki ısıtıcı gelişigüzel bir şekilde seçilmemelidir. Seçilen sıcaklığın üründe bozulma, buruşma, renk derişimi, biyokimyasal aktivitelere sebep olan değerde olmamalıdır. Birinci kurutma safhası ürünün süblimasyonu bitene kadar devam eder (41).

### 3.3.3. İkinci Kurutma Evresi

İkinci kurutma evresi liyofilizasyon işleminin son evresidir ve donmamış suyun uzaklaştırılma işlemi bu evrede yapılır. İkinci kurutma evresinde, bağlı suyun desorpsiyonla uzaklaştırılma işlemi yapılır.

Dondurarak kurutma evresi biter bitmez ikinci kurutma evresi başlamaktadır. Dondurarak kurutma işlemini yaparken birinci kurutma evresinde sadece donmuş suyun uzaklaştırılması, ikinci kurutma evresinde de bağlı suyun uzaklaştırılması yapılmaktadır. Aslında normalde dondurarak kurutma işleminde çok az miktarda bulunan bağlı suyun bir kısmı birinci kurutma evresinde uzaklaştırılmaktadır (43).

Çalışmalardaki üründeki toplam suyun % 65-90'ı serbest haldeki su olup, birinci kurutma safhası boyunca süblimasyonla işlemi ile uzaklaştırılır. Bu çalışmadaki toplam suyun %10-35'i bağlı sudur. Bağlı suyun uzaklaştırılması kurutma hızını ve toplam kurutma süresini etkilemektedir. Bağlı suyun uzaklaştırılması için gerekli olan zaman serbest suyun uzaklaştırılması için gerekli olan zamana eşittir yada daha uzun olabilir (51).

Bu evrede birinci kurutma evresindeki gibi ürüne vakum altında sıcaklık verilmiştir. Bu evrede verilecek olan sıcaklık birinci kurutma safhasına oranla daha fazladır. Ama bu evrede ürüne verilen sıcaklık çok hızlı yükseltilmez. Aynı zamanda bu evrede sıcaklıktan etkilenen ürünler 10-35°C, sıcaklıktan etkilenmeyen ürünler ise 50°Clerde kurutulmuştur (51).

Kurutmada kullanılan ürün, uzun süreli depolama için kabul edilebilecek nem içeriğine sahip olana kadar ikincil kurutmaya devam etmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaya bağlı olarak, tamamen kurutulmuş ürünlerdeki nem içeriği tipik olarak %0,5 ile %3 arasında olur. Yapılan deneylerde, ürün ne kadar kuru olursa, raf ömrü o kadar uzun olur. Böylelikle, bazı karmaşık biyolojik ürünler, optimum depolama

sonuçlarının olması için çok kuru hale getirilebilir ve ikincil kurutma işlemi sürekli olarak kontrol edilmelidir (40).

Dondurarak kurutma işleminin bittiğini gösteren belirtilerden biride ürünün ağırlığındaki azalmadır (52). Dondurarak kurutma işlemi esnasında ürün belli aralıklarda hasas terazide tartılır, ürün sabit bir ağırlıkta kaldığı zaman kurutma işlemi tamamlanmış anlamına gelmektedir. Eski tip cihazlar için yaptığımız bu işlem uygundur ancak gelişmiş cihazların açılıp kapaması çok uzun zaman aldığı ve vakumun boşaltılması sırasında kurutucunun içine giren havaya uzun süre maruz kaldığı için gelişmiş cihazlar bu işlemde uygun olmamıştır. Gelişmiş olan cihazlarda raf sıcaklığı, kondensör sıcaklığı ile birlikte termokuplarla ürünün sıcaklığı ölçme özelliği vardır.Dondurarak kurutma işleminin bittiğini gösteren en önemli şey ürünün ağırlığındaki azalmadır.Kurutma cihazından çıkartılan ürün 60 dk etüvde bekletilir.Ondan sonra da 15 dk da bombeli camdan yapılmış desikatörde bekletilerek nem miktarı minimize edilmiş olur.Böylelikle kurutma işlemi bitmiş olur (53).

## BÖLÜM 4

### DONDURARAK KURUTMANIN AVANTAJLARI

Dondurularak kurutulmuş gıdaların aroma ve besin değerleri yüksek seviyede korunmuş olur.

Dondurularak kurutulmuş olan numunelere su eklenmesi ile kurumadan önceki eski haline döner.

Deneylemler sonucunda oluşan mikroorganizmaların ve bakterilerin oluşumu sıcaklığın azalması ile düşürülür ve böylelikle ürünler bozulmadan saklanır.

Dondurularak kurutma işleminde sıcaklığın çok düşük olması ve su kaybının bölgesel olarak hızlı gerçekleşmesi avantajlı olmuştur. Diğer kurutma yöntemlerine göre bu dondurularak kurutma yöntemi enzimatik reaksiyonları ve proteinlerin bozulmasını en aza indirmiştir (54) (51).

Başarılı olan Liyofilizasyon numuneleri, ürünlerdeki su kaybını azaltarak ve stabiliteyi artırma işlemleri ile aşı üretim faaliyetlerini arttırmıştır (54).

Dondurularak kurutulmuş ürünlerde nem oranı oldukça düşük olduğu için buzdolabına ihtiyaç olmadan dışarda saklanır. Dondurularak kurutma ile bazı ilaçların ömrünü artırır ve uzun yıllar kullanılmasını sağlar (55).

Dondurularak kurutma esnasında ürüne dışardan herhangi bir katkı maddesi eklenmez.

## BÖLÜM 5

### MATARYEL VE METOT

#### 5.1. MATARYEL

##### 5.1.1. Osmanlı Çileği (Ottoman Strawberry)

Çilekle ilgili ilk bilgi botanikçi Tillius'dan alınmıştır. Çilek önce Fransada yetiştirilmiştir.Çileğin Fransada yetiştirilmesiyle çileğin kültürel değeri artmış ve dünyada başka yerlerde de dikilmeye başlanmıştır. Kdz. Ereğli'ye özgü olan Osmanlı Çileği fidesi, dönemin paşası olan Halil Paşa'ya hediye olarak verilmiştir ve böylelikle 1900'lü yılların başında ekilmeye başlanan çilek Kdz. Ereğli'nin kestane toprağına, yerli kültür olan diğer çilek türü ile etkileşim sürecine girmiş ve ortaya Osmanlı Çileği denen nazik,beyazımsı ve aromalı bir çilek oluşmuştur .Osmanlı Çileği haziran ayı ortalarına kadar meyve vermektedir. Hassas bir yapıya sahip olması nedeniyle büyük ilgi gerektiren Osmanlı Çileği, üreticileri tarafından sabahın erken saatlerinde zedelenmeden toplanmakta ve 1-2 saat içerisinde hemen satışa sunulmaktadır. Toplanan çileğin açık havadaki ömrü sadece 15-20 saat olduğundan hemen tüketilmesi gerekmektedir .Osmanlı Çileği, eşsiz lezzet ,koku ve aromasından dolayı kralların yiyeceğı diye söylenmektedir (56) (57).

