



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**OZMOSOLAR DEHİDRASYON YÖNTEMİ İLE KURUTULAN
KİVİ HALKALARININ KURUTMA KOŞULLARININ
OPTİMİZASYONU**

FURKAN SABRİ GENCER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2022

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**OZMOSOLAR DEHİDRASYON YÖNTEMİ İLE KURUTULAN KİVİ
HALKALARININ KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU**

FURKAN SABRİ GENCER

Danışman: Doç. Dr. ZEHRA YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2022

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Zehra YILDIZ
(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Kasım OCAKOĞLU

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2022 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylıyorum.
.../.../2022

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 26/05/2022

Furkan Sabri Gencer

ÖZET

OZMOSOLAR DEHİDRASYON YÖNTEMİ İLE KURUTULAN KİVİ HALKALARININ KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

FURKAN SABRİ GENCER

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zehra YILDIZ

Mayıs 2022, 72 Sayfa

Ozmosolar dehidrasyon, ozmotik dehidrasyon ve güneş enerjili kurutma yöntemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit bir kurutma yöntemidir. Bu çalışmada, kivi meyvesi halka şeklinde dilimlenerek ozmotik dehidrasyon, doğal konvektif çok raflı güneş enerjili kurutucuda ve ozmosolar dehidrasyon ile kurutulmuştur. Ozmosolar dehidrasyon işleminde önce kivi halkaları sakkaroz çözeltilerine daldırılmış ve daha sonra güneş enerjili kurutucuda kurutulmuştur. Nem kaybı, kurutma hızı, çapsal büzülme oranı ve a^* renk parametresindeki değişim üzerine kurutma yönteminin kurutma süresi boyunca etkisi belirlenmiştir. Kivi halkalarının çok raflı güneş enerjili sistemler ile kurutulmasında, ozmotik dehidrasyon işleminin etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca kurutma koşullarının kurutma performansına etkisini belirlemek ve yanıtlar için en uygun kurutma koşulları seviyesini bulmak için yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Kurutma koşulları kivi dilim kalınlığı, sakkaroz çözeltisi derişimi, ozmotik dehidrasyon süresi ve güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi olarak seçilmiştir. Optimize edilecek yanıtlar nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve yeşil renk değişimidir. Yanıt yüzey yöntemi ile başarılı bir matematiksel model kurulmuştur. Nem kaybı için kuadratik model, renk değişimi ve büzülme oranı için ikili etkileşim modeli seçilmiştir. Model R^2 değerleri nem kaybı için 0.952, renk değişimi için 0.737 ve büzülme oranı için 0.856 dır. Optimum kurutma koşulları seviyesi sakkaroz çözelti derişimi için %12.7, dilim kalınlığı için 4.06 mm, güneş enerjili kurutma süresi için 125 dakika ve ozmotik dehidrasyon süresi için 70.9 dakika belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurutma, Ozmotik Dehidrasyon, Güneş Enerjili Kurutucu, Ozmosolar Dehidrasyon, Yanıt Yüzey Yöntemi

ABSTRACT

DRYING OF KIWI RINGS BY OSMOTIC DEHYDRATION AND SOLAR DRYER

FURKAN SABRİ GENCER

Master Thesis, Department of Energy Systems Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zehra YILDIZ

May 2022, 72 Pages

Osmosolar dehydration is a hybrid drying method that uses a^* combination of osmotic dehydration and solar decontamination methods. In this study, kiwi fruit was sliced into rings and dried by osmotic dehydration, natural convective multi-shelf solar energy dryer and osmosolar dehydration. In the osmosolar dehydration process, kiwi rings were first immersed in sucrose solutions and then dried in a solar-powered dryer. The effect of the drying method on moisture loss, drying speed, diameter shrinkage rate and change in color parameter a was determined during the drying period. It has been observed that osmotic dehydration process is effective in drying kiwi rings with multi-shelf solar-powered systems. In addition, the response surface method was used to determine the effect of drying conditions on drying performance and to find the optimal level of drying conditions for the responses. The drying conditions were selected as kiwi slice thickness, sucrose solution concentration, immersion time and drying time in solar powered dryer. The responses to be optimized are moisture loss, diameter shrinkage rate and green color change. A successful mathematical model has been established using the response surface method. A quadratic model was chosen for moisture loss, and a binary interaction model was chosen for color change and shrinkage ratio. Model R^2 values are 0.952 for moisture loss, 0.737 for color change, and 0.856 for shrinkage. The optimum drying conditions level was determined as 12.7% for sucrose solution concentration, 4.06 mm for slice thickness, 125 minutes for solar drying time and 70.9 minutes for osmotic dehydration time.

Keywords: Drying, Solar Dryer, Osmotic Dehydration, Osmosolar Dehydration, Response Surface Methodology

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitim sürecimde, değerli görüşleri ve tecrübeleri ile eğitim hayatımın pozitif yönde şekillenmesini sağlayan, tez yazım sürecinin her safhasında, kıymetli vaktini ayırarak yardımcı olan çok değerli hocam Doç. Dr. Zehra YILDIZ'a çok teşekkür ederim. Lisans ve yüksek lisans döneminde görüş ve tecrübeleriyle kendimi geliştirmemi sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Kasım OCAKOĞLU ve Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR'e çok teşekkür ederim. Lisans hayatımdan bu yana yanımda olup beni destekleyen değerli arkadaşım Elif VANLI'ya, desteklerini hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarım Muhammed AKKARİ ve Perihan Kübra DEMİRCİOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her alanında bilgileri ve tecrübeleriyle hayatıma yön veren ve desteklerini hiç esirgemeyerek her koşulda yanımda olduklarını bildiğim babam Mehmet GENCER ve annem Sultan BURUK GENCER'e sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	vii
TABLOLAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1

BÖLÜM I

KURUTMA

1.1. Kurutma İşlemi	4
1.2. Kurutma Prosesi Öncesi Uygulanan Ön İşlemler	5
1.2.1. Fiziksel Ön Kurutma İşlemleri.	6
1.2.2. Daldırma Ön Kurutma İşlemi	6
1.2.3. Haşlama Ön İşlemi.....	7
1.2.4. Kükürtleme Ön İşlemi	8
1.3. Gıda Kurutma Yöntemleri	8

BÖLÜM II

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTMA

2.1. Güneş Enerjisi.....	11
2.2. Güneş Enerjili Kurutucular	13
2.2.1.Güneş Enerjili Pasif Tip Kurutucular	15
2.2.1.1. İndirekt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu	16
2.2.1.2. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu.....	16

2.2.1.3. Kabin Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	17
2.2.1.4. Sera Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	18
2.2.1.5. Birleşik(Hibrit) Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucular.....	19
2.2.2. Güneş Enerjili Aktif Kurutucular	20
2.2.2.1. İndirekt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular	20
2.2.2.2. Direkt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular.....	21
2.2.2.3. Birleşik Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular	22
2.3. Ozmotik Dehidrasyon	23
2.4. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşlemi.....	24
2.5. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminin Modellenmesi.....	25
2.6. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminde Gerçekleşen Kütle Transferi.....	27
2.7. Ozmotik Dehidrasyonu Etkileyen Faktörler	29
2.7.1. Ozmotik Maddenin Tipi ve Çözelti Konsantrasyonu	29
2.7.2. Ozmotik Dehidrasyon Süresi	30
2.7.3. Ozmotik Dehidrasyonda Optimum Sıcaklık.....	31
2.7.4. Örnek ile Çözelti Derişim Oranı	32
2.7.5. Ürün Geometrisi ve Karakteristik Özellikleri.....	32
2.7.6. Ozmotik Çözeltinin Karıştırılması.....	33
2.8. Ozmotik Dehidrasyonun Ürün Üzerine Etkileri	34
2.9. Ozmotik Dehidrasyon Kinetiği.....	35
2.10. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminin Avantaj ve Dezavantajları.....	36
2.11. Ozmosolar Dehidrasyon İşlemi ile Kurutma Yöntemi	37
2.12. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM)	38
2.13. Güneş Enerjili Kurutma Destekli Yapılan Kurutma Çalışmaları	40

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal.....	45
3.1.1. Kurutulacak Ürün	45
3.1.2. Çok Rafı Güneş Enerjili Kurutucu	46
3.1.3. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri	46
3.2. Metot.....	48
3.2.1. Deneysel Yöntem.....	48

BÖLÜM IV

BULGULAR

4.1. Kivi Halkalarının Ozmotik Dehidrasyon ve Güneş Enerjili Kurutucu ile Birlikte Kurutulması	51
4.2. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Analizi	55

SONUÇ ve ÖNERİLER	64
--------------------------------	-----------

KAYNAKÇA.....	66
----------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ	72
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

a*: Kırmızı- Yeşil arasında renk değeri

b*: Sarı- Mavi arasında renk değeri

CCRD: Merkezi Tümleşik Tasarım

ΔL : Toplam Renk Farkı

L*: Aydınlık

OD: Ozmotik Dehidrasyon

OSD: Ozmosolar Dehidrasyon

P: Uygun kesinlik Değeri

R^2 : Regresyon Katsayısı

RSM: Yanıt Yüzey Metodolojisi

SD: Güneş Enerjili Kurutma

Y_{RD}: Renk Değişimi Yanıtı

Y_{BO}: Büzülme Oranı Yanıtı

Y_{NK}: Nem Kaybı Yanıtı

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 En Çok Kurutulan Tarım Ürünlerinin Başlangıç Nemi, Son Nemi ve İzin Verilen En Yüksek Kurutma Sıcaklıkları	4
Tablo 2.1 Türkiye'nin Bölgelere Göre Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli	12
Tablo 4.1 Deney Tasarımında Kullanılan Bağımsız Değişkenlerin Kodları ve Seviyeleri	55
Tablo 4.2 Dört Bağımsız Değişkenli CCRD ve Bağımlı Değişkenin Deneysel Yanıtları	56
Tablo 4.3 RSM için Regresyon Parametrelerinin ANOVA Değerleri	58
Tablo 4.4 Modellerin Varyans Analizi(ANOVA)	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Mersin İline Ait Yıllık Güneşlenme Potansiyel Haritası	12
Şekil 2.2. Mersin İline Ait Radyasyon Değerleri(a) ve Güneşlenme Süreleri(b)	13
Şekil 2.3. Güneş Enerjili Kurutma Yöntemleri ve Güneş Enerjili Kurutucu Tipleri	15
Şekil 2.4. İndirekt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu	16
Şekil 2.5. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu	17
Şekil 2.6. Kabin Tipli Direkt Pasif Kurutucu	18
Şekil 2.7. Sera Tipli Pasif Güneş Enerjili Kurutucu.....	19
Şekil 2.8. Hibrit Doğal Sirkülasyonlu(Dolaylı) Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu.....	20
Şekil 2.9. Sürekli Akışlı Aktif Direkt Güneşli Taneli Madde Kurutucu	21
Şekil 2.10. Aktif Direkt Tip Güneş Enerjili Sera Tipi Kurutucu.....	22
Şekil 2.11. Ek Bir Yardımcı Isı Kaynağına Sahip Tünel Tipi Aktif Hibrit Tip Kurutucu	23
Şekil 2.12. Kütle Transfer Mekanizmaları	27
Şekil 3.1. Hayward Cinsi Kivi.....	45
Şekil 3.2. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu	46
Şekil 3.3. Analitik Hassas Terazî.....	47
Şekil 3.4. Dijital Kumpas	47
Şekil 3.5. Kolorimetre	48
Şekil 4.1. Kurutma Süresi Boyunca Nem Kaybı Değişimi	52
Şekil 4.2. Kurutma Süresi Boyunca Büzülme Oranı Değişimi	53
Şekil 4.3. Kurutma Süresi Boyunca Kurutma Hızı Değişimi.....	53
Şekil 4.4. Kurutma Süresi Boyunca Renk Değişimi	54
Şekil 4.5. Nem Kaybı Yanıtları	61
Şekil 4.6. a^* Renk Değişimi Yanıtları.....	62
Şekil 4.7. Büzülme Oranı Yanıtları	63

GİRİŞ

Mersin ili, meyve ve sebze üretiminde Türkiye'nin başta gelen tarım şehirlerinden biridir. Mersin ülkemizin toplam meyvenin üretiminin yaklaşık %10, sebze üretiminin ise yaklaşık %5'ini karşılamaktadır. Meyve üretiminin %25'lik payını narenciye meyveleri oluşturmaktadır. Mersin ekonomisinin ürettiği yıllık gayri safi hasılanın yaklaşık %20'den fazlası tarımsal üretimden kaynaklanmaktadır (Tarım Ürünleri Piyasa Raporu,2021:1-6). Ancak üretimden tüketime kadar gerek nakliye sırasında, gerek depolama yetersizliği, gerekse de bazı yıllarda talebin üzerinde gerçekleşen yüksek arz nedeni ile gıda ürünlerinde önemli kayıplar söz konusudur. Meyvedeki kayıplar yıllık üretimin %35'ine, sebzedeki kayıplar ise yıllık üretimin %40'ına ulaşmaktadır. Tüketim ve ihraçtan sonra elde kalan atık, zayı olan yaş sebze ve meyvenin kurutulması ülke ekonomisine kazandırılması ve bu gıda atığının değerlendirilmesi ile çevreye zararın da azaltılması gerekmektedir (Ankara Ticaret Borsası,2017:1-6; Gıda Hattı Dergisi,2017:1-2).

Tarım ürünleri üretiminin talebin üzerinde gerçekleşmesiyle arta kalan bu ürünlerin değerlendirilmesi veya tarımsal kuru ürünlere yönelik sağlıklı besin olarak tüketim ihtiyacının artması gibi nedenlerle ürünün bozulmadan uzun süre korunması için kurutulur. Kurutma işlemi için gereken ısı kurutma prosesinin maliyetini artırmaktadır.

Yaş meyve ve sebzeler gerek depolama yetersizliği, gerekse de talebin üzerinde gerçekleşebilecek arz nedeni ile bozulmadan uzun süre korunması için kurutulur. Gıda maddelerinin yüksek sıcaklıkta kurutulması ürün kalitesini olumsuz yönde etkiler örneklerin hacminde göze görünen küçülmeler ve büzülmeler meydana gelir. Geleneksel kurutma yönteminde ürünler güneşin altına serilir ve beklenir. Ürünün kalite özelliklerini büyük oranda korurken çok fazla zaman kaybedilmektedir. Ayrıca açık ortamda kurutulma gerçekleştirildiği için hijyenik olmamaktadır.

Gıda ürünlerinin uzun süre muhafaza edilebilmesi için güneş altında sererek yapılan kurutma işlemi eskiden süregelen ve kullanılan en yaygın yöntemdir. Ancak ürünün doğrudan güneşle temas etmesi durumunda özellikle ürünün renginde bozulma ve besin değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu problemleri gidermek için güneşin etkisinden yararlanılarak güneş enerjili kurutucular geliştirilmiştir ve bunun yanında ozmotik dehidrasyonla kurutmada önem kazanmıştır. Ozmotik dehidrasyonla kurutma da ozmotik ajan olarak uygulamalarda tercih edilen maddeler şunlardır; şeker (dekstroz,

sukroz, esmer şeker, mısır şurubu, laktoz, bal, melas ve maltodekstrin) ve tuz (sodyum klorür). Ozmotik dehidrasyon ile meyvelerin kurutulmasında şeker, bal, meyve suyu, limon suyu, askorbik asit ve sitrik asit ozmotik çözelti olarak kullanılmıştır. Ozmotik dehidrasyon ve güneş enerjili kurutma işlemi ürünün raf ömrü uzun ve kaliteli kuru meyve üretiminde kullanımı giderek önem kazanacağı düşünülmektedir.

Güneş enerjili kurutucularda kurutma havasının ısınması güneş enerjisiyle sağlandığından maliyeti yoktur. Kurutma işleminde amaç olarak işletme maliyeti daha düşük, doğal, kolay tüketilebilen, yumuşak dokulu, kimyasal katkı içermeyen, dayanıklı ve besleyici değeri yüksek ürünler elde etmektir. Kivi meyvesinin kurutma sıcaklığı ve nem içeriğine bakıldığında güneş kurutucuların kullanımı ile ozmotik dehidrasyon işleminin birlikte kullanılmasıyla renk, gevreklik ve kuruma hızına olumlu etkileri olmuştur. Hem güneş enerjili kurutucularda işlem maliyeti olmadığı gibi ozmotik dehidrasyon işleminde sadece çözelti maliyeti olduğu için oldukça ekonomik bir yöntemdir. Mersin ili güneşlenme potansiyeli olarak aynı zamanda da yaş meyve ve sebze ihracatında ülkemizin önde gelen illerindedir. Bu nedenle güneşin ısıtma etkisinden gıda alanında kurutma işleminde faydalanarak ve bu kurutma işleminin optimizasyonu ile güneş enerjili kurutucuların kullanımı ekonomik yapılabilir. Böylece sanayide uygulanabilirliği artırılarak yaygınlaşması sağlanabilir.

Ozmosolar dehidrasyon kurutma işlemi ile gıdanın yapısındaki suyun önceden uzaklaştırılması, daha sonra da güneş enerjili kurutma ile işlem yükü ve toplam üretim maliyetini azaltır. Bu tip kurutma işlemleri düşük sıcaklıklarda gerçekleşir ve gıdada aroma değişikliği ve oksitlenme gibi zararları daha azdır. Bu yöntemle içeriği daha yoğun, renk, doku ve görünüm bakımından kaliteli, aroma ve tat yönünden daha güzel kuru bir ürün elde edilmektedir. Bu metotların birlikte kullanılmasıyla raf ömrü daha uzun ve kaliteli kuru kivi halkaları üretimi amaçlanmıştır.

Tüketicilerin kivi meyvesinin besleyici değeri yüksek olmasıyla talebin artması dünya ve ülkemizde kivi üretiminde artmasına sebep olmaktadır. Türkiye kivi yetiştiriciliğine geç başlamasına rağmen özellikle Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinin ikliminin ve üretim yapılabilecek arazilerin çok ve uygun olmasıyla son beş yılda önemli bir üretim miktarına ulaşmıştır. Ülkemizde ise kivi üretimi 1994 yılında başlamıştır. Bu yılın sonunda 7 ton gibi az bir kapasite ile üretim elde edilmiştir. Son yıllarda ülkemizde ki kivi üretimi oldukça yükselmiştir ve toplam üretim 2020 yılının sonunda 3799 tona

ulaşmıştır (Diken vd.,2020:250). Ülkemiz kivi üretiminde 2021 yılının verilerine göre yaklaşık 64 bin ton ile yedinci sırada bulunmaktadır. Mersin ilimizde 2020 yılının verilerine göre 3897 dekar alana ekim yapılmıştır. Ekilen alanlardan üretilen kivi miktarı 3799 tondur. 2019 yılına göre %32 artmıştır. Ülkemizde 2020 yılı verilerine göre en fazla üretim 6000 dekar ile Yalova ilindedir. Yalova, Bursa, Mersin ve Rize illeri 19000 dekar üretim alanıyla toplam üretimin %57,1'ini oluşturmaktadır. Mersin ili bu üretimin %11,9'luk payını oluşturmaktadır. Deneylerimizde ülkemizde çokça üretimi ve ihracatı yapılan 'Hayward' cinsi kiviler kullanılmıştır (Tarım Ürünleri Piyasa Raporu,2021:1).

Kivi meyvesi son zamanlarda Mersin ilinde meyve üretiminde önemli bir tarımsal ürün olduğu için bu çalışmada kivi meyvesi dilimleri farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Bu kurutma yöntemleri, ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutma ve ozmotik dehidrasyon ile güneş enerjili kurutma yöntemlerinin bir arada kullanıldığı ozmosolar dehidrasyondur. Kivi halkalarının batırıldığı çözeltilerin derişimi, çözelti ile kurutucuda bekleme sürelerinin ürünün çapsal büzülme, nem kaybı ve a^* renk parametresi üzerine etkileri belirlenmiştir. Kivi halkalarının çok raflı güneş enerjili sistemler ile kurutulmasında, ozmotik dehidrasyon işleminin etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple kivi halkalarının ozmosolar dehidrasyonla kurutma yönteminin optimizasyonu yapılmıştır. Çözelti derişimi, dilim kalınlığı, güneş enerjili kurutma süresi ve ozmotik dehidrasyon süresi gibi kurutma koşullarının optimum seviyelerini belirlemek için deneysel tasarım yöntemlerinden yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır.

BÖLÜM 1

KURUTMA

1.1. Kurutma İşlemi

Gıda ürünlerinin korunması ve tüketilebilir ömrünün uzatılabilmesi için birçok yöntem geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Kurutma, dondurma, konserveleme, tuzlama ve radyasyon bunlardan en yaygın ve sık olarak kullanılan gıda muhafaza yöntemleridir. Kurutma işlemi imalatı kolay ve maliyeti en düşük gıda muhafaza yöntemidir. Kurutma yöntemi kullanılarak et ürünleri, tahıllar ve meyve ve sebzelerin korunması sağlanabilmektedir. Taze gıda ürünleri farklı oranlarda nem içeriğine sahiptirler. Tahıl ürünlerinin nem içeriği %25-35 arasında, meyve sebze ürünlerinde ise bu oran %90'lara kadar çıkabilmektedir (Alwazeer,2018:126). Tablo 1.1'de Türkiye'de en çok kurutulan ilk on tarım ürününe ait başlangıç ve son nem içeriği ile maksimum kurutma sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 1.1. En Çok Kurutulan Tarım Ürünlerinin Başlangıç Nemi, Son Nemi ve İzin Verilen En Yüksek Kurutma Sıcaklıkları

Taze Ürün	Başlangıç Nemi (%)	Son Nemi (%)	İzin Verilen En Yüksek Kurutma Sıcaklığı
Kayısı	85,3	25	60-65
İncir	77.5	26	60-65
Üzüm	74.1-86	15-18	55-60
Tahıl	24	14	50
Nane	80	11	55-60
Kekik	72.9	7.5-11.14	50-55
Elma	80	24	70
Muz	80	15	70
Kivi	70-80	10-20	70
Biber	80	5	65

Kaynak: Apaydın,2007:8

Kurutma bir maddenin içerisinde barındırdığı su veya sıvı moleküllerinin uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işlemi meyve ve sebze gibi gıda ürünlerinin %80-95 oranlarındaki sıvı içeriğinin %10-20'ye düşürülerek raf ömrünün uzamasını sağlayan prosestir. Kurutma prosesinde gerçekleşen ısı ve kütle transferi ürünün yapısını değiştirerek muhafaza edilebilmesini mümkün kılar (Diken vd.,2020:249-250).

Kurutma prosesinde hedef; gıda ürününün sahip olduğu serbest su (nem) miktarının daha düşük değerlere indirgenerek ortamdaki su aktivitesi değerini belirli bir değere düşürülmesini sağlamaktır. Böylece işleme tabi tutulan ürünün mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesinin önüne geçilerek gıda ürünün raf ömrünün uzatılıp aynı zamanda duyuusal ve besinsel özelliklerini artırmaktır. Ayrıca gıda ürünün kurutulmasıyla lojistik, uygulanması gereken işlemlerin ekonomik olması için hacim veya kütesinin azaltılması sağlanır. Lojistik faaliyetler ve pazarlama işlemleri için sterilize ürünler elde edilmiş olur (Aktaş vd.,2012:767-775).

Kurutma işlemi endüstriyel anlamda kendine çok fazla uygulama alanı bulmuştur. Yalnızca gıda ürünlerinin kurutulmasında değil birçok alanda kullanılmaktadır. Deri ve tekstil ürünlerinde, tarımsal ürünlerin muhafaza edilmesinde, orman ürünlerinin kalitesinin ve işlenebilir özelliklerinin geliştirilmesinde, kimyasal içerikli ürünlerin su aktivitesinin düşürülmesinde, silah sanayisinde barutun kurutulmasında ve daha birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Ceylan,2002:160).

1.2. Kurutma Prosesi Öncesi Uygulanan Ön İşlemler

Kurutma işleminde ön işlemlerden önce proseste işlem göreceğ ürünün uygunluğu oldukça önemlidir. Kurutma prosesine uygun ürün seçiminde renk ve tat açısından olgun olmasına, yarasız ve sağlam olmasına, çürük olmamasına, mevsiminde olmasına ve böcek yeniğı olmamasına dikkat edilmelidir. Bu kriterler kurutma işlemini doğrudan etkiler.

Gıdalara kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin gıdanın mikrobiyal florası, mikrobiyolojik kalitesi, fiziksel ve besin değeri üzerinde etkisi vardır. Kurutma ön işlemi, ürünün kurutucuya girmeden önce nem içeriğinin düşürülmesi ile kurutucu yükünün azaltılması, daha düşük sıcaklıkta daha kısa sürede kurutma işleminin gerçekleşmesi, renk, tat, doku ve besin değerlerinin korunması veya artırılması, mikroorganizma aktivitelerinin engellenmesi ile raf ömrü uzun ürünlerin sağlanması için gerçekleştirilen işlemlerdir.

