

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK RAFLI GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCU İLE ELMA  
KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU**

**Leyla GÖKAYAZ**

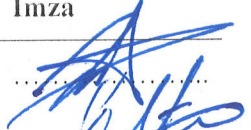
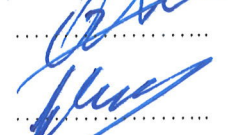

**Danışman  
Doç. Dr. Zehra YILDIZ**

**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
2018-1-TP2-2840 BAP PROJESİ**

TARSUS-2019


## ONAY

Leyla GÖKAYAZ tarafından Doç. Dr. Zehra YILDIZ danışmanlığında hazırlanan “Çok Rafli Güneş Enerjili Kurutucu ile Elma Kurutma Koşullarının Optimizasyonu” başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 24/06/2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Doç. Dr. Zehra YILDIZ	
Üye	Doç. Dr. Berdan ÖZKURT	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE	

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.../06.../2019..tarih ve 35.../111...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra YILDIZ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ETİK BEYAN

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Tarsus Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Tarsus Üniversitesi'ne devrettiğimi beyan ederim.

## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Tarsus University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written information and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Tarsus University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Tarsus University.

24 Haziran 2019 / 24 June 2019

İmza / Signature

Leyla GÖKAYAZ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
KISALTMALAR ve SİMGELER	vi
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	3
2.1. Kurutma İşlemi	3
2.1.1. Gıda Kurutma Yöntemleri	4
2.1.1.1. Dondurarak Kurutma	4
2.1.1.2. Sıcak Havalı Kurutma	5
2.1.1.3. Vakumla Kurutma	8
2.1.1.4. Mikrodalga ile Kurutma	9
2.1.1.5. İnfrared (Kızılötesi Işınım) ile Kurutma	9
2.1.1.6. Güneş Enerjisi ile Kurutma	10
2.2. Güneş Enerjili Kurutucular	13
2.2.1. Pasif Kurutucular	16
2.2.1.1. İndirekt Tip (Dolaylı) Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	17
2.2.1.2. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	18
2.2.1.3. Kabin Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	18
2.2.1.4. Sera Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular	19
2.2.1.5. Birleşik (Hibrit) Tip Pasif Kurutucular	19
2.2.2. Aktif Kurutucular	20
2.2.2.1. İndirekt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri	20
2.2.2.1.1. Doğrudan Absorpsiyonlu Kurutucular	20
2.2.2.1.2. Güneş Kolektörlü Çatı- Duvar Kurutucular	20
2.2.2.1.3. İç Emici Hazneli Sera Tipli Kurutucular	22
2.2.2.2. Birleşik (Hibrit) Tip Aktif Kurutucular	22
2.3. Güneş Enerjili Kurutucu İmalatında Kullanılan Malzemeler	23
<b>3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b>	25
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	31
4.1. Materyal	31
4.1.1. Kurutulacak Ürün	31
4.1.2. Kurutma Ortamı	31
4.1.3. Çok Rafı Güneş Enerjili Kurutucu	31
4.1.4. Denemelerde Kullanılan Ölçü Aletleri	33
4.2. Yöntem	34
4.2.1. Yanıt Yüzey Yöntemi	36
<b>5. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	38
5.1. Yanıt Yüzey Analizi	43
5.2. Yanıt Yüzey Yönteminin Grafikselsel Analizi	49
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

## ÖZET

### ÇOK RAFLI GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCU İLE ELMA KURUTMA KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

Ülkemizde üretim payı yüksek olan meyvelerden biri olan elma; taze tüketiminin yanı sıra gıda sektöründe elma suyu, elma sirkesi, marmelat, elma cipsi gibi işlenmiş ürün olarak da sıklıkla kullanılmaktadır. Gıdaların işlenerek raf ömrü uzun ürün elde edilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri kurutma işlemidir. Bu tez çalışmasında da Türkiye’de üretimi en çok yapılan elma çeşitlerinden biri olan Starking Delicious, çok raflı güneş enerjili kurutucuda kurutulmuştur. Beş raftan oluşan kurutucuda, her rafta 300 dakika olarak belirlenen kuruma süresi boyunca 30 dakikada bir ağırlık ve hacim ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ilk verilere göre denemelerin yapılacağı raf belirlenmiştir. Ayrıca çok raflı güneş enerjili kurutucuda yapılan kurutmanın yanı sıra gölgede ve direkt güneş altında da kurutma yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kurutma koşullarının optimizasyonu, Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılarak belirlenmiştir. Kurutma parametreleri dilim kalınlığı, kurutma süresi ve taze ürün miktarı olarak seçilmiştir. Optimizasyonu yapılacak yanıtlar ise nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı olarak belirlenmiştir. Kurutma, mevsim şartları göz önüne alınarak Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yapılmıştır. Ön denemeler sonucunda üç faktörlü merkezi kompozit dizayn (CCRD) kullanılmış; kurutma süresi 58.6- 361 dakika (dakika), yaş elma dilim miktarı 32.7- 167 gram (g) ve elma dilim kalınlığı ise 3.98- 9.02 milimetre (mm) aralığında uygulanarak deneysel tasarım oluşturulmuş ve deneyler yapılmıştır. Elde edilen verilerin varyans analizi (ANOVA) sonucunda ikinci dereceden modeller oluşturulmuş ve bu modellerin analitik çözümleri yapılarak optimum kurutma koşulları bulunmuştur. Maksimum nem kaybı ve büzülme oranı, minimum kuruma hızı için kurutma süresi 159.042- 274 dakika, taze ürün miktarı 92.86- 105.72 g ve elma dilim kalınlığı ise 6.48- 6.667 mm olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Güneş Enerjili Kurutucu, Varyans Analizi, Yanıt Yüzey Metodu

**Danışman:** Doç. Dr. Zehra YILDIZ, Tarsus Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus-Mersin.

## ABSTRACT

### OPTIMIZATION OF APPLE DRYING CONDITIONS WITH MULTI-SHELF SOLAR POWERED DRYER

Apple is one of the fruits with high production rate in our country. In addition to its fresh consumption, it is also frequently used as processed product such as apple juice, cider vinegar, marmalade and apple chips in the food sector. Drying process is one of the methods that commonly used to obtain long product shelf life by processing foods. In this thesis, the Starking Delicious which is the most produced apple kind in Turkey has been dried by using solar powered multi-shelf dryer. The dryer consisting of five shelves, weight and volume measurements were carried out every 30 minutes during the drying period determined as 300 minutes per shelf. According to the preliminary data, the shelf where the experiments will be carried out was determined. In addition to drying in a multi-shelf solar dryer, the results were compared by drying under shade and direct sunlight. Optimization of drying conditions in a multi-shelf solar dryer was determined by using Response Surface Methodology (RSM). Slice thickness, drying time and amount of fresh product were selected as a drying parameter. The responses to be optimized were determined as moisture loss, drying rate and shrinkage ratio. Considering seasonal conditions drying was done in June, July and August. At the end of the preliminary test, three-factor central composite design (CCRD) was used. The drying time, the amount of fresh apple slices and the apple slice thickness were determined as 58.6- 361 minutes (min), 32.7- 167 grams (g) and 3.98- 9.04 millimeters (mm), respectively. Experiments were conducted by creating experimental design. As a result of variance analysis (ANOVA) of the obtained data, second order models were formed and analytical solutions of these models and optimum drying conditions were found. The maximum moisture loss and shrinkage rate, the drying time for minimum drying rate is 159.042- 274 min, the fresh product quantity is 92.86- 105.72 g and the apple slicing thickness is 6.48- 6.667 mm.

**Keywords:** Drying, Solar Dryer, Analysis of Variance, Response Surface Methodology

**Advisor:** Assoc. Prof. Zehra YILDIZ, Department of Energy Systems Engineering, Tarsus University, Tarsus-Mersin.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamda desteklerini esirgemeyen, akademik ve sosyal anlamda her türlü bilgisini paylaşan değerli Tez Danışman hocam Doç. Dr. Zehra Yıldız'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamı "2018-1-TP2-2840" kodlu yüksek lisans tez projesi olarak kabul eden ve maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim.

Katkıları ve değerli destekleri için Doç. Dr. Berdan Özkurt hocama teşekkür ederim.

Kurutucunun üretim aşamasında büyük desteği olan Ahşap Mobilya sahibi Turhan Gündüz Ak'a ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Desteklerini her an yanımda hissettiğim değerli ailem; babam Ali İhsan Gökayaz, annem Hatice Gökayaz ile kardeşlerim Gülten Gökayaz ve Aylin Gökayaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nin her bir üyesine iş birliği, desteği, samimiyeti ve güler yüzleri için teşekkür ederim.

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Birtakım meyvelerin emniyetli kurutma sıcaklıkları ile yüzde nem kayıpları	3
Tablo 2.2. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneş enerji potansiyeli	11
Tablo 5.1. Değişkenlerin gerçek değerleri ve kodları	43
Tablo 5.2. Deney veri seti	44
Tablo 5.3. YYY için Regresyon parametrelerinin ANOVA değerleri	45
Tablo 5.4. Nem kaybına ait ANOVA değerleri	48
Tablo 5.5. Büzülme oranına ait ANOVA değerleri	48
Tablo 5.6. Kuruma hızına ait ANOVA değerleri	49
Tablo 6.1. Belirlenen Optimum Kurutma Koşulları	56



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Konveyör tipli kurutucu	6
Şekil 2.2. Püskürtmeli kurutma sistemi	7
Şekil 2.3. Akışkan yataklı kurutma sistemi	8
Şekil 2.4. Elektromanyetik spektrum	10
Şekil 2.5. Yıllık güneş ışınımı dağılımı	11
Şekil 2.6. Yıllık ortalama günlük güneşlenme süreleri	12
Şekil 2.7. Doğal kurutma	13
Şekil 2.8. Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması	14
Şekil 2.9. Direkt tip kurutucular	15
Şekil 2.10. Dolaylı Tip Kurutucular	15
Şekil 2.11. Doğrudan, direkt ve hibrit tip kurutucuların sınıflandırılması	16
Şekil 2.12. İndirekt tip pasif güneş enerjili kurutucu	17
Şekil 2.13. Direkt tip doğal dolaşimli güneş enerjili kurutucu	18
Şekil 2.14. Kabin tipli direkt pasif güneş enerjili kurutucular	19
Şekil 2.15.a. Çatı kolektörlü aktif güneş enerjili kurutucu	21
Şekil 2.15.b. Duvar kolektörlü aktif güneş enerjili kurutucu	21
Şekil 2.16. İç emici hazneli sera tipli aktif güneş enerjili kurutucu	22
Şekil 2.17. Hibrit Tip Aktif Kurutucu	23
Şekil 2.18. Güneş kolektörlerinde akış tipleri	24
Şekil 4.1. Çok raflı güneş enerjili kurutucunun şematik görünümü	32
Şekil 4.2. Çok raflı güneş enerjili kurutucu	33
Şekil 4.3. Analitik Hassas Terazı	33
Şekil 4.4. Dijital Kumpas	34
Şekil 4.5. CEM DT- 802 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı	34
Şekil 4.6. Ön işlemler ve kurutma	35
Şekil 5.1. Kurutucu, gölge ve güneşte yapılan kurutmada zamanla sıcaklık değişimi	38
Şekil 5.2. Kurutucu, gölge ve güneşte yapılan kurutmada zamanla nem değişimi	39
Şekil 5.3. Elma dilimlerinin zamanla nem kaybı değişimi	40
Şekil 5.4. Elma dilimlerinin zamanla kuruma hızı değişimi	40
Şekil 5.5. Elma dilimlerinde zamanın büzülme oranına etkisi	41
Şekil 5.6. Kurutucu içerisindeki yaş ve kuru ürün	42
Şekil 5.7. Güneş altında yapılan işlemde yaş ve kuru ürün	42
Şekil 5.8. Gölgede yapılan işlemde yaş ve kuru ürün	42
Şekil 5.9. Deneysel ve tahmini değerlere ait nem kaybı değişimi	46
Şekil 5.10. Deneysel ve tahmini değerlere ait kuruma hızı değişimi	47
Şekil 5.11. Deneysel ve tahmini değerlere ait büzülme oranı değişimi	47
Şekil 5.12. Elma dilim kalınlığı ve ağırlığının nem kaybına etkisi	50
Şekil 5.13. Elma dilim kalınlığı ve ağırlığının kuruma hızına etkisi	50
Şekil 5.14. Elma dilim kalınlığı ve ağırlığının büzülme oranına etkisi	51
Şekil 5.15. Kuruma süresi ve elma dilim ağırlığının nem kaybı değerine etkisi	52
Şekil 5.16. Kuruma süresi ve elma dilim ağırlığının kuruma hızı üzerine etkisi	52
Şekil 5.17. Kuruma süresi ve elma dilim ağırlığının büzülme oranı değerine etkisi	53
Şekil 5.18. Kurutma süresi ve elma dilim kalınlığının nem kaybı üzerine etkisi	54
Şekil 5.19. Kurutma süresi ve elma dilim kalınlığının büzülme oranı üzerine etkisi	54

## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
FAO	Food and Agriculture Organization
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TİSVA	Türkiye İsrافی Önleme Vakfı
°C	Santigrat derece
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
GHz	Gigahertz
m	Metre
MW	Megawatt
h	Saat
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
kWh	Kilowatt
m <sup>2</sup>	Metrekare
sn	Saniye
kHz	Kilohertz
ANOVA	Analysis of Variance
dk	Dakika
ml	Mililitre
cm	Santimetre
LCD	Liquid Crystal Display
g	Gram
YYY	Yanıt Yüzey Yöntemi
Y <sub>WL</sub>	Water Loss
Y <sub>DR</sub>	Drying Rate
Y <sub>SR</sub>	Shrinkage Ratio
P	Olasılık Değeri
3D	Three-dimensional

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan insan nüfusu, sınırlı olan enerji kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yaratmış ve böylece endüstriyel uygulamalarda doğal enerji kaynaklarının kullanımını vazgeçilmez kılmıştır. Bununla birlikte fosil yakıt kullanımının çevreye olan negatif etkileri hava sıcaklıklarının artmasına neden olarak küresel iklim değişikliklerini de beraberinde getirmiştir. Artan karbon dioksit miktarının atmosferde birikmesiyle oluşan küresel ısınma nedeniyle artan su seviyesi verimli arazilerin gün geçtikçe yok olmasına sebep olmaktadır. Fosil yakıt atıklarından meydana gelen çevre kirliliklerini ve meydana getirdiği olumsuzlukları en aza indirmek ve gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için yenilenebilir kaynakların kullanımı gün geçtikçe büyük önem kazanmaktadır [1-3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en başında yer alan güneş enerjisi, Güneş'in yapısında bulunan hidrojen atomlarının tepkimeler sonucu helyum atomuna dönüşmesiyle meydana gelen kütle farkından dolayı açığa çıkan büyük bir enerjidir. Canlı hayatının devamı için gerekli olan Güneş bilinen en temiz ve sürekli bir kaynak olmasının yanı sıra yağış, rüzgâr, okyanus akıntıları ve fotosentez gibi pek çok doğal döngünün oluşumunu ve devamlılığını sağlayan bir enerji kaynağıdır [4-5].

Tarım her dönemde insanlık için önemli ve gerekli faaliyetler arasında yer almıştır. Tarımsal faaliyetlerin büyük kısmını yaş sebze ve meyve üretimi kapsamaktadır. Yaş sebze ve meyve endüstrisi canlı hayatını doğrudan etkilemekle birlikte ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlayan bir alandır. Türkiye konumunun verdiği avantaj gereği biyolojik çeşitliliği fazla olan bir ülke olmasıyla birlikte geniş ve bereketli topraklara sahip bir tarım ülkesidir. 2017 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre; Türkiye'de toplam 233 milyon 850 dekarlık tarım alanı bulunmaktadır ve meyve üretim alanları toplamının yaklaşık %14'lük kısmını oluşturmaktadır [6-7].

Tarımda yaygın olarak üretimi yapılan elma soğuk-ılıman koşullarda yetişen bir meyvedir. Alan olarak bütün meyve sahalarının %5.3'ünü karşılamaktadır ve Türkiye genelinde de yetiştiriciliği yapılmaktadır. En çok Akdeniz, Orta ve Batı Anadolu ile Ege Bölgesinde yaygın olarak üretimi gerçekleştirilmektedir [8]. Dünyada yaş meyve ihracatında üçüncü olan elma 7.1 milyar dolar ihracat ile %11.5'lik bir paya sahiptir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2014 verilerine göre ise yaş sebze ve meyve üretiminde ilk on ürün içerisinde yer alan elma üretimi; dünya genelinde 84,630,275 ton iken Türkiye olarak elma üretimindeki payımız %3 ile 2,480,444 tondur [6, 9]. TÜİK 2017 raporuna göre ülkemizde toplam 3,032,164 ton elma üretimi yapılmıştır ve üretimin %40'ını Starking türü oluştururken, %26.3'ünü Golden, %6.35 'ini Amasya, %4.6'sını ise Grannysmith çeşidi elma oluşturmaktadır. Diğer üretilen elma çeşitlerinin oranı ise %23'tür [10]. TÜİK Konya Bölge Müdürlüğü'nün yürüttüğü "Elma Üretimi, 2016" isimli çalışmaya göre ülkemizde en fazla elma ağacı sayısı Karaman'da olmasına rağmen birinci sırayı %20.4'lük üretim oranıyla Isparta almıştır. Karaman elma üretiminde %13.6'luk bir payla ikinci olurken, Niğde ise %12.9

ile üçüncü olmuştur [11]. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'ndan elde edilen verilere göre ise; 2017'de 3,032,164 ton elma üretimi yapılarak, 2016 yılı verilerine göre %4 artış gözlemlenmiştir [12].

İstanbul Kuru Meyve ve Mamulleri İhracatçıları Birliği'nin 1 Eylül 2017- 31 Ağustos 2018 arasındaki verilerine göre; Türkiye'nin toplam ihracatı içerisinde kuru meyve ve mamullerinin payı %0.85 ile 1,336,759 bin dolardır. Türkiye geneli kuru meyve ve mamullerinin ihracatında ürün bazında yaklaşık %87'lik kısmını çekirdeksiz kuru üzüm, kuru incir ve kuru kayısı oluşturmaktadır. Kuru elma ihracatı ise 4530 ton ile %0.90'lık bir paya sahiptir [13].

Türkiye'de yetişen 49 milyon tonluk sebze ve meyvenin yaklaşık %25- 40'luk bir bölümü üretim, sevkiyat, satış ve tüketim gibi aşamalarda ziyan olmaktadır. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na göre; Türkiye'nin sebze ve meyve ihracatının dört katı değerinde olan 11.6 milyon tonluk kısmı atık hale gelmekte ve 100 milyar TL'lik sebze ve meyve ticaretinden de minimum 25 milyar TL'lik zarara uğradığı tahmin edilmektedir [14].

Meyve ve sebzelerin güneş enerjisi ile kurutulması, geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan önemli uygulamalar arasındadır. Gıdaların kurutma işlemlerinin en önemli amacı; ürün içerisinde meydana gelebilecek kimyasal tepkimeleri azaltmak ya da herhangi bir reaksiyon oluşumunu önlemek amacıyla, yapıda bulunan nemin fiziksel olarak uzaklaştırılmasıdır. Ürünün tat ve besin değerleri gibi niteliklerinin korunarak uzun süre depolanabilmesi yapıdaki nem içeriğinin en aza indirgenmesiyle sağlanır. Taze gıda ürünlerinin, uzun süre bozulmaya uğramadan depolanabilmesi için çeşitli kurutma teknikleri bulunur ve bunlar arasında sıcak hava ile kurutma, vakumda kurutma, güneş kolektörleri yardımıyla kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma gibi yöntemler sayılabilir [1].

Türkiye İsrافی Önleme Vakfı (TİSVA) israfı; lüzumsuz, gayesiz ve boş yere yapılan her çeşit eylem ve harcamalar olarak tanımlamaktadır [15]. Üretilen yaş sebze ve meyvelerde de yıl içerisinde pek çok nedenle kayıplar meydana gelmektedir. Meyve üretiminde yıllık üretim miktarının %35'inin kayba uğradığı tahmin edilirken, sebze ise bu kaybın %40'a denk geldiği öngörülmektedir. Dünyanın birçok yerinde ve değişik sebeplerle, üretilen gıdaların üçte biri hiç tüketilememektedir. Bunlar arasında nakliye ve depolama eksikliği sebebiyle meydana gelen kayıplar ile ihtiyaç ve istenilenden daha fazla tedarik sağlamak gibi nedenler sayılabilir. Tarihsel açıdan üretimin bol olduğu ve bu sebeple gıda kayıplarına önem verilmeyen dönemler olmuştur. Ancak küresel nüfus artışı ve iklimde meydana gelen değişimler nedeniyle günümüzde bu düşünce yapısı değişerek yerini gıda kayıplarını ve israfı önlemek için yapılan çalışmalara bırakmıştır [16,17].

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. Kurutma İşlemi

Sebze ve meyveler bünyelerinde bulundukları aşırı miktardaki nem seviyesinden dolayı hızlı bozulmaya uğrayan, herhangi bir işlem görmeden uzun sürelerde depolanması mümkün olmayan ürünlerdir. Bu sebeplerle, içerdikleri %60-80'lik nem oranının %10-25 seviyelerine düşene kadar kurutulmalarına ihtiyaç duyulmaktadır [16]. Tablo 2.1.'de bazı meyvelerin doğru bir şekilde ve herhangi bir bozulmaya uğramadan uzun süre saklanabilmeleri için uygun kurutma sıcaklıkları ile bu meyvelerden giderilmesine ihtiyaç duyulan nem miktarları verilmiştir. Tablo 2.1. verilerine göre iyi kalitede bir ürün için nem kayıplarının %50- 65 değerlerinde olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutma sıcaklıklarının ise 63- 77 °C aralığında uygulanması gerekmektedir [18]. Kurutulması istenilen gıdanın; kurutma işlemi sonrasında içerdigi nem miktarı, ürün çeşidine göre farklılık göstermektedir.

**Tablo 2.1.** Birtakım meyvelerin emniyetli kurutma sıcaklıkları ile yüzde nem kayıpları.

Ürün	% Nem kaybı	Sıcaklık (°C)
Armut	60	63
Elma	60	74
Şeftali	55-60	66
Kayısı	60	71
Erik	50	74-77
Muz	65	70
Üzüm	60-65	71

Kurutma, katı halde bulunan ürün içeriğinde yer alan suyun, hava aracılığıyla uygun seviyelere getirilmesi işlemlerini ifade etmektedir. Gıdalara uygulanan kurutma işlemleri, ürünlerin aroma, koku ve besin değerleri yok olmadan raf ömrü uzun olan ürünlerin elde edilmesi amacıyla yapılmaktadır [19].

Taze gıda ürünleri, çeşitli yöntemler sayesinde bozulmaya uğramadan daha uzun sürede muhafaza edilebilmektedir. Bunun için dondurma, kimyasallarla işlemden geçirme, gaz kontrolü yapılan ortamlarda depolama, ultraviyole ve radyoaktiviteden faydalanma gibi yöntemlerle koruma sağlanmaktadır. Ancak bu yöntemler arasında en eski ve geçerli yöntem kurutma işlemidir. Gıdaların kurutulmasıyla saklanması temel amaçlar biyolojik ve kimyasal bozunumların oluşumunu engellemek ve ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve böylece her mevsim aynı ürünün bulunabilirliğini ve kullanımını artmasını sağlamaktır [20]. Bu nedenle son zamanlarda kurutma üzerine devam eden

çalışmalar çoğunlukla farklı ürün gruplarında optimum kurutma koşullarının tayin edilmesini sağlamak, ürünlerin kuruma süresini azaltmak ve farklı kurutucu çeşitlerinin geliştirilip iyileştirilmesine katkı sağlamak için yapılmaktadır. Ayrıca kurutma işlemleri boyunca enerji tüketim miktarlarını en aza indirmek de önemli bir amaçtır [21].

### 2.1.1. Gıda Kurutma Yöntemleri

Gıda kurutma işlemleri eskiden beri kullanılan bir yöntem olup tüketilen enerji miktarının düşürülerek daha yüksek kalitede ürün eldesi sağlayan, yeniliklere açık işlemlerdir. Bu tür sistemler raf ömrü uzun ürünlerin üretilmesinde ve yeni ürün çeşitlerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Örneğin ürün çeşitliliği bakımından kurutulmuş meyveler ara öğünlerde atıştırılabilir olarak, hazır bisküvi ve kek karışımlarında, tahıl ve kahvaltılık gevreklerde, çikolata ve pudring karışımları içerisinde kullanım alanı bulmaktadırlar. Kurutulmuş sebzeler ise toz hale getirilerek hazır çorbalarda, bulgur ve pilav karışımlarında; et, balık, çiğköfte ve köfte harçlarında, kuş ve evcil hayvan yemlerinde ve sebze aroması veya koku giderici olarak kullanılmaktadırlar [1].

Gıdalara uygulanan kurutma işleminin pek çok amacı vardır ve bunların en başında geleni ürünün bozulmaya uğramadan uzun süre depolanabilmesidir. Gıda içerisinde bulunan nem, herhangi bir mikroorganizmanın oluşması veya farklı reaksiyonların oluşmasını önleyecek yeterli seviyeye çekilerek ürünün uzun süre muhafaza edilmesine olanak verir. Ayrıca nem miktarının düşmesiyle birlikte aroma ve besin değeri gibi kalite özellikleri de korunmuş olur. Kurutmanın bir diğer önemli amacı da ürün hacmini azaltıp gıda maddesi bileşenlerinin taşınması ve depolanmasındaki verimliliği arttırmaktır. Kurutma; kâğıt, kereste sanayi ile kimya ve gıda endüstrisinde de sıklıkla kullanılan proseslerin başında yer almaktadır [22].

#### 2.1.1.1. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma; liyofilizasyon işlemi olarak da adlandırılır. Düşük basınç altında donmuş ürün içerisinden buz kristali halindeki nem, süblimasyon ile uzaklaştırılır [23]. Liyofilizasyon işlemi; ürünün dondurulması, birincil ve ikincil kurutma olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir.