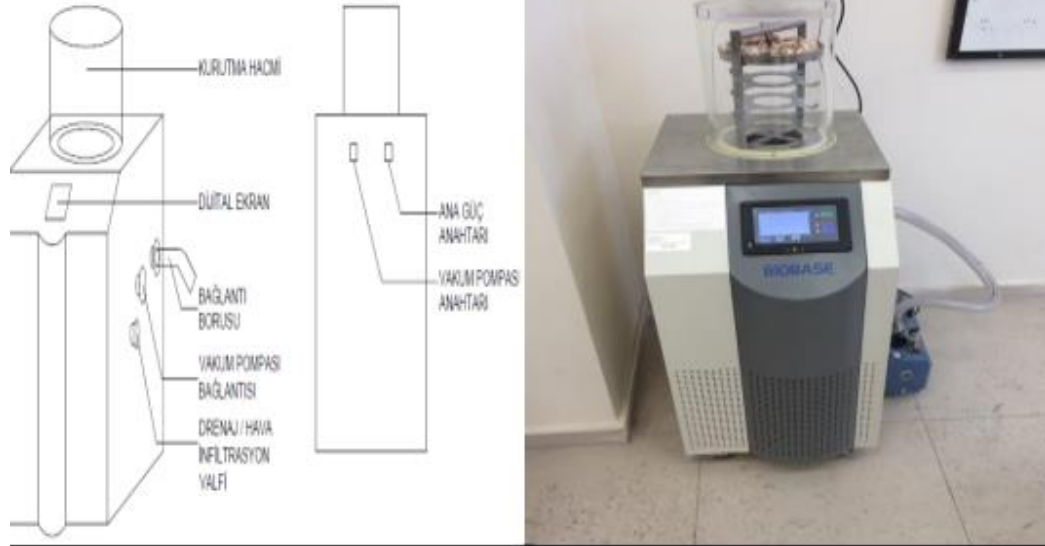
Osmanlı çileği sıradan bir meyve değildir aynı zamanda üretildiğı coğrafyayla anılan, kendine has reyhası ve lezzeti olan, doğal ve organik bir değer olduğu gibi korunup, gelecek kuşaklara aktarılması gereken bir kültür mirası haline gelmiştir. Bu nedenle kıyıda köşede, çeyiz sandıkları diplerinde poğçalara sarılmış halde bulunan gerçek "Ereğli Çileği" tohumları ile bu tohumlardan özgün fideler üretildi. İlçede 1960'lı yıllara dek üretilen ve yöre halkının geçim kaynağı olan 'Ereğli Çileği' unutulmaya hatta kaybolmaya yüz tuttuğı süreçte, çilek fidesi dağıtılmasıyla yeniden üretilmeye başlandığı gibi yaklaşık yüz yıl bağrında barındırdığı "Ereğli Çileği" ile tekrar

kavuşmuş oldu (58).Kdz. Ereğli Belediyesi'nce her yıl Kdz. Ereğli Osmanlı Çileği Kültür Ve Sanat Festivali adlı bir şenlik düzenlenmekte ve gelen misafirlere bu çileği ekip yetiştirmeleri teşvik edilmektedir (58).



Şekil 5.1. Osmanlı çileği (59).

### 5.1.2. Dondurarak Kurutma Cihazı



Şekil 5.2. Dondurarak kurutma cihazının resim olarak ve şematik olarak gösterilmesi (60).

### 5.1.3. Deneysel Çalışmalar

Osmanlı çileği rengini sabah güneşinden alır bu yüzden sabahın erken saatlerinde deney çalışmaları için toplandı. Bu çilek toplandıktan sonra sulu yapısından dolayı oda koşullarında hemen bozulduğu için bekletilmeden deney işlemlerine başlanmıştır. Osmanlı çileğini kullanarak yaptığımız deneyde her biri 100 gr. olacak şekilde kalınlıkları 5 mm lik dilimler olacak şekilde kesilip kaplara yerleştirilmiştir. Şekil 5.3'te toplam 8 adet kaplara konularak hazırlanan Osmanlı çileği numuneleri bir gün önceden derin dondurucuya konulup beklendi ve ertesi gün deneylere yapıldı.