Ozmotik dehidrasyon, kükürtleme, sıcak daldırma, soğuk daldırma, soğutma, dondurma, haşlama ve tuzlama gibi ön kurutma işlemleri bulunmaktadır (Özler vd.,2005:161; Taiwo ve Adeyemi,2009:308; Yıldız,2021:1-2).

1.2.1. Fiziksel Ön Kurutma İşlemleri

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında uygulanan fiziksel ön işlemler birbirine benzerlik göstermektedir. İşlem göreceğ ürünün çekirdekli olması, yapraklarının fazla olması gibi birçok özelliğı göz önüne alınarak uygulanacak fiziksel ön işlem seçilmektedir. Genelde kullanılan metotlar; ayıklama, sınıflandırma, kabuk soyma, bölme, doğrama, dilimleme ve çekirdek çıkarma şeklindedir (Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma,2011,MEB:4).

Meyve ve sebzelerde kurutmadan önce yıkama işlemine tabi tutulmalıdır. Yıkama ön işlemi üründe ki kusurların daha çabuk farkedilmesini sağlar ve hijyenik hale getirir. Yıkama işleminden sonra ürün durulanır ve ayıklama işlemine hazır hale getirilir. Ayıklama işlemi sayesinde kurutma işlemine elverişli olmayan ürünler ayrıştırılır. Önemli bir fiziksel ön işlemde sap alma işlemidir. Sap alma işlemi uygulanarak üründe yenemeyecek kısımlarından kurtulunması, düzgün bir şekilde paketlenmesi ve görselinin iyileştirilmesi sağlanır.

Havuç ve fasulye gibi bazı kurutulacak ürünlerin baş ve uçları kesilerek uzaklaştırılmaktadır. Çekirdekli meyvelerin kurutma işleminde ise çekirdeklerin alınması gerekmektedir. Çekirdekleri alındıktan sonra fiziksel ön işlemlere tabi tutulurlar. Elma, limon gibi meyvelerin kurutma işleminden önce ise çekirdeklerinin alınıp kabukları soyulmaktadır (Cumhur,2019:10-13; Martinez vd.,2013:383).

1.2.2. Daldırma Ön Kurutma İşlemi

Daldırma işlemi enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesini önleyerek kurutma prosesi sırasında meydana gelebilecek renk, aroma ve tat kaybını azaltır. Daldırma işlemi kurutma işleminin verimini ve hızını artırır. Daldırma ön işlemleri daldırılacak solisyonun sıcaklığına göre ikiye ayrılır.

Soğuk daldırma ön işleminde çözelti sıcaklığı ortam sıcaklığından az veya yakın değerlerdedir. Soğuk daldırma işleminde kurutma işleminin verimini artırmanın yanında renk ve görsellik bakımından daha kaliteli son ürünler elde edilmektedir.

Sıcak daldırma ön işleminde çözelti sıcaklığı ortam sıcaklığından fazladır. Kurutma işleminin hızı ve verimi soğuk daldırma ön işleminden yüksektir. Bunun nedeni

sıcaklıktan kaynaklı hücre duvarında oluşan tahribatın fazla olmasıdır (Yıldız,2021:1-2; Chauhan vd.,2011:1041-1043).

Meyve ve sebzeler genelde asidik çözeltilere daldırılır. Ürünlerin kurutulmasında renk değişimlerinin engellenmesi amacıyla askorbik asit, sitrik asit, malik asit gibi asitler, doğal antioksidanlar ve etil-metil oleatlar tercih edilmektedir (Nowakunda vd.,2004:2078).

Daldırma ön işleminin kurutma prosesinin verimini artırmasını sağlayan ve ürünün muhafaza edilmesini mümkün kılan etken meyve sebzelerde bulunan kütikula tabakasıdır. Çeşitli ürünlerin hasat sonrası tüketim ömrünü artıran kütikula tabakası önemli bir rol üstlenmektedir. Bu yapı epiderm hücresinin zarını oluşturur. Mumsu bir tabakaya sahiptir.

Daldırma ön işlemi uygulandığı sırada yarı geçirgen bir zar gibi davranan bu tabaka yalnızca hücre boşluklarında bulunan su ve düşük molekül ağırlığına sahip çözümler maddelerin geçişine izin vermektedir. Kütikula tabakasının önemli görevleri bulunmaktadır. Su buharı geçirgenliğini denetleyerek su uzaklaştırılmasını en aza indirir. Hücre yapısında bulunan çözümlü moleküllerin hücre dışına çıkıp duyuşal özelliklerini kaybetmesini önler. Patojen ve bakteri istilasına karşı koruyucu bir duvar oluşturur. Mekanik etkilere, pestisitlere, gübrelere ve güneşin radyasyonundan korur. Gaz moleküllerin serbest bir şekilde giriş çıkışını mümkün kılar (Bingöl ve Devres,2010:19; Chauhan vd.,2011:1042-1043).

1.2.3. Haşlama Ön İşlemi

Haşlama ön işleminin uygulama alanı genelde sebzeler içindir. Fakat bazı meyvelerin yapısal özelliklerinden dolayı meyvelerde de kullanılabilir. Haşlama ön işlemi kurutulacak ürünün kalitesini olumsuz bir biçimde etkileyen enzimleri inhibe ederek mikrobiyal yükü azaltmaktadır. Enzimler nişastayı glikoza çevirmede kullanılarak gıda ürününün duyuşal özellikleri özellikle gıdanın rengi değiştirmektedir. Gıda ürünlerinin kurutma öncesi haşlanması kararma ve esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesini önlemede büyük bir etkidir. Bu nedenle haşlama ön işlemi gıda ürünlerinin renk ve görsel özelliklerini daha iyi bir duruma getirmektedir. Ürün yapısında yumuşama meydana geldiğinden pişirme işlemi için gerekli zaman azalır. Haşlama sıcaklığı ve zaman seçiminde ürün boyutları göz önünde bulundurulmalıdır. Haşlama

sıcaklığı ürünün boyutlarıyla ters orantılıdır. Zaman tayini ise büyük boyutlu ürünlerde daha fazladır.

Haşlama işlemi üç şekilde yapılmaktadır. Geleneksel (sıcak suya daldırma), buharla veya mikrodalga yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Haşlama ön işleminde suyun haricinde organik asitlerde tercih edilmektedir (Cumhur,2019:126; Fellows,2000:37-40).

1.2.4. Kükürtleme Ön işlemi

Kurutma işlemine tabi tutulacak gıda ürünleri, genellikle haşlanmadığından enzimleri aktif kalmaktadır. Kurutma prosesinin çıktığı sıcaklık seviyesi enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesini genelde önleyememektedir. Kurutma prosesi sırasında üründe ki serbest su miktarı enzimlerin çalışmasını engelleyecek seviyede olmadığı zaman enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesine zemin hazırlamaktadır. Enzimatik reaksiyonların (esmerleşme ve kararma) önlenmesinde yaygın olarak kullanılan madde kükürt dioksittir. Bu molekül antioksidan ve koruyucu özellik taşımaktadır. Kükürtleme işlemi ürünün kütikula tabakasının özelliklerine göre zaman belirlenerek uygulanır. Kurutma işleminin öncesi, gerçekleştiği sırada veya sonrasında uygulanır. Güneşte kurutmada kayısı, şeftali ve armutlar kurutmadan önce, daha çok yapay, sıcak hava yöntemi ile kurutulan elmalarda ise kükürtleme hem kurutma öncesinde hem de kurutma sırasında yapılır. Buna karşın üzüm kurutmadan sonra piyasaya sunulması amacıyla işlenmesi sırasında tekrar kükürtlenir (Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma,2011, MEB:5).

1.3. Gıda Kurutma Yöntemleri

Gıda kurutma yöntemleri eskiden günümüze kullanılmaktadır. Gıda kurutma prosesinin tasarımı ve dizaynında çok fazla etken göz önünde bulundurulmaktadır. Proses dizaynında sistemde o ürün için kullanılan kurutucu cihazlar incelenir. Özellikle kurutucu prosesinin imalat maliyetleri hesaplanır. Kurutma ürünün kalitesinden ödün verilmemesi için maliyet göz önünde bulundurulurken bu etken dikkate alınır.

Literatürde bilinen 500'e yakın kurutucu ekipman bulunmaktadır. Bunlardan 100'ü endüstriyel tesislerde ticari hedefler güdümlenerek kullanılmaktadır. Endüstriyel tesislerde farklı kurutucu prosesler kullanılmasına karşın yaygın olarak kullanılan metot geleneksel kurutma yöntemleridir. İmalat maliyetleri oldukça düşük ve tasarımları oldukça kolaydır (Alwazer,2018:126).

Kurutmada en çok bilinen ve eski çağlardan beri uygulanan yöntem, doğal yani güneşte bekleterek yapılan kurutmadır. Fakat çevre ve hava kirliliği, böceklenme ve mikrobiyolojik reaksiyonların hızlı gerçekleşmesi, tozlanma ve kurutma işlem süresinin uzun sürmesi gibi faktörlerden dolayı güneşte kurutma yönteminin tek başına kullanılması popülaritesini yitirmiştir. Bu nedenle endüstriyel alanda kurutma sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntemler;

Dondurarak kurutma, endüstriyel uygulama alanlarında genellikle vakum altında tutulan donmuş gıdalardan veya donmuş çözümlerden, çözücünün (genellikle su) buzun sıvı faza geçmeden doğrudan katıdan gaz hale geçmesi ve bağlı suyun (donmamış) da desorpsiyonla ürünün yüzeyinden uzaklaştırılması işlemidir (Sadıkoğlu ve Özdemir,2003:643).

Vakumla kurutma, ısıya duyarlı ürünlerde kullanılan bir metottur. Bu metotta düşük sıcaklıklarda (100 °C'nin altında) vakum altında uygulanır. Kurutma ortamında eser miktarda hava olduğundan oksitlenme büyük oranda azaltılmaktadır. Gıda, kimya, ilaç vb. gibi farklı sanayi türlerinde, kurutulmuş ürün eldesinde nemli ürünlerden suyu ayırtmak için kullanılır (Parikh,2015:48-49).

Mikrodalga ile kurutma, ısının ışınımı kullanılarak kurutma sağlanır. Mikrodalgalar kurutulacak ürün tarafından soğurulur ve gıda içindeki su moleküllerinin titreşimi sonucu oluşan sürtünme ile ısı oluşur. Meydana gelen ısı ile ürün içerisindeki suyun buharlaşması sağlanır. Isı direk gıda maddesinin içinde oluşur (Çelen,2010:8).

İnfrared kurutma, gıda maddeleri infrared ışınlarla maruz bırakıldığında, radyasyon enerjisi ısıya dönüşür ve ürünün yüzeyinden iç kısımlara doğru yayılarak buharlaşmanın gerçekleşmesi sağlanır. Ürünlerin işlenmesinde kızılötesi kullanımı, üründe ısı iletimini aktif bir şekilde sağlayarak işlem süresini kısaltır ve böylece maliyette azalır (Aktaş vd.,2013:767).

Püskürtmeli kurutmada, kurutma için gereken işlem süresi oldukça azdır. Bu tarz kurutma proseslerinde gıda ürünleri sıcak kurutma ortamına püskürtme şeklinde verilir. Kurutma süreleri 5-10 saniye arasında uygulanmaktadır. Genelde süt tozu, sabun, deterjan ve kahve gibi gıda ürünlerinin kurutulması için kullanılmaktadır. Hızlı kurutmanın sağlanabilmesi için giriş sıcaklığı oldukça yüksek tutulmaktadır (Sarsılmaz,1998:68).

Akışkan yataklı kurutmada, kurutulacak ürün doğrudan sıcak hava molekülleriyle temas etmektedir. Kurutma havası moleküller arasında ısı transferi tamamen homojen gerçekleştiğinden verimli bir kurutma sağlanır (Sarsılmaz,1998:68-69).

Kurutma işleminde birkaç enerji kaynağını birlikte kullanarak, kurutma prosesinin verimliliğinde önemli ölçüde gelişme sağlanmaktadır. Ürün kalitesini yükseltmek için yeni ve hibrit kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi, doğaya etkilerinin azaltılmasıyla birlikte kalitenin iyileştirilmesini mümkün kılar. Günümüzde en yaygın yöntemlerle yapılan kurutma çalışmalarında ön işlem olarak ozmotik dehidrasyonun yanında ultrases uygulamaları, ısı pompalı kurutma proseslerinde ise enerji kullanımını azaltmak ve çevrim verimini artırmak amacıyla ek kondenser ekipmanı kullanılması ve buna benzer teknolojilerle hibrit kurutma çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde kurutma işleminin daha verimli ve daha az sarfiyatla gerçekleştirilmesi sağlanır. Bu kurutma prosesleri sonunda elde edilen ürünlerin, kaliteli ve duyuşal özellikler açısından daha kabul edilebilir olduğu görülmektedir (Apaydın,2007:6-8).

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTMA

2.1. Güneş Enerjisi

Dünyamızın yaşam kaynağı olan güneşte çekirdek tepkimeleri gerçekleşir. Yakıtı hidrojen ve yanma ürünü helyum olan güneşi büyük bir fırın olarak düşünebiliriz. Burada ürün şeklinde oluşan helyum miktarı, harcanan yakıt hidrojen miktarından azdır. Arada ki bu kütle farkı güneşten ışın yayılmasını sağlar ve enerji açığa çıkarır. Bu durum güneş radyasyonu olarak tanımlanabilir.

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturur. Çok büyük bir potansiyel enerjiye sahiptir. Güneşten dünyaya bir sene içerisinde yaklaşık 1.5×10^{15} MW/h enerji gelmektedir. Bu sayı yeryüzünde ki insanların bir sene içerisinde tükettiği enerji miktarının yirmi sekiz bin katına eşittir (Gökayaz,2019:21).

Güneş ışımının fazla olduğu ülkelerde kurutma prosesinde güneş enerjisinden faydalanma oldukça yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu ülkelerde genellikle yapılan kurutmada güneş altına ürünler doğrudan serilir ve kurutma sağlanır. Oldukça ekonomik bir yöntemdir. Ancak doğrudan güneş radyasyonuna maruz bırakılan gıda ürünleri besinsel değerlerini, renklerini ve tat özelliklerinin değişimi olumsuz etkilenmekle beraber açık alanda toz, kir ve çeşitli haşeratlardan dolayı sağlıklı ve hijyenik bir kurutma işlemi olmamaktadır (Yıldız,2021:1).

Ülkemizde ortalama yıllık güneşlenme süresi metrekare başına 2640 saat yani günde ortalama 7.2 saattir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasındadır. Ülkemizde en çok güneş alan bölge Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Güneydoğu Anadolu bölgesini ikinci olarak Akdeniz bölgesi takip etmektedir (Koç ve Şenel,2013:32). Bölgelerimizin güneşlenme süreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

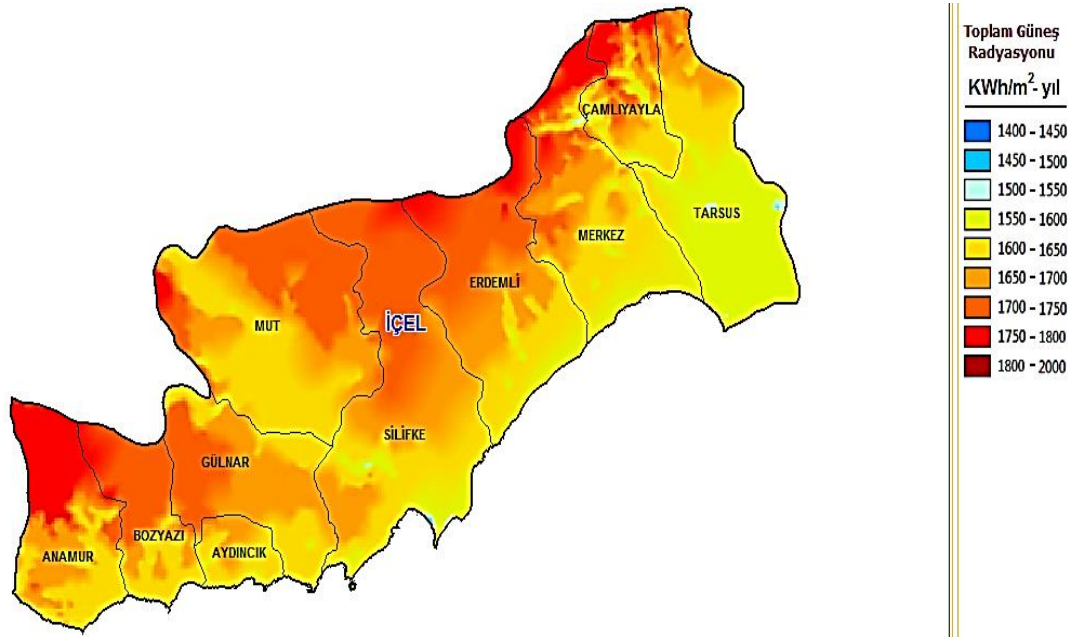
Tablo 2.1. Türkiye'nin Bölgelere Göre Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Kaynak: mgm.gov.tr

Ülkemizde en fazla güneşlenme süresi Temmuz ayında gerçekleşmekte ve günlük ortalama 11.31 saat sürmektedir. Mersin ilimiz Türkiye ortalamasının üstünde bir güneşlenme süresine sahip olup 11.45 saattir. Mersin ilimize bağlı Tarsus ilçesinde ise ortalama 11.63 saattir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü,2021).

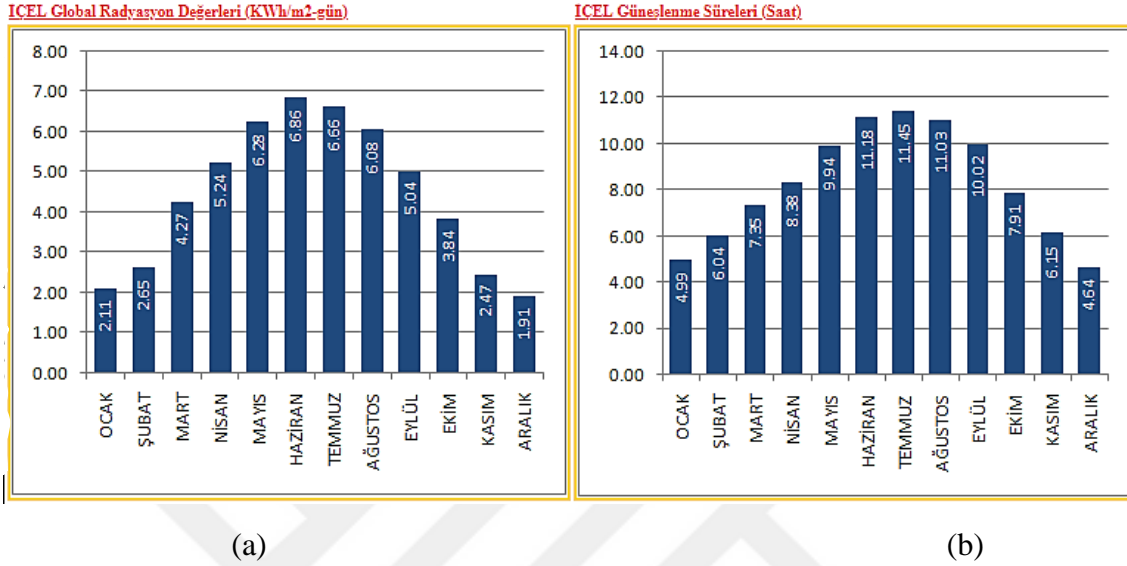
Mersin ilinin yıllık ortalama güneş alma süresi Türkiye'nin yıllık güneş alma süresinden oldukça fazladır ve bu özelliğinden ötürü listede üst sıralarda yer almaktadır. Şekil 2.1'de Mersin il ve ilçelerinin yıllık ortalama güneşlenme süresi haritada renklendirilerek verilmiştir.



Şekil 2.1. Mersin iline ait yıllık güneşlenme potansiyel haritası

Kaynak: gepa.enerji.gov.tr

Aynı zamanda Mersin ili Türkiye'nin ortalama nem ve sıcaklık değerleri ile kıyaslandığında özellikle yaz aylarında nem ve sıcaklık oranı oldukça fazladır. Bunun sebebi Mersin ilinin coğrafik özelliklerinden dolayı güneş alma süresi ve gelen radyasyon miktarıdır. Şekil 2.2'de sütun grafiği şeklinde verilmiştir.



Şekil 2.2. Mersin iline ait Radyasyon Değerleri(a) ve Güneşlenme Süreleri(b)

Kaynak: gepa.enerji.gov.tr

Günümüzde mevcut ve kullanılan güneş enerjisi teknolojileri olarak ise binaların ısıtılması ve soğutulması, güneş enerjili su ısıtıcıları, güneş hava ısıtıcıları, güneş ocakları, güneş enerjisiyle kurutma prosesleri ve güneşten elektrik üretimi yapan panel sistemleri olarak sıralanabilir. Güneş enerjili hava ısıtma sistemleri ise esas olarak kurutma uygulamalarında yaygın kullanılmaktadır.

2.2. Güneş Enerjili Kurutucular

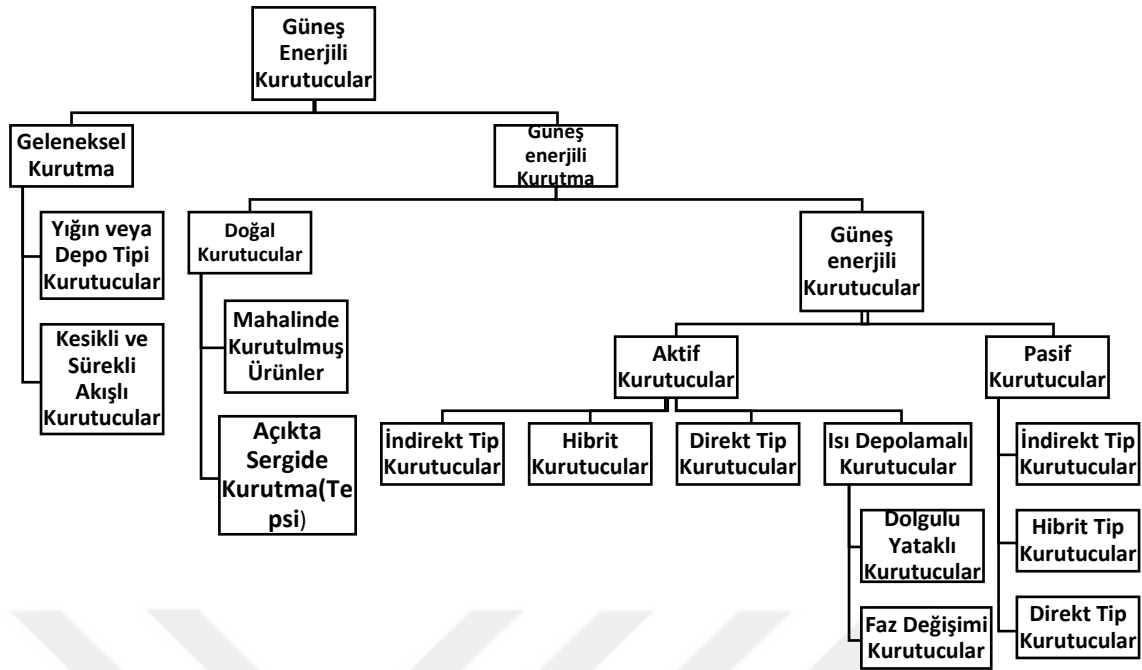
Güneş enerjili kurutucular, tarım ve gıda kurutmada, tarım kimyasalları kurutulmasında ve endüstriyel tesislerde kullanılır. Piyasa ve araştırmalarda kullanılan birbirinden farklı güneş kurutucuları mevcuttur. Bunların enerji tasarrufu açısından yararlı ekipmanlar olduğu araştırmalarda kanıtlanmıştır. Bu kurutucular geleneksel bir yöntem olan doğal kurutma yani doğrudan güneş altına serilerek yapılan kurutmadan daha fazla zaman ve enerji tasarrufu sağlar. Çünkü açık hava altında yapılan kurutma işleminde kurutma süresi ve işçilik faaliyetlerinin maliyeti fazladır. Gıda ürünlerinin kurutulması için büyük alanlara gereksinim duyulur ve hijyenik bir ortam sağlanamaz.

Ayrıca endüstriyel bazda kullanılan kurutucularda ürünler daha hijyenik olmaktadır (Kant vd.,2016:90-92).

