



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ BACASI SERA ÖRTÜSÜ ALTINDA TARIM ÜRÜNLERİNİN
KURUTULMASI; BATMAN SASON ÇİLEĞİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

Temmuz-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Aytaç ÇETİNBAS tarafından hazırlanan “**Güneş Bacası Sera Örtüsü Altında Tarım Ürünlerinin Kurutulması; Batman Sason Çileği Örneği**” adlı tez çalışması **20/07/2022** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BİLGİÇ

.....

Danışman

Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serkan AVCI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

*Bu tez Batman Üniversitesi BAP tarafından BTÜ BAP-2021-YL-07 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Aytaç ÇETİNBAS

Tarih: 20/07/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ BACASI SERA ÖRTÜSÜ ALTINDA TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASI; BATMAN SASON ÇİLEĞİ ÖRNEĞİ

Aytaç ÇETİNBAŞ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

2022, 100 sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf BİLGİÇ

Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serkan AVCI

Bu tez çalışmasında Güneş Bacası sera örtüsü altında Sason çileğinin kurutma kinetikleri deneysel olarak incelenmiştir. Güneş Bacaları bir yandan elektrik enerjisi üretirken diğer yandan da kullanılmayan güneş bacası sera örtü alanların kullanılabilir hale getirilmesi için sera örtüsü altındaki ısı enerjisinden yararlanılarak tarım ürünlerinin kurutulmasının uygunluğu araştırılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle Güneş Bacasının veriminin artırılması amacıyla sera örtü alanı siyah boya ile boyandı. Sera örtüsü altından güneş enerjisi ile çalışan sıcak su geçişi sağlandı. Farklı boyutlarda dilimlenmiş (3mm, 5mm, 7mm) çilek dilimleri ve dilimlenmemiş bütün çilek örnekleri sera örtüsü altında belirli noktalarda kurutulmuştur. Kurutulan örneklerle ait kurutma noktasındaki hava sıcaklığı ve hava hızı, kuruma zamanı, kütle değişimleri, nem oranları, dış ortam sıcaklığı ve anlık güneş ışıınımı ölçülüp veriler kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile sera örtüsü altındaki kurutma performansı ile doğal (açık alandaki) ortamdaki kurutma performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Güneş Bacası sera örtüsü altında kurutulan çilek örnekleri kurutma yönleri ve kurutma noktaları açısından karşılaştırılarak en ideal kurutma bölgesi ve kurutma yönü belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çilek, Güneş bacası, Kurutma, Yenilenebilir enerji

ABSTRACT

MS THESIS

DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS UNDER SOLAR CHIMNEY GREENHOUSE COVER; BATMAN SASON STRAWBERRY SAMPLE

Aytaç ÇETİNBAS

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

2022, 100 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Yusuf BİLGİÇ

Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

Asst. Prof. Dr. Üyesi Ali Serkan AVCI

In this thesis, the drying kinetics of Sason strawberries under the greenhouse cover of the Solar Chimney were experimentally investigated. While the Solar Chimneys produce electricity on the one hand, on the other hand, the suitability of drying agricultural products by using the heat energy under the greenhouse cover has been investigated in order to make the unused solar chimney greenhouse cover areas usable.

In this study, first of all, the greenhouse cover area was painted with black paint in order to increase the efficiency of the Solar Chimney. Hot water running with solar energy was provided under the greenhouse cover. Strawberry slices sliced in different sizes (3mm, 5mm, 7mm) and unsliced whole strawberry samples were dried at certain points under greenhouse cover. The air temperature and air velocity at the drying point of the dried samples, drying time, mass changes, humidity rates, outdoor temperature and instantaneous solar radiation were measured and the data were recorded. With the data obtained, the drying performance under the greenhouse cover and the drying performance in the natural (open area) environment were compared. In addition, drying directions and drying points of strawberry samples dried under the greenhouse cover of Güneş Chimney were compared and the most ideal drying area and drying direction were determined.

Keywords: Drying, Strawberry, Solar chimney, Renewable energy

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre içerisinde ve tez çalışmamın her aşamasında, bilgisini, tecrübesini ve sabrını benden esirgemeyen, her türlü problemin üstesinden gelmeme yardımcı olup desteğini sürekli yanımda gördüğüm saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Hakan KARAKAYA'ya, tez çalışmam boyunca desteklerini ve bilgisini benden esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ali Serkan AVCI'ya, tezimin deneysel çalışmaları boyunca laboratuvar imkânlarından yararlanmamı sağlayan, araç gereç temininde kolaylıklar sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen, motivasyon ve enerji kaynağım olan sevgili eşim Sekine ÇETİNBAŞ'a ve minik kalbiyle her zaman varlığını ve desteğini hissettiren canım oğlum Merih Oğuz ÇETİNBAŞ'a çok teşekkür ederim.

Aytaç ÇETİNBAŞ
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ	V
İÇİNDEKİLER	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kaynakları	2
1.1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları.....	3
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	6
1.1.2.1. Rüzgâr Enerjisi	7
1.1.2.2. Hidrolik Enerji	8
1.1.2.3. Biokütle Enerjisi	8
1.1.2.4. Jeotermal Enerji	8
1.1.2.5. Hidrojen Enerjisi.....	9
1.1.2.6. Dalga Enerjisi	9
1.1.2.7. Gelgit Enerjisi	9
1.1.2.8. Güneş Enerjisi.....	10
1.2. Güneş Enerjisi Sistemleri.....	10
1.3. Güneş Bacası.....	12
1.3.1. Güneş Bacası Sistem Elemanları	12
1.4. Kurutma	14
1.4.1. Kurutma İşleminde İstenilen Özellikler.....	15
1.4.2. Kurutulacak Ürünün Kalitesine Etki Eden Faktörler.....	16
1.4.2.1. Kurutma Sıcaklığı	16
1.4.2.2. Kurutma Süresi	16
1.4.2.3. Kurutma Ürünün Nem Oranı	16
1.4.2.4. Rehidrasyon	17
1.4.3. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler	17
1.4.3.1. Ürünün Kimyasal Bileşimi	17
1.4.3.2. Ürünün Boyutları	17
1.4.3.3. Sıcaklık	18
1.4.3.4. Hava Hızı	18
1.4.3.5. Hava Kuruluk Miktarı.....	18
1.4.3.6. Atmosfer Basıncı.....	18
1.4.4. Kurutma Çeşitleri.....	18
1.4.4.1. Güneşte (Doğal) Kurutma.....	18

1.4.4.2.	Güneş Kolektörlü (Kombine) Kurutma	19
1.4.4.3.	Dondurarak Kurutma	19
1.4.4.4.	Yapay Kurutma	19
1.4.4.5.	Kabin (Tepsili) Kurutucular	20
1.4.4.6.	Tünel Kurutucular	20
1.4.4.7.	Konveyör Kurutucular	21
1.4.6.	Kurutma Ürünlerindeki Nem	22
1.4.6.1.	Bağıl Nem	24
1.4.7.	Nem Belirleme Yöntemleri	24
1.4.7.1.	Desikantlar Kullanılarak Nem Belirlenmesi	24
1.4.7.2.	Elektrik-Elektronik Tip Nem Ölçme Metodu	24
1.4.7.3.	Kurutma Fırını Metodu	25
1.4.7.4.	Hava Dolaşımli Fırın Metodu	25
1.4.7.5.	Vakum Ortamlı Fırın Metodu	25
1.4.7.6.	Toulen Damıtma Metodu	25
1.4.8.	Nemlilik Ölçüsü	25
1.4.9.	Kurutma Sıcaklıkları	27
1.4.10.	Kurutma Aşamaları	27
1.5.	Kurutma Teorileri	29
1.5.1.	Difüzyon Teorisi	29
1.5.2.	Kapılar Teorisi	29
1.5.3.	Krischer Teorisi	29
1.5.4.	Philip ve De Vries Teorisi	29
1.6.	Kütle Transfer Denklemleri	30
1.6.1.	Difüzyon (Yayımla) ile Kütle Transferi	30
1.6.2.	Taşınm ile Kütle Transferi	33
2.	KAYNAK ARAŞTIRMASI	35
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	46
3.1.	Deneyisel Yöntem	46
3.2.	Deney Ekipmanları	59
3.2.1.	Güneş Bacası Prototipi	59
3.2.2.	Data Logger	60
3.2.3.	K-Tipi Termokupl	61
3.2.4.	Güneş Işınımı Ölçer (Solar meter)	62
3.2.5.	Anemometre	62
3.2.6.	Hassas Terazı	63
3.2.7.	Sason Çileği	64
3.3.	Yapılan Ölçümler	64
3.3.1.	Sıcaklık Ölçümleri	64
3.3.2.	Kütle Ölçümleri	66
3.3.3.	Hava Hızı Ölçümleri	67
3.3.4.	Güneş Radyasyonu Ölçümleri	67
3.4.	Hesaplama Yöntemi	68
3.4.1.	Kurutma Ürünüdeki Nem Miktarının Hesaplanması	68
3.4.2.	Yüzdelik Nem değışimi	68
3.4.3.	Nem Oranı (MR)	68
3.4.4.	Nem İçeriği	69
3.4.5.	Kuruma Hızı	69

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	70
4.1. Sıcaklık- Zaman Grafikleri	70
4.2. Işınım- Zaman Grafikleri	73
4.3. Hava Hızı - Zaman Grafikleri	74
4.4. Kütle Değişimi – Kuruma Zamanı Grafikleri	77
4.5. Nem İçeriği (%) – Kuruma Zamanı Grafikleri	80
4.6. Nem Oranı (MR) – Kuruma Zamanı Grafikleri.....	84
4.7. Nem İçeriği – Kuruma Zamanı Grafikleri	86
4.8. Kuruma Hızı – Kuruma Zamanı Grafikleri.....	89
4.9. Kuruma Hızı – Nem Oranı Grafikleri	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
5.1. Sonuçlar	99
5.2. Öneriler	100
KAYNAKÇA.....	101
ÖZGEÇMİŞ	109

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bölgelere göre Türkiye'nin Güneş enerji potansiyeli	11
Tablo 1.2. Bazı meyve sebzelerde bulunan % nem oranları.....	23
Tablo 1.3. Bazı ürünlerin uygun kurutma sıcaklıkları	27
Tablo 3.1. Batman iline ait 1959-2021 yılları ortalama sıcaklık ve güneşlenme süreleri ortalama değerler.....	46
Tablo 3.2. Baca deneylerinde ölçüm yapılan hız ve sıcaklık noktaları	49
Tablo 3.3. Kurutma deneylerinde ölçüm yapılan hız ve sıcaklık bölgelerinin tanımı....	52
Tablo 3.4. Güneş bacası sistem özellikleri.	59
Tablo 3.5. E-680 Data logger ait teknik bilgiler	61
Tablo 3.6. K-Tipi termokupl teknik özellikleri.....	61
Tablo 3.7. Solar meter teknik özellikleri	62
Tablo 3.8. Unit UT362 anemometre teknik özellikleri.....	63
Tablo 3.9. SF 400A hassas terazi teknik özellikleri	63
Tablo 4.1. Ölçüm noktalarına göre kuruma süreleri	95
Tablo 4.2. Çileğin farklı kurutma yöntem ve sıcaklıklarındaki kuruma süreleri.....	96
Tablo 4.3. 3 mm kalınlığındaki çilek için literatürdeki güneş enerjili kurutucudaki kuruma süresinin güneş bacası ile kıyaslanması.....	97

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya işlenebilir kömür rezervlerinin ülkelere göre dağılımı	4
Şekil 1.2. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı	5
Şekil 1.3. Dünya doğalgaz rezervlerinin ülkelere göre dağılımı	5
Şekil 1.4. Dünya'daki fosil kaynakların kalan ömürleri	6
Şekil 1.5. Güneşten dünyamıza gelen ışınların izlediği yol.....	10
Şekil 1.6. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	11
Şekil 1.7. Güneş bacası ve çalışma prensibi	13
Şekil 1.8. Baca yüksekliğine bağlı elektrik üretimi	14
Şekil 1.9. Kabin (Tepsili) kurutucu	20
Şekil 1.10. Tünel kurutucu.....	20
Şekil 1.11. Konveyör (Bantlı) kurutucu.....	21
Şekil 1.12. Tarım ürünlerinin karakteristik kuruma eğrileri	28
Şekil 3.1. Global radyasyon değerleri.....	47
Şekil 3.2. Türkiye ve Batman ilinin güneşlenme süreleri.....	47
Şekil 3.3. Ölçüm alınan noktalar	49
Şekil 3.4. Zeminin boyanmadan önceki hali.....	50
Şekil 3.5. Güneş enerjili sıcak su sistemi döşenmiş kolektör alanı	50
Şekil 3.6. Siyah film kaplı kolektör camları	51
Şekil 3.7. Kolektör alanının bölümlendirilmiş hali.....	51
Şekil 3.8. Ölçüm alınan noktaların gösterimi	52
Şekil 3.9. Çilek örneklerinin sera örtüsü altındaki konumlandırılması	53
Şekil 3.10. 3 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örneği	54
Şekil 3.11. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örnekleri	54
Şekil 3.12. 7 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örnekleri	55
Şekil 3.13. Yaş çilek örneklerinin hassas terazide tartılması.....	55
Şekil 3.14. Kurutma esnasında tartılan çilek örnekleri.....	56
Şekil 3.15. 3 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri.....	56
Şekil 3.16. 5 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri.....	57
Şekil 3.17. 7 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri.....	57
Şekil 3.18. Bütün haldeki kurumuş çilek örnekleri	57
Şekil 3.19. Güneşte (Doğal) kurutma ile kurutulmuş bütün çilek örnekleri.....	58
Şekil 3.20. Kurutma anındaki kütle değişimlerinin kaydedildiği örnek tablo	58
Şekil 3.21. Kurutma anındaki noktaların sıcaklıklarının kaydedildiği örnek tablo	58
Şekil 3.22. Güneş bacasına ait ölçüler	59
Şekil 3.23. Çalışmanın yapıldığı güneş bacası prototipi.....	60
Şekil 3.24. Data logger	60
Şekil 3.25. K-Tipi termokupl.....	61
Şekil 3.26. SM206 Solar meter	62
Şekil 3.27. Unit UT362 Anemometre	63
Şekil 3.28. SF 400A Hassas terazi	63
Şekil 3.29. Sason çileği.....	64
Şekil 3.30. Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalardaki termokupllar.....	65
Şekil 3.31. Data loggerdan sıcaklık değerlerinin okunması	65
Şekil 3.32. UNIT UT362 ile sıcaklık ölçülmesi	66
Şekil 3.33. Kurutma işlemi boyunca kütlelerin ölçülmesi.....	66
Şekil 3.34. Hava hızının ölçülmesi	67
Şekil 3.35. Güneş radyasyonunun ölçülmesi	67

Şekil 4.1. 3 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.2. 5 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.3. 7 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi	71
Şekil 4.4. Bütün çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi	71
Şekil 4.5. Kurutma deneylerinin yapıldığı günlere ait güneş ışıınının zamanla değişimi	73
Şekil 4.6. 3 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.7. 5 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.8. 7 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.9. Bütün haldeki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.10. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait kütlenin kuruma zamanına göre değişimi ...	77
Şekil 4.11. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait kütlenin kuruma zamanına göre değişimi ...	77
Şekil 4.12. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait kütlenin kuruma zamanına göre değişimi ...	78
Şekil 4.13. Bütün haldeki çileklere ait kütlenin kuruma zamanına göre değişimi	78
Şekil 4.14. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	80
Şekil 4.15. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	81
Şekil 4.16. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	81
Şekil 4.17. Bütün haldeki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi	82
Şekil 4.18. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi	84
Şekil 4.19. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi	84
Şekil 4.20. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi	85
Şekil 4.21. Bütün haldeki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi .	85
Şekil 4.22. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	86
Şekil 4.23. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	87
Şekil 4.24. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi.....	87
Şekil 4.25. Bütün haldeki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi	88
Şekil 4.26. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi.....	89
Şekil 4.27. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi.....	89
Şekil 4.28. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi.....	90

Şekil 4.29. Bütün haldeki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi	90
Şekil 4.30. 3 mm kalınlıktaki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi.....	92
Şekil 4.31. 5 mm kalınlıktaki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi.....	93
Şekil 4.32. 7 mm kalınlıktaki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi.....	93
Şekil 4.33. Bütün haldeki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δt	Geçen süre (dak.)
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$b'2$	Yaz buharlaşma oranı
$B'3$	3. Derece mezotermal
Btu	British termal unit
D	Yarı kurak
dak.	Dakika
D_w/D_t	Kuruma hızı (kg/dak.)
g	Gram
J^*_A	Yayılım akısı (kmol/s.m^2)
J_A	Kütlesel akı (kg/s.m^2)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	Kurutulan ürün kalınlığı (mm)
Le	Lewis sayısı
M	Nem yüzdesi
M_1	Ürünün kurutmadan önceki nemi (%)
M_2	Ürünün kurutulduktan sonraki nemi (%)
m_A	Kütlesel oranı (ρ_A/ρ)
M_e	Kurutulan ürünün denge nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}$)
m_e	Ürünün kuru kütlesi (kg)
M_h	Kuru havanın molekül ağırlığı ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}$)
m_{ilk}	Ürünün ilk kütlesi (kg)
$M_{k,b}$	Ürünün kuru baza göre nem oranı (%)
M_o	Ürünün başlangıçtaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}$)
MR	Nem Oranı
M_s	Suyun mol ağırlığı (kg/kmol)
m_s	Ürün içerisinde bulunan su kütlesi (kg)
M_t	Ürünün t anındaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}$)
m_t	t anındaki ürünün kütlesi (kg)
$M_{y,b}$	Ürünün yas baza göre nem oranı (%)
n	Sabit eksen takımına göre ısı akısı (kg/s.m^2)
$N_{\phi\phi}$	Mol akısı (kmol/s.m^2)

N_A	Sabit eksen takımına göre A maddesinin mol debisi (kmol/s)
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
R^2	Kararlılık değeri
s	Orta derece
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı
W	Ağırlık kaybı
W/m^2	Güneş ışıınımı
x_A	Bileşenin molekölseel oranı (C_A/ C)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

Kısaltmalar

3D	Üç boyutlu
A	Antosiyanin
AA	Antioksidan aktivitesi
AB	Avrupa Birliği
AD	Sıcak hava kurutma
BBD	Box-Behnken tasarımı
BP	British Petroleum
Cr	Krom
CWD	Yıkama/ Difüzyon
DE	Toplam renk değişimi
DIC	Kontrollü basınç düşümü
EIA	Amerika Birleşik Devletleri Enerji Enformasyon İdaresi
FAD	Dondurarak sıcak hava kurutma
FD	Dondurarak kurutma
GEPA	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası
HAD	Hesaplama akışkanlar dinamiği
HHP	Yüksek hidrostatik basınç
K	Potasyum
LM	Levenberg Marquardt
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hatası
MC	Nem içeriği
mm	Milimetre
MWe	Megawatt elektrik
N	Azot
Ni	Nikel
OD	Ozmotik dehidrasyon
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
P	Fosfor
RMSE	Tahmini standart hata
SPSS	Statistical package for the social sciences
TPC	Toplam fenolik miktarı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

UOD	Ultrasonik ozmotik dehidrasyon
VMD	Vakumlu - mikrodalga kurutma
WEC	Dünya Enerji Konseyi
YSA	Yapay sinir ağıları

1. GİRİŞ

Kurutma, insanların doğadan öğrendiği ve uyguladığı çok eski bir yöntemdir. Kurutma maddeler içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Maddelerin içindeki suyun uzaklaştırılarak kurutulması madde içerisinde mikroorganizmaların üremesini engelleyeceğinden maddenin daha dayanıklı hâle getirilmesini, raf ömrünün uzatılmasını sağlar. Kurutulan maddelerdeki su miktarı azalacağından ağırlığında da bir azalma meydana gelir. Bu da maddelerin depolama maliyetlerini ve dağıtım maliyetlerini düşürür. Bazı türdeki gıdalar için kurutma, tüketiciler için daha uygun ürün, gıda işleyicileri ve üreticileri için ise daha kolay içerik hazırlama gibi katkılar sağlamaktadır. Kurutma doğal olarak yapılabildiği gibi farklı enerji kaynakları kullanılarak da yapılabilmektedir.

Toplumlar bilgi, teknoloji ile uzay çağı olarak adlandırabileceğimiz bir dönemde bulunmaktadır. Bu dönemde bilgiye hızlı bir şekilde ulaşmak, insanların günlük ihtiyaçlarını karşılamak veya bu ihtiyaçlarını kolaylaştırmak, ülkelerin ekonomik açıdan sürdürülebilirliğini sağlamak için birçok sistem ya da sistemler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu sistemlerin uyumlu bir şekilde çalışabilmeleri için enerjiye ihtiyacı vardır.

Enerji kelimesinin kökeni, ‘en’ ve ‘ergon’ kelimelerinin birleştirilmesi sonucu oluşturulan ‘energia’ kelimesinden gelmektedir. Enerji fiziksel anlamda iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir. İç-iş olarak belirtilen enerji çağımızda elektrikli araç gereçlerin, motorların kısaca, günlük yaşamımızı kolaylaştıran, yaşam konforumuzu arttıran birçok araçların çalışması, fiziksel anlamda iş yapabilmesini sağlayan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır (Sarıbaş, 2015).

Enerji, hayatımızın her anında var olmuş ve yaşamımızın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Günlük yaşamımızda kullandığımız elektrikli araç gereçler hayatımızın her anında var olmakta ve hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Elektrik enerjisinin farklı enerji kaynaklarından elde edilebilmesi, teknolojik gelişmelerle birlikte enerji tüketiminin de artması ekonomik gelişmişlik düzeyine etkisini ortaya koymaktadır (Yapraklı ve Yurttañçıkma, 2012).

Enerji tüketimi ülkelerin ekonomik gelişmişlik seviyelerinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Enerji ekonomik gelişmenin önemli bir parçasıdır. Ülkelerin ekonomik üretimlerinin sürdürülmesi, toplumların refah seviyesinin arttırılması, teknolojik araç gereçlerin kullanılabilirliği ve daha birçok açıdan bakıldığında enerji vazgeçilmez bir unsurdur.

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ile teknolojik değişimlerin etkisiyle toplumların değişen tüketim yapısı enerji tüketimini özellikle de elektrik tüketimini gittikçe artırmaktadır. Bu iki önemli etken ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerdeki elektrik tüketimini artırmaktadır (Karakaş, 2014). Amerika Birleşik Devletleri Enerji Enformasyon İdaresi Başkanlığı (EIA), OECD'ye üye olan ve OECD'ye üye olmayan ülkelerin enerji tüketimlerini karşılaştırdığında tüketim miktarlarının en son 2007 yılında birbirlerine yaklaştığını belirterek bu tüketim miktarının 2007-2035 yılları arasında OECD ülkelerinde % 14 oranında artacağını, OECD üyesi olmayan ülkelerin tüketimlerinin ise % 84 olarak artacağı tahmininde bulundu.

Dünya ekonomisi ve insanların gelirleri büyüdükçe, elektrik enerjisi ile çalışan alet gereçlere ulaşımı kolaylaştıkça elektriğe bağımlı olma ihtimalleri artırmaktadır ve bu durum elektrik tüketiminin artmasını beraberinde getirecektir. (Wolfram, 2012).

Artan enerji talebine cevap verebilmek adına ülkeler enerji üretimlerini ve kaynak çeşitliliğini artırmaktadırlar. Bu bağlamda ülkeler farklı enerji kaynakları kullanmaktadır.

1.1. Enerji Kaynakları

İş yapabilme yeteneğine sahip tüm maddeler bir enerji kaynağı olarak kabul edilebilir. Dünyamızda pek çok farklı enerji kaynağı bulunmaktadır. Bu yüzden enerji kaynaklarının sınıflandırılması da çeşitlilik gösterebilir.

Enerjinin farklı sınıflandırılmalarından biri enerji kaynağının elde edilmesi ile ilgili olan birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklindedir (Sarıbaş, 2015).

Doğada kendiliğinden ve hazır bir şekilde bulunan enerji kaynakları birincil enerji kaynakları şeklinde belirtilmektedir. Bu enerji kaynaklarına doğalgaz, kömür, petrol, rüzgâr ve güneş enerjisi örnek olarak verilebilir. Birincil enerji kaynakları ikincil enerji kaynaklarına dönüştürülerek kullanılabilmektedir (Adıyaman, 2012).

Birincil enerji kaynaklarının farklı enerji kaynaklarına dönüştürülerek elde edilen enerji türü ikincil enerji kaynağı olarak adlandırılır. Yani ikincil enerji kaynaklarının oluşabilmesi için birincil enerji kaynakları gereklidir. Bu ikincil enerji kaynaklarının en önemli amacı enerjinin depo edilebilmesine ve taşınmasına olanak sağlamasıdır.