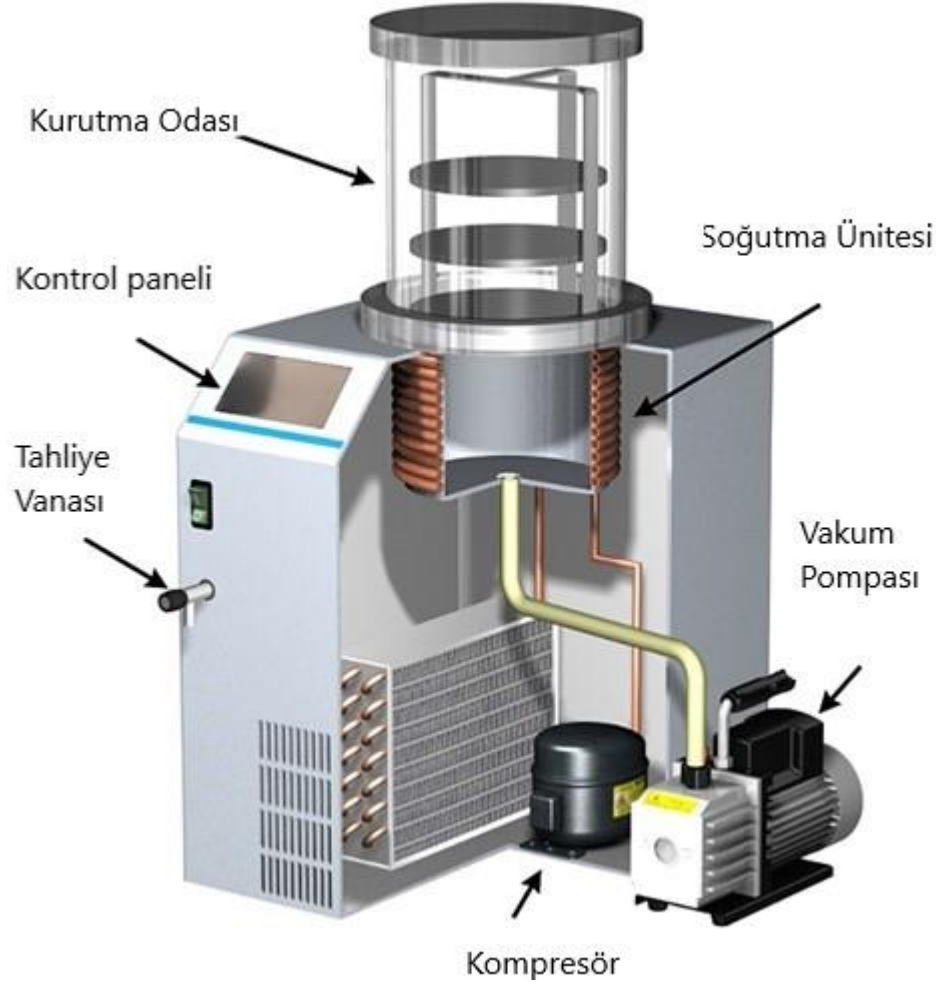


Şekil 5.3. Mm kesilerek hazırlanan Osmanlı çileği numuneleri.

Yapılan deneylerde kullanılan dondurarak kurutma cihazı olarak Labogene markasının Scanvac Coolsafe tip cihazının şematik olarak gösterilmiş resmi Şekil 5.2 ve 5.4' de verilmiştir.  $4 \times 10^{-4}$  mbar vakum gücüne sahip vakum pompasına bağlı olan cihaz ile çalışmamızda ihtiyaç duyulan basınç, 0.01 kPa basınca kadar düşürüp deneyler yaptık. Çalışmalarda kullandığımız dondurarak kurutma cihazı ile  $-55$  °C ye kadar düşen evaporatör sıcaklığı ile ürünleri dondurma işlemini gerçekleştirilebilir.

Aşağıdaki gösterilen dondurarak kurutma cihazının çalışması, dondurulmuş ürünün düşük basınçta sıcaklığını yükselterek süblimleşme işleminin gerçekleştirilmesi işlemine dayanır. Şekil 5.4'te gösterilen cihazda vakum pompası, kurutma odasında istenilen basıncı düşürürken kompresör ise kabin içi sıcaklığı ayarlar. Yapmış olduğumuz deneysel çalışmada, cihazın kurutma odasına ürün yerleştirip ardından

kontrol panelinden sıcaklık ve basınç ayarları yapıp cihaz çalıştırılıp işlemlere başlandı.



Şekil 5. 4. Dondurularak kurutma cihazının şematik olarak gösterimi (61).

Deneysel çalışmaya başlamadan önce cihazın üzerinde bulunan kontrol paneline, yapılacak çalışma için uygun görülen basınç, sıcaklık ve başlama süreleri girilip gerekli ayarlamalar yapıldı ayrıca numunelerin dondurularak kurutma süresi 14 saat olarak seçildi. Yapılan çalışmada aşağıdaki değerler uygulanmıştır:

**Freeze : Dondurma Evresi**

-40 °C .....60 dk

**Freeze Dry : I. Kurutma Evresi**

-30 °C .....180 dk

-20 °C .....180 dk



-10 °C .....120 dk

0 °C .....120 dk

5 °C .....120 dk

### Freeze Dry : II. Kurutma Evresi

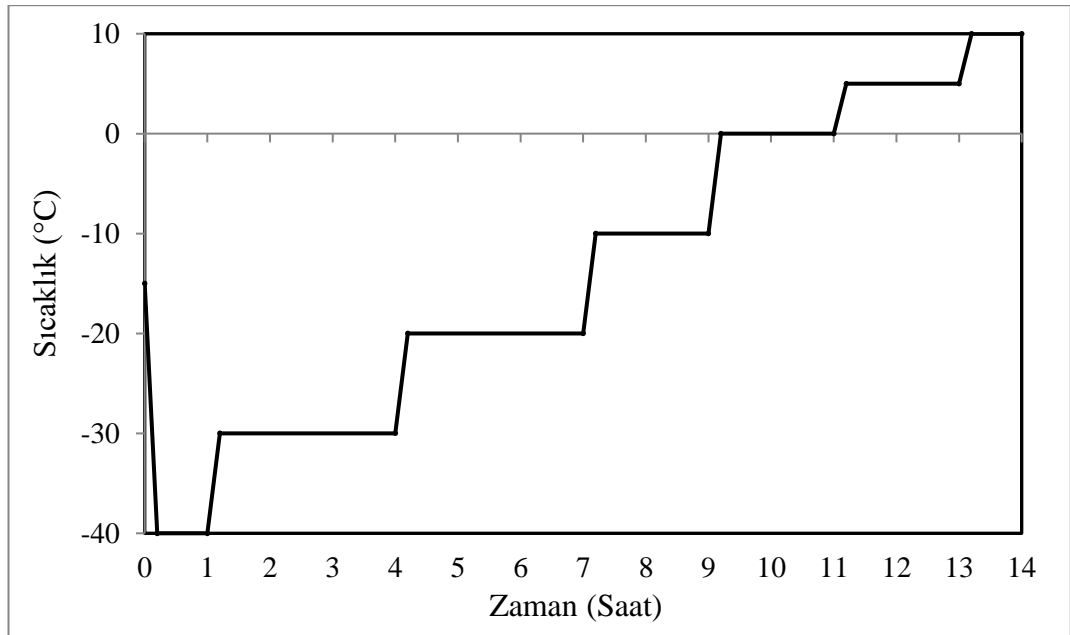
10 °C .....60 dk

Kurutma Oda Basıncı 0,1 hPa

0,01 kPa

Yukarıdaki işlemler uygulandıktan sonra toplam 14 saatin sonuna kadar dondurarak kurutma tamamlanmış olur.

Aşağıdaki şekilde deney esnasında meydana gelen sıcaklık zaman grafiği gösterilmiştir. Deneysel çalışmada 8 farklı kaplara çilekleri hazırlamamızın sebebi iki saatte bir ağırlık kayıplarını ölçmektir. Bu yüzden 1. numuneyi cihaza yerleştirilir ardından cihaz çalıştırılır ve 2 saat sonra numuneyi çıkartılıp 0.001 gr. hassasiyete sahip hassas terazide tartılır ve böylelikle 2 saat sonunda numunenin ne kadar ağırlık kaybettiği ölçülmüş olur. Aynı şekilde 2. numunede cihaza alınarak aynı kurutma ayarlarında cihaz çalıştırılır ama bu sefer numune 4 saat sonunda cihazdan alındıktan sonra ağırlık kaybı ölçülür ve 4 saat sonunda ne kadar ağırlık kaybettiği ölçülür.