Güneş enerjili kurutucular uzun bir zaman aralığında düşük sıcaklıkta ki ısıdan yararlanarak kurutmayı sağlar. Tasarımları sayesinde yüksek hava akış hızına sahip olduklarından kurutma işlemi sonrası kaliteli ürün eldesi sağlarlar. Güneş enerjisinden faydalanarak çalışan kurutucu ekipmanları proses için gerekli kurutma havasını oluşturmak için güneş ışınlarından faydalanır. Endüstriyel tesislerde kullanılacak kurutucu ekipman tasarımında istenen son ürün eldesi ve kurutma işleminin verimi için bu hava akışı doğal veya yapay yollarla sağlanabilmektedir. Isıtma işleminde ise hava önden ısıtılabilir veya kapalı bir ortamda muhafaza edilen kurutulacak ürüne ısının doğrudan teması mümkün kılınabilir. Kurutucu cihazlarında en önemli etken ısı transferinin gerçekleşmesidir. Kaynağın güneş olması koşuluyla kurutma işleminin verimini artırmak için günümüzde kombine ve hibrit sistemler kullanılmaktadır (Chemkhi vd.,2004:102-103; Çay vd.,2017:306-307).

Güneş enerjili kurutucular, kurutucu içerisinde ki hava akış kanallarına göre doğal taşınım (pasif) ve zorlamalı taşınım (aktif) kurutma sistemleri olmak üzere iki ana başlıkta ele alınabilir. Endüstriyel tesislerde ve araştırma uygulamalarında kurutucu ekipmanlarının en genel ve tercih edilen sınıflandırılması ısı transferi şekline göre yapılanıdır. Bu yöntem daha doğru bir kurutucu cihazı seçilmesini veya tasarlanmasını mümkün sunar. Güneş enerjili kurutucu cihazlarının genelde doğrudan (direkt), dolaylı (endirekt) ve hibrit (direkt ve endirekt) güneş kurutucuları olarak kategorize edilebilir. Bu kurutucu cihazlarının çalışma şekli güneş enerjisini toplama yöntemine ve bunun kurutma mekanizması için faydalı ısı enerjisiye dönüştürülmesi esasına dayanır (Belessiotis ve Delyannis,2011:1666).

Şekil 2.3'te güneş enerjili kurutma yöntemleri ve güneş enerjili kurutucu tipleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Güneş Enerjili Kurutma Yöntemleri ve Güneş Enerjili Kurutucu Tipleri

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:6

Güneş enerjili kurutucu ekipmanlar iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlar pasif ve aktif tip kurutuculardır.

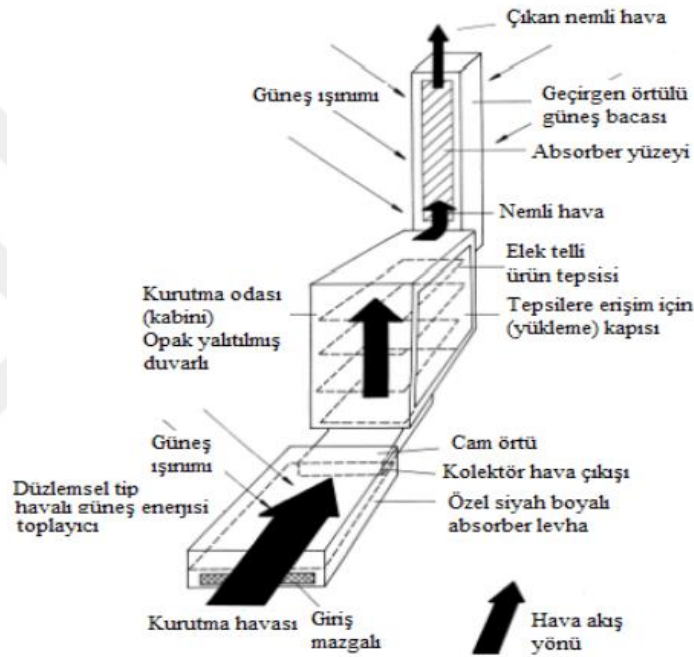
2.2.1. Güneş Enerjili Pasif Tip Kurutucular

Güneş enerjili pasif tip kurutucularda güneş enerjisine ek olarak ilave yardımcı ekipman kullanılmaz. Yalnızca güneş enerjisinden faydalanarak kurutma sağlanır. Güneş enerjisinden doğal kurutmadan farklı olarak güneşten gelen enerjinin mümkün olduğunca fazla miktarlarda gıda ürünlerine nüfuzu sağlanması hedeflenir. Böylece daha verimli bir kurutma elde edilir. Bu tip kurutucularda ortam sıcaklığı kontrol edilemez ve yatırım maliyeti oldukça azdır (Prakash ve Kumar,2013:698).

Kurutma haznesinin üzerinde ışığın geçmesini mümkün kılan saydam bir tabaka vardır. Kurutma ortamının dışından havanın girmesi için ve ısınmış üründen nemi alan havanın çıkması için bölmeler ve delikler bulunur. Kurutulacak ürün ısınmış havanın kolayca nüfuz edebileceği tepsi üzerine konular (Aduke ve Simaat,2016:753). Başlıca 5 tipi indirekt tip pasif, direkt tip pasif, kabin tipli direkt pasif, sera tipli direkt tip pasif ve hibrit tip güneş enerjili kurutucu olmak üzere kullanımı yaygındır.

2.2.1.1. İndirekt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

Bu tip güneş kurutucular temel ekipmanlar olarak baca, kollektör ve yalıtılmış kurutma odasından oluşur. Kurutucuda ki kollektörün yüzeyinde ki saydam ve ışık soğurucu tabaka sayesinde güneş ışınları hava kanallarında ki kuru havayı ısıtır ve ısınan hava, hava kanallarından yükselerek kurutma odasında ki ürünlere nüfuz eder. Kurutucuda bulunan baca havanın akış hızının artmasını sağlar. Ayrıca ürünlere güneş ışını doğrudan temas etmediği için ürün kurutma sırasında kimyasal bozulmaya uğramaz (Huselstein,2016:5). Şekil 2.4'te şematik olarak verilmiştir.

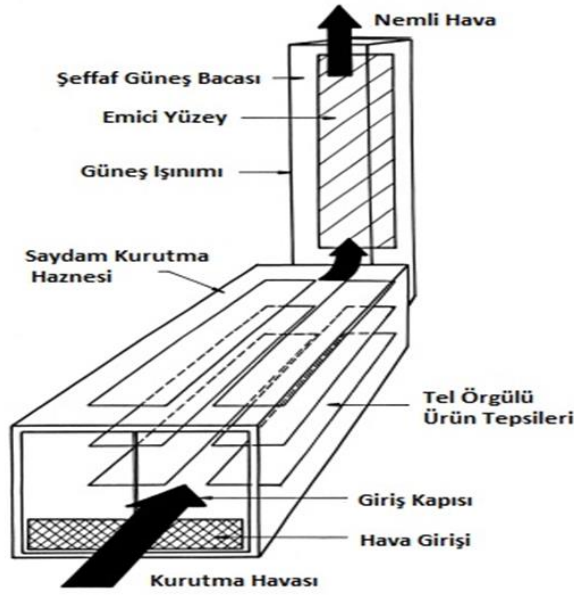


Şekil 2.4. İndirekt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:12

2.2.1.2. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

Bu kurutucu sistemleri mekanizması basit ve imalatı düşük maliyetlidir. Kabin ve sera tipli kurutucular olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kurutucu ürün ışığın soğurulduğu kurutma haznesine doğrudan yerleştirilir. Güneş ışınımındaki ısı enerjisi doğrudan ürüne nüfuzu sağlanarak nemin daha hızlı giderilmesi sağlanır (Gökayaz,2019:23). Şekil 2.5'te Direkt tip pasif güneş enerjili kurutucunun yapısı verilmiştir.

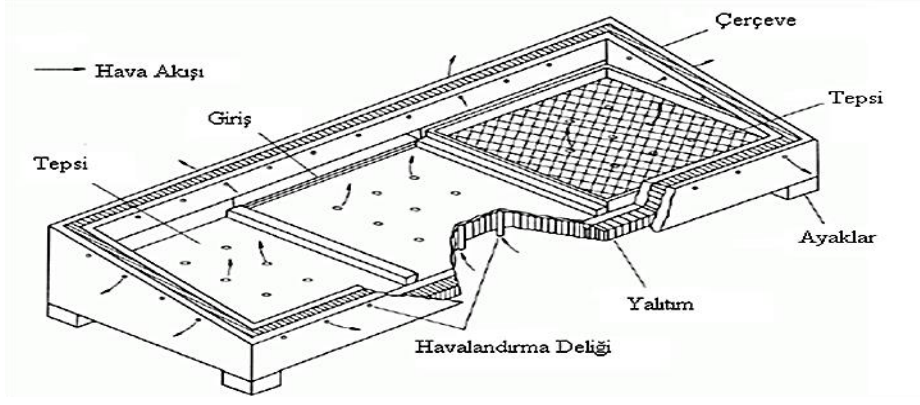


Şekil 2.5. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:13

2.2.1.3. Kabin Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

Bu tip kurutucular imalatı en kolay olan kurutuculardandır. Genelde kabin tipi kurutucular, iki kat saydam plakayla kaplanmıştır. Kapak kısmı belirli bir eğim açısı ile kapanır. Yan yüzeylerinde ısı kaçağı olmaması için yalıtılmış malzemeler kullanılır. Uygulamada en çok tercih edilen imalat malzemeleri sac levha veya ahşaptır. Yandan görünüşü yamuğu andıran kabinden oluşur. Hava girişi sağlanması için zemine, ön ve arka kenarlarına belirli boyutlarda delikler açılır. Kurutucu cihazın güneş enerjisini daha iyi absorbe edebilmesi için iç yüzeyleri mat renklere boyanır. Uygulamada genelde siyah renk tercih edilir. Kurutucu cihazın içerisinde ki hava moleküllerinin hareketi; zeminde ve ön kenarda açılan deliklerden dış ortam havasının içeri girmesi ile ısınmış ve nemli hava moleküllerinin arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle gerçekleşmektedir. Kurutucunun çalışma prensibi Şekil 2.6'da verilmektedir (Apaydın,2007:12).



Şekil 2.6. Kabin Tipli Direkt Pasif Kurutucu

Kaynak: Apaydın,2007:14

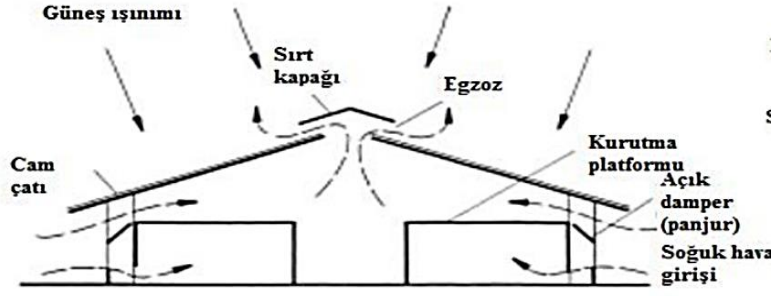
Pasif güneş enerjili kabin tip kurutucular yerel olarak mevcut olan malzeme ile imalatı basit ve ucuz olarak yapılabilmesi yönüyle avantajlı bir kullanım sunar. Fakat bu kurutucu tipinin göz önünde bulundurulması gereken en önemli dezavantajı kurutma hızları ve kurutulan maddenin aşırı ısınmasına sebep olan çok yüksek sıcaklıklara çıkabilmesidir (Güngör ve Özbalta,2019:12-13).

2.2.1.4. Sera Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

Sera tipi kurutucularda kurutucu cihazın çatısı ve duvarları güneş ışığının geçmesi için saydam bir plakayla kaplanır. Saydam plakadan güneş ışınları bu plakanın altındaki toplaçlardan emildikten sonra hava molekülleriyle taşınarak kurutulacak ürüne ulaştırılır. Güneş enerjisinin ısıttığı hava molekülleri ile buharlaştırılan nem, yine aynı hava molekülleriyle kurutma gerçekleştirilen ortamdan uzaklaştırılmaktadır.

Sera içerisinde hava moleküllerinin homojen dağılımını ve yeterli miktarda hava moleküllerinin akışını mümkün kılmak için seranın uzun kenarları boyunca ve zemininde ve çevre havasının girişi için de açıklıklar bırakılmalıdır. Nemli sera havasının dışarı atılması için seranın üzerinde açıklık bırakılmalıdır. Açıklıklardan haşerelerin girmemesi için ağ örtüsü ile tamamen kaplanması gerekir. Aynı zamanda açıklıklardan yağmur girişini önlemek için gerekli kapak veya perdeler mekanizmaya eklenmelidir (Apaydın,2007:13).

Bu kurutucu prosesin çalışma şekli ve yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir.



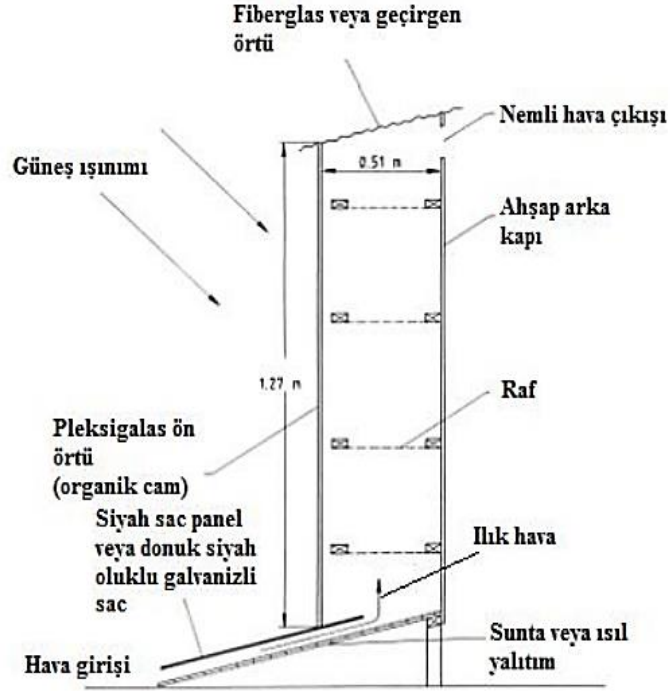
Şekil 2.7. Sera Tipli Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

Kaynak: Apaydın,2007:15

2.2.1.5. Birleşik (Hibrit) Tip Pasif Enerjili Güneş Kurutucular

Birleşik tip pasif enerjili güneş kurutucular dolaylı tip ve doğrudan tipte olduğu gibi yapısal özellikler bakımından benzer özelliklere sahiptir. Farkı ise kurutma odasının duvarlarının saydam tabaka olan camla kaplanmış olmasıdır. Bu sayede güneş ışınlarının doğrudan kurutma ürününe nüfuz etmesi sağlanır. Hibrit tip kurutucular direkt ve indirekt kurutucu tiplerinin avantajlarından aynı anda faydalanabilmek için iki kurutucu tipinin yapısal özelliklerinin birleştirilmesini kullanır. Fakat bu iki tip kurutucuların avantajlarından aynı anda faydalanma imkânı sunarken maliyet dezavantajı getirir. İmalat ve bakım masrafları oldukça yüksektir (Ekechukwu ve Norton,1999:634-637, Güngör ve Özbalta,2019:14-15).

Şekil 2.8’de birleşik tip pasif güneş enerjili kurutucunun yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. Hibrit Doğal Sirkülasyonlu(dolaylı) Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:16

2.2.2. Güneş Enerjili Aktif Kurutucular

Aktif tip güneş enerjili kurutucular güneşe pasif kurutucularda ki kadar bağımlı değildir. Bu tip kurutucularda ısı enerjisi kaynağı olarak güneş kullanılır. Fakat kurutma havasının sirkülasyonunu sağlamak amacıyla fan veya pompa gibi yardımcı ekipmanlar kullanılır. Çok fazla uygulama alanına sahiptir (Ekechukwu ve Norton,1999:640).

Endüstriyel tesislerde ve ticari amaçlı kurutma proseslerinde, yerel fosil yakıtlarla beraber zamana bağlı güneş ışınımındaki değişimlerin kuruma havası sıcaklığı üstündeki etkisini bir araya getirerek kuruma işleminde daha iyi bir denetleme ve kontrol sağlanabilmektedir. Aktif güneş kurutucular papaya, kivi meyveleri, patlıcan, lahana ve karnabahar gibi yüksek nem içerikli gıda ürünlerinin kurutulması için oldukça uygun proseslerdir (Güngör ve Özbalta,2019:16-17).

2.2.2.1. İndirekt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

İndirekt tip aktif güneş enerjili kurutucular fan desteklidir. Kurutma ürünü ızgaralar veya raflardaki bölmelere koyulmuş ve kurutma havasının sirkülasyonu

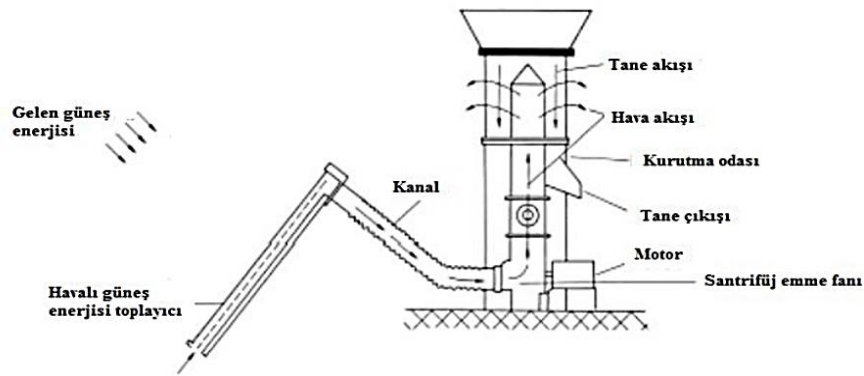
sayesinde ısıtılmaktadır. Hava alçak basınçlı kollektörlerden akışı sırasında ısınır. Güneşin radyasyonu gıda ürününe doğrudan yansıtılmadığı için ürün yapısındaki kimyasal bozulmaların ve zararların önüne geçilmiş olur. Fan ekipmanı kurutma havasının akışını düzenler. İndirekt tip güneş enerjili kurutucular direkt kurutuculara ve doğal kurutma işlemlerine göre daha yüksek çalışma sıcaklıklarına ulaşır. Kalitesi yüksek gıda ürünleri elde etmeyi mümkün kılar. Her ne kadar kurutma havasının fanla düzgün sirkülasyonu sağlanabilse de kurutma odasının ısı kontrolü sağlanamamaktadır (Çay,2017:8).

Güneş kollektörlerinde genelde düzgün kaplamalara sahip metal veya ahşap emicilerden imalatı sağlanırken, siyah polietilen gibi malzemeler de ekonomik olarak tercih edilebilir. Kurulum ve bakım maliyetleri yüksektir (Güngör ve Özbalta,2019:17).

2.2.2.2. Direkt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

Doğrudan tip aktif güneş enerjili kurutucular, kurutucu prosesine entegre olan bir toplayıcı ünitesi ile birlikte imalatı yapılır. Tasarlanma şekline göre absorpsiyonlu, depolamalı ve sera kurutucusu olarak isimlendirilebilir.

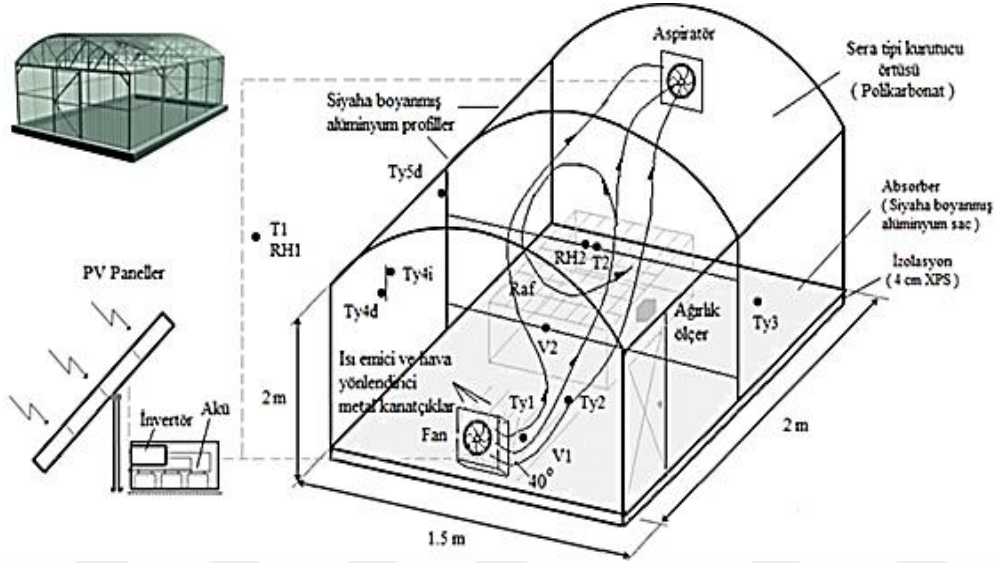
Absorpsiyonlu Kurutucular, adı üzerinde güneş ışınımlarını doğrudan absorbe edilmesinin sağlandığı kurutuculardır. Bu sistemler kırsal bölgelerde yaygın olarak kullanılır ve imalat maliyetleri oldukça düşüktür. Bu kurutma prosesi örnek olarak Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Sürekli Akışlı Aktif Direkt Güneşli Taneli Madde Kurutucu

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:17

Aktif Direkt Tip Güneş Enerjili Sera Tipli Kurutucular, genelde dış tarafında kollektör işlevi gören saydam bir cam tabaka ile birlikte, iç kısmında da emici yüzey gibi davranan kurutma odasından meydana gelirler. Bu tip kurutucuların endüstriyel tesislerde ve araştırmalarda uygulanışında genelde zemin olarak beton veya toprak tercih edilir. Dış kısmın kaplanmasında ise güneş ışınımının daha iyi soğurulabilmesi için cam veya naylon örtüler kullanılır. Şekil 2.10'da bu kurutucu tipine örnek bir proses gösterilmiştir (Şevik vd.,2014:144).



Şekil 2.10. Aktif Direkt Tip Güneş Enerjili Sera Tipi Kurutucu

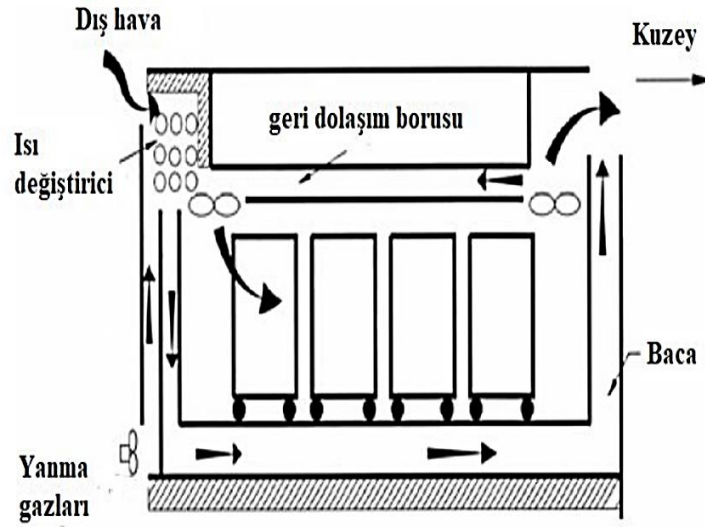
Kaynak: Şevik vd.,2014:144

2.2.2.3. Birleşik Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

Hibrit tip güneş kurutucular, güneş enerjisinin özelliklerini yerel veya ilave yapay bir enerji kaynağına entegre eder ve her iki enerji kaynağı ile aynı anda veya tek kademe olarak kullanılabilir. Bu kurutucular genellikle %50-60 verim aralığında çalışan orta ölçekli tesislerdir ve iklimsel belirsizliklerin neden olduğu sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan sorunu ortadan kaldırırlar. Kurulum ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir (Güngör ve Özbalta,2019:19).

Kırsal kesimlerde veya elektriğin kısıtlı kullanıldığı yerlerde ilave ısıtma kaynağı ile ortam havasının yanma gazıyla birlikte hedeflenen sıcaklığa ısıtıldığı bir ısı eşanjöründen geçerek ısıtılan hava kurutma odasına gönderilir. Kullanılan havanın bir kısmı kurutucunun kuzey tarafından boşaltılır. Geriye kalan kısmı sirkülasyon borusundan tekrar çevrime verilir ve soğutulan gaz bacadan çevreye verilir (Benan ve

Fuller,2002:75-83). Şekil 2.11’de bu tip kurutucuların çalışma prensibi şema şeklinde verilmiştir.



Şekil 2.11. Ek bir yardımcı ısı kaynağına sahip tünel tipi aktif hibrit tip kurutucu

Kaynak: Güngör ve Özbalta,2019:19

2.3. Ozmotik Dehidrasyon

Ozmotik dehidrasyon işlemi literatürde birbirine benzer çok sayıda tanımlamaya sahiptir. Ozmotik dehidrasyon işlemi gıda ürünlerinde ki serbest suyun uzaklaştırılması maksadıyla, gıdanın hipertonic ozmotik çözeltiye daldırılması veya ozmotik ajanın (şeker veya tuz) gıda ürününe doğrudan eklenmesi şeklinde bir uygulama metodudur. Ozmotik dehidrasyon işleminin uygulanması ile genel olarak orta nem düzeyinde gıda ürünlerinin elde edilmesi sağlanır. Dehidrasyon yüzdesine bağlı olarak dayanıklı işlenmiş bir gıda ürünü elde edilebileceği gibi diğer işlem adımları için bir ön işlem olarakta uygulanması tercih edilebilir (Çınar,2009:325-326).