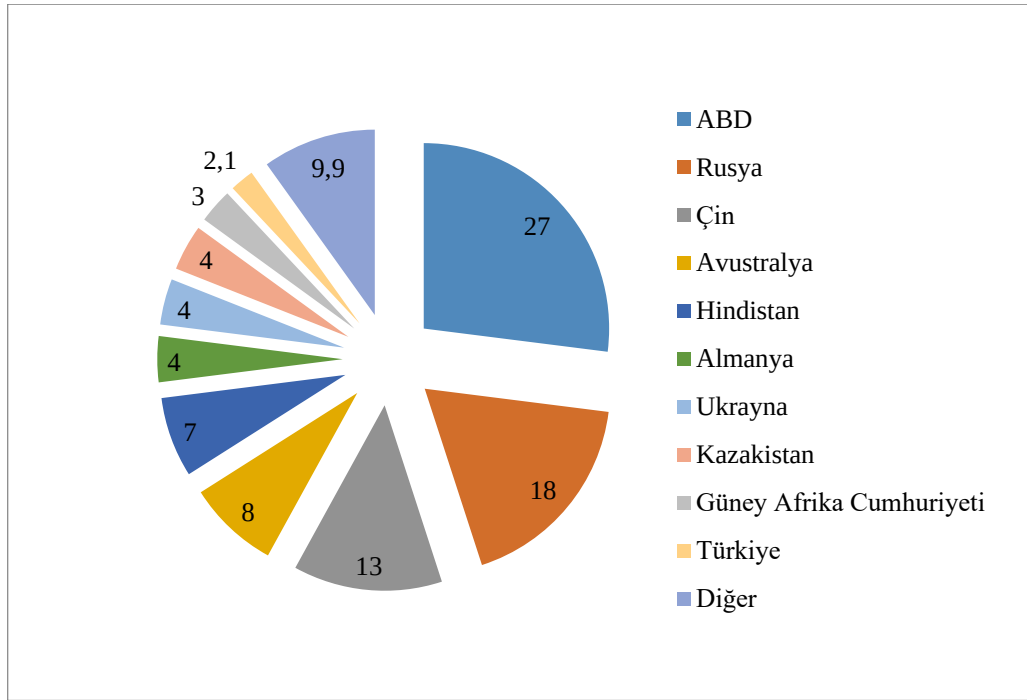
Literatür de enerji kaynağına göre; yenilenemez enerji kaynakları (kaynağı fosil yakıt olan ve nükleer kaynaklı) ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Fosil yakıtlardan olan doğal gaz, petrol ve kömür vb., yenilenemeyen enerji kaynakları olarak, hidrolik, güneş, rüzgâr, biokütle enerjisi vb. ise yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır.

1.1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Fosil kökenli kaynaklar olarak adlandırılan yenilenemeyen enerji kaynakları zaman içerisinde biriken hayvansal ve bitkisel atıkların çeşitli koşullar altında binlerce yıl boyunca bir arada bulunması ile oluşmuşlardır. Toprak altında kalan bu atıklar basınç ve yüksek sıcaklıklar etkisiyle fosilleşirler.

Yenilenemeyen enerji kaynakları kömür ve kömür çeşitleri ile petrol ve doğalgaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu enerji kaynakları katı, sıvı ve gaz fazları ile doğadan elde edilmektedirler.

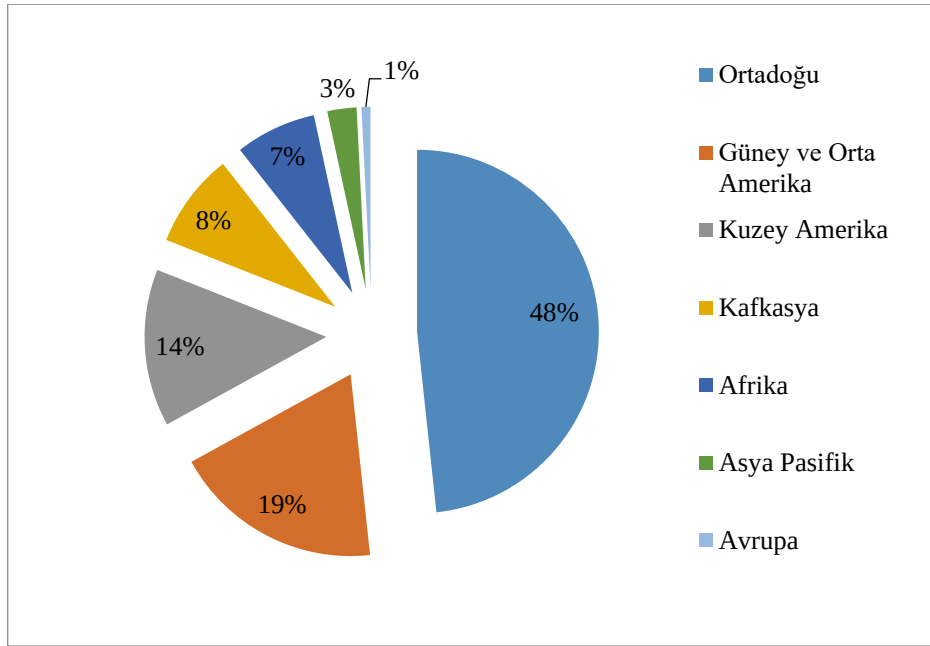
Dünyada tüketilen enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bir fosil yakıt türü olan kömür, kullanılan tüm enerji kaynaklarının % 27'sini oluşturmakta ve dünyadaki elektrik üretiminin ise % 38'ini karşılamaktadır. WEC'in araştırmasına göre dünyada kanıtlanmış işlenebilir kömür rezervi toplam 891 milyar ton olarak açıklandı. Bu konseyin açıklamış olduğu rezerv dağılımını gösteren Şekil 1.1. 'den de anlaşılacağı üzere rezervlerin büyük kısmı ABD de bulunmaktadır. ABD'nin ardından Rusya, Çin, Avustralya, Hindistan, Almanya, Ukrayna, Kazakistan ve Güney Afrika Cumhuriyeti gelmektedir. Dünya'daki kanıtlanmış kömür rezervlerinin yaklaşık % 2.1'i ise ülkemizde bulunmaktadır (Anonim, 2022a).



Şekil 1.1. Dünya işlenebilir kömür rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (Anonim, 2022a)

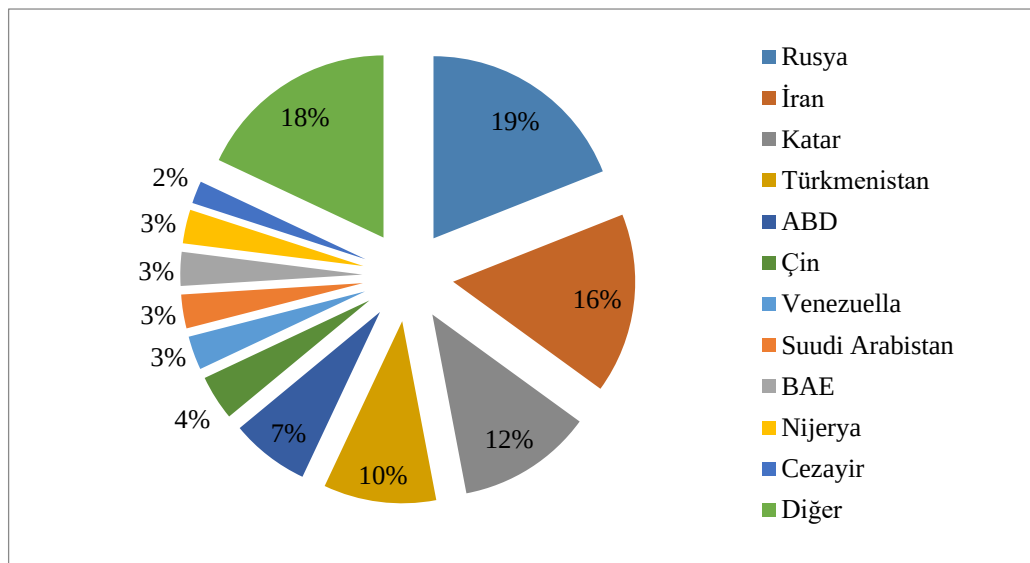
Kömürden sonra dünyada yaygın olarak kullanılan ve tüketilen diğer bir enerji kaynağı ise petroldür. Petrol, organik maddelerin basınç ve ısıya etkisiyle bozunması sonucu oluşan, içerisinde hidrojen ve karbon barındıran bir enerji kaynağıdır. BP şirketinin hazırlamış olduğu 2020 Dünya Enerji Raporu'na göre işlenebilir petrol rezervlerinin %48.1'ine sahip olan Ortadoğu bölgesi en çok rezerve sahip bölge olmuştur (Anonymous, 2020).

Şekil 1.2.' de görüleceği üzere Ortadoğu'yu sırasıyla Güney ve Orta Amerika, Kuzey Amerika, Kafkasya, Afrika, Asya Pasifik bölgesi ve Avrupa bölgeleri izlemektedir (Anonim, 2022b).



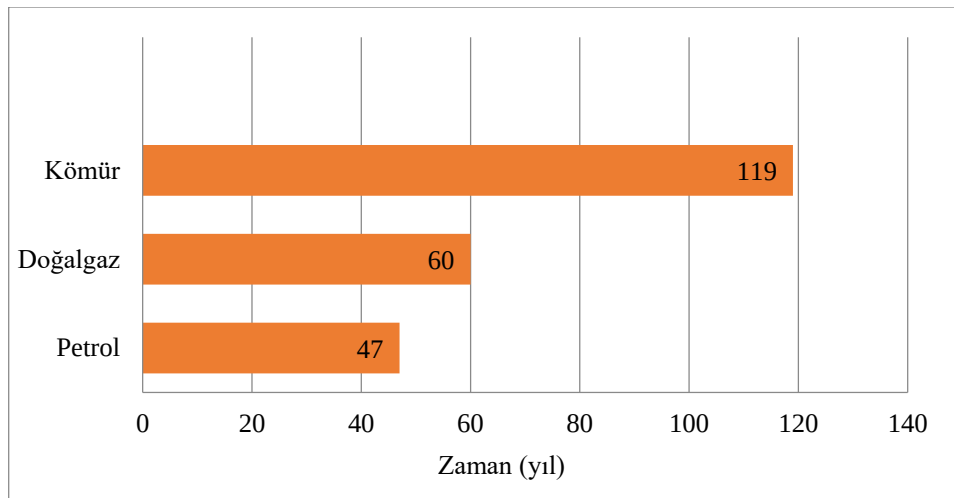
Şekil 1.2. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı (Anonim, 2022b)

Diğer bir fosil enerji kaynağı olan doğal gaz, renksiz, yanıcı, kokusuz, bileşiminde metan, etan ve bir miktar propan gibi hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. BP şirketinin 2018 yılında hazırladığı Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporu'nda Dünya'da bulunan toplam doğalgaz rezervleri yaklaşık 193.5 trilyon metreküptür (Anonymous, 2020). Aşağıdaki şekilden anlaşılacağı gibi (Şekil 1.3) WEC'nin 2020 yılında yayımladığı raporuna göre doğalgaz rezervleri bakımından Rusya, İran, Katar, Türkmenistan ve ABD başı çeken ülkelerdir (Anonim, 2022c).



Şekil 1.3. Dünya doğalgaz rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (Anonim, 2022c)

Dünyadaki birincil enerji kaynaklarının ömürlerini araştıran ve 2030 yılı baz alınarak yapılan araştırmalar sonucunda mevcut kömür rezervlerinin % 25'inin, mevcut petrol rezervlerinin % 85'inin ve mevcut doğalgaz rezervlerinin ise % 65'inin tükeneceğini göstermiştir. Şekil 1.4.'te rezervlerin kalan ömürleri yaklaşık olarak gösterilmektedir. Bu grafiğe göre petrolün 47 yıl, doğalgazın 60 yıl ve petrolün ise 119 yıllık ömürlerinin kaldığı görülmektedir. Tüketim miktarlarının git gide arttığı da göz önünde bulundurulursa ve yeni rezervler keşfedilmezse bu biçilen ömürlerin daha da kısalacağı öngörülmektedir (Anonim, 2022a).



Şekil 1.4. Dünya'daki fosil kaynakların kalan ömürleri (Anonim, 2022a)

Dünyada yoğun bir biçimde kullanılan yenilenemeyen enerji kaynaklarının ömürlerinin kısalması ve çevreye verdikleri olumsuz etkiler nedeniyle ülkelerin alternatif, yenilenebilir, ucuz, çevre sorunlarına yol açmayan, dışa bağımlılığı azaltacak, sürdürülebilir enerji kaynakları arayışları hızla artmaktadır.

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları tükenme ihtimali bulunmayan ve doğada kendiliğinden var olan enerjiler olarak bilinmektedirler. Bu enerji kaynaklarına güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve dalga enerjisi örnek olarak verilebilir (Mahmutoğlu, 2013).

Yenilenemez enerji kaynaklarının ömürlerinin kısa oluşu, yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz ve ucuz olmaları, özellikle de küresel ısınmaya karşı verilen mücadeleden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi sürekli artmaktadır.

Ülkelerin enerji politikalarının farklı olmasına rağmen kullanılan enerji kaynakları benzerdir. Dünyada halen yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların neden olduğu çevresel ve ekonomik problemlerden dolayı çoğu ülke yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajlarına rağmen Dünya'daki kullanım oranları halen istenilen düzeyde değildir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde teknoloji kullanımının artmasına bağlı olarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş, rüzgâr ve biokütle enerjisinden karşılanmaktadır.

Yeterli enerji kaynağı bulunmayan enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde maliyetlerin fazla olması söz konusu olduğunda bu durum ülkeleri alternatif enerji kaynak arayışına yani yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması yatırımları önemli ölçüde engellemektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji ve gelişen teknoloji ile maliyetlerin düşürülmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların yerine uzun dönemde yer edinebilecektir (Ağaçbiçer, 2010).

1.1.2.1. Rüzgâr Enerjisi

Güneş ışınları yeryüzünü farklı miktarlarda ısıtması sonucu hava sıcaklığında farklılıklar oluşur. Bu sıcaklık farkından dolayı oluşan yatay yönlü hava hareketine rüzgâr denir. Rüzgârın bulunduğu bölgelere çeşitli şekillerde sistemler kullanılarak elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Rüzgâr enerjisinden yararlanabilmek için rüzgârın belirli bir hızda esmesi gerekmektedir. Yüksekklere çıkıldıkça rüzgârın hızı arttığından genellikle yüksek bölgelere kurulmaktadır. Bu da ulaşım ve taşıma gibi dezavantajları beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, kurulu güç kapasitelerinin sınırlı olması ve rüzgârın hızının değişmesiyle birlikte değişen enerji üretimi diğer dezavantajlarındandır.

Dünyada rüzgâr enerjisi kurulu güç bakımından Çin 187.7 MW ile ilk sırayı alırken ABD 88 MW ile ikinci sırayı, Almanya ise 59.2 MW ile üçüncü sırayı almıştır. Ülkemiz ise Ocak 2019 itibarıyla 7.010 MW ile dünyada 11. sırada yer almaktadır (Anonymous, 2019).

1.1.2.2. Hidrolik Enerji

Akarsuların önlerine set kurularak ya da direk akarsuyun gücü kullanılarak elektrik enerjisi elde edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Nehirlerdeki sular büyük bir enerji taşımaktadır. Akan bu sular kanal veya boru içine alınarak, tribünlere yönlendirilir. Türbinlere bağlı olan jeneratörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Böylece akan ya da biriktirilen sudan elektrik enerjisi elde edilir.

Çevre dostu, atık bırakmayan, temiz, veriminin yüksek olması, yakıt gideri bulunmayan, uzun ömürlü, bakım ve işletme giderleri çok az olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

1.1.2.3. Biokütle Enerjisi

Canlıların atıkları kullanılarak, bu atıklara farklı işlem uygulanmasıyla elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biokütle enerjisi geniş bir hammadde yelpazesine sahiptir. Biokütle enerjisi toplam enerji üretiminde %2.73'lük bir orana sahipken enerji tüketiminde ise %12.8'lik gibi bir orana sahiptir. Biokütle enerjisi, enerji tüketim oranı içerisinde %0.4'ü elektrik, %0.9'u ulaşım, %1,4'ü bina ısıtması, % 7.8'i geleneksel bina ısıtması ve %2.2'si endüstri ısıtması gibi farklı kullanım alanlarının payı bulunmaktadır (Sarıbaş, 2015).

1.1.2.4. Jeotermal Enerji

Magma tabakasının yeraltı su kaynaklarını ısıtması ile oluşan ve içerisinde çeşitli mineral ve gazların bulunduğu sıcak buhar veya sıcak sıvılardır. Jeotermal enerji kaynakları sıcaklık miktarlarına göre farklı amaçlarda kullanılmaktadır.

Jeotermal kaynaklar özellikle kırıklı yer yapısının yoğun olduğu bölgelerde yaygınlık gösterir. Ülkemiz Alp-Himalaya Jeotermal Enerji Kuşağında yer aldığından dolayı yüksek bir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir (Kunt, 2008). Özellikle de ülkemizde Ege Bölgesi fay hatlarının yoğun olmasından dolayı en yüksek jeotermal potansiyele sahip bölgesidir.

Türkiye'nin kurulu güç kapasitesi bakımından en büyük jeotermal enerji santrali, Denizli ilinin Sarayköy ilçesinde yer alan ve 2017 yılında hizmete giren Kızıldere 3'tür. 2017 yılında ilk ünitesi devreye alınan bu santralin kurulu gücü 165 MWe'dir. Ülkemizdeki kurulu güç bakımından ikinci büyük santrali ise Aydın Germencik' te bulunan Efeler Jeotermal Enerji Santrali'dir (Anonim, 2019).

1.1.2.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen doğada en çok bulunan havadan hafif renksiz kokusuz bir gazdır. Hidrojen aynı zamanda yıldızların termonükleer tepkimelerinin yakıtıdır. Bilinen yakıt türleri arasında en yüksek ısı değere sahip olan yakıt hidrojendir. Doğada farklı bileşiklerin yapısında bulunmaktadır.

Hidrojen gazının doğada en çok bulunduğu bileşik sudur. Isı ve patlama gerektiren her yerde hidrojen gazı kullanılabilir. Yanma sonucunda sadece su veya su buharı oluşturduğundan çevre dostu bir maddedir.

Hidrojen gazı başta elektroliz olmak üzere kimyasal yöntemler, radyoliz gibi birçok üretim teknolojisine sahiptir. Üretim maliyetlerinin yüksek olması bu enerji kaynağının gelişmesine engel olmuştur. Günümüzde özellikle ulaşım alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile üretim depolama gibi maliyetlerin azalması durumunda ulaşımda petrol türevli yakıtların yerini alması beklenmektedir. Bu yüzden bu konuda birçok çalışmalar yapılmaktadır.

1.1.2.6. Dalga Enerjisi

Rüzgârların deniz ve ya okyanus yüzeylerinde hareketi neticesinde meydana gelen dalgalardan elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür.

Dünyamızın % 75'inin sularla kaplı olmasından dolayı dalga enerjisinin potansiyelinin çok fazla olduğu söylenebilir. Tükenmez bir enerji kaynağı olması, atık bırakmaması, çalışma ve bakım maliyetlerinin düşük olması avantajlarıken her denizde aynı miktarda dalga gücü oluşmaması, denizlerdeki hava koşullarının kötü olması durumunda tesisin zarar görme ihtimalinin olması dezavantajları olarak sayılabilir.

1.1.2.7. Gelgit Enerjisi

Gelgit ayın çekim gücü sayesinde denizlerdeki su seviyesinin değişmesi olayıdır. Gelgit olayı ile denizlerdeki su seviyelerindeki değişimler çok yüksek bir düzeye ulaşabilir. Bu seviyeler arasındaki suda depolanan potansiyel enerji kullanılarak elektrik enerjisi elde edilebilir.

Gelgit enerjisinden iki yöntemle elektrik enerjisi elde edilebilir. Bilinen en eski yöntem suyu bir bölmede ya da havuzda biriktirerek havuz ile deniz seviyesi arasında bir potansiyel fark oluşturulması sağlanır. Bu şekilde elektrik enerjisi elde edilir. Havuz maliyetinin yüksek olması ve çok yer kaplaması bu yöntemin en önemli dezavantajıdır.

İkinci yöntem ise, gelgit alanlarına tribünler konularak suyun yükselme ve alçalmasından elektrik enerjisi elde edilmesidir.

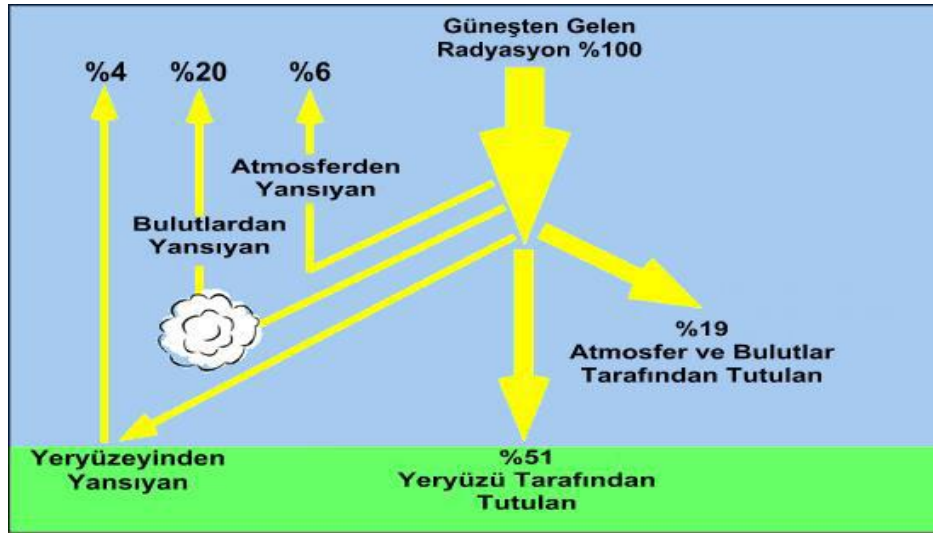
1.1.2.8. Güneş Enerjisi

Yeryüzündeki bilinen enerji kaynaklarının doğrudan veya dolaylı olarak oluşturan temel enerji kaynağı Güneş'tir. Fotoelektrik olayı ile ya da güneş ışınlarında bulunan ısı veya ışık enerjisinin çeşitli alanlarda kullanılmasıyla Güneş enerjisinden yararlanılmaktadır.

Güneş enerjisi çalışma konumuz ile doğrudan ilgili olduğundan bir sonraki başlıkta detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

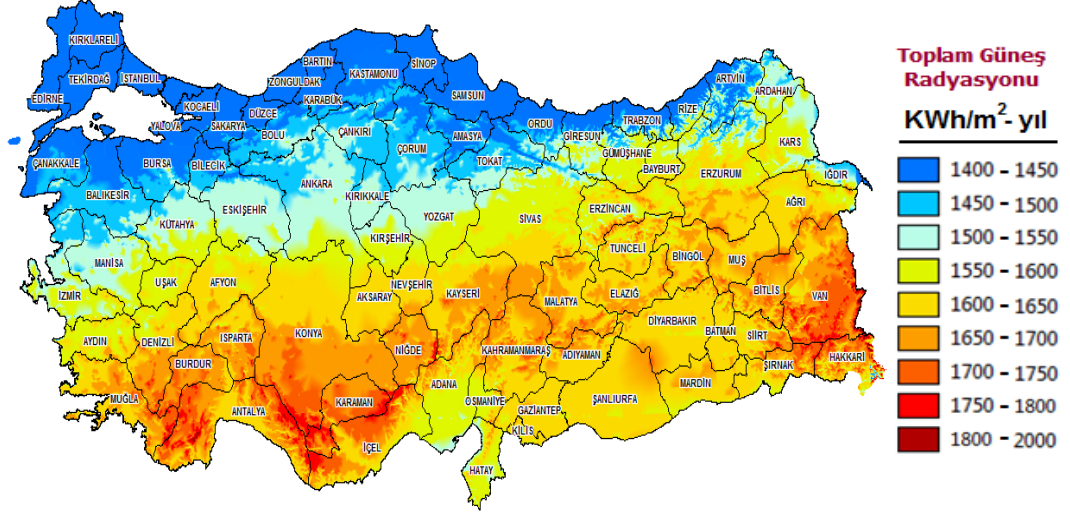
1.2. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş'ten dünyamıza ulaşan güneş enerjisi yaklaşık olarak 1370 W/m^2 şiddetindedir. Atmosferden yansıyan, bulutlar, havadaki tozlar ve gazlar tarafından emilen, yeryüzünden yansıyan ışınlar hesaba katıldığında yeryüzünde bu değer $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişiklik göstermektedir. Yeryüzüne ulaşan bu değerler bile günümüzde kullanılan enerji miktarından daha fazladır. Güneşten dünyamıza ulaşan ve dünyamızdan yansıyan güneş ışınlarının izlediği yol Şekil 1.5.'te gösterilmiştir (Anonim, 2022d).



Şekil 1.5. Güneşten dünyamıza gelen ışınların izlediği yol (Anonim, 2022d)

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından gayet iyi bir konumda bulunmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın oluşturduğu ve Şekil 1.6.'da gösterilen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasından (GEPA) da görüleceği üzere ülkemizin toplam yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2.741 saat (günlük ortalama yaklaşık 7.5 saat), yıllık toplam güneş enerjisi yaklaşık 1.527 kWh/m²yıl (günlük ortalama yaklaşık 4.18 kWh/m²gün) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2022e).



Şekil 1.6. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (Anonim, 2022e)

Tablo 1.1. Bölgelere göre Türkiye'nin Güneş enerji potansiyeli (Anonim, 2022g).