Şekil 5.5. Sıcaklık ve zaman grafiği

Aynı işlem diğer Osmanlı ileđi numuneleri içinde yapılarak 6., 8., 10., 12. ve en son 14. Saatin sonrasında numune alınır ardından etüve yerleştirilerek yaklaşık 60 dakika etüvde bekletilir. Bu 60 dakika bittikten sonra ürün etüv'den alınıp numune içerisinde çok miktarda silikajel bulunan bombeli camdan yapılmış olan desikatöre konularak yaklaşık 15 dk. da burada bekletilir. Ardından 15 dk. bittikten sonra desikatörden alınan Osmanlı ileđi hassas terazide tartılıp sonuçlar not edilir. Yaptığımız bu işlemin nedeni dondurarak kurutma sonunda üründe kalan nem var ise o nemi numuneden uzaklaştırıp numunenin nem oranını daha başarılı olarak bulmaktır. Yani bunu nemi yeterince minimize edebilmektir.

Fakat elde ettiğimiz eşitlikler yapılan çalışmalar kullandığımız ürün ve deney koşulları için geçerlidir. Ayrıca yarı teorik modellerde en sık kullanım alanı bulunan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak bilinir. (62)

Aşağıdaki denklem 1. de ( $M_0$ ) başlangıç nemi, ( $M_t$ ) t anındaki nemi, ( $M_d$ ) ise denge nemidir. Denklem sol tarafında bulunan kısım da kurutmanın farklı t zamanındaki nem oranı (MR) değerlerini vermektedir. Aşağıdaki denklem 2. de verilmiş olan (DR) kurutma hızı  $M_t$ , t zamandaki nem miktarını verir. Aşağıdaki denklemlerle nem oranını ve kurutma hızını bulmuş oluruz.

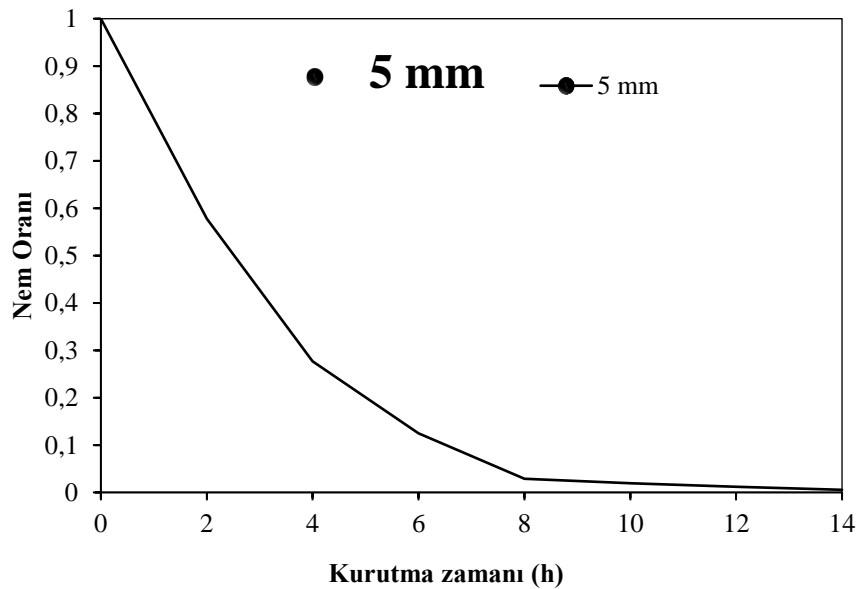
$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (5.1)$$

$$DR = \frac{M_t + d_t - M_t}{d_t} \quad (5.2)$$

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalarımız yaptığımız şekil 5.3 de resmi gösterilen 5 mm kalınlığında dilimlenen Osmanlı çileği numunelerinin 14 saat süren işlemlerin sonucunda zamana göre nem oranları aşağıdaki şekilde verilmiştir. Elde edilen numunelerin nem miktarı bulunup, zamana bağlı olarak ağırlık kayıpları da kaydedilip ardından matematiksel modellere bağlı olan grafiği elde edilir, uygulanan 8 farklı kurutma kinetik modelinin en iyisinin seçilmesi sağlanmıştır. Ardından bu matematiksel işlemi yapmak için MATLAB programından yararlanılarak bulunmuştur. Tablo 6.1’de gösterilen MATLAB programında kullanmak için tahmini nem miktarını (MR) gösteren toplam 8 farklı kurutma modeli tabloda gösterildi (63).Yaptığımız deneylerle bulunan ve modeller ile tahmin edilen nem oranı değerleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak verileri açıklamak ve tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri ile numunenin modelleme yeterliliği ( $R^2$ ) Denklem 3., Denklem 4. ve Denklem 5.’te verilen denklem ile elde edilmiştir (64) (65).



Şekil 6.1. Osmanlı çileği numunelerinin zamana göre nem oranları

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (6.1)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp} - MR_{pre})^2}{N - z} \quad (6.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum (MR_{exp} - MR_{pre})^2}{\sum (MR_{pre})^2} \right] \quad (6.3)$$

Yukardaki Denklem 3. de verilen tahmini standart hata (RMSE), Osmanlı çileği ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca deneysel verileri açıklayan modelin denklem 5.'te modelleme yeterliliği ( $R^2$ ) değerinin 1 'e yakın çıkması istenilen sonuca ulaştığımızı göstermiştir. Yaptığımız deneylerden ulaşılan sonuçlarla toplam 8 model üzerinde işlem yapıldı ve bu 8 farklı modelden en uygun kurutma modeli bulunmuş oldu. Bu belirleme kriterleri modellerden elde edilen  $R^2$ ,  $X^2$  ve RMSE değerlerine bağlı sonuçlar olarak bulundu.