Ozmotik dehidrasyonla ilgili çalışmalar 1966 yılında Ponting ve arkadaşları ile başlamıştır. Ponting’e göre ozmotik dehidrasyon işlemi şeker ya da şurup içine daldırılmış meyve veya sebze dilimlerinin kütlelerinin %30-50’si kadar serbest suyunun uzaklaştırılması, daha sonra da fazla şurubun süzülmesi eğer gerekliyse durulanması olarak tanımlamıştır. Diğer bir tanımını 1985-1988 yıllarında Lerici ve arkadaşları yapmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemini meyve ve sebze dilimlerinin hipertonic (tuzlu su veya şekerli su) bir çözeltiye daldırılması ile bir miktar serbest suyun bir miktar uzaklaştırılması olarak tanımlamıştır.

1995 yılında Torreggiani ise bu işlemi daldırma ile katı ürün kazanımı ve gıda ürünündeki serbest su kaybı olarak tanımlamıştır. 1998 yılında bütün veya parça durumda ki gıda ürünlerinin yüksek ozmotik basınca sahip hipertonic (şeker veya tuz) çözeltilerin içine daldırılmasına dayanan meyve ve sebze ürünlerinin konsantre edilmesini mümkün kılan bir metottur. Yine 1998 yılında Panagiotou ve arkadaşları ozmotik dehidrasyon işlemini şu şekilde tanımlamıştır. Orta seviye nemli gıda ürünleri olarakta adlandırılan, serbest su içeriği azaltıldığı halde oldukça ıslak (%20-50) olan; fakat su aktivitesi azaltıldığından dolayı mikrobiyolojik aktivitelere karşı dayanıklı ürünlerin oluşmasını sağlayan bir metottur (Mandala vd.,2005:307-309).

2.4. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşlemi

Yapılarında fazla nem içeren gıda ürünlerinin ozmo-aktif özellikteki, derişim yüzdesi yüksek konsantre çözeltilere, çeşitli yöntemlerle uygun geometrik şekillere getirilerek (dilim, halka vb.) daldırılması ve bileşenlerindeki suyun yarı seçici geçirgen kütikula tabakasından ozmoz yoluyla uzaklaştırılması metodudur. Ozmotik dehidrasyon işlemi sadece yüksek nem içeriğine sahip olan gıda ürünündeki serbest suyu uzaklaştırmakla kalmaz aynı zamanda gıda ürününe ozmotik çözeltideki katı moleküllerin (ozmotik ajanların) geçmesini sağlar (Lee, J.S. ve Lim L.S,2011:1223).

Ozmotik çözelti düşük su aktivite özelliği taşıdığı için çözelti ile ürün yapısındaki sıvı hal arasında bir konsantrasyon gradienti meydana gelir ve serbest suyun uzaklaşması için gerekli sürüklenme kuvveti oluşur. Taze meyve sebzelerin kütikula tabakasını selüloz ve pektik maddelerden oluştuğundan hücre duvarında ki sitoplazmik zar seçici geçirgenlik özelliği taşır. Ozmotik dehidrasyon işlemi gerçekleştiği sırada bu zar sadece hücre duvarının boşluklarında bulunan suyun ve düşük ağırlıkta ki çözümlü molekül maddelerin gıda ürününden geçmesini mümkün kılmaktadır. Fakat kütikula tabakası yarı geçirgen bir membran olmadığından ozmotik çözeltide ki çözümlü maddelerin bir bölümü işlem sırasında serbest su uzaklaşırken difüzyonla birlikte gıda ürününe döner. Serbest suyun uzaklaşma miktarı çözümlü madde geçişinden daha fazladır. Bu akımlardaki su konsantrasyonları eşit hale gelene kadar hücre duvarından geçişler devam eder. Ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında suyun sahip olduğu kimyasal potansiyel eğilim serbest suyun hücre duvarından uzaklaşmasını sağlar. Gıda ürününde ki çözümlü maddeler de serbest suyla birlikte ozmotik çözeltinin yapısına geçer. Ozmotik çözeltiye daldırma işleminden iki ile üç saat geçtikten sonra gıda ürününden ozmotik çözeltiye serbest su ve

çözünür düşük ağırlıktaki moleküller akar. Ozmotik çözelti ve gıda ürünüdeki konsantrasyon farkı sifıra yaklaşır ve denge hali oluşur. Fakat ozmotik çözeltide ki ozmotik ajanların akışı devam eder. Çünkü çözünen konsantrasyon gradienti oldukça yüksektir. Ozmotik dehidrasyon işleminde gıda ürünü ve ozmotik çözelti arasında ki basınç farkı gıda ürününde bulunan serbest suyun çözeltiliye geçmesi sağlanırken üründe ki kokuşma ve kimyasal bozulmaların önüne geçilmiş olur. Ozmotik dehidrasyon işlemi üründe kimyasal veya fiziksel herhangi bir değişimin oluşmasını sağlamadığı için nem giderilmesinde oldukça elverişli bir yöntemdir (Falade ve Igbeka,2007:374-376; Chauhan vd.,2011:1037-1038; İspir,2006:3).

Kurutulacak gıda ürünü ozmotik çözeltiliye daldırıldığı sırada gerçekleşen madde transferi oldukça kompleks bir durumdur. Bu işlemde üç tür kütle transfer mekanizması meydana gelmektedir. İlki işlem sırasında üründe ki serbest su difüzyonla ozmotik çözeltiliye doğru taşınır. Sonrasında ozmotik çözeltiden gıda ürününe düşük molekül ağırlıktaki çözünen transferi gerçekleşmektedir. Son aşamada ise ürünün içerisinde bulunan düşük molekül ağırlıktaki çözünen maddeler çözeltiliye geçmektedir.

2.5. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminin Modellenmesi

Ozmotik dehidrasyon işleminin kütle transfer mekanizmaları doğrudan bilinen bir sistem değildir. Bu işlemi açıklamak için günümüzde de geçerliliğini koruyan iki yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar mikroskopik ve makroskopik olarak isimlendirilir (Torregiani ve Bertulo,2004:177).

Panedes ve arkadaşları 2008 yılında bu kütle transfer mekanizmalarını difüzyon ve kapilarite teorisi olarak özetlemiştir. Difüzyon kütle transfer mekanizması konsantrasyon eğilimi ile kapilarite teorisi ise basınç eğilimine bağlı hidrodinamik mekanizma ile anlatılmıştır (Çınar,2009:326).

Günümüzde sıklıkla kendine uygulama alanı bulunan makroskopik yaklaşımda gıda ürününün stabil olduğu kabul edilerek kütle denklemleri, difüzyon ve geri dönüşümü olmayan termodinamik yasalar kullanılarak modellenir. Mikroskopik yaklaşımda ise kütle transfer mekanizmaları hücre temeli incelenerek yapılır (Torregiani ve Bertulo,2004:185). Bu yaklaşımlar iki başlıkta tanımlanmaktadır.

Makroskopik yaklaşım, hücresel yapıda ve yarı geçirgen özellikte kütikula tabakasına sahip meyve ve sebze ürünleri hipertonic çözeltilere daldırıldıkları zaman gıda

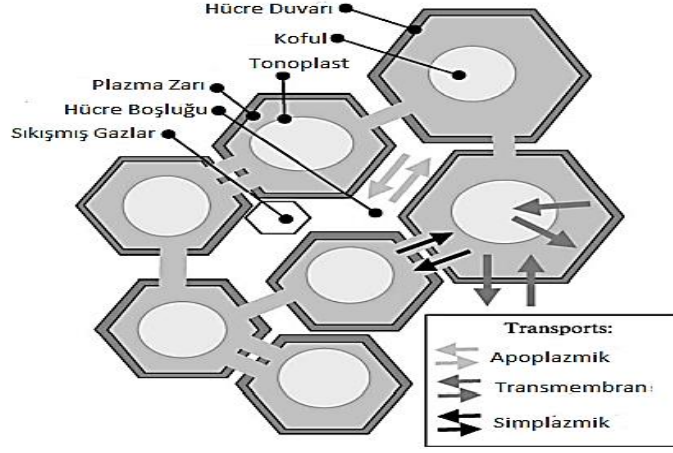
ürünü ve çözelti arasında ki yüksek ozmotik basınç farkından dolayı, üründe bulunan serbest su ozmotik çözeltiye taşınır. Difüzyonun sürükleyici gücü derişim ve basınç farkıdır. Fark ne kadar fazla olursa taşınma belli bir kademeye kadar o oranda hızlı gerçekleşir. Gıda ürününde bulunan serbest suyun ozmotik çözeltiye difüzyonla aktarılır. Bu aktarımla aynı zamanda çözülden de gıda ürüne ozmotik ajan taşınır. Kütikula (hücre duvarı) tabakasının yarı geçirgen olmasından ötürü su ve ozmotik ajanla beraber düşük molekül ağırlıktaki (Organik asitler, tuzlar mineraller vb.) diğer çözünen maddelerde ozmotik çözeltinin yapısına aktarılır. Bu geçişlerin hepsini mümkün kılan asıl kuvvet ozmozdur. Bu yaklaşımda ozmotik dehidrasyon proseslerinde tarımsal ürünlerin izotropik olduğu ve yapısında büzülmenin olmadığı katı hal içinde ozmotik çözünen ve serbest suyun bağımsız olarak difüzlendiği esasına dayanır. Bu proseslerde gıda ürünün çözünen kazanımı ve su kaybı hızı ile karakterizasyonu yapılabilir (De Rossi vd.,2008:520; Erüenal,2010:18).

Mikroskopik yaklaşım, gıda ürününün ozmotik çözeltiye daldırılması anında ozmotik ajanın hücre yapısında ve hücreler arasında taşınması gıda ürünün ve ozmotik çözeltinin derişim özelliklerine üründe bulunan serbest su ve çözünen maddeler arasında ki kimyasal potansiyel farkını ve dehidrasyon parametrelerine göre oluşur.

Ozmotik dehidrasyon sırasında gıda ürününde görülen kimyasal ve fiziksel değişimler; büzüşme, porozite (yapısal özellikleri) düşüşü, hücre parçalanması gibi değişikliklerdir (Torregiani ve Bertulo,2004:187; Erüenal,2010:19).

Mikroskopik yaklaşımda gıda ürünlerinin hücre seviyesinde ki kütle transfer mekanizmalarını şu şekilde sıralamak mümkündür. Şekil 2.12'de mekanizması şema şeklinde verilmiştir.

- Hücreler arasındaki boşluklardan transfer (apoplazmik)
- Yakın iki hücre arasında ki kanallarla gerçekleşen transfer (simplazmik)
- Hücre içi ve hücre dışı arasında hücre duvarından olan transfer (transmembran)



Şekil 2.12. Kütle transfer mekanizmaları

Kaynak: Fellows,2000:430

Mikroskopik yaklaşımın bir diğer açıklaması olan hidrodinamik mekanizma ise şöyledir; Ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında birbirinden farklı gıda ürünleri farklı su efektif difüzyon katsayılarına sahiptir. Bu nedenle gıda ürünlerinin yapısında bulunan gözeneklerde oluşan kapılar basınç serbest suyun uzaklaşmasını sağlayan sürükleyici kuvveti oluşturur (De Rossi vd.,2008:522).

2.6. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminde Gerçekleşen Kütle Transferi

Ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında üç temel kütle transferinden söz edilebilir. Gıda ürününde ki serbest su moleküllerinin difüzyon yoluyla ozmotik çözeltiye taşınması, ozmotik ajanın gıda ürününün yapısına nüfuz etmesi ve gıda ürününde bulunan düşük molekül ağırlığındaki çözünen maddelerin ozmotik çözeltiye geçmesi gerçekleşir. Gıda ürünüyle ozmotik çözelti arasında ki yüksek basınç farkı serbest suyun uzaklaştırılmasını sağlayan sürükleyici kuvvetin oluşmasını sağlar. Gıda ürünlerinde ki kütikula tabakaları seçici geçirgen özellik taşır. Tamamen yarı geçirgen özellik taşımadığı için ve aynı zamanda işlem sırasında gıda ürünü küçük geometrik parçalar haline getirilirken zarar görmüş hücre duvarlarından serbest su uzaklaşır. Bu sırada suyu uzaklaşan gıda ürününe arada ki konsantrasyon farkından dolayı ozmotik çözeltide ki bir kısım çözünen madde difüzyon yoluyla geçmektedir. Ozmotik işlemde gerçekleşen bir diğer kütle transferi de gıda ürününün yapısında ki düşük molekül ağırlıkta olan doğal çözünen maddelerin ozmotik çözeltiye difüzyonudur. Fakat bu maddelerin geçişi ürüne fiziksel veya kimyasal bir etki yapmadan sadece besin içeriğini ve organeloptik özelliklerini geliştirir (Torregiani,1993:59-60).

Ozmotik dehidrasyon işlemi kütle transfer mekanizmalarına dayanan adımlardan sonra, hipertonic çözeltiler (şeker, tuz vb.) ve su arasında ki denge prensibi ile karakterize etmek mümkündür. Yani işlem boyunca serbest suyun hücre yapısından uzaklaştırılması ve hipertonic çözeltide ki gıda çözünenlerin girişi sağlanırken her iki bileşen arasında su aktivite dengesi oluşmasıyla dehidrasyon süreci sonlanır. Ozmotik dehidrasyon parametreleri hipertonic çözelti çeşidi ve derişimi ürün kalite özelliklerinde oldukça önemlidir (Çınar,2009:326).

Gıda ürünlerine uygulanan ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemini aşağıdaki verilen beş basamakta gerçekleşmektedir.

1- Konsantrasyon eğilimi nedeniyle ozmotik proseslerde difüzyon mekanizması ile serbest su ve hipertonic çözeltideki çözünebilir madde transferi

2- Dış basınç, gıda ürününün yapısında gözle görülebilen büzölmeler kapilaritenin fonksiyonu olarak oluşan toplam proses basıncında ki farklılık sebebiyle kapiler akış yoluyla serbest su ve çözünen taşınması

3- Hücre duvarında ki boşluklardan dinamik akış

4- Kapiler-Kondenzasyon mekanizması sebebiyle kısmen dolu boşlukların yapısında ki su buharının difüze edilmesi.

5- Yüzeydeki konsantrasyon eğilimi nedeniyle boşluklarda bulunan suyun difüzyonu (İspir,2006:6-7).

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin nem içerikleri 0.91-0.95 aralıklarına kadar indirilmektedir. Bu nem kaybı aralığı gıda ürünlerinin raf ve tüketim ömrünün artmasını sağlar ve uzun zaman boyunca ortam sıcaklığında muhafaza edilmek istenen ürünler için fazladır. Bu nedenle ozmotik dehidrasyon işlemi tek başına bir kurutma yöntemi olarak değil ön işlem olarak veya hibrit yöntemlerde yardımcı bir proses olarak düşünülebilir.

Ozmotik dehidrasyon ile kurutma işlemi sırasında gerçekleşen kütle transfer mekanizmalarının hızı oldukça önemlidir. Ürünün kurutulması yanında ürüne istenen duyusal ve besinsel özelliklerde kazandırır. Bu işlem normal kurutma işleminde ki maliyeti, kurutma prosesinde harcanan zamanı ve enerji ihtiyacını azalttığı için ne kadar hızlı gerçekleştiği oldukça önemlidir.

2.7. Ozmotik Dehidrasyonu Etkileyen Faktörler

Ozmotik dehidrasyon işleminin mekanizmanın hızını etkileyen en önemli faktörler; ozmotik maddenin tipi, çözelti konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon ile kurutma işlem süresi, ozmotik dehidrasyon ile kurutmada ortam sıcaklığı, örnek ile çözeltinin derişim oranı, ürün geometrisi ve karakteristik özellikleri, ozmotik çözeltinin karıştırılması olarak ifade edilir.

2.7.1. Ozmotik Maddenin Tipi ve Çözelti Konsantrasyonu

Ozmotik dehidrasyon işleminde kullanılan ozmotik madde çeşidinin ve çözelti konsantrasyonunun seçimi oldukça önemlidir. Çünkü ozmotik madde, gıda ürünün yapısı doğrudan nüfuz etmektedir. Bu nedenle ozmotik maddenin seçilmesinde bazı kriterlere dikkat edilmesi gerekir. Bu faktörler; ozmotik maddenin gıda ürünün duysal ve kalite özelliklerine etkisi, ozmotik maddenin çözünebilirlik seviyesi, ozmotik maddenin işlem boyunca dayanıklılığı, ozmotik maddenin maliyeti, ozmotik maddenin düşük seviyede su aktiviteye sahip olması, ozmotik maddenin toksik özelliğinin olmaması, ozmotik maddenin tadının yenilebilir nitelikte olması, ozmotik maddenin hücre membranından geçişinin az olması (Erüal,2010:24).

Ozmotik dehidrasyon oranı ozmotik ajanın (tuz, şeker vb.) moleköl ağırlığı ve derişimi ile doğru orantılıdır. Ozmotik ajanın gıdaya nüfuz etmesi istendiğinde moleköl ağırlığı düşük ozmotik ajanlar seçilmelidir. Doğru bir ozmotik dehidrasyon işlemi için gıda ürününün yapısal (difüzivite) özellikleri, fiziksel (porozite) özellikleri, çözeltinin yapısal ve duysal özellikleri (viskozite, difüzivite, yoğunluk) ve işlem parametreleri (sıcaklık, süre, basınç/vakum varlığı, karıştırma, konsantrasyon, ön işlem) planlanarak optimizasyonu yapılmalıdır (Torregiani ve Bertulo,2004:178-180).

Günümüzde meyvelerde en çok kullanılan ozmotik maddeler sakkarozlardır. Sebzelerde, etlerde ve balıklarda en çok kullanılan ozmotik maddeler ise sodyum klorürdür. Glikoz, maltoz, laktoz, maltodekstrinler, gliserin ve mısır şurubu gibi diğer ozmotik maddeler de tercih edilir. Ozmotik madde olarak kullanılan çözünen suyun uzaklaşma kinetiğini, çözünen transferini ve stabil su içeriğini önemli derecede etkilediğinden çözünenin moleköl kütesinin artmasıyla (maltodekstrinler, hidrolize nişasta şurupları) çözünen transferinde bir azalma ve su kaybında bir artma görülür. Düşük moleköl kütleli sakkarit (glikoz, fruktoz, sorbitol vb.) moleküllerinin, nüfuz etme

hızını etkileyeceği ve çözünen transferinde bir artmanın görüleceği de belirtilmektedir. Bu çözeltilerden şeker ve tuz gibi hipertonic çözeltiler; prosese uygunluğu, gıda üzerindeki verimliliği ve tat üzerinde bıraktığı olumlu etkilerinden dolayı ilk sıralarda yer almaktadır. Ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemlerinde, seçilen ozmotik çözeltinin işlem hızı ve çözünen kazanımı ile birlikte su kaybı hızını da büyük ölçüde etki ettiği literatürde günümüze kadar yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Örneğin, çözelti solüsyonu olarak kullanılan yüksek molekül ağırlıklı sakkarozun, işleme tabi tutulan meyvelerin hücrelerine düşük molekül ağırlıklı solüsyonlara kıyasla daha zor penetre olması kuru maddenin çözünmesini azaltmakta buna karşın su çıkışını arttırmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, ozmotik çözelti olarak kullanılan sakkarozun, gıdalarda işlem verimliliğini ve tat gibi özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca işlem esnasında gıda ürünlerine hava moleküllerinin nüfuz etmesini engelleyerek esmerleşme reaksiyonlarını büyük ölçüde azalttığı, ürünün yapısında bulunan pigment bileşenlerinin kararlılığını sağladığı ve özellikle gıdalardan uçucu bileşenlerin çıkışını önlediği gözlenmiştir. Ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminde seçilecek çözelti derişiminin, kütle transfer mekanizması üzerine etkisi bulunmaktadır. İşlem boyunca gıda ürününden uzaklaşması istenen su miktarına göre uygun çözelti derişiminin seçilmesi gerekmektedir. Ozmotik çözeltinin konsantrasyonu artırıldıkça suyun difüzyonunu artar ve çözünen madde difüzyonu azalır. Ozmotik çözelti hazırlanırken kullanılan hipertonic özellik kazandıran tuz, şeker vb maddelerin molekül ağırlıkları arttıkça suyun uzaklaştırılması işleminin verimi artar ve çözünen madde kayıpları azalır. Yüksek derişim özelliğine sahip ozmotik çözelti bu etkisini gıda ürünün kütükula tabakasında bir bariyer oluşturarak sağlar (Ade Omowaye vd.,2002:1790-1791; Zırhlıoğlu,2021:6; Fellows,2000:101-103; Torregiani ve Bertulo,2004:221).

Ozmotik çözelti konsantrasyonunun işlem üzerine etkileri incelenmiş ve her bir çözelti konsantrasyonu ile su kaybı-katı kazanımı arasında doğru orantı olduğu bildirilmiştir (Erünal,2010:26).

2.7.2. Ozmotik Dehidrasyon Süresi

Ozmotik dehidrasyonla gıda ürünlerinden serbest suyun uzaklaştırılmasında işlemde çözeltiye daldırılma süresi önemli rol oynar. İşlemin verimini doğrudan etkileyen bir parametredir. Ozmotik dehidrasyonla kurutma prosesinde en fazla kütle transferi, daldırma işleminin ilk bir ve ikinci saatlerde gerçekleşir ve daha sonra gıda ürünü ile

çözelti arasında su bakımından denge haline yaklaştığı gözlenmektedir. Ozmotik işlemin başında su kaybı ile beraber çözünen madde kazanımı olmakta ve ilerleyen işlem sürelerinde çözünen madde kazanımı da oldukça azalmaktadır. Bu ozmotik basıncı dengelemek için çift taraflı akım devam etmektedir (Erüenal,2010:28).

Gıda ürününden serbest suyun uzaklaşma hızı daldırma işleminin ilk saatinde başlangıç hızının yaklaşık %20'sine ve üç saat içinde başlangıç hızının yaklaşık %10'una inmektedir. Çözünen kazanımı da aynı şekilde düşüş eğilimi göstermektedir. İşlemin başında ki su kaybı hızı, hipertonic çözelti ve gıda ürününde ki serbest suyun arasındaki ozmotik itici gücün büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Optimum ozmotik işlem süresi gıda ürünün boyutlarına, porozite yapısına ve işlem koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Eskiden günümüze kadar ozmotik dehidrasyon konusunda çalışan araştırmacılar ozmoz işleminin sürelerinin daha fazla uzatılmasının gıda ürünlerinin duyuusal özellikleri ve besinsel karakteristikleri açısından önemli bir avantaj sağlamadığını açıklamışlardır. Fakat hücre duvarı geçirgenliği düşük bazı meyveler için uzun ozmoz işlem süreleri gerekmektedir. 1990 yılında Riva ve Masi sakkaroz çözeltisi içerisinde ozmotik kurutma işlemi yaptıkları çalışmada üzümlerin içerdiği serbest suyun %30'unu uzaklaştırmak için 48 saat ve %60'ını uzaklaştırmak için de 144 saat ozmotik kurutma işlem süresinin gerektiğini ifade etmişlerdir (Ramaswamy ve Bekele,2010:1-3; Başüenal,2016:13).

2.7.3. Ozmotik Dehidrasyonda Optimum Sıcaklık

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminin uygulanmasında en önemli etkenlerden biri de sıcaklıktır. Ozmotik işlemin gerçekleşmesini sağlayan yüksek ozmotik basıncın yanında uygun ortam sıcaklık değerlerinin uygulanması işlem süresini oldukça azaltıcı etki yapmaktadır. Ortam sıcaklığının artışı aynı zamanda gıda ürününden serbest su uzaklaştırılma miktarını da artırır. 20°C' deki kütle transferinin ozmotik maddenin cinsine ve gıda ürünün porozite özelliklerine bağlı olarak iki ile dört saat sürdüğünü; 70-90°C' ler arasındaki serbest su uzaklaştırılma işleminin 15 dakikayı geçmemesi gerektiğini ifade etmiştir (Lenart,1996:402).

1996 yılında Parjoko ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminde kullanılan çözelti derişiminin arttırılmasıyla çözeltinin viskozitesinin azaldığını ve bundan dolayı kütle transferinde direnç oluştuğunu bildirmişlerdir. Sıcaklığın ise kütle transferine karşı gösterilen direnci düşürdüğünü ifade etmişlerdir.

1966 yılında Pontig ve arkadaşları 49°C' nin üzerinde enzimatik reaksiyonların sonucunda görüntüsünde esmerleşme ve aroma kaybının gerçekleştiğini ifade etmiştir (Başunal,2016:13; Zırhlıoğlu,2021:7-8).

Sıcaklığın daha da arttırılması kütikula tabakasının yarı geçirgen özelliğini etkilemekte ve ozmoz hızını düşürmektedir. Ayrıca hücre membranı yıkıma uğradığından ürünün yapısal özellikleri değişir ve çözünen kazanımı artmaktadır. Bu yüzden 60°C optimum sıcaklık olarak ifade edilmiştir (Chavan,2012:204).