İlk aşamada ürünün yapısında bulunan çözücünün (suyun) tamamı donmuş hale getirilene kadar soğutma uygulanır [24]. Dondurma işleminde ürünün yapı, şekil ve içeriğindeki buz kristallerinin dağılımı, elde edilecek son ürün kalitesine etki edeceğinden oldukça önemlidir [1]. Birinci kurutma safhasında; düşük basınçta donmuş ürüne süblimasyon işlemi uygulanır. Süblimasyon işlemi buhar derişimi farkı ile gerçekleştirilir. Üründen su buharının sürekli olarak uzaklaştırılması vakum yardımıyla sağlanır. Son aşama olan ikincil kurutma, bağlı (donmuş halde olmayan) suyun ürün

içerisinden giderilmesi işlemidir. Bu işlem birincil kurutmanın hemen ardından başlar. Birincil kurutmada donmuş haldeki suyun süblimasyonu gerçekleştirilirken, ikincil kurutma aşamasında ise sadece donmamış suyun üründen uzaklaştırılması işlemi uygulanır [23].

Yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen ürünlerin besin değeri ve son ürün kalitesi bakımından diğer yöntemlere göre kıyaslandığında en iyi kurutma yöntemidir. Dondurarak kurutma yönteminde işlemlerin düşük sıcaklıklarda yapılması, havanın dikkate alınmayacak ölçüde miktarının az oluşu ürünün kimyasal reaksiyonlara uğrayarak bozulmasını engellemektedir. Ayrıca bu yöntemle ürünlerin besin değerleri ile aroma ve lezzet değerleri de önemli ölçüde korunmuş olur. Üründe meydana gelen büzülme miktarının az oluşu, görünüm ve şekillerinde büyük değişikliklerin olmayışı bu yöntemin önemli avantajlarından. Genellikle toz içecekler ile hazır toz çorbaların üretiminde kullanılmakla birlikte diğer yöntemlerle üretilmeyen ilaçlar, aşı ve antibiyotikler gibi mübadele değeri yüksek ürünlerin imalinde de kullanılmaktadırlar [1, 16, 24].

### 2.1.1.2. Sıcak Havalı Kurutma

Sıcak havalı kurutma sistemlerinde yenilenebilir kaynaklar ve geleneksel yöntemlerle edinilen ısı ile ortamdaki hava sıcaklığının artması sağlanarak gıda maddesinden nemin buharlaşması sağlanır [16]. Bu sistemlerde kurutma; gıda yüzeyinde bulunan nemin evaporasyonu ve ürün içerisinde yer alan nemin yüzey kısımlarına aktarılarak buharlaştırılması olmak üzere iki aşamalı olarak yapılır. Kurutma işleminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli nitelik yakıt masraflarıdır. Ekonomik kurutma koşulları oluşturmak için kurutma odasının ve sıcak havanın taşınımında kullanılan alanların yalıtımının iyi yapılması ve hava neminin sürekli olarak denetlenmesi gerekmektedir. Sıcak havalı kurutmada, son üründe istenilen nem oranına ve ürün yapısına göre farklı sistemlerle kurutma yapılabilir. Bu sistemler kabin, tünel, konveyör, sprey ve akışkan yataklı kurutucular olarak sayılabilir [1].

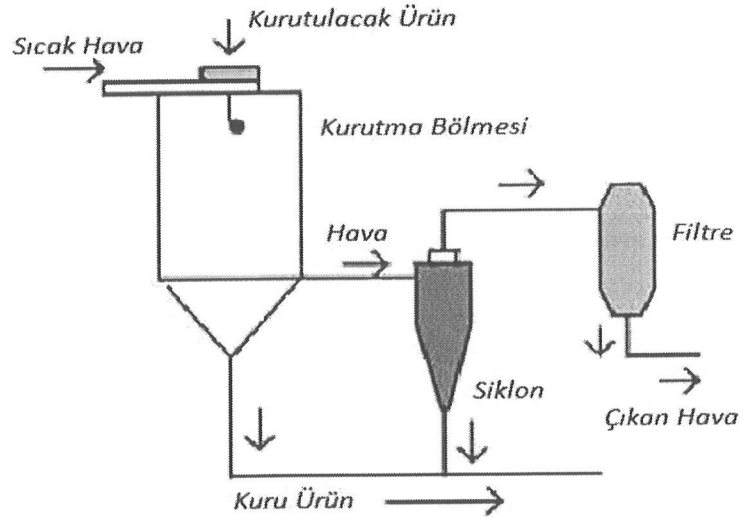
Kabin kurutma sistemlerinde; nemi uzaklaştırılacak ürün, raf şeklinde oluşturulmuş tepsilere yerleştirilir [25]. Tepsiler birbiri ardınca alt alta gelecek şekilde dizilerek kurutma işleminin yapılacağı kabin tipli odalara yerleştirilir. Kurutma sırasında raflardan geçen havanın 0,1'i ile 0,2'si taze havadır, geriye kalan kısım ise sistemde dolaşan havadan oluşmaktadır. Kurutma işlemi bitene kadar tepsiler hareket ettirilmeden sabit bir şekilde tutulur. Bu tip kurutucularda kurutma işlemi için verilen sıcak havanın tepsiler üzerinden geçişi, paralel ve çapraz olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir [19,26]. Kabin kurutma sistemlerinde; kurutma bölmesinin sade olmasıyla birlikte yükleme işlemlerinin kolay uygulanabilirliği işçilik masraflarını da en aza indirmektedir [5].

Tünel kurutucular, fanlar aracılığıyla sıcak havanın sirkülasyonunu sağlayan bölmelerden oluşmuş kurutuculardır. Kurutucu içerisinde bulunan ürünün devamlı bir şekilde ya da belirli aralıklarla yer değiştirmesi sağlanarak kurutma yapılır. Çıkan kuru ürün eldesini arttırmak amacıyla sisteme fazla yükleme yapılması kurutma süresini arttıracığından avantajlı bir iş değildir [27]. Tünel kurutucular





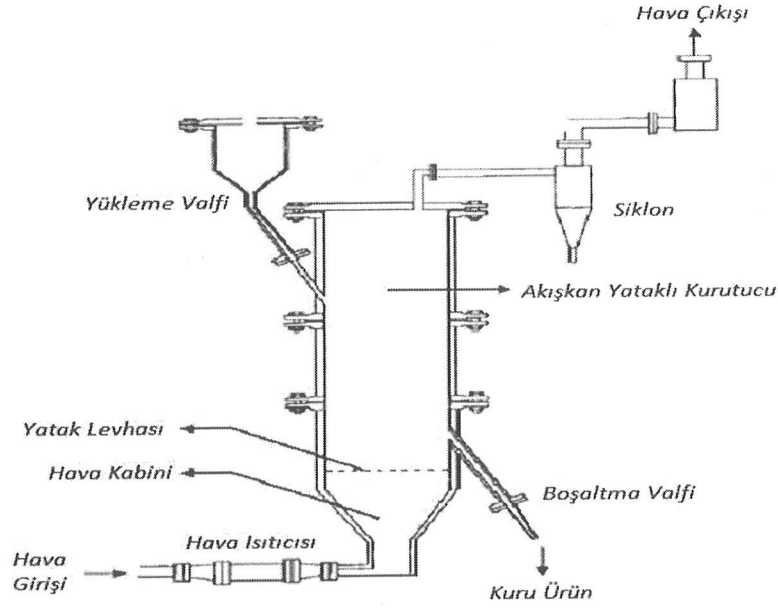
yapılması şeklindedir. Meydana gelen karışım sarmal bir yol izleyerek aşağıya doğru hareket eder, buharlaşma meydana gelir, buhar sistemden uzaklaştırılır ve kuruyan ürün alt tabakadan alınır [30].



Şekil 2.2. Püskürtmeli Kurutma Sistemi

Püskürtmeli kurutma sistemleri özellikle ısıya karşı toleransları düşük olan ve yüksek sıcaklıklarda bozulmaya uğrayabilecek gıdaların üretilmesinde kullanılır. Örneğin bu yöntem süt tozlarında, bebek mamalarında, toz şeklindeki meyve sularının üretilmesi ve maya yapımı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [31].

Akışkan yataklı kurutma sistemleri, çoğunlukla akışkanlaştırılmaya müsait olan yaş taneciklerden nemin uzaklaştırılması işlemlerinde kullanılır. Akışkanlaştırma prosesi; katı granüllere bir gaz yardımıyla akıcı özellik verme işlemidir. Bu yöntemde katı partiküllerin, yer çekimini aşacak ölçüde basınçlı havaya tabi tutularak asılı halde kalması istenir. Akışkanlaştırma gazı ile kurutulacak tanecikler arasındaki ısı konveksiyon ile iletilir. Bu kurutucularda kaliteli kuru ürün eldesi için tanecik karışımlarının iyi yapılması ve ürün üzerinden geçirilecek gaz hızının iyi ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Akışkan Yataklı Kurutma Sistemi

Akışkan yataklı kurutma sistemlerinde, tanecik büyüklüğü 20  $\mu\text{m}$ - 10 mm aralığında olan malzemeler kurutulabilir. Ayrıca boyutları büyük olan taneciklerin küre şeklinde olması düzgün bir şekilde akışkan hale getirilebilmeleri için oldukça önemlidir. Bu kurutucular çoğunlukla kimyasal maddelerde, gıda sanayinde, sağlık ürünleri ve toz halde olan ilaçların yapımında, boyalarda, deterjan ve gübre üretiminde kullanılmaktadır [25,32,33].

### 2.1.1.3. Vakumla Kurutma

Vakum ile kurutma; kurutma yapılacak ortamın vakumlanarak ürün içerisinde yer alan nemin düşük sıcaklık altında evaporasyonu ile sağlanır [34]. Vakum kullanılarak yapılan kurutma; yüksek sıcaklık altında yapılan ve kurutma ortamından kötü yönde etkilenecek bozulma gösterebilecek ürünlerin, oldukça düşük sıcaklıklarda ve yüksek kurutma hızlarında kurutulması için oluşturulmuş bir yöntemdir. Kurutma sıcaklıkları 35- 65  $^{\circ}\text{C}$  aralığındadır. Sıcaklıkların düşük olması, ürün yüzeyinde kabuklaşmayı önler. Nemin uzaklaştırılması işlemi, üründe homojen bir kuruma sağlanana kadar devam eder. Nemin uzaklaştırılması sırasında kurutma ortamında havanın olmayışı kimyasal reaksiyonların oluşumunu da en aza indirmektedir. Vakumlu kurutma sistemleri ile elde edilen ürünlerin renk ve aroma gibi besin değerleri de düzgün bir biçimde muhafaza edilebilmektedir. Ayrıca sıcak havalı kurutma sistemlerinde yüksek sıcaklıklardan meydana gelebilecek olumsuzluklar, vakumlu sistemlerde en düşük seviyelere iner [34, 35].

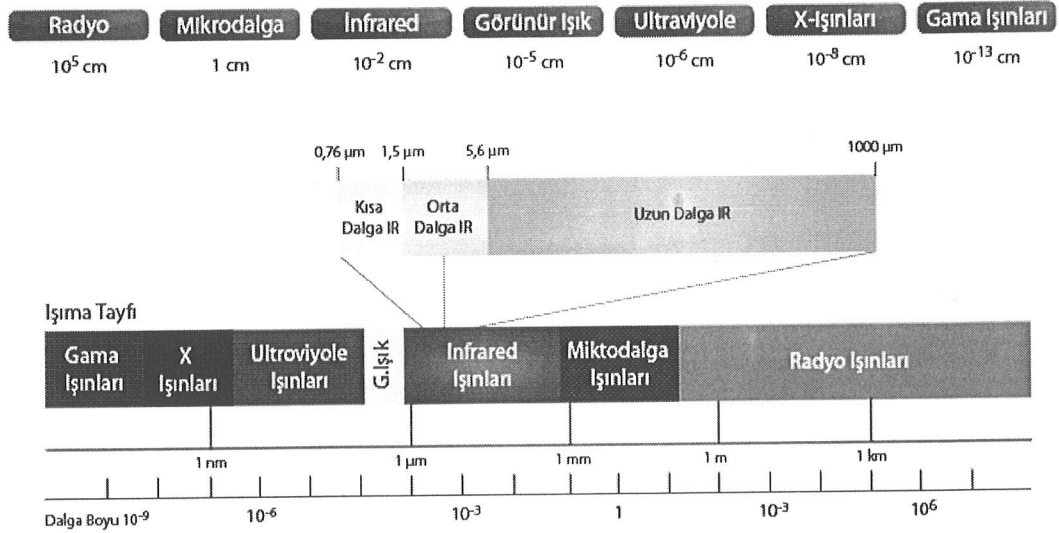
#### 2.1.1.4. Mikrodalga ile Kurutma

Mikrodalgalar; 0.3- 300 GHz frekanslı ve 1mm- 1 m dalga boylarında olan manyetik alan ve elektrik alanın kombinasyonundan oluşmaktadır. Ayrıca elektromanyetik spektrumda radyo dalgaları ile infrared ışınların arasında yer alırlar. Mikrodalga kullanılarak yapılan kurutmalarda; ısının ışıınımlı kullanılarak kurutma sağlanır. Mikrodalgalar kurutulacak ürün tarafından soğurular ve gıda içerisindeki su moleküllerinin titreşimi sonucu oluşan sürtünme ile ısı oluşur. Meydana gelen ısı ile ürün içerisindeki suyun buharlaşması sağlanır. Bu kurutma yönteminde; ısı direkt olarak gıda maddesinin içerisinde oluşur. Böylece kurutma ortamının ısıtılmasına ihtiyaç duyulmadan daha verimli bir ısınma sağlanmış olunur. Mikrodalga kurutma işlemlerinde gıda maddesi, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha düşük sürelerde arzu edilen sıcaklıklara getirilebilir. Bununla birlikte mikrodalgalar ürünlerdeki su partiküllerinin titreşimini sağlayarak, ürünün tamamında homojen bir ısınma sağlar. Ürünün içi ile dış ortam arasında meydana gelen buhar basıncı farkından dolayı ürün içerisindeki su, buhar olarak dış ortama doğru hareket eder [16, 36, 37].

Mikrodalga ile kurutma; kurulum maliyetlerinin yüksek olması, düzgün yüzeyli gıdalar dışında homojen kuruma sağlamanın mümkün olmayışı, sürekli güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyması gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen farklı kurutma sistemleri ile birlikte kullanılmasıyla birçok avantaj kazanmaktadır. Mikrodalga destekli sistemler de mikrodalga ile infrared, sıcak hava, dondurma ve vakum gibi sistemlerin birlikte kullanılmasıyla elde edilir. Mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulacak gıda maddesi içerisinde eşit sıcaklık dağılımı sağlanarak ürünün her yerinde aynı kuruma oranı sağlanabilir. Ayrıca kurutma süreleri de bu sistemlerin birlikte kullanılmasıyla azaltılabilir [1, 38].

#### 2.1.1.5. İnfrared (Kızılötesi Işıım) ile Kurutma

İnfrared; kızılötesi radyasyon olarak da adlandırılır ve dalga boyu 0.38-0.78  $\mu\text{m}$  görünür ışık ile 1-1000mm mikrodalga arasında bulunan bir elektromanyetik enerjidir. İnfrared radyasyon elektromanyetik spektrumda; yakın, orta ve uzak dalga boyu olmak üzere üç kısma ayrılırlar. Yakın (kısa) dalga boyu NIR (Near Infrared Radiation) olarak adlandırılır ve elektromanyetik spektrumda 0.78 ila 1.4  $\mu\text{m}$  'ye karşılık gelir. Orta dalga boylu infrared ise MIR (Medium Infrared Radiation) olarak ifade edilir ve karşılığı 1.4, 2.5- 3.0  $\mu\text{m}$  aralığındadır. Uzun (uzak) infrared FIR (Far Infrared Radiation) olarak gösterilir ve dalga boyu 2.5 ila 30  $\mu\text{m}$  aralığındadır [1,28,39].



Şekil 2.4. Elektromanyetik Spektrum

Gıda maddeleri infrared ışınımına 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 de bir düşüş meydana getirerek avantaj sağlar. Maliyetinin az olması ile birlikte son ürün kalitesinin iyi oluşu, kurutma işlemi boyunca sıcaklığın ürün içerisinde homojen bir şekilde dağılması, işlemlerin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilmesi bu yöntemin tercih edilme sebeplerindedir. Bu yöntem gıda maddelerinin kurutulmasında, pastörize ve sterilize edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kızılötesi radyasyon ayrıca otomotiv endüstrisinde, kimyasal uygulamalarda, tıpta, askeri malzemelerin üretilmesinde ve yalıtım sistemleri gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur [1, 39, 40, 41].

#### 2.1.1.6. Güneş Enerjisi ile Kurutma

Birincil enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisi, güneşin merkezinde yer alan tepkimeler sonucu oluşan bir enerji türüdür [42]. Güneşin onda dokuzluk kısmını hidrojen oluşturmaktadır ve hidrojen çekirdeklerinin yüksek sıcaklıklarda birleşmesiyle helyum çekirdekleri meydana gelir. Bu olay füzyon tepkimeleri olarak adlandırılır. Tepkimeler sonucu meydana gelen helyum, kullanılan hidrojenden miktar olarak daha azdır. Bu nedenle açığa çıkan kütle farkı güneş ışınım enerjisini verir [43].

Güneşten gelen ışınların onda üçü yansıyarak atmosferden geçmeden uzaya geri döner ve beşte biri bulutlarda ve atmosferde soğurur. Yeryüzüne ise güneşten gelen ışınların yarısı ulaşır. Dünya üzerinde oluşan rüzgarlar, akıntılar gibi birçok doğal döngü güneş enerjisi sayesinde meydana gelir.

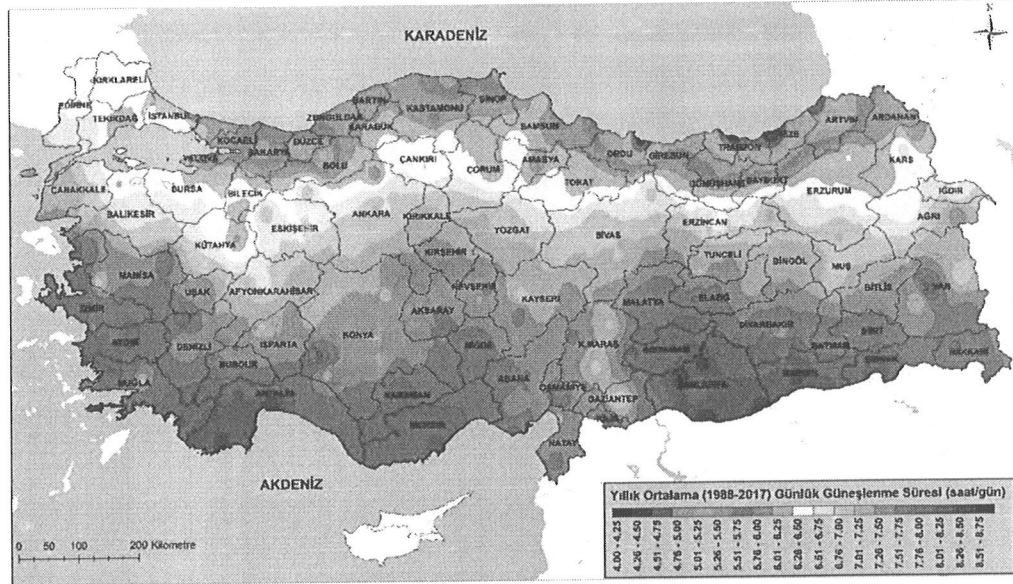
Bununla birlikte bitkiler için hayati değeri olan fotosentez için de güneş enerjisine ihtiyaç vardır [44]. Dünya üzerine güneşten bir senede yaklaşık  $1.5 \times 10^{15}$  MW/h enerji gelmektedir ve bu rakam insanların yine bir sene içerisinde kullandığı enerji miktarının yirmi sekiz bin katına denk gelmektedir. Türkiye’de ve dünyada güneş enerjisinin kullanımı; güneş topaçları, güneş enerjisi santralleri ve fotovoltaik kullanımı ile sağlanmaktadır. Türkiye orta kuşakta yer alması sayesinde, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre; senede yaklaşık 2737 saat güneşten faydalanmaktadır. Ülkemizde bölgelere göre güneşlenme süreleri ve toplam güneş enerjisi Tablo 2.2.’de ve Şekil 2.5. ve 2.6.’da verilmiştir [42, 45].

**Tablo 2.2.** Türkiye’nin Bölgelere Göre Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -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



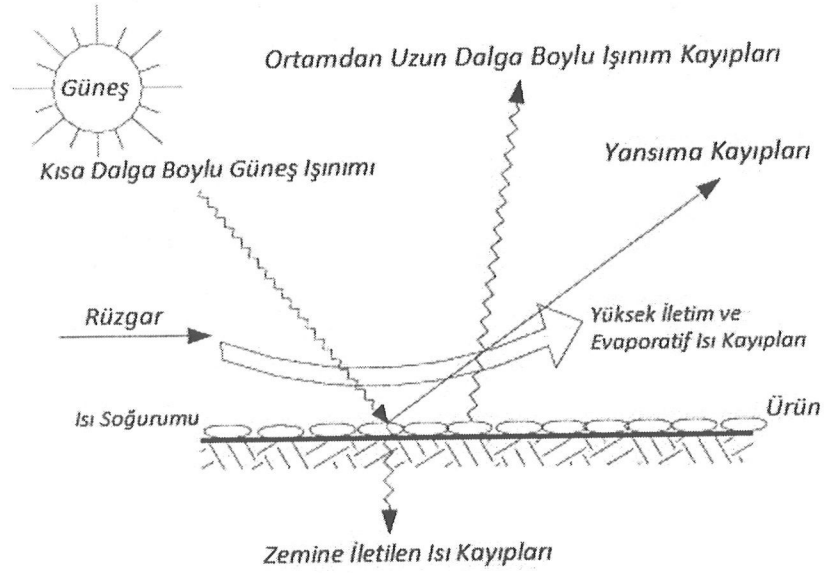
**Şekil 2.5.** Yıllık Güneş Işınımı Dağılımı



Şekil 2.6. Yıllık Ortalama Günlük Güneşlenme Süreleri

Güneş enerjisi çoğunlukla suların ısıtılmasında, binaların ve seraların ısı ihtiyacının karşılanmasında ve aydınlatma sistemlerinde kullanılırken aynı zamanda da elektrik üretimi ve gıdaların kurutulması işlemlerinde de güneş enerjisinden faydalanılmaktadır [42]. Güneş; yenilenebilir ve sürekli bir kaynak olduğu için ilk çağlardan beri gıda işleme yöntemlerinde kullanılan bir enerji türüdür. Gıdaların güneş enerjisi ile kurutulması, bilinen ilk gıda koruma yöntemlerindedir [46]. Kurutma işlemlerinin öncelikli amacı, besinin kimyasal değişime uğramasını önleyerek raf ömrü uzun ürün elde etmektir.

Direkt güneş altında yapılan kurutma işlemleri doğal kurutma olarak adlandırılır ve dünyanın çeşitli ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir [22, 28]. Doğal kurutmada, kurutulacak ürün direkt güneş altına serilir ve güneş ışınlarının gıda maddesi tarafından tutulması sağlanır. Böylece ürüne ulaşan ışınım ve ortam sıcaklığı ile ürünün ısınması sağlanarak nem uzaklaştırılır. Kurutma süresi; güneş ışınım değerine, havanın sıcaklığına, rüzgârın varlığı ve hızına, kurutulacak ürüne ve ürünün içerdiği nem miktarına göre değişiklik göstermektedir [47].



Şekil 2.7. Doğal Kurutma

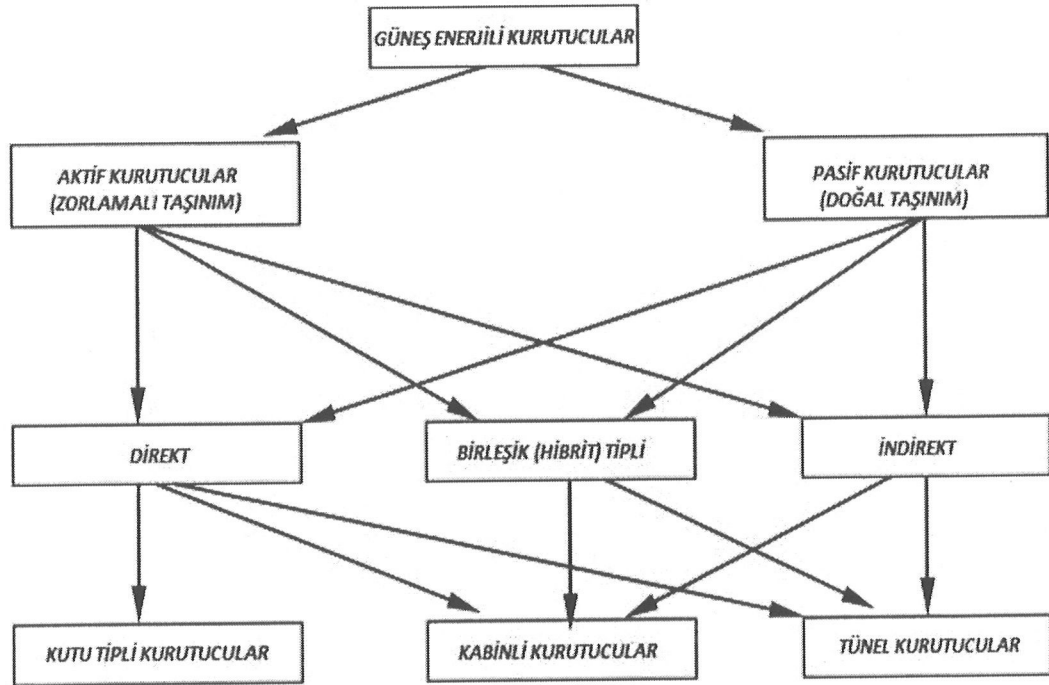
Açık havada kurutmanın birtakım dezavantajları vardır. Bunları kurutma süresinin uzun olması, işçilik giderlerinin fazla olması, gıdaların serilmesi için büyük sahalara gereksinim duyulması, ürünlerin tamamında homojen bir kurutmanın sağlanamaması, kurutulacak gıdaların ve kurutma sahasının dış ortamdan kaynaklanabilecek kir ile çeşitli böcek ve hayvanlardan korumanın zor olması olarak sıralamak mümkündür [22,28]. Bu dezavantajlar göz önüne alınarak yatırım bedelleri diğer kurutucularla denk durumda olan güneş enerjili kurutucular oluşturulmuştur. İşletme giderlerinin az oluşu, özellikle gıda maddelerinin kurutulmasında bu tür kurutucuların tercih edilebilirliğini arttırmıştır. Ayrıca bu tür kurutma sistemlerinin direkt güneş altında yapılan kurutma yöntemine göre pek çok üstünlüğü bulunmaktadır. Bunların başında besinin dış ortamdan meydana gelebilecek kirlere ve böcek gibi zararlılardan korunması, ürünün tamamında eşit bir kurutmanın sağlanabilmesi, kurutma odasında kurutulacak ürüne göre sıcaklığının denetlenebilir olması sayılabilir [4].