Bölgeler	Ortalama Toplam Güneş Enerjisi kWh/m ² -yıl	En Yüksek Güneş Enerjisi (Haziran) kWh/m ²	En Düşük Güneş Enerjisi (Aralık) kWh/m ²	Ortalama Güneşlenme Süresi Saat / yıl	En Yüksek Güneşlenme Süresi (Haziran) Saat	En Düşük Güneşlenme Süresi (Aralık) Saat
Akdeniz Bölgesi	1,390	1,869	476	2,956	360	101
Doğu Anadolu Bölgesi	1,365	1,863	431	2,664	371	96
Ege Bölgesi	1,304	1,723	420	2,738	373	165
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1,460	1,980	729	2,993	407	126
İç Anadolu Bölgesi	1,314	1,855	412	2,628	381	98
Karadeniz Bölgesi	1,120	1,315	409	1,971	273	82
Marmara Bölgesi	1,168	1,529	345	2,409	351	87

Tablo 1.1.'de de görüleceği üzere ülkemizde güneş enerjisinin en az olduğu ay Aralık, en fazla ise Haziran olduğu görülmektedir. Bölgeler bakımından incelendiğinde ise Güneydoğu ile Akdeniz Bölgesi potansiyel bakımından oldukça elverişli olduğu görülür. Ülkemizde Güneş enerjisi potansiyeli en az görünen Karadeniz Bölgesinin bile çoğu Avrupa ülkelerinden daha fazla potansiyele sahip olduğu söylenebilir (Anonim, 2022g).

Güneş enerjisinden yararlanmak için geçmişten günümüze çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Fotoelektrik olayıyla ya da güneş ışınlarında bulunan ısı veya ışık enerjisinin çeşitli alanlarda kullanılmasıyla Güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Kullanılan yöntem veya kullanılan malzemeye göre, teknolojik gereksinim açısından çok çeşitlilik göstermesine rağmen güneş enerjisi uygulamaları genellikle ısı uygulamaları ile elektrik üretimi olarak iki ana grupta incelenmektedir. Her iki uygulamayı da içeren en iyi örnek güneş bacalarıdır.

1.3. Güneş Bacası

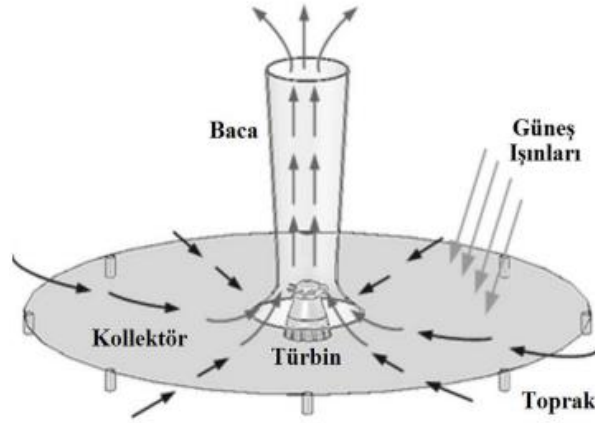
Güneş bacaları alt kısmında bulunan sera alanında ısınarak yükselen havanın baca içerisindeki türbinleri döndürmesiyle elektrik enerjisi üretmeyi amaçlayan yenilenebilir bir enerji sistemidir.

Güneş bacaları teorik olarak eski bir geçmişe sahiptir. Bu fikrin ilk kez Leonardo Da Vinci'nin (1452- 1519) ileri sürdüğü tahmin edilmektedir. Ayrıca Osmanlı İmparatorluğu döneminde önemli bir ilim adamı olan Takiyüddin'in 1551'deki bir buluşunda su buharıyla çalışan dikey yönlü Güneş bacası şeklinde tasarımının olduğu bilinmektedir (Anonim,2022i).

Güneş bacası fikri eski olmasına rağmen uygulama şansını ilk kez 1982'de İspanya'nın Manzanares bölgesinde bulmuştur. Güneş bacalarının başarılı olabileceğini göstermek amacıyla 46.000 m²'lik bir alanda kurulan deneysel sistem maksimum 50 kW'lık bir elektrik enerjisi üretmekteydi. Bu deneysel çalışmanın başarılı olması sonraki çalışmalar için iyi bir örnek teşkil etmiştir (Haaf ve diğ., 1983, Haaf, 1984).

1.3.1. Güneş Bacası Sistem Elemanları

Güneş bacası sistemlerinin toplayıcı yani sera örtüsü (kolektör alanı), baca ve türbin olmak üzere üç temel kısımdan oluştuğu söylenebilir (Şen ve Cüce, 2020). Şekil 1.7.'de güneş bacası sisteminin çalışma prensibi ve temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Güneş bacası ve çalışma prensibi (Koonsrisuk,2013)

Şekil 1.7.'de görüldüğü gibi kolektör Güneş ışımasını sisteme aktarmaya yarar. Kolektörler, kolektör altında bir sera etkisi oluşturularak havayı ısıtır ve zeminde duyulur yada gizil ısı depolanmasını sağlar (Cüce ve ark., 2020). Baca kolektör alanının ortasında belirli bir yüksekliğe sahip dikey olarak konumlandırılmış sistem elemanıdır. Baca sahip olduğu yükseklikten dolayı baca giriş ve çıkışında bir basınç farkı oluşturur. Kolektör alanında sıcaklığı artan akışkan yoğunluk farkından dolayı yukarıya doğru yükselerek baca içerisinden harekete zorlanır. Bacadaki basınç farkından dolayı hava baca içerisinde hızlanarak hareketine devam eder. Baca içerisine yerleştirilen türbin hızlanmış havanın sahip olduğu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu şekilde Güneş bacası sisteminden elektrik enerjisi elde edilmiş olur (Schlaich, 1995).

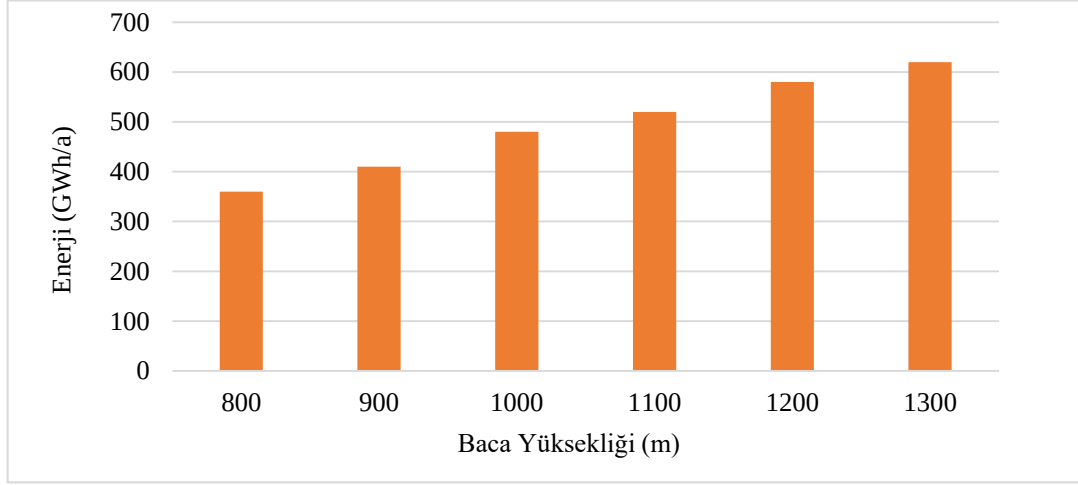
Kolektörler güneş bacası sistemlerinde sıcak hava üretmek amacıyla kurulan bölümdür. Cam ya da cam gibi ışık geçirgenliği fazla olan plastik film gibi maddelerden yapılır. Kolektör alanı ısınan havanın sürtünmeden dolayı enerji kaybını en aza indirmek için baca girişine doğru yükselerek imal edilen bir yapıya sahiptir. Kolektör güneş ışımasını emerek kolektör örtü alanı altındaki zeminde ısı birikimini sağlar. Zeminde depolanan ısı dışarıdan gelen havaya aktararak havanın da ısınması sağlanır (Schlaich, 1995).

Zeminde depolanan ısı enerjisini artırmak dolayısıyla güneş bacası sistem verimini artırmak amacıyla kolektör alanının genişletilmesi, zeminde ısı birikimi sağlayacak ısı depolayıcı maddeler konulması ya da zeminden sıcak su geçirme gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Baca, kolektör alanının tam orta noktasında belirli yüksekliğe sahip kule gibi davranan, ısınan havanın çekimini sağlayan güneş bacası sisteminin termal motorudur.

Bacalar optimum yüzey hacim oranına sahip olduğundan dolayı sürtünme kayıpları düşük bir borudur. Kolektör alanından gelen ısıtılmış hava ile baca çıkışındaki soğuk hava arasındaki sıcaklık farkından dolayı atmosfere doğru hava akışı sağlanır (Schlaich, 1995).

Bacalarda ısı enerjisinin hareket enerjisine dönüştürme miktarı bacaların verimini gösterir. Şekil 1.8.'de de görüleceği üzere baca yüksekliğinin artması sistemin verimini dolayısı ile üretilen elektrik enerjisini de olumlu etkilemektedir. (Koyun, 2006).



Şekil 1.8. Baca yüksekliğine bağlı elektrik üretimi (Koyun, 2006)

Türbin, baca içindeki sıcak havanın sahip olduğu kinetik enerjisinin mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştüren sistem elemanıdır. Türbinlerde boru içerisindeki statik basınç döner hareket enerjisine dönüştürülür. Türbinlerden elde edilecek güç miktarı basınç kaybına ve kütleli debiye bağlı olarak değişir. Türbin öncesindeki hava hızı ile türbin sonrasındaki hava hızları yaklaşık olarak aynıdır (Schlaich, 1995).

Günümüzde Güneş enerjisi çok farklı alanlarda uygulama imkânı bulmuştur. Kullanılan yöntem ve malzemeye göre farklı uygulama yöntemleri bulunmaktadır. Teknolojik gereksinim açısından çok çeşitlilik göstermesine rağmen güneş enerjisi uygulamaları genellikle ısı uygulamaları ve elektrik üretimi olarak ayrılmaktadır. Güneş enerjisi ısı uygulamalarına sıcak su elde edilmesi, alan-hacim ısıtması, havuz suyu ısıtması, damıtma, güneş ocak ve fırınları, kurutma örnek verilebilir.

1.4. Kurutma

Kurutma insanoğlunun çok eski uygulamalarından biri olarak bahsedebilir. Belirli dönemlerde elde edilen tarım ürünleri içerdikleri sudan dolayı kısa zamanda taze bir şekilde tüketilmek istenir.

Tarım ürünleri üretilmesinden tüketiciye ulaşana kadar bu ürünlerin depolanması ve saklanması gerekmektedir. Tarım ürünlerinde bulunan su ve diğer organik maddeler mikroorganizmaların çoğalması için uygun şartlar yaratmakta ve tarım ürünlerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ürünler tarladan toplandıktan sonra depolanması ve saklanması büyük sorunlar yaşanmakta, ihtiyaç ve tüketim fazlası olan ürünlerin israfının engellenmesinde problemler yaşanmaktadır. Bu problemleri aşmak adına dondurma, konserve ya da kurutma gibi çeşitli uygulamalara gidilmektedir. Dondurma ya da soğutma geçici çözümler sunarken kurutma kalıcı ya da daha uzun süreli bir çözüm sunmaktadır.

Kurutma tarım ürünlerinde bulunan suyun belirli bir oranda tutularak ürün içerisindeki suyun uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanabilir. Mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi, çoğalabilmeleri için suya ihtiyaçları vardır. Kurutma olayında tarım ürünlerindeki su uzaklaştırılarak tarım ürününde bulunan mikroorganizmaların çoğalmasını ve tarım ürününün bozulmasını engellemek amaçlanmaktadır. Kurutma sayesinde tarım ürünlerinin dayanıklılığı, raf ömürleri artarken içerdikleri su miktarının azalmasından dolayı daha hafif hale gelerek taşınmaları kolaylaşır (Yağcıoğlu, 1999).

1.4.1. Kurutma İşleminde İstenilen Özellikler

Kurutma işleminin başarılı sayılabilmesi için kurutma işleminde bazı özelliklere dikkat edilmelidir. İdeal bir kurutma işleminde istenilen özelliklerden bazıları aşağıda belirtilmiştir (Gülçimen, 2008).

- ❖ Kurutulacak tarım ürünündeki su hızlı bir şekilde uzaklaştırılmalıdır.
- ❖ Daha az enerji ile kurutma ürününden mümkün olduğunca çok su uzaklaştırılmalıdır.
- ❖ Kurutma ürününde besin değerinin azalmasına, tat ve aromasının, görünüşünün bozulmamasına, çatlamalara neden olmamalıdır.
- ❖ Kurutma işlemi ekonomik olmalıdır.
- ❖ Kullanılacak kurutucu etkili ve verimli olmalıdır.
- ❖ Kurutulacak ürün ile etkileşime girmemek gerekir.
- ❖ Kurutulacak ürün kurutucuya kolaylıkla yerleştirilip çıkarılabilmelidir

Ülkemizin tarımsal potansiyeli oldukça yüksek olmasına rağmen tarımsal teknolojilerin yaygınlaşmadığı görülmektedir. Özellikle kurutulmuş ürün pazarının yaygınlaşması farklı kurutma yöntemlerinin geliştirilmesini beraberinde getirmiştir. Kurutma işleminde kullanılan araçların enerji tüketimleri önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Bu enerji maliyetlerinin azaltılmasında Güneş enerjili kurutucuların önemli bir rolü vardır.

1.4.2. Kurutulacak Ürünün Kalitesine Etki Eden Faktörler

Tarım ürünlerinin kurutulması anında verilen ısı enerjisinden dolayı kurutma ürünün yapısı değişime uğrayacaktır. Bu değişimin istenilen düzeyde olması ve ürün kalitesini düşürmemesi en önemli noktalardan biridir. Bu yüzden kurutma anında ürün kalitesinin düşmemesi için aşağıda belirtilen faktörlere dikkat edilmelidir (Gülçimen, 2008).

1.4.2.1. Kurutma Sıcaklığı

Kurutulacak ürünün içerisinde bulunan su miktarına bağlı olarak uygun kurutma sıcaklığı belirlenmelidir. Kurutma ürününe verilecek olan ısı enerjisi ürün içerisindeki suyun buharlaşıp uzaklaştırılması için kullanılacaktır. Bu nedenle buharlaştırılacak su miktarına bağlı olarak sıcaklık iyi ayarlanmalıdır. Aynı zamanda kurutma sıcaklığının çok yüksek olması ürün yüzeyinde buruşmaya, ürün içerisinde ise boşluk ve çatlamalara neden olabilmektedir.

1.4.2.2. Kurutma Süresi

Kurutma süresi ürün kalitesini belirlemekle birlikte, üretim miktarını da etkilemektedir. Kurutma süresi ürünün çeşidine, miktarına ve ürünün içerdiği su miktarına göre değişiklik gösterir. Kurutma yöntemlerine bakıldığında ideal yüksek sıcaklık altında yapılan, kurutma süresi kısa olan kurutmalarda ürün kalitesinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

1.4.2.3. Kurutma Ürününün Nem Oranı

Kurutmada temel amaç kurutma ürünün içerisinde bulunan su miktarı azaltmak olduğundan ürünün son halinde ne kadar su miktarının kalacağı da önemli bir husustur.

Yapılan araştırmalar sonucunda kurutulmuş ürünlerde nem oranının yaklaşık olarak %10-15 seviyesinde olmalıdır.

Bu seviyenin altına inildiğinde kurutma ürünün su çekebilme özelliği değişir ve ürün sertleşir. % 10-15 seviyesinin üzerinde olması halinde ise mikroorganizmaların çoğalması için yeterli nemli ortam oluşur böylece ürünün bozulması hızlanır ve raf ömrü, dayanıklılığı, depolanma süresi kısalmır.

1.4.2.4. Rehidrasyon

Kurutulmuş bir ürüne tekrardan su verilmesi halinde eski haline geri gelebilme yeteneğinin ölçüsüdür. Özellikle kurutulmuş toz haline getirilen süt tozu, tozlu içecekler, meyve tozları gibi ürünlerin yanı sıra dilimlenmiş halde kurutulmuş ürünler içinde geçerli bir özelliktir.

1.4.3. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Kurutma sanayinde en önemli unsurlardan biri de kurutma zamanıdır. Kurutma zamanının kısalması üretim miktarını doğrudan etkileyeceğinden dolayı çok önemlidir. Bu yüzden kurutma hızını etkileyen bazı etmenler aşağıda açıklanmıştır (Yağcıoğlu, 1999).

1.4.3.1. Ürünün Kimyasal Bileşimi

Kurutulacak ürün içerisinde bulunan organik ya da inorganik maddeler suyun buharlaşma noktasını yükselterek ya da suyun tutulmasını sağlayarak kurutma hızının değişmesine neden olur. Kurutma ürününe verilen ısı enerjisinden dolayı kurutma ürününün kimyasal yapısı değişime uğrar.

Ürün içerisinde bulunan glikoz, tuz gibi küçük moleküllü çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürdüklerinden dolayı ürünlerdeki suyun buharlaşmasını zorlaştırır. Bünyesinde nişasta, pektin ve farklı gam maddelerinin oluşumunu sağlayan kolloidal jel maddesi bulunduran maddelerin kurutulması oldukça güçtür. Çünkü kolloidal jel suyu kendi bünyesinde tuttuğundan bu tür maddelerdeki suyun uzaklaştırılmasını da zorlaştırmaktadır.

1.4.3.2. Ürünün Boyutları

Buharlaşma yüzeyden gerçekleşen bir olay olduğundan yüzey alanının artması kurutma hızını da arttıracaktır. Kurutulmuş ürünlerin kalınlıkları arttıkça kurutma hızı azalacaktır. Kurutma hızının artırılması amacıyla yüzey alanı fazla olan fakat kalınlıkları az olan dilimler oluşturulması kurutma hızını da olumlu etkileyecektir. Bazı ürünlerin bu şekilde dilimlenmesi mümkün olmadığı gibi bazı ürünlerde de tüketicilerin isteklerinin karşılanması amacıyla belli büyüklük ve kalınlıkta olmaları gerekmektedir.

1.4.3.3. Sıcaklık

Sıcaklık farkı arttıkça ısı transfer hızı artar. Bu yüzden kurutulacak tarım ürününün sıcaklığı ile kurutma işleminin yapılacağı ortam sıcaklığı arasındaki fark ne kadar fazla olursa ısı transfer hızı da artacağından kurutma hızı olumlu etkilenir. Bu nedenle kurutma ortamının sıcaklığı ve kurutulacak ürünün başlangıç sıcaklığı önemlidir.

1.4.3.4. Hava Hızı

Kurutulacak ürün üzerinden geçirilen havanın hızı ürüne aktarılabilecek enerji miktarını etkileyeceğinden kurutma hızını etkiler. Hava hızının artması kurutma hızını olumlu etkileyecektir.

1.4.3.5. Hava Kuruluk Miktarı

Kurutma işlemi kurutulan ürün ile hava içerisindeki nem miktarları dengeye ulaşmaya kadar devam edecektir. Bu yüzden havanın kuruluk derecesi kurutma işleminin hangi düzeye kadar yapılacağını belirler.

1.4.3.6. Atmosfer Basıncı

Kurutma işleminin yapıldığı yerdeki atmosfer basıncı buharlaşmayı etkileyeceğinden kurutma hızını da etkiler. Atmosfer basıncı azaldıkça buharlaşma daha kolay gerçekleşeceğinden dolayı kurutma hızı da artacaktır.

1.4.4. Kurutma Çeşitleri

Kurutulmuş tarım ürün çeşitlerinin giderek artması, teknolojik gelişmelerle her türlü ürünün kurutulmasının yapılabilir hale gelmesi kurutma sektörünün oluşmasını sağlamıştır. Tarım ürünlerinin kurutulması esnasında kullanılacak yöntem ve kurutucu tipi ortamın fiziksel koşullarına, kurutulacak tarım ürününün özelliklerine göre değişebilmektedir. Kurutma alanında birçok farklı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kurutma yöntemlerinden sanayide ve günümüzde yaygın olarak kullanılan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.4.4.1. Güneşte (Doğal) Kurutma

Güneş ışığında bulunan ısı enerjisinden yararlanılarak, açık alanda ürünün içerisindeki su oranının azaltılması ile yapılan kurutma çeşididir. Doğal kurutmada güneş enerjisinden direk yararlanıldığı için kurutma işlemine enerji harcanmaz. Bu nedenle doğal kurutma en ekonomik kurutma yöntemidir. Doğal kurutmada tarım ürününün açık alanda tozlara maruz kalması, açık sergi alanında bulunan kuşlar, böcekler ve çeşitli hayvanların tarım ürününe zarar vermeleri doğal kurutmanın en önemli dezavantajıdır.

Doğal kurutmanın bir diğer dezavantajı ise farklı ürün boyutu ve lokal ısıtım farklılıklarından dolayı homojen kurutmanın sağlanamamasıdır. Aynı zamanda doğal kurutma için geniş bir sergi alanına ihtiyaç duyulur. Kurutma süresinin uzunluğu ve tarım ürünündeki su miktarının belli bir noktadan daha aşağıya düşmemesi gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bu koşullara bakıldığında doğal kurutma her tarım ürünü için uygun bir yöntem değildir. (Soysal 2004).

1.4.4.2. Güneş Kolektörlü (Kombine) Kurutma

Güneş enerjisinden ya da çeşitli yakıtlar kullanılarak yapılır. Bu yöntemde güneş enerjisinin yeterli olduğu durumlar bir kolektör yardımıyla sıcak hava elde edilir. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı zamanlarda çeşitli yakıtlar kullanılarak sıcak hava elde edilir. Elde edilen sıcak hava tarım ürünlerine aktararak ürünlerdeki suyun uzaklaştırılması sağlanır. Yatırım maliyeti oldukça düşük olan bu kurutma yöntemi doğal kurutma yerine tavsiye edilebilir (Anonim, 2021b).

1.4.4.3. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma, dondurulmuş tarım ürünlerine vakum altında ısı enerjisi verilmesiyle tarım ürünündeki suyun uzaklaştırılması ile yapılan kurutma yöntemidir. Bu yöntem ile kurutulan tarım ürünleri fiziksel, duyuşal özellikleri ve besin değerleri diğer kurutma yöntemlerine göre daha iyi olduğundan en iyi kurutma yöntemi olarak görülebilir. Ürün kalitesinin yüksek olmasının yanı sıra yatırım maliyetinin yüksek olması önemli bir dezavantajdır (Anonim, 2021b).

1.4.4.4. Yapay Kurutma

Yapay kurutmada kurutma yapılacak tesise alınan hava ısıtıldıktan sonra kurutulacak tarım ürününe temasıyla yapılan kurutma işlemidir. Kurutma işleminde hava ısıtıcı ile ısıtıldığından enerji harcama maliyeti diğer yöntemlere göre yüksektir. Yapay kurutmada farklı yöntemler kullanılmaktadır.

1.4.4.5. Kabin (Tepsili) Kurutucular

Kabin kurutucular genelde az miktarda olan tarım ürünlerinin kurutulmasında tercih edilir. Bu kurutucuların çok farklı çeşitleri olsa da çalışma şekilleri genellikle aynıdır. Tarım ürünleri alt kısmı ızgara biçiminde olan ve kerevet adı verilen tepsilere yerleştirilir. Üst üste dizilmiş tepsiler vagon haline getirilerek kurutma kabinine yerleştirilir. Isıtılmış sıcak hava kurutma kabininin yan duvarlarından kabin içerisine verilir. Hareketsiz tepsiler arasından geçen sıcak hava ürünlerdeki suyu uzaklaştırır.

Tepsilerden aynı kurutma hızında sıcak hava geçirilememesi bu tip kurutucuların en önemli dezavantajı sayılabilir. Bu dezavantajı gidermek için ilaveten fan kullanılmakta bu da hem maliyeti hem de harcanan enerjiyi artırmaktadır. Şekil 1.9.'da bir kabin tipi kurutucu gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Kabin (Tepsili) kurutucu (Anonim,2022i)

1.4.4.6. Tünel Kurutucular

Kurutulacak tarım ürünlerinin raylı bir sistem üzerinden hareket ettirilerek tünel boyunca ısıtılan sıcak havayla teması sağlanarak ürünlerdeki suyun uzaklaştırılmasını sağlayan kurutma çeşididir. Şekil 1.10.'da bir tünel kurutucu gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Tünel kurutucu (Yağcıoğlu,1999)

Kabin kurutucularda hareketsiz olan kerevetler tünel kurutucularda hareketli bir haldedir. Bu sayede kurutulacak tarım ürününe aynı kurutma hızında hava geçirmek mümkün hale gelmektedir. Sebze ve meyve kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan tünel kurutucular paralel ya da zıt akış tünel kurutuculardır.

Kurutulacak tarım ürünleri ile tüneldeki sıcak havanın aynı yönlü olduğu tünel kurutuculara paralel akış tüneli denilmektedir. Tünele verilen sıcak hava öncelikle taze ürün üzerinden geçerek tünel sonundaki kurumuş olan ürüne doğru yol alır. Kurutma tünel girişinde kurutma fazla hızlı olurken tünel sonunda kurutma çok daha yavaş gerçekleşir. Başlangıçta kuruma hızının fazla olması ürün üzerinde buruşukluklara, ürün içerisinde ise boşluklara ve çatlaklıklara yol açar.

Kurutulacak tarım ürünleri ile tüneldeki sıcak havanın zıt yönlü olduğu tünel kurutuculara zıt akış tüneli denilmektedir. Tünele verilen sıcak hava öncelikle kurumuş ürün üzerinden geçerek tünel sonundaki taze olan ürüne doğru yol alır. Kurutulacak tarım ürünü soğuk, nemli hava ile karşılaştığından tam bir buruşma gerçekleşir. Zıt akış tüneli kurutucular özellikle yumuşak meyveler için uygun olan kurutuculardır.

1.4.4.7. Konveyör Kurutucular

Kurutulacak tarım ürünlerinin bir bant üzerinden hareket ettirilmesi şeklinde yapılan kurutma türüdür. Hareketli banttan dolayı sürekli bant sistemi olarak bilinir.