2.7.4. Örnek ile Çözelti Derişim Oranı

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminin verimli ve hızlı gerçekleşebilmesi için önemli olan bir diğer faktörde ürün ile çözeltinin birbirine oranıdır. Üründeki serbest su kaybı derişim arttıkça yükselir. Çözünen maddenin kazanımı ise önemli ölçüde etkilenmemektedir (İspir,2006:15-16).

Bazı araştırmacılar ozmotik işlem sırasında ozmotik çözelti konsantrasyonunun azalmasını önleyebilmek maksadıyla ozmotik çözelti/ürün derişiminin yüksek olması (en az 30:1) gerektiğini ifade etmişlerdir. Fakat bu oranda ozmotik çözelti hammaddesi kullanımı bu işlemi maliyetli hale getirmektedir. Yüksek çözelti/örnek derişiminde ise ozmotik çözelti mekanizma için tekrar kullanılmayacağı için çözelti maliyetinin artması ile birlikte büyük molekül ağırlığındaki çözeltilerin karıştırılması da problem olmaktadır. Maliyetten kaçınılması halinde ozmotik çözelti ve örnek oranı düşük derişimlerde olduğu takdirde suyun uzaklaştırılması hızla sağlanırken ozmotik çözeltilerdeki katı (çözünen) kazanımı istenen seviyelerde olmamaktadır. Ancak düşük miktarda ozmotik çözelti oranı proste tekrar kullanılabilme imkânı sağladığı için oldukça ekonomiktir (Chandra ve Kumari,2015:555; Zırhlıoğlu,2021:8).

2.7.5. Ürün Geometrisi ve Karakteristik Özellikleri

Ozmotik dehidrasyon uygulanan kurutma proseslerinde diğer önemli olan unsurda işlem uygulanacak ürünün boyutları ve kalınlığıdır. Ürünün boyutları ve geometrik şekli üründen suyun uzaklaştırılması işlemini kolaylaştırabilen bir faktördür.

Dehidrasyon işlemine uğrayacak ürünün porozite özellikleri (Hücre içi ve hücreler arası boşlukları) üründe bulunan serbest suyun uzaklaştırılması ve çözeltilerde ki katı (çözünen) geri kazanımında oldukça önemli bir rol oynar. Dehidrasyon işleminde

kullanılacak farklı ürünlerin çeşitli geometrik yapılarla kullanılması ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemini doğrudan etkileyebilmektedir. Hücre membran yapılarındaki gözenek ve boşluklar farklı geometrik şekillerde (dilim, halka vb.) değişikliğe uğrar (Chandra ve Kumari,2015:556).

Ürün boyutu ve kalınlığı azaldıkça, kütle transferi özellikle katı madde kazanımı artmaktadır. Ürünün porozite özellikleri, duyuşal özellikleri, kimyasal kompozisyonu, yüzey alanı, tazeliğı ve cinsi ozmotik dehidrasyonla kurutma hızına etkir. Ürün boyutu ve kalınlığı arttıkça üründe ki serbest suyun uzaklaştırılması ve ozmotik çözeltilde ki katı (çözünen) kazanım miktarı düşer. Dehidrasyon işlemleri boyunca meyve ve sebzelerde hücre membran yapısında ki değişimler ısı ve kütle transfer mekanizmalarını önemli düzeyde etkilemektedir. Ürün hücre yapısını koruduğı sürece serbest suyun uzaklaşma oranı ozmotik çözeltilde ki çözünen geri kazanımından yüksektir. Buna örnek yapılan bir çalışmada aynı kurutma koşullarında elma dilim kalınlığı 10 mm'den 5 mm'ye düşürüldüğünde kütle kaybının yaklaşık 1.3 kat arttığını ifade etmişlerdir (Contreras ve Smyrl,1981:312; Torregiani ve Bertulo,2004:222-223).

2.7.6 Ozmotik Çözeltinin Karıştırılması

Osmotik dehidrasyonla kurutma işleminde ürün daldırıldığı sırada çözeltiyi karıştırmak osmotik işlem hızını artırıcı bir faktördür. Osmotik işlem sırasında çözeltiyi karıştırmamanın serbest suyun osmotik çözeltilde difüze olma hızını artırır. Karıştırma işleminin bir diğer faydası ise gıda ürününde ki nemin homojen bir şekilde uzaklaştırma imkânı sunmasıdır (Contreras ve Smyrl,1981:312-313).

Yüksek konsantrasyona sahip osmotik çözeltilerde daha çok işe yaradığı saptanmıştır. Çünkü yüksek konsantrasyona sahip çözeltilerde viskozite oldukça yüksek seviyelerdedir. Bu seviye kütle transfer işlemine bir direnç oluşturarak işlemin hız ve verimini düşürmektedir. Yapılan karıştırma işlemi serbest suyun uzaklaşmasını sağlayan itici kuvveti artırır. Bu işlem osmoz hızını ve kütle transferini artırır (Hawkes ve Flink,1978:270-272).

Karıştırma işleminin hızı osmotik dehidrasyonla kurutmanın hızına fazla etki etmemektedir. Çalışmalarda daldırma işleminin özellikle ilk saatlerinde etkilediğı tespit edilmiştir. Çözeltinin karıştırılması sırasında her ne kadar serbest suyun uzaklaştırılması ve kütle transfer mekanizmalarına gösterilen direnç azaltılmış olsada ürünün porozite

yapısına ve boyutuna etki ederek katı (çözünen) kazanımına olumsuz etki edebilmektedir. Nitekim 1966 yılında Pontig ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karıştırma işleminin ürünün dokusuna zarar vereceğine dikkat çekmiş ve bu işlem için ilave bir ekipman tasarımının gerekliliğini ifade etmiştir (Başunal,2016:15).

Düşük konsantrasyona sahip ozmotik çözeltilerde ise karıştırma işleminin etkisi oldukça düşüktür. Derişim oranı düşük seviyelerde olduğundan viskozite azdır ve kütle transfer mekanizmalarına gösterilen direnç seviyesi ihmal edilebilecek boyuttadır.

2.8. Ozmotik Dehidrasyonun Ürün Üzerine Etkileri

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminin ürünlere uygulandığı süre boyunca ürünün fiziksel, kimyasal kompozisyonuna ve aroma gibi kalite özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu etkiler; bileşenlerde değişmeler, su aktivitesi düşüşü- donma noktasında düşme, sıcaklık üzerine camsı geçişin muhtemel değişimi, besin değerlerindeki değişmeler, madde içerisinde ki uçucu molekülün zenginliği, renk stabilizasyonu, tekstürde değişim, enzimatik aktivasyon enerjisinin yavaş bir şekilde düşüşü, donabilen suyun azalması, sınırlı büzülme, hücre canlılığında değişim olarak ifade edilmektedir.

Fiziksel etkileri, gıda ürününün sahip olduğu fiziksel özellikler, gıda ürünlerinin kütükula ve hücre membran yapısında bulunan mikroskobik yapılarla ilgilidir. Ürünün porozite özelliklerini belirleyen bu yapılardır. Ürünün raf ömrünü uzatmak, ürünün besinsel ve duyuşsal özelliklerini geliştirmek için yararlanılan kurutma prosesinde kullanılacak ürünün kalitesi işlem verimini doğrudan belirler. İşlem görmüş üründeki porozite özelliklerinin değişmesini sağlayan ana faktör ise üründe ki serbest suyun uzaklaştırılmasıdır. Nem kayıplarından kaynaklanan özelliklerinin değişmesi gıda ürününün hücre duvarını tahrip eder ve bozulmalara yol açar (Mercier vd.,2011:884-885).

Islam ve Flink 1982 yılında yaptıkları çalışmada balık ürününün kurutulmasında ozmotik çözelti olarak tuzu kullanmışlardır. Ozmotik çözelti ürünün hücre membran yapısını yıkararak serbest suyun uzaklaştırılmasını sağlar. Aynı zamanda organik çözünenlerin difüze olmasını sağlar. Bu işlem ürünün raf ömrünü artırmakla kalmaz ve aroma kazandırarak lezzetlendirir.

Tuz içeren ürünlerde kurutma işlemi yüksek nem içeriklerinde gerçekleşmektedir. Çözeltide ki tuz derişimi arttıkça denge için gereken nem içeriği de yükselmektedir (Chandra ve Kumari,2015:556).

Kimyasal etkileri, gıda ürünlerinde görülen esmerleşmeye neden olan enzimatik reaksiyonlar hipertonic özellikte ve ozmotik ajan içeren (Sodyum klorür, askorbik asit vb.) çözeltiler kullanılarak inhibe edilebilir.

Kalite etkileri, ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminde gıda ürünleri serbest suyun uzaklaşmasıyla yapısında gözle görülebilir bir büzüşme olmaktadır. Buna bağlı olarak ürünün hacmi değişmektedir. Ozmotik işlem sırasında kazanılan çözünen madde miktarının artmasıyla üründe gerçekleşen büzüşme ve hacim kaybının en aza indiği söylenmektedir (Chauhan vd.,2011:1037-1038).

Ozmotik dehidrasyon yöntemiyle kurutulması sağlanan ürünlerde; renk, hücre dokusu ve görsel bakımdan kaliteli olması sağlanır. Aroma ve tat özellikleri bakımından da yenebilir seviyede oldukları söylenebilir. Ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemi uygulanan ürünlerde; tazeye yakın, dayanıklı ve tat açısından yenebilir seviyede ürünler elde edilebilmesinden dolayı bu işlemin uygulanma alanları gittikçe önem kazanmaktadır.

2.9. Ozmotik Dehidrasyon Kinetiği

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemleri yapılırken iki metottan yararlanılır. Bu iki metodun hangisinin kullanılacağına karar vermek için işleme tabi tutulan gıda ürününün cinsine, porozite özelliklerine, hücre duvarı yapısına ve üründen ne miktarda nem uzaklaştırmak istendiğine bakılır. Bu metotlar iki başlık altında incelenir.

Statik modelde, ozmotik dehidrasyon ile kurutma işlemi uygulanacak ürün kristalize veya solisyon şeklinde bulunan ozmotik çözeltiliye daldırılır. Nemden arındırılması işlemini hızlandırmak için ilave bir ekipmanla karıştırma işlemi yapılmazken, çözünen kazanımı ve ozmotik ajanın geçini hızlandırmak için ekstra aktivasyon hızını yükseltecek madde eklenmez. İstenen serbest su miktarı uzaklaşmadan ürün çözeltiden alınmaz (Moreira vd.,2007:1510-1512).

Dinamik modelde işlem uygulanacak üründen serbest suyun uzaklaştırılmasını artırmak için karıştırma işlemi uygulanır. Ozmotik çözeltili, işlem uygulanacak ürünün fiziksel ve kimyasal kompozisyonuna bakılarak karar verilir. Seçilen çözeltiliye göre gıda ürünü çeşitli geometrik cisim ve boyutlarda ozmotik çözeltilinin içinde yüzdürülür. İşlem

görecek ürünün kurutulmasında yüksek konsantrasyona sahip çözeltiler kullanılıyorsa ozmotik çözelti karıştırılarak serbest su uzaklaştırılırken ozmotik ajanın geçişi hızlandırılır. Bu hücre duvarının tahrip olmasına ve daha verimli bir kurutulma işlemine olanak sağlar. Fakat derişimi yüksek çözelti kullanıldığından maliyetli olmaktadır (Moreira vd.,2006:1510-1512).

2.10. Ozmotik Dehidrasyon ile Kurutma İşleminin Avantaj ve Dezavantajları

Ozmotik dehidrasyonla kurutma işlemleri gerçekleşmesi sırasında çeşitli avantajlar sunmakla birlikte İşlemden kullanılan çözelti, ürün gibi proses elemanlarına bağlı olarak bazı dezavantajlarda içermektedir. Avantajları:

- Serbest suyun uzaklaştırılması işlemi uygulandığı sırada düşük sıcaklıklar tercih edildiğinden aroma ve tat kaybı ihmal edilebilir seviyelerde olmaktadır.
- Ozmotik çözelti olarak hipertonic özellik taşıyan şeker ve şeker şurubu seçildiğinde aromanın daha fazla korunması sağlanmaktadır.
- Ozmotik dehidrasyon işleminde çeşitli geometrik şekillerde (dilim, halka vb.) kullanılan meyve parçalarının yüzeyi şekerle kaplandığında enzimatik ve oksidatif esmerleşme reaksiyonları engellenebildiğinden ötürü sülfür dioksit kullanımına gereksinim duyulmamaktadır.
- Bu proseste serbest su kısmen uzaklaştırıldığından daha sonra uygulanacak olan kurutma yönteminin iş yükünü azaltabilecek nemi azaltılmış ürünler elde edilmektedir.
- Hal değişimi oluşmasına izin verilmeden serbest suyun uzaklaştırılması sağlandığından konvansiyonel kaynaklar kullanılarak yapılan kurutma işlemlerine kıyasla daha az enerji maliyeti gerektirir.
- Çözünen kazanımı ile ürün hacmi ve yoğunluğu artmaktadır. Bu nedenle dondurarak kurutma yönteminin kullanıldığı uygulamalarda daha kaliteli ürün elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır.
- Ozmotik dehidrasyon işlemi kullanılarak kurutulan ürünlerin yapısal ve duyuşsal özellikleri rehidrasyondan sonraki adımda daha iyi olmaktadır.
- Ürünlerin dayanıklılık ve raf ömürlerini uzatılması sağlanmaktadır.
- Ozmotik dehidrasyonla kurutma işleminde maliyeti düşük ve imalatı daha kolay ekipmanlar kullanılmaktadır.

- Ozmotik dehidrasyon ön işlem olarak uygulandığında kurutma işlem süresini azaltmayı ve kurutucu potansiyeli arttırmayı mümkün kılar.

Dezavantajları:

- Asit seviyesinde ki azalma bazı gıda ürünlerin tat özelliklerinin değişmesine ve karakteristik aroma özellikleri azalabilmektedir. Bu problem ozmotik çözeltiye daha çok çözünen kazanımını sağlayacak bir meyve asidi eklenerek aşılabilir.
- Bazı gıda ürünlerinin yüzeyinin şeker veya şeker şurubuyla kaplanması uygun değildir. Çünkü bu durum kurutma işlemi sonrasında yüzeyde ki suyun uzaklaştırılmasını gerekli kılmaktadır.
- Sıcak hava ile kurutma, vakumla kurutma yöntemleriyle hibrit şekilde kullanılmak istendiğinde oldukça maliyetli olmaktadır. Ozmotik dehidrasyon işleminden önce haşlama, tütsüleme gibi ön işlemler uygulanması maliyeti yükseltir.
- Kurutma sonrası elde edilen ürünlerin su aktivitesi daha yüksektir.
- İşlem uygulanacak ürüne göre daha uzun zaman alabilmektedir.
- İşlem uygulanacak ürünün porozite özelliklerine ve kimyasal kompozisyonuna göre derişimi yüksek ozmotik çözeltiler kullanılması proses maliyetini doğrudan artırmaktadır (Erünel,2010:33; İspir,2006:18-19; Yıldız,2021:185).

2.11. Ozmosolar Dehidrasyon İşlemi ile Kurutma Yöntemi

Ozmotik dehidrasyon ile kurutma işlemi, konvektif ve dondurarak kurutma yöntemlerine kıyasla enerjiye daha az ihtiyaç duyan bir işlemdir. İşlem süresinin düşürülmesi amacıyla ozmotik kurutma ile farklı kurutma tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Çınar,2009:326).

Ozmosolar dehidrasyon yöntemi ürüne ozmotik dehidrasyon ön işleminden sonra güneş enerjisinden faydalanan proseslerde kurutma uygulanması esasına dayanır. Kurutma işleminin daha verimli hale getirebilmek için bu iki kurutma metodunun faydalarından aynı anda yararlanmayı sağlar.

Yalnızca ozmotik dehidrasyonla kurutma prosesi kullanıldığında; ürünlerdeki serbest suyun uzaklaştırılması sağlanmakla beraber ozmotik çözeltide ki ürünün besinsel ve duyuşsal karakteristik özelliklerini doğrudan etkileyen ozmotik ajanların geçmesi sağlanır. Dondurarak kurutma, vakumla kurutma gibi endüstriyel ölçekte kullanılan

kurutma işlemleri de oldukça maliyetli proseslerdir. Güneş enerjili kurutma yöntemi ürüne uygulandığında ürünün porozite özelliklerini doğrudan etkiler ve hücre duvarını hızlı tahrip ederek görüntüsünde büzülmelere ve tat gibi karakteristik özelliklerinin kaybolmasına yol açabilmektedir.

Ozmosolar dehidrasyon kurutma işleminin uygulanışı iki kademelidir. İşleme tabi tutulacak ürün önceden belirlenmiş bir zaman dilimi boyunca ozmotik çözeltide nemden arındırılır ve çözeltide ki ozmotik ajanların ürüne geçmesi sağlanarak duyuşsal özelliklerini geliştirir. Ozmotik işlem sonraki adımda kullanılacak olan güneş enerjisi ile kurutma prosesinin işlem yükünü azaltır. Bu kademeyi tamamlayan gıda ürünü güneş enerjisinden yararlanılarak kurutulur.

Ozmosolar dehidrasyon kurutma işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Düşük sıcaklıklar kullanılmasından dolayı üründe ısıya bağılı oluşan zararlar minimum seviyelerdedir. Ayrıca ozmotik dehidrasyon işlemi önceden uygulandığı için işlem sonrası üründe ki aroma ve tat kaybı oldukça azdır. Ozmotik dehidrasyon ve güneş enerjili kurutmanın birlikte kullanılmasıyla raf ömrü uzun, tüketici tarafından tat ve aroma özelliğı daha kabul edilebilir düzeyde ürünler elde edilmektedir (Yıldız,2021:185-186).

Ozmosolar dehidrasyon ile kurutma işleminde maliyeti oluşturan unsur ozmotik çözelti için kullanılan hammaddedir. Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan maliyeti yoktur. Ozmosolar dehidrasyon yöntemi ile kurutulan ürünlerde daha temiz, kaliteli, tat ve aroma özellikleri bakımından iyi, kimyasal kalıntı içermeyen, doğal, kolay tüketilebilecek, yumuşak dokuda, besleyici ve duyuşsal özelliğı yüksek ürünler elde edilmektedir. Ozmosolar dehidrasyon yöntemi kullanılmasıyla ürünü kurutmak için gereken işlem süresi oldukça azalır. Bu açıdan ekonomik bir yöntemdir.

2.12. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM)

1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiştir. Bu program ‘Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması’ ismi ile tanımlanmıştır. Önceden belirlenmiş seviyeler ile yanıtların birbiriyle olan ilişkisinin geliştirilmesinde kullanılan bir dizi matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir arada uygulanması ile tasarlanmış deneysel bir metottur (Khuri ve Mukhopadhyay,2010:128).

Yanıt yüzey yöntemi yaygın olarak kullanılan matematiksel ve istatistik bir metottur. Bu yöntem proses değışkenlerinin deneysel uzayını saptayabilmek için süreç

stratejilerini, prosesin yanıtını ve bununla birlikte yanıtın oluşmasına etkiyen bağımsız değişkenlerin arasında ki ilişkiyi belirlemek için kullanılan tüm empirik modelleme ve proses parametrelerinin sistemde ki etki seviyelerinin optimum noktalarına erişmeyi sağlayan tüm teknikleri kapsayan yöntemdir. Sürece etkiyen parametreler bağımlı değişkenler, sürecin yanıtlarına ise bağımsız değişkenler denmektedir. Optimum noktalara ulaşmak için iki yöntem uygulanmaktadır. Yanıtların izohips eğrileri çizilip üst üste yerleştirilerek amaca yönelik hedef fonksiyonu oluşturulur. İkinci yöntemde ise doğrusal olmayan programlama yaklaşımları ile belirlenir (Aydar,2017:157-158).

RSM uygulamaları 3 safhaya bölünerek incelenebilir. Bu uygulamalarının başında sistemi karakterize etmek için yanıtlar, etkiyen faktörler ve değişkenlerle ilgili bir dizi fikirler beyan edilerek bunların belirlenmesi sağlanmalıdır. RSM uygulamasının kullanılacağı prosese göre değişken ve parametre sayısı çokça olabilmektedir. Bunlardan en önemlilerini parametre olarak belirlemek için ön denemeler yapılır. Bu sayede en önemli ve etkin parametrelerin seçilmesi sağlanabilmektedir. Bu denemeler eleme denemeleri olarak isimlendirilir. Ön denemeler sayesinde maliyet ve zaman bakımından oldukça tasarruf edilmektedir. İkinci aşama ise deneysel uzayın araştırıldığı bölümdür. Eleme denemeleri sonucunda belirlenen en etkin bağımsız değişkenlerin sistem yanıtında oluşturduğu değerlerin optimum noktaya yakınlığının sınanmasıdır. Sistemde oluşan yanıt yüzeyde ki eğrilik optimum noktaya yaklaştıkça daha görünür hale gelmektedir. Üçüncü aşama optimum noktaya yaklaşımla başlayan süreçtir. Gerçek yanıt fonksiyonu optimum noktada çevresinde belirgin bir eğrilik oluşturmaktadır. Optimum noktaya en yakın eğriliğin tahmin edilmesinde doğrusal olmayan modeller, ikinci dereceden polinomial modeller, üssel modeller ve eksponensiyel modeller kullanılır. Bu modellerden en uygunu seçilerek optimum noktanın araştırılmasında kaynak olarak kullanılır (Koç ve Ertekin,2009:2-3; Aydar,2017:159-160).

Yanıt yüzey yöntemlerinin oluşturulmasında ve uygulanmasında regresyon analizleri kullanılmaktadır. Regresyon katsayılarından yararlanılarak yanıtı etkiyen bir değişkenin ilişkisini öğrenmenin yanında diğer bağımsız değişkenler ile ikili etkileşimlerinin de tespiti yapılabilmektedir. Bu yöntemde bağımsız değişkenlerle yanıtlar arasında ki ilişkinin incelenmesinde günümüzde en yaygın kullanılan tasarım Merkezi Bileşik Tasarımı (CCD) ve Box-Benken (CCRD) yöntemidir (Zırhloğlu,2021:14-15).

RSM deneysel tasarım alanında en çok kullanılan ve başarılı olan bir optimizasyon tekniğidir. Prosese etki eden bağımsız değişkenlerin ikili etkileşimlerini ve yanıtla olan ikili etkileşimlerini aynı anda kontrol edebilen bir uygulamadır. RSM ilk olarak kimya endüstrisinde kendine kullanım alanı bulmuştur. Tasarımların geliştirilmesiyle kimyasal proseslerin dışında endüstriyel birçok uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Gıda kurutma ile yapılan birçok çalışmada en yaygın olarak kullanılan optimizasyon yöntemidir (Yıldız ve Sarımeşeli,2015:19-20).

RSM uygulamasını proses optimizasyonunda kullanmak birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Daha az deney sayısı ile optimum noktaların belirlenebilmesine imkân sunmaktadır. Endüstriyel bir tesisin çalışma parametreleri optimize edilerek daha doğru değer ve istatistiklere getirilebilir. Bu yöntem aynı zamanda araştırmacı ve kullanıcısının daha fazla grafik ve veriye ulaşmasını sağlamaktadır. Ozmosolar dehidrasyon ile kurutma işleminin optimizasyonunda yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin belirlediği deneysel tasarıma göre deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara en uygun matematiksel model oluşturulmuş ve bu model üzerinden optimizasyonu yapılmıştır.

2.13. Güneş Enerjili Kurutma Destekli Yapılan Kurutma Çalışmaları

Alonge ve Adeboye 2012; yaptıkları çalışmada direkt ve indirekt tipte iki türlü pasif kurutucu imalatını yapıp üretmişlerdir. Bu kurutucuyu kullanarak biber, bamya ve sebzelerin kurutma oranını belirlemişlerdir. Yapılan birçok kurutma çalışmasına benzer şekilde bu çalışmada da kurutma işlemi öncesi kurutulacak ürünün kurutma işlemine hazır hale gelmesi için fiziksel ön işlemler (ayıklama, ölçme, soyma, dilimleme, temizleme) ve çözeltiliye daldırma işlemleri yapılmıştır. Kurutma işlemi sırasında her saat başında ölçüm alınarak kurutma oranı belirlenmiştir. Yapısında %78,9 nem barındıran 180 gr biber için bu oran %24'e indirilmesi sağlanmıştır. Kurutma oranının direkt güneş enerjili pasif kurutucuda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapısında %92 nem barındıran 1000 gr bamya için ise bu oran %20'ye kadar indirilmiştir. Biber de görüldüğü üzere direkt güneş enerjili pasif kurutucu ile yapılan kurutma işleminde kurutma oranı daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yapılan kurutma işleminde ise doğrudan tip kurutucularda yapılan uygulamalarda daha yüksek sıcaklıklara çıkılabildiği için nem kaybının daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Ayala ve Topete 2014; yaptıkları çalışmada güneş enerjili hibrit tip kurutucuda 5mm dilim kalınlığına getirilmiş ananası kurutmuşlardır. Denemeler karşılaştırma maksadıyla geleneksel bir yöntem olan doğal kurutma (güneş altına serilerek) ve hibrit kurutucuda ilkbahar ve yaz aylarında olmak üzere toplam sekiz test olarak gerçekleştirilmiştir. Ananasın kurutulmasında en belirleyici etken nem kaybıdır ve denemelerde ilk nem içeriği aynı olacak şekilde deneylere başlanmıştır. Doğal kurutmaya yapılan kurutma işleminde nemin giderilmesi daha verimli olmuş ve bu değer %22,7 ile %24 olarak ifade edilmiştir. Hibrit tipli kurucu cihazda ise verim %9,3 ile %14 arasında olmuştur. Farkı oluşturan sebep hibrit tip kurutucuda kullanılan helisel tüpteki suyun ısıtılmasında oluşan enerji kayıplarındandır. Buna rağmen hedeflenen kurutma değerine hibrit tipte 6-6,8 saatte, doğal kurutmada ise 8-8,8 saatte ulaşılmıştır.