## 2.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR

Konvansiyonel enerji kaynakları; bilinen ve kullanılan en eski yöntemlerden olup tekrar oluşum süreçleri oldukça uzundur. Bu enerji çeşidi genel olarak fosil kaynaklardan meydana gelmektedir [48]. Konvansiyonel enerji kaynakları tükenen kaynaklar içerisinde yer alması, kullanımları sonucu çevreye ve ekolojik hayata zarar vermesi nedeniyle enerji odağını yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde toplamıştır. Güneş, bu kaynaklar arasında son yıllarda en fazla dikkat çeken enerji kaynağıdır. Gıda ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanımı hem Türkiye’de hem de dünyada sıklıkla

kullanılan bir yöntemdir. Ancak açık havada yapılan kurutmanın pek çok dezavantajı bulunduğundan güneş enerjili kurutucuların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [49].

Güneş enerjili kurutucular, kurutucu içerisindeki havanın akış şekillerine göre pasif (doğal taşınımlı) ve aktif (zorlamalı taşınım) kurutma sistemleri olmak üzere iki temel grupta incelenebilir. Kurutma yöntemi seçiminde güneş enerjisine maruz kalıp kalmamasına göre ise direkt, dolaylı ve hibrit (birleşik) tip olmak üzere sınıflandırma işlemi yapılır. Şekil 2.8.'de bu kurutucuların kategorize edilmiş hali ve uygulanan kurutma yöntemine göre gruplandırılması verilmiştir [50].

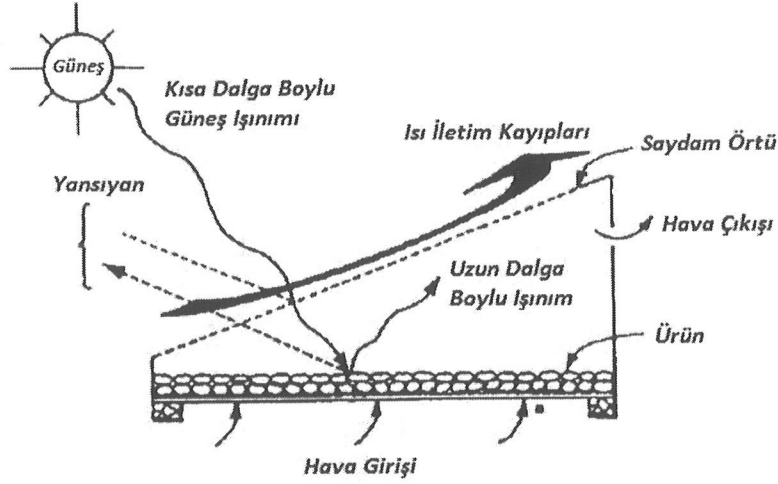


Şekil 2.8. Güneş Enerjili Kurutucuların Sınıflandırılması

Direkt (doğrudan) kurutucular basit yapılı olup, ısı gıda maddesi üzerinde ve kurutucu içerisinde güneş ışınlarının soğurulması ile elde edilir [51]. Bu tip kurutucularda alttan gelen hava ürün içerisindeki nemi alarak üst kısımdan çıkar. Çalışma prensibine bakıldığında; güneşten gelen ışınlar kurutucu üst yüzeyinde bulunan saydam örtüye (genellikle cam kullanılmaktadır) çarpar ve gelen ışınların bir kısmı buradan yansır, kalan kısmı ise kurutma ortamına ulaşır. Kurutulacak ürün üzerine düşen güneş ışınlarının da bir kısmı geri yansırken bir kısmı da ürün tarafından emilir. Böylece ürün içerisindeki sıcaklığın artmasıyla yapısında bulunan nem, gaz hale gelerek kurutma odasından uzaklaştırılır. Güneş ışınımını geçiren saydam tabaka hem ürünün hem de kurutma odasının sıcaklığını arttırmaya yarar ve iletim kayıplarını azaltır. Ayrıca açık havada yapılan kurutma yöntemiyle karşılaştırıldığında saydam tabakanın varlığı dış etmenlerden kaynaklanacak kirlenmelerin de önüne

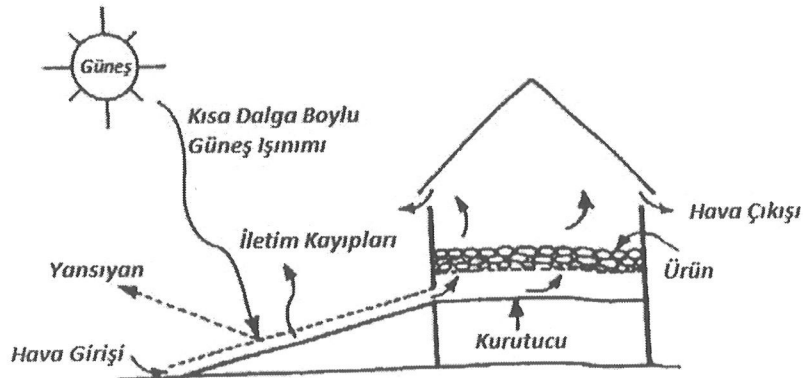


geçer. Ancak güneş ışınlarını doğrudan alan üründe renk kayıpları ile birlikte bölgesel ısınmalar nedeniyle son ürün kalitesinde de düşüş gözlemlenebilir [46].



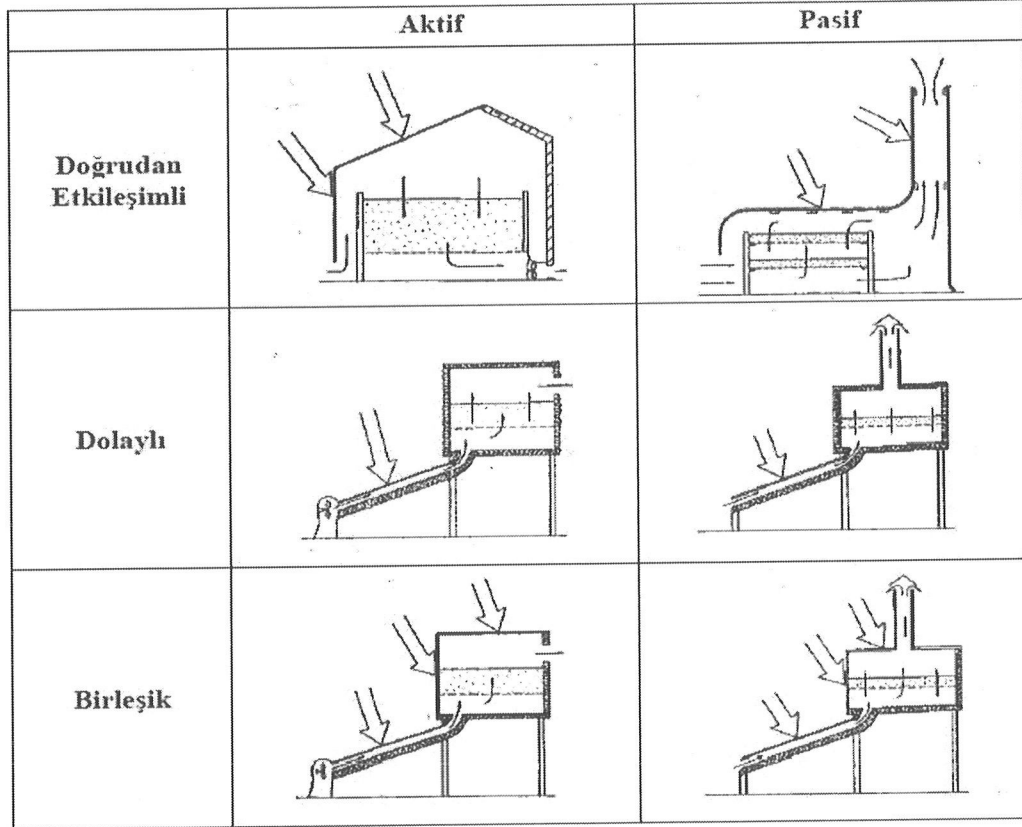
Şekil 2.9. Direkt Tip Kurutucular

İndirekt (dolaylı) tip kurutucular direkt tipli olanlarla karşılaştırıldığında ısıyı iletme şekli ile nemi uzaklaştırma biçimi bakımından birbirlerinden ayrılırlar. Bu tip kurutucularda kurutulacak gıda, ışık geçmeyen bir ortamda raf veya tepsiler üzerine dizilir. Yapılarında bulunan güneş kolektörü (toplaçları) sayesinde kurutma havası ısıtılarak ürün üzerinden geçer. Bu tip kurutucularla yapılan kurutma işlemleri daha kontrollü bir şekilde yapılır ve son ürün kalitesi direkt tip kurutuculara göre daha iyidir. Işığı direkt almadıkları için ürünün ısıdan kaynaklanan bölgesel tahribatları da önlenmiş olur. Bu nedenle; ışığa karşı toleransları düşük olan ürünlerin kurutulmasında tercih sebebidir.



Şekil 2.10. Dolaylı Tip Kurutucular

Birleşik (hibrit) tipli güneş enerjili kurutucularda ise doğrudan ve dolaylı tip kurutucuların özelliklerini bir arada kullanılır. Güneşten gelen ışınlar hem ürüne hem de güneş kolektörüne düşerek kurutma havasına etki eder. Bu tip kurutucuların üretiminde ısı verim, üretim giderleri, kullanım süreleri gibi değişkenler göz önüne alınmaktadır. Birleşik tipli kurutucuların yatırım ve bakım masrafları yüksektir ancak diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kuruma için gerekli süre daha azdır. Şekil 2.11.'te direkt, dolaylı ve birleşik tipli kurutucular bir arada verilmiştir [51].



Şekil 2.11. Doğrudan, Direkt ve Hibrit Tip Kurutucuların Sınıflandırılması

Güneş enerjili kurutucular; havanın yer değiştirme şekline göre doğal (pasif) ve zorlamalı (aktif) taşınimli kurutucular olmak üzere iki temel gruba ayrılırlar [52].

### 2.2.1. Pasif Kurutucular

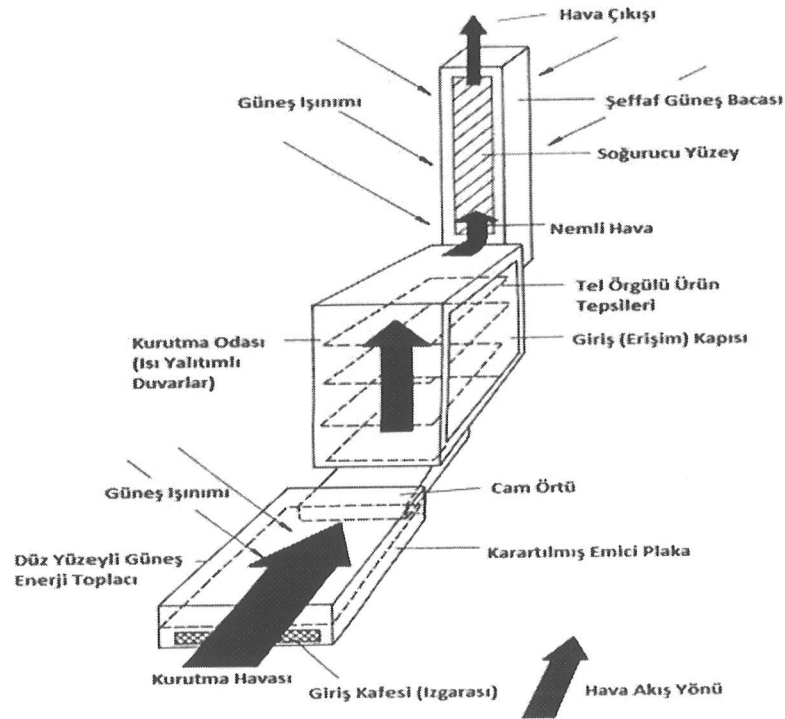
Pasif (doğal taşınimli) sistemler güneş enerjisinden başka enerjiye ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle özellikle kırsal kesimlerde başka enerji kaynağı gerekmeksizin kurutma işlemlerinde kullanılabilirler. Bu sistemlerde güneş enerjisi ile ısınan havanın hareketi ile kurutma sağlanır. Kurutma odasının üzerinde ışığın geçmesini sağlayan saydam bir örtü (genellikle cam) vardır. Ayrıca dışarıdan

havanın girmesi için ve ısınıp üründen nemi alan havanın çıkması için bölmeler bulunur. Kurutulacak gıda maddesi havanın rahatlıkla dolaşabileceği tepsiler üzerine konulur [52].

Doğal taşınımlı kurutucular; Asya, Afrika ve Akdeniz ülkelerinin çoğunda geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Elektrik enerjisi gibi başka enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmadığından kırsal yerlerde kolaylıkla kullanılabilirler. Ayrıca üretimleri oldukça kolay olmakla birlikte kolay temin edilebilir malzemelerden yapılması önemli avantajlarından. Pek çok farklı gıda maddesi ve tropikal ürünlerin kurutulmasına da imkân vermesi özellikle küçük tarım uygulamalarının yapıldığı yerlerde tercih edilebilirliklerini arttırmaktadır [46].

### 2.2.1.1. İndirekt Tip (Dolaylı) Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

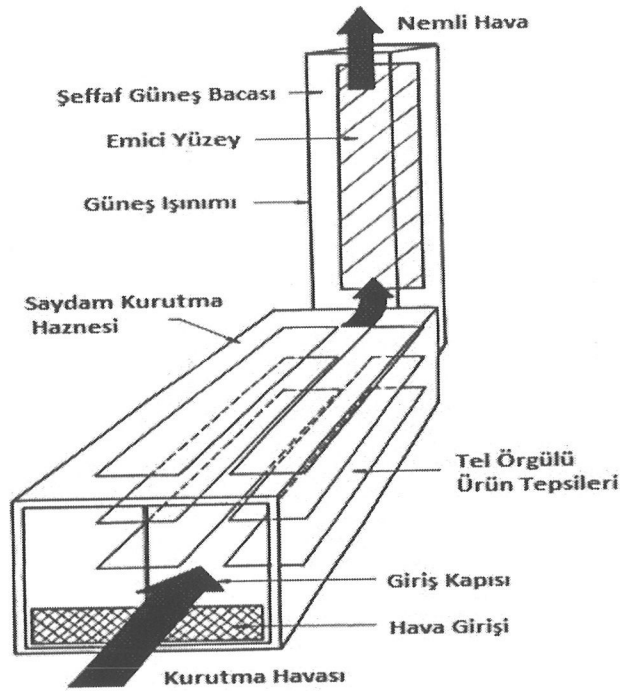
Havanın doğal taşınımı ile kurutma yapılan dolaylı güneş kurutucuları; yalıtılmış kurutma odası, güneş kolektörü ve baca gibi bileşenlerden meydana gelmektedir. Bacanın varlığı, kurutucu içerisindeki hava akışının artmasını sağlamaktadır. Ürünler tepsilere dizilerek kurutma yapılır [46, 53]. Kolektör üzerine düşen ışınlar sayesinde hava ısınarak ürünlerin bulunduğu kurutma ortamına geçer [54]. Kurutma işlemi sırasında güneş ışınları ürüne direkt maruz kalmadığı için tadında ve renginde istenmeyen değişiklikler görülmez. Bu nedenle güneş altında yapılan kurutmada kalite özelliklerini kolayca kaybedecek ürünlerin kurutulmasında tercih edilmektedir. [55].



Şekil 2.12. İndirekt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucu

### 2.2.1.2. Direkt Tip Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

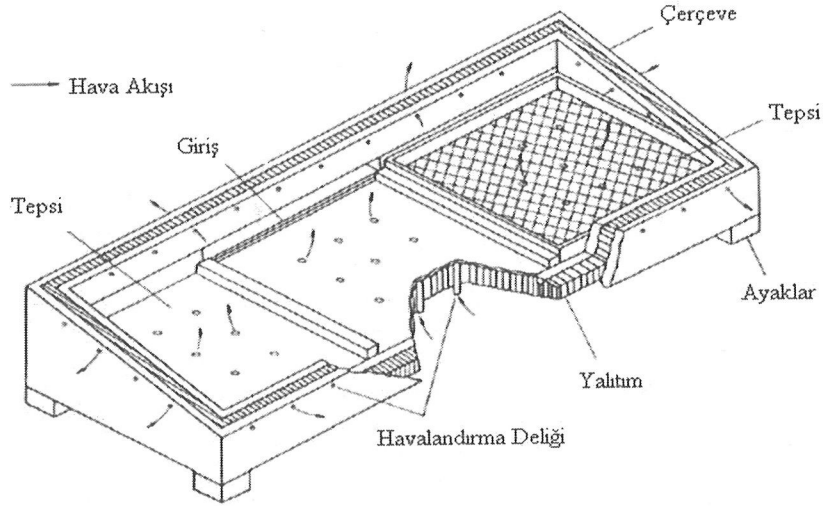
Doğal dolaşimli kurutucu sistemleri basit yapıtlı, üretimi kolay olan ve bu nedenle üretim maliyetleri oldukça düşük olan kurutuculardır [56]. Kabin ve sera tipli kurutucular olmak üzere ikiye ayrılan direkt tip pasif kurutucularda ürünler güneş ışınlarını doğrudan alabilecek şekilde saydam kurutma bölmesine yerleştirilir. Güneş ışınımını doğrudan alan ürünün ısınmasıyla nemin uzaklaşması kolaylaşır [46, 55].



Şekil 2.13. Direkt Tip Doğal Dolaşimli Güneş Enerjili Kurutucu

### 2.2.1.3. Kabin Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

Kabin tip güneş kurutucuları, küçük ölçekli gıda kurutma işlemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip kurutma makineleri menteşeli şeffaf kapaklı ahşap bir kutudan oluşur. İç kısım siyaha boyanmıştır ve yiyecekler kurutucu zemin üzerinde bulunan ağ şeklindeki tepsi üzerindedir. Hava, ön deliklerden odaya girer ve arka duvarın üst kısmındaki havalandırma deliklerinden çıkar.



Şekil 2.14. Kabin Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

Bu kurutucuların yapımı ucuz ve kolaydır. Bu nedenle evsel kullanımı genellikle yaygındır. Ancak nem gideriminin az olması ve ürünün aşırı ısınmasından kaynaklanan sakıncaları bulunmaktadır.

#### 2.2.1.4. Sera Tipli Direkt Pasif Güneş Enerjili Kurutucular

Çadır kurutucu olarak da nitelendirilebilen sera tipli kurutucular, hava akışının kontrollü olarak sağlanabileceği şekilde uygun boyut ve konumlarda havalandırma deliklerini yapılarında bulundurlar [55]. Bu tip kurutucuların yapımında naylon veya cam malzeme kullanılır ve şekilsel olarak yarım küre, kubbe ve tünele benzer şekillerde üretilirler [57].

#### 2.2.1.5. Birleşik (Hibrit) Tip Pasif Kurutucular

Hibrit tip kurutucular; direkt ve indirekt kurutucuların üretim mantığı kullanılarak oluşturulmuştur. Ürün hem güneş ışığını alçak şekilde konumlandırılır, hem de kurutma odası içerisindeki havanın ısınması sağlanarak ürünün kurutma işlemi gerçekleştirilir [46]. Kurutma odası, ürünün güneşi direkt alabilmesi için saydam olarak dizayn edilir [58]. Üst kısımda bulunan baca vasıtasıyla havanın kurutucu içerisindeki hareketi sağlanır [59].

Hibrit tipli kurutucuların kullanımında, ürünün kuruma süresi diğer kurutuculara göre daha düşük olmasına rağmen kurulum ve bakım maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [51].

### 2.2.2. Aktif Kurutucular

Aktif kurutucular; güneş enerjisinin yanı sıra, yapılarında hava akışının sağlanabilmesi için motorlu fanlar veya pompalar bulundurlar. Bu nedenle aktif tip kurutucular “zorlamalı taşımimli kurutucular” olarak da tanımlanmaktadır [55]. Bu kurutucular kullanılarak kurutma süresi üç kat düşürülmekle birlikte kolektör alanı da yarıya indirilebilir [60]. Kurutulan ürünlerin kuruma hızları ve kaliteleri göz önüne alındığına daha etkili bir yöntem olsa da enerji ihtiyacını karşılayabilmesi için fanlı yapılar bulundurması kırsalda kullanımını kısıtlamaktadır [52].

#### 2.2.2.1. İndirekt Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

İndirekt tipli aktif kurutucular, kurutma odası ve güneş toplacının ayrı yapıda olduğu sistemlerdir. Bu tip kurutucular; güneş enerjisi ısıtıcısı, kurutma bölmesi, kanallar ve sistem içerisinde hava dolaşımı sağlamak amacıyla kullanılan fanlarla birlikte dört kısımdan oluşurlar. Sistemde; kurutucu içerisinde dolaşan havanın ayarlanabilir oluşu ve güneş enerjili ısıtıcı sayesinde istenilen sıcaklıklara kolayca ulaşılabilir. Ancak bu tip kurutucuların tasarımı yapılırken kullanılacak fanın büyüklüğü; kurutulacak ürünün özelliklerine ve buna bağlı olarak uygulamanın yapılacağı sıcaklıklar göz önüne alınarak seçilmelidir. Fanın sistem içerisindeki işlevi, hava akış hızını kontrol altında tutmak ve böylece kurutucu içerisindeki ürünün homojen bir şekilde kurutulmasını sağlamaktır [46,55].

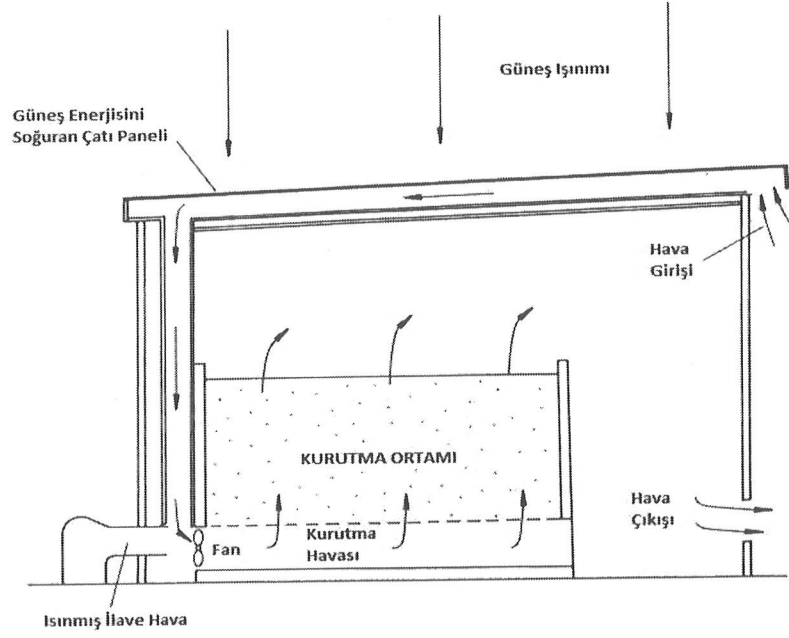
##### 2.2.2.1.1. Doğrudan Absorpsiyonlu Kurutucular

Aktif kurutucular içerisinde yer alan absorpsiyonlu kurutucular, güneşten gelen ışınları doğrudan soğurabildikleri için ayrı bir kolektöre ihtiyaç duymazlar. Maliyetleri oldukça düşük olup, kırsal kesimde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [55].

##### 2.2.2.1.2. Güneş Kolektörlü Çatı- Duvar Sistemli Kurutucular

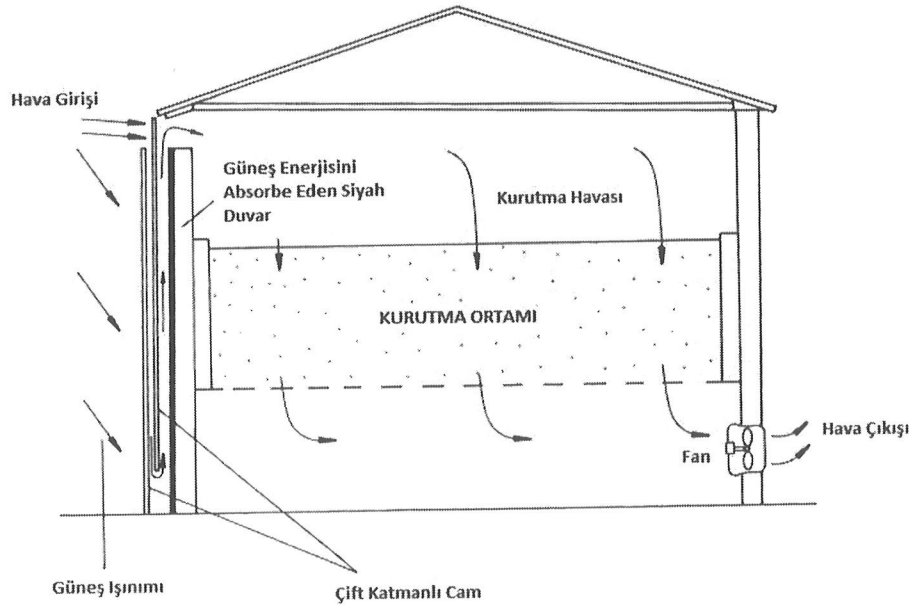
Bu tür kurutucular; ısı depolama görevi gören ve güneş enerjisini emen bir panel ya da siyaha boyanmış bir duvardan oluşurlar. Şekil 2.15.a. ve Şekil 2.15.b.’de çatı kolektörlü aktif güneş enerjili kurutucu ve duvar kolektörlü aktif güneş enerjili kurutucu görülmektedir.

Şekil 2.15.a.’da yer alan çatı kolektörlü aktif kurutucuda; üst kısımda bulunan kolektörlü yüzey sayesinde güneş ışınları tutulur, ısınan hava fanlar vasıtasıyla kurutma ortamına aktarılır. Isınan havanın ürün üzerinden geçirilmesiyle buharlaşma sağlanarak kurutma işlemi gerçekleştirilir. Nemli hava ise çıkış kanallarından uzaklaştırılır.