Elek şeklinde paslanmaz çelikten imal edilmiş bantlara bantların alt ve üst bölgelerinden sıcak hava verilerek tarım ürünlerinin kurutulması sağlanır. Büyük miktarda kurutma yapmaya elverişli olduğundan seri üretimler için uygun bir yöntemdir. Şekil 1.11.' de bir konveyör kurutucu gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Konveyör (Bantlı) kurutucu (Anonim, 2022i)

Yukarıda bahsedilen ve yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemleri dışında çalışma yöntemleri birbirine benzerlik gösteren akışkan yataklı kurutucular, sandık kurutucular gibi farklı kurutucular bulunmaktadır.

Öte yandan parçalanmış ya da taneler şeklinde kurutulan ürünler dışında sıvı ya da yarı sıvı halde kurutulan meyve suları, toz içecekler, domates suları, patates püresi gibi ürünlerin kurutulması için püskürtme sistemli, valsli, vakumlu, puf köpük kurutucular gibi farklı kurutma sistemleri bulunmaktadır.

1.4.5. İdeal Bir Kurutucudan Beklenen Özellikler

Farklı kurutma yöntemleri olmasına karşın iyi bir kurutucudan en iyi verimi yakalayabilmek için kurutma sisteminin bazı özellikleri barındırması istenilmektedir. İstenilen bu özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Gülçimen, 2008).

- ❖ Seçilecek kurutma sistemi kurutması yapılacak olan ürüne uygun olmalıdır.
- ❖ Kurutulacak yıllık tarım ürünü miktarı belirlenmeli ve buna göre esnek kurutma sistemi kapasitesine sahip olmalıdır.
- ❖ Kurutma işlemi yapılırken elde edilen ürün miktarı fazla olmalı yani kurutma ürünündeki fire miktarı az olmalıdır.
- ❖ Kurutma sisteminin işletme maliyeti düşük olmalı, tamir ve bakım giderleri az olmalıdır.
- ❖ Kurutma sisteminin kullanımı kolay olmalıdır ve emniyetli bir şekilde çalışmalıdır.
- ❖ Kurutma sisteminde kullanılacak enerji çeşidi kurutma yapılacak olan yere uygun olmalı, çevreye etkisi dikkate alınmalıdır.
- ❖ Kurutulmuş tarım ürününün besin değerlerinin ve kalitesinin azalmaması, görünüşünün, tat ve aromasının bozulmaması gerekmektedir.

1.4.6. Kurutma Ürünlerindeki Nem

Kurutma işleminin ana amacı kurutulacak ürün bünyesindeki nemi uzaklaştırmak olduğundan kurutulacak ürün içerisindeki nem miktarının bilinmesi oldukça önemlidir. Kurutulacak ürün içerisinde bulunan nem miktarı ve kurutuma ortam sıcaklığı kurutulacak ürünün tüm özelliklerini etkilemektedir.

Uygun kurutma yönteminin belirlenmesi ve kurutma sonrası ürünün saklama ve depolama ömrünün iyi belirlenebilmesi için kurutma ürünün nem miktarı kurutma işlemi öncesi ve sonrasında iyi bilinmelidir (Yağcıoğlu,1999). Tablo 1.2.'de bazı tarım ürünlerinin yaş halde bulunan nem miktarları verilmiştir.

Tablo 1.2. Bazı meyve sebzelerde bulunan % nem oranları (Anonim, 2022j)

Ürün	Nem oranı (%)	Ürün	Nem Oranı (%)
Elmalar	84	Fasulye	90
Kayısı	86	Pancar	87
Muz	74	Brokoli	89
Lahana	92	Domates	94
Ahududu	86	Patates	79
Hindistan Cevizi	51	Havuç	88
Vişne	86	Kiraz	80
Karnabahar	92	Kereviz	95
İncir	79	Su kabağı	94
Üzüm	81	Patlıcan	92
Mantar	91	Nektarin	86
Şeftali	88	Soğan	91
Armut	84	Maydanoz	88
Çilek	89	Ispanak	91
Erik	86	Dolmalık biber	93
Turp	93	Yaban Mersini	84
Bezelye	88	Ananas	86

Denge nemi, kurutulacak ürünün bulunduğu ortam şartlarında en fazla bulundurabileceği nem miktarıdır. Denge neminin en düşük ve en yüksek değerleri ürünün bulunduğu ortamın bağıl nemine bağlıdır. Denge nemini kurutulacak ürün ile ürünün bulunduğu ortam arasındaki kısmi basınçlar arasındaki fark belirler (Yağcıoğlu,1999).

Kurutulacak maddelerdeki nem sıvı ve buhar halinde yer değiştirdiğinden dolayı kılcal boşluklu bir yapı olarak incelenir. Tarım ürünü içerisindeki ve yüzeye gelen nem konveksiyon ile maddeden uzaklaşır. Kurutulan ürünün bulunduğu ortamda hava hareketinin olmadığı durumda ise nem difüzyon ile maddeden uzaklaşır. Ürün içerisindeki nemin hareketi ürünün nem dengesini değiştirdiğinden nem miktarları bakımından bölgesel farklılıklara yol açar. Bu bölgesel farklılıkların temel nedeni suyun ayrılma hızı, difüzyon katsayısı ve ürünlerdeki sıcaklık farkıdır. Kurutulacak ürün yüzeyi ile merkezi arasında oluşan nem farklılığı ürün içerisinde gerilimlere neden olarak ürün içerisinde boşluklar ve büzülmeler oluşturarak ürün kalitesini olumsuz etkileyecektir. Kurutma işlemi başlangıcında bu nem farklılığı çok fazla iken sıcaklığın artmasıyla birlikte nem farkının giderek azaldığı çalışmalar ile görülmüştür (Akbulut, 2006).

1.4.6.1. Bağıl Nem

Hava içerisindeki su buharından kaynaklanan kısmi basıncın, eşit sıcaklıktaki suyun sahip olduğu buhar basıncına oranına denilmektedir. Bağıl nem belirli sıcaklık altında havanın taşıdığı nem miktarının yüzde olarak ne kadar olduğunu gösterir (Nijman, 2020).

Sıcaklık azaldıkça nem miktarı azalacağından dolayı bağıl nem artar. Yani bağıl nem ile sıcaklık ters orantılıdır. Bağıl nem;

$$\text{Bağıl Nem} = \frac{\text{Mutlak nem}}{\text{Maksimum Nem}} \times 100$$

şeklinde hesaplanır.

1.4.7. Nem Belirleme Yöntemleri

Kurutulacak tarım ürünlerindeki nem miktarlarının belirlenmesi için çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Desikantlar kullanılarak nem belirlenmesi, elektrik-elektronik tip nem ölçme metotları, hava dolaşımli fırın metotları, kurutma fırını metotları, Toulou damıtma metodu, vakum ortamli fırın metodu başlıca nem belirleme yöntemleridir (Yağcıoğlu, 1999).

1.4.7.1. Desikantlar Kullanılarak Nem Belirlenmesi

Kurutulacak tarım ürününden alınan örnekler öğütölerek yüksek miktarda desikantların içerisinde konularak ürünlerdeki nem miktarı belirlenir. Örneklerden uzaklaşan nem desikantlar tarafından emilir. Örneklerin kütlelerinde değişimin olmadığı ana kadar örnekler tartılarak örneklerdeki nem miktarı hesaplanır. Nem miktarının belirlenmesinde kullanılacak desikantların seçilmesinde dikkat edilecek bir husus desikantların örneklerden daha küçük buhar basıncına sahip olmasıdır.

1.4.7.2. Elektrik-Elektronik Tip Nem Ölçme Metodu

Kurutma ürünündeki nem miktarı ürünün elektriksel özelliklerini etkiler. Etkilenen bu elektriksel özellikler ürünlerdeki nem miktarlarının belirlenmesinde kullanılabilir.

Genelde kullanılan elektronik nemölçerler kapasitans veya kondüktans esaslıdır. Kapasitans esaslı nemölçerlerde örneklerin bulundurdıkları nem miktarları ürünün dielektrik özelliklerini etkilemesinden yararlanılarak nem miktarı belirlenir. Kondüktans esaslı nemölçerlerde ise örnekler iki elektrot arasına bağlanarak nem miktarı ekrandan direk olarak belirlenir.

1.4.7.3. Kurutma Fırını Metodu

Nem miktarının belirlenmesi istenilen ürün farklı türdeki kurutma fırınlarında ürünün kütlesinin değişmeyeceği ana kadar kurutulmasıyla nem oranının belirlenmesi yöntemidir. Ürünün ilk kütlesi ile son kütlesi arasındaki fark ürünün içerdiği nem miktarı olarak kabul edilir.

1.4.7.4. Hava Dolaşım Fırın Metodu

Nem miktarının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem de hava dolaşım fırın metodudur. Bu metotta örnekler çevre etkilerine kapalı bir ortamda hava ile kurutularak ürünlerdeki kütle değişiminden yararlanılarak nem miktarı belirlenir. Bu metot tahıllar, pirinç, mercimek, mısır gibi ürünlerin için uygulanabilir.

1.4.7.5. Vakum Ortamlı Fırın Metodu

Yaygın olarak kullanılan bu yöntemde örnekler vakumlu bir ortamda belirli bir süre bekletilerek ürünlerdeki nem miktarının belirlenir. Nem belirlemede kullanılan vakum fırını 13-26 mbar basınç değerinde vakum yapabilmektedir.

1.4.7.6. Toulén Damıtma Metodu

Bu nem belirleme metodunda farklı kaynama noktalarına sahip iki sıvı birlikte kaynatılır ve sıvıların yoğunlaşma miktarlarından kaynaklanan hacim değişimleri ölçülerek nem miktarı belirlenir. Buharlaştan maddelerin toplanacağı bölümlere sahip düzenekteki toulén içerisinde çok ince öğütülmüş örnekler ilave edilerek kaynatılır. Toulénin kaynama noktası suyun kaynama noktasından daha yüksek olduğu için örnekler içerisinde buharlaşan su bir bölümde toplanır. Bu bölümdeki su miktarının hacmine bakılarak nem miktarı belirlenir.

1.4.8. Nemlilik Ölçüsü

Nem kurutulacak tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan, yüzde olarak gösterilen su miktarıdır. Ürünlerdeki nem miktarları “yaş” ya da “kuru” olmak üzere belirtilir. Kurutma ürünündeki suyun ağırlığının ürünün toplam ağırlığına oranı yaş baza göre nem miktarını verirken, kurutma ürünündeki suyun ağırlığının ürünün kurumuş haldeki ağırlığına oranı ise kuru baza göre nem oranını verir (ASAE,1983).

Yaş Baza Göre Nem Oranı

$$M_{yb} = \frac{W_s}{W_s + W_k} \times 100 = \frac{M_s}{M_s + M_k}$$

Kuru Baza Göre Nem Oranı

$$M_{kb} = \frac{W_s}{W_k} \times 100 = \frac{M_s}{M_k} \times 100$$

Eşitliklerde,

W_s = su ağırlığı (kg) M_{yb} = Yaş baza göre ürünün nem oranı (%)

W_k =kuru ağırlık (kg) M_{kb} Kuru baza göre ürünün nem oranı (%)

olarak ifade edilmektedir.

Yaş bazdaki % nem oranı genellikle ticari alım satımlarda kullanılırken, kuru bazdaki % nem oranı ise kurutma alanındaki çalışmalar için kullanılır (Akpınar, 2002). Yaş ya da kuru baza göre belirlenen nem miktarları aşağıdaki eşitlik kullanılarak birbirlerine dönüşümü mümkündür (Yağcıoğlu, 1999).

$$M_{kb} = \frac{M_{yb}}{100 - M_{yb}} \times 100$$

Kurutma esnasında kurutulan ürün su kaybetmesinden dolayı ağırlığında azalma meydana gelecektir. Bu azalma miktarı aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir (Yağcıoğlu, 1999).

**Ürünün ilk ağırlığının bilinmesi
durumunda**

$$W = W_1 \times \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2}$$

**Ürünün son ağırlığının bilinmesi
durumunda**

$$W = W_2 \times \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

Eşitliklerde,

W = Ağırlık kaybı (kg)

W_1 = İlk ağırlık (kg)

W_2 = Son ağırlık (kg)

M_1 =Kurutmadan önceki nem oranı (%)

M_2 =Kurutmadan sonraki nem (%) göstermektedir.

1.4.9. Kurutma Sıcaklıkları

Kurutulacak tarım ürünlerinin özelliklerinin, mikro yapılarının ve içerdikleri nem miktarları nedeniyle her ürünün uygun kurutma sıcaklığında kurutulmasını gerektirmektedir. Uygun kurutma sıcaklığının belirlenmemesi durumunda ürün içerisindeki nem hızlı ya da yavaş gerçekleşebileceğinden ürün kalitesinde düşüşe, görünüşünde bozulmalara, içyapısında boşluk ve çatlaklıkların oluşmasına neden olabilmektedir. Tablo 1.3.'te bazı tarım ürünleri için belirlenen uygun kurutma sıcaklıkları gösterilmiştir.

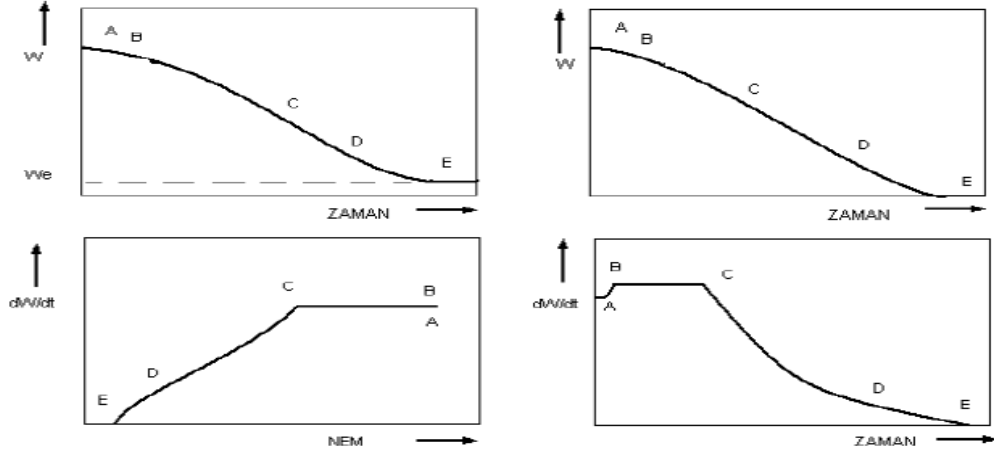
Tablo 1.3. Bazı ürünlerin uygun kurutma sıcaklıkları (Anonim, 2022k, Anonim, 2022i)

Ürün	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Ürün	Kurutma Sıcaklığı (°C)
Elma	74	Hindistan Cevizi	35-40
İncir	71	Vişne	71-77
Üzüm	71	Erik	74-77
Şeftali	66	Armut	63
Kayısı	71	Muz	70
Fasulye	75	Lahana	63
Havuç	79	Kırmızıbiber	35-40
Tıbbi Bitkiler	35-50	Soğan	88
Kakule	45-50	Biber	55
Sarımsak	55	Manyok	70
Çilek	48		

1.4.10. Kurutma Aşamaları

Tarımsal ürünün bünyelerinde bulunan nemi buharlaştırmak için tarım ürününe buharlaşma gizli ısı miktarınca ısı enerjisi verilmesi gerekmektedir. Ürüne bu gizli ısıyı verebilmek için iletim, taşınım, ışıma gibi klasik ısı transfer yöntemlerinin yanı sıra di-elektrik ısıtma yöntemleri kullanılır. Klasik ısı transferinde ısı akış yönü ürünün dışından hücrelerine doğru olurken di-elektrik yöntemlerinde bunun tam tersi şeklinde gerçekleşir. Ürün içerisindeki nemin kurutmada üründen çıkışı kapılar, difüzyon ya da her iki metotla gerçekleşebilir.

Bir tarım ürünü ısınma evresi, sabit kuruma hızı evresi ve azalan kuruma hızı evresi olmak üzere üç aşamalı bir kuruma süresi geçirir. Kuruma esnasında üründe meydana gelen karakteristik nem değişimi Şekil 1.12.'de gösterilmiştir (Doğantan, 1986).



Şekil 1.12. Tarım ürünlerinin karakteristik kuruma eğrileri (Yağcıoğlu,1999)

Yukarıdaki şekilde (Şekil 1.12.) A-B ile gösterilen evre ısınma evresidir. Bu evrede ürün ile hava sıcaklıkları dengeye ulaşmaya kadar devam eder. Kurutma ürünün kalınlığı azaldıkça oluşan nem kaybı da azalır. B-C ile gösterilen evre ise sabit kuruma hızı evresidir. Bu evrede kurutma ürününün üzerinde bulunan çok ince su hızlı bir şekilde buharlaşmaya başlar. Ürün yüzeyine geçen bu buhar, bir katman oluşturur ve buharlaşmayı yavaşlatır. Kurutma olayının devamı için bu katman hava ile dağıtılması gerekmektedir. Ürün yüzeyinde bulunan ve rahat bir şekilde buharlaşabilen nem bittiği zaman sabit kurutma hızı evresinin bittiğini gösterir. Bu evre sonu şekilde C noktası olarak gösterilmektedir ve bu noktadaki nem kritik nem olarak adlandırılır. Kurutulacak ürünün kurutma öncesindeki nem miktarı kritik nem miktarından daha fazla olduğu zamanlarda C noktası görülebilir. Azalan kuruma hızı evresinde birim zamanda üründen uzaklaşan nem miktarı kuruma süresi arttıkça azalır ve üründen nem uzaklaşması bitene kadar evre devam eder. Bu evre C-D-E eğrisi olarak gösterilmiştir. Üründeki nemin buharlaşması bu evrede ürün içerisinde başladığı için nem yüzeye difüzyon yoluyla gelir. Ürün yüzeyine yakın yerler daha fazla nem kaybedeceği için üründe buruşmalar, çatlamlar ya da kabuklaşmalar meydana gelir. C-D arası birinci azalan kuruma hızı evresi olarak tanımlanır ve bu evre bir geçiş aşaması olarak kabul edilir. Bu evrede hem ürün yüzeyinden hem de ürünün iç bölgelerinde buharlaşan nem hareketleri etkili olmaktadır. D-E ile gösterilen bölge ise ikinci azalan kuruma evresidir.

Bu bölümde ise kuruma hızı tamamıyla ürünün içsel nem hareketlerine bağlıdır. Bu evre ürün denge nem değerine ulaşınca sona erer (Doğantan, 1986).

1.5. Kurutma Teorileri

1.5.1. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisine göre katı halde maddenin iç bölgelerindeki suyun yüzeye doğru hareket etmesi difüzyon ile gerçekleşir. II. Fick kanununa göre buhar ya da sıvı haldeki maddelerin transferinde kütle transferi difüzyon ile gerçekleştiği varsayılır.

Difüzyon kuruması yavaş gerçekleşen ürünlerin özgün davranışdır. Bu şekildeki katı maddelerde kütle transfer direnci ihmal edildiğinden kuruma hızını katı haldeki maddedeki difüzyonun kontrolündedir. Bu nedenle yüzeyde bulunan nem miktarı denge durumunda ya da denge durumuna çok yakın değerde bulunur (Yağcıoğlu,1999).

1.5.2. Kapılar Teorisi

Kapılar teorisine göre katı haldeki maddelerin içerisinde bulunan sıvının yüzeye hareketi kapılar hareket ile meydana geldiğini savunur. Bu teoriye göre katı haldeki maddelerde farklı büyüklükte ve şekillerde gözeneklerin veya kanalların bulunduğunu ve katı içerisinde bulunan sıvının buralardan geçerek yüzeye ulaştığını varsayar (Anonim, 2021a).

1.5.3. Krischer Teorisi

Krischer teorisine göre maddelerdeki sıvıyı yüzeye ulaştıran etkinin difüzyon etkisi ile kapiler hareketin toplamına eşit olduğunu varsayar. Buhar halindeki hareketin tek yönlü ve difüzyon ile gerçekleştiğini, sıvı halindeki hareketin ise kılcal boru etkisiyle ve tek yönlü gerçekleştiğini kabul eder. Nem yoğunluğunu ve sıcaklığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirtmiştir. Krischer'a göre kurutma zamanının doğru hesaplanabilmesi için maddenin kapiler geçirgenlik değerinin ve difüzyon direnç katsayısının bilinmesi gerektiğini belirtir (Anonim, 2021a).

1.5.4. Philip ve De Vries Teorisi

Philip ve De Vries teorilerinde buhar ve sıvı hareketlerinde sıcaklık gradyeninin etkisini açıklayan denklemler oluşturmuşlardır. De Vries sonraki çalışmalarında bu denklemlere nemlendirme ısısını ve duyulur ısı transferini de ekleyerek teoriyi geliştirmiştir.

Gerçek kurutma şartlarında kurutmayı açıklamasının zorluğu ve denklem katsayılarının deneyler sonucunda belirlenmesinin zorluğundan dolayı Philip ve De Vries teorileri pek rağbet görmemiştir (Anonim, 2021a).

1.6. Kütle Transfer Denklemleri

Maddeler arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı geçişi olmaktadır. Karışım içerisindeki derişiklik farkından dolayı kütle geçişi meydana gelir. Bu kütle geçişi difüzyon ya da taşınım ile gerçekleşir (Incropera, 2001).

1.6.1. Difüzyon (Yayımla) ile Kütle Transferi

Fick yasası olarak da bilinen kütle difüzyon denklemi kütle yayılımının derişiklik gradyanı, sıcaklık gradyanı, basınç gradyanı ya da dış kuvvetlerin etkisiyle kaynaklanabildiğini fakat derişiklik gradyanı dışında diğer etkenlerin ihmal edilebileceğini ileri sürer. (Incropera, 2001).

Kütle difüzyon denklemi A ve B maddelerinin birleşmesiyle oluşan bir karışımın vektörel olarak;

$$J_A = -\rho \cdot D_{AB} \cdot \nabla m_A \quad (1.1)$$

ya da

$$J_A^* = -C \cdot D_{AB} \cdot \nabla m_A X_A \quad \text{şeklinde yazılabilir.} \quad (1.2)$$

Bu denklemlerde,

J_A = Kütleli akı (kg /s.m²)

ρ = Karışımın yoğunluğu (kg/m³)

m_A = Kütleli oran (ρ_A/ρ)

J_A^* = Yayılım akısı (Ortalama karışım mol hızına göre) (kmol/s.m²)

X_A = Bileşenin molekölsele oranı (C_A/ C) ‘nı ifade etmektedir.

Karışımı oluşturan A maddesinin geçiş doğrultusuna dik olan birim zamanda birim alandan geçen kütleye A’nın kütleli akısı denilir. Kütleli akı karışım bileşeninin kütleli oranının gradyanı ile karışım yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişir (Incropera, 2001).

Karışımı oluşturan maddelerin kütleli akıları karışım ile birlikte hareket eden koordinat sistemine göre belirlenmesi durumunda yukarıda belirtilen (1.1) ve (1.2) denklemleri geçerli olmayacağından sabit bir koordinat düzlemine göre kütleli akı, bileşenlerin mutlak hızı ile ilgilidir ve aşağıdaki verilen eşitlik ile ifade edilir.

A Bileşeni İçin Kütlesel Akı

$$n_A'' = \rho_A \cdot v_A$$

B Bileşeni İçin Kütlesel Akı

$$n_B'' = \rho_B \cdot v_B$$

Eşitlikte v belirli bir hacimdeki parçacıkların ortalama hızını temsil etmektedir. Karışımın toplam kütlesel akısı;

$$\rho \cdot v = n_A'' + n_B'' = \rho_A \cdot v_A + \rho_B \cdot v_B \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (1.3)$$

Yukarıdaki eşitliğin her tarafı ρ 'ya bölünürse,

$$v = m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B \text{ elde edilir.} \quad (1.4)$$

Kütlesel ortalama hıza göre A maddesinin kütlesel akısı;

$$J_A = \rho_A \cdot (v_A - v) = \rho_A \cdot v_A - \rho_A \cdot v \text{ şeklinde tanımlanır.} \quad (1.5)$$

$$n_A'' = \rho_A \cdot v_A \text{ eşitliğinden } n_A'' = J_A + \rho_A \cdot v \text{ yazılabilir.} \quad (1.6)$$

(1.1) ve (1.4) denklemleri kullanılarak,

$$n_A'' = -\rho \cdot D_{AB} \cdot \nabla m_A + \rho_A (m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B) \text{ denklemi elde edilir.} \quad (1.7)$$

Denklemden;

$$m_A = \rho_A / \rho$$

$$m_B = \rho_B / \rho$$

$$n_A'' = \rho_A \cdot v_A$$

$$n_B'' = \rho_B \cdot v_B \text{ olduğundan denklem;}$$

$$n_A'' = -\rho \cdot D_{AB} \cdot \nabla m_A + m_A (n_A'' + n_B'') \text{ şeklinde ifade edilebilir.} \quad (1.8)$$

Kütle difüzyon denklemini mol akıları için belirtecek olursak;

A Bileşeni İçin

$$N_A'' = C_A \cdot v_A$$

B Bileşeni İçin

$$N_B'' = C_B \cdot v_B$$

şeklinde yazılabilir ve

$$N'' = N_A'' + N_B'' = C_A \cdot v_A + C_B \cdot v_B \text{ denkleminde} \quad (1.9)$$

Ortalama moleküler hız;

$$v^* = x_A \cdot v_A + x_B \cdot v_B \text{ olarak ifade edilebilir.} \quad (1.10)$$

Denklemdaki akılar mutlak akı olarak belirtilmiş ve karışımdaki A maddesinin mol akısı,

$$J_A^* = C_A \cdot (v_A - v^*) \text{ biçiminde yazılır.} \quad (1.11)$$

(1.2) ve (1.9) denklemleri kullanılarak,

$$N_A'' = -C \cdot D_{AB} \cdot \nabla x_A + x_A (N_A'' + N_B'') \text{ olarak yazılabilir.} \quad (1.12)$$

Karışımdaki herhangi bir maddenin yayılım akısının mutlak akısına eşit olduğu durum hareketsiz ortam koşulu olarak ifade edilir ve böyle bir durumda v ve v^* sifıra eşit olur.