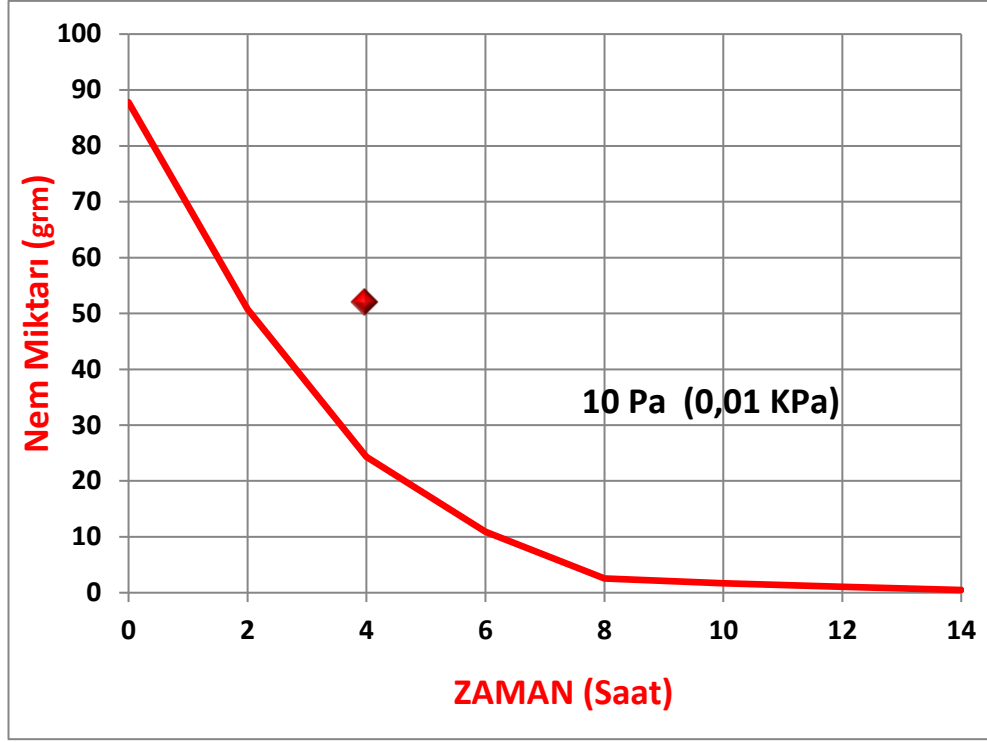
Çizelge 6.1. Dondurarak Kurutma kinetiği için kullanılan yarı ampirik ve ampirik denklemlerinin gösterilmesi.

Model No	Model Adı	Model
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Geliştirilmiş Page I	$MR = \exp[-(kt)^n]$
4	Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
5	Logaritmik	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$
6	İki terimli- eksponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k a t)$
7	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
8	Difüzyon Yaklaşım	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k b t)$

Çizelge 6.2. Dondurarak kurutma kinetiği için kullandığımız modellerden bulduğumuz sonuçlar.

Model Numarası	Model Adı	Model parametreleri	R <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	RMSE
1	Newton	k: 0.3223	0.9934	8.49×10 <sup>-4</sup>	0.02725
2	Page	k: 0.229 n: 1.249	0.9998	6.993×10 <sup>-5</sup>	0.007242
3	Değiştirilmiş Page I	k: 0.3064 n: 1.226	0.9995	7.8688×10 <sup>-5</sup>	0.007682
4	Henderson ve Papis	a: 1.019 k: 0.3272	0.9939	9.26×10 <sup>-4</sup>	0.026355
5	Logaritmik	a: 1.044 c: -0.03058 k: 0.3008	0.996	7.288×10 <sup>-4</sup>	0.021342
6	İki dönemli eksponansiyel	a: 1.842 k: 0.4471	0.9994	8.707×10 <sup>-5</sup>	0.08081
7	Wang ve Sing	a: -0.2015 b: 0.009643	0.9781	3.307×10 <sup>-3</sup>	0.049806
8	Difüzyon Yaklaşımı	a: 4.364 b: 0.8945 k: 0.217	0.997	5.347×10 <sup>-4</sup>	0.01828

Tablo 6.2 de 8 numuneden elde edilen R<sup>2</sup>, X<sup>2</sup> ve RMSE değerleri. Tabloda 6.2 de 5 mm Osmanlı çileği için 1'e en çok yaklaşan değer 0.9998 R<sup>2</sup> değeridir ve sırayla 0'a en yakın olan değerde 6.993x10<sup>-5</sup> X<sup>2</sup> ile Logarithmic model en ideal kurutma modeli bulunmuştur. Aynı zamanda tahmini standart hata (RMSE) değeri 0.007242 gibi 0'a yakın bir değer olması logarithmic modelin gerçekleştiğinin kanıtıdır.



Şekil 6.2. Osmanlı çileği numunelerinin kurutma süresine göre nem miktarı.

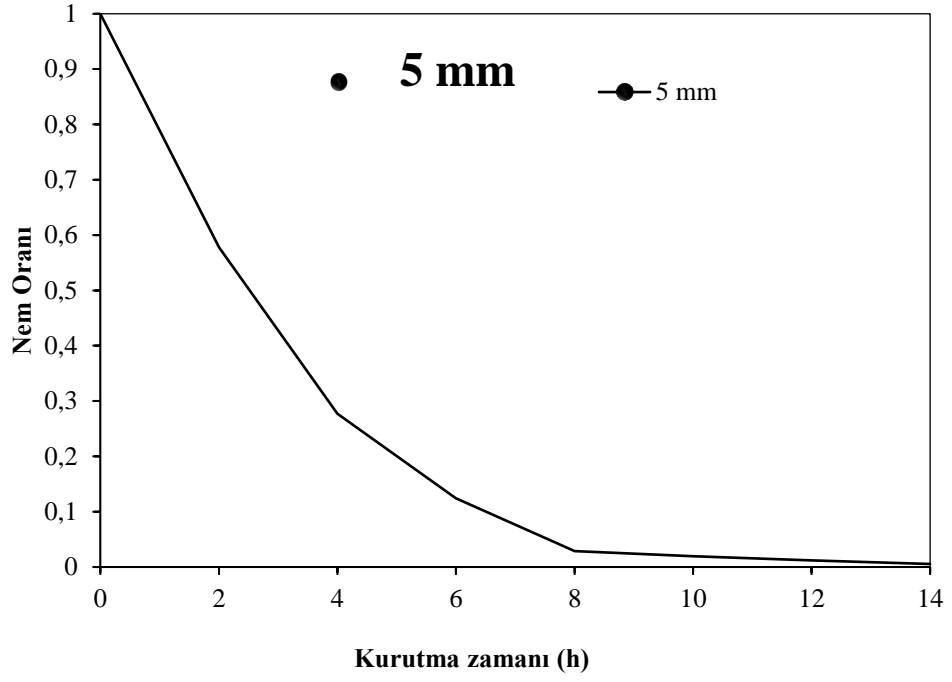
Ayrıca Şekil 6.2’de Osmanlı çileği dilimlerinin kurutma süresine bağlı nem miktarı grafiği verilmiştir. Nem içeriği numunede olan suyun kuru maddeye oranı olarak gösterilmiştir. İlk başta çok olan bu oran ilk iki saatte hızlı bir şekilde düşüp ikinci saatten sonra ise daha ağır bir düşüş olmuştur.