Şekil 2.15.a. Çatı Kolektörlü Aktif Güneş Enerjili Kurutucu

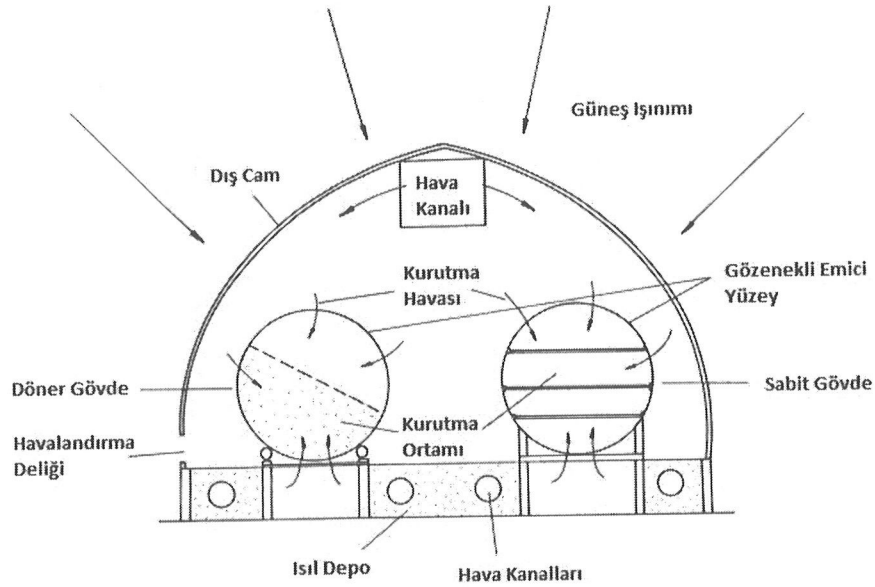
Şekil 2.15.b'de verilen duvar kolektörlü güneş enerjili kurutucunun yan kısmında çift katmanlı cam yapı mevcut olup hemen altında ise güneş ışınlarının emilimini sağlayan siyaha boyanmış bir duvar yer almaktadır. Bu kısımlarda ısınan hava kurutma odasına aktarılırak çatı kolektörlü kurutucuda olduğu gibi üründen nemin uzaklaştırılmasını sağlar [55].



Şekil 2.15.b. Duvar Kolektörlü Aktif Güneş Enerjili Kurutucu

### 2.2.2.1.3. İç Emici Hazneli Sera Tipli Kurutucular

Bu tür sera tipli kurutucular; dış kısımda kolektör işlevi gören saydam bir cam ile birlikte, içerde emici yüzey gibi davranan kurutma odasından oluşurlar. Kurutma odası Şekil 2.17.'de görüldüğü gibi; güneş ışınlarının soğurulma miktarını arttırmak amacıyla dış yüzeyleri siyaha boyanmış sabit ve döner gövdeli iki kısımdan oluşmaktadır [55].

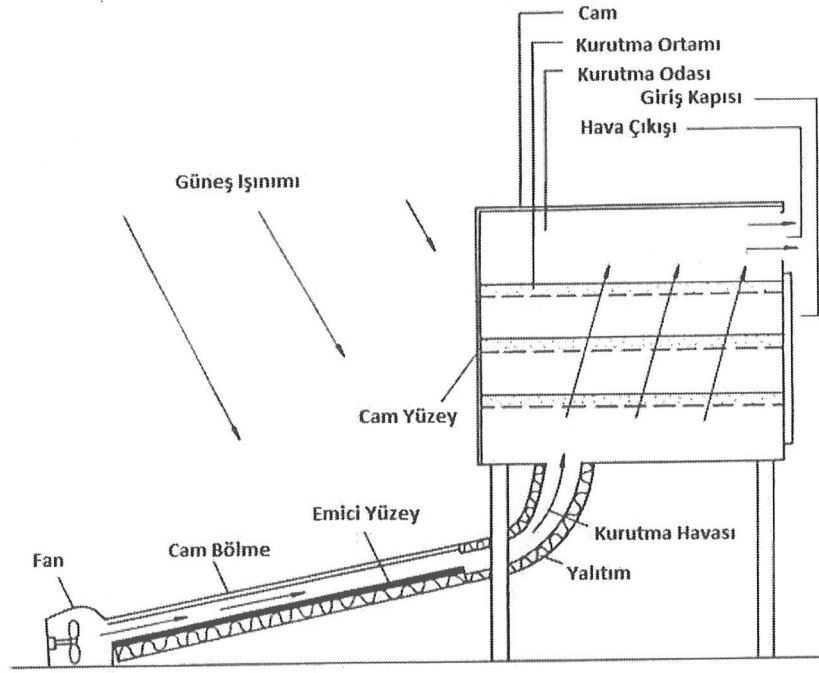


Şekil 2.16. İç Emici Hazneli Sera Tipli Aktif Güneş Enerjili Kurutucu

### 2.2.2.2. Birleşik (Hibrit) Tip Aktif Kurutucular

Birleşik tip aktif kurutma sistemlerinin diğer sistemlere göre kullanımı daha azdır. Bu tip sistemler (Şekil 2.17) indirekt tip aktif kurutucuda olduğu gibi güneş hava ısıtıcısı, hava kanalları, kurutma odası ve fan veya pompa gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Kurutma bölmesinin camdan oluşmasıyla ürünün direkt güneş ışınlarını alması sağlanır. Kurutucuda yer alan fan rüzgâr enerjisiyle çalışabilir. Bu şekilde kurutmak için gereken ısıtma enerjisini güneş ve rüzgârdan sağlayan ekolojik hibrit enerjili kurutucular dizayn edilmiştir [46,55].





Şekil 2.17. Hibrit Tip Aktif Kurutucu

### 2.3. Güneş Enerjili Kurutucu İmalatında Kullanılan Malzemeler

Güneş toplaçları olarak da adlandırılabilen güneş kolektörleri; üst kısmında camdan ya da plastikten yapılmış bir örtü, genellikle metal malzemelerden oluşan yutucu eleman ve bu kısımları içerisinde bulunduran kapalı bir kutu sisteminden oluşmaktadır. Farklı şekillerde (düz, silindirik) üretimleri mevcuttur. Kolektörlerin asıl amacı, güneşten gelen ışınların en iyi şekilde tutulmalarını sağlamaktır. Güneş kolektörleri; kurutucu dizayn edilirken kurutma yapılacak bölgenin de enlemi göz önünde bulundurularak, güneş ışınlarının maksimum verimle kolektör üzerine düşmesini sağlayacak şekilde gerekli hesaplamalar yapılarak kururlar.

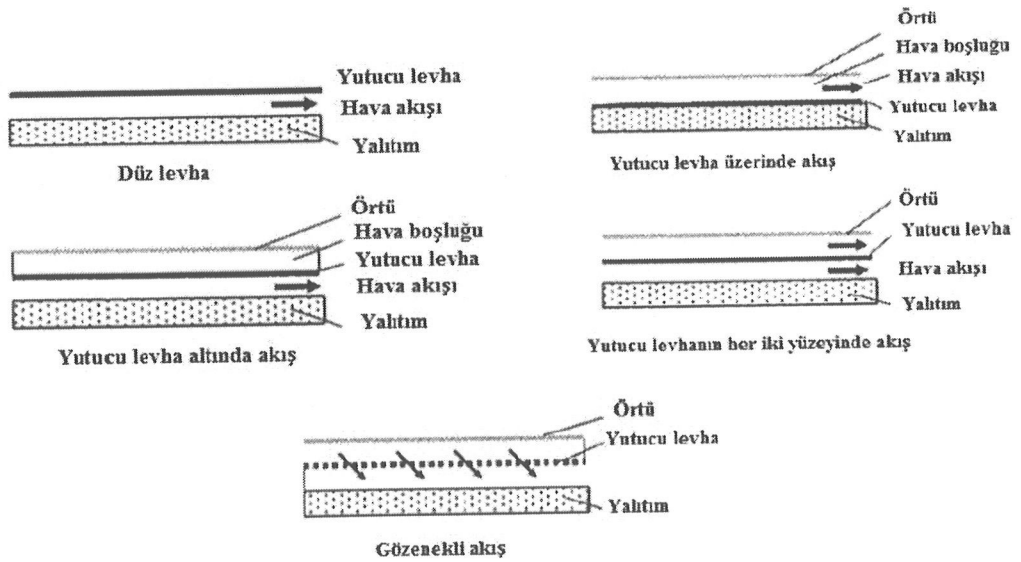
Kolektör kasaları imal edilirken işlenmiş ve iyi bir şekilde kurutulması sağlanmış ahşap malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Metal malzemelerin kullanımı da mümkündür ve nispeten daha uzun ömürlüdür. Ancak ağırlıklarının, maliyetlerinin ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması gibi dezavantajları vardır. Metal malzeme kullanılarak yapılan kolektörlerde ısı kayıplarının engellenmesi iyi bir yalıtım yapılmasıyla sağlanabilir. Alüminyum malzemelerin kullanımı tercih edilerek de ağırlığın azaltılması sağlanabilir.

Güneş enerjili kolektörlerde örtü malzemesi olarak çoğunlukla güneş ışınlarını geçiren, rüzgârı ve diğer istenmeyen maddelerin geçişini engelleyen, ısıyı içeride tutan ve saydam olan plastik veya cam malzemeler kullanılmaktadır. Camdan yapılan örtüler hem güneş ışınlarının iletimi konusunda daha

başarılı olması ve bu ışınlardan olumsuz etkilenmemeleri, hem kolay temin edilebilirliği ve sisteme uyumlu olmaları hem de ekonomik açıdan tercih edilebilirliği yüksektir.

Güneş enerjili kolektörlerde, bir diğer önemli bölüm ise kolektör kasası içerisine yerleştirilen emici plaka (yutucu yüzey)dir. Kolektör verimi; emici plaka malzemesi ve yüzey kaplaması ile doğrudan ilişkilidir. Kolektör içerisinde ısısal kayıpların en az düzeye indirilebilmesi için yutucu elemanın uygun malzemelerden seçilmesi gerekmektedir. Emici plakalar genel olarak ısı iletkenliği iyi olan bakır, paslanmaz çelik, alüminyum ve sac gibi malzemelerden yapılırlar. Güneş ışınları direkt kolektör örtüsünden emici plakaya gelir, büyük bir kısmı burada tutulur ve kalan kısmı ise geri yansır. Emici yüzey üzerine yapılan kaplama ile kolektör verimi önemli ölçüde artırılabilir. Uygulanan kaplama ile güneşten gelen ışınlar en iyi şekilde absorbe edilerek gerekli ısı elde edilmiş olur. Emici plakaların kaplanmasında çoğunlukla siyah mat boya uygulanmaktadır. Yüzey kaplamada kullanılan siyah mat boyaların güneş ışınlarını soğurma oranı oldukça yüksektir.

Şekil 2.18’de yutucu levhanın konumuna göre değişen akış tipleri gösterilmiştir. Düz levha akış şeklinde hava akışı, yalıtım yüzeyi ile yutucu eleman arasında ilerler. Yutucu levha üzerinde gerçekleşen hava akımı, yalıtım yapılan yüzeyin üzerine emici plaka getirilmesiyle sağlanırken; yutucu levha altındaki akış ise, örtü malzemesinin altına yerleştirilen emici levha ile yalıtım yüzeyi arasında gerçekleşir. Yutucu elemanın iki yüzeyinde akış meydana gelmesi isteniyorsa yutucu eleman kolektör örtüsü ile yalıtım yapılan yüzey arasına yerleştirilerek sağlanır [61, 62].



Şekil 2.18. Güneş Kolektörlerinde Akış Tipleri

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ceylan ve ark. (2006), yatırım maliyeti ve enerji gideri az olan ve kendi tasarlayıp ürettikleri güneş enerjili kurutucuda elma kurutmuşlardır. Kurutmanın yapılacağı sıcaklık değerini düşürmeden bağıl nem azaltılarak kurutma yapılmıştır. Elmaların kütle farkını gözlemleyebilmek amacıyla, bir yüzeyi çift kaplı camdan yapılan kurutma fırınının içerisine dijital tartı konulmuştur. Bu çalışma ile hem üretilen kurutucu ile kurutma süresi daha az olan son ürün elde edilmiş, hem de ön işlemler ve yapılan kontroller sayesinde kaliteli ürün eldesi sağlanmıştır [22].

Özel (2010), yaptığı çalışmada hava giriş ve çıkış kanalı, hava şartlandırma bölmesi, kurutma odası, kontrol ünitesi ve kanal bağlantılarından oluşan konveksiyon tipli kurutma setinde, nem içeriği %93,48 olan balkabağının kurutma karakteristiğini araştırmıştır. Denemeler 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarda; 0.5, 1 ve 2 m/sn kurutma havası hızlarında yapılmıştır. Kurutma havasının nispi nemi ise %5, %10 ve %20 olarak uygulanmıştır. Balkabağı soyma işleminden sonra 4 mm kalınlığında ve 30x30 mm olacak şekilde dilimlenerek kurutulmuştur. Çalışmada kurutma havası şartlarının kuruma üzerine etkisi incelenmiş ve ürüne ait kuruma grafikleri oluşturulmuştur. Sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın ve kurutma havası hızının artmasıyla kuruma hızında da artış görülmüştür ve dolayısıyla ürünün kuruma süresi de düşmüştür. Kuruma süresinin en düşük olduğu deneme 70 °C sıcaklıkta ve 2 m/sn olan kurutma hızında gözlemlenmiştir. Kurutma havasının nispi nemi ile kuruma hızı arasında ters orantı olduğu görülmüş ve böylece kurumanın sağlanabilmesi için daha uzun süreler gerekli olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla kuruma süresi düşmüş ancak artan sıcaklıkla beraber kimyasal bozulmalar olmaması için sıcaklığın belirli aralıklarda sabitlenmesi gerektiği görülmüştür [25].

Kocayigit (2010), kırmızı biber ve bezelyenin kuruma karakteristiğini araştırmak amacıyla sıcak havalı kurutucu içerisinde kurutma yapmıştır. Çalışmada ön işlemin kurutmaya etkisi, ürünün kuruma hızı, difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjisinde meydana gelen değişim, kurutma sonucunda üründe meydana gelen renk değişimi ve rehidrasyon tayini yapılmıştır. Newton, Henderson ve Pabis, Page ve Logaritmik denklemler kullanılarak nem oranı ile kuruma süresi diyagramları oluşturulmuştur. Numunelerin ön işlemde geçirilmesi ve kurutma yapılacak sıcaklığın yükselmesiyle işlem süresi kısalmış, difüzyon ve rehidrasyon yeteneğinin arttığı görülmüştür. Son ürünün renk tayini yapıldığında ise sıcaklığın ve uygulanan ön işlemlerin etkisinin olduğu görülmüştür. Örneklerin dilim kalınlığı ile kuruma süresi arasında doğru orantı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında Logaritmik ve Page modellerinin kırmızı biber ve bezelye kurutma tanımlamasında daha etkin olduğunu ortaya koymuşlardır [29].

Rhoda (2016); sera tipli güneş enerjili bir kurutucuda, Targanyika Gölü'nde bulunan ve kapenta adıyla adlandırılan sardalye balıklarının ince tabaka kuruma karakteristiğini incelemiştir. Sera tipli kurutucuda ve açıkta güneş altında kurutulan kapentanın besinsel değerlerinin ve kalitesinin

belirlenebilmesi için birtakım testler uygulanmıştır. Sera tipli güneş enerjili kurutucuda kurutulan kapentalar, açıkta güneş altında kurutulanlara göre daha düşük nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Taze kapenta balıkları 30, 45 ve 55 °C gibi farklı sıcaklıklarda konveksiyonla kurutulmuştur. Uygulanan sıcaklıkların nem oranı ve kuruma oranına etkisi incelenmiş ve elde edilen verilere göre oluşturulan modeller üç farklı istatistiksel parametre göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak; kurutma eğrilerini tanımlamada en uygun modelin Page modeli olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra kurutucuda yapılan kurutmada ürünün besinsel değerinin güneşte kurutmaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [52].

Yılmaz (2015), 8 mm olarak dilimlediği elmaları konveksiyonel yöntemle 50 °C, 60 °C ve 70 °C'lerde sıcaklık kontrolü sağlayarak kurutma işlemi yapmıştır. Kurutma öncesinde 60 °C ve 35 kHz frekansta; 10, 20 ve 30 dakika ultrasound ön işlemi uygulanmıştır. Yapılan ön işlemin kurutma üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için 60 °C'de ön işlem uygulanan ve ön işleme tabi tutulamayan örneklerin renk biçimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçümler kuruma oranı eğrilerinin oluşturulmasında kullanılarak kurutma kinetiği belirlenmiş ve en uygun modelleme yapılmıştır. Sıcaklıkta meydana gelen artış ile kurutma süresi azalmış olmasına rağmen renkte elverişsiz sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Elmaların kurutulması sürecinde zaman ve kuruma sonrası görülen etkiler göz önüne alındığında optimum sıcaklığın 60 °C olduğu tespit edilmiştir. Ön işlemden geçen örneklerin kuruma süresinin, uygulanmayanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür [63].

Yoğurtçu (2018), yaptığı çalışmada mikrodalga ile elma kurutarak, mikrodalganın çıkış gücü ile elma dilim kalınlığının kurutmaya etkisini yanıt yüzey yöntemini kullanarak optimize etmiştir. Yanıt değişkenleri olarak difüzyon katsayısı, kuruma hızı sabiti, renk seçimi ile Hue açısı değerleri, kuruma süresi ve enerji tüketimi seçilmiştir. Varyans Analizi (ANOVA) ile birlikte yanıt yüzey grafikleri kullanılarak mikrodalga çıkış gücü ile elma dilim kalınlığının yanıt değişkenlerine etkisinin önemini ortaya çıkarmıştır. Optimizasyon işlemi sonucunda yanıt değişkenleri için uygun olan en iyi deney şartları seçilerek doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Granny Smith elma cinsiyle yapılan çalışmada yanıt yüzey yöntemi ve merkezi kompozit tasarım yaklaşımının uygulanabilir olduğu çıkarımına ulaşılmıştır [64].

Erbay (2008); tıbbi ürünlerde, makyaj ve bakım ürünlerinde sıkça kullanılmaya başlanan zeytin yapraklarını tepsili kurutucu ve ısı pompalı sıcak havalı kurutma sistemi içerisinde kurutmuştur. Zeytin yaprağının kurutulmasında yanıt yüzey yöntemi ve merkezi karma döneel tasarım yaklaşımı ile optimizasyon işlemi yapılmıştır. Seçilen ürünün kurutulmasında ekserji analizi uygulanmıştır. İşlem değişkenleri kurutma sıcaklığı, kuruma havasının hızı ve zaman olarak seçilmiştir. Yanıt olarak ise toplam fenolik ve antioksidan kaybı, kurutulmuş ürünün nem muhtevası ve kurutmanın ekserjetik verimliliği alınmıştır. Zeytin yapraklarını kurutmada, sistemi en iyi tanımlayan modelin Henderson ve Pabis olduğu görülmüştür. Optimum koşullar; tepsili kurutucuda 51.15 °C, 1.01 m/s, 298.92 dakika, ısı pompalı kurutucuda ise 53.43 °C, 0.64 m/s ve 288.32 dakika olarak belirlenmiştir. İki sistemin ekserji

verimi karşılaştırıldığında, ısı pompalı kurutucunun veriminin tepsili kurutucuya göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [65].

Topdaş ve Ertugay (2013), Şekerpare cinsi kayısıları Ultrases yardımlı ozmotik kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Dört eş parçaya böldükleri kayısı dilimleri 25, 50 ve 70 °Brikslik çözeltileri kullanılarak 30 °C sabit sıcaklıkta; 20, 40, 60, 80 ve 100 dakikalık işlem sürelerinde kurutmuşlardır. Ultrases yardımıyla yapılan ozmotik kurutmada kayısı dilimlerine 35 kHz frekansında ultrasonik banyo işlemi uygulanmıştır. 10 dakika aralıklarla sıcaklık denetimi yapılmış, Ultrases uygulamasından meydana gelebilecek sıcaklık artışı önlenmeye çalışılmıştır (30±2). Sonuç olarak Ultrases kullanılarak yapılan ozmotik kurutmaya tabi tutulan kayısıların sadece ozmotik kurutma yapılan örnekler göre su ve ağırlık kaybı, şeker kazanımı değerlerinin dikkate değer seviyelerde (P<0.05) olduğu görülmüştür. Hazırlanan ozmotik çözelti derişiminin artmasıyla nem kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık kaybı da sürenin artmasıyla birlikte artış göstermiştir [66].

Doğan ve ark. (2015), genellikle çeşitli ağaçların çürüyen bölümlerinde yetişen “Pleurotus Ostreatus” cinsi mantarı kurutmuşlar ve mantar tozu üretiminin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Mantarlar, üretiminden sonra içeriğindeki yüksek nem ve organik bileşikler nedeniyle bozulma süresi kısa olan bir besindir ve depolama ömrü en fazla bir haftadır. Yapılan çalışmada, P. Ostreatus cinsi mantarın kurutma esnasında uygulanan farklı sıcaklık ve zaman koşullarının yapılarındaki antioksidan ve fenolik bileşiklere tesirini araştırmışlardır. Sistemin bağımsız değişkenleri olarak kurutma yapılacak sıcaklık (°C) ve zaman (dakika) seçilmiştir. Yanıt Yüzey Yöntemi merkezi kompozit dizaynından faydalanılarak denemeler hazırlanmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki bağlantıyı gözlemlemek amacıyla deney verilerinden yararlanılarak modeller oluşturulmuştur. Ardından Varyans Analizi (ANOVA) yapılarak her bağımsız değişkenin yanıtlar üzerinde meydana getirdikleri etkileri istatistiksel olarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda optimum koşulların 50 °C sıcaklıkta ve 269.02 dakika olduğu görülmüştür. Bu koşullardaki antioksidan (EC<sub>50</sub>) değeri ile toplam fenolik madde miktarı yazılış sırasına göre 275.464 ve 0.762 olmuştur [67].

Eren (2004); patateslerin ozmotik su kaybını, Yanıt Yüzey Yöntemini kullanarak optimize etmiştir. Bağımsız değişkenler; sıcaklık, zaman, sakkaroz ve tuz derişimi olarak, yanıt değişkenler ise nem kaybı, katı eldesi, ağırlık kaybı ve su aktivasyonu olarak belirlenmiştir. Soyulan patatesler 10 mm’lik küp şeklinde dilimlenip ağırlık ölçümü yapıldıktan sonra %1 derişimindeki sodyum meta bisülfat çözeltisine daldırılmıştır. Süzme işleminin ardından ise örnekler ozmotik çözeltiler içerisine bırakılmıştır. İşlem sabit sıcaklıkta ve ağzı kapalı 250 ml’lik erlenler kullanılarak yapılmıştır. Deneysel tasarıma göre tanımlanan zaman sonunda örnekler çözelti içinden çıkarılmış ve beklemeden seri bir şekilde süzme işlemi yapılmıştır. Yüzeydeki fazla çözelti filtre kâğıdı yardımıyla alınmış ve tekrar ağırlık ölçüm işlemleri yapılarak arada meydana gelen farklar kaydedilmiştir. Patates dilimlerine deney başlangıcı ile birlikte belirli zaman aralıklarında nem içeriğine ve su aktivitesine bakılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda; bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerindeki doğrusal ve ikinci dereceden terimler ile açıklanabileceği görülmüştür. Elde edilen verilerle yapılan analiz sonucunda her yanıt için modeller

oluşturulmuştur. Optimizasyon yöntemleri sonucunda en iyi koşulların 22 °C sıcaklıkta, %54.5 sakkaroz, %14 tuz derişiminde ve 328 dakika işlem sürelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Belirlenen optimum noktada 100 g taze patates için nem kaybı 59.067, katı eldesi 6.001, ağırlıkta meydana gelen kayıp 52.873 ve su aktivitesi 0.785 olarak belirlenmiştir [68].

Polatçı ve Tarhan (2009), Gaziosmanpaşa Üniversitesi'nde üretimi gerçekleştirilen reyhan (*Ocimum Basilicum*) bitkisine, değişik kurutma metotları uygulayarak bu yöntemlerin kuruma süresi ve son ürün kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada; doğrudan değmeli kurutucuda, etüvde, mikrodalgada, gölgede ve güneşte kurutma işlemleri yapılmıştır. Deneyler üç tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Deneme sonucunda ürünün son nem içeriğinin %10- 15 olması hedeflenmiştir. Kurutma sonrasında ürünün renk analizi, uçucu yağ oranı ve kuruma karakteristiği saptanmıştır. Doğrudan değmeli kurutma yöntemiyle, ayrı iki karıştırma aralığı belirlenerek kurutma yapılmış ve işlem 63 ve 66 saat sürmüştür. Bu yöntemde karıştırma göz önüne alındığında, kuruma süresine ve son ürün kalitesine çok etki etmediği görülmüştür. Etüvde kurutma yöntemi değişik iki sıcaklığın uygulanmasıyla yapılmıştır. 45 °C' de yapılan işlem 50 saat sürerken, 55 °C'de yapılan işlem ise 34 saatte tamamlanmıştır. Bir diğer yöntem olan mikrodalga ile kurutmada işlem süresi diğer yöntemlere kıyasla oldukça kısa sürmüştür. Bu yöntemle değişik iki güç seviyesi kullanılmış ve işlem her güç seviyesi için 9 ve 22 dakikada sonlanmıştır. Fakat son ürün kalitesi değerlendirildiğinde mikrodalga kullanımının reyhan kurutulmasında önerilen bir yöntem olmadığı görülmüştür. Aromatik bir bitki olan reyhanın, gölge ve güneşte kurutma sonrasında kalitesinin iyi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bitki için hazırlanan kurutma koşullarından en iyisinin 45-55 °C sıcaklıkta yapılan işlem olduğu belirlenmiştir [69].