Aduke ve Simaat 2016; yaptıkları çalışmada sera tipli güneş enerjili kurutucuda 20 gram ağırlığında ve aynı boyutlarda 3 tane taze kapenta balığını kurutmuşlardır. Taze kapenta balıklarına 35°C, 45°C ve 55°C ortam sıcaklarında kurutma işlemi uygulanmıştır. Kapenta balığı %76,74 nem içermektedir. Bu çalışmada kapenta balığının kurutulmasında en önemli faktör olan nem kaybına bakılmıştır. Açıkta ve sera tipli güneş enerjili kurutucuda 5 saat kurutulma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu süre boyunca sera tipli güneş enerjili kurutucuda nem %76,74'ten %2,14'e düşmüştür. Doğal kurutmada ise %14,74'e düştüğü görülmüştür. Sera tipli güneş enerjili kurutucuda kurutulan kapenta balığının açıkta yapılan güneş kurutmaya göre besin ve protein değerine sahip olduğu ifade edilmiştir.

Yıldız ve Gökayaz 2019; starking cinsi elmaları diğer kurutma çalışmalarında yapıldığı gibi ürünün kurutmaya hazır hale gelebilmesi için fiziksel ve daldırma ön işlemleri uygulandıktan sonra çok rafli güneş enerjili kurutucuda kurutulmaya bırakılmıştır. Çalışmada nem kaybı, büzülme oranı ve kurutma hızının analizleri yapılmıştır. Karşılaştırılmak amacıyla aynı ürünler güneşte ve gölgede ayrı ayrı kurutmaya bırakılmıştır. 300 dakika kurutulma süresi belirlenmiş bu çalışmada elma dilimlerinin 30 dakikada bir ağırlık ve hacim ölçümleri yapılmıştır. Kurutucu kabini açıkta güneşte kurutma ve gölgede kurutmaya göre daha fazla sıcaklık ve daha az nem olmasından dolayı elma dilimleri daha kısa zamanda kurutulduğu saptanmıştır. Kurutucu içerisinde kurutulan elma dilimlerinde daha fazla nem kaybı olmakta ve daha fazla büzüldüğü görülmektedir. Güneş altında ile gölgede kurutmada ürün daha uzun zamanda kurumakta ve nem kaybı hızı daha düşük olduğu için renk kaybı da oldukça yüksektir.

Yıldız 2021; Bu çalışma kapsamında Anamur muzlarının kurutulmasında çok raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu ve ozmotik çözelti (%5 sitrik asit, %5 şeker çözeltisi ve su) kullanılmıştır. Doku kaybına yol açmaması için çözelti sıcaklığı 80°C olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemi için muzların fiziksel işlemlerden (yıkama, kabuk soyma ve dilimleme) sonra kalınlıkları 3mm'ye getirilmiştir. Kurutma işlemi öncesi ürünün ağırlığı, rengi ve çapı parametre olarak belirlenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Kurutma ürünü 10 dakika boyunca çözeltide bekletildikten sonra çok raflı güneş enerjili kurutucuya konmuştur. Beş saat boyunca ürünlerin her saat başı ölçümleri yapılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla ön işlem görmemiş ürünlerde güneş enerjili kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma tekniğinin geliştirilmesi üzerine yapılan bu çalışmada, ön işlem uygulanmış tüm kurutma işlemlerinde nem kaybı ve büzülme oranı ön işlemsiz kurutma işlemlerine göre daha fazla olmuştur. En fazla nem kaybı ile beraber büzülme oranı %5 sitrik asit çözeltisine daldırılıp güneş enerjili kurutucuda kurutulan muz halkalarında meydana gelmiştir. Ön işlem uygulanmadan kurutulan muz halkalarının kurutma işlemi sonunda %55 iken sitrik asit çözeltisine daldırılmış örneklerin nem kaybı %73'e yükselmiştir. Ön işlem uygulanmadan kurutulan muz halkalarının kurutma süresi sonunda büzülme oranı %19 iken sitrik asit çözeltisine daldırılmış örneklerin nem kaybı %26'ya yükselmiştir.

Erüenal 2010; yaptıkları çalışmada kırmızı, sarı ve mürdüm eriğinin ozmotik dehidrasyonuna etki eden parametreler ve ozmotik dehidrasyonun kurutmaya etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla, farklı ozmotik çözelti kullanımı, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık, örnek/çözelti oranı ve ozmotik dehidrasyon öncesinde ön işlem uygulaması gibi işlem parametrelerinin ürünün ozmotik dehidrasyona ve ozmotik dehidrasyon sırasında meydana gelen büzülmeye etkisi araştırıldı. Kurutmaya hazır hale getirmek için benzer çalışmalarda yapılan fiziksel ön işlemler uygulanmıştır. Sonrasında ön işlemlili ve işlemsiz olarak 1 gün boyunca ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi sırasında eriklerde oluşan çapsal büzülme, ön işlem uygulanmayan eriklerde %33-%53, ön işlem uygulanan eriklerde %22-%84 aralığında, farklı sıcaklık uygulamasıyla %16-%29, konsantrasyonun etkisiyle %29-%40 ve örnek/çözelti derişiminin değiştirilmesiyle %18-%63 aralığında gerçekleştiği saptanmıştır. Ozmotik çözelti olarak seçilen şuruplardan, sakkaroz çözeltisi her üç erik cinsinde de en fazla nem kaybı ve katı kazanımına sebep olmuştur. Ayrıca, glikoz çözeltisinin sarı ve mürdüm eriğinde, maltoz çözeltisinin ise kırmızı erikte sakkaroz çözeltisinden sonra en fazla nem kaybı ve katı

kazanımı sağlamıştır. Maltodekstrinde su kaybı az olmakla birlikte katı kazanımı da az olduğundan eriklerin ozmotik dehidrasyonu için uygun olmadığı görülmüştür.

Chauhan ve arkadaşları 2011; yaptıkları çalışmada önceki çalışmalarda ki gibi kurutulacak fuzi cinsi elma ürünün kurutma işlemine hazır hale gelebilmesi için yıkama, kabuk soyma ve çekirdeklerinden arındırma fiziksel ön işlemleri uygulanarak 2 mm dilim kalınlığına getirmişlerdir. Sertlik derecesi ise 34,25 N dir. Çeşitli ozmotik ajanlar (glikoz, fruktoz, sükroz, maltoz, sorbitol ve bal) kullanılarak renk, doku, yüzey geçiş sıcaklığı ölçümlerinin yanı sıra nem kaybı ve çözünen katı kazanımına etkisi araştırıldı. Glikoza batırılmış çözeltilerde daha yüksek katı kazanımı ($p<0,05$) olduğu saptanmıştır. Fruktoz ve maltoz çözeltilerine daldırılmış ürünlerde ise daha yüksek nem kaybı gözlenmiştir. Deneylerde ki çözelti sıcaklıkları $-68,4^{\circ}\text{C}$ ile $-46,6^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Sükroz çözeltilerinde ki elma dilimlerinin sertlik derecesinin (20,144 N) daha az olduğu saptanmıştır. Sorbitol çözeltisinde ki sertliğin ise daha düşük (4, 441 N) olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada elma dilimlerinin ozmotik kurutulması sırasında farklı şekerlerin (glikoz, fruktoz, sükroz, maltoz, sorbitol ve bal) katı kazancı, su kaybı ve diğer fizikokimyasal ve duyuşal özellikler açısından ilgili proses koşullarını optimize etmek için etkisi incelenmiştir.

Lee L.S ve Lim L.S 2011; Bu çalışmada sıcak havalı kurutma kullanılarak kurutulacak bal kabağı ürününe kurutma işleminden önce uygulanacak olan ozmotik dehidrasyon işleminin etkisi yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak incelenmiştir. Kurutma öncesi balkabağı temizlendi, soyuldu ve bıçakla dikdörtgen plakalar halinde kesildi. (60 mm uzunluk x 15 mm genişlik x 10 mm kalınlığında) Parametre olarak çözelti (sükroz konsantrasyonu %30-60), ozmotik dehidrasyon süresi (90-120dakika) ve çözelti sıcaklığı (35°C - 60°C) olarak belirlenerek etkileri araştırılmıştır. Bu etkenleri katı kazanımı artırmış ve su aktivitesini düşürmüştür. Çözeltinin sıcaklığı ive konsantrasyon derecesi arttıkça su kaybı artmıştır. ($p<0,05$) Bu değişimler ürünün rengini ve çapını etkilemiştir. Ozmotik işlem ürünün duyuşal ve besinsel özelliklerini geliştirmiştir. Tat ve aroma açısından kabul edilebilir seviyelere getirdiği ifade edilmiştir. Balkabağı kurutması için optimum parametreler 146,7 dakika ozmotik dehidrasyon süresi olarak, çözelti sıcaklığı $58,3^{\circ}\text{C}$ ve çözelti derişimi olarak %57,8 tahmini yapılmıştır.

Başüenal 2016; yaptıkları çalışmada dondurulmuş kırmızı biber üretiminde ozmotik dehidrasyon ve sıcak hava ile yapılan hibrit kurutmanın biber ürününün kalite özellikleri ve işlem verimi incelenmiştir. Karşılaştırmak maksadıyla direkt dondurularak

kurutulan biberler ile ozmotik dehidrasyon (Sorbitol/Sodyum Klorür) ve sıcak havalı kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra dondurulan kırmızı biberler $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 60 gün boyunca depolanmıştır. Depolamanın ilk gününde, 15., 30. ve 60. günlerinde ürünlerin bazı fiziksel (su aktivitesi, renk, tekstür) ve kimyasal (nem, askorbik asit, antioksidan aktivite, karotenoid, peroksidaz ve lipoksigenaz enzim aktivitesi) analizler yapılmıştır. Ozmotik işlem için parametreler sıcaklık, çözelti konsantrasyonu ve örnek/hammade oranı olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda optimum ozmotik kurutma şartları 25°C sıcaklık, 2,41 sorbitol/NaCl oranı ve 15:1 çözelti/hammade oranı olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda doğrudan dondurulan örneklerin depolama boyunca nem değerlerinin %87,05-88,12, ozmotik ve sıcak hava ile kritik nem içeriğine kadar (\approx %70) kurutulduktan sonra dondurulan kırmızıbiber örneklerinin nem değerlerinin ise %66, 27-73, 41 arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu nem içerikleri ile ilişkili olarak en düşük su aktivitesi değeri (0,92) ozmotik kurutma sonrası dondurulan kırmızıbiberlerde, en yüksek su aktivitesi değeri (0,99) ise doğrudan dondurulan kırmızıbiberlerde tespit edilmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Kurutulacak Ürün

Anavatanı Çin olan kivi meyvesi ilk kez Yeni Zelanda'da 1940 yılında ticari olarak üretime geçmiştir. Asya ülkeleri ikliminin uygunluğuyla dünyada kivi üretiminde oldukça ilerdedir. Çin ihracat oranlarında başı çekmektedir. Türkiye kivi yetiştiriciliğine geç başlamasına rağmen özellikle Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinin ikliminin ve üretim yapılabilecek arazilerin çok ve uygun olmasıyla son beş yılda önemli bir üretim miktarına ulaşmıştır. Ülkemiz kivi üretiminde 2021 yılının verilerine göre yaklaşık 64 bin ton ile yedinci sırada bulunmaktadır. Mersin ilimizde 2020 yılının verilerine göre 3897 dekar alana ekim yapılmıştır. Ekilen alanlardan üretilen kivi miktarı 3799 tondur. 2019 yılına göre %32 artmıştır. Ülkemizde 2020 yılı verilerine göre en fazla üretim 6000 dekar ile Yalova ilindedir. Yalova, Bursa, Mersin ve Rize illeri 19000 dekar üretim alanıyla toplam üretimin %57,1'ini oluşturmaktadır. Mersin ili bu üretimin %11,9'luk payını oluşturmaktadır. Deneylerimizde ülkemizde çokça üretimi ve ihracatı yapılan 'Hayward' cinsi kiviler kullanılmıştır (Tarım Ürünleri Piyasa Raporu,2021:1).



Şekil 3.1. Hayward Cinsi Kivi

Kaynak: www.aa.com.tr

Kivi meyvesi potasyum, lif, A ve E vitamini açısından oldukça zengindir. Aynı zamanda kalsiyum, demir ve magnezyum mineral miktarı oldukça fazla içermektedir.

Besin değeri oldukça yüksek olmasından dolayı günlük A ve E vitamin ihtiyacını tek başına karşılayabilmektedir.

3.1.2. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu

Deneyler, güneş ışınımının yüksek olduğu Haziran ve Temmuz aylarında deneylere başlamıştır. Deneyler Mersin ilinin Tarsus ilçesinde bulunan Tarsus Üniversitesinin terasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği terasın rakımı 161 metredir. Proje kapsamında kivi kurutmada kullanılacak olan çok raflı güneş kurutucu kullanılmıştır. Şekil 3.2’de gösterilen kurutucu; kolektör (toplayıcı), kurutma bölmesi (odası) ve bacadan oluşmaktadır. Kurutucu odası içerisinde raflar yerleştirilmiştir. Arka cephede rafların kurutucu içine yerleştirilebilmesi için bir kapak bulunmaktadır. Kolektör ile güneş ışınimleri tutularak ısı enerjisine çevrilir ve kurutma havasına aktarılır. Güneş kolektörü içinde ısınan hava kurutma odasına girer; raflar halinde yerleştirilmiş ve kivi bulunan kurutma raflardan geçerek ürünün nemini alır ve ürünlerin yerleştirildiği delikli raflardan geçerek her iki yüzeyde yer alan hava çıkış açıklıklarından nemli hava kurutucu dışına atılarak kurutma işlemi tamamlanır.



Şekil 3.2. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu

3.1.3. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri

Deneyler sırasında kivi halkalarının belirlenen zaman aralıkları içerisindeki ağırlık ölçümleri, İSOLAB marka arkadan aydınlatmalı, geniş LCD göstergeli ve havaya karşı izole hassas terazi ile gerçekleştirilmiştir. Kefe çapı 85 mm olan hassas terazinin

boyutları 280x210x275 mm'dir. 0.001 hassasiyetinde olan bu terazinin maksimum tartım kapasitesi 320 gramdır.



Şekil 3.3. Analitik Hassas Terazi

Kivi halkalarının ölçümlerinde ise 0.01 mm hassasiyetinde paslanmaz çelik gövdeli 150 mm CETA FORM marka dijital kumpas kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Dijital Kumpas

Kivi halkalarının renk ölçümlerinde ise 4mm diyafram kalınlığında FRU markalı WR18 Kolorimetre kullanılmıştır. Kolorimetreler aracılığıyla örneklerin rengi, renk uzayında tanımlanan L^* , a^* , ve b^* verileriyle ifade edilir. L değeri açıklığı ($L^*=0$ siyah, $L^*=100$ beyaz), a değeri ($+a^*$ kırmızı, $-a^*$ yeşil) ve b değeri ($+b^*$ sarı, $-b^*$ mavi) ifade eder.



Şekil 3.5. Kolorimetre

3.2. Metot

3.2.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışma kapsamında kivi kurutulmasında çok raflı güneş enerjili kurutucu kullanılmıştır. Kurutucunun termal dengeye ulaşması için kurutucu bir saat güneş altında bekletilmiştir. Deneyler için Mersin’de üretimi sağlanan yerli kiviler kullanılmıştır. Çalışmamızda öncelikle kivi meyvesi halka şeklinde dilimlenerek ozmotik dehidrasyon, doğal konvektif çok raflı güneş enerjili kurutucuda ve ozmosolar dehidrasyon ile kurutulmuştur.

Kivilerin kabukları soyularak deneyler için önceden belirlenen kalınlıklarda dilimlenmiştir. Kivi halkaları oda sıcaklığında ozmotik dehidrasyon işlemi için derişim oranları önceden belirlenmiş sakkaroz çözeltilerine ayrı ayrı daldırılmıştır. Ozmosolar dehidrasyon ile kurutma işlemi için kivi halkaları oda sıcaklığında iki saat boyunca bekletildikten sonra süzülerek çıkarılmış ve çok raflı güneş enerjili kurutucunun raflarına dizilerek kurutulmuştur. Ozmotik dehidrasyon işleminin etkisini belirlemek amacıyla ozmotik dehidrasyon işlemine tabi tutulmamış kivi halkaları sadece güneş enerjili kurutucuda kurutulmuştur. Ozmosolar dehidrasyon ile kurutma işlemi için çözeltiden alınan dilimlenmiş kivilerin fazla suları süzgeç yardımıyla süzdürülerek güneş enerjili kurutucunun ilk rafına yerleştirilmiştir. Toplam yedi saat boyunca bir saat aralıklarla kivi halkalarının ağırlıkları, çapları ve a^* renk parametresi ölçülerek nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve a^* renk parametresindeki değişimi belirlenmiştir. Ozmosolar

dehidrasyon kurutma işleminin optimizasyonu için yanıt yüzey yönteminin CCRD dizaynı kullanılmıştır. Giriş değişkenleri, giriş değişkenlerinin alt-üst sınırları ve çıkış değişkenleri olan yanıtlar seçilmiştir. Kurutmaya etki eden faktörler olarak ozmotik dehidrasyon süresi, çözelti derişimi, güneş kurutucudaki kurutma süresi ve dilim kalınlığı seçilmiştir. Dört giriş değişkenine göre CCRD dizaynında toplam 30 deneyin koşulları belirlenmiştir. Her deney sonunda çıkış değişkenleri belirlenmiştir. Çıkış değişkenleri olarak % nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve renk değişimi olarak belirlenmiştir. Belirlenen toplam kuruma süresi boyunca ağırlık, çap ve renk ölçümleri alınmış, % nem kaybı, çapsal büzülme ve renk değişimi gibi kurutma verileri elde edilmiştir. Deneylerde kurutma işlemi öncesi ve sonrası ölçümler, üç defa tekrarlanarak yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

Deney sonucunda nem kaybı, çapsal büzülme oranı ve renk değişimi gibi kurutma verileri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir (Aboud,2013:252-253; Yadav ve Pandya,2014:6-7).

$$\text{Nem Kaybı} = \frac{M_0 - M_s}{M_0} \quad (1)$$

$$\text{Büzülme Oranı} = \frac{D_0 - D_s}{D_0} \quad (2)$$

Eşitlik 1’de yer alan M_0 ve M_s sırasıyla kivi halkalarının kurutma öncesi ve kurutma sonrası ağırlıklarını (gr), eşitlik 2’de yer alan D_0 ve D_s ise kurutma öncesi ve kurutma sonrası örnek çapını (mm) ifade etmektedir.

Kivi halkalarının renk değişimi kaliteyi olumsuz etkileyen bir parametredir. Kivi halkalarının oksidasyon sonucunda kararmasını engellemek için kivi halkaları önce belirli derişimdeki sakkaroz çözeltisine daldırılmıştır. Renk parametreleri L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleridir. L^* , aydınlık değerini olup, 0-100 arasında değişir. L^* değerinin 100 olması beyaz, 0 değeri alması siyah rengi belirtir. b^* değeri mavi-sarı renkleri hakkında bilgi verir. b^* pozitif değeri sarı ve negatif değeri mavi rengi ifade eder (Yıldız vd.,2015:175-176). a^* değeri (-60)-(+60) arasında değişir ve kırmızı-yeşil renk değerini verir. a^* pozitif değeri kırmızı (+60) ve negatif değeri (-60) yeşil rengi verir (Askari,2009:831-841). Kivi için a^* değeri renk analizinde önemlidir. Kivi halkaları yeşil renkli olup, zamanla yeşil-kahverengi renk alır. Bu yüzden kivi için a^* değeri renk analizinde önemlidir. Kurutma

öncesi ve sonrası kivi halkalarının renk parametresi a^* değerleri Lab Tools'un colorimeter yazılımı ile belirlenmiştir. Renk ölçümü üç defa yapılmış ve ortalama değer alınmıştır. a^* renk değişimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. a_0 taze kivi halkalarına ait ve a kurutma periyodu sonrası a renk parametresini göstermektedir.

$$a^* \text{ Renk Değişimi} = \frac{a_0 - a}{a_0} \quad (3)$$



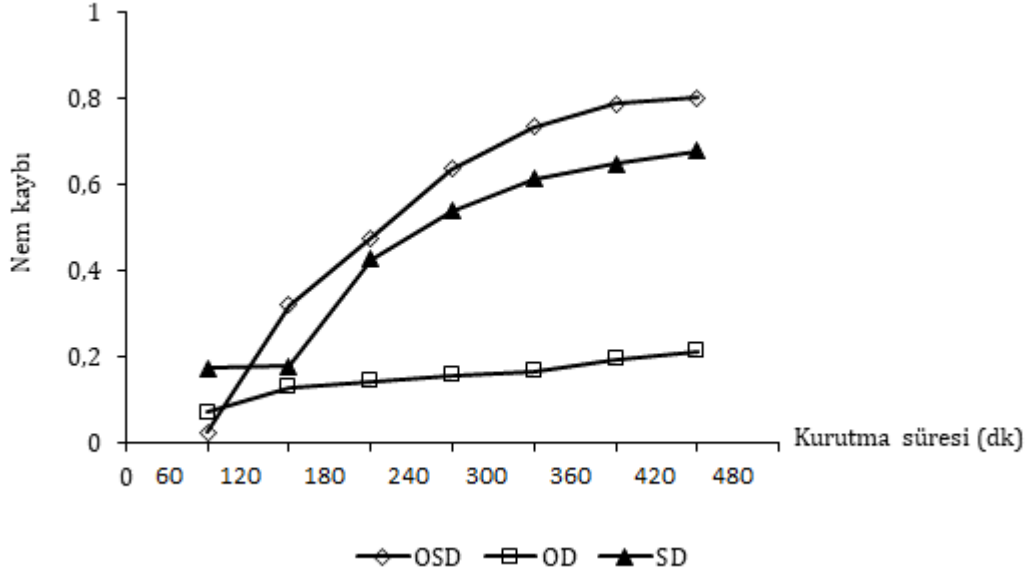
BÖLÜM 4

BULGULAR

Belirli dilim kalınlığına sahip kivi halkaları, Ozmotik dehidrasyon işleminin etkisini belirlemek amacıyla sadece ozmotik dehidrasyon, sadece raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon olmak üzere üç farklı yöntemle kurutulmuştur. Daha sonra ozmosolar dehidrasyon kurutma işleminin optimizasyonu için yanıt yüzey yöntemi kullanılarak deneysel tasarım yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda ozmotik dehidrasyon kurutma süresi, güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi, dilim kalınlığı, çözelti derişimi ile nem kaybı, büzülme oranı ve renk değişimi incelenmiş ve optimum kurutma koşulları belirlenmiştir.

