



**DONDURULARAK KURUTULAN YABAN  
MERSİNİNİN KİNETİK MODELİ VE EFEKTİF  
DİFÜZİVİTESİ**

**Mutlu Can AYRIKSA**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**DONDURULARAK KURUTULAN YABAN MERSİNİNİN KİNETİK  
MODELİ VE EFEKTİF DİFÜZİVİTESİ**

**Mutlu Can AYRIKSA**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**KARABÜK  
Haziran 2022**

Mutlu Can AYRIKSA tarafından hazırlanan “DONDURULARAK KURUTULAN YABAN MERSİNİNİN KİNETİK MODELİ VE EFEKTİF DİFÜZİVİTESİ” başlıklı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK .....

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. 08.06.2022

Unvanı, 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.”*

Mutlu Can AYRIKSA

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DONDURULARAK KURUTULAN YABAN MERSİNİNİN KİNETİK MODELİ VE EFEKTİF DİFÜZİVİTESİ

Mutlu Can AYRIKSA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2022, 47 sayfa

Bu çalışmada dondurarak kurutma (FD) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, ürünlerin raf ömrünü uzatması ve içeriğindeki faydalı aromaları koruması ile son yıllarda kullanılan ve en sağlıklı olarak gösterilen kurutma yöntemidir. Kurutmak için üzümü meyveler arasında önemli bir yere sahip olan antioksidan, antimikrobiyal, antidiyabetik, antienflamatuar, antiseptik vb. özellikleri bilinen pek çok fenolik bileşik açısından zengin bir kaynak olan yaban mersini (*Vaccinium spp.*) kullanılmıştır. Çalışmada 100 gr ve 5 mm et kalınlığına sahip yaban mersinleri kurutma cihazının içerisine yerleştirilmiş, 14 saat kurutma işlemine tabi tutularak her iki saatte bir ağırlık kayıpları gözlemlenerek veriler işlenmiştir. Elde edilen verilere Matlab programı kullanılarak 8 farklı kinetik kurutma modeli uygulanmıştır. Uygulama sonucunda tahmini standart hatalar olan (RMSE), ki-kare ( $X^2$ ), regresyon katsayıları ( $R^2$ ) hesaplanmış, hata analizleri yapılmış ve  $R^2$ ,  $X^2$ , RMSE değerleri sırasıyla  $1,4686 \times 10^{-2}$ ,  $2,875 \times 10^{-4}$  ve  $9,978 \times 10^{-1}$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara

göre en uygun modelin Page modeli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yaban mersini için efektif difüzyon katsayılarının  $2,57665 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Kurutma kinetiđi, yaban mersini kurutma, kinetik kurutma modeli, page modeli.

**Bilim Kodu :** 92808



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **KINETIC MODEL AND EFFECTIVE DIFFUSIVITY OF FROZEN-DRYED EUROPEAN BLUEBERRY**

**Mutlu Can AYRIKSA**

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

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**June 2022, 47 Pages**

In current study, the freeze-drying (FD) method has been investigated. This method is the healthiest drying method that used in recent years by extending the shelf life of the products and preserving the beneficial flavors in its content. Antioxidant, antimicrobial, antidiabetic, anti-inflammatory, antiseptic, etc., are the most emphasized role among the berries. Thus, blueberry is one of the great aspects to be a case for drying. Blueberry (*Vaccinium Myrtillus*), which is an opulent source of many phenolic compounds with known properties, has been determined. In the study, blueberries by the weight of 100 g and with a thickness of 5 mm were placed in the drying device, and the data were processed by observing the weight loss every two hours after being subjected to the drying process for 14 hours. 8 different kinetic drying models were applied to the acquired data using the Matlab program. As a result of the application, the estimated standard errors (RMSE), chi-square ( $X^2$ ), regression coefficients ( $R^2$ ) were calculated, error analysis was performed,  $R^2$ ,  $X^2$ ,

and RMSE values were found, as  $1,4686 \times 10^{-2}$ ,  $2.875 \times 10^{-4}$  and  $9,978 \times 10^{-1}$ . According to these results, it was determined that the most suitable model is the Page model. Also, the effective diffusivity coefficients for blueberries were calculated as  $2.57665 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Keywords** : Drying kinetics, drying of European blueberry, kinetic drying model, page model.

**Science Code** : 92808



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yorulma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Doç. Dr. Bahadır ACAR ve Arő. Gör. Abdullah DAĞDEVİREN'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3 .....	7
YABAN MERSİNİ HAKKINDA BİLGİLER.....	7
3.1. YABAN MERSİNİ TÜRLERİ .....	9
3.1.1. Doğal (Yabani) Yaban Mersini Türleri (Likapa).....	9
3.1.1.1. Adi Yaban Mersini (Vaccinium Myrtillus).....	9
3.1.1.2. Bataklık Yaban Mersini (Vaccinium Uliginosum).....	10
3.1.1.3. Kafkas Yaban Mersini (Vaccinium Arctostaphylos).....	10
3.1.2. Kültürü Yapılan Yaban Mersini Türleri .....	11
3.1.2.1. Yüksek Çalı Formlu Yaban Mersini (Vaccinium Corymbosum)...	11
3.1.2.2. Tavşan Gözü Yaban Mersini (Vaccinium Ashei Reade).....	11
3.2. YABAN MERSİNİ BOTANİK ÖZELLİKLERİ.....	12
3.2.1. Toprak Üstü Organları .....	12
3.2.2. Kök Sistemi .....	12
3.2.3. Tomurcuk ve Çiçekler .....	13
3.2.4. Meyve Gelişimi .....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.5. Tozlanma .....	13
3.3. YABAN MERSİNİ FAYDALARI .....	13
3.3.1. Kan Şekerini Düzenler.....	13
3.3.2. İdrar Yollarını Temizler.....	14
3.3.3. Görme Kaybına Faydalı.....	14
3.3.4. Beyin Sağlığını Korur.....	14
3.3.5. Kalp Hastalıklarından Korur.....	14
3.3.6. Sindirim Sistemini Düzenler.....	14
BÖLÜM 4 .....	16
GIDALARI KURUTMA YÖNTEMLERİ.....	16
4.1. DOĞAL KURUTMA.....	17
4.2. YAPAY KURUTMA .....	17
4.2.1. Morötesi Radyasyon Kurutma.....	17
4.2.2. İletimle Kurutma.....	18
4.2.3. Kızılötesi Işınımlı Kurutma .....	18
4.2.4. Karıştırmalı Yatakta Kurutma .....	18
4.2.5. Vakumda Kurutma .....	19
4.2.6. Akışkan Yataklı Kurutma.....	20
4.2.7. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma .....	21
4.2.8. Flaş Kurutma .....	21
4.2.9. Tünel Kurutucu.....	21
4.2.10. Püskürtmeli Kurutucular.....	23
4.2.11. Döner Kurutucular .....	23
4.2.12. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular .....	24
4.2.13. Dielektrik Kurutma.....	25
4.2.14. Mikrodalga Kurutma .....	25
4.2.15. Apphertizasyon .....	26
4.2.16. Dondurarak Kurutma .....	26
BÖLÜM 5 .....	27
DONDURARAK KURUTMA.....	27
5.1. DONDURMA İŞLEMİ .....	27

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.2. BİRİNCİ KURUTMA İŞLEMİ (SÜBLİMASYON).....	28
5.3. İKİNCİL KURUTMA İŞLEMİ (DESORPSİYON) .....	29
BÖLÜM 6 .....	31
MATERYAL VE METOT .....	31
BÖLÜM 7 .....	36
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	36
BÖLÜM 8 .....	41
SONUÇ .....	41
KAYNAKLAR .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Çeşitli yaban mersini görselleri. ....	7
Şekil 3.2. Adi yaban mersini. ....	9
Şekil 3.3. Kafkas yaban mersini.....	10
Şekil 3.4. Tavşan gözü yaban mersini.....	11
Şekil 3.5. Yaban mersini toprak üstü görüntüsü. ....	12
Şekil 3.6. Yaban mersini çiçeği. ....	13
Şekil 4.1. Doğal kurutma. ....	17
Şekil 4.2. İletimle kurutma sistemi. ....	18
Şekil 4.3. Vakumda kurutma odası (Chen and Mujumdar, 2008). ....	19
Şekil 4.4. Akışkan yataklı kurutucu. ....	20
Şekil 4.5. Paralel akış tünel kurutucu.....	22
Şekil 4.6. Zıt akış tünel kurutucu. ....	22
Şekil 4.7. Dönen tip püskürtmeli kurutucu. ....	23
Şekil 4.8. Döner kurutucu. ....	24
Şekil 4.9. Kabin kurutucu.....	25
Şekil 5.1. Denge faz diyagramı (Üçlü nokta).....	28
Şekil 6.1. Yaban mersini meyvesi.....	31
Şekil 6.2. Dondurarak kurutma cihazının şematik görünümü.....	32
Şekil 6.3. Sıcaklık ve zaman grafiği. ....	33
Şekil 6.4. Yaban mersini numunesinin zamana göre ağırlık kaybı.....	34
Şekil 7.1. Yaban mersini numunesinin zamana göre nem oranı. ....	36
Şekil 7.2. Uygulanan page modelinde deneysel ve tahmin edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması. ....	39
Şekil 7.3. Yaban mersini numunelerinin dondurarak kurutma süresine karşı Ln (MR) grafığı. ....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 7.1. Kurutma kinetic modelleri. ....	37
Çizelge 7.2. 8 Kinetik kurutma modeli ile hesaplanan sonuçlar. ....	38



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a, b, c, n	Modellerin sabitleri
z	Modeldeki parametre sayısı
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub>	Kurutma hızı sabitleri (min <sup>-1</sup> )
t	Zaman (min)
M <sub>0</sub>	İlk nem içeriği (gr su / gr kuru madde)
M <sub>t</sub>	Bir seferde nem içeriği t (gr su / gr kuru madde)
M <sub>d</sub>	Nihai denge nem içeriği (gr su / gr kuru madde)
MR	Nem oranı (boyutsuz)
M <sub>t+dt</sub>	t+dt anındaki nem içeriği
N	Gözlem sayısı
MC	Nem içeriği (gr su / gr kuru madde)
DR	Kuruma hızı (gr su / gr kuru madde)
D <sub>eff</sub>	Etkili yayılma (Efektif Difüzivite)(m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
L	Yarım kalınlıkta numuneler (m)
R <sup>2</sup>	Regresyon katsayısı
χ <sup>2</sup>	Ki-kare
RMSE	Tahminin standart hata
VFD	Vakumlu dondurarak kurutma
FD	Dondurarak kurutma
AFD	Atmosferik dondurarak kurutma
US	Ultrason
MWD	Mikrodalga
IR	Kızılötesi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bazı gıda maddelerinin üretimi mevsimsel olarak değiştiğinden istediğimiz her an elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu da mevsiminde elde edilen ürünlerin, özelliklerini bozmadan, iyi bir şekilde muhafaza etme gerekliliğini doğurur. Gıdaların özelliklerini bozmadan muhafaza edilebilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunun en yaygın olanı kurutma yöntemidir [1,2]. Çoğunluğu su, vitamin, karbonhidrat, protein ve lipitlerden oluşan meyve ve sebzeler, temel olarak antioksidan kapasitelerine bağlı olan birçok mikro besin ve biyoaktif bileşik kaynağı olan fonksiyonel özellikli gıdalardır [3]. Bu tarz fonksiyonel özelliği bulunan ısıya duyarlı biyolojik ürünlerin kurutulması durumunda oksidasyon, termal ayrışma veya enzimatik esmerleşme sebebi ile üründe meydana gelen bozulmaların ve deformasyonların önüne geçmek, ürün raf ömrünü uzatmak için özel kurutma teknikleri kullanılmaktadır. Ürünlerin müşteri tarafından tercih edilmesi için doku, renk ve aroma gibi temel kalite özelliklerini koruması gerekmektedir [4]. Bu yapısal özellikler üründeki su içeriğine bağlı olarak kurutma esnasında kaybolabilir veya değişebilir. Kurutma sonrası meyvelerin kalitelerini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Vakum altında dondurarak kurutma teknolojisi bunlardan birisidir [3]. Kahve aromasını en iyi koruyan bir teknoloji olarak bilindiğinden, hazır kahve üretiminde dondurarak kurutma teknolojisi çokça kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra serumlar, ilaç sanayi, bakteri kültürleri, meyve, meyve suları, sebze ve çay özlerinin elde edilmesinde, et ve süt kurutulması gibi birçok alanda dondurarak kurutma teknolojisi kullanılmaktadır [5,6]. Dondurarak kurutma işleminde ilk olarak ürün dondurulur. Ardından hızlıca kurutma hücrelerine alınır ve bu hücreye bağlı vakum pompası ile vakumlanır. Aynı zamanda ürüne ısı verilerek süblimleşmesi (katı fazdan buhar faza geçmesi) sağlanır [7]. Dondurarak kurutma teknolojisinde ürünün raf ömrünün artması, ağırlığının düşmesi, depo etmek için gerekli alanın azalması ve başka depolama işlemine ihtiyaç duyulmaması gibi avantajlar vardır. Diğer

yöntemlere göre daha kaliteli ürün elde etme olanağı sağlar. Bununla birlikte pahalı olması dondurarak kurutma yönteminin dezavantajıdır [8].