Yukarıda belirtilen denklemler karışımın kütleli veya molekülleri ortalama hızının sıfır olması durumunda ve kütle geçişinin sadece yayılımla gerçekleştiği varsayılarak kütle denklemlerini ya da karışımdaki bir maddenin yayılım denklemlerini belirlemek için kullanılabilir.

Fick yasası ve derişiklik dağılımında faydalanarak karışımdaki bir maddenin yayılımla geçişi için bir diferansiyel kontrol hacminden çıkan akıları aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

$$n_{A,x+dx}'' d_y d_z = n_{A,x}'' d_y d_z + \frac{\partial [n_{A,x}'' d_y d_z]}{\partial x} d_x \quad (1.13)$$

$$n_{A,y+dy}'' d_x d_z = n_{A,y}'' d_x d_z + \frac{\partial [n_{A,y}'' d_x d_z]}{\partial y} d_y \quad (1.14)$$

$$n_{A,z+dz}'' d_x d_y = n_{A,z}'' d_x d_y + \frac{\partial [n_{A,z}'' d_x d_y]}{\partial z} d_z \quad (1.15)$$

Kütle yayılım esnasında maddeler kimyasal tepkimeye girerek maddelerden birinin kütle artışına neden olabilir. $\dot{n}$ (kg/s.m³) karışımdaki maddenin kütledeki artıştır ve karışımdaki bir maddenin karışımın birim hacminde, birim zamanda kütle değişimi,

$$M_{A,d} = \dot{n} d_x d_y d_z = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} d_x d_y d_z \text{ biçiminde tanımlanabilir.} \quad (1.16)$$

Kontrol hacmindeki bir maddenin zamana göre kütleli değişimini kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan maddenin kütlelerinin farkından yararlanarak hesaplanabilir. Buna göre kütle değişimi,

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = \dot{n}_A - \frac{\partial n_A''}{\partial x} - \frac{\partial n_A''}{\partial y} - \frac{\partial n_A''}{\partial z} \text{ şeklinde ifade edilebilir.} \quad (1.17)$$

Kontrol hacminin durgun bir ortam olduğu kabul edilirse bu ortamda $v=0$ olacağından $n_A'' = J_A$ olur.

Denklem (1.1)'de x, y, z bileşenleri (1.17) denklemlerinde yerine yazılır ve D_{AB} ve ρ 'nun karışımdaki A maddesi için sabitse ve denklem moleküler derişiklik için yazılırsa,

$$\frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial z^2} + \frac{\dot{n}_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \cdot \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (1.18)$$

Aynı şekilde D_{AB} ve C sabit olduğunda denklem,

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + \frac{\dot{N}_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \text{ şeklinde yazılabilir (Incropera,2001).}$$

1.6.2. Taşınım ile Kütle Transferi

Karışım içerisinde bulunan bir A maddesinin yüzeydeki derişikliğinin $C_{A,s} \neq C_{A,\infty}$ olmadığında ve bu A maddesi akışkan yüzey üzerinde aktığında taşınım ile kütle geçişi yaşanır. Karışımdaki A maddesi katı ya da sıvı haldeki yüzeyden buharlaşma ile gaz akışı içerisine girer. Burada önemli olan unsur taşınım ile kütle geçişinin hangi hızda gerçekleştiğidir. Taşınım katsayısı kullanılarak karışımdaki ısı geçişindeki hız tespit edilebilir. Kütle geçişinin tespitinde derişiklik farkı ve kütle geçiş katsayısı kullanılabilir. Aşağıdaki denklemde h_m (m/s) taşınım ile kütle transfer hızı olarak ifade edilirken, karışım içerisinde bulunan bir A maddesinin mol akısı,

$$N_A'' = h_m (C_{A,s} - C_{A,\infty}) \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (1.19)$$

Kütle geçişini tüm yüzey için ifade edecek olursak,

$$N_A'' = h_m \cdot A_s \cdot (C_{A,s} - C_{A,\infty}) \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (1.20)$$

$$\text{Kütle geçişlerini akı cinsinden } n_A'' = h_m (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \text{ şeklinde,} \quad (1.21)$$

Debi cinsinden ise $\dot{m}_s = h_m \cdot A_s \cdot (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty})$ şeklinde ifade edilebilir. (1.22)

Taşınm ile kütle ve ısı transferinin birlikte gerçekleştiği durumlarda kullanılan önemli boyutsuz sayılar Lewis sayısı ve Schmidt sayısıdır. Schmidt sayısı (Sc) viskoz difüzyonun kütle difüzyonuna oranı iken, Lewis sayısı (Le) kütle transferinin ısı transferine oranıdır. Lewis sayısı;

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} = \frac{Sc}{Pr} \quad \text{şeklinde ifade edilir.} \quad (1.23)$$

Taşınm ile ısı geçişi ile taşınm ile kütle geçişi birbirine benzemektedir. Bu nedenle ısıl sınır tabakasını belirleyen boyutsuz parametreler derişiklik sınır tabakasının davranışını belirlemek için de kullanılabilir. (Incropera,2001).

$$\frac{Nu}{Pr^n} = \frac{Sh}{Sc^n} \quad \text{formülünde boyutsuz sayılar yerlerine yazılırsa,}$$

$$\frac{hL/k}{Pr^n} = \frac{h_m L/D_{AB}}{Sc^n} \quad \text{denklemi elde edilir.} \quad (1.24)$$

Bu denklem aşağıdaki biçimde de yazılabilir.

$$\frac{h}{h_m} = \frac{k}{D_{AB} Le^n} = \rho C_p Le^{1-n} \quad (1.25)$$

Yukarıdaki denklem (1.25) hem laminar hem de türbülanslı akışlar için kullanılabilir. Denklemdaki n bir çok uygulamada 1/3 olarak alınmaktadır. Yüzeyden gerçekleşen taşınm ile kütle geçişinin bir ölçüsü olan Sherwood sayısı (Sh), taşınm ile kütle geçiş katsayısı laminar ve türbülanslı akışlar için aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunabilir (Incropera, 2001).

Laminar Akış İçin

$$Sh = \frac{h_m \cdot L}{D} = 0.332 Re^{0.5} \cdot Sc^{0.33}$$

Türbülanslı Akış için

$$Sh = \frac{h_m \cdot L}{D} = 0.0296 Re^{4/5} \cdot Sc^{1/3}$$

Bu denklemlerde;

L: Karakteristik uzunluk (m)

Sc: Schmidt Sayısı

Sh: Sherwood Sayısı

D: Kütle yayını

Re: Reynold Sayısı

h_m : Kütle transfer katsayısını ifade etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kurutma insanlığın doğadan öğrendiği en eski saklama yöntemlerinden biri olduğundan ve günümüzde de bir sanayi dalı olarak karşımıza çıktığından bu konuda pek çok farklı araştırmalar yapılmıştır. Araştırmaların büyük bir çoğunluğu kurutma yöntemlerinin kurutma performansına, kurutma süresine olan etkilerinin deneysel ya da sayısal olarak incelenmesi üzerinedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda kurutma yöntemlerinin ürün kalitesi üzerine etkileri, ürünün besin değerleri, renk, tat, doku, mikro yapı gibi özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Güneş bacaları sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ise önceki çalışmaların çoğunluğunun simülasyon ya da teorik olarak modelleme olduğu görülmektedir. Çalışmalarda elde edilen veriler ile geliştirilen prototiplerden elde edilen veriler veya önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler karşılaştırılarak verilerin doğruluğu gösterilmeye çalışılmıştır. Bunun nedeni de güneş bacası sistemlerinin kapsamlı bir araştırılması için büyük ölçekli bir sistemin kurulmasının gerekmesidir. Bu nedenle araştırmacılar küçük boyutlarda sistem kurarken bu sistemleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanarak güvenilirliğini sağlamaya çalışmışlardır.

Güneş bacası ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde öne çıkan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Pasumarthi ve Sherif (1998), çalışmalarında hazırladıkları matematiksel modelde güneş bacalarının hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve elde edilen güç miktarlarına etki eden çeşitli etkenleri tasarladıkları model üzerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlar ile matematiksel modelin uyumlu olduğunu belirttiler.

Gannon ve Backström (2003), yaptıkları çalışmalarında güneş bacalarında elde edilebilecek türbin verimliliğini analitik denklemler ile göstermeye çalışmışlardır. Türbin verimliliğini türbindeki hava akışı ve yük katsayısı bakımından irdelemişlerdir. Sundukları analitik çözümleri 720 mm çapa sahip bir türbin modelinde ölçtükleri özellikler ile geçerliliğini göstermişlerdir.

Bilgen ve Rheault (2005), çalışmalarında yüksek enlemlerde kalan bölgelerde güç üretebilmek adına geliştirip tasarladıkları güneş bacasının performansını araştırmışlardır. Çalışmalarında termodinamik çevrim ve aylık meteorolojik verilere dayalı bir matematiksel modeli MATLAB programı kullanılarak hazırlamışlardır.

Maksimum 5 MW güce sahip dört farklı tesisin termal performansını inceleyerek hazırladıkları modelde incelemişlerdir. Çalışma sonucuna göre güneş bacalarının yüksek enlem bölgelerinde çalışabileceğini ve yeterli bir termal performansının olduğunu belirtmişlerdir.

Koyun, (2006), yaptığı çalışmasında Isparta iline kurdukları güneş bacası prototipi ile güneş bacası sistemlerinin deneysel ve teorik karşılaştırılmasını araştırmıştır. Elde ettiği verilerle güneş bacaları için kütle, momentum ve enerji denklemlerini çıkarmış, sonuçları RNG k- ϵ türbülans modelini kullanarak FLUENT programı ile simüle etmiştir. Elde ettiği deneysel sonuçlar ile HAD elde ettiği analiz sonuçlarının birbirine yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

Hamdan (2010), yaptığı çalışmasında sabit hava akışının termodinamik açıdan ve analitik model bakımından irdemiştir. Güneş bacasının performansını belirleyebilmek için akışkan dinamiği denklemini ve ideal gaz denklemini birleştirerek oluşturduğu Bernoulli denklemini elde etmiştir. Geliştirdiği analitik modelin literatürdeki deneysel ve sayısal verilerle doğrulandığını belirtmiştir. Çalışma sonucunda güneş bacalarında baca yükseklik ve çapının güneş bacası tasarımlarında en önemli etken olduğunu belirtmiştir.

Koonsrisuk (2012), çalışmasında eğimli güneş bacası sistemleri için baca yüksekliği ve kolektör alanının güneş bacası sisteminin verimliliği üzerine çalışma yapmış ve enerji, süreklilik, momentum ve durum denklemleri ile geliştirilen matematiksel bir model oluşturmuştur. Oluşturduğu matematiksel modeli sayısal olarak çözmüş ve HAD ile geçerliliğini belirlemiştir. Çalışma sonucunda kolektör alanında ve bacada yoğunluk farkının pek oluşmadığı, yoğunluk farkının yaklaşık olarak birbirine eşit olduğunu, kolektör alanının ve baca yüksekliğinin artmasının sistem verimini olumlu etkilediğini belirtmiştir.

Gholamalizadeh ve Kim (2016), yaptıkları çalışmalarında kolektör yapısının eğimli olmasının Manzanares güneş bacası santralinin performansı üzerine etkisini araştırmak için HAD ile parametrik olarak araştırmışlardır. Üç boyutlu modellerinde türbülans modeli olarak RNG k- ϵ türbülans modelini, güneş ışıınının simülasyonu için de algoritma kullanmışlardır. Kolektör konfigürasyonundaki değişimlerin güneş bacası sisteminin kütle akış hızında artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Das ve Chandramohan (2018), çalışmalarında güneş bacası sistemlerinde baca yüksekliğinin ve kolektör çatı açısının etkilerini, sistemin akış ve performansını araştırmak için üç boyutlu sayısal bir model oluşturmuşlardır. Oluşturdukları modelde RNG k- ϵ türbülans modeli ve ayrık ordinatlar modelini seçmişlerdir. Model sonuçlarına göre baca yüksekliğinin 3 m ile 8 m arasında arttırılması hava hızının % 31 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kolektör tavan açısının artması hava hızını arttırırken, sıcaklığın azalmasına neden olduğunu belirlemişlerdir.

Cüce ve ark. (2020), yaptıkları çalışmalarında baca yüksekliğinin güneş bacası sisteminin performansı üzerine etkisini araştırmak için 3D eksenel simetrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelini Manzanares güneş bacası santrali için geliştirmiştir. Geliştirdikleri modelde DO modeli ve güneş ışını izleme yaklaşımı kullanmışlardır. Modellerinde 5 farklı baca yüksekliği için parametreleri detaylı bir şekilde analiz etmişlerdir. Elde ettikleri veriler ile deneysel verilerin uyumlu olduğunu ve baca yüksekliğinin artmasının hava hızını da arttırdığını belirlemişlerdir.

Avcı (2021), çalışmasında tasarlayıp inşa ettiği güneş bacası sisteminin performansını Batman ili iklim şartlarında deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Güneş bacası sisteminde kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde ve farklı noktalarda sıcaklık, hava hızı, ışıyım ölçümleri ile türbin devir sayılarını ölçmüş ve elde edilen verilerin korelasyonunu SPSS 17 programı ile belirlemiştir. Korelasyon sonucunda ışıyım değerinin güneş bacası sistem verimine etki eden sıcaklık, hız ve türbin devir sayısı ile pozitif yönlü yüksek bir korelasyonunun olduğunu tespit etmiştir. MATLAB Curve Fitting programını kullanarak parametreler arasında amprik bağlantılar oluşturmuştur. Ölçüm ve analiz sonuçlarını kullanarak yapay sinir ağları modeli oluşturmuştur. Oluşturulan YSA modelinin deneysel verilerin tahmin etmekte başarılı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca güneş bacası sistemini HAD kullanılarak sayısal olarak incelemiş, sayısal incelemesinde türbülans modeli olarak RNG k-epsilon modelini ve radyasyon etkisi içinde ayrık ordinatlar modelini kullanmıştır. Çalışma sonucunda elde ettiği deneysel sonuçların ve sayısal sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu tespit etmiştir.

Güneş bacasında kurutma ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde öne çıkan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Faouzi (2020), yaptığı çalışmada tasarladığı güneş bacası prototipinde iki farklı hava debisinde kuruttuğu muz ve şeftali örneklerinin kurutma kinetiklerini deneysel olarak incelemiştir. Muz ve şeftali kurutması için uygun deneysel matematiksel modelin seçilebilmesi adına doğrusal olmayan regrasyon çalışması yapmıştır. Kolektör alanı 4,05 m², baca yüksekliği 2 m olan güneş bacası prototipindeki çalışma sonucunda muz kurutması için en ideal matematiksel modelin Midilli ve Küçük modelinin, şeftali kurutması için en ideal matematiksel modelin ise Verma ve ark. Modelinin daha uygun olduğunu belirtmiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ile çilek kurutulması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde öne çıkan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Evans (2002), yaptığı çalışmada çilek dilimlerini kullanarak hava kurutma ve osmotik dehidrasyon esnasında oluşan su kayıplarını incelemek için farklı modeller kullanmış ve suyun hareketliliğini, çilekteki nem verilerini kaydetmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda 20 °C'nin üzerindeki hava kurutma yönteminde çileklerde matrixsel değişimler olduğunu belirlemiştir. Ayrıca çalışmasında çilek dokularındaki ve suyun bulunduğu bölgelerle etkileşimlerini içeren modelleme yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Shishegarha ve ark. (2002) çalışmalarında dilim ve bütün haldeki çilekleri farklı sıcaklıklarda (30-40-50-60-70 °C) dondurarak kurutma işlemine tabi tutmuş ve çilek örneklerindeki kurutma kinetiği, hacim ve renk farklılıklarını araştırdılar. Ürün kalınlığının artmasının kuruma süresine etkisinin olduğunu, kalınlık arttıkça kurutma süresinin de arttığını tespit etmişlerdir. Bütün haldeki çilek örneklerinde % 8 hacim düşüşü olduğu, dilimlenmiş çileklerde ise bu hacim düşüşünün %2 olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmalarında dondurarak kurutma sıcaklığının 70 °C altında olmasının önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. 50 °C üzerindeki ısıtma sıcaklığının çilek örneklerinde çökme riskini artıracağını ifade etmişlerdir.

Delgado ve Rubiolo (2005), çalışmalarında taze çilek ve kurutulmuş çilek örneklerini dondurma ve sonrasında çözündürme işlemlerinin çilek örneklerinin mikroyapı özellikleri açısından irdelemişlerdir. Yüksek dondurma veya yüksek çözülme oranlarının kullanılması mikroyapının daha iyi korunmasını sağladığını ifade etmişlerdir.

Çözdürme aşamasında yüksek sıcaklık değerlerinin kullanılması durumunda çilek dokusunda meydana gelen hasarın büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Donma çözülme şartlarının iyi olmasından dolayı kurutulmuş 100g çilek örneklerinin kütlesinin 2.5g düşürdüğünü ancak bu örneklerin doku bütünlüklerinin değişmediğini ifade etmişlerdir.

Yanyang ve ark. (2006), yaptıkları çalışmalarında vakum dondurarak kurutma ile sıcak hava kurutma yöntemlerini aşamalı olarak birleştirip kullanarak elde ettikleri kurutulmuş çilek örneklerinin kalite ve maliyet açısından araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarında yaptıkları iki aşamalı hibrit kurutma yönteminin tek başına vakum dondurma yöntemine göre maliyetinin düşük ve ürün kalitesinin yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Doymaz (2008), çalışmasında laboratuvar tipi kurutucuları kullanarak çilek örneklerinin kurutma kinetiğini irdelemiştir. Farklı kurutma sıcaklıklarında (50-55-65 °C) 1.2 m/s hava hızında kurutulmuş çileklerin kurutma hız eğrilerini farklı modeller kullanarak incelemiştir. Çalışmasında çilek özelliklerinin tanımlanmasında 50 °C ve 55 °C sıcaklıklar için logaritmik model olduğunu, 65 °C sıcaklık için ise Wang ve Singh modelinin daha uygun olduğunu tespit etmiştir.

Huang ve ark. (2008), çalışmalarında dondurarak kurutma işlemine tabi tuttukları çilekleri hazırladıkları kaplama çözeltisi ile kapladıktan sonra kurutma yönteminin etkinliğini araştırmışlardır. Peynir altı suyu, gliserol ve laktozdan kullanarak oluşturdukları kaplama çözeltisini kullanarak çilek örneklerinin renklerini belli bir dereceye kadar korumayı başaramışlardır. Kaplamış oldukları çilek parçalarının rehidrasyon özelliklerinin kurutma koşullarından ve kaplama süresinden de etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Menlik ve ark. (2009), yaptıkları çalışmalarında dondurarak elde ettikleri çilek örneklerini kullanarak dondurarak kurutma işlem davranışını basitleştirmek için yapay sinir ağlarını kullanarak modelleme yapmışlardır. Yapay sinir ağlarında kullandıkları algoritmalar Levenberg Marquardt (LM) ve Fermi değişken ile geri besleme yayımlı algoritmalarıdır. Yapmış oldukları modelin doğruluğunu göstermek için R^2 , RMSE ve MAPE kullanmışlardır.

Maritza ve ark. (2012), yaptıkları çalışmasında farklı kurutma yöntemlerini çilek örneği üzerinde karşılaştırmış ve incelemiştir. Çileklerin kurutma kinetiği ve performansına DIC (Kontrollü Basınç Düşümü) işleminin önemli bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

DIC dokulu çileklerin kuruma hızlarının düşük sıcaklıklarda dahi arttığı ifade edilmiştir. Sıcak havalı yöntemle kurutulmuş ürünler ile DIC işlemi ile kurutulmuş ürünler karşılaştırıldığında ideal son su miktarına ulaşmak için gerekli olan zamanın DIC işleminde daha kısa olduğunu dile getirmişlerdir.

Al-Hilpy ve AlRikabi (2013), yaptıkları çalışmalarında farklı sıcaklıklarda (60 °C, 70 °C ve 80 °C) çilek örneklerinin halojen kurutma özelliklerini, kurutma sıcaklıklarının kurutma verimliliği, kurutma hızı, kurutma katsayısı, antioksidan düzeyi açısından incelemişlerdir. Halojen kurutma işlem hızının kurutma sıcaklığının artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. 70 °C ve 80 °C sıcaklıklarda Modified Page modelinin, 60 °C sıcaklıkta ise Page modelinin deney sonuçlarına en uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Karaaslan ve Balta (2014), araştırmalarında hazırladıkları çilek örneklerinin nem içeriğinin yaklaşık olarak % 15 seviyelerine düşene kadar mikrodalga fırınında farklı güçlerde (180 W, 360 W) incelemişlerdir. Elde ettikleri verileri farklı matematiksel modellere uygulayarak, modellerin performanslarını incelemişlerdir. DeneySEL verilerine en uygun olan modelin Midilli-Küçük modelinin olduğunu belirlemişlerdir.

Bruijn ve Borquez (2014), yaptıkları çalışmalarında hazırladıkları kurutma yöntemlerinin çilek örnekleri üzerindeki fizikokimyasal ve yapısal değişimlere olan etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında sıcak hava kurutma (AD), konvektif havayla kurutma, osmotik dehidrasyon, vakumlu mikrodalga kurutma (VMD, AD-VMD ve OD-VMD) yöntemlerini kullandılar. Kurutma sistem etkinliğini kuruma oranı, nem miktarı ve su aktivitesi bakımından değerlendirmişlerdir. Mikrodalga destekli kurutma yönteminde 6.74×10^{-4} kg su / (kg kuru madde) kurutma hızının en etkili kurutma hızı olduğunu belirtmişlerdir. AD-VMD ve OD-VMD kurutma yöntemlerinin kurutma etkinliğini artırmadığını belirttiler.

Macias (2014), yaptığı çalışmasında çileklerin rehidrasyon yeteneğini, antioksidan miktarını, gevrek özellik ve doku parametrelerini, kalitesini sıcak havalı kurutma, dondurarak kurutma ve vakumlu kurutma yöntemlerini kullanarak karşılaştırmıştır. Çalışma sonuçlarında maliyet ve kurutma süresi bakımından vakumlu kurutmanın daha iyi olduğunu, vakumlu kurutmanın çileklerin besin değerleri korumada ve kullanılabilirliğinin artmasını da sağladığını belirtmişlerdir.

Santos ve ark. (2014), yaptıkları çalışmalarında konvektif kurutma yöntemini daha iyi hale getirebilmek için farklı akustik güçte (0.30 W ve 60 W) ve farklı sıcaklıklarda (40°C- 50°C- 60°C ve 70°C) hava kaynaklı ultrasonik uygulamayı araştırmışlardır. Ayrıca deneysel çalışmalarında büzülme şeklini ve desorpsiyon izotermi de belirlemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre akustik güç kuruma süresinde % 13 ile % 44 arasında bir azalmaya neden olduğunu, ultrasonik uygulamanın nem difüzivitesinde ve kütle transfer katsayısında önemli bir iyileştirme yaptığını belirtmişlerdir. Bu uygulamanın özellikle ısıya duyarlı çilek benzeri ürünlerin kuruma süresini azaltmak için kullanılabilir bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

Gamboa-Santos ve ark. (2014), yaptıkları çalışmalarında kurutma esnasında çilek içerisindeki C vitaminin miktarının değişimini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre kurutma süresinin ve sıcaklığın artmasıyla birlikte C vitaminin miktarının düştüğünü belirtmişlerdir. Konvektif kurutma yöntemi ile besin değeri yüksek, kaliteli ve biyoaktiviteye sahip kurutulmuş çilekler elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Borquez ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada tasarladıkları mikrodalga vakumlu kurutma sisteminde çilek örneklerini görünüş, renk ve doku özellikleri bakımından incelemişlerdir. Çalışmalarında otomatik sıcaklık kontrollü mikrodalga vakum kurutma sisteminde 50 °C sıcaklık ve 700W güçte rehidrasyon performansını incelemişlerdir. Tüketilen enerji miktarı 1.3-2.3 W.h/g arasında değiştiğini, otomatik modda kullanılan sistemin manuel moda oranla 13.5 kat daha verimli çalıştığını, çilek örneklerinde az bir renk kaybının gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Changrue ve ark. (2016), çalışmalarında tasarladıkları mikrodalga vakumlu kurutucularında kurutma ürünlerinin kütlelerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerini kaydederek araştırmışlardır. Çalışmalarında vakum kontrol vanasının mikrodalga güç girişi ile etkisini araştırmak için vana konumunu 6.5 kPa ve 13.3 kPa vakum basıncına sabitleyerek 1.5 W/g sabit güce ayarlamışlardır. Ürün sıcaklığının kurutmaya etkisini araştırmak için çilek ve havuç örneklerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda sisteme verilen havanın vakum bölgesinden geçmesine yarayan vananın konumunun kuruma süresine etki ettiğini ve buharın yoğunlaşmasını azalttığını tespit etmişlerdir.