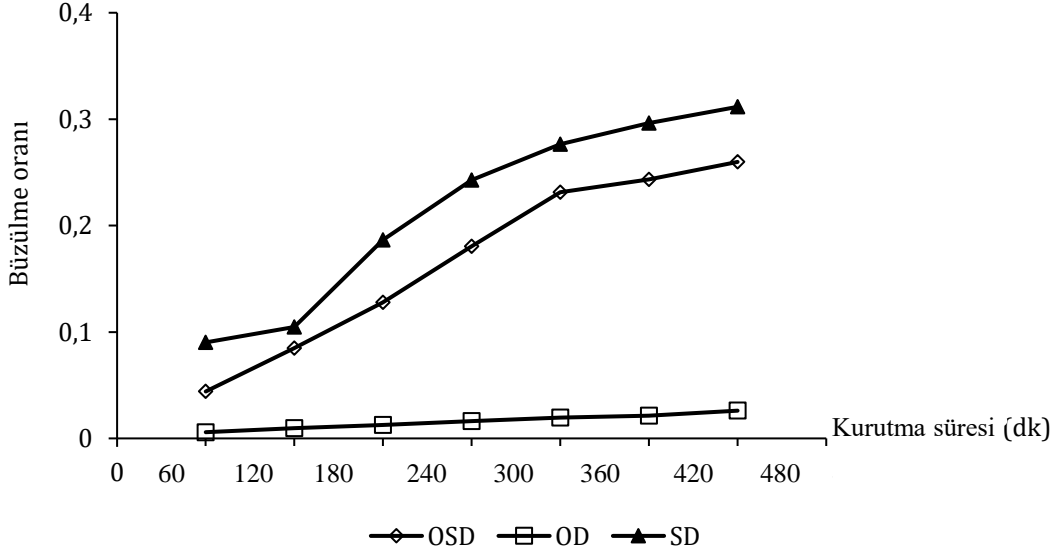
4.1. Kivi Halkalarının Ozmotik Dehidrasyon ve Güneş Enerjili Kurutucu ile Birlikte Kurutulması

Bu çalışmada belirli dilim kalınlığına sahip kivi halkaları, sadece ozmotik dehidrasyon (OD), sadece raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucu (SD) ve ozmotik dehidrasyon uygulanmış daha sonra raflı doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda birlikte kurutulduğu ozmosolar dehidrasyon (OSD) ile kurutulmuştur. Kivi halkalarının ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma yöntemleri sonucunda kurutma süresi boyunca nem kaybı değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. OSD, SD ve OD yöntemlerinde kurutma süresi boyunca nem kaybı artmıştır. En fazla nem kaybı, ozmosolar dehidrasyon kurutmada görülmüştür. Güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma yöntemlerinde nem kaybında altıncı saatten sonra önemli bir değişim görülmemiştir. Ozmotik dehidrasyon ile kurutma işleminde ise nem kaybı kurutma süresi boyunca artmasına rağmen bu artış diğer iki yöntemdeki kurutmadaki nem kaybından çok azdır. Şeker gibi ozmotik dehidrasyonda kullanılan bazı bileşikler, hücre içine difüze olmadan dış yüzeyde bir tabaka oluşturabilmektedir. Bu durumda, gıdanın dış yüzeyinde bir katman oluştuğu için kütle transferi yavaşlamakta ve kurutma süresi sonunda nem kaybı giderek azalmaktadır (Kamiloğlu vd.,2021:537).



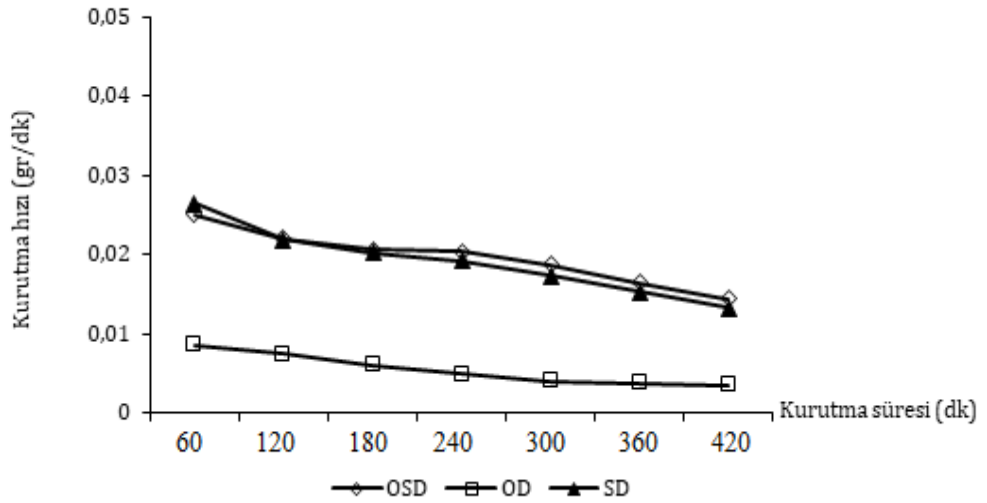
Şekil 4.1. Kurutma Süresi Boyunca Nem Kaybı Değişimi

Kivi halkalarının ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma yöntemleri sonucunda kurutma süresi boyunca çapsal büzülme oranı değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Kurutma sırasında meydana gelen temel fiziksel değişimlerden biri olan büzülme, üründen nem kaybı sonucu oluşur. Üründeki aşırı büzülme, ürünün gevrekliğini azalttığı için piyasadaki değerini düşürür. Güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma işlemlerinde ozmotik dehidrasyon kurutmaya göre kurutma işlemi daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi ve gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarının artması nedeniyle büzülme oranı daha fazladır. Kivinin büzülmesi kurutmanın başlangıç aşamalarında daha yüksektir. Ozmotik dehidrasyon kurutma ile kuruma süresi boyunca önemli miktarda büzülme görülmemiştir. Ozmotik dehidrasyon ile kurutma büzülme oranını azaltmaktadır. Kurutulan üründeki su difüzyonla ve çözülebilir maddeler ise taşınım ile ozmotik çözeltiye transfer olurken sakarozun ürüne geçişinden dolayı büzülmenin etkisi daha azdır (Taiwo vd.,2003:694).



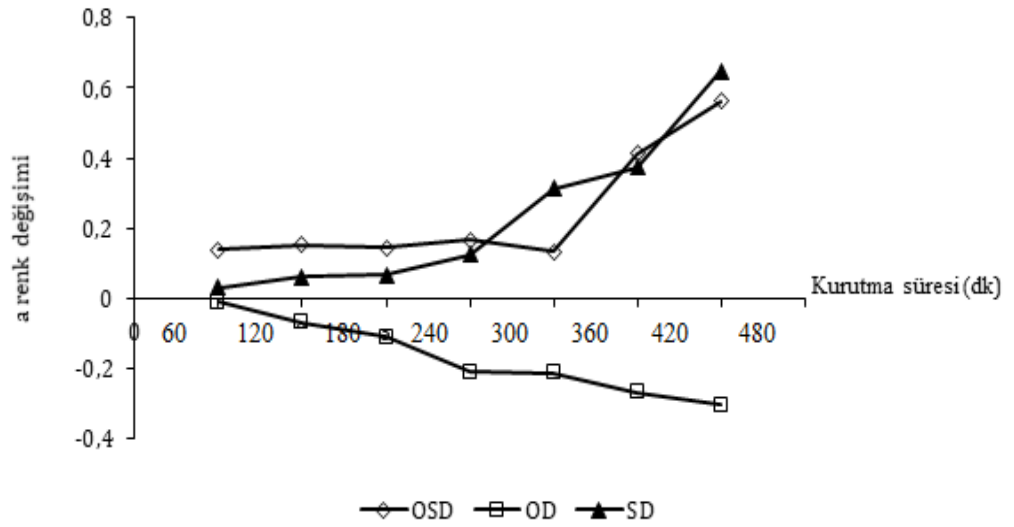
Şekil 4.2. Kurutma Süresi Boyunca Büzülme Oranı Değişimi

Kivi halkalarının ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma yöntemleri sonucunda kurutma süresi kurutma hızı değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Büzülme oranı kurutma hızını etkilemektedir. Büzülme ile ürün yüzeyi daralır ve yüzey sertleşerek nem kaybına direnç göstermesinden dolayı kurutma hızı düşer. Kurutma süresi boyunca büzülme oranı arttığı için kurutma hızı da zamanla düşmektedir (Hatami vd.,2017:307).



Şekil 4.3. Kurutma Süresi Boyunca Kurutma Hızı Değişimi

Bir ürünün kalitesi belirlemede renk önemli bir kriterdir. Özellikle minimal işleme tabi tutulmuş meyve sebzelerde renk oldukça önemlidir. Renk değerlerine kurutma süresi, kurutma yöntemi, materyal cinsi gibi özellikler doğrudan etki yapmaktadır. Üç kurutma yöntemi sonucunda kurutma süresi boyunca kivi halkalarındaki a^* renk parametresinde ki değişim Şekil 4.4'te verilmiştir. Kurutmada renk değişimi kuruma süresine bağlıdır. Kurutma süresi arttıkça renk değişimi artmaktadır. Üründen uzaklaşan nem miktarı arttıkça renk değişimi artmaktadır. Kivi halkaları yeşil renkli olup, zamanla klorofil ve karetonoid pigmentlerin bozulması ve kahverengi pigmentlerin oluşması nedeniyle kahverengi renk alır. Kivi kururken a^* değeri pozitif değer olarak kırmızı renge doğru kayar. Güneş enerjili kurutma ve ozmosolar dehidrasyonda kivi halkalarının yeşil rengini kaybedip, kahverengileşme olduğundan renk değişimi pozitif çıkmıştır. Bu iki kurutma yönteminde a^* renk değişimi zamanla artmıştır. Güneş enerjili kurutma da a^* renk değişimi daha fazla olmuştur. Güneşte kurutulan üründe polifenol oksidaz enzimi sebebiyle enzimatik esmerleşme meydana gelmektedir. Bu yüzden bu enzimlerinin inaktif hale gelmesi ve ürünün oksijen ile temasının engellenmesi gerekmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda kurutulan ürünlerde de renk kayıpları söz konusu olduğu için düşük sıcaklıkta gerçekleşen ozmotik dehidrasyon işleminde renk kaybı daha azdır. Güneşte kurutulan ürünün rengi sıcaklık ve oksijenin etkisiyle daha çok kararmıştır (Kamiloğlu vd.,2021:538; Hatami vd.,2017:307-308).



Şekil 4.4. Kurutma Süresi Boyunca Renk Değişimi

Ozmotik dehidrasyon ile kivi halkalarının kurutulmasında a^* renk parametresi değişimi negatif çıkmıştır ve zamanla renk değişimi negatif yönde artmıştır. Kivi

halkalarının uzun süre sakkaroz çözeltisinde kalması sonucunda renk koyulaşmıştır ancak güneş enerjili kurutucuda kurutmaya göre renk değişimi daha fazla korunmuştur. Ozmotik dehidrasyon ile kurutulan kivi halkalarında yeşil renk parametresi daha yüksek olduğundan renk değişimi negatif çıkmıştır. Ozmotik dehidrasyonun renk değişimini etkilediği görülmüştür.

4.2. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) Analizi

Optimum kurutma koşulları seviyelerine karar verilmek için Design Expert 6.0. yazılım programında bulunan RSM deneysel tasarım programı kullanılmıştır. Üç bağımsız değişkenin belirlenmesinde merkezi tümleşik tasarım (CCRD) tasarım modeli kullanılmıştır. Kurutma koşullarının optimizasyonu için bağımsız giriş değişkenler (kivi halkasının kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon süresi ve güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi) ve çıkış değişkenleri olan yanıtlar olarak su kaybı (Y_{NK}), büzülme oranı (Y_{BO}) ve a^* renk değişimi (Y_{RD}) seçilmiştir. Kurutma koşulları CCRD dizayn yöntemiyle deney tasarımı A kivi kalınlığı (2-6mm), B sakkaroz konsantrasyonu (%0-40w/v), C ozmotik dehidrasyon işlem süresi (60-150 dk), D güneş enerjisi ile kurutma süresi (60-480 dk) ve bu değişkenler için 5 farklı seviye seçilmiştir. 5 optimal kod seviyesi $-\alpha$, -1, 0, 1, α olarak Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney Tasarımında Kullanılan Bağımsız Değişkenlerin Kodları ve Seviyeleri

Bağımsız Değişkenler	Semboller	Kod Seviyeleri				
		-2	-1	0	1	+2
Kivi halkası kalınlığı (mm)	A	2	3	4	5	6
Sakkaroz konsantrasyonu (%w/v)	B	0	10	20	30	40
Ozmotik Dehidrasyon İşlem Süresi (dk)	C	30	60	90	120	150
Güneş enerjili kurutma süresi (dk)	D	60	120	240	360	480

CCRD deneysel tasarım yönteminde aksenal parametre (α) için doğru aralık seçilmiştir. Bizim deneysel tasarımımız için $\alpha=2$ ’dir (giriş değişkeni, $k=4$). Değişkenlerin alt ve üst sınırları (aralıkları) daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. (Yıldız,2017:1201). Deneysel tasarım merkez noktada 6, eksen noktalarında 6 ve faktöriyel noktalarda ise 8’er olmak üzere toplam 30 deneme içeren bir tasarımdan oluşmaktadır. ($n=2^k+2k+m$, n =toplam deney sayısı, $k=4$ ve merkez nokta, $m=6$). Deney koşulları ve bu deneylere ait sonuçlar Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. 4 Bağımsız Değişkenli CCRD ve Bağımlı Değişkenin Deneysel Yanıtları

Deney Numarası	A	B	C	D	Y _{NK}	Y _{BO}	Y _{RD}
1	-1	-1	-1	-1	0.412	0.063	0.201
2	1	-1	-1	-1	0.265	0.187	0.389
3	-1	1	-1	-1	0.209	0.105	0.006
4	1	1	-1	-1	0.246	0.035	0.102
5	-1	-1	1	-1	0.607	0.053	0.245
6	1	-1	1	-1	0.735	0.168	0.253
7	-1	1	1	-1	0.545	0.234	0.131
8	1	1	1	-1	0.635	0.070	0.149
9	-1	-1	-1	1	0.361	0.039	0.069
10	1	-1	-1	1	0.451	0.079	0.067
11	-1	1	-1	1	0.218	0.014	0.042
12	1	1	-1	1	0.249	0.071	0.083
13	-1	-1	1	1	0.819	0.244	0.266
14	1	-1	1	1	0.774	0.006	0.236
15	-1	1	1	1	0.711	0.823	0.212
16	1	1	1	1	0.679	0.113	0.170
17	-2	0	0	0	0.621	0.207	0.107
18	2	0	0	0	0.548	0.136	0.152
19	0	-2	0	0	0.637	0.009	0.197
20	0	2	0	0	0.469	0.201	0.100
21	0	0	-2	0	0.009	0.232	0.023
22	0	0	2	0	0.779	0.221	0.252
23	0	0	0	-2	0.515	0.096	0.112
24	0	0	0	2	0.475	0.128	0.121
25	0	0	0	0	0.556	0.137	0.169
26	0	0	0	0	0.584	0.136	0.179
27	0	0	0	0	0.548	0.138	0.168
28	0	0	0	0	0.586	0.138	0.165
29	0	0	0	0	0.584	0.142	0.174
30	0	0	0	0	0.584	0.146	0.175

Tablodaki deneysel yanıtlar sonucunda; nem kaybı (Y_{NK}) 0.009'dan 0.819'a büzülme oranı (Y_{BO}) 0.006 ile 0.823 arasında ve renk değişimi (Y_{RD}) 0.006 ile 0.389 arasında değişmiştir. Nem kaybı için 13 ve 21 numaralı deneyler maksimum ve minimum noktaldır. 15 ve 14 numaralı deneyler ise büzülme oranı için sırasıyla maksimum ve minimum noktaldır. 2 ve 3 numaralı deneyler renk değişimi oranı için sırasıyla maksimum ve minimum noktaldır.

Tablo 4.3'te RSM için regresyon parametrelerinin istatistiksel analizi ANOVA tablosu ile verilmiştir. F_{prob} değerinden birkaç kat daha büyük bir F değeri, modelin deneysel sonuçlarının iyi tahmin edildiğini ve tahmin edilen faktörlerin etkili olduğunu gösterir. R² deneysel ölçüm verilerinin modele uyum derecesini gösteren regresyon değeridir. R² değeri 1 e ne kadar yakınsa modelin deney verileriyle o kadar uyumlu ve iyi olduğu anlamına gelmektedir. Kontrol edilemeyen değişkenlerden dolayı çok büyük tasarım F değerinin çıkma şansı %0.01'dir. F değeri aynı zamanda modelin istatistiksel anlamlılığı

ve yeterliliğini ifade etmektedir. ANOVA tablosunda ki P değerinin 0.0001'den küçük olması modelin ne kadar anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. P değeri katsayıların her birinin önemini gösterir ve olasılık değerini ifade eder. Tüm değişkenlerin su kaybı, büzülme oranı ve renk değişimi üzerinde önemli derecede etkileri bulunmaktadır. En uygun model doğrusal, 2FI, çarpaz çarpım ve kübik modelleri arasından seçilmiştir. Nem kaybı için en uygun modelin kuadratik model olduğuna karar verilmiştir. Renk değişimi ve büzülme oranı için 2FI modeli uygun görülmüştür. Modellerde düzeltilmiş R^2 ve tahmini R^2 regresyon değerleri önemlidir. Tahmini negatif bir R^2 regresyon katsayısı değeri genel ortalama ki yanıtın mevcut modeldekenden daha iyi olduğunu belirtmektedir. Uygun kesinlik oranı tasarım noktalarında tahmin edilen değerlerin aralığını ortalama tahmin hatasıyla karşılaştırır. 4'ten büyük oranlar yeterli model ayırımını gösterir. Modelimizde ki uygun kesinlik oranı nem kaybı için 18.802, büzülme oranı için 12.723 ve renk değişimi içinse 11.216'dır ve bu değerler modelin yeterli ve anlamlı olduğunu göstermektedir. Nem kaybı için tahmin edilen R^2 değeri (0.7510) ve düzeltilmiş R^2 değeri (0.9072) gayet makul bir uyum içindedir. Tahmini negatif bir R^2 regresyon katsayısı değeri renk değişimi için genel ortalama ki yanıtın mevcut modeldekenden daha iyi olduğunu belirtir. Büzülme oranı için tahmin edilen R^2 oranı (Pred=0.4492) düzeltilmiş R^2 değerine (Adj=0.7804) yakın değildir. Bu durum, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisine bağlı olabilir. Burada başlıca dikkate alınması gereken, deneysel verilerle elde edilen polinomsal grafik ile modelin uyumu, çıktı değişkenleri, uyum ve anlamlılığı belirten değerler, regresyon katsayıları ve korelasyon (R^2) değerleridir. Y_{NK} ve Y_{BO} için kuadratik model, Y_{RD} için ise 2FI modelleri uyumlu ve yeterlilik anlamında iyi değerlere sahiptir ve seçilmiş değişkenlerin ikili etkileşimlerini iyi bir şekilde temsil etmiştir. (Bilen vd.,2018:269-270)

Tablo 4.3. RSM için Regresyon Parametrelerinin ANOVA Değerleri

Yanıt	Regresyon	df	R ²	Adj R ²	Pred R ²	F değeri	Pr < F
Nem kaybı	Doğrusal	4	0.891	0.873	0.837	50.853	< 0.0001
	2FI Model	6	0.902	0.850	0.723	0.363	0.894
	Kuadratik	4	0.952	0.907	0.751	3.926	0.0225
	Kübik	8	0.988	0.950	0.168	2.607	0.112
	Artık	7					
	Toplam	30					
Renk Değişimi	Doğrusal	4	0.236	0.114	-0.193	1.936	0.136
	2FI Model	6	0.737	0.599	-0.160	6.034	0.00114
	Kuadratik	4	0.770	0.555	-0.326	0.530	0.716
	Kübik	8	0.983	0.928	-1.51	10.684	0.00267
	Artık	7					
	Toplam	30					
Büzülme Oranı	Doğrusal	4	0.566	0.496	0.324	8.144	0.000239
	2FI Model	6	0.856	0.780	0.449	6.388	0.000823
	Kuadratik	4	0.868	0.744	0.237	0.324	0.858
	Kübik	8	0.966	0.859	-3.90	2.535	0.119
	Artık	7					
	Toplam	30					

P değerleri, bağımsız değişkenler arasında ki ortak etkileşimlerin modelini tanımak için gerekli olan katsayıların her birinin önemini doğrulamıştır. 0,0001'den küçük P değerleri, modelde ki terimlerinin anlamlı ve uygun olduğunu göstermektedir. Katsayıların her birinin önemini doğrulamak ve kontrol etmek için bir araç olarak kullanılan P değerleri sırasıyla değişkenler arasında ki etkileşimlerin modelini göstermektedir. Tablo 4.4'te görüldüğü gibi Y_{NK} , Y_{BO} ve Y_{RD} için oluşturulan regresyon parametrelerinin ANOVA'da ki yanıt değerleri çok düşük olduğundan modelin anlamlı ve yeterli olduğunu ortaya koymuştur. ($P_{Model} > F_{0.001}$) Bağımlı değişkenlerin yanıtları ANOVA (F- Testi) modelinde verilmiştir. Regresyon katsayıları karşılık gelen P değerleri ile birlikte nem kaybı, renk değişimi ve büzülme oranı için ANOVA'da model oluşturulmuştur. 0.500'den küçük olasılık değerleri ($P > F$) modelde ki uyum eksikliklerinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Tablo 4.4'te nem kaybı için B, C, C^2 önemli ve anlamlı bulunan model terimleri olduğu görülmektedir. A, B, C, AB, AC, AD, BC ve CD renk değişimi için önemli ve anlamlı bulunan model terimleridir. B, C, AC, AD, BD ve CD büzülme oranı için önemli ve anlamlı bulunan model terimleridir. 0.1000'den büyük değerler modelde ki terimlerin anlamlı olmadığını ve uyum eksikliğini göstermektedir. Bu terimler ve yanıt değerleri ANOVA tablosunda verilmiştir.

Tablo 4.4. Modellerin Varyans Analizi (ANOVA)

Kaynak	Karelerin Toplamı	df	F	P < F
Nem Kaybı				
Model	1.0411	14	21.2587	< 0.0001(Anlamlı)
A	0.0000	1	0.0002	0.990
B	0.0671	1	19.1914	0.000537
C	0.8951	1	255.8972	< 0.0001
D	0.0116	1	3.3161	0.0886
A ²	0.0013	1	0.3580	0.559
B ²	0.0000	1	0.0121	0.914
C ²	0.0462	1	13.2102	0.00245
D ²	0.0068	1	1.9389	0.184
AB	0.0006	1	0.1787	0.678
AC	0.0010	1	0.2944	0.595
AD	0.0002	1	0.0699	0.795
BC	0.0026	1	0.7357	0.405
BD	0.0017	1	0.4811	0.499
CD	0.0061	1	1.7550	0.205
Artık	0.0525	15		
Uyum eksikliği	0.0455	10	3.2820	0.101
Hata	0.0069	5		
Toplam	1.0935	29		
R ² = 0.952				
Renk Değişimi				
Model	0.1661	10	11.3034	< 0.0001
A	0.0056	1	3.7808	0.0668
B	0.0437	1	29.7465	< 0.0001
C	0.0565	1	38.4452	< 0.0001
D	0.0040	1	2.7301	0.115
AB	0.0002	1	0.1125	0.741
AC	0.0086	1	5.8258	0.0261
AD	0.0073	1	4.9736	0.0380
BC	0.0015	1	1.0302	0.323
BD	0.0202	1	13.7581	0.00149
CD	0.0186	1	12.6307	0.00212
Artık	0.0279	19	11.3034	
Uyum Eksikliği	0.0279	14	3.7808	
Hata	0.0000	5	29.7465	
Toplam	0.1661	29	38.4452	
R ² = 0.737				
Büzülme Oranı				
Model	0.4534	10	5.3307	0.000882
A	0.0407	1	4.7868	0.0414
B	0.0426	1	5.0102	0.0374
C	0.0501	1	5.8889	0.0254
D	0.0120	1	1.4143	0.249
AB	0.0536	1	6.3072	0.0212
AC	0.0824	1	9.6861	0.00574
AD	0.0458	1	5.3887	0.0315
BC	0.0520	1	6.1086	0.0231
BD	0.0290	1	3.4123	0.0803
CD	0.0451	1	5.3040	0.0327

Artık	0.1616	19		
Uyum Eksikliği	0.1616	14	1392706.5856	< 0.0001
Hata	0.0000	5	5.3307	
Toplam	0.6150	29	4.7868	
$R^2 = 0.856$				

Giriş değişkenleri ile yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı birçok regresyon ilişkisi kurulabilir. Modellerin ANOVA sonuçları, Y_{NK} için R^2 değeri 0.952 ve F değeri 21.259'dur. Bu değerler modelin çok iyi bir performansa sahip olduğunu ve yeterliliğini ifade etmektedir. 21.259 değeri aynı zamanda modelin önemini ve anlamlılığını ortaya koymaktadır. Renk değişimi (Y_{RD}) için R^2 değeri 0.737, F değeri ise 11.303'tür. Büzülme oranı (Y_{BO}) için ise R^2 değeri 0.856, F değeri 5.33'tür. Belirlenen bağımsız değişkenler için uygun olan modellerde ki R^2 değerlerinin varyans oranları yüzdelik olarak nem kaybı için %95, büzülme oranı için %86 ve renk değişimi için %74 oranlarına tekabül etmektedir. Her yanıt karşılık bağımsız değişkenlerin ikinci dereceden ve 2FI modelinde ki R^2 değerleri toplanarak bu değerlere ulaşılmıştır.

$$Y_{NK}=0.550-0.000159A-0.05289B+0.193124C+0.021984D+0.006756A^2-0.00124B^2-0.04105C^2-0.01572D^2+0.006251AB+0.008022AC-0.00391AD+0.012682BC-0.01026BD+0.019588CD \quad (4)$$

$$Y_{RD}=0.1452-0.04119A-0.042138B+0.045683C+0.0223888D-0.0519AB-0.07176AC-0.05352AD+0.056985BC+0.04259BD+0.053099CD \quad (5)$$

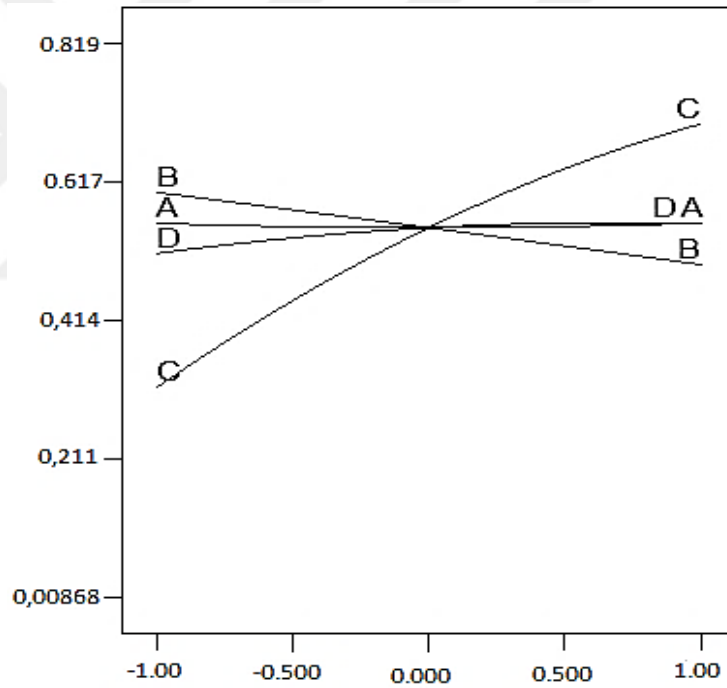
$$Y_{BO}=0.1566-0.0152A-0.0427B-0.0485C-0.0129D-0.0032AB-0.0231AC-0.0214AD+0.0097BC+0.0355BD+0.0341CD \quad (6)$$

RSM optimizasyon programı altında optimizasyon araç kutusu kullanılarak nem kaybı, büzülme oranı ve renk değişimi için optimum kurutma koşullarının seviyeleri belirlenmiştir. Optimum parametre seviyeleri, istenen yanıt değerleri 1'e yakın olanlar arasından maliyet göz önüne alınarak seçilmiştir. Optimum kurutma koşulları seviyesi ozmotik çözelti derişimi için 12.7 %w/v, halka kalınlığı için 4,06 mm, güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi için 125 dakika ve ozmotik dehidrasyon işlem süresi içinde 70.9 dakika belirlenmiştir.