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatürde meyvelerin dondurarak kurutulması üzerine birçok çalışma mevcuttur. Alejandro Reyes ve arkadaşları partikül boyutlarının, kızılötesi radyasyon uygulamasının ve dondurarak kurutma yöntemlerinin (vakumla veya atmosferik) yaban mersinindeki bazı besin değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Vakumla dondurarak kurutma yönteminde, atmosferik dondurarak kurutma yöntemine kıyasla polifenoller olarak adlandırılan besin değerinin daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Dondurarak kurutulmuş yaban mersininin antioksidan potansiyelinin taze meyveye göre önemli bir farkının olmadığını gözlemlemişlerdir. Sonuçta dondurarak kurutulmuş yaban mersininin besin değerlerinin bozulmasını en az düzeye indirmek için küçük partikül boyutlarının, kızılötesi radyasyon uygulamasının ve vakumlu dondurarak kurutma yönteminin kullanılmasını önermişlerdir [9].

Boris Nemzer ve arkadaşları sıcak hava ile kurutma (AD), dondurarak kurutma (FD) ve Kırınım penceresi (RWD) yöntemlerinin, yaban mersini, tart kiraz (vişne), çilek ve kızılıclıklardaki antosiyaninler, fenolik, flavonoidler, C ve B vitamini ve antioksidan kapasitelerinin tutulmaları üzerine etkilerini, aynı zamanda kızılıclıklardaki organik asitler ve proantosiyaninleri, yaban mersinindeki klorejenik asit ve catchinleri incelemişlerdir. Kurutulan meyvelerin cam geçişi, renk, özgül ısı ve yüzey morfolojisi değişikliklerini de incelemişlerdir. Kurutulan meyvelerin kalite tutumunun ürüne ve kurutma yöntemine göre değiştiğini saptamışlardır. FD yöntemi ile kurutulan ürünlerin, RWD ve AD yöntemi ile kurutulan ürünlere göre daha iyi C vitamini, ORAC, antosiyanin ve fenolik tutumu sergilediğini gözlemlemişlerdir, ancak RWD yöntemi ile kurutulan ürünlerin FD yöntemi ile kurutulan ürünlerden daha yüksek B vitamini tutumu sergilediğini gözlemlemişlerdir. Yaptıkları bu

çalışmada AD yöntemi ile kurutulan ürünlerin ölçülen kalite indekslerinin çoğunda önemli ölçüde daha düşük kalite tutma sergilediğini görmüşlerdir [10].

Hien Thi Ngo ve arkadaşları dondurarak kurutma işleminden önceki dondurma koşullarının yaban mersini kalitesindeki etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada dondurulmuş meyvede oluşan buz kristallerinin boyutunun donma hızına bağlı olduğu ve bu boyutların üründe bir miktar aroma kaybına yol açtığı görülmüştür. Yaban mersini dondurma işlemini farklı hızlarda uygulamak için derin dondurucunun sıcaklığını  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $-60^{\circ}\text{C}$  veya  $-80^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlamışlardır. Kurutma işleminde süblimasyon olayını uzak kızılötesi bir ısıtıcı tarafından ısıtarak bir buhar soğutma kapağı aracılığı ile vakum pompasına bağlanan şeffaf bir vakumlu kurutucu kullanarak yapmışlardır. Yakalanan buhar içerisindeki yaban mersini benzaldehit maddesinin ölçümünü GC-MS ile analizi ile elde etmişlerdir. Dondurarak kurutma işleminden önce farklı hızda dondurulan ürünlerde asetik asit, 2-heksanol ve 3-heksanol gibi tipik uçucu bileşiklerin uçma miktarlarının, donma hızı arttıkça azaldığını görmüşlerdir. Yaban mersininin derin dondurucuda hızlı kurutulması ile içerisinde bulunan benzaldehit gibi uçucu aroma bileşiklerinin korunabileceğini gözlemlemişlerdir [11].

Kai Fan ve arkadaşları dondurarak kurutmada kurutma sürecini kısaltmak amacı ile mikrodalga ısı kaynağının kullanımının son 10 yıldaki gelişimini incelemişlerdir. Yüksek maliyeti sebebi ile şimdiye kadarki uygulamalar, meyve ve sebze gibi yüksek değerli gıdaların kurutulmasına yönelik küçük ölçekli işlemlerle sınırlı kaldığını anlamışlardır. Mevcut sınırların dışına çıkmak, daha geniş ürün yelpazesi ve endüstriye ölçekli uygulamalar için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç olduğunu anlamışlardır [12].

Liovic, Nikolina ve arkadaşları dondurarak kurutma, pastörizasyon ve yüksek yoğunluklu ultrason yöntem kullanımının sindirim sistemi düzenine ve yaban mersini fenoliklerinin antioksidan aktivitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. İnsan sindirim enzimlerini kullanarak in vitro sindirimden önce ve sonra olmak üzere iki aşamalı olarak nitel ve nicel analizlerini yapmışlardır. Yaban mersini fenoliklerinin simüle edilmiş sindirimden önce ve sonraki antioksidan kapasitesini, DPPH ve FRAP

deneylerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Özellikle dondurarak kurutmada, simüle edilmiş mide sindirim aşamasından sonra fenoliklerin yüksek stabilite gösterdiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak dondurarak kurutma ve yüksek yoğunluklu ultrason kullanımının in vitro sindirimden sonra yaban mersini fenoliklerinin daha iyi sindirim düzeni ve daha yüksek antioksidan aktivitesi sağlayabileceğini göstermişlerdir [13].

Yeşim Daşdemir yaptığı çalışmasında yaban mersinini iki farklı yöntemle (geleneksel yöntemle ve dondurarak kurutma yöntemiyle) kurutmuş ve meyvenin farklı konsantrasyonları ile (%20, %30, %40 ve %50) siyah çayı karıştırarak yeni ve doğal meyve içeren bir ürün elde etmiştir. Üretilen siyah çayların antioksidan kapasitesi tespitini yapmıştır. Bu tespite göre liyofilizasyon (dondurarak kurutma) yöntemiyle kurutulan sade meyve çayları geleneksel yöntemle kurutulan sade meyve çaylarından daha yüksek antioksidan aktivite göstermiştir.  $\beta$ -Karoten ağartma metoduna göre, çayların sıcak infüzyonlarında en yüksek antioksidan aktivite liyofilizasyon yöntemiyle kurutulan maviyemişden hazırlanan meyveli siyah çay örneğinde (LM50 %78,85), soğuk çay infüzyonlarında ise en yüksek antioksidan aktivite yine liyofilizasyon yöntemiyle kurutulan meyveden hazırlanan meyveli çay örneğinde (LM40 %74,41) olduğunu belirlemiştir. Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre ise tüketicinin LM50 (%50 liyofilizasyon yöntemiyle kurutulan meyve + %50 siyah çay karışımı) örneğini en çok beğendiğini görmüştür [14].

Maite Harguindeguy ve Davide Fissore Dondurarak kurutma işlemlerinin gıda maddelerindeki bazı besinsel özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Vakumlu dondurarak kurutma (VFD) ve atmosferik dondurarak kurutma (AFD) yöntemlerinde süreci hızlandırmak için kullanılan ultrason (US) , mikrodalga (MWD) ve kızılötesi (IR) işlemlerinin askorbik asit, fenolik bileşikler ve toplam antioksidan kapasitesi üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Fenolik bileşikler ve toplam antioksidan kapasitesi bakımından vakumlu dondurarak kurutmanın ve atmosferik dondurarak kurutmanın kızılötesi (IR) ve ultrason (US) ile benzer ve hafif etki ettiğini görmüşlerdir [15].

Kırmacı ve arkadaşları çilekleri 5 mm ve 7 mm kalınlıkta keserek dondurarak kurutmuşlardır. Kurutma işlemi boyunca kaybolan ağırlıkları alıp (MR) nem oranlarını hesaplamışlardır. Sonuçta tahmini standart hata (RMSE) ve korelasyon değerlerine göre en uygun kinetik kurutma modelini belirlemişlerdir [16].

Bu çalışmada dondurarak kurutmak için üzümü meyveler arasında önemli bir yere sahip olan antioksidan, antimikrobiyal, antidiyabetik, antienflamatuar, antiseptik vb. özellikleri bilinen pek çok fenolik bileşik açısından zengin bir kaynak olan yaban mersini (*Vaccinium spp.*) kullanılmıştır. 100 gr ve 5 mm et kalınlığına sahip yaban mersinleri kurutma cihazının içerisine yerleştirilmiş, 14 saat kurutma işlemine tabi tutularak her iki saatte bir ağırlık kayıpları gözlemlenerek veriler işlenmiştir.

### BÖLÜM 3

#### YABAN MERSİNİ HAKKINDA BİLGİLER



Şekil 3.1. Çeşitli yaban mersini görselleri.

Yaban mersini (*Vaccinium* spp.) ılıman iklimde yetişen ve üzüksü meyveler grubunda yer alan bir bitki türüdür [17]. Bu meyvenin alçak boylu (*Vaccinium angustifolium*) , yüksek boylu (*Vaccinium corymbosum* L.) ve tavşangözü (*Vaccinium ashei*) türlerinin kültürü yapılmaktadır [18, 19, 20, 21].

Bu meyvenin tarımı en fazla Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmaktadır. Avrupanın bazı ülkelerinde de bolca yetiştirilmektedir. 1906 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinde seleksiyon araştırmalarının ürünü olarak ortaya çıkan yaban mersini bugün ticari amaçla yetiştirilmektedir. Seleksiyon çalışmaları sonucunda seçilen yaban mersini çeşitleri sonraki süreçlerde aralarında çarpazlanarak yeni türler elde edilmiştir. Yaban mersini meyvesi ıslah çalışmaları sonucu doğadaki yapısına nazaran daha tatlı, iri ve sulu olmakla birlikte hastalıklara ve zararlı etkenlere karşı daha dayanıklı hale gelmiştir. Böylece daha geniş alanlarda yetiştirilme imkânı sağlanmıştır [22].

Türkiyede maviyemiş, morsivit, çalı çileği, likapa, ligarba, ayı üzümü ve Trabzon çayı gibi isimlerle anılan yaban mersini, yurt dışında blueberry olarak tanımlanır [23].

Bu çalışmada yaban mersini ismi kullanılmaktadır.

Türkiyede, Karadeniz Bölgesi (Artvin, Rize, Trabzon, Ordu, Giresun, Gümüşhane, Samsun, Sinop, Kastamonu, Zonguldak, Bolu, Bartın ve Düzce), Marmara Bölgesi (Kocaeli, Sakarya, İstanbul, Kırklareli, Bursa ve Balıkesir) ve Doğu Anadolu (Erzurum, Ardahan) bölgesinde tarımı yapılmakta ve daha fazla yaygınlaşması için çalışmalar yapılmaktadır [24].

Hem taze meyve olarak tüketilir hem de, meyve suyu, ilaç sanayinde, süt ve süt ürünleri teknolojisinde, kuru meyve teknolojisinde, meyveli ekmek, çörek, kek, puding ve pastalarda, baharat sanayinde, meyve salatalarında, reçel, marmelat, konserve sanayinde, diyet menülerinde ve şarap yapımında kullanılmaktadır [25].

Antioksidan ve antosiyanin konsantrasyonlarının oldukça yüksek olması ve diğer fenolik maddeleri yüksek oranda bünyesinde barındırması, sebze ve meyveler arasında yaban mersini meyvesini üstün kılmaktadır [26].

Yaban mersininin sağlığa birçok yararı vardır. Ayrıca kan değerlerinin bazılarında da (LDL kolesterol, total kolesterol, ürik asit, insülin, insülin direnci, BKİ) olumlu etki sağladığı ispatlanmıştır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar yaban mersini meyvesinin kanser, diyabet, hiperlipidemi, hipertansiyon, nörodejenerasyon, obezite ve osteoporoz gibi yaşa bağlı kronik hastalıkların önlenmesinde faydalı olduğunu göstermiştir. Yaban mersini enfeksiyonlara neden olan mikroorganizmaları azaltabilir ve kadınlarda semptomatik idrar yolu enfeksiyonlarını önleyebilir [27].

### 3.1. YABAN MERSİNİ TÜRLERİ

#### 3.1.1. Doğal (Yabani) Yaban Mersin'i Türleri (Likapa)

Türkiyede bulunan doğal yaban mersinleri; *Vaccinium vitis-idea*, *Vaccinium uliginosum*, *vaccinium myrtillus* ve *vaccinium arctostaphylos* türleridir. Bunların sukulent adı verilen türleri tüketilebilir. Bulunan bölgelerde ticari amaçla veya ev ihtiyaçları için senenin belirli sezonlarında toplanır. Doğal yaban mersinlerinin kültür yaban mersinlerine göre meyveleri daha ufak ve dayanımı zayıftır. Muhafaza süreleri kısa olduğu için toplar toplamaz tüketilmesi veya reçel, marmelat yapılması gerekmektedir. Doğal yaban mersinleri reçel, marmelat ve meyve suyu yapımlarında kültür yaban mersinlerine kıyasla daha fazla renk verirler ve buna karşın maliyetleri düşüktür. Bu da doğal yaban mersinlerini reçel ve meyve suyu firmaları tarafından aranılan bir ürün haline getirir. Dondurarak ya da şoklanarak uzun süre muhafaza edilebilir. Şoklananlar reçel, marmelat ve meyve suyu yapımında kullanılır. Kültür yaban mersinlerine göre antioksidan açısından daha yüksek olup sağlığa çok faydalı bir üründür [28].

##### 3.1.1.1. Adi Yaban Mersini (*Vaccinium Myrtillus*)



Şekil 3.2. Adi yaban mersini.