Deneyleerde kullanılan gıdaların ince dilim şeklinde kesilerek kurutma işlemi için geniş bir araştırma olanağı olan teorik model, Fick’in ikinci yasası uygulanıp bulunur .  
(66)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (6.4)$$

Ayrıca Denklem 6. da difüzyon katsayısı sabit alınıp ve kartezyen koordinatları için çözüldükten sonra uygun sınır koşulları ile sadeleştirme yapılarak Denklem 7 de bulunmuş olur.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (6.5)$$



Şekil 6.3. Osmanlı çileği numuneleri için  $\ln(MR)$  kurutma zaman grafiği.

Yukarıda deneylerden elde ettiğimiz kurutma verilerinden yola çıkarak  $\ln(MR)$  cinsinden zamana karşı grafiği çizildi. Denklem 7 de verilen  $MR$  değeri ile kurutma zamanı grafiği eğimli düz bir çizgi vermiştir.

Ayrıca 5 mm kalınlığında kesilen Osmanlı çileği numuneleri ile denklem 8'de verilen efektif difüzyon değeriyle hesaplanır. Bu denklem sonucunda 5 mm Osmanlı çileği numunelerinin efektif difüzyon katsayısı  $2.73286 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  bulunur (67).

$$K = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (6.6)$$



Şekil 6.4. Scanvac coolsafe marka dondurarak kurutma cihazında Osmanlı çileğinin kurutulması.



Şekil 6.5. Dondurularak kurutulmuş Osmanlı çileği numuneleri.



## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇ

Bu çalışmada gıdaların uzun süre bozulmadan nasıl muhafaza edilebileceği araştırıldı. Araştırmalar sonucunda dondurarak kurutmanın daha doğru bir yöntem olacağına karar verildi. Dondurarak kurutma nasıl yapılır,dondurarak kurutma aşamaları,dondurarak kurutma hakkında literatür araştırması yapıldı ve daha önce bununla ilgili yapılan çalışmalar incelendi. Kdz Ereğli'ye özgü olan Osmanlı çileği senede sadece mayıs sonu olmaya başlar , haziran ayı ortalarına kadar toplanmaktadır.Haziran ayının ortalarına doğru tükenir.Ayrıca toplandıktan sonra 2 saat içinde kullanılmazsa bozulduğu için dondurarak kurutma yöntemi ile bu eşsiz kokusu ve reyhasıyla değerli olan çileği saklamak için Labogene markasının Scanvac Coolsafe tip cihazını kullanarak çalışmalar yapıldı.

Yapılan çalışmada Osmanlı çilekleri 5 mm kalığında kesilen her biri 100 gr olan Osmanlı çileği dilimleri 8 farklı kaplara konularak ilk olarak bir gün önceden dondurulmuştur. Dondurma işleminden sonrada Osmanlı çileği dilimlerinin dondurarak kurutulma işlemi gerçekleştirilmiştir. 14 saatlik dondurarak kurutma işlemi sonunda ilk önce 60 dk etüvde bekletilmiş ve ardından 15 dk desikatörle bekletilerek ortaya çıkan nem miktarının tespit edilmiştir.Deneyler sonucunda 100 gr olan Osmanlı çileğinin ağırlığı 12,2 gr düşmüştür.Ayrıca 87,8 olan nem miktarıda 0,485' e düşmüştür. Aynı zamanda her iki saatte alınan ağırlık kaybı verileri ile MR ve DR hesaplanarak toplam 8 farklı kurutma modeli üzerinde en uygun olan kurutma modeli bulunmuştur. R<sup>2</sup> değeri 0.9998 X<sup>2</sup> değerleri ise 5 mm için 6.993x10<sup>-5</sup> olarak belirlenmiş ve tahmini standart hata (RMSE) değerinin 0.007242 olduğu gözlemlenen çalışmada en uygun modelin Logarithmic model olduğu sonucuna varılmıştır. In (MR) ye bağlı olarak hesaplanan Efektif difüzyon katsayısı değerleri 5 mm için 2.73286 ×

$10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Yaptığımız çalışmalar sonucunda efektif difüzyon katsayısı  $10^{-12} - 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s aralığında olduğu tespit edilmiştir.

## 7.2. ÖNERİLER

Bu tezde yapmış olduğum deneyler sonucunda ve araştırmalar ışığında tespit ettiğim öneriler şunlardır;

- Osmanlı çileğinin dondurma işlemini dondurucuda yapıldı .Dondurma işlemi cihazın kendisi tarafından olsaydı,zaman kaybı daha az olurdu.Daha az enerji ile tek makine ile yapılırdı.
- Dondurarak kurutma esnasında Osmanlı çileği cihaza konulup istenilen sürede alınıp hassas terazide tartılıyor.Her defasında aynı işlem yapılıyor.Bu işlem cihazın uzun süre çalışmasına neden olur .Bu yapılan tartma işleminin cihazın içinde otomatik yapılması ile zamandan ve enerjiden tasarruf etmiş oluruz.

## KAYNAKÇA

- 1- Köşker, H., Ercan, F., & Albuz, N., "Osmanlı Çileği'nin gastronomik kimlik unsuru olarak değerlendirilmesi", **Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 30: 1236-1269 (2018).
- 2- SAYGIN, C. U., & İLBAN, M. O., "Kırsal Alanlarda Kadınların Uyguladıkları Geleneksel Gıda Muhafaza Yöntemleri", **Journal of Tourism and Gastronomy Studies**, 2942-2961 (2019).
- 3- Memiş, E., & Ersoy, Y., "GELENEKSEL GIDA MUHAFAZA YÖNTEMLERİ" (2014).
- 4- BAYSAL, T., RAYMAN, A., & BOZKIR, H., "Kurutulmuş Ürünlerin Ambalajlanması ve Saklanması " 17(20): 37-41 (2013).
- 5- AKTEPELİ, B., "Isı pompalı kurutucu ile bayat ekmeğin geri dönüşüm tekniklerinin deneysel analizi", **Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, ANKARA (1-85) (2014).
- 6- Suiçmez, A. O., "Dondurarak kurutma sistemlerinde kurutma parametrelerinin deneysel incelenmesi"Yüksek lisans tezi **Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2014).
- 7- Cumhuri, Ö., "Modernist Mutfakta Dondurarak Kurutma Teknolojisi" **Nevşehir HBV Üniversitesi Turizm Fakültesi**, Nevşehir (2019).
- 8- Liang, L., Carrigy, N. B., Kariuki, S., Muturi, P., Onsare, R., Nagel, T., ... & Connerton, I. F., "Development of a lyophilization process for campylobacter bacteriophage storage and transport" **Microorganisms**, 8: 282 (2020).
- 9- Cemeroglu, Bekir., "Meyve Sebze İşleme Teknolojisi" **Nobel Akademik**, (2011).
- 10- Jia, Y., Khalifa, I., Hu, L., Zhu, W., Li, J., Li, K., & Li, C., "Influence of three different drying techniques on persimmon chips characteristics.A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave and vacuum-freeze drying techniques"**Food and Bioproducts Processing**, 118: 67-76 (2019).
- 11- Tunckal, C., & Doymaz, İ., "Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system"**Renewable Energy**, 150: 918-923 (2020).
- 12- De Torres, C., Díaz-Maroto, M. C., Herminos-Gutiérrez, I., & Pérez-Coello, M. S., "Effect of freeze-drying and oven-drying on volatiles and phenolics composition of grape skin" **Analytica Chimica Acta**, 660(1-2): 177-182 (2010).