Szandzinska (2016), çalışmasında çileklerin özelliklerini ayrı ayrı yada birlikte çalışabilen mikrodalga ve ultrason ile desteklenmiş konvektif kurutma ile araştırmışlardır. Hibrit kurutmayı ürün kalitesi, enerji tüketimi, kurutma kinematiği bakımından incelemiştir. Konvektif kurutmanın ısı ve kütle aktarımı konusunda mikrodalga ve ultrason ile ısı ve kütle aktarılmasına katkı sağladığını belirtmiştir. En iyi ısı etkisini mikrodalga'nın verdiğini, en iyi titreşim etkisini de ultrasonun gösterdiğini belirterek bu iki kaynağın birlikte kullanılmasının kuruma hızını arttırdığı belirtmiştir.

Tan ve ark. (2016), çalışmalarında üç farklı hava hızında 1 cm kalınlığa sahip çilek örneklerinin kurutma performanslarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda hava hızını 0.5 m/s'den 2 m/s' ye yükselttiklerinde ürünün kuruma hızının artarak kuruma süresinin yaklaşık % 17 azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda elde ettikleri deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Johnson ve Al Mukhaini (2016), çalışmalarında farklı hava hızları (0.18m/s, 0.22m/s ve 0.26m/s) ve sıcaklıklarında (50 °C, 60 °C ve 70 °C) tepsili kurutucuda çilek ve şeftali örneklerinin kurutma özelliklerini incelemiştir. Elde ettikleri deneysel sonuçları Page ince tabaka kurutma modeline uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Adak ve ark. (2017), çalışmalarında farklı kurutma koşullarını hava hızı, kurutma sıcaklığı, kızılötesi güç gibi parametrelere bakılarak çileğin kurutma özellikleri ile incelemiştir. Çalışma sonucunda hava hızı ve sıcaklığı kızılötesi güç miktarı arttıkça kurutma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kızılötesi güç miktarının 100W ile 300W arasında olması durumunda, hava hızının 1 m/s ile 2 m/s arasında olması durumunda ve hava sıcaklığının 60 °C ile 80 °C arasında olması durumunda çileklerin renk kalitesinin düştüğünü belirlemişlerdir. Kurutma sırasında çilekte bulunan bakır, manganez, demir, çinko, magnezyum ve kalsiyum gibi minerallerinin azaldığını fakat çilekteki K, P ve N gibi maddelerin miktarlarının arttığını tespit etmişlerdir. Çileğin kızılötesi kurutulması esnasında besin değerlerinin korunması için kızılötesi gücün 200W, hava sıcaklığı 100 °C ve kurutma hava hızının 1.5m/s olması gerektiğini söylemişlerdir.

Amami ve ark. (2017), çalışmalarında çilek örneklerine kurutma işleminden önce ultrasonik osmotik dehidrasyon işlemi uygulayarak kurutma performansını Box-Behnken tasarımı (BBD) kullanarak incelemişlerdir. Osmotik dehidrasyon işleminin temel etkileri görmek adına aynı tasarımı kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda maksimum su kaybını ve maksimum ağırlık azaltma değerlerine göre çok kriterli bir optimizasyon bulmuşlardır.

Can (2017), yaptığı incelemede yaban mersini ve çilek özlerini kullanarak püskürtmeli kurutma yöntemi parametrelerini araştırmıştır. Püskürtmeli kurutma şartlarını iyileştirmek için tepki yüzey metotlarını kullanmıştır. Çalışma sonucunda çilek tozu üretimi için maksimum tepki seviyesi operasyonel verimlilik % 72.62 olurken, yaban mersininde bu oran % 91.20 olarak belirtilmiştir. Yaban mersini ve çilek tozu üretimi sırasında öz kütle değişiminin en önemli kriter olduğunu söylemişlerdir.

Lagunas ve ark. (2017), yaptıkları çalışmalarında kurutma hızının 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarında ve hava hızının 1.5 m/s olduğu koşullarda çilek örneklerinin kurutma etkilerini TPC (toplam fenolik miktarı), A (antosiyenin), AA (Antioksidan aktivitesi) içerikleri bakımında araştırmışlardır. Farklı yöntemler kullanarak çileklerdeki antioksidan özelliklerini değerlendirmişlerdir. Ayrıca belirli sıcaklık ve su miktarı altında hiçbir bozulmanın oluşmadığını belirtmişlerdir. Çalışma sonuçlarında göre çileklerdeki kayıpların AA için %74, A için %45 ve TPC için ise %78 olduğunu belirtmişlerdir.

Prosapio ve Norton (2017), çalışmalarında osmotik rehidrasyon işleminin dondurarak kurutma ve etüv kurutma yöntemlerinin verimliliğine etkileri araştırılmışlardır. Kontrol grubu olarak osmotik dehidrasyon değerlerini incelemişler, sonrasında ise osmotik işlemlerle etüv ve dondurarak kurutma ile deneyler düzenlemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda yapılan ön işlemin kurutma süresini kısalttığını ve kurutma ürünlerinin özelliklerinin korunmasını sağladığını tespit etmişlerdir.

Cankurtaran (2018), çalışmasında 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerini kullanarak güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde çilek örneklerinin kurutma performansını deneysel olarak incelemiştir. 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri ortalama 51°C sıcaklıkta 6-8 saat olduğunu tespit etmiştir. Çalışma sonucunda geliştirdiği kurutma sistemi düşük nem ve sıcaklık değerlerinde çalışabilmesinin kurutulan ürünün kalitesine olumlu bir etki oluşturduğunu belirtmiştir.

Çakmak (2019) yaptığı çalışmasında çilek örneklerini farklı kurutma yöntem ve sıcaklıklarda kurutarak çilek meyvesi için en iyi kurutma yöntemini belirlemiştir. Çalışmasında çilek örneklerine ait kurutma performansını incelemiş, matematiksel modelleme yaparak çileklerin renk ve kimyasal analizlerini de gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda çilek örneklerinin en kısa kuruma süresini 4.5 saat 70 °C sıcaklıkta laboratuvar tipi konvektif kurutucuda olduğunu, en uzun kurutma süresini ise 52 saat ile Güneş'te kurutma olduğunu tespit etmiştir.

Jiahui Jiang ve arkadaşları (2021), yaptıkları çalışmalarında çileğin dielektrik özelliklerini, nem miktarını, ısı ve kütle transfer verimliliğini çeşitli mikrodalga güçlerinde kurutarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda mikrodalgada kurutma süresini %45 oranında azaltmayı başarmışlardır. USOD işleminin kurutma oranını arttırdığını ve süresini azalttığını öne sürmüşlerdir. Ayrıca USOD işlemi için düşük şeker oranına sahip çileklerin kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Lihui Zhang ve Arkadaşları (2021), yaptıkları derlemede Yüksek hidrostatik basınç (HHP) (50, 100, 150, 200 ve 250 MPa) ön işleminin çilek dilimlerinin çeşitli özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Yüksek hidrostatik basınç işleminin (HHP), çilek dilimlerinin kuruma süresini % 9-24 oranda azalttığını öne sürmüşlerdir.

Güneş enerjili kurutma ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde öne çıkan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Koyuncu ve Pınar (2001), yaptıkları çalışmalarında tasarladıkları güneş enerjili kabin tipli bir kurutucuda kırmızıbiberin kurutma performansını incelemişlerdir. Doğal akışlı olan güneş enerjili kurutucunun 1000 g kırmızıbiberin kuruma süresini 1.28 saate düşürdüğünü ve ürün kalitesinin arttığını tespit etmişlerdir.

Ceylan ve ark.(2006), çalışmalarında güneş enerjili havalı kolektörlü kurutma fırınında elma meyvesinin kurutma kinetiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Elma örnekleri ortalama 40 °C sıcaklığında, 2.8 m/s kurutma hava hızında 3.5 saatte kurduğunu belirlemişlerdir. Kullandıkları kurutma fırınının doğal kurutmaya göre kurutma süresini kısalttığı ve kurutulan elma örneklerinin kalitesinin arttığını belirtmişlerdir.

Aktaş ve ark. (2012), çalışmalarında tasarladıkları güneş enerjili bir kurutucuda domatesin kurutma performansını araştırmışlardır. Domates örneklerini ortalama 0.2 m/s kurutma hava hızında ve 40 °C, 45 °C ve 50 °C sıcaklıklarda kurutmuş ve kuruma sürelerini 8.5 saat, 7 saat ve 6 saat olarak tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ise Batman ili iklim şartlarında Batman Üniversitesi Batı Raman Yerleşkesi 'inde kurulmuş olan Güneş bacası prototipinin sera örtüsü altında tarımsal ürünlerin kurutulması araştırılmıştır. Güneş Bacalarının kullanılmayan sera örtü alanlarının kurutma işlemi açısından uygunluğu araştırılmıştır. Örtü alanında kurutma ile doğal kurutma karşılaştırılması araştırılmıştır. Sera örtüsü altında 3 mm, 5 mm ve 7 mm boyutlarında dilimlenmiş çilekler ve bütün haldeki çilek örnekleri kurutularak bu çilek örneklerine ait kuruma zamanı, kütle değişimi, nem değişimi, kuruma hızları, kurumayı gerçekleştiren havanın sıcaklık ve hız ölçümleri ile elde edilen verilerin, doğal ortamdaki çilek örneklerinden ölçülen verilerin deneysel analizi ile karşılaştırılması yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

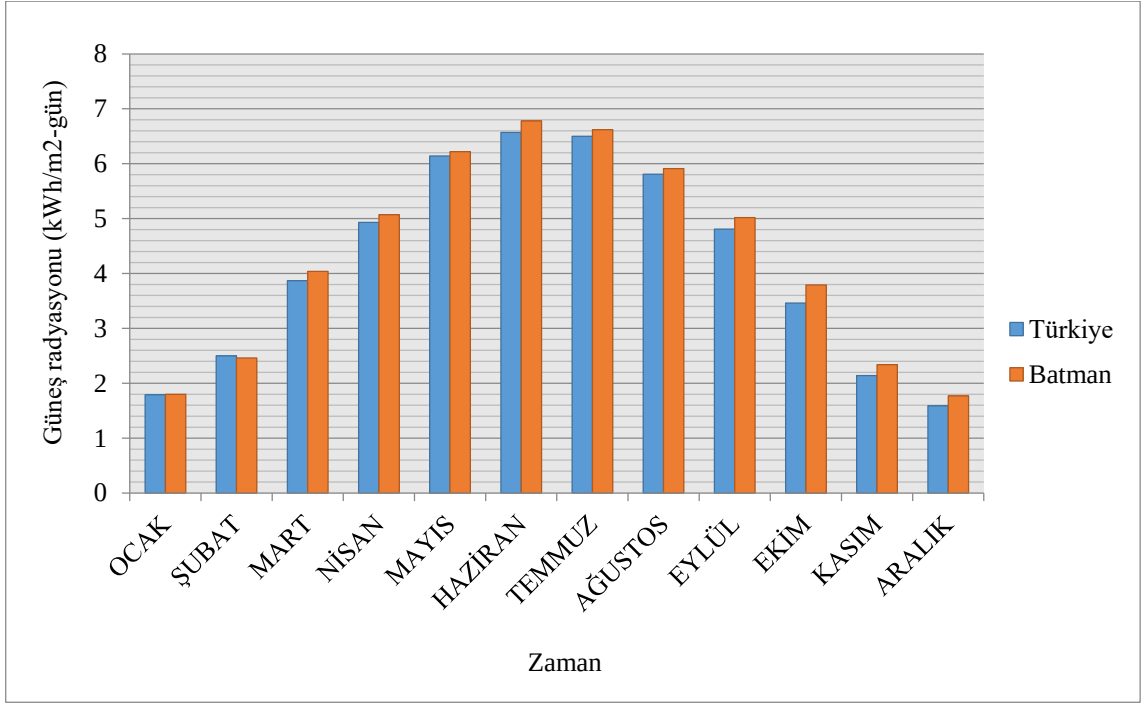
3.1. Deneysel Yöntem

Yapılan deneysel çalışma Batman iklim şartlarında, Batman Üniversitesi Batı Raman yerleşkesinde kurulmuş olan güneş bacası prototipinin sera örtüsü altında Batman Sason çileğinin kurutma performansı incelenmiştir. Kurutma performansına etki edecek hava hızı, hava sıcaklığı, güneş ışıınım miktarı gibi çevresel faktörlerin belirlenmesi önemlidir. Deneysel çalışma Batman ili iklim şartlarında gerçekleştiğinden Batman ilinin iklim özellikleri sistem performansı üzerinde etkilidir.

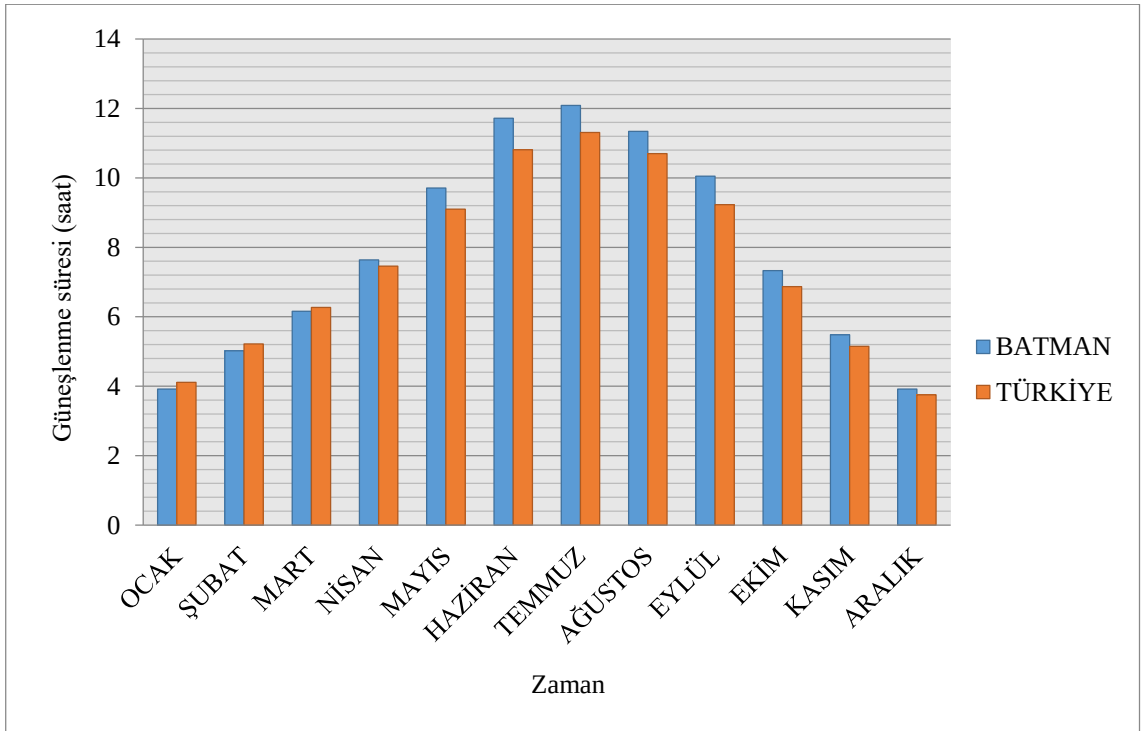
Batman, coğrafi konum olarak 41°10' - 41°40' doğu boylamları ile 38°40' - 37° 50' kuzey enlemleri arasında bulunan, rakımı 550 m olan, karasal iklim koşullarının geçerli olduğu bir şehrimizdir. Thornthwaite iklim sınıflandırmasında D,B³,s,b² (D: Yarı Kurak B³: 3. Derece Mezotermal s: Orta derecede ve en fazla su kış mevsiminde olan b²: Yaz Buharlaşma Oranı: %60,2) sınıfında tanımlanan Batman ilinde kış ayları ılık geçerken, yaz ayları ise çok sıcak ve kurak geçmektedir. Tablo 3.1.'de de görüleceği üzere Batman ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 15,9°C ölçülen en yüksek sıcaklık değeri ise 48,8 °C'dir. Batman iklim şartları değerlendirildiğinde hem güneş enerjili sistemler için hem de kurutma işlemi için uygun olduğu söylenebilir (Anonim, 2022l).

Tablo 3.1. Batman iline ait 1959-2021 yılları ortalama sıcaklık ve güneşlenme süreleri ortalama değerler (Anonim, 2022m)

Batman	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık	2.5	4.6	9.2	14.3	19.4	26	30.2	29.5	24.2	17.3	9.6	4.3	15.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık	7.7	10.7	15.9	21.7	27.8	35	39.5	39.4	34.5	26.7	17	9.7	23.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık	-1.4	0	3.6	7.9	11.5	15.9	20.3	19.7	15	10	4.1	0.5	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (sa)	3.3	4.6	5.6	7.4	9.2	11.6	12	11.3	9.8	7.1	5.2	3	7.5
En Yüksek Sıcaklık	18.6	24.6	30.6	35.8	42.0	45.1	48.8	46.2	43.8	37	28.6	22.6	48.8
En Düşük Sıcaklık	-24	-22	-17	-9	0.9	0	11.8	11.5	4.4	-3	-7.6	-23	-24



Şekil 3.1. Global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (Anonim, 2022h)

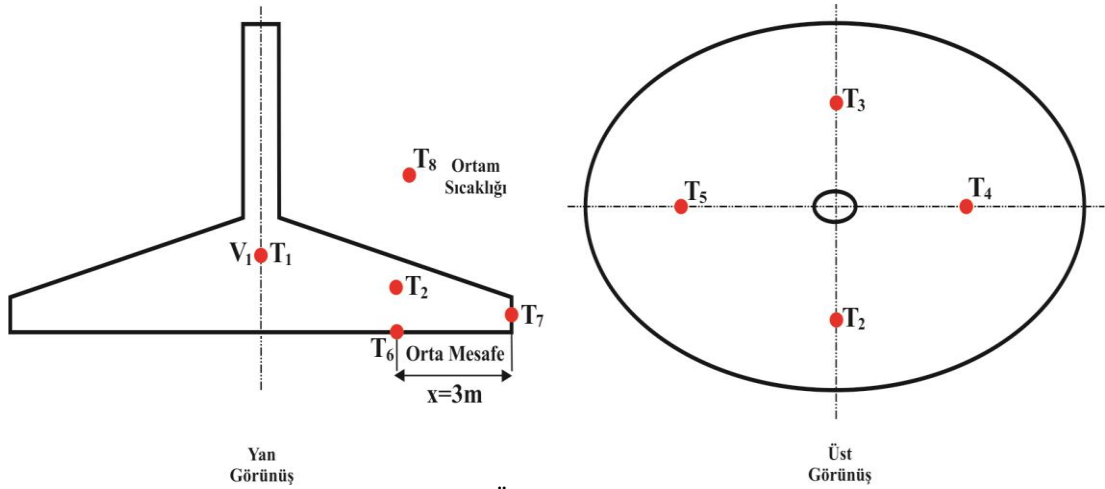


Şekil 3.2. Türkiye ve Batman ilinin güneşlenme süreleri (Anonim, 2022h)

Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.' de deneysel çalışma yaptığımız Batman iline ait global güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri görülmektedir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere global güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu, en yüksek değerlerin Haziran ve Temmuz aylarında ölçüldüğü görülmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Batman ilinin büyük bir potansiyelinin olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışmada Güneş bacası sera örtüsü altında bir tarım ürünü olan çilek meyvesinin kurutma performansı incelenmiştir. Güneş bacaları kolektör alanında ısınarak yükselen havanın baca içerisindeki türbini döndürmesiyle elektrik enerjisi üreten yenilenebilir enerji sistemidir. Güneş bacalarının asıl amacı güneş ışınlamından elektrik üretimidir. Çalışmamızda güneş bacalarının elektrik üretiminin yanı sıra çevresine göre daha sıcak olan ve başka bir amaç için kullanılmayan kolektör alanının tarım ürünlerinin kurutulması için kullanılabilen, alternatif bir kurutma alanı olduğunu göstermek amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra çilek meyvesinin kurutma performansı incelenmiş, Güneşte doğal kurutma ile karşılaştırılmıştır. Kolektör alanında en iyi kurutma bölgesi ve kurutma yönünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kurutma üzerine yapılan deneysel çalışmalarda kurutmayı sağlayan hava sıcaklığının artması kurutma performansını etkilediğinden güneş bacası kolektör alanının sıcaklığının artması da kurutma performansını etkileyecektir. Bu yüzden kurutma işlemine başlamadan önce güneş bacasının ısı tutma kapasitesinin artırılması amacıyla kolektör zemini siyaha boyanması, zeminden güneş enerjili sıcak su dolaştırılması, kolektör camlarına siyah film çekilmesi gibi ön işlemler yapılmıştır. Yapılan her işlem sonrasında gün boyu belirli noktalarda sıcaklık, hava hızı ve güneş radyasyonu ölçümleri yapıldı. Elimko 602 model dataloger ile 8 farklı noktada sıcaklık ölçümleri, Unit UT362 marka anemometre ile rüzgar hızı ölçümleri ve SM602 model global güneş radyasyonu ölçer ile ölçümler yapılarak elde edilen veriler tabloya kaydedildi. Şekil 3.3.'te datalogger ile sıcaklık ve hız ölçümünün alındığı yerler gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Ölçüm alınan noktalar

Şekil 3.3.'te gösterilen ölçüm alınan noktaların açıklamaları ise Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Baca deneylerinde ölçüm yapılan hız ve sıcaklık noktaları

Sıcaklık Noktaları	Hız Noktaları
T1:Türbin Giriş Sıcaklığı	V1:Türbin Girişi Hava Hızı
T2: Güney Bölgesi "x" Mesafedeki Hava Sıcaklığı	
T3: Kuzey Bölgesi "x" Mesafedeki Hava Sıcaklığı	
T4: Doğu Bölgesi "x" Mesafedeki Hava Sıcaklığı	
T5: Batı Bölgesi "x" Mesafedeki Hava Sıcaklığı	
T6: Güney Bölgesi "x" Mesafedeki Zemin Sıcaklığı	
T7: Güney Bölgesi Kolektör Girişi Hava Sıcaklığı	
T8: Ortamdaki Hava Sıcaklığı	
x= Kolektör girişinden baca girişine doğru 3 metre ötesi	

Deneysel çalışmada öncelikle kurutma alanı olan kolektör alanının ısı tutma kapasitesinin artırılması amacıyla kolektör alanının zemini siyah boya ile boyanmıştır. Zemin siyaha boyandıktan sonra Şekil 3.3.'te gösterilen noktalarda sıcaklık ve hız ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.4. (a)'da kolektör alanının zeminin siyaha boyanmadan önceki hali ve şekil 3.10. (b)'de zemin mat siyaha boyandıktan sonraki hali görülmektedir.



**Şekil 3.4. (a) Zeminin boyanmadan önceki hali
(b) Zeminin boyalı hali**

Güneş bacası kolektör alanının ısı tutma kapasitesinin artırılması ve geceleri azalan hava sıcaklığına bağlı olarak sıcaklığı düşen kolektör alanının sıcaklığını artırmak amacıyla kolektör zemininden su boruları yardımıyla güneş enerjili sıcak su dolaştırılmış ve ardından Şekil 3.3.'te gösterilen noktalarda sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.5.'te kolektör alanına döşenen güneş enerjili sıcak su döşemesi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Güneş enerjili sıcak su sistemi döşenmiş kolektör alanı

Kolektör alanının ısı tutma kapasitesinin artırılması amacıyla kolektör camları siyah film ile kaplanmış ve Şekil 3.3.'te gösterilen noktalarda yine sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.6.'da film kaplı kolektör camları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Siyah film kaplı kolektör camları

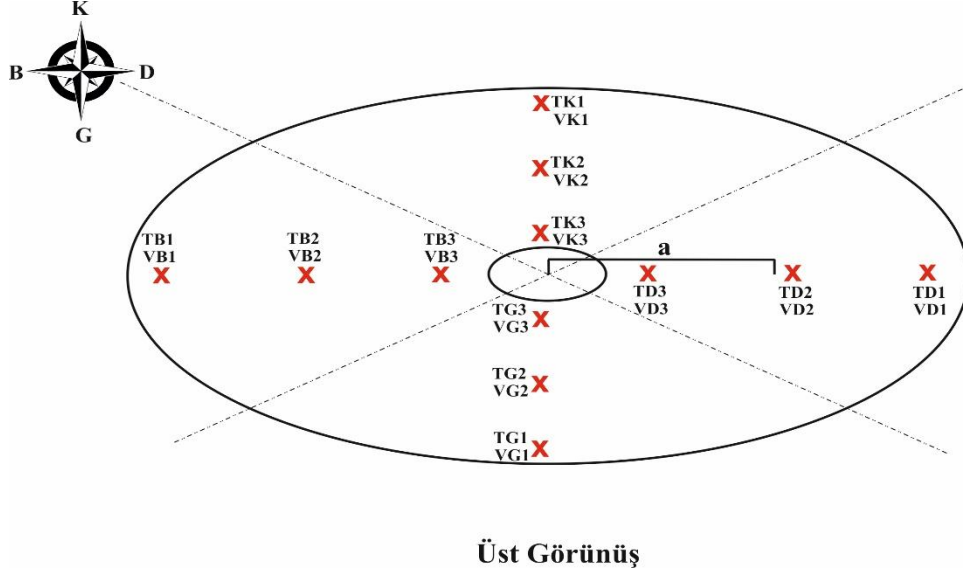
Kolektör alanındaki kurutma performansının en iyi hangi yönde olacağını belirlemek amacıyla kolektör alanı coğrafi yöne bağlı 4 bölgeye ayrılmış ve yine Şekil 3.3.'te gösterilen noktalarda sıcaklık ve hız ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.7.'de bölmelere ayrılmış kolektör alanı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kolektör alanının bölümlendirilmiş hali

Avcı (2022), çalışmasını yaptığı bu güneş bacasında maksimum hava sıcaklığını 44°C , en yüksek zemin sıcaklığını 55°C olarak tespit etmişken yapılan değişiklikler sonucunda maksimum hava sıcaklığı 57.1°C , en yüksek zemin sıcaklığı ise 65.2°C olarak ölçülmüştür. Yapılan değişiklikler sonucunda hava sıcaklığı 13.1°C ve zemin sıcaklığı da 10.2°C arttığı tespit edilmiştir.