Bu meyve Doğu Karadeniz ve Uludağ'da doğal yollarla yetişen bir meyvedir. Bitkisi çalı şeklindedir. Meyvesi ise yüzeyi puslu, mavi ve siyah renkte üzüksü yapıdadır.

Ülkemizde farklı isimlerle bilinmektedir. Örneğin Rize’de “lıkapa”, Rize’nin Pazar ilçesinde “kaskanaka”, Ardeşen’de “çera veya çela”, Trabzon’da “ligarba”, “lifos” veya “Trabzon üzümü”, Artvin’de “morsivit” veya “mahabak” ve diğer bölgelerde “ayı üzümü”, “çay üzümü” veya “çoban üzümü” gibi isimler kullanılmaktadır [28].

### 3.1.1.2. Bataklık Yaban Mersini (*Vaccinium uliginosum*)

10-75 cm civarlarında olup bazen 1 m uzunluğa çıkabilmektedir. Gövdesi kahverengidir ve çalısı yaprak döker. Meyvesi yazın sonunda olgunlaşır ve 5 ile 8 mm arası çapta, koyu mavi-siyah renkte, tatlı, küçük, sulu ve etli bir hal alır. Yayılım alanı geniştir. Türkiye’de Karadeniz’in kuzey doğusunda ve bozkır, tundra, fundalık ve kozalaklı orman altlarında deniz seviyesinden 1700-3400 m yüksekte bulunan ıslak ve asidik yapılı topraklarda yetişir [28].

### 3.1.1.3. Kafkas Yaban Mersini (*Vaccinium arctostaphylos*)



Şekil 3.3. Kafkas yaban mersini.

1- 6 m yüksekliğinde çalı yapısı vardır. Kış mevsiminde yaprakları dökülür. Meyvesi kırmızımsı siyah renktedir. Doğu Karadeniz bölgesi ve Kuzey Anadolu bölgesi dağlarındaki ormanların açık kısımlarında yetişir. Eskiden taze yapraklar elle bükülüp kurutulduktan sonra çay olarak kullanılır veya çaya ilave edilirdi. Anadolu’da, Avcüüzümü isimleri ile de anılmaktadır [28].

### 3.1.2. Kùltürü Yapılan Yaban Mersini Türleri

Bu türler için bir bahçe tesis edilir ve daha çok ticari amaçla yetiştirilir. Ticari değere sahip, bahçe tesis etmek suretiyle yetiştirilen türlerdir. Meyveler taze olarak tüketilebildiği gibi sanayiye de uygundur.

#### 3.1.2.1. Yüksek Çalı Formlu Yaban Mersini (*Vaccinium Corymbosum*)

Günümüzde ticari amaçla yetiştirilen ve çifleştirme sonucu yüzlerce çeşidi meydana gelen bir türdür. Kuzey ve güney kökenli olmak üzere farklı iki gruba ayrılır. Dik şekilde büyüyen bu tür, kış aylarında yaprağını döker ve 2 - 4,5 m civarında uzayabilir. Ancak kùltürü yapılırken 1 - 3 m arası uzamasına izin verilir. Düzenli bir biçimde meyve vermeleri ve gelişmeleri için tavşan gözü yaban mersinine kıyasla daha fazla soğuga gereksinim duyarlar. Düzenli meyve verme ve gelişme için tavşan gözü yaban mersini çeşitlerinden daha yüksek soğuklamaya ihtiyaç duyarlar. Kuzey kökenli türleri, tavşan gözü yabanmersinine kıyasla kış koşullarında daha dayanıklıdır. Meyvelerin rengi mavi - siyah renkte, kabukları yumuşak, çekirdek sayıları az, ağırlıkları 1,5 – 2 gr aralığındadır [28].

#### 3.1.2.2. Tavşan Gözü Yaban Mersini (*Vaccinium Ashei Reade*)



Şekil 3.4. Tavşan gözü yaban mersini.

Bu yaban mersini türü dik ve güçlü şekilde büyür. Boyu 10m'ye kadar çıkabilen bu meyvenin kùltürü yapıldığında 1 – 3 m'de budanır. Meyvesi 1,2 - 1,5 gr ağırlığında,

rengi mavi-siyah, kabuğu sert ve çok çekirdeklidir. Raf ömrü diğer türlere kıyasla daha fazladır. Taze olarak tüketilebildiği gibi sanayi için de üretilebilir. Meyvelerde matlaşma olmaz. Tam olgunlaştıktan sonra toplanmalarına rağmen bu durumu uzun süre korur ve buruşmazlar [28].

## 3.2. YABAN MERSİNİ BOTANİK ÖZELLİKLERİ

### 3.2.1. Toprak Üstü Organları



Şekil 3.5. Yaban mersini toprak üstü görüntüsü.

Yaban mersini bitkisinin toprak üstü organlarını dipten yeni çıkan, sukkulent biçimindeki sürgünler, odunlu çalı yapıdaki sürgünler ve 1 yaşındaki sürgünlerden meydana gelen yeni yeşil yan sürgünler oluşturur. Bu sürgünler sopa şeklindedir ve 10 ile 20 yıl civarı ömürleri vardır. Fakat bu sürgünler 5 – 7 yıl sonra budanırlar. Uzun boya sahip çalı yapıdaki yaban mersini 120 - 300 cm boya kadar çıkabilir. Bunlardan kısa boylusu 90 cm civarına uzayabilirken yarı-yüksek çalı yapıdaki yaban mersinleri iki grup arasında kalır. Tavşangözü yaban mersini ise 610 cm boyda daha uzun sürgünlere sahiptir ve daha güçlü bir şekilde gelişir [28].

### 3.2.2. Kök Sistemi

Yüksek boylu çalı yapıdaki yaban mersini kökleri ince, kök kılları olmayan lifli kök yapısına sahiptir. Köklerin, su ve besinleri emebilmeleri için genellikle endotrofik mikroorganizmalar (VAM) ile yaşarlar. Alçak boylu çalı yapıdaki türlerinde ise kök kılı bulunmaz. Bu türlerin kökleri çok ince ve iplik yapıdadır [28].

### 3.2.3. Tomurcuk ve Çiçekler



Şekil 3.6. Yaban mersini çiçeği.

Yaban mersini meyvesinin gözleri yaz sonu ve sonbahar aylarında gibi oluşur. Tomurcuk, sürgün ucundan aşağıya doğru gelişir. İklim ve sürgünün gelişme gücüne yani kalınlığına bağlı olarak tomurcuk sayısı değişir [28].

### 3.2.4. Meyve Gelişimi

Sürgün kalınlığına ve çekirdek sayısına bağlı olarak yaban mersininin meyve büyüklüğü değişiklik gösterir. Ayrıca karşılıklı tozlanma olması da meyve büyüklüğünü artıran unsurlardandır [28].

### 3.2.5. Tozlanma

Yaban mersininde tozlanma böceklerle meydana gelir. Bunun nedeni yaban mersini çiçeklerinin böcekleri çeken hoş bir koku yaymasıdır [28].

## 3.3. YABAN MERSİNİ FAYDALARI

### 3.3.1. Kan Şekerini Düzenler

Yapılan araştırmalara göre düzenli yabanmersini tüketenlerde tüketmeyenlere göre daha düzenli kan şekeri salgılanmaktadır.

### **3.3.2. İdrar Yollarını Temizler**

İdrar yolu enfeksiyonlarının çoğuna E. Coli denen bir bakteri sebep olur. İdrar yoluna yapışan bu bakterinin idrarla dışarı atılması zordur. Yabanmersini doğal antibiyotik özelliği sayesinde yapışan bakteriyi idrar yolundan temizleyebilir.

### **3.3.3. Görme Kaybına Faydalı**

Yüksek oranda antosiyanin içeren yaban mersini bu sayede görme kaybını engelleyici niteliğe sahiptir. Makula dejenerasyonu, katarak, miyop, göz kuruluğu hastalıklarına ve enfeksiyonlara karşı koruyabilmektedir.

### **3.3.4. Beyin Sağlığını Korur**

Çeşitli vitaminler ve antosiyaninler, selenyum, magnezyum, fosfor gibi önemli besin öğelerini içeren ve bu öğeler açısından zengin olan yaban mersini beyin hücrelerini ve sinirlerini korur, hafızayı güçlendirir. Özellikle alzheimer gibi giderek artan bir hastalığa karşı koruyucudur. Yapılan çalışmalarda düzenli olarak yaban mersini tüketen çocukların öğrenme kapasitesi de artmaktadır.

### **3.3.5. Kalp Hastalıklarından Korur**

Lif oranı ve antioksidan açısından zengindir. Bu sebeple LDL kolesterolü düşürür ve kalp sağlığını korur. Bununla birlikte düzenli olarak yaban mersini tüketenlerde, kalp hastalıklarına karşı koruyucu özelliğe sahip olan eNOS enzim seviyesinin de yüksek olduğu belirlenmiştir.

### **3.3.6. Sindirim Sistemini Düzenler**

Yüksek lif içerdiği için sindirim sistemini düzenler, kabızlık problemi olanlara faydalıdır. Ayrıca içerdiği bakır ve fruktoz sayesinde sindirimi hızlandırır.

### **3.3.7. Kanserden Korur**

Kanserden koruyan Pterostilben ve ellagic asit gibi içeriklere sahiptir. Bununla birlikte C vitamini açısından zengin olması ile kolon, rahim ve karaciğer kanserine karşı fayda sağlar.

### **3.3.8. Doğal Antidepresandır**

Metabolizmayı düzenler, sakinleştirir ve bu sayede doğal anti depresant görevi görür. Rengi koyulaştıkça içeriğinin zenginliği de artmaktadır [28].



## BÖLÜM 4

### GIDALARI KURUTMA YÖNTEMLERİ

Kurutma, gıdaların saklanması en eski yöntemlerdendir [30]. Temelde içerisinde su ve madde ihtiva eden ürünün içindeki suyun farklı metotlarla ayrıştırma işlemi kurutma olarak açıklanabilir [31]. Sebze ve meyveler için kurutma yöntemi, kurutulacak üründe bulunan nemin aynı anda ısı ve kütle transferi uygulaması ile buharlaştırılarak ortamdan uzaklaştırılması temeline dayanır [32]. Teknik olarak yapılan kurutma işleminde üründeki nem farklı yöntemlerle ayrıştırılır. Bu sebeple kurutmayı tanımlarsak, üründeki nemin arzu edilen kuruluk düzeyine getirilmesidir diyebiliriz. Ürünün belli bir süre içerisinde kuruma değerine ulaşmasını sağlayan ısı verme, nemlendirme, nem çekme vb. işlemleri yapan ünitelerin tamamına “kurutma sistemi” denir. Kurutma işlemi gıda, kimya, kağıt gibi birçok sanayi dalında yaygın olarak kullanılmaktadır [33].

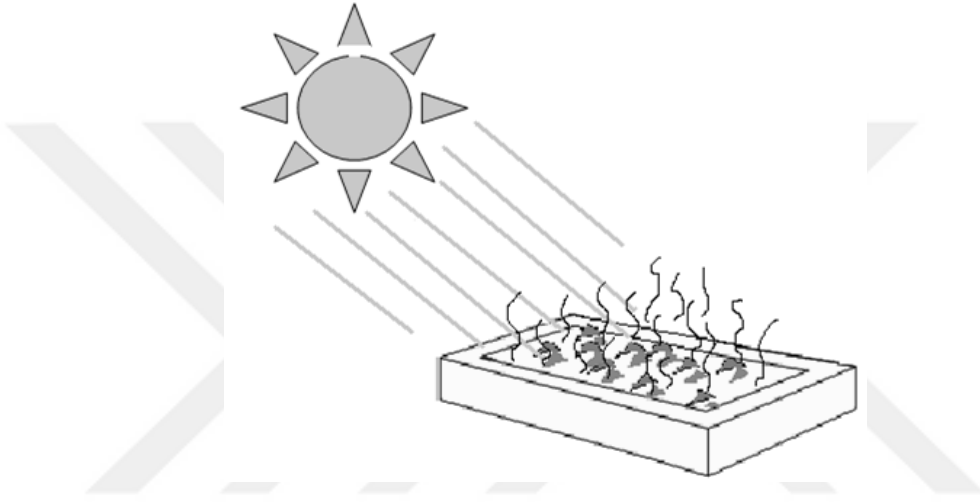
Gıdaları kurutmanın en önemli amaçlarından birisi de gıdaların uzun süreli muhafazasında bozulmasına engel olmaktır. Kurutma işleminin sonunda, üründeki nem içeriğini, mikrobiyal büyümeyi veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yetecek bir düzeye indirerek ürünün bozulmadan uzun süre korunması sağlanır. Aynı zamanda ürünün nem içeriği azaltılarak tat ve besin değeri gibi nitelikleri de korunmuş olup hacim olarak azalma olduğundan depolama ve taşıma kolaylığı da sağlanmış olmaktadır [34]. Gıdaları kurutma yöntemlerini gruplandırarak olursak

Bunlar;

- Doğal kurutma (güneşle kurutma),
- Yapay kurutmadır.

## 4.1. DOĞAL KURUTMA

Bu yöntem bilinen en eski kurutma yöntemidir. Ürün, dışarıdan hiçbir yapay müdahale olmadan doğal çevre şartları ile kurutulur. En çok kullanılan doğal kurutma yöntemi güneşte kurutmadır. Her an güneşten faydalanılamaması, ürünün haşere vb. dış etkenlere maruz kalması ve az da olsa ürünün fermantasyona uğraması yapay kurutma sistemlerini tercih sebebi haline getirmiştir [35].



Şekil 4.1. Doğal kurutma.