Proses parametreleri ve optimum seviyelerinin uygun modellerde belirlenmesinde kullanılan terimlerin birbiriyle etkileşimleri ve deneyde ki değer aralıkları Design Expert 6.0.0 yazılımında Perturbation (Pertürbasyon) grafiklerinde giriş değişkenleri ile nem

kaybı, renk değişimi ve büzölme oranı değişimi Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

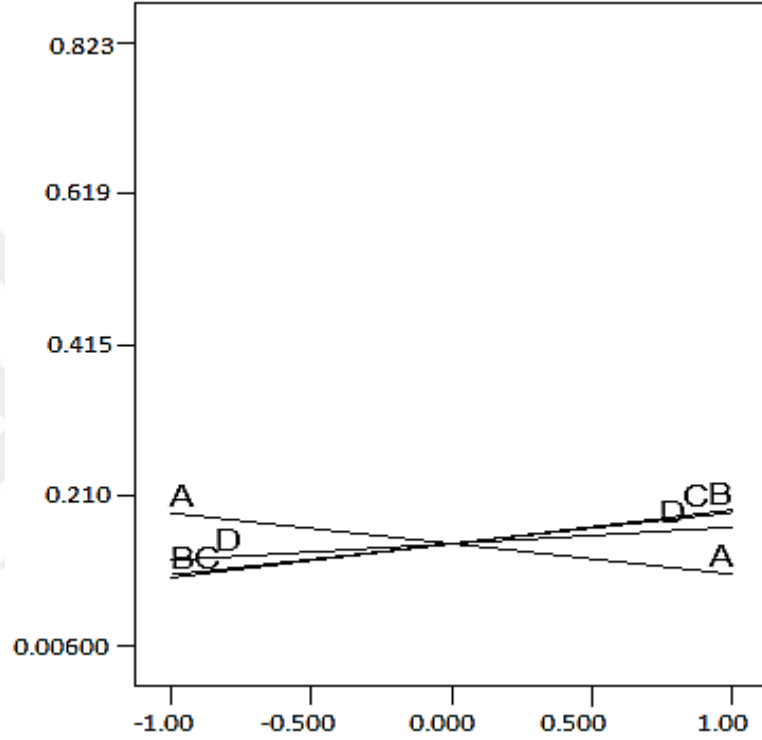
Şekil 4.5’te halka kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon işlemi ve güneş enerjisi ile kurutma süresi ile nem kaybının değişimi perturbation (Pertürbasyon) grafiği ile verilmiştir. Halka kalınlığı ve sakkaroz konsantrasyonu azaldıkça nem kaybı azalmakta, diğer taraftan ozmotik dehidrasyon işlemi ve güneş enerjisi ile kurutma süresi arttıkça nem kaybı artmaktadır. Çözelti içinde ki gıda çözünürleri ürünün kutikula tabakasına nüfuz ederek difüze olur. Hasar gören hücre duvarında ki kutikula tabakası üründe ki serbest suyun uzaklaşmasını mümkün kılar. Aynı Şekilde güneş enerjili kurutucu ortamında ki sıcaklık kurutma havasının sıcaklığını arttırdığından üründe ki serbest suyun hızlıca buharlaşmasını sağlayarak neminden arındırır (Fellows,2000:151-153).



Şekil 4.5. Nem Kaybı Yanıtları

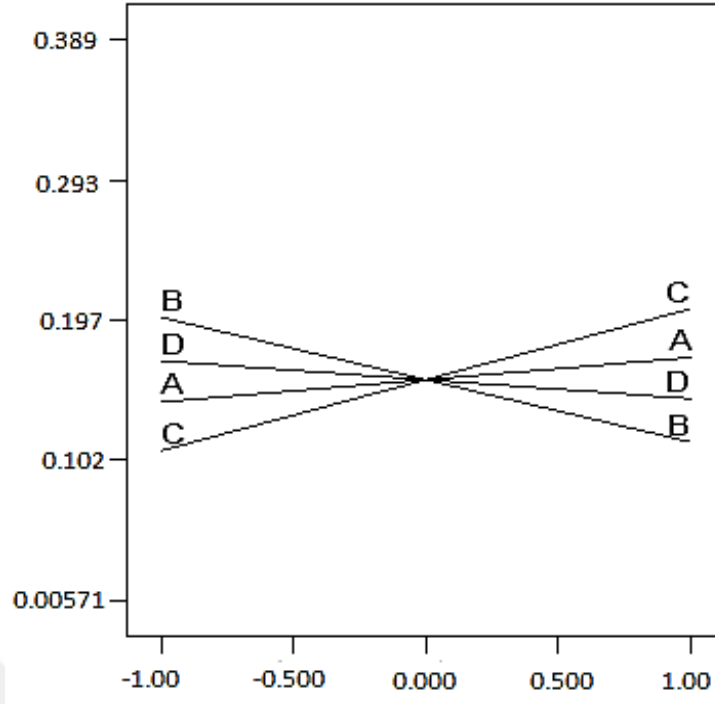
Şekil 4.6’da halka kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon işlemi ve güneş enerjisi ile kurutma süresi ile renk değişimi pertürbasyon grafiği ile verilmiştir. Kivi halkasının kalınlığı azaldıkça renk değişiminin azaldığı görölmektedir. Kurutulan ürünün hücre duvarının yapısını oluşturan selüloz ve pektin maddelerinin işlem sonunda porozite yapısı bozulmaktadır. Bozulan porozite yapısı klorofil pigmentlerinin yapısını etkileyerek renk değişimine sebep olmaktadır. Halka kalınlığına bağlı renk değişiminin lineer Şekilde azaldığı görölmektedir. Sakkaroz derişimi ve ozmotik

dehidrasyon işlem süresi arttıkça renk değişiminin arttığı görülmektedir. Sakkaroz derişimi arttıkça çözümlerde ki gıda çözümleri ürünün yapısına nüfuz ederek klorofil pigmentlerinin yapısını bozarak renk değişimini oldukça artırmaktadır. Ozmoz dehidrasyon işlem süresinin artmasıyla çözümlen geçişi daha fazla olacağından renk değişimini artıran bir diğer unsur olduğu anlaşılmaktadır. Güneş enerjili kurutma da renk değişimini artırsa da ozmotik dehidrasyon kadar artışa sebep olmadığı görülmektedir (Fellows,2000:151-153).



Şekil 4.6. a* Renk Değişimi Yanıtları

Şekil 4.7'de halka kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon işlemi ve güneş enerjisi ile kurutma süresi ile büzülme oranının değişimi pertürbasyon grafiği ile verilmiştir. Halka kalınlığının artışının büzülme oranına etkisinin pek fazla olmadığı görülmektedir. Büzülme oranı ürünün yapısındaki serbest suyun uzaklaşmasıyla meydana gelen bir fiziksel değişimdir. Sakkaroz konsantrasyonu azaldıkça gıda çözümlerinin hücre duvarına difüze oluşu azalır ve hücre duvarı daha az hasar aldığından büzülme oranı da azalmaktadır. Fakat ozmotik dehidrasyon işlem süresi artırıldıkça hücre duvarının da ki hasarı artırır ve serbest suyun uzaklaşması oldukça artmaktadır. Böylece büzülme oranında lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Güneş enerjili kurutma süresi azaldıkça büzülme oranının azalmasıyla beraber ciddi bir düşüş gözlenmemektedir. (Moreira,2007:1509).



Şekil 4.7. Büzülme Oranı Yanıtları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kivi halkalarının ozmotik dehidrasyon, güneş enerjili kurutucu ve ozmosolar dehidrasyon kurutma gibi üç farklı kurutma yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada kurutma işlemi öncesi uygulanan ön kurutma işlemi olan ozmotik dehidrasyonun güneş enerjili kurutma üzerine önemli etkileri olduğu ortaya çıkmıştır. Kivi halkalarının yedi saatlik kurutma periyodu sonunda nem kaybı, ozmosolar dehidrasyon yöntem için %80, güneş enerjili kurutucu için %68 ve ozmotik dehidrasyon için %21 olarak belirlenmiştir. Kurutma periyodu sonunda büzülme oranı, ozmotik dehidrasyonda %2, ozmosolar dehidrasyonda %26 ve güneş enerjili kurutucuda %31'dir. Nem kaybında ve büzülme oranında, ozmotik dehidrasyonda iki saatten sonra, ozmosolar dehidrasyon yönteminde ve güneş enerjili kurutucuda altı saatten sonra önemli bir değişim olmamıştır. Ozmosolar dehidrasyon yönteminde nem kaybı fazla olmasına rağmen büzülme oranı ozmotik dehidrasyon ön kurutma işleminin etkisinden dolayı güneş enerjili kurutucuda kurutmadan daha az olmuştur. Kurutma periyodu sonunda kurutma hız, ozmosolar dehidrasyon yönteminde 0.014 g/dk, güneş enerjili kurutucuda 0.013 g/dk ve ozmotik dehidrasyon ile 0.004 g/dk olarak belirlenmiştir. Kurutma periyodu sonunda a^* renk değişimi, ozmosolar dehidrasyon yönteminde %56, güneş enerjili kurutucuda %65 ve ozmotik dehidrasyon ile negatif yönde %30'dur. Güneş enerjili kurutucuda kivi halkaları kurutulmadan önce ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanması kurutma süresini kısaltmış ve a^* renk değerinin korunmasını sağlamıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminin kurutma yöntemi olarak kullanılmasından ziyade ön kurutma işlemi olarak etkili olduğu belirlenmiştir. Kivi halkalarının çok raflı güneş enerjili kurutucu ile kurutulmasında, ozmotik dehidrasyon işleminin olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Bu sebeple ozmotik dehidrasyon işlemi güneş enerjili kurutmadan önce ön kurutma işlemi olarak kullanılması kurutma performansını artırdığı için kullanılması faydalı olacaktır.

Çalışmada deney parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde yanıt yüzey yönteminin kullanılması kurutma koşullarının en uygun olduğu noktaya en yakın verilerin elde edilmesini sağlamıştır. Kivi kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon işlem süresi, güneş enerjisi ile kurutma süresi olmak üzere dört giriş değişkeni ve bu değişkenler için 5 farklı seviye seçilmiştir. Çıkış değişkeni olan yanıtlar ise nem kaybı, büzülme oranı ve a^* renk değişimi olarak belirlenmiştir. Dört giriş değişkeninin 5 farklı seviye de CCRD deneysel tasarımına göre 30 deney ile uygun modeller kurulmuş ve optimum sonuçlar elde edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile

belirlenen yanıtların regresyon değerlerini veren modeller sayesinde her yanıt için en uygun modeller seçilmiştir. Nem kaybı için en uygun modelin quadratik model olduğuna karar verilmiştir. Renk değişimi ve büzülme oranı için 2FI modeli uygun görülmüştür. R^2 değerlerinin nem kaybı için 0.95, büzülme oranı için 0.86 ve renk değişimi için 0.74 bulunmuştur. Kurutma prosesinin tasarımında RSM deneysel tasarım yönteminde 30 deney ile nem kaybı, büzülme oranı ve a^* renk değişimi için kivi halkalarının kalınlığı, sakkaroz konsantrasyonu, ozmotik dehidrasyon işlem süresi ve güneş enerjisi ile kurutma süresinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Optimum kurutma koşulları seviyesi ozmotik çözelti derişimi için 12.7 %w/v, kivi kalınlığı için 4,06 mm, güneş enerjili kurutucuda kurutma süresi için 125 dakika ve ozmotik dehidrasyon işlem süresi için ise 70.9 dakika belirlenmiştir.

Kivi halkalarının kurutulmasında çok raflı güneş enerjili kurutucu kullanılması kurutulacak ürünün açıkta doğrudan güneşle kurutmaya göre yüksek sıcaklıklara çıkılmasını sağlamakla birlikte neminde az olmasından dolayı ürüne ısının nüfuzunun homojen olmasını mümkün kılarak daha kısa sürede verimli kurutulması sağlanır. Kurutma işlemlerinde deneysel parametrelerin optimizasyonu yapılarak uygulandığında ekonomik ve kalite açısından çok daha verimli sonuçlar elde edilebilmektedir. Kurutma, Mersin gibi hava neminin yüksek olduğu bölgelerde oldukça zor ve maliyetli bir prosestir. Bu sorunun çözümünde kullanılabilir olan ozmosolar dehidrasyon yönteminin kurutma koşulları ve parametreleri deneysel tasarım yardımıyla optimizasyonu yapılarak bunun sanayide kullanımının büyük ölçüde genişletilmesi sağlanabilir. Bu durum daha kısa sürede verimli bir kurutma işlemi imkânı sunmakla beraber prosesin imalat, bakım ve işçilik maliyetlerini büyük oranda azaltabilir.

KAYNAKÇA

- Aboud, A., (2013). Drying characteristic of apple slices undertaken the effect of passive shelf solar dryer and open sun drying. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(3):250-254.
- Ade Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A., and Knorr, D., (2002). Osmotic dehydration behavior of red paprika. *Food Engineering and Physical Properties*, 67(5):1790-1796.
- Aduke, R., and Simate, I., (2016). Greenhouse solar drying and thin layer drying of fresh kapenta. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(5):749-756.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., ve Öztürk, M., (2012). Fotovoltaik ve termal güneş enerjili sürekli bir kurutucuda domates kurutulması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(4):287-298.
- Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A., ve Şahin, M., (2013). Kızılötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4):767-775.
- Alwazeer, D., (2018). Kuru gıdaların rengini muhafaza etmeye yönelik yeni bir teknik: indirgen atmosferik kurutma. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(4):125-131.
- Ankara Ticaret Borsası (2020). Dünya’da ve Türkiye’de yaş meyve ve sebze üretimi. 23 Ocak 2022 tarihinde <https://ankaratb.org.tr/> adresinden erişilmiştir.
- Apaydın, N., (2007). *Aydın yöresinde incir kurutmada kullanılacak olan doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Askari, G.R., Emma-Djomeh, Z., and Mousavi, S.M., (2009). An investigation of the effects on drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration. *Drying Technology*, 27(7-8):831-841.
- Aydar, A.Y., (2017). *Statistical Approaches with Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. (V.Silva). Intech Publisher, Rijeka, Croatia, p.157-169.

- Belessiotis, V., and Delyannis, E., (2011). Solar drying. *Solar Energy*, 85(8):1665-1691.
- Benan, B., and Fuller, R.J., (2002). Natural convection solar dryer with biomass back up heater. *Solar Energy*, 72(1):75-83.
- Bilen, M., Ateş, Ç., ve Bayraktar, B., (2018). Yanıt yüzey yöntemi ile bir bor fabrikası atık suyu kimyasal arıtma sürecinde optimum koşulların belirlenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1):267-278.
- Bingöl, G., ve Devres, Y.O., (2010). *Gıda işlemede kurutma teknolojilerinin temel ilkeleri*. Kısaltılmış Doktora Tezi, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Ceylan, İ., (2002). *Güneş enerjili kurutma fırınında havası neminin kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Chauhan, O.P., Singh, A., Singh Asha., and Raju, P.S., (2011). Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal and sensory properties of apple slices. *International Journal of Food Properties*, 14(5):1037-1048
- Chavan, U.D., (2012). Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2):202-209
- Chandra, S., and Kumari, D., (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4):552-561
- Chemkhi, S., Zagrouba, F., and Bellagi, A., (2004). Drying of agricultural crops by solar energy. *Desalination*, 168(1-3):101-109
- Contreras, J.E., and Smyrl, T.G., (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, 14(4):310-314
- Cumhur, Ö., (2019). *Ön işlem uygulamalarının meyve ve sebze ürünlerinin kalite parametreleri üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Çay, V.V., Koçyiğit, F., Akyüz, M.K., and Koçyiğit, Ş., (2017). Drying systems with supported by solar energy and use in agricultural. *International Engineering Conference*, 1:302-314

Çelen, S., (2010). *Mikrodalga ve vakum kurutmada bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi*. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne

Çınar, İ., (2009). Ozmotik dehidrasyon, mekanizması ve uygulamaları. *Gıda*, 34(5):325-329

Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., and McCarthy, M.J., (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86(4):519-528

Diken, B., Eremkere, M., Demirtaş, G., Kayışoğlu, B., ve Aktaş, T., (2020). Kivi meyvesinin ince tabaka kurutma karakteristiklerinin ve sorpsiyon özelliklerinin saptanması. *El Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1):249-261

Ekechukwu, O., and Norton, B., (1999). Review of solar energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy conversion & Management*, 40(6):615-655

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2021). Bölgelere göre güneşlenme süreleri. 1 Mart 2021 tarihinde <https://enerji.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2021). Güneş enerjisi potansiyel atlası. 1 Mart 2021 tarihinde <https://gepa.enerji.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Erüenal, S., (2010). *Eriğin osmotik dehidrasyon parametrelerinin ve kurumaya etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Falade, O.K., and Igbeka, J.C., (2007). Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. *Food Reviews International*, 23(4):373-405

Fellows, P., (2000). *Food Processing Technology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, p.575.

Gıda Hattı Dergisi (2017). Gıdada kayıp ve atıklara karşı gıda hareketi başlatıldı. 19 Nisan 2021 tarihinde <https://gidahatti.com.tr/> adresinden erişilmiştir.

Gökayaz, L., (2019). *Çok raflı güneş enerjili kurutucu ile elma kurutma koşullarının optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarsus.

Güngör, A., ve Özbalta, N., (2019). *Güneş enerjili kurutma teknolojileri ve uygulamalarda gelişmeler*. Makine Mühendisleri Odası Bildirisi. s.1-25

- Hatami, M., Hadian, J., and Ghorbanpour, M., (2017). Mechanisms underlying toxicity and stimulatory role of single walled carbon nanotubes in *Hyoscyamus niger* during drought stress simulated by polyethylene glycol. *Journal of Hazardous Material*, 324:306-320
- Hawkes, J., and Flink, J.M., (1987). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(4):265-284
- Huselstein, S., (2016). *Development of a system model for an indirect passive solar dryer with experimental validation*. Yüksek Lisans Tezi, Rochester Institute of Technology, Rochester.
- İspir, A., (2006). *Kayısının osmotik dehidrasyonu ve kurutmaya etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kamiloğlu, A., Kantar-Kutlu, N., ve Elbir, T., (2021). Etlerde osmotik dehidrasyon uygulamaları. *European Journal of Science and Technology*, 21:534-542
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A., and Jain, A., (2016). Thermal energy storage based solar drying systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34:86-89
- Khuri, A.I., and Mukhopadhyay, S., (2010). Response surface methodology. *Wiley Interdisciplinary Reviews*, 2(2):128-149
- Koç, B., ve Kaymak-Ertekin, F., (2009). Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda*, 35:63-70
- Koç, E., ve Şenel, M.C., (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639):32-44
- Lee, J.S., and Lim, L.S., (2011). Osmo-dehydration pretreatment for drying of pumpkin slice. *International Food Research Journal*, 18(4):1223-1230
- Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F., and Oikonomov, C.K., (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air drying kinetics and their quality characteristic. *Journal of Food Engineering*, 69(3):307-316

Martinez, S., Perez, N., Carballo, J., and Franco, I., (2013). Effect of blanching methods and frozen storage on some quality parameters of turnip greens (“grelos”). *Food Science and Technology*, 51(1):383-392

Milli Eğitim Bakanlığı (2011). Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma. 9 Mart 2021 tarihinde <http://megep.meb.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., and Desmarchais, L.P., (2011). Evolution of porosity, shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *Food Science and Technology*, 44(4):883-890

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2021). Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli. 2 Mart 2021 tarihinde <https://mgm.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D., and Vazquez, G., (2007). *Swiss of Food Science of Technology*, 40(9):1507-1514

Nowakunda, K., Andres, A., and Fito, P., (2004). Osmotic dehydration of banana slices as a pretreatment for drying processes. *In the International Drying Symposium*, 14:2077-2083

Özler, S., Ergüneş, G., ve Tarhan, S., (2005). Mısırdaki farklı ön işlemlerin kuruma hızına etkisi. *On Dokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2):160-166

Pandya, R., and Yadav, C., (2014). Study on effect of pretreatments and microwave drying on banana chips. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(7):4-10

Parikh, D., (2015). Vacuum drying: basic and application. *Chemical Engineering Access Intelligence LLC*, 122(4):48-54

Prakash, O., and Kumar, A., (2013). Historical review and recent trends in solar drying systems. *International Journal of Green Energy*, 10(7):690-738

Ramaswamy, H., and Bekele, Y., (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *European Journal of Applied Science and Technology-Novus*, 1(1):1-15

Sadıkoğlu, H., ve Özdemir, M., (2003). Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri. *TÜBİTAK-MAM-Gıda Bilimi ve Teknolojisi Araştırma Enstitüsü*, 28(6):643-649

Sarsılmaz, C., (1998). *Güneş enerjisi destekli kayısı kurutma sistemi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H., ve Yılmaz, A., (2014). Küçük ölçekli sera tipi bir kurutucuda kırmızı biber kurutulmasının termoeconomik analizi. *Politeknik Dergisi*, 17(4):143-152

Taiwo, A.K., Eshtraghi, N., Ade-Omowaye , B.I.O., and Knorr, D., (2003). Osmotic dehydration of strawberry halves. *International Journal of Food Science and Technology*, 38(6):693-707

Taiwo, K.A., and Adeyemi, O., (2009). Influence of blanching on the drying and rehydration of banana. *African Journal of Food Science*, 3(10):307-315

Tarım ve Orman Bakanlığı (2021). Tarım ürünleri piyasası. 4 Mart 2021 tarihinde <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/> adresinden erişilmiştir.

Torregiani, D., (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26:59-68

Torregiani, D., and Bertulo, G., (2004). Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. *Advances in Food and Nutrition Research*, 48(1):74-238

Yıldız, Z., and Sarımeşeli, A., (2015). Optimization of osmotic dehydration of organic red paper using response surface methodology. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 7(4):19-33

Zırhlıoğlu, O., (2021). *Kayısıya uygulanan ultrases destekli vakum ozmotik dehidrasyon ön işlem koşullarının yanıt yüzey metodu ile optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi Ortak Yüksek Lisans Programı, Tunceli.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Furkan Sabri GENCER

E-mail :

Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2015-2019
Yüksek Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2020-2022

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

Yıldız Z., Gencer S.F., Kivi Halkalarının Ozmotik Dehidrasyon ve Güneş Enerjili Kurutucu ile Kurutulması, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (Baskıda)