- 13- Zhou, C., Feng, Y., Zhang, L., Yagoub, A. E. A., Wahia, H., Ma, H., ... & Yu, X., "Rehydration characteristics of vacuum freeze-and hot air-dried garlic slices" **LWT**, 143:111158 (2021).
- 14- Różyło, R., "Recent trends in methods used to obtain natural food colorants by freeze-drying" **Trends in Food Science & Technology**, 102:39-50 (2020).
- 15- Wang, R., Zhang, M., & Mujumdar, A. S., "Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices" 101: 131-139 (2010).
- 16- Telis, V. R. N., & Sobral, P. J. A., "Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato" **Food Research International**, 35:435-443 (2002).
- 17- Rahman, M. S., Al-Hakmani, H., Al-Alawi, A., & Al-Marhubi, I., "Thermal characteristics of freeze-dried camel milk and its major components " **Thermochimica acta**, 549:116-123 (2012).
- 18- Shams, R., Singh, J., Dash, K. K., & Dar, A. H., "Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom" **Applied Food Research**, 2: 100084(1), (2022).
- 19- Marques, L. G., Ferreira, M. C., & Freire, J. T., "Freeze-drying of acerola (Malpighia glabra L.)" **Chemical Engineering and Processing Process Intensification**, 46: 451-457 (2007).
- 20- Qiu, Y., Bi, J., Jin, X., Wu, X., Hu, L., & Chen, L., "Investigation on the rehydration mechanism of freeze-dried and hot-air dried shiitake mushrooms from pores and cell wall fibrous material" **Food Chemistry**, 383:132360( 2022).
- 21- Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An, K., & Hu, J., "Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of *strawberry* chips prepared by vacuum-freeze drying" **Food chemistry**, 303:125386 (2020).
- 22- Huang, L. L., Zhang, M., Yan, W. Q., Mujumdar, A. S., & Sun, D. F., "Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces" **Journal of food engineering**, 92:107-111 (2009).
- 23- Nakagawa, K., Horie, A., Nakabayashi, M., Nishimura, K., & Yasunobu, T., "Influence of processing conditions of atmospheric freeze-drying/low-temperature drying on the drying kinetics of sliced fruits and their vitamin C retention" **Journal of Agriculture and Food Research**, 6:100-231 (2021).
- 24- Xu, B., Chen, J., Tiliwa, E. S., Yan, W., Azam, S. R., Yuan, J., ... & Ma, H., "Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound pretreatment on the vacuum freeze-drying process and quality attributes of the strawberry slices" **Ultrasonics Sonochemistry**, 78:105714 (2021).
- 25- Doymaz, I., "Convective drying kinetics of strawberry" **Chemical Engineering and Processing Process Intensification** , 47:914-919 (2008).

- 26- Lammerskitten, A., Wiktor, A., Mykhailyk, V., Samborska, K., Gondek, E., Witrowa-Rajchert, D., ... & Parniakov, O., "Pulsed electric field pre-treatment improves microstructure and crunchiness of freeze-dried plant materials" **LWT**, 134: 110266 (2020).
- 27- Fauster, T., Giancaterino, M., Pittia, P., & Jaeger, H., "Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage, rehydration capacity and texture of freeze-dried plant materials" **Lwt**, 121:108937 (2020).
- 28- Kopjar, M., Piližota, V., Hribar, J., Simčič, M., Zlatič, E., & Tiban, N. N., "Influence of trehalose addition and storage conditions on the quality of strawberry cream filling" **Journal of Food Engineering**, 87:341-350 (2008).
- 29- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., & Swanson, B. G., "High-pressure treatment in food preservation" **In Handbook of food preservation. CRC Press**, 833-872 (2007).
- 30- Cerci, K. N., & Kavak Akpınar, E., "Experimental determination of convective heat transfer coefficient during open sun and green-house drying of apple slices" **İstanbul** , 741-746 (2016).
- 31- Cerci, K. N., & Kavak Akpınar, E., "Experimental determination of convective heat transfer coefficient during open sun and green-house drying of apple slices" **İstanbul** , 741-760 (2016).
- 32- Sacilik, K., Keskin, R., & Elicin, A. K., "Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato" **Journal of food Engineering**, 73: 231-238 (2006).
- 33- Nindo, C. I., & Tang, J., "Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method" **Drying technology**, 25: 37-48 (2007).
- 34- Wang, Y., Li, Y., Wang, S., Zhang, L., Gao, M., & Tang, J., "Review of dielectric drying of foods and agricultural products" **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 4: 1-19 (2011).
- 35- Rey, L., " Freezing and freeze-drying" **Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**,191: 9-19 (1975).
- 36- Nebahat Ş.Ü, Sanem B.,"Gıdalarda Dondurarak Kurutma Teknolojisi" **Samsun,Giresun** (2015).
- 37- TALİH, M., & DİRİM, S. N., "Kurutma Yardımcı Maddelerinin Dondurarak Kurutulmuş Taflan Tozlarının Özellikleri Üzerine Etkisi" **Gıda**, 43(3): 461-475 (2018).
- 38- Méndez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G., "Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*)Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content" **Food chemistry**, 230: 174-181 (2017).