## 4.2. YAPAY KURUTMA

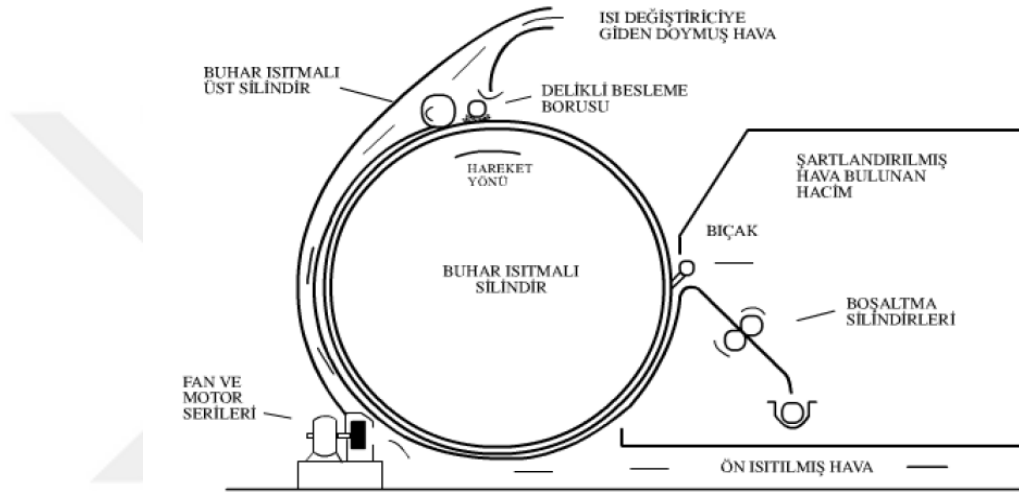
Yapay kurutma yöntemi, kuruma süresini azaltmak, kaliteyi artırmak ve ürünü güneş ışınlarının etkilerinden korumak için doğmuştur. Yapay kurutmanın en büyük avantajı kontrollü bir kurutma ortamı sağlayarak doğal kurutmadan görünüm açısından daha iyi bir ürün elde etmektir [36]. Yapay kurutma metotlarının bazıları aşağıda verilmiştir:

### 4.2.1. Morötesi Radyasyon Kurutma

Elektromagnetik radyasyon ile uygulanan yöntemdir. Monomer kaplama ve boyalar, UV radyasyonu altında kurularak kürlenir. Bu uygulamanın maliyetinin yüksek olması en büyük sorundur [37].

#### 4.2.2. İletimle Kurutma

Şekil 4.2’de görülen kurutma silindiri ve topları örnek olarak gösterilebilir. Kurutulan ürün ısıtma zeminine ile temas etmelidir. Bu sistemlerde bulunan nem fazla ısınmayı engeller. Genellikle kâğıt ürünlerin kurutulmasında kullanılan bu yöntemin işletme maliyetleri pahalıdır. Ayrıca kurutma hızı yavaş, sabit ısı ve kütle transfer koşulları sağlanması ve sistemin istenildiği kontrol edilmesi zordur [38].



Şekil 4.2. İletimle kurutma sistemi.

#### 4.2.3. Kızılötesi Işınımlı Kurutma

Bu işlem, radyan ısı, kızılötesi lambalar, buhar ısıtma kaynakları, gazla ısıtılan akkor reflektörler ve elektrikle ısıtılan yüzeyler ile gerçekleştirilir. Kızılötesi ışınlar kurutulacak ürünün yüzeyinde ve yakınında etkilidir. Bu nedenle ince malzemelerin kurutulması için işlevseldir. Bu yöntem, kâğıt ve tekstil gibi malzemeleri kurutmak için kullanılır. Kurutulacak malzeme yanıcı ise, ürün bir ısı kaynağının yakınında bulunmamalıdır [37,38].

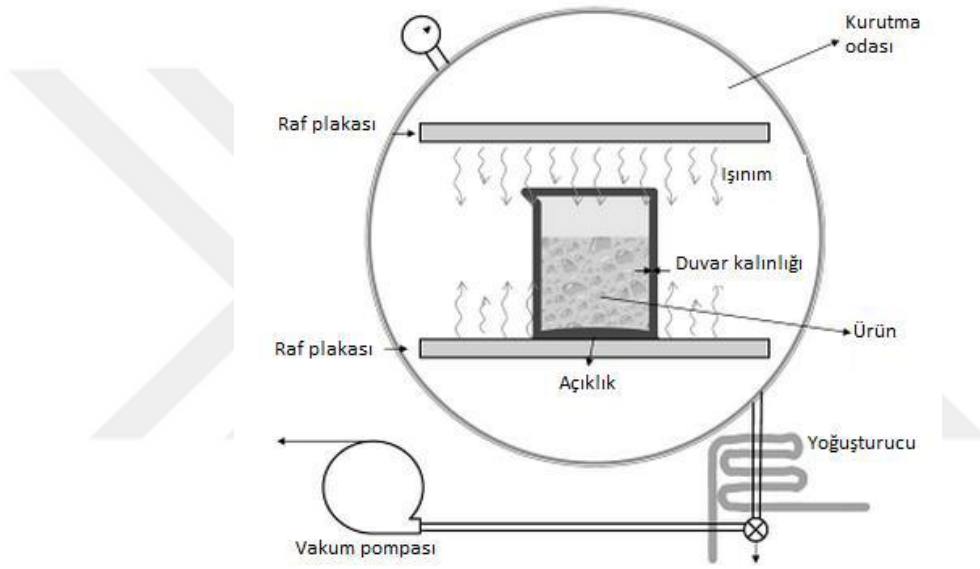
#### 4.2.4. Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Malzemeyi bir raf veya titreşimli konveyör vasıtasıyla sürekli ve istikrarlı bir şekilde titreştirerek homojen kurutma gerçekleştirilir. Yatak, delikli bir raf veya konveyör

üzerinde kısmen akışkan hale getirildiğinde de benzer sonuçlar elde edilir. Tahılları kurutmak için uygun bir yöntemdir [37].

#### 4.2.5. Vakumda Kurutma

Bu kurutma, vakum ve düşük sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmekte olup, ısıya hassas ürünlerin kurutulmasında veya nem azaltımı gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır [39].



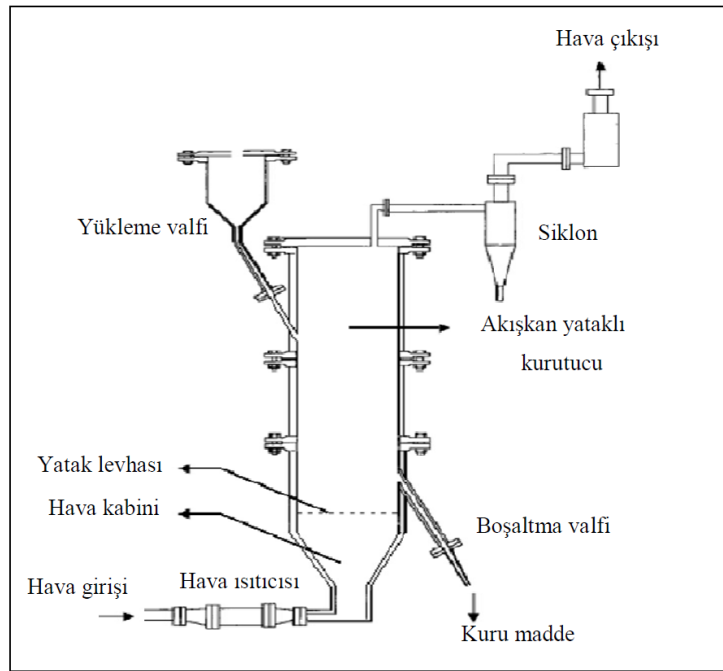
Şekil 4.3. Vakumda kurutma odası (Chen and Mujumdar, 2008).

Bu yöntemde yüksek seviye kuruma elde etmek mümkündür. Bu yöntemin enerji tasarruflu olması bir avantajdır. Böylece kurutma maliyetlerinin düşmesini sağlayarak rekabet gücü yüksek bir yöntem halini alır. Başka kurutma metotlarına nazaran kuruma süresinin az olması üretimdeki artış ile doğru orantılıdır.

Bu işlemin bir diğer avantajı ise ürüne daha az zarar vermesidir. Bazı malzemeler, kurutma sırasında sert, kösele kabukların oluşumu gibi yüksek sıcaklıklarda problemlere sahip olabilir. Vakumlu kurutma sırasında ortam sıcaklığı düşük olduğu için malzemelerin bu etkilerden etkilenmemesi ürün kalitesinin daha iyi olmasını sağlar.

#### 4.2.6. Akışkan Yataklı Kurutma

Bu sistemlerin çalışma prensibi, kurutulan katı partüküllere aşağıdan belirli hızla sıcak kurutma havasının sağlanması esasına dayanır. Sıcak havanın hızı partüküller havada askıda kalacak biçimde ayarlanır. Sıcak hava, hem kurutma hem de akış için anti-yerçekimi etkisi görevi görmektedir. Ürünlerin partiler halinde kurutulmasını sağlayabilecek şekilde tasarlanması mümkün olan bir kurutma çeşitidir. Bu kurutucular 100°C'ye kadar sıcaklıklara ulaşabilir. Modellerin bazılarında kurutulan ürüne hareket kazandırmak için titreşim ünitesi de mevcuttur. Kurutma havası, akışkan yataktaki granül malzemelerden geçer. Hava hızı çok dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Toz veya granül kurutucuda, ürün ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğu için kurutma havası ve partiküller arasındaki ısı transferi de verimli olmaktadır. Bu sistemle uygun olmayan bir sıcaklık farkı olmadan malzemeyi kurutmak mümkündür. Bu mekanizmanın en önemli avantajı otomatik olarak yükleme boşaltma yapabilmesi ve kurutma işlemini kısa zamanda bitirebilmesidir. Bu sistemler kömür, kireçtaşı, fosfat, plastik ve ilaç tabletleri kurutmak için uygundur [37,38,40]. Şekil 4.4.'te akışkan yataklı kurutucunun yapısı görülmektedir [47].



Şekil 4.4. Akışkan yataklı kurutucu.

#### **4.2.7. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma**

Bu kurutma sisteminde, katı haldeki malzemelerin, hava ya da farklı gaz ile kurutma işlemi esnasında buharlaştırılmış su ya da organik sıvının yığın gaz akışına ulaşması için durgun gaz filmine yayılmasını gerektirir. Gaz filmi, kütle transfer direnci, kuruluk ve çözücü buharının dağılma hızına bağlı bir şekilde değişim gösterir.

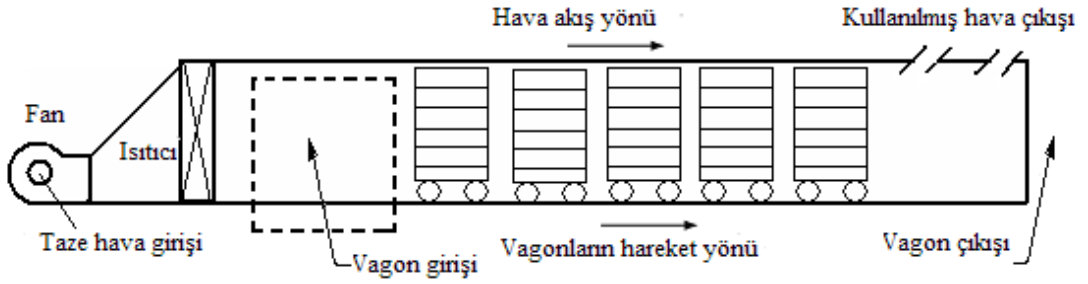
Bu işlemin termal verimliliği fazla olup çözücü geri kazanımı da basittir. Aynı zamanda aşırı kuruma veya hava ile oksidasyonu gibi kimyasal tepkimeler de oluşmaz. [38].

#### **4.2.8. Flaş Kurutma**

Bu sistemde, homojen olarak dağılmış katı partikülleri, sıcak hava akışı içerisinde geçirilerek süratli ve homojen bir şekilde kurutmak mümkündür. Bu kurutma sisteminde düzgün olarak bölünmüş haldeki katı partiküller, yayıldıkları sıcak gaz akışında hızlı ve düzenli kurutulabilir [38]. Pigment, sentetik, reçine, gıda ürünleri, kağıt üretimleri örnek uygulamalarıdır [37].

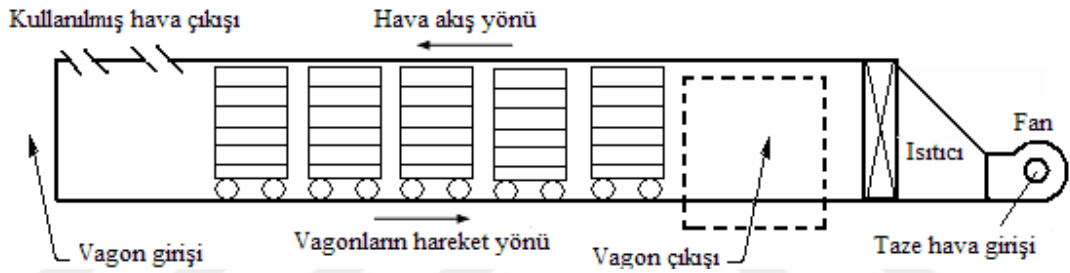
#### **4.2.9. Tünel Kurutucu**

Kurutulması gereken ürün fazla ve ürünler genel özellikleri ve kuruluk dereceleri bakımından benzer ise bu tip kurutucular tercih sebebidir. Kurutulması istenen malzemeler vagonun tepsilerine konular ve uzun bir tünelden geçirilir. Bu süreç, sürekli vagonlar olarak ya da bir vagon tünelden ayrılacak ve diğeri tünele yüklenecek şekilde organize edilir. Bazı tip kurutucularda hava ile ürün birbirlerine zıt yönlü hareket edebilir. Vagon ve hava aynı yöne akıyorsa bu tipteki tünellere "paralel akış tüneli" denir. Bu tip tünelde, hava ilk olarak yeni ürünle buluşmaktadır. Zamanla kurutma havası, soğudukça ve nem arttıkça kurutulacak olan ürüne temas eder. Bu olay kurutulmuş malzemenin az miktarda olsa yeniden nem alma sebebidir.