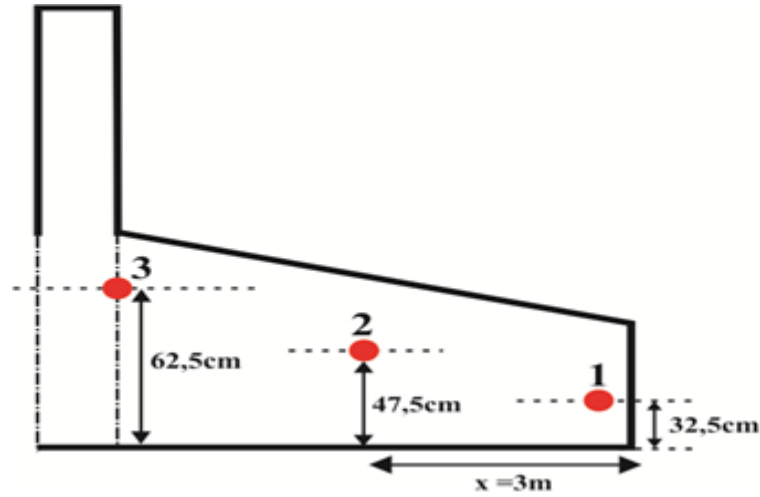
Güneş bacası sisteminin performansı artırıldıktan sonra kurutma deneyleri yapıldı. Kurutma deneylerinde 4 farklı coğrafi yönde ve her yönde 3 farklı noktada kütle değişimleri, hava sıcaklığı, hava hızı ölçümleri ile kurutma günlerine ait güneş radyasyonu ölçümleri yapıldı. Kurutma deneyleri esnasında ölçüm alınan noktalar Şekil 3.8.'de, belirtilen noktaların açıklamaları ise Tablo 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ölçüm alınan noktaların gösterimi

Tablo 3.3. Kurutma deneylerinde ölçüm yapılan hız ve sıcaklık bölgelerinin tanımı

Sıcaklık Noktaları	Hız Noktaları
TD1: Doğu yönünde kolektör girişindeki sıcaklık	VD1: Doğu yönünde kolektör girişindeki hava hızı
TD2: Doğu yönünde a mesafedeki sıcaklık	VD2: Doğu yönünde a mesafedeki hava hızı
TD3: Doğu yönünde baca girişindeki sıcaklık	VD3: Doğu yönünde baca girişindeki hava hızı
TK1: Kuzey yönünde kolektör girişindeki sıcaklık	VK1: Kuzey yönünde kolektör girişindeki hız
TK2: Kuzey yönünde a mesafedeki sıcaklık	VK2: Kuzey yönünde a mesafedeki hava hızı
TK3: Kuzey yönünde baca girişindeki sıcaklık	VK3: Kuzey yönünde baca girişindeki hava hızı
TB1: Batı yönünde kolektör girişindeki sıcaklık	VB1: Batı yönünde kolektör girişindeki hava hızı
TB2: Batı yönünde a mesafedeki sıcaklık	VB2: Batı yönünde a mesafedeki hava hızı
TB3: Batı yönünde baca girişindeki sıcaklık	VB3: Batı yönünde baca girişindeki hava hızı
TG1: Güney yönünde kolektör girişindeki sıcaklık	VG1: Güney yönünde kolektör girişindeki hız
TG2: Güney yönünde a mesafedeki sıcaklık	VG2: Güney yönünde a mesafedeki hava hızı
TG3: Güney yönünde baca girişindeki sıcaklık	VG3: Güney yönünde baca girişindeki hava hızı
a= Kolektör girişinden baca girişine doğru 3 metre ötesi	



Şekil 3.9. Çilek örneklerinin sera örtüsü altındaki konumlandırılması

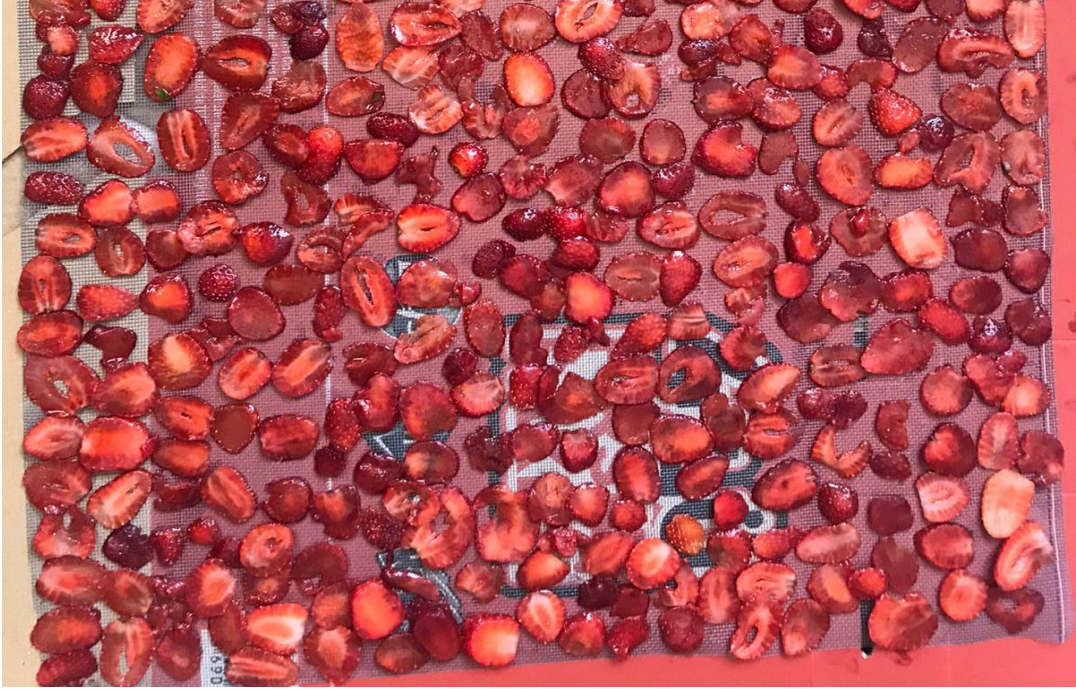
Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi kurutulacak olan çilek örnekleri file ile birlikte belirli bir yüksekliğe konumlandırılarak yerleştirilmiştir. Kolektör giriş bölgesindeki (1. Nokta) çilekler zeminden 32.5 cm yüksekliğe, kolektör girişinden bacaya doğru 3m ötesinde bulunan orta noktadaki (2. Nokta) çilekler zeminden 47.5 cm yüksekliğe, baca girişindeki (3. Nokta) çilekler ise zeminden 62.5 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Çilek örneklerinin bu şekilde yerleştirilmesindeki amaç kurumaya etki eden önemli bir faktör olan hava hızından en iyi şekilde yararlanmak, belirlenen noktadaki çileklerin kendisinden sonraki çileğe ulaşacak olan hava hızını engellemeyecek şekilde konumlandırılmasıdır. Ayrıca çilekler direk zemine yerleştirilmiş olsaydı çileklerin zemine bakan yüzleri daha hızlı kuruyacak ve homojen bir kurumaya engel olacaktı. Çileklerin homojen kuruması ve hava hızından daha iyi yararlanmak için çilekler belirli bir yüksekliğe ve file üzerine yerleştirilmiştir.

Kurutma işlemi farklı günlerde ve farklı kalınlıklarda tekrar edilerek Şekil 3.8.'de belirtilen noktalarda sıcaklık, hava hızı ölçümleri ile güneş radyasyon ölçümleri yapılarak veriler kaydedildi.

Kurutma işleminden önce sabah erken saatlerde tarladan toplatılan tane boyutları birbirine yakın 12'şer kg çilekler temizlenip sapları kesilerek 3 mm, 5 mm, 7 mm kalınlıklarında dilimlenmiştir. Dilimlenmiş çilek örnekleri ve 12 kg bütün haldeki çilekler kurutma yapılacak yere götürülünceye kadar buzdolabı sıcaklığında ($4 \pm 0,5$ °C) saklandı. Çilek örnekleri zeminden toz ya da böceklerle karşı korunmak ve alttan hava akışını sağlaması amacıyla file üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 3.10., Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'de file üzerine yerleştirilmiş 3 mm, 5 mm ve 7 mm kalınlıklarında dilimlenmiş çilek örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10. 3 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örneği



Şekil 3.11. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örnekleri



Şekil 3. 12. 7 mm kalınlığında dilimlenmiş yaş çilek örnekleri

Kurutma için hazırlanan çilek örnekleri Şekil 3.8.'de belirtilen noktalara Şekil 3.13.'te gösterildiği gibi 1'er kg olacak şekilde yerleştirilmiş ve her 30 dakikada bir ölçümler alınarak elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu kurutma işlemi yaklaşık aynı güneş ışınlamaya sahip 4 farklı günde ve 3 mm, 5 mm, 7 mm ve bütün çilekler için ayrı ayrı yapılarak veriler elde edilmiştir. Ayrıca bütün çileklerin kurutulduğu günde güneşte doğal olarak çilekler de kurutulmuştur.



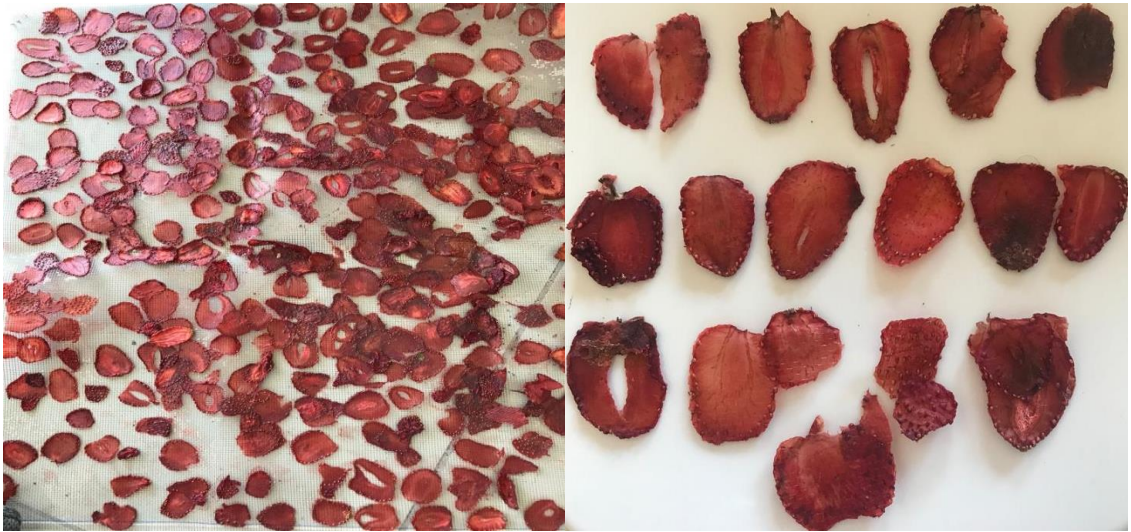
Şekil 3.13. Yaş çilek örneklerinin hassas terazide tartılması

Dilimlenmiş 1 kg çilek örnekleri her 30 dakikada bir tartılarak kütle değişimleri ile hava sıcaklığı, hava hızı ve radyasyon değerleri kaydedildi. Şekil 3.14.'te kurutma esnasında tartılan çilek örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 14. Kurutma esnasında tartılan çilek örnekleri

Kolektör alanında kurutulan çilek örneklerinin kütle değişimlerinin neredeyse yok denilecek kadar azaldığı an olan 110 grama kadar ölçümler devam ettirilmiştir. Şekil 3.15.'te 3 mm kalınlığındaki, Şekil 3.16.'da 5 mm kalınlığındaki, Şekil 3.17.'de 7 mm kalınlığındaki, Şekil 3.18.'de bütün haldeki, Şekil 3.19.'da de güneşte (doğal) bütün haldeki kurutma işlemi tamamlanmış çilek örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 15. 3 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri



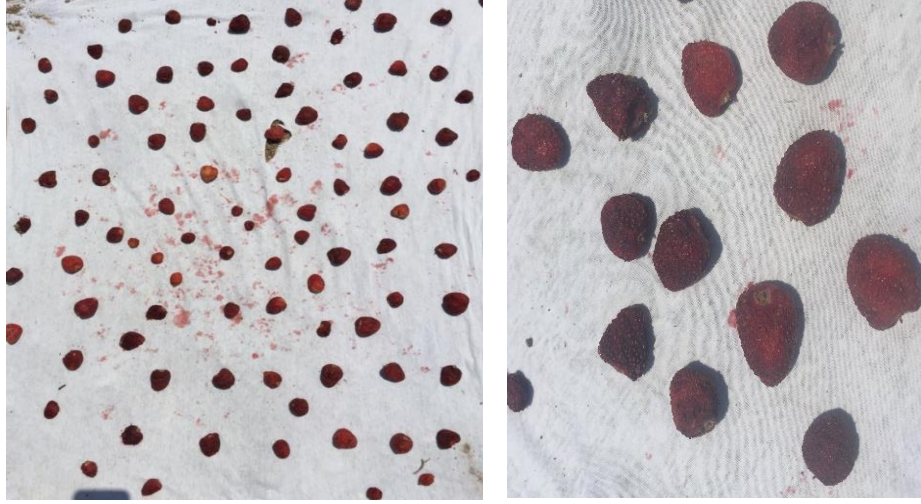
Şekil 3.16. 5 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri



Şekil 3.17. 7 mm kalınlığındaki kurumuş çilek örnekleri



Şekil 3.18. Bütün haldeki kurumuş çilek örnekleri



Şekil 3.19. Güneşte (Doğal) kurutma ile kurutulmuş bütün çiçek örnekleri

Kurutma işlemi esnasında alınan verilerden kütle değişimleri Şekil 3.20.'de, belirlenen noktalarındaki sıcaklıklar ise Şekil 3.21.'de gösterilen örnek tabloya aktarılarak kaydedildi.

3 mm KALINLIĞINDAKİ ÖRNEKLERİN KÜTLE DEĞİŞİMLERİ												
ÖLÇÜM SAATİ	DOĞU			BATI			KUZEY			GÜNEY		
	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)
10:00												
10:30												
11:00												
11:30												
12:00												
12:30												
13:00												
13:30												
14:00												
14:30												
15:00												
15:30												

Şekil 3.20. Kurutma anındaki kütle değişimlerinin kaydedildiği örnek tablo

3 MM KALINLIĞINDAKİ ÖRNEKLERİN KURUTMA SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ												
ÖLÇÜM SAATİ	DOĞU			BATI			KUZEY			GÜNEY		
	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)	1.BÖLGE (UÇ NOKTA)	2. BÖLGE (ORTA NOKTA)	3. BÖLGE (BACA GİRİŞİ)
10:00												
10:30												
11:00												
11:30												
12:00												
12:30												
13:00												
13:30												
14:00												
14:30												
15:00												
15:30												
16:00												

Şekil 3.21. Kurutma anındaki noktaların sıcaklıklarının kaydedildiği örnek tablo

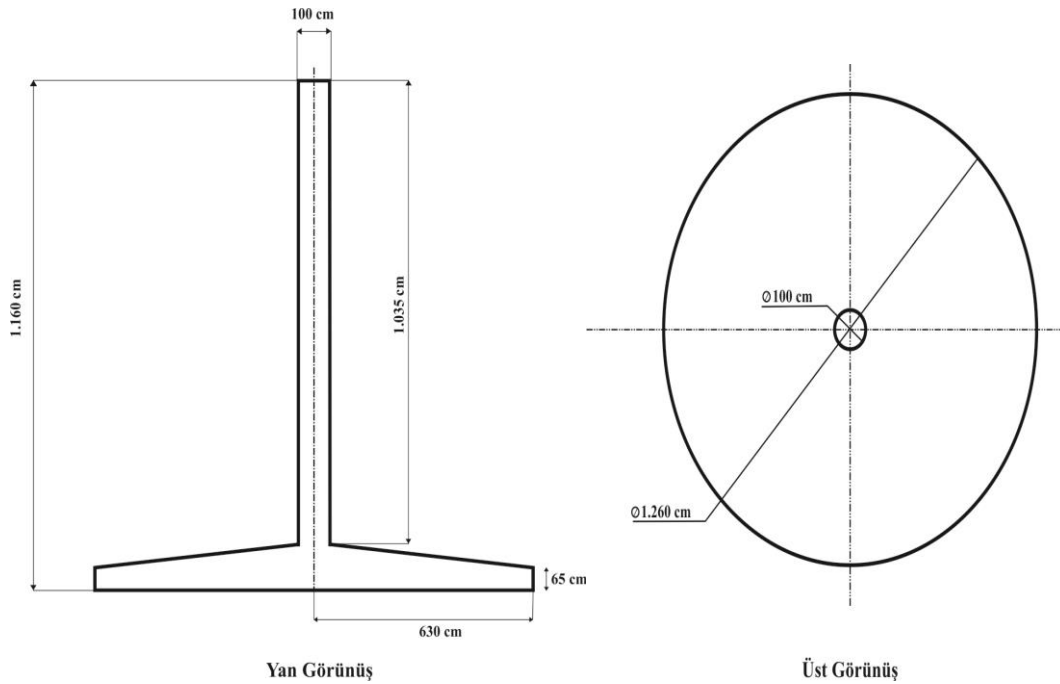
3.2. Deney Ekipmanları

3.2.1. Güneş Bacası Prototipi

Deneyisel çalışmada kullanılan ve 2017 yılında kurulan güneş bacasının baca uzunluğu 11.5 m, baca çapı 1 m ve kolektör alanı ise 105.68 m²'dir. Tablo 3.4.'te güneş bacası elemanlarının fiziksel özellikleri gösterilirken Şekil 3.22.'de de güneş bacasının ölçüleri şematize edilmiştir (Avcı, 2022).

Tablo 3.4. Güneş bacası sistem özellikleri (Avcı, 2022).

Güneş Bacası Sistem Elemanları	Güneş Bacası Parametreleri	Semboller	Boyutlar
Kolektör	Ortalama çap	D_{kol}	12,6 [m]
	Ortalama yükseklik	h_{ort}	0,8 [m]
	Yüzey alanı	A_{kol}	124 [m ²]
	Kolektör giriş ağız açıklığı	h_a	0,65 [m]
	Giriş ağız çevresel kesit alanı	A_t	24 [m ²]
Baca	Yükseklik	H_{baca}	11,5 [m]
	Çap	D_{baca}	1 [m]
	Kesit alanı	A_{baca}	0,78 [m ²]



Şekil 3.22. Güneş bacasına ait ölçüler (Avcı, 2022)



Şekil 3.23. Çalışmanın yapıldığı güneş bacası prototipi (Avcı, 2022)

Avcı (2022), yaptığı deneysel çalışmasında deneysel çalışma yaptığımız güneş bacasında maksimum sıcaklığı güney yönünde 44°C , en yüksek zemin sıcaklığını 55°C olarak ölçmüş, bacadan üretilen elektrik gücünü ise maksimum 26.8 W olarak hesaplamıştır.

3.2.2. Data Logger

Çalışmada kullanılan Elimko marka E-680 (Şekil 3.24.), sekiz kanallı, yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak üretilen universal girişli, standartlara uygun bir cihazdır. Cihaza ait teknik bilgiler Tablo 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Data logger

Tablo 3.5. E-680 Data logger ait teknik bilgiler

Elimco 680 Data Logger	Teknik Bilgiler
Doğruluk Değeri	0.5
Gösterge Değeri	9 Digit LED (14 mm)
A/S Çevirim Değeri	16 bit
S/A Çevirim Değeri	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0.2-9.9Saniye/Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1-99 Saniye/Kanal
Gürültü Bastırma Değeri	120 dB 50 Hz'de
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	-10-50°C
T/C Ortam Sıcaklık Kom.	0-50°C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Bant	0-9999 EU*
Çalışma Gerilimi	85-265V AC/85-375V DC2060V- AC /20 85V DC
Güç Sarfı	Max-7W
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250V AC 5A
Giriş İşareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans Termometre
Bellek yazma	EEPROM max. 10 ⁵
Ağırlık	650gr.

3.2.3. K-Tipi Termokupl

Termokupl, farklı iki alaşım maddesinin kaynak ile birleştirilmesi sonucunda elde edilen, basit bir sıcaklık ölçüm aracıdır. Termokupl referans noktası ile kaynak noktası arasındaki sıcaklık farkına göre ölçüm gerçekleşir. Deneysel çalışmamda kullanılan K-Tipi termokupla (Şekil 3.25.) ait teknik bilgiler Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. K-Tipi termokupl teknik özellikleri

K-Tipi Termokupl	Teknik Bilgiler
Tipi	1xK tipi bakır uçlu yüzey termokupl
Çalışma sıcaklığı	-60–280°C
Tek elemanlı	1xNiCr-Ni
Kablo kesiti	2x0.50mm ²
Kablo izolasyonu	Teflon+Teflon

**Şekil 3.25.** K-Tipi termokupl

3.2.4. Güneş Işınımı Ölçer (Solar meter)

Deneysel çalışmalarda, tarım, meteoroloji gibi farklı alanlarda global güneş radyasyonunu ölçmek için kullanılan bir araçtır. Çalışmamızda SM206 model solar meter (Şekil 3.26.) kullanılmıştır. Bu cihaza ait teknik bilgiler aşağıdaki Tablo 3.7.' de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Solar meter teknik özellikleri

SM602 Solarmeter	Teknik Bilgiler
Ölçüm menzili	0.1-399.9, 1-3999W/m ² 0.1-399.9, 1-3999Btu/(ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1Btu/(ft ² -h)
Çözünürlük	0.1-399.9, 1-3999W/m ² 0.1-399.9, 1-3999Btu/(ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1Btu/(ft ² -h)
Hassasiyet	±5% okumada (250°C) ±0.38W/m ² /°C
Sıcaklık hatası	±0.12Btu/(ft ² -h)/°C ±0.12 Btu/(ft ² -h)/°C
Yanıtma süresi	0.25sn
Boyutlar	60x132x38mm
Batarya	9Vx1.6F22



Şekil 3.26. SM206 Solar meter

3.2.5. Anemometre

Unit UT-362 model anemometre (Şekil 3.27.) rüzgâr hızının yanında sıcaklıkta ölçebilen, maksimum-minimum verileri gösterebilen, ölçüm değerlerini hafızasına kaydetme özelliği olan, bilgisayar bağlantısıyla kaydedilen verileri bilgisayara aktarabilen bir cihazdır. Kullanılan anemometreye ait teknik bilgiler Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Unit UT362 anemometre teknik özellikleri

UNIT UT362 Anemometre	Teknik Bilgileri
Rüzgâr Hızı Ölçümü	2-10m/s (3%+5) - 10-30m/s (3%+8)
Rüzgâr Kont Ölçüm (CMM)	0.001~9999x10
Rüzgâr Kont Ölçüm (CFM)	0.001~9999x10
Sıcaklık Ölçümü	0~60°C (32°F~104°F) 3°C (4°F)

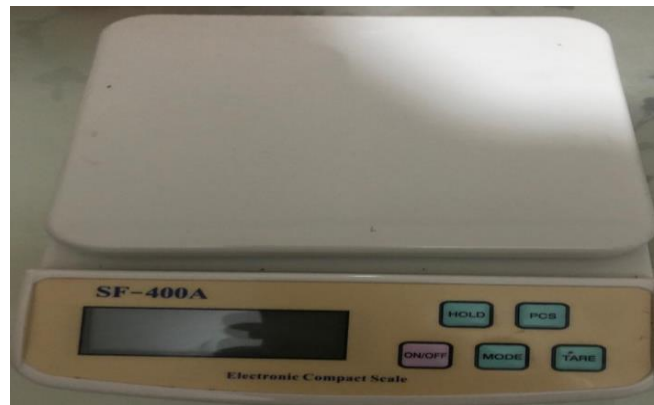
**Şekil 3.27.** Unit UT362 Anemometre

3.2.6. Hassas Terazi

Kurutulan ürünlerdeki nem kayıplarını, kütle değişimlerini belirlemek için SF-400A marka hassas terazi (Şekil 3.28.) kullanılmıştır. Kullanılan hassas teraziye ait teknik özellikler Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. SF 400A hassas terazi teknik özellikleri

SF 400A Hassas Terazi	Teknik Bilgiler
Kapasite	1000 g
Hassasiyet	0,1
Çalışma sıcaklığı	0-40°C

**Şekil 3.28.** SF 400A Hassas terazi

3.2.7. Sason Çileği

Çalışmamızda kurutma ürünü olarak Batman'ın Sason ilçesinde yetiştiriciliği yapılan ve 2018 yılında AB Coğrafi İşaret Tescil Belgesi alan Albion cinsi çilekler (Şekil 3.29.) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çileklerin yaklaşık aynı boyutta olmasına dikkat edilmiştir.

Albion türü çilekler yüksek rakımlı bölgelerde yetiştirilen, dayanıklı, taşıma ve depolama kolaylığı bulunan bir çilek türüdür. Yaş çileklerdeki nem oranı %89 civarındadır.