Hastürk Şahin (2010); domatesi güneşte, sıcak havalı kabinli kurutucuda, vakumlu kurutucuda ve dondurma yöntemiyle kurutarak farklı kurutucu sistemlerinin ve ön işlem uygulamalarının kurutmaya ve kuru ürün kalitesine etkisini araştırmıştır. Numunelerin bir kısmına ön işlem uygulanırken diğer bir kısmı ise ön işleme tabi tutulmadan kurutulmuştur. Tüm kurutma metotlarında örnekler öncelikle %2 etil oleat + %4 potasyum karbonat bileşimine batırılmıştır. Ardından dilimlenmesi tamamlanan domateslerin bir kısmı %1 sitrik asit+ %1 askorbik asit bileşimine, diğer kısmı ise %2'lik sodyum metabisülfite çözeltisine batırılmıştır. Güneşte yapılan kurutmada hava sıcaklığının 28 ila 34.8 °C, neminin %32-40 ve rüzgâr hızının ise 0.4- 2.9 m/s olduğu belirlenmiştir. Sıcak havalı kurutmada ise uygulanan sıcaklıklar 65, 75 ve 85 °C olurken kurutucudaki havanın hızı ise 1.5 ve 2.5 m/s olmuştur. Vakumlu kurutmada 10 kPa vakum altında, 65 ve 75 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Dondurarak kurutma yönteminde ise ürün öncelikle -40 °C'ye getirilmiş sonra da vakumlu dondurucu kurutucuda 30 °C'de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Farklı kurutma yöntemleriyle yapılan çalışmada kuru ve taze üründe kalite ve besin değerlerinin belirlendiği birtakım analizler yapılmıştır. Tüm denemeler sonucunda ön işleme tabii tutulan örneklerin daha kısa sürelerde kuruduğu gözlemlenmiştir. Kuru domateste parlaklık değerinin en iyi olduğu kurutma sisteminin dondurarak yapılan kurutma sisteminde olduğu görülürken en düşük parlaklık değerine ise vakumla yapılan kurutma sonucunda ulaşılmıştır.

Besin değerleri açısından en iyi askorbik asit, potasyum ve likopen değerleri dondurularak yapılan kurutmada görülmüştür. Sıcak havalı kabin tipli kurutucuda yapılan kurutmada ise homojen kurutma sağlanamamış, sürenin uzaması ve yüksek sıcaklıklara ulaşılması nedeniyle de ürünün likopen değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. pH seviyeleri raf ömrünü etkileyen parametreler arasında olup en düşük değerini güneşte kurutulan örneklerde almıştır ve bu değeri sıcak havalı kurutma sistemi izlemiştir. Vakum yöntemiyle kurutulan örneklerde de kuruma süresinin uzun olması pek çok kriter bakımından ürünün kötü etkilenmesine sebep olmuştur [70].

Alonge ve Adeboye (2012); direkt ve indirekt tipte iki türlü pasif kurutucu tasarlayıp üretmiş ve biber, bamya ve sebzelerin kuruma oranını belirlemek amacıyla bu kurutucularda kurutmuşlardır. Yapılan pek çok kurutma çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da kurutma öncesinde temizleme, kabuk soyma, ölçme, dilimleme ve kurutulacak ürüne uygun çözeltiliye daldırma gibi işlemler uygulanmıştır. Kurutma esnasında her saatte bir ölçüm alınarak kurutma oranları belirlenmiştir. İçeriğinde %78.9'luk nem bulunduran 180 gram biber için bu oran %24'e düşürülmüştür. Kuruma oranının direkt (doğrudan) güneş enerjili pasif kurutucuda daha yüksek olduğu saptanmıştır. 1000 gramlık bamya için ise ilk nem içeriği %92 iken kurutma sonrasında %20'ye düşürülmüştür. Biberde olduğu gibi direkt güneş enerjili pasif kurutucu ile yapılan kurutmada kuruma oranı daha yüksek olmuştur. Yapılan kurutma çalışmasında doğrudan tip kurutucuda yapılan işlemlerde daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilirdiği için nem giderimi de dolaylı kurutucuya göre daha fazla olduğu belirlenmiştir [71].

Onin (2012); infrared kurutucu ile çeşitli sebze ve meyveler kullanarak yaptığı kurutma çalışmasında; ısıtma gücü ile uygulanan ön işlemlerin kurutma yapısı ve kuru ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada üç farklı infrared gücü kullanılarak (300, 400 ve 500 W) çilek, maydanoz, yeşil ve kırmızı biberin kurutma süresi ile nem difüzyon hızları belirlenmiştir. İnfrared ısıtma gücünün yükselmesiyle etkin difüzyon hızı ve kuruma hızında da artış görülmüştür. Kurutma öncesinde örneklere uygulanan ön işlemin, ürünün kuruma süresi üzerinde önemli farklılıklar oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Aktivasyon enerjisi; maydanoz için 20.854 W/g, çilek için 4.871 W/g, kırmızı biberde 4.371 W/g ve yeşil biber için ise 5.421 W/g olarak belirlenmiş olup infrared gücünün artmasıyla rehidrasyon oranında da artış meydana geldiği görülmüştür. Çalışmada infrared gücünün üründe önemli C vitamini kayıplarına neden olduğu görülmüş ve buradan yola çıkılarak kuru üründe uygun miktarda C vitamini ihtivasının bulunabilmesi için Yanıt Yüze Yöntemi kullanılmıştır. Deney tasarımında merkezi kompozit tasarım kullanılarak maydanoz, çilek, kırmızı ve yeşil biber için bağımsız değişkenler olan taze madde miktarı, infrared gücü ve kuruma süresi belirlenmiştir. Oluşturulan regresyon denklemleri kullanılarak ürünler için belirlenen değişkenlerin optimum değerleri bulunmuştur [72].

Aboud (2013); Golden Delicious cinsi elmaları 5 ve 10 mm olmak üzere iki farklı kalınlıkta raflı pasif güneş enerjili kurutucu ve açıkta güneş altında kurutarak, ürünün kuruma karakteristiği ve kuru ürünün kalite özelliklerini belirleyebilmeyi hedeflemiştir. Hem giderilen nem kaybı oranını arttırmak hem de oluşabilecek renk değişimlerini önlemek amacıyla kurutma öncesinde dilimlenen

elmalar %1'lik askorbik asit çözeltisine batırılmıştır. Kurutucuda yapılan kurutmada 5 mm dilim kalınlığına sahip örneklerdeki kurutma süresi açıkta yapılabildiğine göre %40 azalırken, 10 mm kalınlık için ise %22 azalma görülmüştür. Elma dilim kalınlığının azalması hem kurutucuda hem de güneş altında yapılan kurutma için süreyi azaltmada etkili olmuştur. Bununla birlikte askorbik asit uygulanan numuneler kurutulduğunda meydana gelen nem kaybı oranı daha fazla gözlemlenmiştir [73].

Ayala ve Topete (2014); güneş enerjili hibrit kurutucuda 5 mm kalınlığında dilimledikleri ananası kurutmuşlardır. Denemeler karşılaştırma amaçlı geleneksel bir yöntem olan güneş altında ve hibrit kurutucuda hem ilkbahar hem de kış aylarında olmak üzere toplamda 8 test olarak gerçekleştirilmiştir. İlk nem içeriği ananas kurutmada belirleyici bir faktör olup, ilk nem içeriği aynı olacak şekilde denemelere başlanmıştır. Böylece geleneksel yöntemle yapılan kurutmada nem giderme verimi daha yüksek olmuş ve bu değer %22.7 ile %24 arasında belirlenmiştir. Hibrit tipli kurutucuda ise bu verim %9.3 ile %14 arasında kalmıştır. Bu fark güneş ışığı kullanılarak hibrit kurutucuda bulunan helisel tüplerdeki suyun ısıtılması sırasında meydana gelen enerji kayıplarından oluşmaktadır. Buna rağmen istenilen kuru ürün nem içeriğine 6- 6.8 saatle hibrit kurutucu önce ulaşmış, güneşte kurutma yöntemi ile de 8- 8.8 saat aralığında işlem son bulmuştur [74].

Aliyu ve ark. (2017); Usmanu Danfodiyo Üniversitesi'nde yer alan Sokoto Enerji Araştırma Merkezi'nde orta büyüklüklerde güneş enerjili pasif kurutucu üreterek güneş ışınlarının soğurulma oranını arttırmak için kurutucunun iç kısmını siyaha boyamışlardır. Kurutma denemelerinde taze bamya kullanılmıştır. Kurutma yapılacak örnekler ikiye bölünmüş ve her örnek ağırlık olarak 625 gram gelecek şekilde hem güneşte hem de üretilen kurutucu içerisinde kurutulmuştur. Denemeler Kasım ve Aralık aylarında gerçekleştirilmiş ve 9.00 ile 17.00 saatleri arasında yarım saatlik aralıklarla alınan ölçümlerle veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda güneş enerjili pasif kurutucuda yapılan kurutmanın açık havada yapılabildiğine göre daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Kurutucu içerisindeki bamya örnekleri %88 nem kaybı ile 75 gram olurken, güneşte kurutulanlar ise %76 nem kaybına uğrayarak son ağırlığı 150 g olmuştur. Yapılan bu çalışmada kurutucuda yapılan kurutmanın daha çok nem giderimi sağladığı ortaya konmuştur [75].



## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Kurutulacak Ürün

Kurutmada kullanılmak üzere ülkemizde üretimi en fazla yapılan ve ihracata en çok gönderilen “Starking Delicious” cinsi elma seçilmiştir. 2018 TÜİK verilerine göre Starking Delicious elma çeşidinin üretimi ülkemizde 639,982 dekarlık alanda yapılmakta olup, üretim miktarı 1,299,390 ton olmuştur [76]. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA)’nın 2018 “Ulusal Besin Veritabanı”ndan alınan verilere göre elma çeşitleri kalsiyum (Ca), demir (Fe), magnezyum (Mg), fosfor (P), potasyum (K), sodyum (Na) ve çinko (Zn) minerallerini; A, B1 (Tiyamin), B2 (Riboflavin), B3 (Niyasin), B6 (Piridoksin), B9 (Folate), B12, E, D ve K vitaminleri gibi temel besin içeriklerini bulundurlar. Bunların yanı sıra zengin lif içeriği ve çeşitli organik asitleri de yapılarında bulundurlar [77].

#### 4.1.2. Kurutma Ortamı

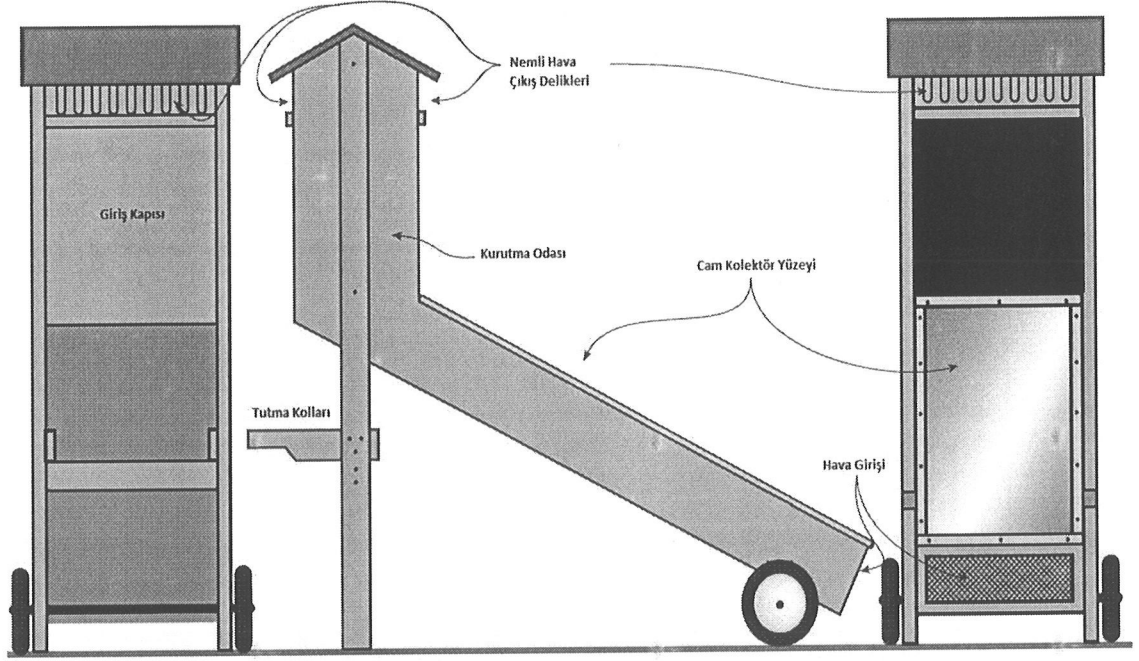
Bu çalışma, Mersin’in Tarsus ilçesinde bulunan Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin terasında gerçekleştirilmiştir. Üniversite 36.95 enlem ve 34.85 boylamında yer almaktadır ve rakımı 161 metredir. Deneyler, sıcaklığın ve güneş ışınım değerlerinin birbirine en yakın olduğu Haziran-Ağustos ayları arasında gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.3. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu

Kurutma deneylerinin yapılacağı çok raflı güneş enerjili kurutucu “Mersin Sanayi Sitesi” içerisinde bulunan bir atölyede yaptırılmıştır. Kurutucu; kolektör (toplayıcı), kurutma bölmesi (odası) ve bacadan oluşmaktadır. Kurutucu; kurutmanın gerçekleştirileceği mevsim ile bölgenin aldığı güneş ışınımı miktarı dikkate alınarak doğal taşınımı olarak dizayn edilmiştir. Doğal taşınımın oluşabilmesi için kurutucu giriş ve çıkışlarına hava kanalları açılmıştır [78].

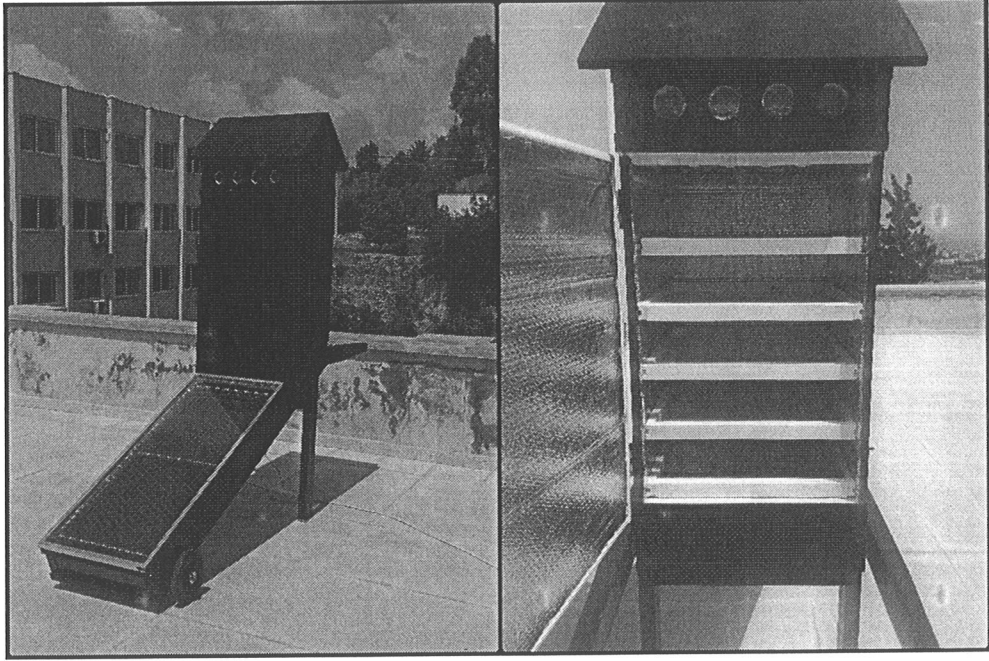
Kurutucunun dış kısmı hava şartlarından olumsuz etkilenmemesi için 18 mm kalınlığındaki kavak kontrplağından imal edilmiştir. Üretimi tamamlandıktan sonra kurutucunun dış kısmı siyaha boyanmıştır. Kolektör kısmı 50x120x15 cm boyutlarındadır ve iç kısmına yalıtım sonrasında üç adet siyaha boyanmış delikli saclar eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. 1mm kalınlığına olan sacların üzerinde delik çapı 25 mm olan delikler bulunmaktadır. Sac levhalar, güneş ışınlarının daha iyi tutulmalarını sağlamak için siyaha boyanmıştır. En üst kısımda ise cam malzemedden oluşan bir kapak yer almaktadır. Kolektör odası, kurutma odasına istenilen sıcak havayı sağlamak için kullanılmıştır. Güneş ışınları, kolektör yüzeyinde toplanır ve havayı ısıtır, ısınan hava doğal konveksiyon ile güneş odasındaki havaya aktarılır. Isınan hava yükselerek kurutma odasına gelir, tepsilerin üzerinden geçer ve nemli hava baca

kısımındaki deliklerden uzaklaştırılarak kurutma tamamlanır. Şekil 4.1'de çok raflı güneş enerjili kurutucunun önden, arkadan ve yandan görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.1. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucunun Şematik Görünümü

Deneyler Şekil 4.2'de gösterilen güneş enerjili kurutucuda yapılmıştır. Kurutma odasının içerisinde 5 adet kurutma tepsi (raf) yer almaktadır. Havanın ürün üzerinden geçişini sağlamak ve sağlıklı bir kurutma sağlayabilmek için paslanmaz elek teli kullanılarak oluşturulan bu rafların kenarlarında ahşap malzeme kullanılmıştır. Rafların kolaylıkla kurutucu içerisine yerleştirilebilmesi için de kurutucunun içerisinde çekmeceli yapı oluşturulmuştur.



Şekil 4.2. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu

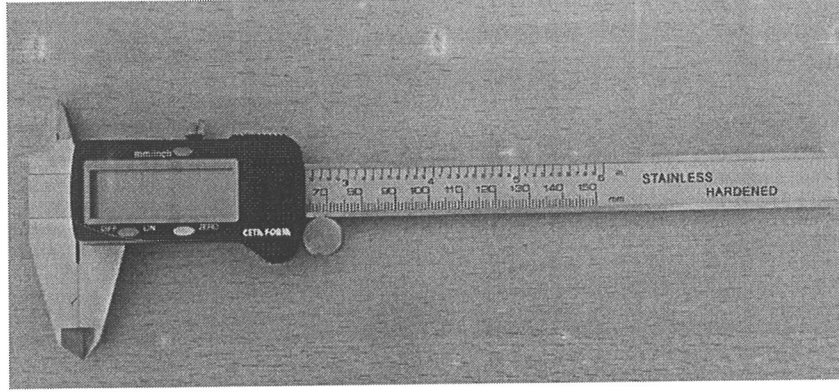
#### 4.1.4. Denemelerde Kullanılan Ölçü Aletleri

Denemeler sırasında elma dilimlerinin belirlenen süreler içerisindeki ağırlık ölçümleri, İSOLAB marka arkadan aydınlatmalı, geniş LCD göstergeli ve havaya karşı izole edilmiş hassas terazi ile yapılmıştır. Kefe çapı 85 mm olan hassas terazinin boyutları 280x210x275 mm'dir. 0.001 hassasiyetinde olan bu terazinin maksimum tartım kapasitesi 320 gram olup Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



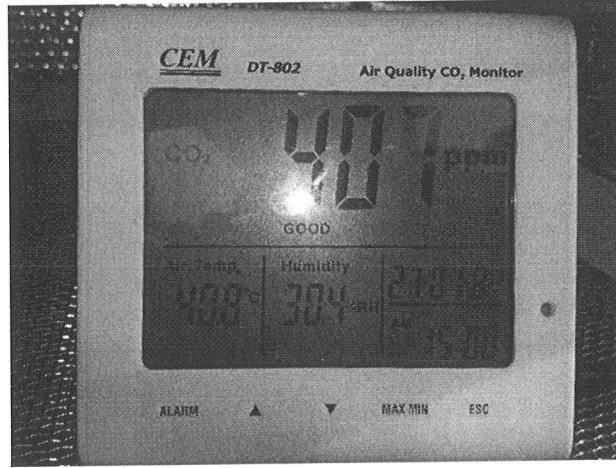
Şekil 4.3. Analitik Hassas Terazi

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



Şekil 4.4. Dijital Kumpas

Sıcaklık ve nem ölçümleri ise “CEM DT-802” marka “Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı” ile yapılmıştır. Bu cihaz havanın karbondioksit miktarını ppm olarak vermekle birlikte havanın sıcaklık ve nemini de hassas bir şekilde ölçmektedir.



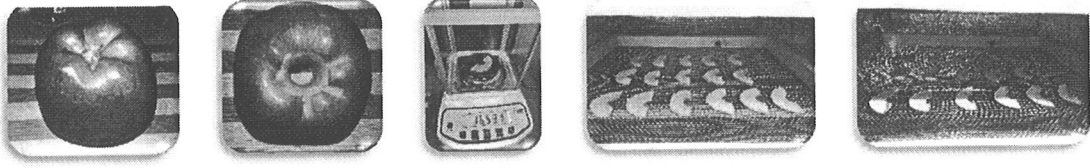
Şekil 4.5. CEM DT-802 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı

#### 4.2. Yöntem

Denemeler için Starking Delicious cinsi elma kullanılmıştır. Elmalar denemelerden önce bir takım hazırlık safhalarından geçirilmiştir. Yıkayıp kabukları soyulan elmaların çekirdekleri alınmış ve ardından da ikiye bölünerek yarım ay şeklinde belirlenen dilim kalınlıklarında dilimlenmiştir. Kurutma

öncesi ilk ağırlık ölçümleri hassas terazi ile ölçülmüştür. Elma dilimlerinin hacim ölçümleri ise cam mezür kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenmiştir.

Gıdalar hasat sonrasında ve çeşitli işlemlerden geçtiklerinde yapılarında kalitelerini etkileyen birtakım değişimler oluşmaktadır. Elma için de renk değişimi kaliteyi olumsuz etkileyen bir parametredir. Elmanın yapısında bulunan fenolik bileşiklerin, uygulanan işlemler (soyma, dilimleme gibi) sonucunda meydana gelen esmerleşmeyi önlemek için elma dilimleri tadında bir değişiklik yapmayacak konsantrasyonunda %0.3 sitrik asit çözeltisine batırılmıştır [22]. Çözeltiden alınan dilimlenmiş elmaların fazla suları süzgeçler yardımıyla süzdürülerek kurutma işlemleri için tepsilere yerleştirilmiştir. Şekil 4.6.'da yapılan ön işlemler ile birlikte bu işlemler sonucunda kurutulmuş elma dilimleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Ön İşlemler ve Kurutma

Kurutmaya etki eden faktörler olarak tepsinin konumu, kuruma süresi, dilim kalınlığı ve tepsiyeyüklenen kütle miktarı seçilmiştir. İlk olarak %nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranları gibi çıkış değişkenlerimiz üzerine tepsinin konumunun etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Güneş enerjili kurutucumuz beş raftan oluşmaktadır. Her bir rafta 300 dakika olarak belirlenen toplam kuruma süresi boyunca 30 dakikada bir ağırlık ve hacim ölçümleri alınmış, %nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranları gibi kurutma verileri elde edilmiştir. Bu veriler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir [79, 80, 81].

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

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_0 - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\text{Büzülme oranı} = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \quad (3)$$

Eşitlik 1 ve 2'de yer alan  $M_0$  ve  $M_t$  sırasıyla kurutma öncesi elma diliminin ağırlığı ile kurutma sonrası elma diliminin ağırlıklarını (g), eşitlik 3'de yer alan  $V_0$  ve  $V_t$  ise sırasıyla kurutma işleminden önceki örnek hacmi ve kurutma işlemi sonundaki örnek hacmini (ml) ifade etmektedir.

#### 4.2.1. Yanıt Yüzey Yöntemi

Yanıt yüzey yöntemi (YYY); problemlerin analizi ve modellenmesinde matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin bir arada kullanılarak sonucun optimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Prosesi etkileyen parametreler bağımsız değişkenler olarak, yanıtlar ise bağımlı değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Optimum bölge, yanıtların izohips eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi veya istenilen hedefe ulaşma fonksiyonu veya lineer olmayan programlama yaklaşımları kullanılarak belirlenir. İlk kimya alanında kullanılsa da son yıllarda tıp, ilaç sanayi, gıda sektörü, bilgisayar ve otomotiv sektörleri gibi pek çok uygulama alanı bulmuştur.

Bu yöntem ile ilk olarak fikirler oluşturularak sistemi niteleyebilecek yanıtlar ve bunları etkileyebilecek faktörlerin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Faktörlerin sayısının oldukça fazla olması sebebiyle ön denemeler yapılarak, faktörler arasından istatistiksel olarak en etkili olanları belirlenir. Bu denemeler eleme denemeleri olarak bilinir ve ileride ihtiyaç duyulabilecek deneme sayısının azalmasını sağlayarak zaman açısından önemli bir avantaj sağlar. Zamanla birlikte maliyetten de kazanç sağlar.

YYY'nin bir sonraki adımında; deneme bölgesindeki bağımsız değişken seviyelerinin sistemin yanıtında meydana getirdikleri yanıtlar incelenerek, optimum noktaya olan uzaklıklarına bakılır. Oluşturulan yanıt yüzeydeki eğrilik optimuma yaklaştıkça belirgin hale gelir. YYY'nin son aşamasında optimum nokta etrafında gerçek yanıt fonksiyonunun hassas olarak tahmini yapılır. Bu fonksiyon, optimum nokta etrafında önemli bir eğrilik oluşturur ve bu eğrinin tahmininin yapılmasında ikinci dereceden modeller kullanılır. Gerçek yanıt fonksiyonunda, değişkenleri yanıt fonksiyonuna bağlayan en uygun model seçilir. Bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır [68].

Yanıt yüzey modelinin oluşturulmasında; sistemin yanıtı ( $y$ ) ile  $m$  sayıdaki denetlenebilir değişkenler ( $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$ ) arasındaki ilişki aşağıda dört numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m) + \varepsilon \quad (4)$$

Eşitlikte bulunan  $f$  değeri gerçek yanıt fonksiyonuna karşılık gelmektedir ve genel olarak ya çok kompleks bir yapıda ya da bilinmeyen bir değerdedir.  $\varepsilon$  ise varyasyon kaynağını temsil etmektedir.  $\varepsilon$  değerinin normal dağılışı gösterdiği, beklenen değerinin ( $E(\varepsilon) = 0$ ) sıfır ve varyansının ( $\sigma^2$ ) sabit olduğu kabul edilerek varsayım yapılmaktadır. Böylece;

$$E(y) = \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)] + E(\varepsilon) \quad (5)$$

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m) \quad (6)$$

olarak eşitlikleri yazılır. Gerçek yanıt fonksiyonunun beklenen değeri " $\eta$ " olarak ifade edilirken; ( $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$ ) değişkenleri ise doğal değişkenler olarak adlandırılır. YYY (RSM) uygulamalarında genellikle

bu doğal değişkenlere ait ortalamasının sıfır, varyansının ise çoğunlukla 1 olarak kabul edildiği kodlanmış değişkenler halinde yazılması istenir. Aşağıda eşitlik 7'de, gerçek yanıt fonksiyonu kodlanmış değişkenler cinsinden belirtilmiştir [68].