Şekil 4.5. Paralel akış tünel kurutucu.

Hava ile vagonlar birbirlerine ters yönde hareket ediyorlar ise, bunlar “zıt akış tüneli” olarak isimlendirilir. Bu tünellerde sıcak kuru hava ilk olarak en kuru ürüne, daha sonra soğur ve nem artar ve son olarak yüksek nemli ürünle temas eder.

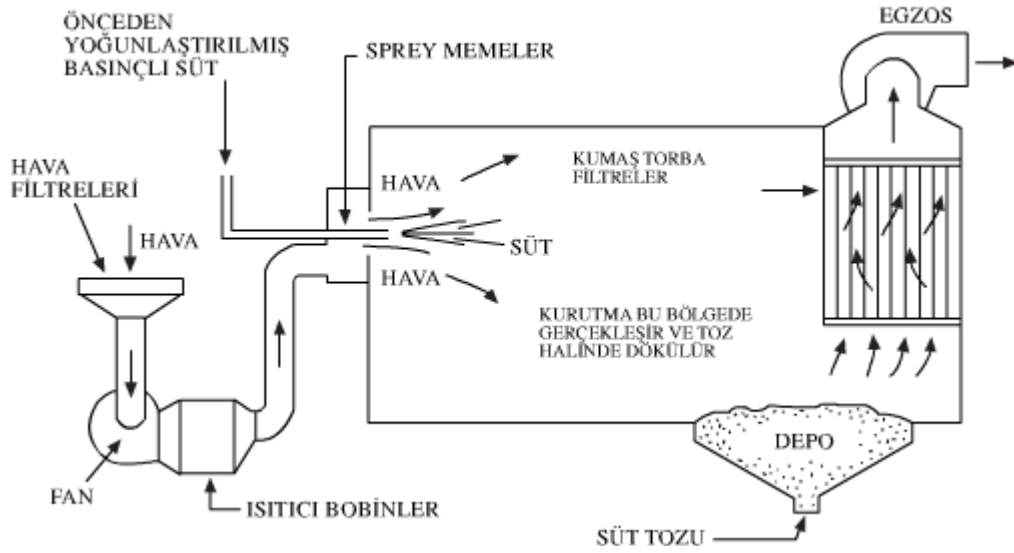


Şekil 4.6. Zıt akış tünel kurutucu.

Paralel ve zıt akış tünelleri meyve ve sebze kurutmada en fazla kullanılan metotlardır. Paralel akış tünellerinde başlangıçtaki kuruma hızlı olduğundan ürünün yüzeyi çok hızlı kurur ve üründe az miktarda çekme ve buruşma olur. Tanecik yapılı ürünlerde ise iç kısımlarında boşluk ve çatlak meydana gelir. Tünelin bitimindeki havanın ısısı soğuk ve daha nemli olduğundan, kurutma işleminin son kısmı çok yavaş olur. Öte yandan, zıt akış tünellerinde, malzeme kurutma sırasında daha iyi kurutma koşullarıyla karşılaşır. Kurutma işleminin ilk basamağı, ısısı daha düşük ve daha nemli kurutma havası ile meydana gelir. Böylelikle üründeki nem dağılımındaki fark az olduğundan tam ve engellenmeyen büzüşmeler meydana gelir. Zıt akış tünelleri kayısı benzeri yumuşak meyveler için daha uygundur. Çapraz akışlı tüneller de bunlarla birlikte kullanılabilir [41].

#### 4.2.10. Püskürtmeli Kurutucular

Kurutulan ürünün damlacık ve partiküllerle aynı yapıya sahip olması ve kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sıvı ürünler, bu yöntem ile fazla miktarlarda kurutulabilir. Püskürtmeli kurutucular, iki bileşenli nozullar, yüksek basınçlı nozullar veya döner diskler olarak tasarlanabilir. 93-760°C arasındaki hava sıcaklık skalasında özellikle yüksek sıcaklıklarda özel olarak üretilmiş yapı ürünleri kullanılmaktadır. Sıcaklık arttıkça termal verim arttığından daha yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Kısa kuruma süresi nedeniyle sıcaklığa duyarlı ürünler de kurutulabilir. Dönen tip püskürtmeli kurutucu Şekil 4.7.'de verilmiştir [38].

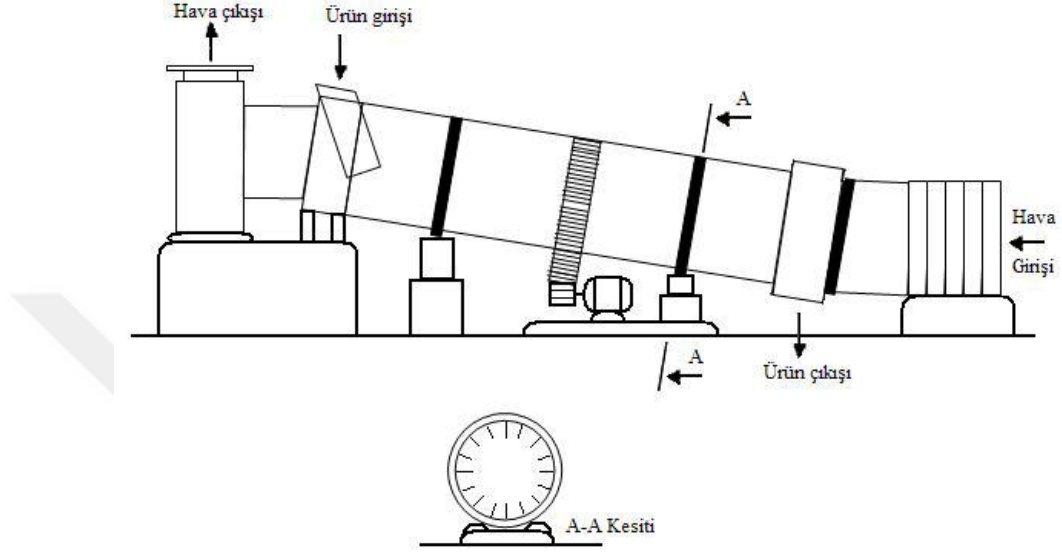


Şekil 4.7. Dönen tip püskürtmeli kurutucu.

#### 4.2.11. Döner Kurutucular

Döner kurutucuda kurutulan ürün granül veya kristal formda ve kurutmadan önce genel olarak uygulanabilir nakliye yöntemlerinden biri ile taşınacak kadar kuru olması gereklidir. Ayrıca kurutucunun duvarlarında birikme yapmaması için ürünün yapışkanlığının düşük olması gerekir. Bu kurutucuların tümü, millerini yataya hafif bir açıyla yerleştiren ve eksenleri etrafında döndürmek için tekerlekler üzerine monte edilmiş silindir biçimde gövdelere sahiptir. Kurutulacak ürün, kurutucunun

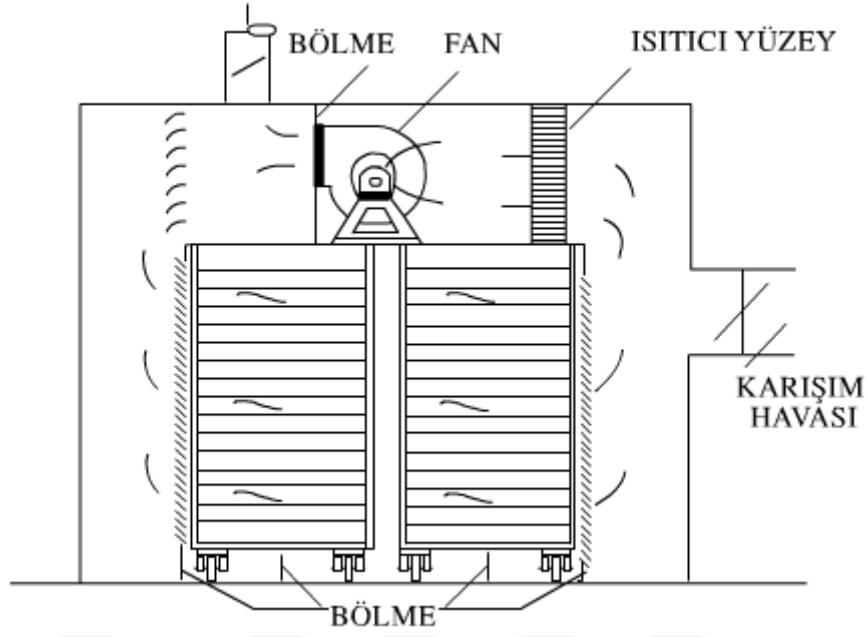
tepesinden bırakılır ve içeride döndürülerek yavaş yavaş kurutucunun dibine hareket eder ve oradan dışarı atılır. Kurutucuda bulunan raflar ve kanatlar sayesinde ürünün içeride ilerlemesi, karışması ve hava ile daha sağlıklı bir temas yapması sağlanır [41]. Şekil 4.8.'de döner kurutucu görülmektedir.



Şekil 4.8. Döner kurutucu.

#### 4.2.12. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular

Yerleşik kurutucular, tavandan ısıtmalı sistemler (bu sistemler yalnızca doğal konveksiyon sağlar ve genellikle zayıf ve düzensizdir), cebri konveksiyonlu daha kompleks sistemler ve özel olarak tasarlanmış bölmeli gibi birçok model mevcuttur. Bu sistemlerde, kurutulan ürünün yüzeyinin teması tepsilere sererek artırılır. Şekil 4.9.'da kabin kurutucusu görülmektedir [38].



Şekil 4.9. Kabin kurutucu.

#### 4.2.13. Dielektrik Kurutma

Bu kurutma türünde, çok yüksek frekanslı bir elektromanyetik alanda termal enerji üretilir. Elektromanyetik alanın hızlı yön değiştirmeleri sebebi ile moleküller arası bir sürtünme ve bu sürtünmenin sonucu olarak bir ısı üretimi meydana gelir. Bu ısı polarizasyon akışını değiştirir. Katı malzemelere göre sıvı durumda bulunan suyun dielektrik sabiti daha fazladır. Bu nedenle ürünün sulu kısımlarında ısı üretimi olur. Bu durumda su buharlaştırılarak malzemeden uzaklaştırılır [42].

#### 4.2.14. Mikrodalga Kurutma

Bu kurutma sistemleri 900-5000 Mhz gibi çok yüksek frekans güçleri ile çalışır. Yalıtkan malzemeleri ısıtmak için uygulanır ve dielektrik ısıtma olarak kabul edilebilir. Bu kurutma sistemi şeritler halindeki ince yapıllı maddelere uygulanır. Mikrodalga kurutma sistemlerinde güvenlik önlemlerinin alınma gerekliliği çalışma sürekliliğini zorlaştırır ve dielektrik kurutmadan daha masraflı olmasına neden olur. [37].

#### **4.2.15. Apphertizasyon**

Yiyecekler hava geçirmez bir kapta 110°C ile 115°C arasında 10-15 dakika sterilize edilir ve saklanır. Özellikle bebek maması, diyet yiyecekleri ve meyve nektarı hazırlamak için bu yöntem kullanılır. [43].

#### **4.2.16. Dondurarak Kurutma**

Dondurarak kurutma esas olarak; donmuş ürünün içerisindeki serbest su alçak basınçlı bir ortamda süblimleşmeyle, bağlı olan su ise desorpsiyon işlemi ile ayrıştırılır. Dondurarak kurutma, biyoteknoloji, kimya, eczacılık ve gıda endüstrilerinde çokça kullanılan bir sistem olup Liyofilizasyon olarak da adlandırılır. Bu yöntemle ürünün içerisindeki su katı fazdayken alçak basınçlı bir ortam altında uzaklaştırıldığından ürünün fizyolojisi daha az zarar görmekte ve üründe bulunan mineral, vitamin ve aromalarda kayıplar daha az olmaktadır [44].

## BÖLÜM 5

### DONDURARAK KURUTMA

Dondurarak kurutma, çok alçak basınçta, donmuş madde veya çözültiden çözücünün (serbest su) süblimleşme ile, bağlı suyun ise desorpsiyon ile uzaklaştırılması [45,46]. Dondurarak kurutma işlemi üç temel aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar;

- Dondurma işlemi
- Birincil kurutma işlemi (Süblimasyon)
- İkincil kurutma işlemi (Desorpsiyon)

#### 5.1. DONDURMA İŞLEMİ

Dondurarak kurutma işleminin ilk aşamasıdır. Ürün, geleneksel dondurma yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak dondurulabilir. Kurutulan malzeme özelliklerine göre dondurulur. Yiyeceklerdeki su saf değildir. Malzemelerin ötektik değeri sudaki doğasına ve konsantrasyonuna bağlı olarak farklılık arz eder. Bu ötektik değer biyolojik dokular için  $-26,6^{\circ}\text{C}$  alınır ve bu değer NaCl'nin ötektik değeridir. Bu sıcaklık değerinin altında dokular donmaktadır. Büyük yapılı ürünlerde ürünün dış kısmı donarken iç kısmı donmamış olabilir. Bu yüzden ürünlerde katı maddeler ve sıvı maddelerin hepsinin donup kristal hale geçmeleri büyük önem arz etmektedir. Bir sıvının camsı bir katıya dönüşümü (cam oluşumu), buz kristallerinin oluşumu olmadan gerçekleşebilir [48,49]. Böyle bir durumda suyun ayrıştırılması zor olur. Ürünün ötektik değerinin üstünde kurutulması halinde kristal halde donma olmayacağından kurutulması güçleşecektir. Ürünlerde oluşan gözenekler buz kristallerinin boyutuyla alakalıdır.