- 39- Oezkara, T., "The effects of radiation sterilisation on mechanical properties of freeze-dried bone grafts; Dondurarak Kurutma Yoentemi ile Saklanan Greftlerin Mekanik Ozellikleri Uzerine Radyasyonla Sterilizasyonun Etkileri" Yüksek lisans tezi **İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul , (2003).
- 40- SUIÇMEZ, A.O., "Dondurarak kurutma sistemlerinde kurutma parametrelerinin deneysel incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi **Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2014).
- 41- SADIKOĞLU, H., & Özdemir, M., "Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri" **Gıda**, Gebze-Kocaeli, 28(6): 643-649 (2003).
- 42- Kırmacı, V., "Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması" **Doktora Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara,(2008).
- 43- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., & Bakalis, S., "Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach" **Food and Bioproducts Processing**, 100:525-534 (2016).
- 44- Meryman, H. T., "Principles of freeze-drying" **Annals of the New York Academy of Sciences**, 85(2) :630-640 (1960).
- 45- Caekenberghe D, Cortes FV., "Freeze drying: principles. Ann Med Milit Belg" 11: 14-16 (1997).
- 46- Sadıkoğlu H, Özdemir M., "Dondurarak kurutma teknolojisi" **Termoklima** , 102: 53-61(2001).
- 47- Çetin B., Tipi B., Turhan Ş. ve Akbudak N., "Türkiye’de Dondurulmuş Sebze-Meyve Sanayisinin Ekonomik Yapısı ve Pazarlama Sorunları" 16-92 ( 2003).
- 48- KING,C.J., "Freeze drying of foods. Chemical Rubber Co" **Press, Cleveland, Ohio**, (2020).
- 49- Liapis, A. I., & Bruttini, R., "Freeze-drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes in vials: Dynamic multi-dimensional models of the primary and secondary drying stages and qualitative features of the moving interface" 13 (1-2):43-72 (1995).
- 50- Sadıkoğlu, H. ve Özdemir, M., " Dondurarak kurutma teknolojisi" **Termoklima**, 102: 53-61 (2001).
- 51- Evranus Ö, Çataltaş İ., "Gıda İşleme Mühendisliği" **İnkılap Kitapevi**, İstanbul, (1989).
- 52- ÖZKARA, Biyolog TÜRKAN., "Dondurarak kurutma yöntemi ile saklanan greftlerin mekanik özellikleri üzerine radyosyanla strilizasyonun etkileri" **Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul , (2003).
- 53- Duran, A., Karakaya, M., Sarıçoban, C., "Liyofilizasyon uygulamasının sığır ve tavuk etlerinin bazı emülsiyon özellikleri üzerine etkisi" (2002).

- 54- Shukla, S., "Freeze drying process: A review. International journal of pharmaceutical sciences and research" 2(12): 30-61 (2011).
- 55- İnternet:Kdz. Ereğli Belediyesi, "Efsaneler Kenti Kdz. Ereğli, Kdz. Ereğli TicaretveSanayiOdası"http://www.kdzeregli.bel.tr/images/arsiv/dergi/eregli\_kultur\_TR/html5forpc.html?page (2017).
- 56- Köşker, H., Ercan, F., & Albuz, N., "Osmanlı Çileği'nin gastronomik kimlik unsuru olarak değerlendirilmesi" **Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 30 (2018).
- 57- Tokel, Raif., "Ereğli Çileği'nden Kdz. Ereğli Osmanlı Çileği'ne..."**Pusula gazetesi**, (2021).
- 58- ÇELEN, Emre., "Dondurarak Mantar Kurutma" Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2018).
- 59- DAĞDEVİREN, A., Bahadır, A. C. A. R., ALHAMMADİ, A., ROSHANAEL, K., COŞKUN, T., İNANÇ, Ö., & ÖZKAYMAK, M., "Freeze-drying of persimmon (diospyros kaki) slices investigation of drying characteristics" **Politeknik Dergisi**, 1-1(2021).
- 60- Sadikoglu, H., Liapis, A. I., & Crosser, O. K., "Optimal control of the primary and secondary drying stages of bulk solution freeze drying in trays" **Drying Technology**, 16(3-5): 399-431, (16 Mayıs 1998).
- 61- Menges, H. O., & Ertekin, C., "Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples" *Journal of Food Engineering*, 77(1): 119-125,(2006).
- 62- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Bilbao-Sáinz, C., Uribe, E., & Lemus-Mondaca, R., "Empirical modeling of drying process for apple (Cv. Granny Smith) slices at different air temperatures" **Journal of Food Processing and Preservation**, 32(6): 972-986 (2008).
- 63- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Bilbao-Sáinz, C., Uribe, E., & Lemus-Mondaca, R., "Empirical modeling of drying process for apple slices at different air temperatures" **Journal of Food Processing and Preservation**, 32(6): 972-986 (2008).
- 64- Rayaguru, K., Routray, W., & Mohanty, S. N., "Mathematical modeling and quality parameters of air-dried betel leaf (piper betle L.)" *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4): 394-401 (2011).
- 65- Kırmacı, V., Usta, H., & Menlik, T. "An experimental study on freeze-drying behavior of strawberries" **Drying Technology**, 26(12): 1570-1576 (2008).
- 66- Hammami, C., & René, F., "Determination of freeze-drying process variables for strawberries" **Journal of food engineering**,32(2): 133-154 (1997).

- 67- Wang, C., Zhang, L., Qiao, Y., Liao, L., Shi, D., Wang, J., & Shi, L., "Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice" **LWT**, 160:113-232 (2022).
- 68- Jiang, J., Zhang, M., Devahastin, S., & Yu, D., "Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries" **LWT** 145:111-300(2021).
- 69- Prosapio, V., Norton, I., & De Marco, I., "Optimization of freeze-drying using a Life Cycle Assessment approach: Strawberries' case study" **Journal of Cleaner Production**, 168: 1171-1179 (2017).
- 70- Adak, N., Heybeli, N., & Ertekin, C., "Infrared drying of strawberry" **Food chemistry**, 219: 109-116(2017).
- 71- Jayaraman, K. S., & Gupta, D. D., "Drying of fruits and vegetables. In Handbook of industrial drying" **CRC Press**, 643-690(2020).
- 72- Zhang, Y., Zheng, Z., Liu, C., Tan, C. P., Xie, K., & Liu, Y., "A comparative study between freeze-dried and spray-dried goat milk on lipid profiling and digestibility" **Food Chemistry**, 387 (2022).
- 73- Vergeldt, F. J., Van Dalen, G., Duijster, A. J., Voda, A., Khalloufi, S., Van Vliet, L. J., ... & Van Der Sman, R. G. M., "Rehydration kinetics of freeze-dried carrots" **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 24:40-47 (2014).



## ÖZGEÇMİŞ

Kdz. Ereğli'nin kandilli beldesinde bulunan ilkokul ve ortaokul eğitimini Madenci ilköğretim okulunda tamamlamıştır.2012 yılında yine kandillide bulunan Armutcuk lisesinden mezun olmuştur.2014 yılında Karabük Üniversitesinde Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne başlamış ve 2019 yılında mezun olmuştur.2020 yılında Karabük Üniversitesi teknoloji fakültesinde enerji sistemleri mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisansa başlamıştır.