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (7)$$

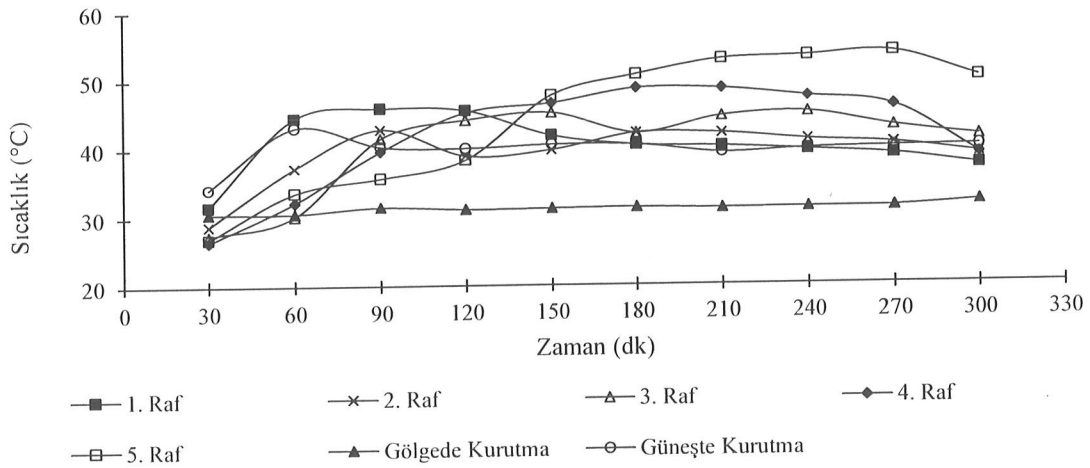
Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY); oluşturulan modele uygun tepki yüzeylerini bulmak için kullanılan bir tasarım çeşididir. YYY'nin kullanım amacı; yanıt yüzeyin yerel maksimum veya yerel minimum noktalarını bulup optimal cevabın gerçekleştiği bölgeyi tanımlamak ve bunu yaparken de işlemi en hızlı ve verimli şekilde gerçekleştirmektir. Genel olarak; düşük dereceli polinom modelleri küçük yanıt yüzeyi bölgesini tanımlamada yeterli olurken, yanıt yüzeyinde eğrilikler meydana geldiğinde ise ikinci dereceden modellerin kullanımı daha uygun olmaktadır. İkinci dereceden modeller, birince derece modelde bulunan tüm terimlerle birlikte ikinci dereceden ve çapraz çarpım terimlerini de içerirler. İkinci dereceden tepki yüzeylerinin ifade edilmesinde grafiksel gösterimler kullanılmaktadır. Oluşturulan kontur grafikleri yüzey şeklini karakterize edip tanımlarken, yaklaşık olarak da optimum sonucun bulunmasına da yardımcı olur.

Yanıt Yüzey Yönteminde yanıtın doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi için sistemin analizi ve modellenmesinde farklı tasarım teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan "Merkezi Kompozit Tasarım" da aksenal ve merkez noktalar olmak üzere iki faktöriyel noktadan oluşmaktadır. Aksenal noktalar dönme özelliğine izin verecek şekilde seçilir bu da model tahmininin tasarım merkezine göre eşit uzaklıktaki tüm noktalarda sabit kalmasını sağlar. Deneysel hatayı tahmin etmek için tekrar edilen noktalar ise merkez noktaları oluşturur. Merkezi Kompozit Tasarım dizaynının en önemli avantajı; merkez ve tasarım noktalarının dışında uç noktalarda da deney tasarımının yapılabildiğini mümkün kılarak dizayn düzlemine döndürülebilir bir özellik kazandırmasıdır [82, 83].

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurutucudaki tepsinin konumu, kurutma süresi, havanın sıcaklığı ve nemi, güneş enerji kurutma türü gibi kurutma koşullarının nem kaybı, büzülme oranı ve kuruma hızına etkisi belirlenmiştir. İlk olarak % nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranları gibi çıkış değişkenlerinin üzerine tepsi konumunun etkisi belirlenmiştir. Kurutma denemelerine her gün saat 10:00'da başlanmıştır. Her bir rafta kalınlığı 10 mm olan elma dilimlerinin 300 dakika olarak belirlenen toplam kuruma süresi boyunca her 30 dakikada bir ağırlık ve hacim ölçümleri alınmış, %nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranları gibi kurutma verileri elde edilmiştir. Ayrıca aynı dilim kalınlığı ve süreler içerisinde gölgede ve direkt açık havada güneşte de kurutma yapılmış ve elde edilen veriler Şekil 5.1, Şekil 5.2., Şekil 5.3. Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'de verilmiştir.

Şekil 5.1. ve 5.2.'de dış ortamda gölgede ve güneşte yapılan kurutma boyunca hava sıcaklığının ve nemin zamanla değişimi verilmiştir. Dış ortam koşulları göz önüne alındığında ilerleyen zamanla birlikte kurutucu içerisindeki havanın sıcaklığı ile nemi değişiklik göstermiştir. Kurutucu ile yapılan deneylerde kurutucu içerisindeki ortalama sıcaklık ve nem sırasıyla 45.47°C ve %39.01 olarak ölçülmüştür. Dışarıda güneş altında yapılan denemede hava sıcaklığı 39.73°C ve nem değeri %42.36 iken; gölgede yapılan denemelerde ise hava sıcaklığı 31.17°C ve nem değeri ise %62.83 olarak gözlemlenmiştir. Kurutucu içerisinde ölçülen en yüksek hava sıcaklığı 53.7°C olurken dış ortamda ölçülen en yüksek sıcaklık ise 43.1°C olmuştur.

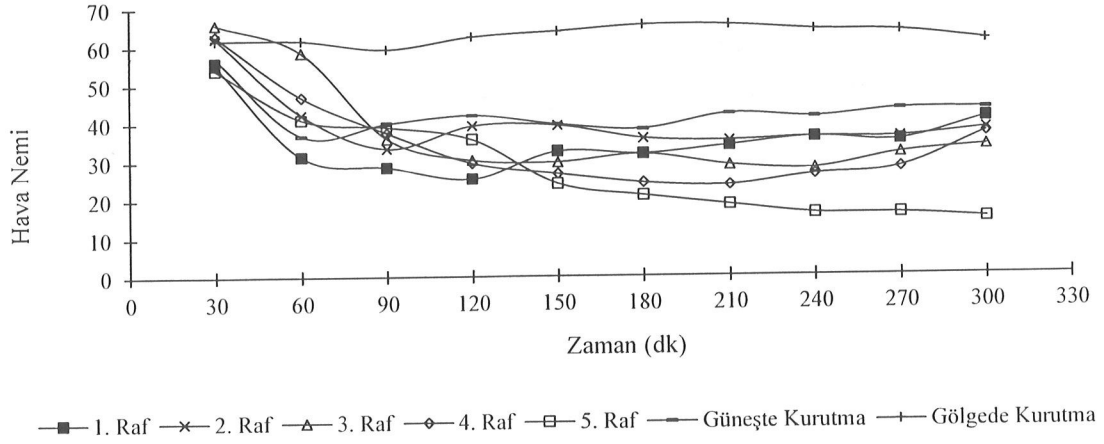


Şekil 5.1. Kurutucu, gölge ve güneşte yapılan kurutmada zamanla sıcaklık değişimi

Kurutucu içerisinde dış ortama göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığını gösteren bir çalışmada, 5 ve 10 mm kalınlığındaki elma dilimleri hem raflı güneş enerjili kurutucuda hem de dış ortamda güneş altında kurutulmuştur. Dış ortam sıcaklığı 30- 33 °C aralığında ölçülürken, raflı

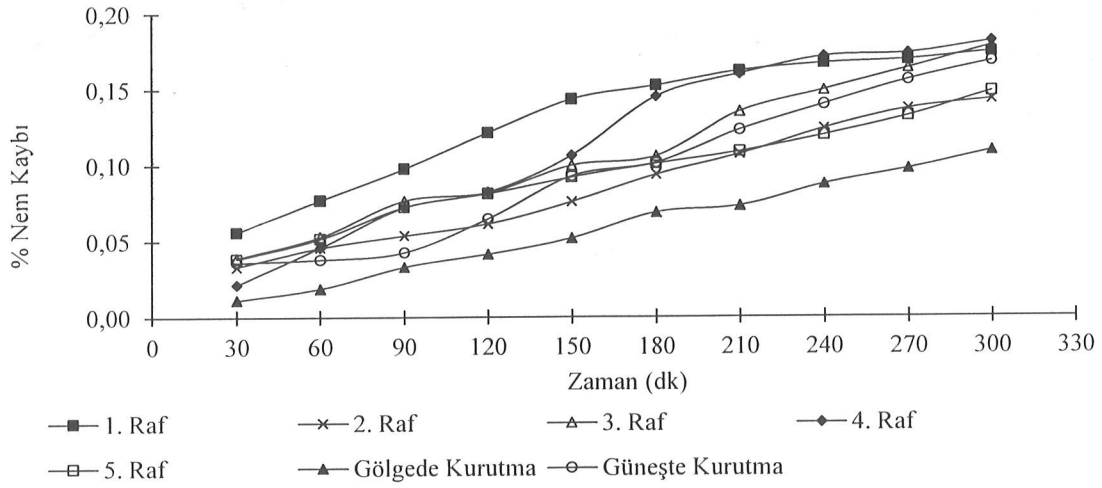


kurutucuda ise 40- 45 °C sıcaklığa ulaşılmıştır. Sıcaklıkta meydana gelen bu artışla birlikte kuruma süresinin kısaldığı ve yüksek kurutma hızlarına ulaşıldığı belirlenmiştir [73].



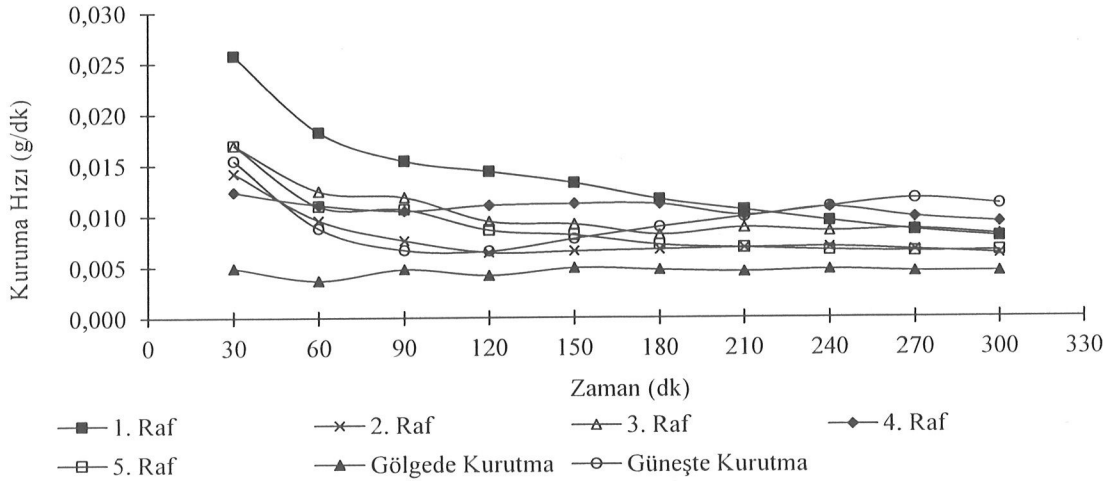
Şekil 5.2. Kurutucu, gölge ve güneşte yapılan kurutmada zamanla nem değişimi

Şekil 5.3.'de elma dilimlerinde zamanla nem kaybı üzerinde meydana gelen değişim gösterilmiştir. Nem kaybı önceden tahmin edildiği gibi zamanla birlikte artmıştır ve tüm raflar ve dışarda yapılan kurutma koşulları göz önüne alındığında nem kaybındaki en fazla değişim kurutucunun ilk rafında gözlemlenmiştir. Kurutucunun kolektör kısmından gelen sıcak hava en başta ilk rafla karşılaşır ve yükseldikçe hava ısısında azalma meydana gelerek baca yardımıyla sistemi terk eder. Bu nedenle diğer raflar ile birlikte, güneşte ve gölgede yapılan kurutmaya da karşılaştırıldığında ilk rafta meydana gelen nem kaybı daha çok olmuştur. Bununla birlikte gölgede yapılan kurutmada ortam sıcaklığı, kurutucuda ve direkt güneş altında yapılan kurutmaya göre daha az olduğu için nem giderimi de diğerlerine göre daha az olmuştur. Direkt güneş altında yapılan denemelerde ise nem kaybı zamanla artmıştır fakat kurutucuda yapılan kurutma işlemine göre bu artış daha az olmuştur. Aboud Golden cinsi elma ile yaptığı çalışmasında, güneş altında ve güneş enerjili pasif kurutucu kullanılarak yapılan kurutma işleminden elde edilen sonuçlarda, her iki yöntemde elma dilimlerinin nem içeriğinin zamanla azaldığı ancak kurutucuda meydana gelen azalmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir [73]. Ayala ve Topeta'nın yaptığı çalışmada ise; hibrit tip kurutucuda ve güneş altında ananas kurutulmuş ve istenilen kuru ürün nem içeriğine kurutucu ile daha çabuk ulaşıldığı görülmüştür [74].



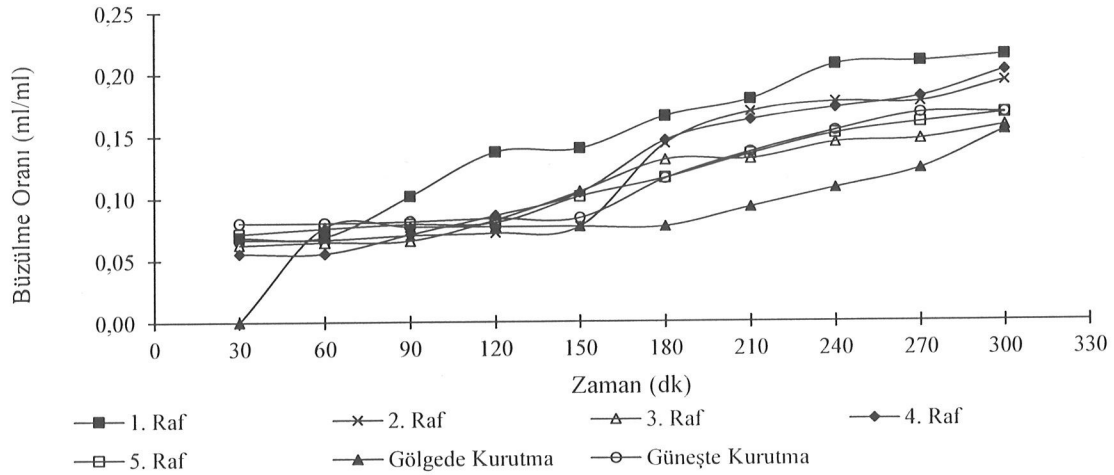
Şekil 5.3. Elma dilimlerinin zamanla nem kaybı değişimi

Kurutucuda, gölgede ve güneşte yapılan kurutma işlemlerinde zamana bağlı kuruma hızı değişimi Şekil 5.4’de verilmiştir. Kuruma hızının değişimi genel olarak güneşte yapılan kurutma haricinde azalmıştır ve 90. dakikadan itibaren önemli sayılabilecek bir değişim olmamıştır. Direkt güneşte altında yapılan kurutmada da denemenin başlangıcında bir azalma gözlemlense de hava akımına bağlı olarak 120. dakikadan sonra artış başlamıştır. Aktaş ve arkadaşları benzer bir çalışmada 4 mm kalınlığında dilimledikleri elmaları güneş enerjili kurutucu ile kurutmuş ve kuruma hızının zamanla azaldığını gözlemlenmişlerdir. Oluşturdukları kurutma grafiklerine göre de 100. Dakikadan itibaren önemli bir azalmanın oluşmadığını ortaya koymuşlardır [84].



Şekil 5.4. Elma Dilimlerinin Zamanla Kurumu Hızı Değişimi

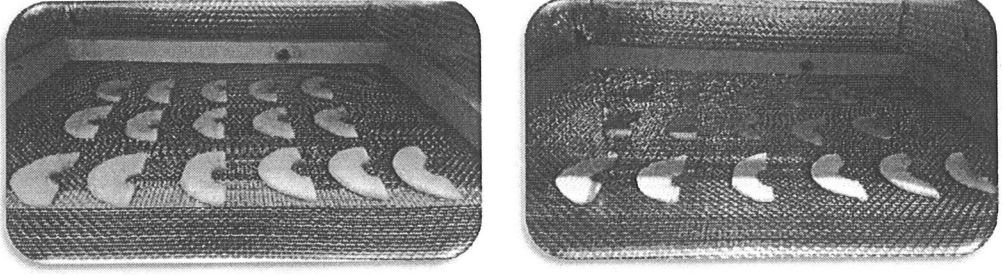
Şekil 5.5.'de ise kurutucu raflarında bulunan elmaların zaman içinde büzülme oranında meydana gelen değişimi gösterilmiştir. Kurutma süresince büzülme oranı artmıştır. Denemenin başlangıç zamanlarındaki ölçümlerde buharlaşmanın yeni başlaması nedeniyle büzülme oranında fazla bir değişim olmamıştır. Süre artıkça bu oran gittikçe artmaya başlamıştır. En fazla büzülmenin kurutucunun ilk raflarında olduğu görülmüştür. Birinci raf haricinde, ilk iki saatlik zaman diliminde büzülme oranında ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. 120. dakikadan itibaren artış başlamıştır. Gölgede yapılan denemede 180.dakikadan sonra, direkt güneş altında yapılan çalışmada ise 150. dakikadan sonra artmaya başlamıştır. Heybeli ve Ertekin de Starking Delicious elma cinsini kullanarak 5 mm olarak dilimledikleri elmaları raflı kurutucu vasıtasıyla kurumaya bırakmış ve 90 dakika olarak belirledikleri zaman aralığında da örneklerin ölçümlerini alarak hacimsel değişimlerini belirlemiştir. Büzülme oranının ürünün nem içeriğine bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir [85].



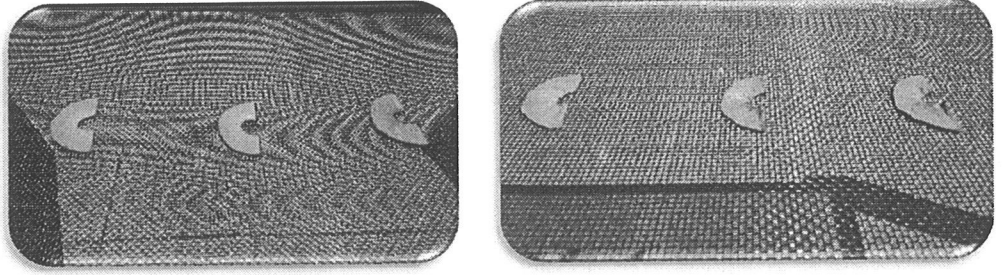
Şekil 5.5. Elma Dilimlerinde Zamanın Büzülme Oranına Etkisi

Elde edilen verilere göre; kurutucu içerisinde en iyi kuruma koşulları birinci rafta görüldüğü için, RSM denemeleri de birinci raf kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak; bu deneylere ait kurutma süresi artarken kurutma odasındaki hava sıcaklığı artmış ve hava nemi azalmıştır. Bu sebeple; elma dilimlerinde zamanla nem kaybı ve büzülme oranı artarken kuruma hızı azalmıştır. Ayrıca kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen nem kaybı ve büzülme oranı, güneşte ve gölgede yapılan kurutmaya göre daha fazla olmuştur.

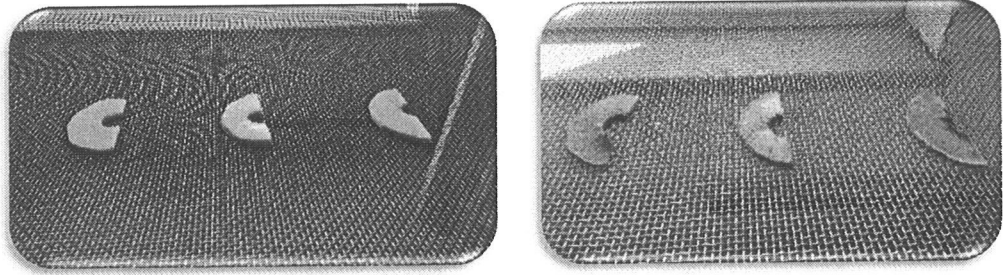
Şekil 5.6., Şekil 5.7. ve Şekil 5.8' de sırasıyla kurutucu, güneş altında ve gölgede kurutulan elma örneklerinin başlangıç ve son durumdaki halleri verilmiştir.



Şekil 5.6.Kurutucu İçerisindeki Yaş ve Kuru Ürün



Şekil 5.7.Güneş Altında Yapılan İşlemde Yaş ve Kuru Ürün



Şekil 5.8.Gölgede Yapılan İşlemde Yaş ve Kuru Ürün

Kurutucu kabininde, açıkta güneşte kurutma ve gölgede kurutmaya göre daha fazla sıcaklık ve daha az nem olmasından dolayı elma dilimleri daha kısa sürede kurumaktadır. Kurutucu içerisinde kurutulan elma dilimlerinde daha fazla nem giderimi olmakta ve daha fazla büzülme olmaktadır. Güneş altında ile gölgede kurutmada ürün daha uzun sürede kurumakta ve daha yavaş nem kaybı olduğu için havadaki oksijenle reaksiyona girerek renklerde değişime yol açan oksidasyona daha fazla maruz kalmaktadır. Bu yüzden kurutucu dışında kurutulan üründe daha fazla renk kaybı olmaktadır. Bunun gibi birçok sebeple güneşlenme potansiyeli yüksek ancak hava nemi de yüksek olan Mersin İlinde güneş enerjili kurutucular tarım sektöründe çiftçilere büyük oranda faydası bulunacaktır. Kurutma süresi ve elektrik kullanımı ele alındığında güneş enerjili kolektörler kullanmak ekonomik olarak fayda sağlamaktadır.

### 5.1. Yanıt Yüzey Yöntemi Analizi

Çok rafli güneş enerjili kurutucudaki kurutma işleminin optimizasyonu için yanıt yüzey yöntemi kullanılmış ve bu yöntemin belirlediği deneysel tasarıma göre deneyler yapılmıştır. Yanıt yüzey yöntemi için Design Expert 6.0.10 programı kullanılmıştır. Kurutma işleminin parametreleri olan bağımsız giriş değişkenleri dilim kalınlığı, kurutma süresi ve taze madde miktarı seçilmiştir. Bu değişkenlerin yanıt üzerinde etkisinin önemli olabileceği ve kontrol edilebileceği için seçilmiştir. Yukarıda yapılan deneyler sonucunda giriş değişkenlerinin alt-üst sınırları Design Expert programına tanımlanmış, faktörler ve etki düzeylerine göre deney seti oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu yöntem ile kurutma işleminin giriş parametrelerinin optimum seviyelerinde elde edilecek maksimum yanıtlar arasında kurulacak en uygun matematiksel model seçilmiş ve deney sonuçları matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Ayrıca optimum sonuçlar ve kurutma işleminin parametrelerinin deney sonuçları üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ANOVA tabloları verilmiştir.

Değişkenlerin alt ve üst sınırları daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Elma dilimleri miktarı, dilim kalınlığı ve kurutma süresi için optimal seviyelerin kod değerleri  $-\alpha$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $1$  ve  $+\alpha$  olarak verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Değişkenlerin Gerçek Değerleri ve Kodları

Bağımsız Değişkenler	Semboller	Kod Seviyeleri				
		$-\alpha$	$-1$	$0$	$1$	$+\alpha$
Elma Dilim Ağırlığı (g)	$X_1$	32.7	60	100	140	167
Kurutma Süresi (dk)	$X_2$	58.6	120	210	300	361
Elma Dilim Kalınlığı (mm)	$X_3$	3.98	5.00	6.50	8.00	9.02

Tablo 5.2.'de verilen deney veri setinde bağımsız değişkenlerin kod değerleri kullanılmıştır.  $X_1$  elma dilim miktarını (32.7-167 g),  $X_2$  kuruma süresini (58.6- 361 dakika) ve  $X_3$  ise elma dilim kalınlığını (3.98- 9.02 mm) ifade etmektedir. Kurutma koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model aşağıda verilmiştir ve değişkenlerin kod değerleri bu denkleme göre belirlenmiştir.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} X_i^2 + \sum_{i_j < j}^k \sum_j^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (8)$$

$i$  ve  $j$ 'nin doğrusal ve ikinci dereceden katsayılar olduğu yerde;  $b$  bir regresyon katsayısını,  $k$  deney tasarımındaki optimize edilen faktörleri ve  $e$  ise rastgele bir hatayı tanımlamaktadır.

**Tablo 5.2.** Deney Veri Seti

Deney No	Yüklenen Elma Dilim Miktarı(g)	Kurutma Süresi (dk)	Elma Dilim Kalınlığı(mm)	Su Kaybı	Kuruma hızı (g/dk)	Büzülme Oranı
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{WL}$	$Y_{DR}$	$Y_{SR}$
1	-1.00	-1.00	-1.00	0.360	0.0225	0.368
2	1.00	-1.00	-1.00	0.451	0.0258	0.476
3	-1.00	1.00	-1.00	0.747	0.0187	0.834
4	1.00	1.00	-1.00	0.704	0.0184	0.725
5	-1.00	-1.00	1.00	0.299	0.0250	0.290
6	1.00	-1.00	1.00	0.353	0.0270	0.379
7	-1.00	1.00	1.00	0.597	0.0199	0.617
8	1.00	1.00	1.00	0.597	0.0210	0.627
9	-1.68	0.00	0.00	0.598	0.0237	0.635
10	1.68	0.00	0.00	0.529	0.0214	0.590
11	0.00	-1.68	0.00	0.170	0.0260	0.187
12	0.00	1.68	0.00	0.653	0.0168	0.621
13	0.00	0.00	-1.68	0.674	0.0180	0.741
14	0.00	0.00	1.68	0.477	0.0280	0.519
15	0.00	0.00	0.00	0.518	0.0230	0.539
16	0.00	0.00	0.00	0.535	0.0230	0.545
17	0.00	0.00	0.00	0.548	0.0237	0.537
18	0.00	0.00	0.00	0.552	0.0236	0.596
19	0.00	0.00	0.00	0.575	0.0240	0.591
20	0.00	0.00	0.00	0.575	0.0247	0.585

Kurutulacak üründen nemin uzaklaştırılması ürünün uzun süre depolanabilmesi ve muhafazası için oldukça önemlidir. Bu nedenle yanıtlardan (çıkış değişkenlerinden) biri uzaklaştırılan nem miktarı ( $Y_{WL}$ ) olarak seçilmiştir. Bir diğer yanıt olarak kuruma hızı ( $Y_{DR}$ ) seçilmiştir. Havanın nemi, sıcaklığı ve kurutulacak ürünün dilim kalınlığı kuruma hızını etkilemektedir. Son yanıt olarak ise büzülme oranı ( $Y_{SR}$ ) seçilmiştir.