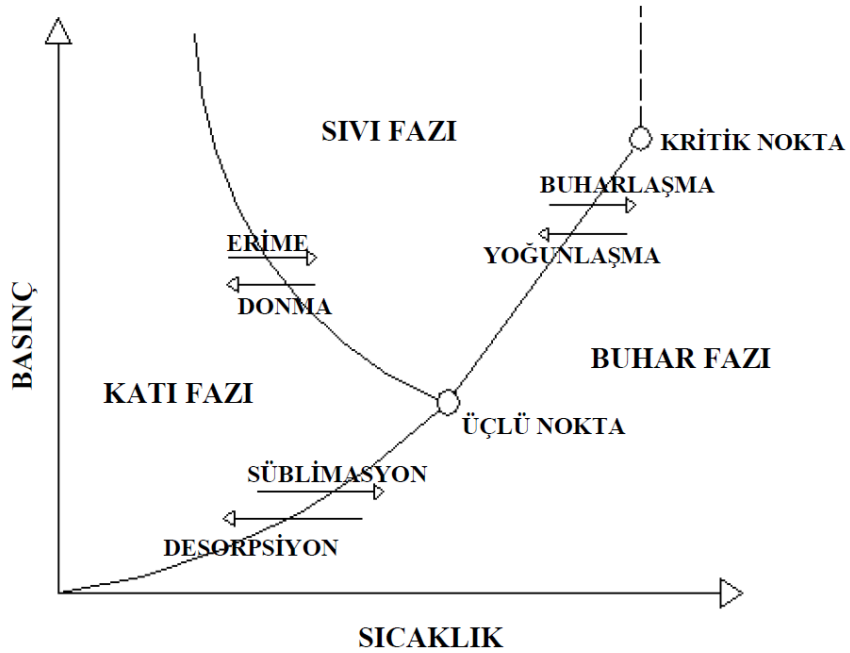
Kristal yapıdaki buzlar buharlaşınca boyutları kadar yer boşaltır. Kristaller küçük ise küçük, büyük ise büyük gözenekler meydana getirirler. Hızlı bir şekilde dondurulan

ürünlerde kristaller küçük olur. Süblimleşme esnasında küçük kristaller ürüne daha az verir fakat dondurarak kurutulması zor olur. Yavaş şekilde dondurulan ürünlere ise buz kristalleri büyük olur. Büyük kristallerin küçük kristallere nazaran dondurarak kurutulması daha basittir ama ürüne daha çok zarar verirler [49]. Ürünün dondurulması bittikten sonra ilk olarak mevcut suyun %65-90 kadarı donuk halde, kalan %10-35 civarı ise bağlı su (donmamış su) olarak bulunur. Ürün herhangi bir dondurucuda veya dondurarak kurutma cihazının içerisinde dondurulabilmektedir.

## 5.2. BİRİNCİ KURUTMA İŞLEMİ (SÜBLİMASYON)

Bu işlem, alçak basınç (vakum) altında üründe bulunan suyun katı fazda süblimleşmesidir ve dondurarak kurutmanın ikinci aşamasıdır.

Suyun denge faz diyagramından yararlanarak süblimleşme koşullarını belirleyebiliriz. Denge faz diyagramı (üçlü nokta), tek bileşenli sistemde, suyun çeşitli fazlarının basınç ve sıcaklık dengesini gösterir. Suda süblimleşme meydana gelebilmesi için ne kadarlık sıcaklık ve basınç gerektiği bu diyagram sayesinde belirlenir. Şekil 5.1.' de suya benzer şekilde donma sonucu hacmi artan bir maddenin basınç – sıcaklık faz denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.1. Denge faz diyagramı (Üçlü nokta).

Bir maddenin katı fazdan sıvı faza geçmesine erime, sıvı fazdan katı faza geçmesine donma, sıvı fazdan gaz fazına geçmesine buharlaşma, gaz fazından sıvı faza geçmesine ise yoğunlaşma denilmektedir. Bu faz değişimleri şekil 16'da açıkça verilmiştir. Katı fazdan direkt gaz fazına geçiş işlemine süblimasyon ismi verilir ve dondurarak kurutma sisteminin temelinde yer alır. Gaz fazdan katı faza geçiş ise desorpsiyon (çökme) olarak adlandırılır ve süblimasyonun tersidir [49,50]. Süblimasyon, donmuş fazdaki maddede bulunan donmuş haldeki suyun alçak basınç koşullarında gaz haline geçirilmesidir. Donmuş fazdaki maddeden suyun gaz halinde ayrışması buhar konsantrasyon farkı sayesinde meydana gelir. Süblimasyon işlemine tabi tutulan ve madde içerisinden ayrıştırılan su, buhar fazında kurutma hücresine yayılır [49]. Maddenin içerisindeki suyun buhar fazında devamlı bir şekilde uzaklaştırılması için oluşturulması gereken dengesiz koşul, su buharının vakum vasıtası ile kurutma hücresinden yoğunlaştırıcıya sürekli bir şekilde taşınmasıyla meydana gelir. Bu sayede kurutma hücresindeki basınç düşük tutularak süblimasyon sağlanmış olur.

Su molekülleri süblimasyona uğrarken kurutulan materyalden yüksek bir ısı (2840 kJ/kg) çeker ve donmuş halde bulunan tabakanın sıcaklığını düşürür [48]. Bu durumda bir ısı kaynağından sisteme ısı sağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde ürünün içerisindeki su buharı kısmi basıncıyla denge fazına gelir ve su üründen süblimasyonla uzaklaştırılmaz. Sisteme ısı, kondüksiyon konveksiyon, radyasyon gibi yöntemlerle verilir. Sistemde, üzerinde ürün bulunan plakalar ısıtılarak ürünün kondüksiyon ile ısıtılması sağlanmış olur [48,51].

### **5.3. İKİNCİL KURUTMA İŞLEMİ (DESORPSİYON)**

Dondurarak kurutmanın son aşaması olup donmamış (bağlı) suyun desorpsiyon ile ayrıştırılması işlemidir [52]. Sağlıklı bir dondurarak kurutmada birincil kurutma işleminin peşinden hemen ikincil kurutma işlemi gelmektedir. İyi bir şekilde planlanan dondurarak kurutma işleminde, birincil kurutma işlemi sırasında sadece donmuş su süblimasyonla ayrıştırılırken, ikincil kurutma işleminde ise sadece bağlı suyun uzaklaştırılması sağlanır. Ancak pratikte, birincil kurutma işleminde az miktarda bağlı su ayrıştırması meydana gelir.

Dondurarak kurutmada, kurutulan materyal içerisindeki bütün donmuş suyun süblimasyonla ayrıştırıldığı an birincil kurutma işleminin son aşamadır ve ikincil kurutma işleminin başlangıcına geçilmiş olur. Bu sayede ikincil kurutma işlemi süresince sadece bağlı su materyalden ayrıştırılmış olur. Materyaldeki toplam suyun %65-90'ı serbest iken, %10-35'i bağlı sudur. Bağlı suyu ayrıştırma işlemi dondurarak kurutma işleminin hızını ve toplam süresini etkiler. Bağlı suyu ayrıştırma süresi, serbest suyu ayrıştırma süresine eşit veya daha fazla olabilir.

Materyalde mevcut olan bağlı suyun ayrıştırılması için vakum altında materyale ısı verilir. Birincil kurutma işleminde de, ikincil kurutma işleminde de materyale verilen ısılar rastgele artırılamaz. İkincil kurutma işleminde verilen ısı ürünün nem kontrasyonu, sıcaklığı ve zamana göre büyük değişiklik gösterir. Ürün sıcaklığına bağlı ise 10-35°C aralığındaki, sıcaklığa daha az bağlı olması durumunda ise 50°C üstündeki sıcaklıklar seçilir [48].

## BÖLÜM 6

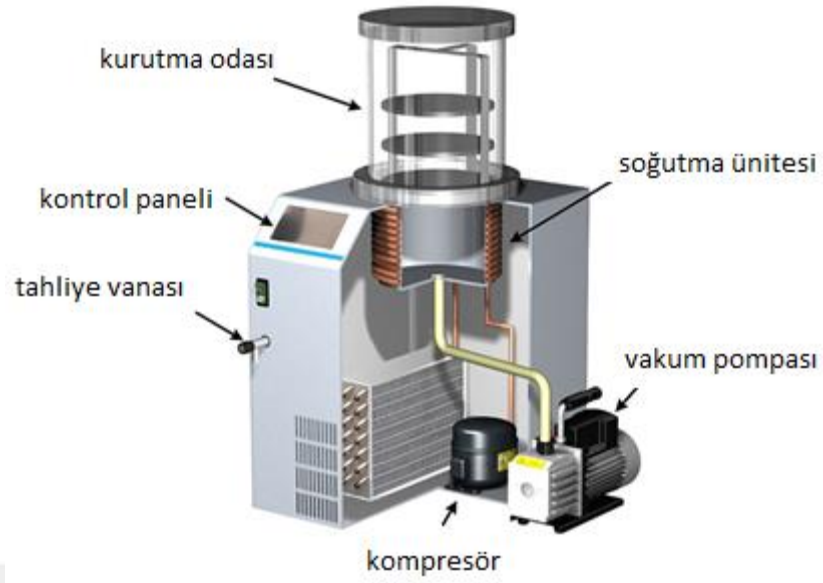
### MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmada 5 mm et kalınlığına sahip 100'er gr olarak ayarlanan yaban mersinleri 7 adet olacak şekilde kaplara konulmuştur. Kaplara konulan yaban mersini numuneleri bir gün önceden derin dondurucuya konularak bekletilmiş ve ertesi gün deneylere başlanmıştır.



Şekil 6.1. Yaban mersini meyvesi.

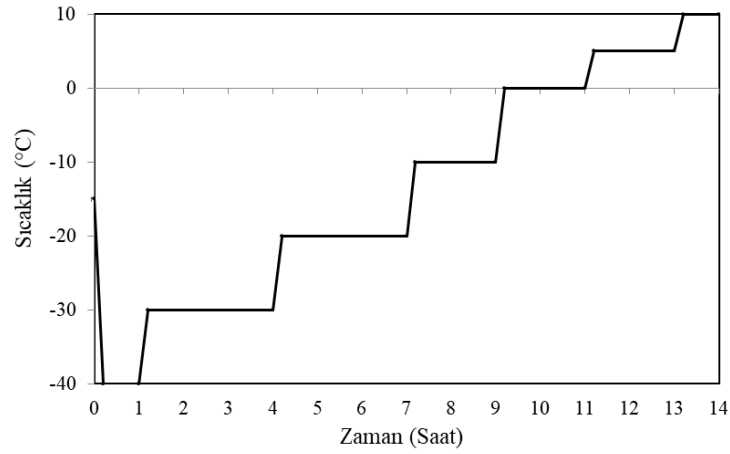
Çalışmada kullanılan kurutma cihazı dondurarak kurutma yapan bir cihaz olup markası Labogenedir ve Scanvac Coolsafe tipi cihazdır. Evaporatör sıcaklığını  $-55^{\circ}\text{C}$  ye kadar düşürerek cihaz içerisinde ürünlerin dondurma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Çalışmada ihtiyaç duyduğumuz 0,01 kPa basıncın sağlanabilmesi için  $4 \times 10^{-4}$  mbar vakum gücünde bir vakum pompası kullanılmış ve bu pompa kurutma cihazına bağlanmıştır. Deneyde kullanılan dondurarak kurutma cihazının şematik görünümü Şekil 6.2. de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Dondurarak kurutma cihazının şematik görünümü.

Şekil 6.2. deki cihazın çalışması, dondurulan bir ürünün düşük basınçlı bir ortamda sıcaklığının artırılması ve süblimleşmenin gerçekleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Şekil 6.2.'de görülen kompresör kabin içindeki sıcaklığı ayarlarken vakum pompası ise ortam basıncını düşürmektedir. Böylelikle süblimleşme için gerekli ortam sağlanmış olmaktadır.

Bu çalışmada ürün kurutma odasına yerleştirilip daha sonra cihazın kontrol panelinden sıcaklık ve basınç ayarları yapılarak cihaz çalıştırılmıştır. 14 saat boyunca numunelerin dondurarak kurutulması planlanmış ve zamana göre sıcaklık değişim grafiği Şekil 6.3.' te görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Yapılan plana uygun bir şekilde -15 °C de derin dondurucuda dondurulan yaban mersini numuneleri çıkartılarak cihaza yerleştirilmiştir. İlk olarak 60 dk. -40 °C de ve 0.01 kPa basınçta ayarlanmış ve sonra aynı basınç ayarında sırasıyla -30 °C de 180 dk., -20 °C de 180 dk., -10°C de 120 dk., 0 °C de 120 dk., 5 °C de 120 dk. ve en sonunda 10 °C de 60 dk. işleme tabi tutulduktan sonra 14 saatin bitiminde dondurarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

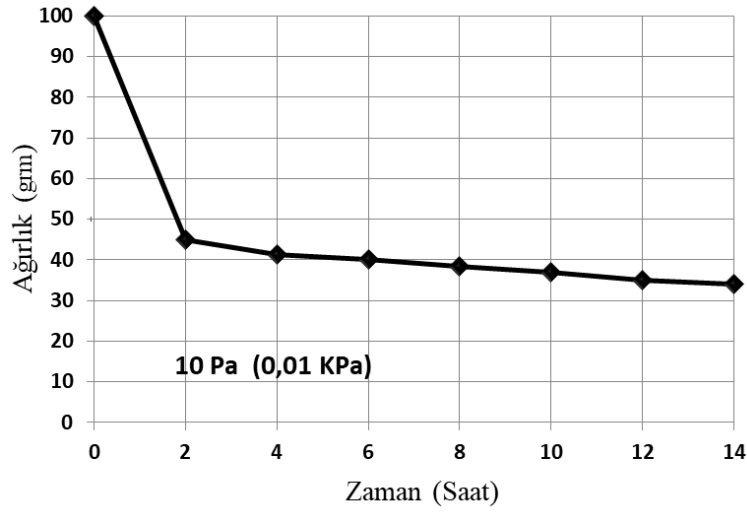


Şekil 6.3. Sıcaklık ve zaman grafiği.

Çalışmada iki saatte bir ağırlık kayıplarını ölçmek amacıyla 7 farklı numune hazırlanmıştır. Bu ölçme işlemi yapabilmek için ilk numune cihaza yerleştirilir ve cihaz çalıştırılır, 2 saatin sonunda numune çıkarılarak 0,001 gr. hassaslığa sahip terazide tartılıp numunede meydana gelen ağırlık kaybı belirlenir. Sonrasında diğer numune cihaza yerleştirilir ve cihaz ayarları değiştirilmeden aynı ayarda cihaz çalıştırılır. Bu defa 4 saatin bitiminde numune cihazdan alınır ve 4. saatin sonundaki ağırlık kaybı hesaplanır.

Bu işlem her bir numune için 6., 8., 10., 12. ve en son 14. saat olarak uygulanır. Sonrasında numuneler etüve yerleştirilir ve 60 dk.'ya yakın bekletilir. Daha sonra numune etüvden alınarak 15 dk. boyunca içinde silikajeli bol olan bombeli camdan yapılmış bir desikatörde bekletilir. 15dk. sonra numune desikatörden alınarak hassas terazide tartılır ve sonuç kaydedilir. Bu işlemdeki amaç, ürünün nem oranını daha sağlıklı hesaplayabilmek için dondurarak kurutma işlemi sonucunda üründe olabilecek nemi mümkün olduğunca uzaklaştırmaktır.

Yapılan işlemler sonucunda nem miktarı tayin edilmiştir. 100 gr'lık ürünün 65,979 gr'lık kısmının nem içerdiği, 34,021 gr'lık kısmının ise kuru olduğu belirlenmiştir. Sonraki hesaplamalarda ürünün denge olarak 34,021 gr olan kuru kısmı istenilecektir. Şekil 6.4.'de dondurarak kurutma sonucunda her iki saat'te bir alınan yaban mersini numunelerinin ağırlık kaybı eğrisi verilmektedir.



Şekil 6.4. Yaban mersini numunesinin zamana göre ağırlık kaybı.

Teorik modeller her koşulda uygulanabilir. Fakat çözümlenmesi için gerekli olan birçok karmaşık yapı ve parametreler içeren eşitlikler, modelleri kullanışsız hale getirmektedir. Yarı teorik modellerin karmaşıklığı biraz daha azdır fakat içerdikleri parametreleri yalnızca ele alınan ürünlerle ilgilidir ve bu da kullanımı kısıtlamaktadır.

Deneysel metotlar kullanılarak ulaşılan veriler ışığında kuruma hızı belirlenirken karmaşık matematiksel eşitlikler kullanılmaz. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler işlem yapılan numune ve deney koşulları için geçerli olmaktadır. Yarı teorik modellerde en fazla kullanılan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak bilinmektedir [53].

$$MR = \frac{M_t - M_d}{M_0 - M_d} \quad (6.1)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (6.2)$$

Boyutsuz bir terim olan nem oranının (MR) zamana (t) göre değişimi 6.1 ve 6.2' de verilen denklem ile belirlenebilir.

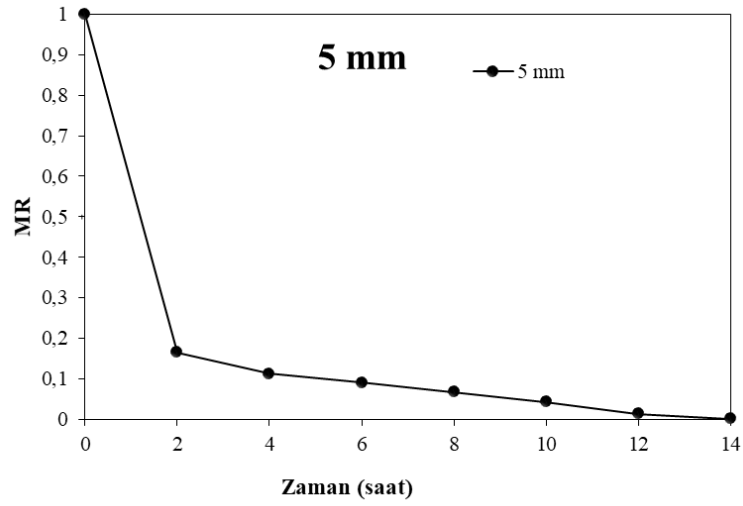
Eşitlikte ( $M_0$ ) başlangıç nemini (g su/ g kuru madde), ( $M_t$ ) t anındaki nemi (g su/ g kuru madde), ( $M_d$ ) ise denge nemini (g su/g kuru madde) ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısım, kurutmanın farklı t anlarındaki nem oranı (MR) değerlerini vermektedir. Denklem 2'de DR ve  $M_{t+dt}$  sırasıyla kurutma oranını ve t+dt anındaki nem içeriğini gösterir [54].



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 7.1. te yaban mersini numunesinin 14 saatlik dondurarak kurutma sonucunda elde edilen deneysel nem oranı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Yaban mersini numunesinin zamana göre nem oranı.

Nem miktarı belirlenen ürünlerdeki zamana göre ağırlık kayıpları da belirlendikten sonra matematiksel modellere bağlı grafiği oluşturulmuş, uygulanan 8 farklı kurutma kinetik modellerinden en uygun olanının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu işlemleri yapmak için MATLAB programı kullanılmıştır. Çizelge 7.1.'de MATLAB programında kullanılması için tahmini nem oranını (MR) gösteren toplam 8 farklı kurutma kinetik modeli verilmiştir [55].

Çizelge 7.1. Kurutma kinetic modelleri.

Model No	Model Name	Model
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Modified Page I	$MR = \exp[-(kt)^n]$
4	Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
5	Logarithmic	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$
6	Two-term eksponensial	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
7	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
8	Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$

Deneysel ve tahmini nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak için tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare ( $X^2$ ) değerleri ile modelin modelleme yeterliliği ( $R^2$ ) Eşitlik 7.1, Eşitlik 7.2 ve Eşitlik 7.3'te verilen denklemler aracılığı ile bulunabilir [56,57].

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{tahmini} - MR_{deneysel})^2 \right]^{1/2} \quad (7.1)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{deneysel} - MR_{tahmini})^2}{N - z} \quad (7.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum (MR_{deneysel} - MR_{tahmini})^2}{\sum (MR_{tahmini})^2} \right] \quad (7.3)$$

Eşitlik 7.1'de belirtilen tahmini standart hata (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Aynı zamanda Eşitlik 7.2'deki khi-kare ( $X^2$ ) değerinin azalması uyumun arttığını göstermektedir. Ayrıca deneysel verileri açıklayan modelin Eşitlik 7.3'teki modelleme yeterliliği ( $R^2$ ) değeri ne kadar fazla 1'e yakın olursa, model o kadar kullanılabilir olur. İstatistiksel değerlendirme verilerine göre en uygun modelde bulunan katsayılar çoklu regresyon yöntemi ile belirlenir.

Elde edilen veriler kullanılarak, 8 model üzerinde yapılan uygulamalar sonucunda, bu modellerden en uygun olan kurutma modeli belirlenmiştir. Uygun kurutma

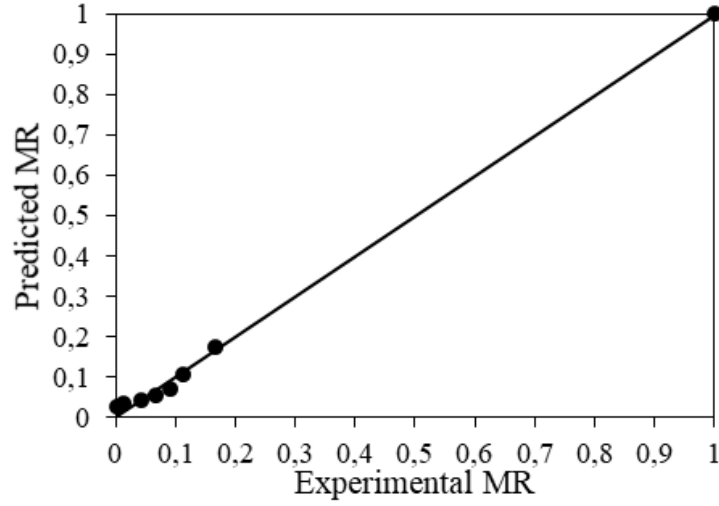
modelinin belirlenmesi modellerden elde edilen  $R^2$ ,  $X^2$  ve RMSE kriterlerine bağlıdır.

Çizelge 7.2.'de 8 modelin vermiş olduğu  $R^2$ ,  $X^2$  ve RMSE değerleri görülmektedir. Burada 1'e en yakın olan 0,9978  $R^2$  değeri ve 0'a en yakın  $2,875 \times 10^{-4}$   $X^2$  değeri ile en uygun olan modelin Page modeli olduğu görülmektedir. Tahmini standart hata (RMSE) değerinin 0,014686 gibi 0'a yakın bir değer çıkması Page modelinin uygunluğunu destekleyen diğer bir faktördür.

Çizelge 7.2. 8 kinetik kurutma modeli ile hesaplanan sonuçlar.

Model No	Model Name	Model parameters	$R^2$	$X^2$	RMSE
1	Newton	k: 0.7863	0.9748	$2.791 \times 10^{-3}$	0.049421
<b>2</b>	<b>Page</b>	<b>k: 1.339</b> <b>n: 0.3772</b>	<b>0.9978</b>	<b><math>2.875 \times 10^{-4}</math></b>	<b>0.014686</b>
3	Modified Page I	k: 2.723 n: 0.3469	0.9976	$3.118 \times 10^{-4}$	0.015294
4	Henderson and Papis	a: 0.995 k: 0.7834	0.9748	$3.253 \times 10^{-3}$	0.027158
5	Logarithmic	a: 0.95 c: 0.04889 k: 0.9892	0.9901	$1.553 \times 10^{-3}$	0.03096
6	Two-term eksponential	a: 0.3662 k: 1.568	0.9801	$2.578 \times 10^{-3}$	0.0043974
7	Wang ve Sing	a: -0.02329 b: 0.01226	0.6593	$4.406 \times 10^{-2}$	0.181178
8	Diffusion Approach	a: -0.2702 b: 1.006 k: 0.7787	0.9748	$3.908 \times 10^{-3}$	0.049422

Şekil 7.2.'de hesaplanan page modelinden elde edilen nem oranlarının deneylerden elde edilen nem oranları ile karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 7.2. Uygulanan page modelinde deneysel ve tahmin edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.

Efektif Difüzyon (Verimli Yayılım), gıda ve malzeme kurutma için, malzemenin nem içeriğine ve sıcaklığına bağlı olan önemli bir taşıma karakteristiğidir. Fick'in difüzyon denkleminin ikinci bir yasası vardır, bu da onu tarımsal ürünlerin düşük bir hızda kurutulması için bir kütle difüzyon denklemi haline getirir.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{\text{eff}} \nabla^2 M \quad (7.4)$$

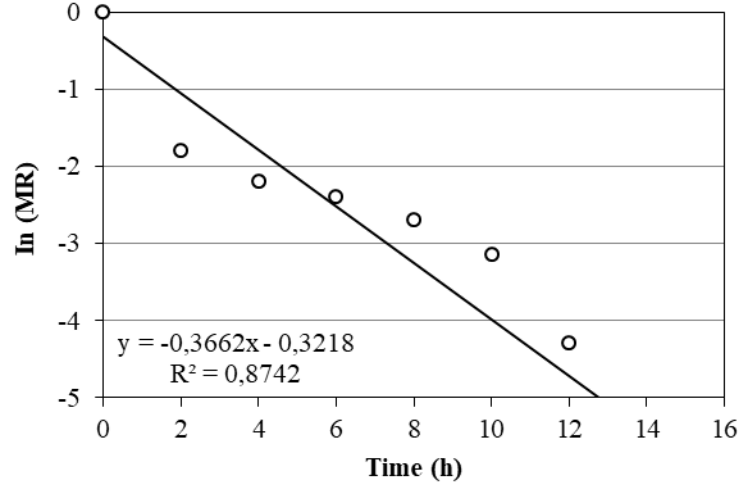
Bu denklem ilk olarak Crank (1975) tarafından kullanılmıştır. Crank, bu denklemde ihmal edilebilir bir dış direnç, tek tip başlangıç nem dağılımı, ihmal edilebilir büzülme ve sabit yayılım olduğunu varsaydı:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \left[ \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-9 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) + \frac{1}{25} \exp\left(-25 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) + \frac{1}{49} \exp\left(-49 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \dots \right] \quad (7.5)$$

Burada t kuruma süresini (sn),  $D_{\text{eff}}$  Efektif difüzyon (m<sup>2</sup>/sn), n pozitif bir tamsayıyı ve L numunelerin(m) yarı kalınlığını gösterir. Kartezyen koordinat sisteminde sabit difüzyon katsayısı ile uzun kuruma süresini göz önünde bulundurarak denklem sadeleştirildi ve denklem 7.6' daki formu elde edildi:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (7.6)$$

Efektif difüzyivite ( $D_{eff}$ ) değerleri, deneysel kurutma verileri  $\ln(MR)$  cinsinden çizilerek hesaplandı ve zamana karşı grafiği çizildi (Şekil 7.3.).