$Y_{WL}$ ,  $Y_{DR}$  ve  $Y_{SR}$  yanıtları için oluşturulan modelin varyans analizi (ANOVA) sonucunda, çok küçük bir olasılık değeri (P değeri) alması modelin önemini ortaya koymaktadır. ANOVA, P değerinin 0,0001'den küçük olduğu yerlerde modelin anlamlı olduğunu ileri sürmektedir. Katsayıların her birinin önemini kontrol etmek için bir araç olarak kullanılan P değerleri, değişkenler arasındaki etkileşim şeklini göstermektedir.

Deney sonucundaki yanıtlara bakıldığında  $Y_{WL}$  olarak gösterilen nem kaybı 0.17 ila 0.747 değerleri arasında iken,  $Y_{DR}$  olarak verilen kuruma oranı 0.016 ila 0.280 arasında ve  $Y_{SR}$  ile belirtilen büzülme oranı ise 0.187 ila 0.834 değerleri arasında değişmektedir. En fazla nem kaybı ve büzülme elma dilim kalınlığının 5 mm ve kurutma süresinin 300 dakika olduğu 60 gramlık denemede gözlemlenirken, en düşük nem kaybı ve büzülme 58.6 dakikada yapılan 6.50 mm dilim kalınlığındaki 100 gramlık yüklemde gözlemlenmiştir. Kuruma hızı ise elma dilim kalınlığının 9.02 mm olduğu 100 gram yüklem yapılarak 210 dakikada kurumaya bırakılan denemede maksimum değerini ve 6.50 mm

kalınlığında 361 dakika boyunca kurutulan 100 gramlık yükleme yapılan denemede minimum değerine ulaşılmıştır.

Tablo 5. 2 de verilen koşullarda yapılan deneyler sonucunda alınan yanıtlara göre kurutma koşulları ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model oluşturulmuş ve aşağıdaki eşitlikler ile verilmiştir.

$$Y_{WL} = 0.550 - 0.000989 X_1 + 0.146 X_2 - 0.0547 X_3 + 0.00437 X_1^2 - 0.0495 X_2^2 + 0.00853 X_3^2 - 0.0235 X_1 X_2 + 0.000679 X_1 X_3 - 0.0122 X_2 X_3 \quad (9)$$

$$Y_{DR} = 0.0227 + 0.000169 X_1 - 0.00277 X_2 + 0.00179 X_3 + 0.018 X_1 X_2 + 0.013 X_1 X_3 - 0.020 X_2 X_3 \quad (10)$$

$$Y_{SR} = 0.566 - 0.00164 X_1 + 0.148 X_2 - 0.0631 X_3 + 0.015 X_1^2 - 0.0589 X_2^2 + 0.0211 X_3^2 - 0.0369 X_1 X_2 + 0.0125 X_1 X_3 - 0.0176 X_2 X_3 \quad (11)$$

9, 10 ve 11 eşitlikleri kurutma koşullarının optimum seviyeleri belirlemek için kullanılmıştır. Eşitlikler kolay türevi alınabilen denklemler olduğu için her bir etkene göre birinci türev alınıp, yanıt sıfıra eşitlenerek (analitik yöntem) katsayılar matrisi oluşturulmuştur. Bu katsayılar matrisi Matlab'da çözümlenerek her bir değişken için optimum seviyeleri bulunmuştur.

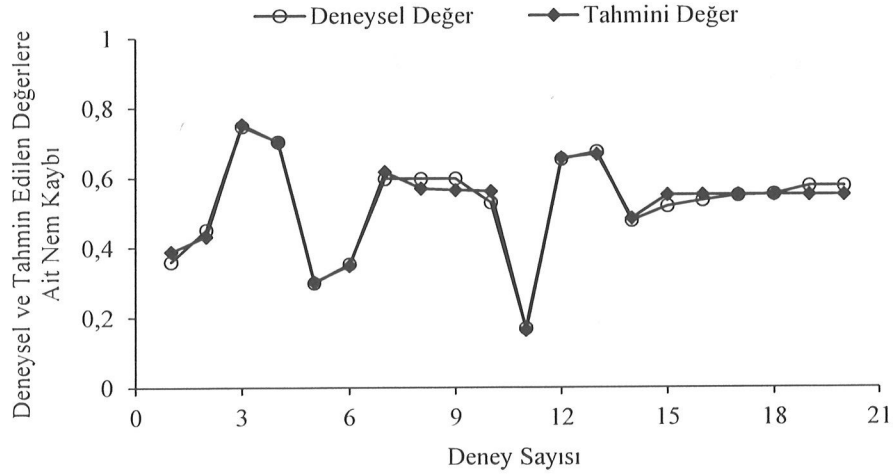
Bu modellerin deneysel verilerle uyumu belirlenmiş ve uygunluk değeri olan korelasyon sabitinin ( $R^2$ ) değeri karşılaştırılmıştır.  $R^2$  ne kadar 1'e yakınsa model o kadar iyi uyum göstermiş demektir. Gıda ürününün kurutulmasının modellenmesinde regresyon ve korelasyon analizleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tablo 5.3'de gösterildiği gibi en iyi model performansları korelasyon katsayısı  $R^2$  değerleri, nem kaybı için 0.981, kuruma oranı için 0.801 ve büzülme oranı için ise 0.973'dir. Lineer, ikinci derece polinomial, çarpaz çarpım ve kübik modeller içerisinde en yüksek uyumu ( $R^2$ ) veren denklem seçilmiştir. Tablodaki F değerlerinden birkaç kat daha büyük bir F değerinin olması, modelin deneysel sonuçları iyi tahmin ettiğini ve tahmin edilen faktörlerin etkilerinin gerçek olduğunu göstermektedir.

**Tablo 5.3.** RSM için Regresyon Parametrelerinin ANOVA Değeri

Yanıt	Regresyon	df	$R^2$	F	Pr > F
Nem Kaybı	Lineer	3	0.865	34.2	<0.0001
	Cross-product	3	0.880	0.529	0.670
	<u>Quadratic</u>	<u>3</u>	<u>0.981</u>	<u>17.9</u>	<u>0.000239</u>
	Artık	4			
Kuruma Hızı	<u>Lineer</u>	<u>3</u>	<u>0.801</u>	<u>21.5</u>	<u>&lt;0.0001</u>
	Cross-product	3	0.815	0.319	0.811

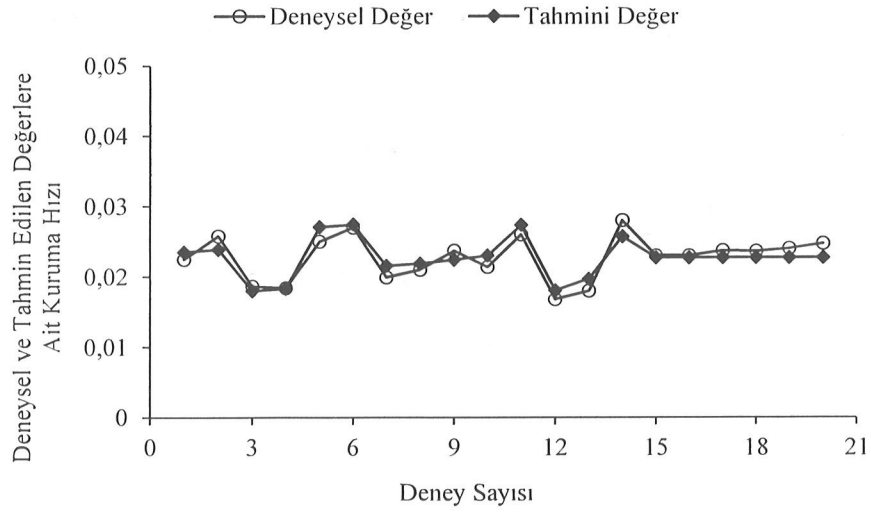
	Quadratic	3	0.872	1.50	0.274
	Artık	4	0.989		
Büzülme Oranı	Linear	3	0.793	20.4	<0.0001
	Cross-product	3	0.826	0.815	0.508
	<u>Quadratic</u>	<u>3</u>	<u>0.973</u>	<u>17.9</u>	<u>0.000243</u>
	Artık	6			

Nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranları için beklenen değerler ile deneysel veriler Şekil 5.9., Şekil 5.10. ve Şekil 5.11. ile gösterilmiştir. Grafiklerde; beklenen değerler ile elde edilen değerler arasında uyum olduğu görülmüştür. Böylece  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  ve  $Y_{WL}$ ,  $Y_{DR}$  ve  $Y_{SR}$  arasında istatistiksel olarak anlamlı bir çoklu regresyon ilişkisi kurulabilmektedir. Tablo 5.2 ve aşağıdaki şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 den görüldüğü üzere  $Y_{WL}$  ve  $Y_{SR}$  için ikinci dereceden model,  $Y_{DR}$  için ise lineer model iyi bir uyum göstermiştir ve bu modeller, seçilen değişkenler arasındaki ilişkiyi etkin bir şekilde temsil etmektedir.

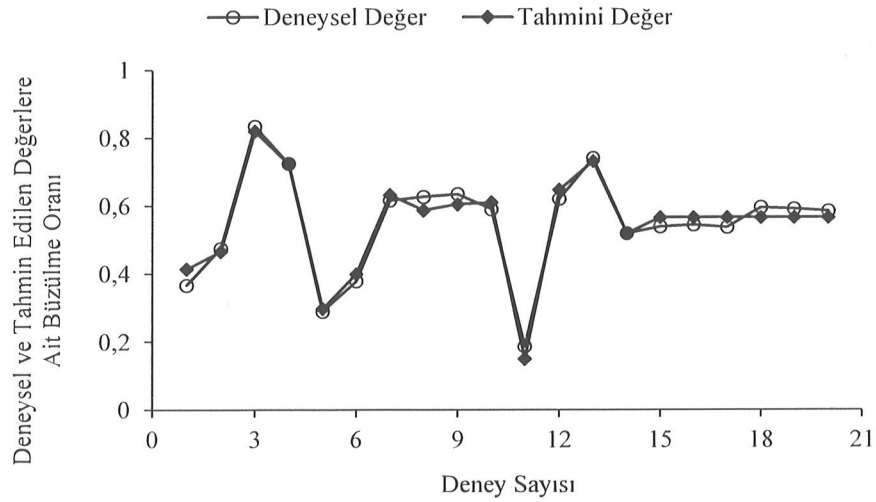


Şekil 5.9. DeneySEL ve Tahmini Değerlere Ait Nem Kaybı





Şekil 5.10. Deneysel ve Tahmini Değerlere Ait Kuruma Hızı



Şekil 5.11. Deneysel ve Tahmini Değerlere Ait Büzülme Oranı

Ürünün nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranına karşılık gelen P değerleri ile birlikte regresyon katsayıları Tablo 5.4., 5.5. ve 5.6.'de belirtilmiştir. Verilen tablolarda  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $X_3$  için tüm doğrusal terimlerin regresyon katsayılarının ve ikinci dereceden katsayılarının  $P < 0.001$  seviyelerinde önemli olduğunu;  $X_1X_2$ ,  $X_1X_3$  ve  $X_2X_3$ 'ün etkileşim katsayılarının ise daha az önemli olduğunu göstermektedir. ANOVA  $P < 0.001$ 'de modelin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Katsayıların her birinin önemini kontrol etmek için bir araç olarak kullanılan P değerleri, değişkenler arasındaki etkileşimi göstermektedir. Daha küçük bir P değerine karşılık gelen katsayı daha anlamlıdır. Bağımsız

değişkenlere bağlı kontur grafikleri aynı yazılım paketi kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 5.12- 5.19) ve grafiklere göre deneysel olarak araştırılan alanda yerel bir optimum bulunduğunu göstermektedir.

Elma dilim kalınlığı ile kurutma süresinin; su kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.  $X_2^2$ 'nin ikinci dereceden terimi ile  $X_1X_2$  vektörel terimleri su kaybı ve büzülme oranı yanıtlarının verimi üzerinde önemli bir etki gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Modellerin ANOVA sonuçları; doğrusal, ikinci dereceden, vektörel ve toplam model arasında iyi bir model performansını gösteren (su kaybı verimi için 0.981  $R^2$  değeri ve 57.87 F değeri ile, kuruma oranı için 0.82  $R^2$  değeri ve 21.53 F değeri ile ve büzülme oranı için ise 0.973  $R^2$  değeri ve 39.39 F değeri) değerler Tablo 5.4. 5.5. ve 5.6.'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.4.** Nem Kaybına Ait ANOVA Değerleri

Nem Kaybı				
Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	P-değeri Olasılık > F
Model	0.376	9	57.9	< 0.0001
$X_1$	1.34E-005	1	0.0185	0.895
$X_2$	0.291	1	403	< 0.0001
$X_3$	0.0409	1	56.6	< 0.0001
$X_1^2$	0.000275	1	0.381	0.551
$X_2^2$	0.0353	1	48.8	< 0.0001
$X_3^2$	0.00105	1	1.45	0.256
$X_1X_2$	0.00443	1	6.13	0.0328
$X_1X_3$	3.69E-006	1	0.00510	0.944
$X_2X_3$	0.00119	1	1.65	0.228
Artık	0.00723	10		
Model uygunsuzluğu	0.00471	5	1.88	0.253
Hata	0.00251	5		
Toplam	0.384	19		
$R^2 = 0.981$				

**Tablo 5.5.** Büzülme Oranına Ait ANOVA Değerleri

Büzülme Oranı				
Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	P-değeri Olasılık > F
Model	0.434	3	39.4	< 0.0001
$X_1$	3.67E-005	1	0.0300	0.866
$X_2$	0.299	1	244	< 0.0001
$X_3$	0.0545	1	44.5	< 0.0001
$X_1^2$	0.00323	1	2.64	0.135
$X_2^2$	0.0501	1	40.9	< 0.0001
$X_3^2$	0.00639	1	5.22	0.0454
$X_1X_2$	0.0109	1	8.90	0.0137
$X_1X_3$	0.00126	1	1.03	0.334
$X_2X_3$	0.00248	1	2.02	0.185
Artık	0.0122	10		
Model uygunsuzluğu	0.00833	5	2.13	0.213
Hata	0.00391	5		

Toplam	0.446	19
$R^2 = 0.81$		

**Tablo 5.6.** Kuruma Hızına Ait ANOVA Değerleri

Kuruma Hızı				
Faktör	Kareler Toplamı	df	F Değeri	P-değeri Olasılık > F
Model	0.000148	3	4.95E-005	< 0.0001
$X_1$	3.88E-007	1	3.88E-007	0.686
$X_2$	0.000105	1	0.000105	< 0.0001
$X_3$	4.36E-005	1	4.36E-005	0.000493
Artık	3.68E-005	16	2.30E-006	
Model uygunsuzluğu	3.47E-005	11	3.15E-006	0.0182
Hata	2.07E-006	5	4.15E-007	
Toplam	0.000185	19		
$R^2 = 0.973$				

Her katsayının ve etkileşimlerinin önemi Tablo 5.4., 5.5. ve 5.6'da gösterilmiştir.  $X_2$  ve  $X_3$ 'ün doğrusal terimleri,  $X_2^2$ 'nin ikinci derece terimi ve  $X_1X_2$ 'nin vektörel terimi nem kaybı üzerinde önemli etkiler yaratmıştır.

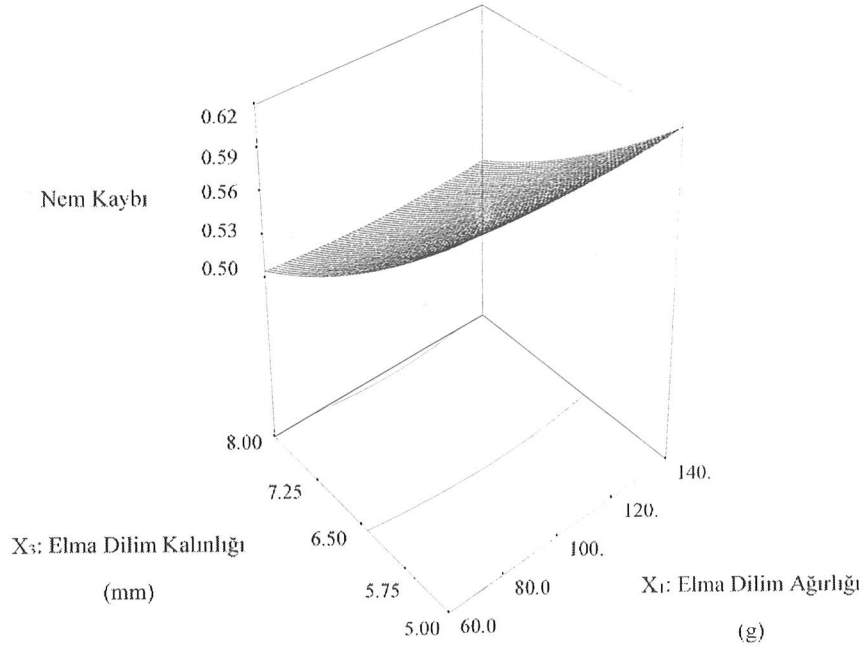
$X_2$  ve  $X_3$ 'ün doğrusal terimlerinin yalnızca kuruma hızı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. İkinci dereceden ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin kuruma hızı modeli için göz ardı edilemez olduğu belirlenmiştir.

$X_2$  ve  $X_3$ 'ün doğrusal terimleri,  $X_2^2$  ve  $X_3^2$ 'nin ikinci derece terimi ile  $X_1X_2$ 'nin vektörel terimi büzülme oranı üzerinde önemli etkiler göstermiştir.

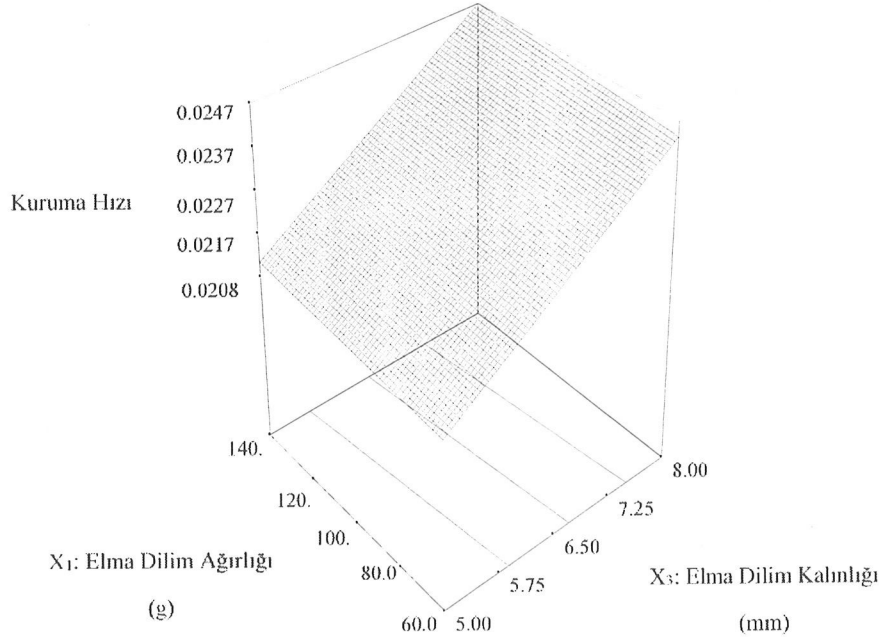
## 5.2. Yanıt Yüzey Yönteminin Grafikselsel Analizi

Şekil 5.12' den Şekil 5.19' a kadar tepki (yanıt) yüzeylerin 3boyutlu (3D) grafiklerle verilmiştir. İlk üç grafik olan Şekil 5.12., Şekil 5.13. ve Şekil 5.14. elma dilim kalınlığı ile elma dilim ağırlığının nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı üzerindeki etkisini göstermektedir.

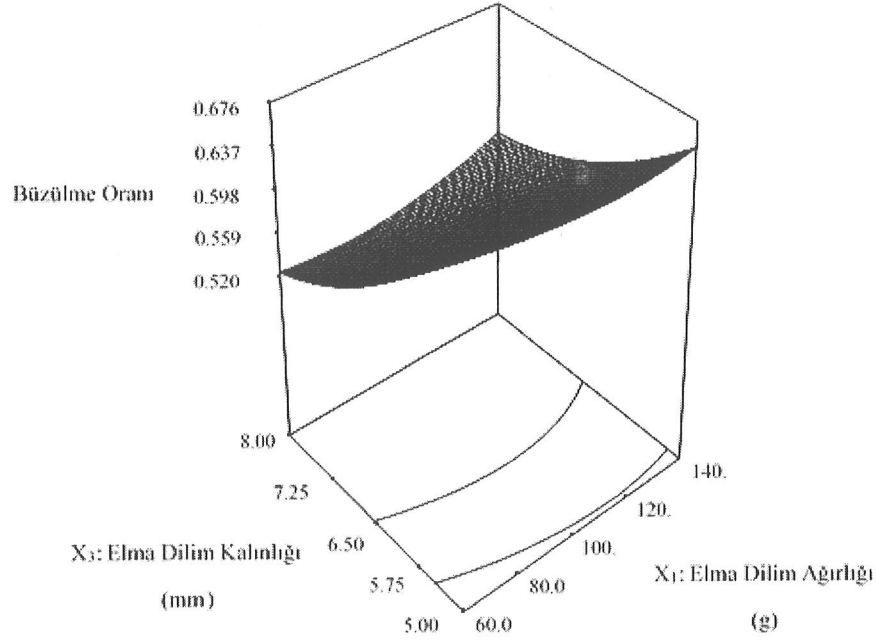
Elma dilim kalınlığının azalması ile yüksek elma dilim ağırlığı yüklenmesinin ikili kombinasyonu, nem kaybını ve büzülme oranını arttırmıştır fakat kuruma hızında aynı etkiyi göstermemiştir.



Şekil 5.12. Elma Dilim Kalınlığı ve Ağırlığının Nem Kaybına Etkisi



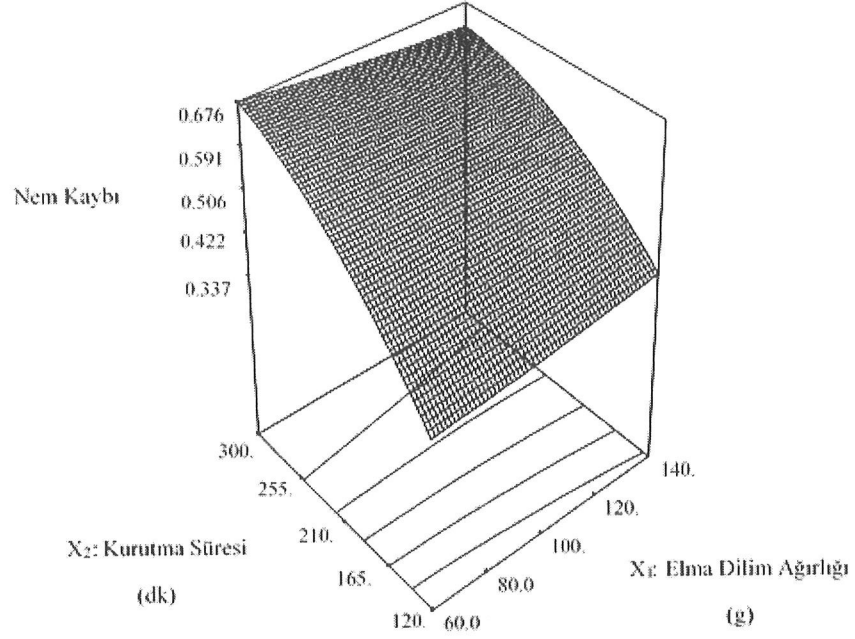
Şekil 5.13. Elma Dilim Kalınlığı ve Ağırlığının Kuruma Hızına Etkisi



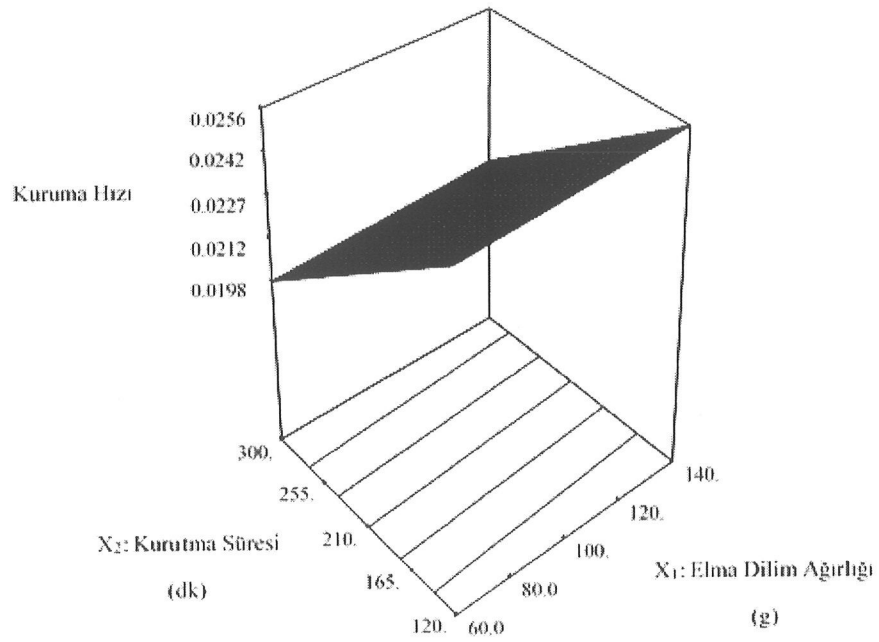
Şekil 5.14. Elma Dilim Kalınlığı ve Ağırlığının Büzülme Oranına Etkisi

Uzaklaştırılan nem miktarı ( $Y_{WL}$ ) ve büzülme oranı ( $Y_{SR}$ ) üzerinde elma dilim ağırlığının doğru orantılı bir etkisinin olduğu, elma dilim kalınlığının ise ters orantılı şekilde etki ettiği görülmektedir. Yanıtlardan bir diğeri olan kuruma hızı ( $Y_{DR}$ ) için ise hem yüklenen elma dilim ağırlığının hem de elma dilim kalınlığının doğrusal etki ettiği gözlemlenmiştir.

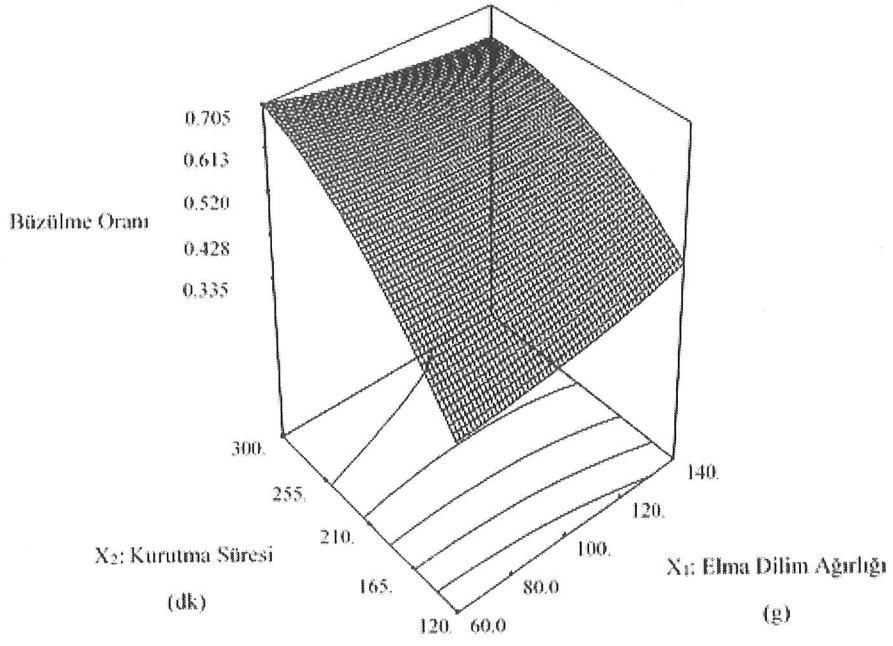
Şekil 5.15., Şekil 5.16. ve Şekil 5.17; kurutma süresi ve elma dilim ağırlığının su kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranına etkilerini göstermektedir. Sonuçlara göre; kurutma süresinin nem kaybı ile büzülme oranına etkisi pozitif korelasyon ile açıklanabilirken, elma dilim ağırlığının ise kuruma hızına etkisi negatif (ters) korelasyon ile açıklanabilir. Bu nedenle ürünün nem kaybı ve büzülme oranı değerleri hem elma dilim ağırlığı hem de kurutma süresinin artmasıyla artış gösterirken, elma dilim kalınlığının artması bu değerler üzerinde olumsuz etki yaratmıştır. Kurutma işlemi boyunca taşınımın artmasıyla birlikte nem kaybı ve büzülme oranı da buna bağlı olarak artmıştır. Yanıt yüzeyleri nem kaybı ve büzülme oranı için benzer bir eğilim göstermektedir ve bu da bu değerler arasında bir korelasyon olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.15. Kurutma Süresi ve Elma Dilim Ağırlığının Nem Kaybı Değerine Etkisi

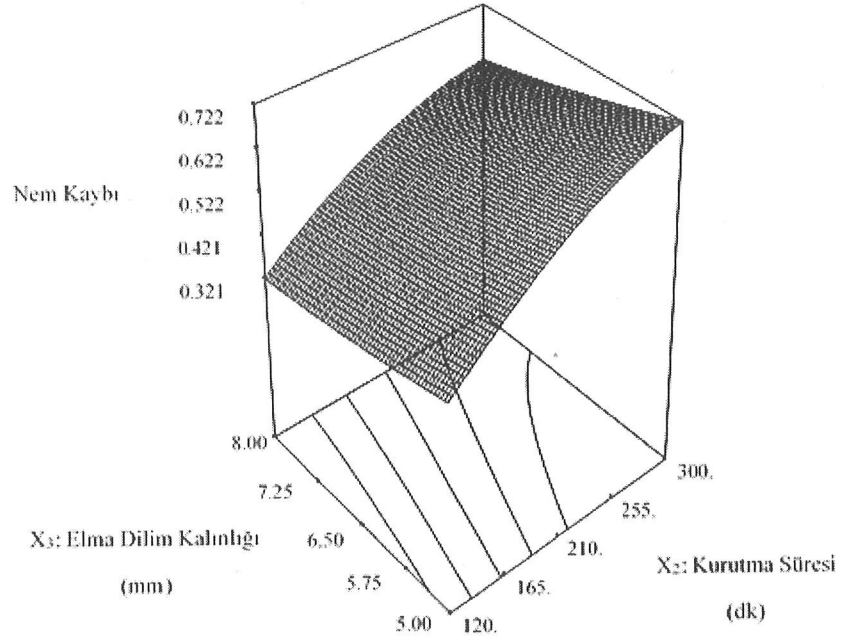


Şekil 5.16. Kurutma Süresi ve Elma Dilim Ağırlığının Kuruma Hızı Üzerine Etkisi

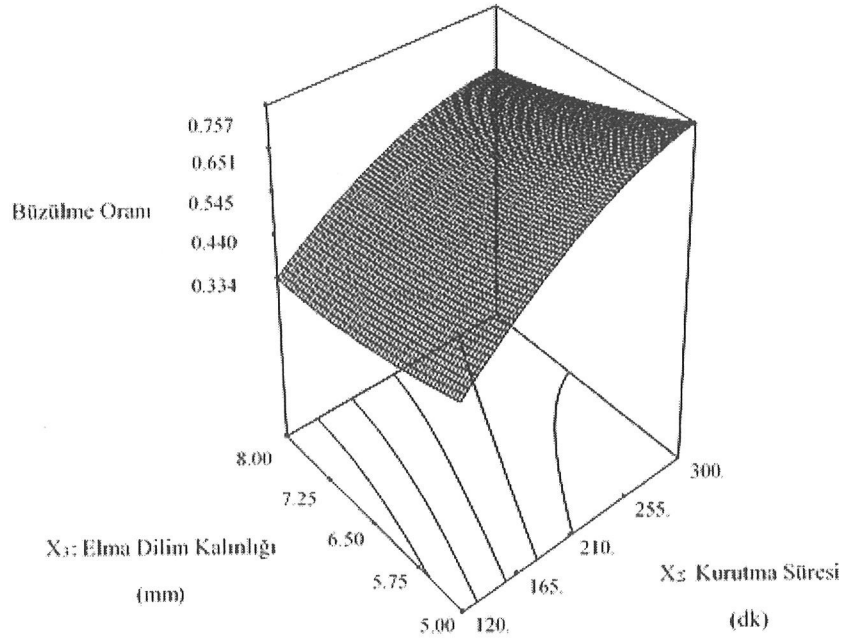


**Şekil 5.17.** Kurutma Süresi ve Elma Dilim Ağırlığının Büzülme Oranı Değerine Etkisi

Şekil 5.18. ve 5.19. elma dilim kalınlığı ve kurutma süresinin nem kaybı ve büzülme oranı üzerindeki etkisini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre; nem kaybı ve büzülme oranı üzerinde kurutma süresinin doğrusal bir etkiye sahip olduğu görülürken, elma dilim kalınlığı ile aralarındaki ilişki ise negatif korelasyon ile açıklanabilir.



Şekil 5.18. Kurutma Süresi ve Elma Dilim Kalınlığının Nem Kaybı Üzerine Etkisi



Şekil 5.19. Kurutma Süresi ve Elma Dilim Kalınlığının Büzülme Oranı Üzerine Etkisi



Yukardaki üç boyutlu grafiklerden görüldüğü üzere genel olarak su kaybı ile büzülme oranı; elma dilimlerinin yükleme miktarı ve kuruma süresinin artmasıyla ve dilim kalınlığının azalmasıyla artış göstermiştir. Elma dilim ağırlığı artması toplam su kütesinin de artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle; aynı koşullardaki dilim kalınlığı ile birlikte aynı kurutma süresi içerisinde su kaybı ve kuruma oranı, yüklenen miktar arttıkça düşüş göstermektedir. Elma dilimlerinin kurutulmasında, dilim kalınlığı ile kuruma hızı arasında ise ters oranı olduğu görülmüştür.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Regresyon modeli denklemleri (9, 10 ve 11. denklemler); nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı için optimum kurutma koşullarını belirlemek için kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) değerleri belirlenerek optimum noktada yanıt değerleri hesaplanmıştır. Optimum değerleri elde etmek amacıyla regresyon denklemlerinin kısmi türevleri alınarak  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $X_3$  değerleri elde edilmiştir. Denklemlerin çözülmesiyle; Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak öngörülen nem kaybı, kuruma hızı ve büzülme oranı değerleri için optimum kurutma koşulları belirlenmiş ve bu değerler Tablo 6.1.'de verilmiştir.

**Tablo 6.1.** Belirlenen Optimum Kurutma Koşulları

Yanıt	$X_1$ (g)	$X_2$ (dk)	$X_3$ (mm)
Nem Kaybı	105.72	159.042	6.667
Kuruma Hızı	100.001	218.12	6.48
Büzülme Oranı	92.86	274.8	6.504

Kurutma odası içerisinde daha yüksek sıcaklık ile daha düşük nem seviyelerinin olması elma dilimlerinin kurutma süresini kısaltmış, gölgede ve güneş altında yapılan uygulamalara göre avantaj sağlamıştır. Güneş enerjili kurutucu kullanılarak yapılan deneylerde elma dilimlerinde nem gideriminin daha çok olduğu ve bu nedenle büzülmenin daha fazla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Güneş altında ve gölgede yapılan kurutmalarda ürünün nem kaybının daha yavaş olması kurutma süresinin de uzamasına neden olmuştur. Bu sebeple; elma dilimleri havadaki oksijene daha fazla maruz kaldığı için oksidasyon sonucu renk değişimi de daha çok olmuştur. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında, güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğu Mersin ilinde hava neminin yüksek olması sebebiyle kurutma işlemlerinde güneş enerjili kurutucuların kullanımının fayda sağlayacağı görülmektedir.

Kurutma süresini kısaltması ve elektriğe olan ihtiyacı azaltan güneş enerjili kolektörlerin kullanımı özellikle çiftçiler için ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır. Ayrıca herhangi bir yakıt kullanımı olmadan işlemin tamamlanabilmesi, çevreye verilebilecek olası bir zararın da önüne geçmektedir. Yatırımcılar ve yatırım yapan şirketler bu tür avantajları göz önünde bulundurmaktadırlar. Tarım sektöründe ve tarımsal faaliyetlerde bulunan bölgelerde güneş enerjili kurutucu kullanımı ve geliştirilmesine önem verilmelidir.

İhracata giden kuru ürünlerin ülke ekonomisine katkısı küçümsenemeyecek derecededir. Bu nedenle; güneş enerjili kurutucuların önemi ve tanıtımının iyi yapılması ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bingöl, G. ve Devres, O. (2010). Gıda Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, İstanbul Sanayi Odası- İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora/ Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi, İstanbul.
- [2] Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H. (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı: 20, 257- 278.
- [3] Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis ve Makine, 56 (671), 28-40.
- [4] Öztürk, H. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı, Teknik Yayınevi Mühendislik, Mimarlık Yayınları: Ankara.
- [5] Weiss, W. and Bunchinger, J., Solar Drying, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE Institute for Sustainable Technologies, <https://www.aee-intec.at/0uploads/dateien553.pdf>, (10.11.2017).
- [6] Ankara Ticaret Borsası Raporu (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yaş Sebze ve Meyve Üretimi, [https://www.ankaratb.org.tr/lib\\_upload/D%C3%9CNYADA%20VE%20T%C3%9CRK%C4%B0YEDE%20YA%C5%9E%20SEBZE%20VE%20MEYVE%20%C3%9CRET%C4%B0M%C4%B0.pdf](https://www.ankaratb.org.tr/lib_upload/D%C3%9CNYADA%20VE%20T%C3%9CRK%C4%B0YEDE%20YA%C5%9E%20SEBZE%20VE%20MEYVE%20%C3%9CRET%C4%B0M%C4%B0.pdf), (05.11.2017).
- [7] Türkiye İstatistik Kurumu, Tarım Alanları, TÜİK (2017). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, (23.11.2018)
- [8] Basmihov, G. (2016). Elma İhracatında Türkiye’nin Karşılaştırmalı Üstünlüğü, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13, (2), 9-15.
- [9] BUGEM Faaliyetleri (2017). T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, <http://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf> (05.12.2018).
- [10] Türkiye İstatistik Kurumu, Meyveler İçecek ve Baharat Bitkileri, TÜİK (2017). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, (05.12.2018).
- [11] Tarım.com.tr, (2017). <http://www.tarim.com.tr/TUIK-Elma-Uretim-Istatistiklerini-Acikladi,35892h> (14.04.2018)
- [12] T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, <https://www.tarim.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Urunler-Ve-Uretim>, (06.03.2018)
- [13] İstanbul Kuru Meyve ve Mamulleri İhracatçıları Birliği, (2018). Kuru Meyve ve Mamulleri İhracat Değerlendirmesi, <http://www.kumib.com.tr/tr/istatistik-and-raporlar/4113/-2018-agustos-aylik-.html> (06.12.2018)
- [14] Gıda Hattı Dergisi, (2008). Gıdada Kayıp ve Atıklara Karşı Gıda Hareketi Başladı, <https://www.gidahatti.com>, (20.11.2017).
- [15] Akgül, A. (2008). Türkiye’nin Sorunlarına Çözüm Serisi, Türkiye İsrافی Önleme Vakfı, <http://israf.org/public/admin/filemanager/uploaded/Tisva%20Say%C4%B1Iarla%20%C4%B0sraf.pdf> (05.11.2017).
- [16] Gökayaz, L. ve Yıldız, Z. (2017). Gıda Ürünlerinin Kurutulmasında Güneş Enerjili Kurutucuların Kullanımı, 2. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (1079-1085), Adana.
- [17] Wang, R., Gelişmekte Olan Ülkelerde Gıda İsrافی, Food and Agriculture Organization (FAO), [http://www.barillagida.com.tr/docs/bcf\\_n\\_pdf/article05.pdf](http://www.barillagida.com.tr/docs/bcf_n_pdf/article05.pdf) (10.11.2017).
- [18] Ertekin, C. ve Yıldız, O. (1998). Bazı Sebze, Meyve ve Baharlı Bitkilerin Kurutulma Yöntemleri ve Kullanılan Güneş Enerjili Kurutucular, Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi (, 673-693), Tekirdağ.

- [19] Geankoplis, C. J. (2011). Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri: 4. Baskıdan Çeviri; İzmir Güven Kitapevi Yayıncılık.
- [20] Demiray, E. (2012). Tülek, Y., Kurutma İşleminin Kırmızı Biberdeki Renk Maddelerine Etkisi. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, (2), 1-10.
- [21] Demiray, E. (2009). Kurutma İşleminde Domatesin Likopen,  $\beta$ - Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [22] Ceylan, İ., Aktas, M. ve Dogan, H. (2006). Günes Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutması, Politeknik Dergisi, 9, (4), 289-294.
- [23] Kırmacı, V. (2008). Dondurarak Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneylerinin Yapılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [24] Sadıkoğlu, H. (2003). Özdemir, M., Dondurarak Kurutma Teknolojisi ve Evreleri, Gıda Dergisi, 28, (6), 643-649.
- [25] Özel, Ö.F. (2010). Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [26] Bayhan, H.A. (2011). Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [27] Dündar, H. (2010). Bir Vakumlu Gıda Kurutma Sisteminin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [28] Onin, M. (2012). Bazı Meyve ve Sebzelerin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [29] Kocayigit, F. (2010). Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [30] Duman, Ş. (2009). Püskürtmeli Kurutma Tekniği ile ZnO-PVA Kompozit Tozlarının Hazırlanması ve Bu Tozların Yüksek Sıcaklık Davranışlarının Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [31] Gürses, Ö.L. (1986). Gıda İşleme Mühendisliği-II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: Ankara.
- [32] Çalhan, R., Kaya, D., Tulger, G. ve Eyidoğan, M. (2012). Organik Gübre Kurutma Teknolojileri: Akışkan Yataklı Kurutucular, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, 53, (634), 23-33.
- [33] Doğan, H. ve Ersöz, M.A. (2009). Akışkan Yatak Sürekli Kurutucuda Tuz Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (1768-1774), Karabük.
- [34] Erbay, B. (2008). Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri, Türkiye 10. Gıda Kongresi (1045-1048), Erzurum.
- [35] Demiray, E. (2015). Havuç ve Kırmızı Biberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kurutma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [36] Özkan Karabacak, A., Özcan Sinir, G. ve Suna, S. (2015). Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29, (2), 125-135.
- [37] Karataşer, M. A. (2017). Güneş Enerjisi Destekli Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Turpun Kurutma Kinetiklerinin Araştırılması ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [38] Karaaslan, S. (2012). Meyve ve Sebzelerin Mikrodalga Destekli Kurutma Sistemleri ile Kurutulması, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, (2), 123-129.
- [39] Tuncel, N.Y. ve Tuncel, N.B. (2016). Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı, Akademik Gıda Dergisi, 14, (2), 196-203.
- [40] Heber, U. H. and Ramesh, M. (2005). Optimization of Processing Conditions for Infrared Drying of Cashew Kernels with Testa, Journal of Science of Food and Agriculture, 85, (5), 865- 871.

- [41] Özkoç, S.Ö. (2010). Kızılötesi ve Kızılötesi- Kombinasyon Isıtma Teknolojilerinin Gıda İşleme Uygulamalarında Kullanımı, *Gıda Dergisi*, 35, (3), 211-218.
- [42] Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 56, (671), 28-40.
- [43] Acaroğlu, M. (2013). Alternatif Enerji Kaynakları Geliştirilmiş 3. Basım; Nobel Akademik Yayıncılık: Ankara.
- [44] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf>, (02.02.2018).
- [45] Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 56, (668), 36-47.
- [46] Hii, C.L., Jangam, S.V., Ong, S.P. and Mujumbar, A.S., Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations, [https://www.arunmujumdar.com/file/Publications/books/Solar%20Drying\\_Fundamentals\\_Applications\\_and\\_Innovations.pdf](https://www.arunmujumdar.com/file/Publications/books/Solar%20Drying_Fundamentals_Applications_and_Innovations.pdf), (13.02.2018).
- [47] Jain, D. and Tiwari, G. N. (2003). Thermal Aspects of Open Sun Drying of Various Crops, *Energy*, 28, (1), 37-54.
- [48] İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, <http://enerji.itu.edu.tr/egitim/anabilimdallari/konvansiyonel-enerji>, (24.04.2018).
- [49] Nizamloğlu, N.M. (2016). Güneş Destekli Gıda Kurutma Sistemleri, IV. Uluslararası Gıda Arge Proje Pazarı, İzmir.
- [50] Phadke, P.C., Walke, P. N. and Kriplani, V. M. (2015). A Review on Indirect Solar Dryers, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, (8), 3360-3371.
- [51] Sontakke, M. S. and Salve, S. P. (2015). Solar Drying Technologies: A Review, *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, 4, (4), 29-35.
- [52] Rhoda, A. N. (2016). Greenhouse Solar Drying and Thin Layer Drying of Fresh Kapenta (*Stolothrissa Tangonicae*). Master Thesis, The University of Zambia, Lusaka.
- [53] Alonge, A. F. and Oniya, O. O. (2012). An Indirect Passive Solar Dryer for Drying, *Advanced Materials Research*, 367, 517-524.
- [54] Huselstein, S. (2016). Development of a System Model for an Indirect Passive Solar Dryer with Experimental Validation, Master Thesis, Rochester Institute of Technology, New York.
- [55] Ekechukwu, O. V. and Norton, V. (1999). Review of Solar- Energy Drying Systems II: An Overview of Solar Drying Technology, *Energy Conversion & Management*, 40, (1999), 615-655.
- [56] Phadke, P.C., Walke, P. N. and Kriplani, V. M. (2015). Direct Type Natural Convection Solar Dryer: A Review, *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 4, (2), 256- 262.
- [57] Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H., ve Yılmaz, A. (2014). Küçük Ölçekli Sera Tipi Kurutucuda Kırmızı Biber Kurutulmasının Termoekonomik Analizi, *Politeknik Dergisi*, 17, (4), 143-152.
- [58] Simate, I. N. (2003). Optimization of Mixed-mode and Indirect-mode Naturel Convection Solar Dryers, *Renewable Energy*, 28, (3), 435-453.
- [59] Odhiambo, O. (2015). Development of Solar Dryers for Orange Flesh Sweet Potato Drying, [https://www.researchgate.net/profile/Orodi\\_Odhiambo/publication/286417592\\_Greenhouse\\_Solar\\_Dryers/links/56688fab08ae193b5fa12397.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Orodi_Odhiambo/publication/286417592_Greenhouse_Solar_Dryers/links/56688fab08ae193b5fa12397.pdf), (23.11.2018).
- [60] Tiwari, A. (2016). A Review on Solar Drying of Agricultural Produce, *Journal of Food Processing & Technology*, 7, (9).
- [61] Yıldız, A. (2013) Gıda Kurutma Sistemlerinde Kullanılan Havalı Güneş Enerjisi Toplayıcıları, 11. Ulusal Tesistat Mühendisliği Kongresi (65-76), İzmir.

- [62] Acoroğlu, M. (2013). Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık TİC. LTD. ŞTİ.
- [63] Yılmaz, G.M. (2015). The Effect of Ultrasound Pretreatment on Drying Characteristics of Apple Slices. MSc Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.
- [64] Yoğurtçu, H. (2018). Yanıt Yüzey Metodu Kullanılarak Mikrodalga ile Elma Kurutmanın Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18, (2).
- [65] Erbay, Z. (2008). Zeytin Yaprağının Sıcak Hava ile Kurutulmasının Modellenmesi, Optimizasyonu ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [66] Topdaş, E.F. ve Ertugay, M.F. (2013). Kayısların Ultrases Yardımlı Ozmotik Kurutulması. Gıda, 38, (5), 299- 306.
- [67] Doğan, N., Doğan, C., Bilgin, S., Hayoğlu, İ., Dağıstanlı, Ö. (2015). Pleurotus Ostreatus'tan Mantar Tozu Üretiminde Kurutma İşleminin Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, (9), 433- 437.
- [68] Eren, I. (2004). Patateslerin Osmotik Dehidrasyonunun 'Response Surface' Metodu Kullanılarak Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [69] Polatçı, H. ve Tarhan, S. (2009). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (Ocimum Basilicum) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26, (1), 61- 70.
- [70] Hastürk Şahin, F. (2010). Domates Kurutmada Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [71] Alonge, A. F. And Adeboye, O. A. (2012). Drying Rates of Some Fruits and Vegetables with Passive Solar Dryers. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 5 (4), 83- 90.
- [72] Onin, M. (2012). Bazı Meyve ve Sebzelerin İnfrared Kurutucuda Kurutulmasının Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [73] About, 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.
- [74] Ayala, D.G. and Topete, A. C. (2014). Pineapple Drying Using A New Solar Hybrid Dryer. Energy Procedia, 15 (2014), 1642- 1650.
- [75] Aliyu, S., Momoh, M., Garba, M. M., Musa, M. and Rikoto, I. I. (2017). Comparative Study of Open Air Drying and A Medium Size Passive Solar Drying Using Etfе As Glazing Material. IOSR Journal of Applied Physics, 9 (6), 66-71.
- [76] Türkiye İstatistik Kurumu, Meyveler İçecek ve Baharat Bitkileri, TÜİK 2018, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> , (18.04.2019).
- [77] Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı, Ulusal Besin Veri tabanı 2018, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2122> , (18.04.2019).
- [78] Apaydın, N. (2007). Aydın Yöresinde İncir Kurutmada Kullanılacak Olan Doğal Akımlı Bir Güneş Enerjili Kurutucunun Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- [79] Ochoa-Martínez, LA., García-Quintero, M., Morales-Castro, J., Gallegos-Infante, J., Martínez-Sánchez, CE., Herman-Lara, E. (2006). Effect of CaCl<sub>2</sub> and Convective Osmotic Drying on Texture and Preference of Apple, Journal of Food Quality, vol. 29, 583–595.
- [80] Tüfekçi, S. (2014). Ultrases Ön İşleminin Bamyaya ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [81] Darıcı S. ve Şen S. (2012). Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, vol 20, 51- 58.
- [82] Bradley, N. (2007). The Response Surface Methodology, Tez Önerisi, Indiana University of South Bend, Indiana.

- [83] Montgomery, D. C. (2009). Introduction to Statistical Quality Control, Arizona State University.
- [84] Aktaş, M., Ceylan, İ. And Yılmaz, S. (2009). Determination of Drying Characteristics of Apples in A Heat Pump and Solar Dryer. Desalination, 239 (2009), 266- 275.
- [85] Heybeli, N. Ve Ertekin, C. (2007). Elma Dilimlerinin İnce Tabaka Halinde Kuruma Karakteristiği. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 3 (3), 179- 187.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Leyla GÖKAYAZ  
**Doğum Tarihi** : 15.03.1991  
**E-mail** : leyla.gogayaz@gmail.com

### Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	İmalat Mühendisliği	Süleyman Demirel Üniversitesi	2010-2014
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2016- 2019

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Gökayaz, L., Yıldız, Z., Gıda Ürünlerinin Kurutulmasında Güneş Enerjili Kurutucuların Kullanımı, Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC), Adana, Türkiye, Ekim 2017.
2. Yıldız, Z., Gökayaz, L., Korozyon Sonrası Bir Yöntem Olarak Elektromanyetik Filtrasyon, Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC), Adana, Türkiye, Ekim 2017.
3. Yıldız, Z., Gökayaz, L., Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucuda Elma Kurutulması, Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC), Adana, Türkiye, Ekim 2018.
4. Gökayaz, L., Yıldız, Z., Elma Kurutma İşlemi Üzerine Dilim Kalınlığı ve Madde Miktarının Etkisi, Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC), Adana, Türkiye, Ekim 2018.
5. Çok Raflı Güneş Enerjili Kurutucu ile Elma Kurutma Koşullarının Optimizasyonu, BAP, Proje No: 2018-1-TP2-2840
6. Yıldız, Z., Gökayaz, L., Elma Dilimlerinin Farklı Güneş Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi, 2019