Şekil 7.3. Yaban mersini numunelerinin dondurarak kurutma süresine karşı  $\ln(MR)$  grafiği.

Şekil 7.3.'te grafikten eğim ( $K$ ) bulunmuştur. Denklem 7.4 kullanılarak 5 mm kalınlığındaki yabanimersini numuneleri için efektif difüzyivite değeri ( $D_{eff}$ )  $2.57665 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada, numunelerin kurutulması için efektif difüzyivite referans aralığı  $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  bulunmuştur. Literatürde gıda ürünleri için efektif difüzyivite katsayısı  $10^{-12}$  ile  $10^{-8} \text{ m}^2 / \text{s}$  arasında değişmelidir ve bulduğumuz sonucun literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

## BÖLÜM 8

### SONUÇ

Kurutma işlemi hâlihazırda, diğer muhafaza yöntemleri arasında raf ömrü uzunluğu, basit saklama koşulları ve kütle azalımı sayesinde nakliye açısından çok avantajlı bir işlemdir. Kurutma performansının daha iyi hale getirilmesi için geçmişte pek çok teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Dondurarak kurutma yöntemi, geleneksel kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında yatırım ve işletme maliyetleri açısından yüksek ve kurutma süresi daha uzundur. Ancak buna karşın bu yöntem üründen suyu en iyi ayırıştırma yöntemi olarak kabul görmekte ve böylelikle pazar değerini yukarıya taşımaktadır.

Yapılan çalışmada her biri 5mm kalınlığında 100'er gr olarak ayarlanmış toplam 7 adet yaban mersini numunesi 14 saat dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 7 ayrı numunede her iki saatte bir alınan ağırlık kaybı verileri ile MR (nem oranı) hesaplanmış ve MATLAB programı kullanılarak 8 farklı kurutma modeli üzerinde en uygun model belirlenmiştir. Hesaplama  $R^2$  değeri 0,9978,  $X^2$  değeri  $2,875 \times 10^{-4}$  ve RMSE (tahmini standart hata) değerinin 0,014686 çıkması ile en uygun modelin PAGE modeli olduğu görülmüştür.

Bu araştırmada 5 mm kalınlığındaki yabanmersini numuneleri için efektif difüzyon hızı değeri ( $D_{eff}$ )  $2,57665 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  olarak belirlenmiştir. Numunelerin kurutulması için efektif difüzyon hızı referans aralığı  $10^{-12}$ – $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  bulunmuş ve literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Kırmacı, V., “Dondurarak Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneylerinin Yapılması” Doktora Tezi *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).
2. Acar, B., “Safran Çiçeğinin Dondurarak Kurutulması” Doktora Tezi *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2011).
3. Moraga, G., Talens, P., Moraga, M. J., & Martínez-Navarrete, N., “Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices,” *Journal of Food Engineering*, 106.3: 212-219 (2011).
4. Acar, B., Dağdeviren, A., & Özkaymak, M., “Dondurularak Kurutulan Muzun Kinetik Modeli” In *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Science*, Samsun, (pp. 22-24) (2019).
5. Wang, J., Li, Y. Z., Chen, R. R., Bao, J. Y., & Yang, G. M., “Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying”, *Food Chemistry*, 104.4: 1516–1521, (2007).
6. Khampakool, A., Soisungwan, S., & Park, S. H., “Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture”, *Food Science and Technology*, 99: 355–363 (2019).
7. Zaichick, V., & Zaichick, S., “A search for losses of chemical elements during freeze-drying of biological materials”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 218(2) : 249-253 (1997).
8. iang, H., Zhang, M. ve Mujumdar, A.S., “Physico-chemical changes during different stages of MFD/FD banana chips”, *Journal of Food Engineering*, vol. 101.2: 140-145 (2010).
9. Reyes, A., Evseev, A., Mahn, A., Bubnovich, V., Bustos, R., & Scheuermann, E., “Dondurarak kurutmada çalışma koşullarının yaban mersini besin özelliklerine etkisi”, *Uluslararası Gıda Bilimleri ve Beslenme Dergisi*, 62.3: 303-306 (2011).
10. Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H., “Yaban mersini, vişne, çilek ve kıvılcıkların farklı kurutma yöntemlerinden etkilenen fitokimyasal ve fiziksel özellikleri”, *Gıda Kimyası*, 262: 242-250 (2018).

11. Ngo, H.T., Tojo, S., Ban, T., & Chosa, T., “Dondurarak kurutma işleminde önceki dondurma koşullarının yaban mersini kalitesi üzerindeki etkileri”, *ASABE İşlemleri*, 60(4): 1369-1377 (2017)
12. Fan, K., Zhang, M. ve Mujumdar, A.S., “ Mikrodalga destekli meyve ve sebzelerin yüksek verimli dondurularak kurutulmasında son gelişmeler: Bir inceleme”, *Gıda bilimi ve beslenmede kritik incelemeler*, 59.8: 1357-1366 (2019)
13. Liović, N., Bratanić, A., Zorić, Z., Pedisić, S., Režek Jambrak, A., Krešić, G., & Bilušić, T., “The effect of freeze-drying, pasteurisation and high-intensity ultrasound on gastrointestinal stability and antioxidant activity of blueberry phenolics”, *International Journal of Food Science and Technology*, 56.4: 1996-2008. (2021).
14. Daşdemir ,Y., “Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş maviyemiş meyvesinin farklı oranlarda ilavesi ile üretilen siyah çayların antioksidan kapasitesi ve fenolik profilinin tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir (2019).
15. Harguindeguy, M., & Fissore, D., “On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review”, *Drying Technology*, 38.7: 846-868 (2020).
16. Kırmacı, V., Usta, H., & Menlik, T., “An Experimental Study on Freeze-Drying Behavior of Strawberries”, *Drying Technology*, 26.12: 1570-1576 (2008).
17. Çelik, H., “Türkiye için yeni bir meyve: LİKAPA Üzümsü Meyvelerin Kralıdır”, *Hasad Aylık Gıda, Tarım ve Hayvancılık Dergisi*, 20(235): 42-512004.
18. Austin, M.E., “Rabbiteye Blueberries”, *Development, Production and Marketing*. Agscience Inc., Florida, 160 pp. (1994).
19. Gough, R.E., “The highbush blueberry and its management”, *Haworth press*, New York. (1994).
20. Gough, R.E., “Blueberries, North and South” *Journal of Small Fruit & Viticulture*, 4.1-2: 71-106 (1997).
21. Strik, B., et al., "Highbush blueberry production guide", *Oregon State University. Department of Extension and Experiment Station Station Communication, PNW215* (1993).
22. <https://www.yabanmersini.org/yaban-mersini-nedir.html>
23. Çelik, H., “Karadeniz Bölgesi İçin Yeni Bir Meyve Türü Yaban Mersini (Likapa)”, *II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu*, Tokat, 124-128 (2006).

24. Yıldız, S., “Ülkemizde doğal olarak yetişen ve kültüre alınan *Vaccinium* spp. türlerinin fenolik bileşiklerinin ve antioksidan kapasitelerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, (2012).
25. <https://www.yabanmersini.org/yaban-mersini-kullanim-alanlari.html>
26. Prior, R. L., et al. "Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species", **Journal of agricultural and food chemistry**, 46.7: 2686-2693 (1998).
27. İstek, N., “Yaban mersini meyvesinin tıbbi beslenme tedavisi uygulanan fazla kilolu bireylerde kilo yönetimi üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, (2017).
28. <https://www.yabanmersini.org/yaban-mersini-turleri.html>
29. <https://www.yabanmersini.org/yaban-mersini-faydalari>
30. Yapar, A. ve Erdöl, M., “Farklı sıcaklık ve tuz uygulanarak kurutulmuş alabalıklarda kurumanın fonksiyonel ifadesi”, **Turkish. Journal of Veterinary and Animal Sciences**, 23 (3): 479-483 (1999).
31. Yüzgeç, U., “Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülmesi denetimi”, Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 1-35 (2005).
32. Çalışkan, M.K., “Mikrodalga enerjisi ile kurutma”, Yüksek Lisans Tezi **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5 (2002).
33. Ceylan, İ. ve Doğan, H., “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, **II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi**, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155-166 (2004).
34. Aktaş, M., “Isı Pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalat ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 41-81 (2007).
35. [https://www.researchgate.net/publication/288924566\\_Meyve\\_sebze\\_isleme\\_teknolojisi](https://www.researchgate.net/publication/288924566_Meyve_sebze_isleme_teknolojisi)
36. Bulduk, S., “Gıda teknolojisi”, **Detay Yayıncılık**, Ankara, 40-44 (2002).
37. Güngör, A. ve Özbalta, N., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, **3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi**, İzmir, 737-747 (1997).
38. Günerkan, H., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, **Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, 36 (13): 1-10 (2005).

39. Beirao-da C.S., et al., “Orta ısı ön işlemlerin kivi dilimlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi”, *European Food Research and Technology*, 226.4: 641-651 (2008).
40. Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Özkan, M., “3 Meyve ve sebze işleme teknolojisi”, *Gıda Teknolojisi Derneği*, Ankara, 77-570 (2003).
41. Biçer, Y., Kavak, E. ve Yıldız, C., “Teknik kurutmada kurutucu seçimi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bilim Günleri*, Denizli, 221: 606-612 (1999).
42. Strumillo, C. and Kudra, T., “Drying: principles, applications and design”, *Gordon and Breach Science Publishers*, New York, 369-405 (1986).
43. Bulduk, S., “Gıda teknolojisi”, *Detay Yayıncılık*, Ankara, 40-44 (2002).
44. Ratti C., “Yüksek değerli gıdaların sıcak hava ve dondurularak kurutulması: bir inceleme”, *Gıda mühendisliği dergisi*, 49.4: 311-319 (2001)
45. Meryman, H.T., “Principles of freeze-drying”, *Annals of the New Academy of Sciences*, 85: 630-640 (1960).
46. Perry, V.P., “Freeze-drying for the preservation of human tissues”, *Transplantation Proceedings*, 8 (2): 189-192 (1976).
47. Yüzgeç, U., “Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-35 (2005).
48. Sadıkoğlu, H. ve Özdemir, M., “Dondurarak kurutma teknolojisi”, *Termoklima*, 102: 53-61 (2001).
49. Özkara, T., “Dondurarak kurutma yöntemi ile saklanan greftlerin mekanik özellikleri üzerine radyasyonla sterilizasyonun etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16 (2003).
50. Dolan, J.P., “Use of volumetric heating to improve heat transfer during vial freeze-drying”, *Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia, 22 (1998).
51. Pikal, M.J., Shah, S., Roy, M.L. and Putman, R., “The secondary drying stage of freeze drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure”, *International Journal of Pharmaceutical*, 60 (3): 203-217 (1990).
52. Sadikoglu, H., Ozdemir, M. and Seker, M., “Freeze-drying of pharmaceutical products: research and development needs”, *Drying Technology*, 24 (7): 849-861 (2006).
53. Sadikoglu, H., Liapis, A.I. and Crosser, O.K., “Optimal control of the primary and secondary drying stage of bulk solution freeze drying in trays”, *Drying Technology*, 16 (3): 399-431 (1998).

54. Acar, B., Sadıkoğlu, H., Doymaz, İ., “Freeze-Drying Kinetics And Diffusion Modeling Of Saffron (Crocus Sativus L.)”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39.2: 142-149 (2015).
55. Menges, H.O. and Ertekin, C., “Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples,” *Journal of Food Engineering*, 77.1: 119-125 (2006).
56. Gálvez, A.v., Miranda, M., Bilbao-Sáinz, C., Uribe, E. and Lemus-mondaca, R., “Empirical modeling of drying process for apple (Cv. Granny Smith) slices at different air temperatures,” *Journal of Food Processing Preservation*, 32.6: 972-986 (2008).
57. Rayaguru, K., Routray, W. ve Mohanty, S.N., “Mathematical modelling and quality parameters of air-dried betel leaf (Piper betle L.),” *Journal of Food Processing Preservation*, 35.4: 394-401 (2011).



## ÖZGEÇMİŞ

Mutlu Can AYRIKSA İlk, orta ve lise öğrenimini Amasya'nın Merzifon ilçesinde tamamladı. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği programında Lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Kırşehir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme öğretmeni olarak göreve başladı. 2022 yılında Enerji Sistemleri Mühendisliği'nde Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Evli ve 2 çocuk babasıdır.