Kurutma işleminin yapılacağı gün toplanan çilekler, kurutma kalınlığına göre 3 mm, 5mm, 7mm büyüklüğünde dilimlere ayrılmış, kurutma alanına getirilmeden önce nem kaybının en aza indirilmesi için buzdolabı sıcaklığında ($4 \pm 0,5$ °C) muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.29. Sason çileği

3.3. Yapılan Ölçümler

3.3.1. Sıcaklık Ölçümleri

Deneyisel çalışmamızda güneş bacası sistem performansını artırmak amacıyla yapılan değişikliklerdeki sıcaklık ölçümleri Şekil 3.3.'te belirtilen noktalarda her 30 dakikada bir Elimko 680 model data logger ile yapılmıştır. Kurutma deneyleri yapıldığında ölçülen sıcaklık ölçümleri ise Şekil 3.8.'de gösterilen 12 farklı noktada 30 dakikada bir, Şekil 3.27.'de görülen UNIT UT362 ve datalogger cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler ilgili tablolara kaydedilmiştir. Belirlenen noktalardaki sıcaklık ölçümleri K tipi termokupl kullanılarak yapılmış ve termokuplların bulunduğu noktalar Şekil 3.30.'da, dataloggerdan okunan değerler ise Şekil 3.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalardaki termokupllar



Şekil 3.31. Data loggerden sıcaklık değerlerinin okunması



Şekil 3.32. UNIT UT362 ile sıcaklık ölçülmesi

3.3.2. Kütle Ölçümleri

Çileklerin kuruma hızı, nem miktarı gibi parametrelerin belirlenebilmesi için çilek örneklerinde meydana gelen kütle değişimleri önemlidir. Kurutma işleminde Şekil 3.8.'de gösterilen 12 farklı noktaya yerleştirilen ve her biri 1 kg olan çilek örnekleri 30 dakikada bir Şekil 3.33.'te de görüldüğü gibi SF 400A hassas tartı ile tartılarak elde edilen veriler ilgili tablolara kaydedildi.



Şekil 3.33. Kurutma işlemi boyunca kütlelerin ölçülmesi

3.3.3. Hava Hızı Ölçümleri

Güneş bacasının sistem performansını artırmak için yapılan işlemlerde türbin girişinde (V_1) ve kurutma işlemi boyunca Şekil 3.8.'de gösterilen kurutma noktalarında hava hızı ölçümleri UNIT UT362 model anemometre kullanılarak elde edilen veriler ilgili veri tablolarına işlendi. Şekil 3.34.'te hava hızı ölçümüne ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Hava hızının ölçülmesi

3.3.4. Güneş Radyasyonu Ölçümleri

Güneş bacası üzerine düşen güneş ışınımını kullanarak kolektör alanının ısınmasıyla oluşan hava akımı ile çalışan bir sistem olduğundan güneş ışınım miktarı önemli bir parametredir. Güneş bacasına gelen güneş ışınım miktarı aşağıdaki Şekil 3.35.'te görüldüğü gibi Solar Meter SM206 cihazı kullanılarak 30 dakikada bir ölçülerek elde edilmiş ve elde edilen veriler ilgili tabloya kaydedilmiştir.



Şekil 3.35. Güneş radyasyonunun ölçülmesi

3.4. Hesaplama Yöntemi

Kurutma tarım ürünü içerisinde bulunan suyun (nem) üründen uzaklaştırılması olarak tanımlandığından kurutulacak ürün içerisindeki nem içeriği, yüzdelik nem değişimi, nem oranı ve kuruma hızı önemli birer parametre olduklarından hesaplanmalıdır.

3.4.1. Kurutma Ürünündeki Nem Miktarının Hesaplanması

Kurutma işleminde temel amaç tarım ürünü içerisindeki nemin uzaklaştırılması olduğundan kurutulacak tarım ürünü olan Sason çileklerinde bulunan nem miktarının bilinmesi gereklidir. Önceki çalışmalara bakıldığında Albion türü çileklerdeki nem miktarı ETÜV yöntemi kullanılarak yaklaşık %89 olarak tespit edilmiştir (Çakmak, 2019).

Deneyssel çalışmamızda ise albion türü çileklerdeki nem miktarı kurutulan çilek örneklerinin kütle değişimlerinin neredeyse durma noktasına geldiği andaki kuru kütlelerine bakılarak hesaplanmıştır. Hesaplamamız sonucunda elde ettiğimiz nem oranı ile literatürdeki nem miktarlarının birbiriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

3.4.2. Yüzdelik Nem değişimi

Kurutma ürünü içerisinde bulunan su miktarının değişiminin yüzdelik olarak ifade edilmesidir. Yüzdelik nem değişimi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$Nem\ Değişimi(\%) = \frac{m_s}{m_{ilk}} \times 100 = \frac{m_t - m_e}{m_s + m_e} \times 100$$

Yukarıdaki denklemde,

m_s : Ürün içerisinde bulunan su kütlesi (kg)

m_{ilk} : Ürünün ilk kütlesi (kg)

m_t : t anındaki ürünün kütlesi (kg)

m_e : Ürünün kuru kütlelerini (kg) ifade etmektedir.

3.4.3. Nem Oranı (MR)

Kurutma ürünü içerisinde herhangi bir zaman dilimindeki bulunan nem miktarının ürünün başlangıç nemine oranı olarak ifade edilebilir. Nem oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$Nem\ Oranı\ (MR) = \frac{m_t - m_e}{m_{ilk} - m_e}$$

Yukarıdaki denklemde,

m_{ilk} : Ürünün ilk kütlesi (kg)

m_t : t anındaki ürünün kütlesi (kg)

m_e : Ürünün kuru kütlesini (kg) ifade etmektedir.

3.4.4. Nem İçeriği

Kurutma ürünün içerisindeki su miktarının ölçüsü olarak ifade edilebilir. Diğer bir deyişle yaş ürün içerisindeki nem miktarının kuru ürünlerdeki nem miktarına oranı olarak ifade edilebilir. Nem içeriği aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$Nem\ İçeriği = \frac{m_t - m_e}{m_e}$$

Yukarıdaki denklemde,

m_t : t anındaki ürünün kütlesi (kg)

m_e : Ürünün kuru kütlesini (kg) ifade etmektedir.

3.4.5. Kuruma Hızı

Kurutulacak tarım ürünü içerisindeki suyun uzaklaştırma hızı olarak ifade edilebilir. Kuruma hızı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$Kuruma\ Hızı = \frac{N_t - N_{t+\Delta t}}{N_t}$$

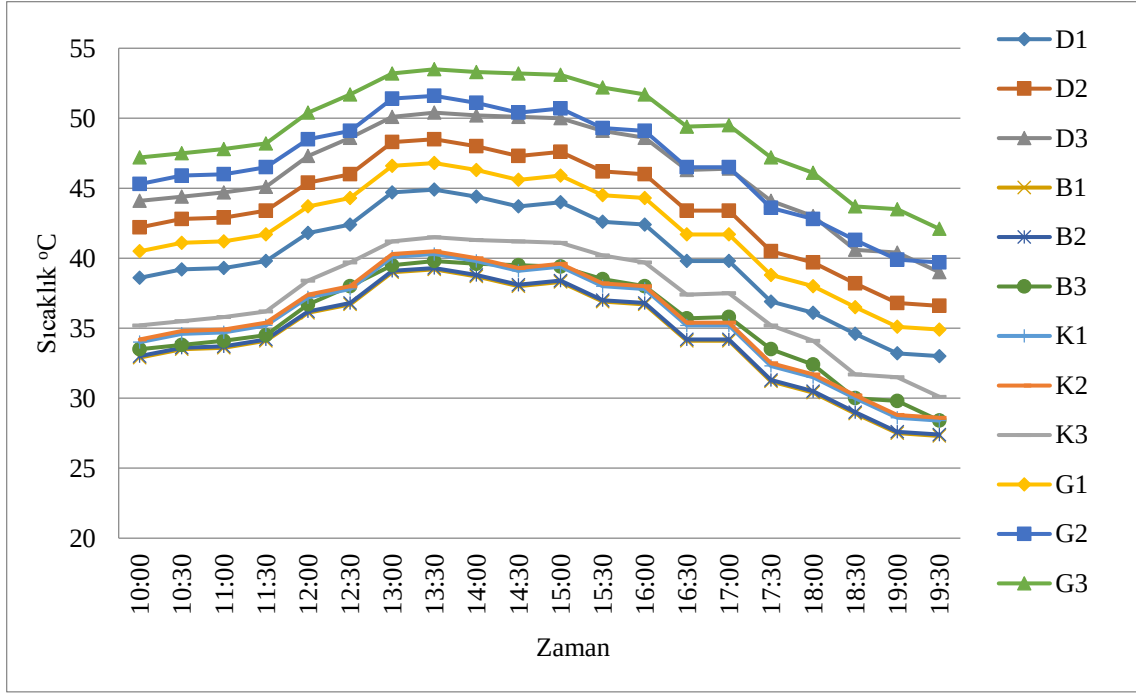
Yukarıdaki denklemde,

N_t : t anındaki ürünün kuru baza göre nem içeriği (kg_{su}/kg_{katı})

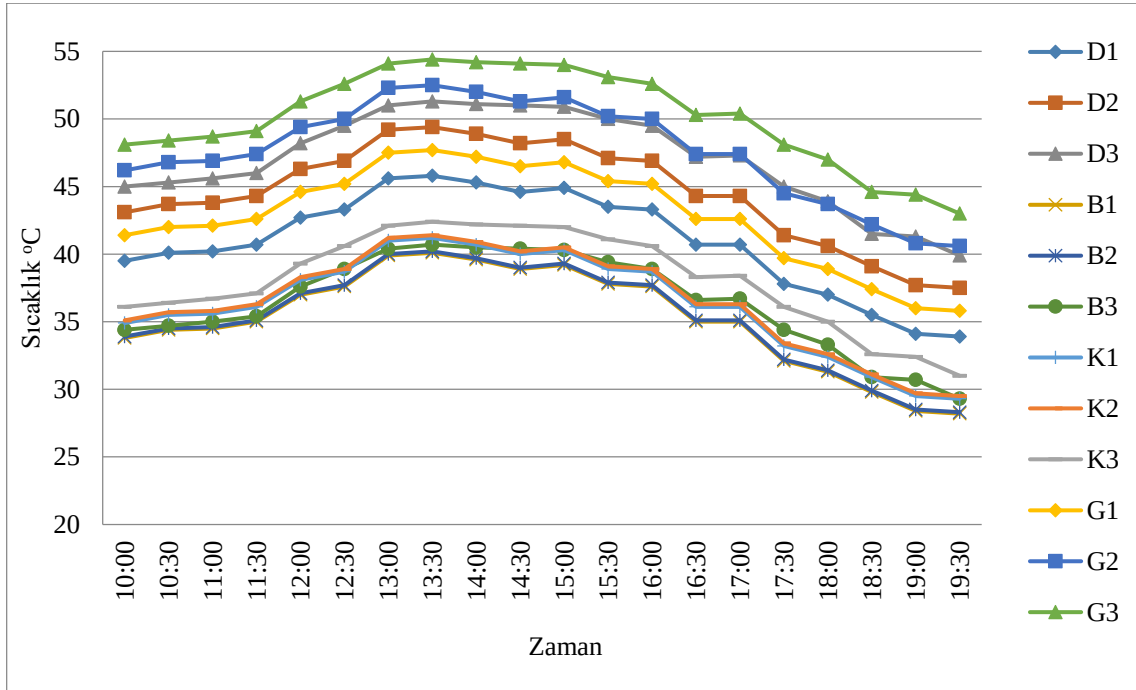
$N_{t+\Delta t}$: t+Δt anındaki ürünün kuru baza göre nem içeriği (kg_{su}/kg_{katı})

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

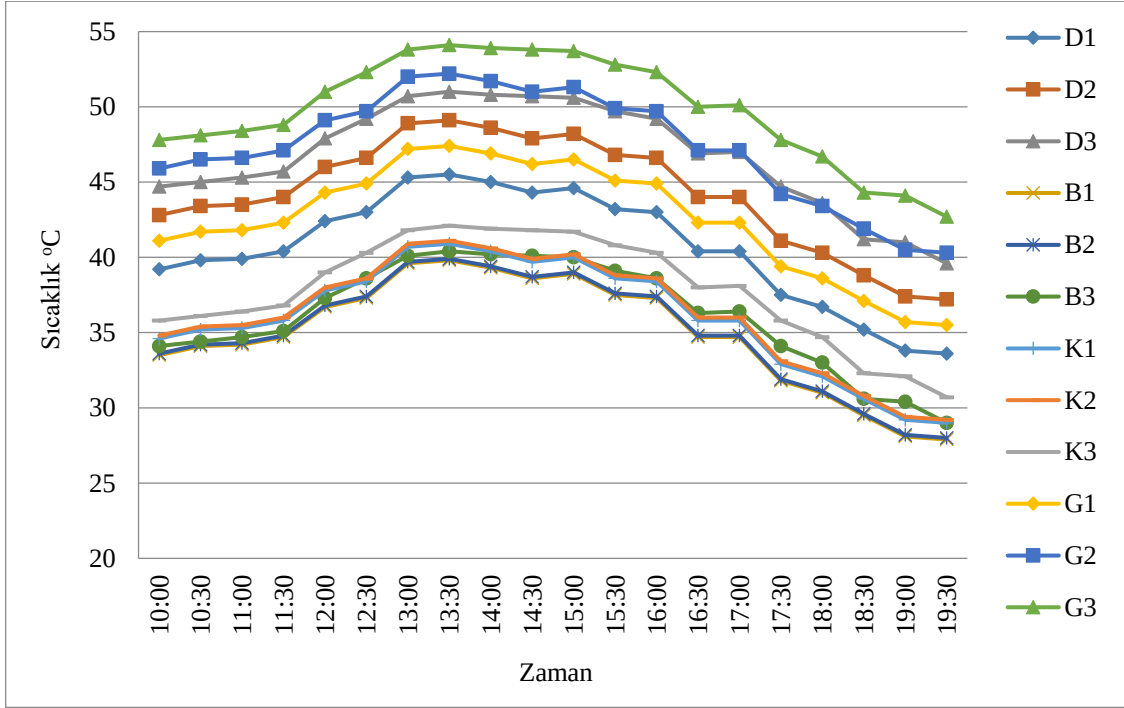
4.1. Sıcaklık- Zaman Grafikleri



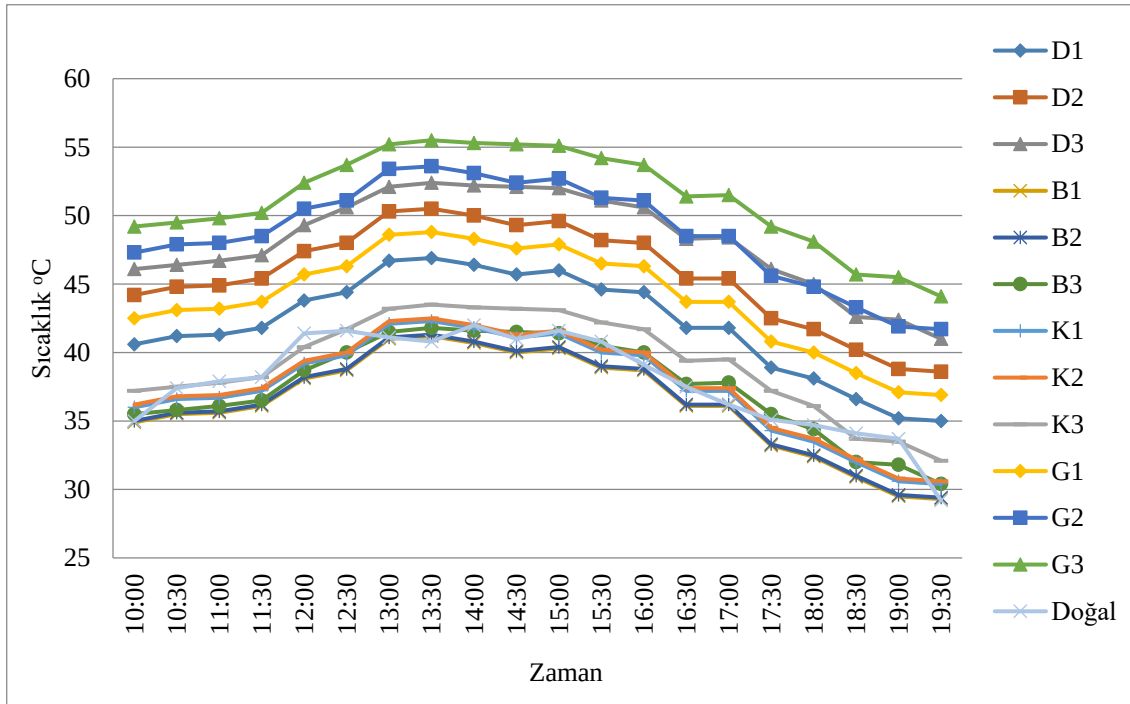
Şekil 4.1. 3 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.2. 5 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.3. 7 mm kalınlıktaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.4. Bütün çileklerin kurutulduğu noktalardaki havanın sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi

Kurutma yapılan günlerde sera örtü alanının sıcaklığının en fazla olduğu zaman dilimleri öğlen 13.00-15.00 saatleri arasında olduğu görülmektedir.

Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı günlerde kurutmanın yapıldığı güneş bacası sera alanın sıcaklığının 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde 27.3°C - 53.5°C arasında değiştiği görülmektedir. 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde sera örtüsünün ortalama sıcaklığı 39.9°C olarak hesaplanmıştır. Kurutma yapılan noktalar arasında sıcaklığın en fazla olduğu güney bölgesinde 3. noktanın (G3) ortalama sıcaklığı ise 49.1°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.1.).

5 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde kurutmanın yapıldığı güneş bacası sera alanın sıcaklığı 28.2°C – 54.4°C arasında değiştiği görülmektedir. 5 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde sera örtüsünün ortalama sıcaklığı 40.9°C olarak hesaplanmıştır. Kurutma yapılan noktalar arasında sıcaklığın en fazla olduğu güney bölgesindeki 3. noktanın (G3) ortalama sıcaklığı ise 50.1°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2.).

7 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde kurutmanın yapıldığı güneş bacası sera alanın sıcaklığı 27.9°C – 54.1°C arasında değişmektedir. 7 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulduğu günde sera örtüsünün ortalama sıcaklığı 40.6°C olarak hesaplanmıştır. Kurutma yapılan noktalar arasında sıcaklığın en fazla olduğu güney bölgesindeki 3. noktanın (G3) ortalama sıcaklığı ise 49.8°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3.).

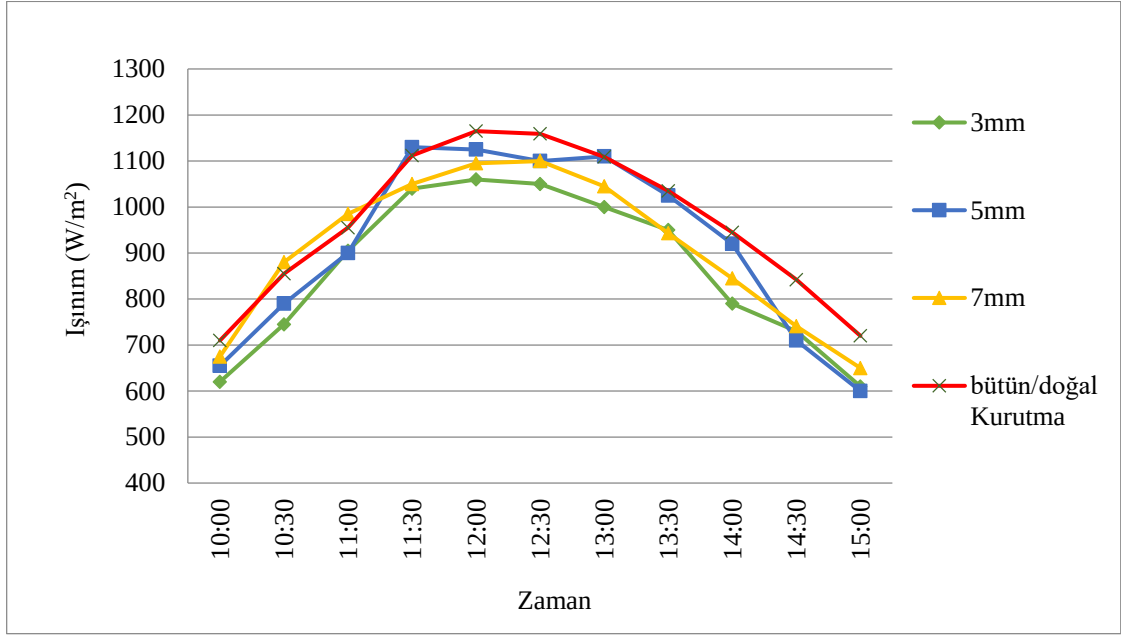
Bütün haldeki çilek örneklerinin kurutulduğu günde sera örtü alanının sıcaklığı 29.3°C – 55.5°C arasında değiştiği görülmektedir. Bütün halde kurutulan çilek örneklerinin kurutulduğu günde sera örtüsünün ortalama sıcaklığı 42°C olarak hesaplanmıştır. Kurutma yapılan noktalar arasında sıcaklığın en fazla olduğu güney bölgesindeki 3. noktanın (G3) ortalama sıcaklığı ise 51.2°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4.).

Bütün haldeki çilek örneklerinin kurutulduğu günde aynı zamanda güneşte (doğal) kurutma da yapılmıştır. Güneşte (Doğal) kurutma yapıldığı günde hava sıcaklığı 11.7°C ile 42°C arasında değiştiği görülmektedir. Güneşte (Doğal) kurutma yapıldığı gündeki ortalama hava sıcaklığı ise 31.9°C olarak hesaplanmıştır.

Ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin çilek kurutulması için ideal olan sıcaklık değeri ile uygun olduğu görülmüştür.

Ölçülen sıcaklık değerlerine bakıldığında en yüksek sıcaklık değerleri tüm kurutma günlerinde güney yönündeki baca girişinde (G3 Noktası) ölçülmüş, en düşük sıcaklıklar ise tüm yönlerde kuzey yönünde kolektör giriş bölgesinde (K1 Noktası) ölçülmüştür.

4.2. Işınım- Zaman Grafikleri



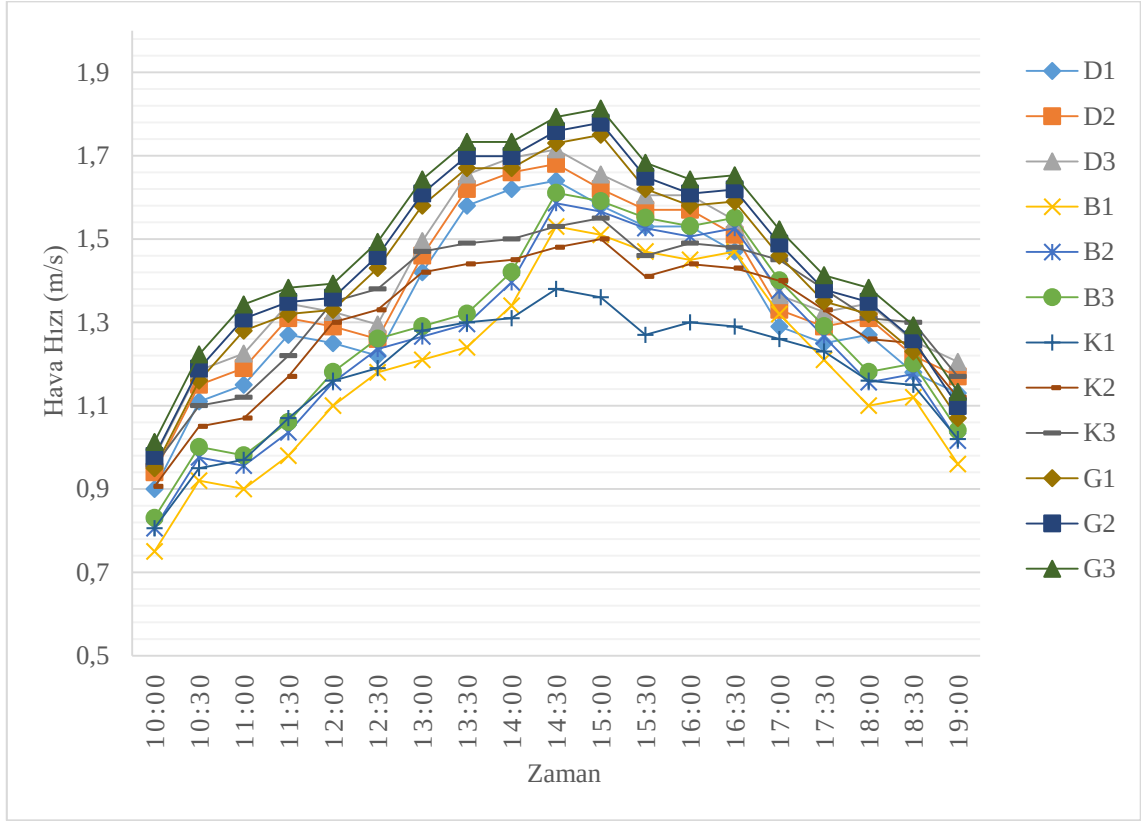
Şekil 4.5. Kurutma deneylerinin yapıldığı günlere ait güneş ışıınının zamanla değişimi

27-30 Ağustos tarihleri arasında yapılan kurutma deneylerine ait ışıının zaman değişimine (Şekil 4.5.) bakıldığında ışıının şiddetleri sabah saatlerinde $620-1050 \text{ W/m}^2$ arasında değiştiği, öğle saatlerinde ise $1050-1165 \text{ W/m}^2$ ile en yüksek değerlere ulaştığı akşam saatlerinde ise güneş radyasyonunda azalma olduğu görülmektedir.

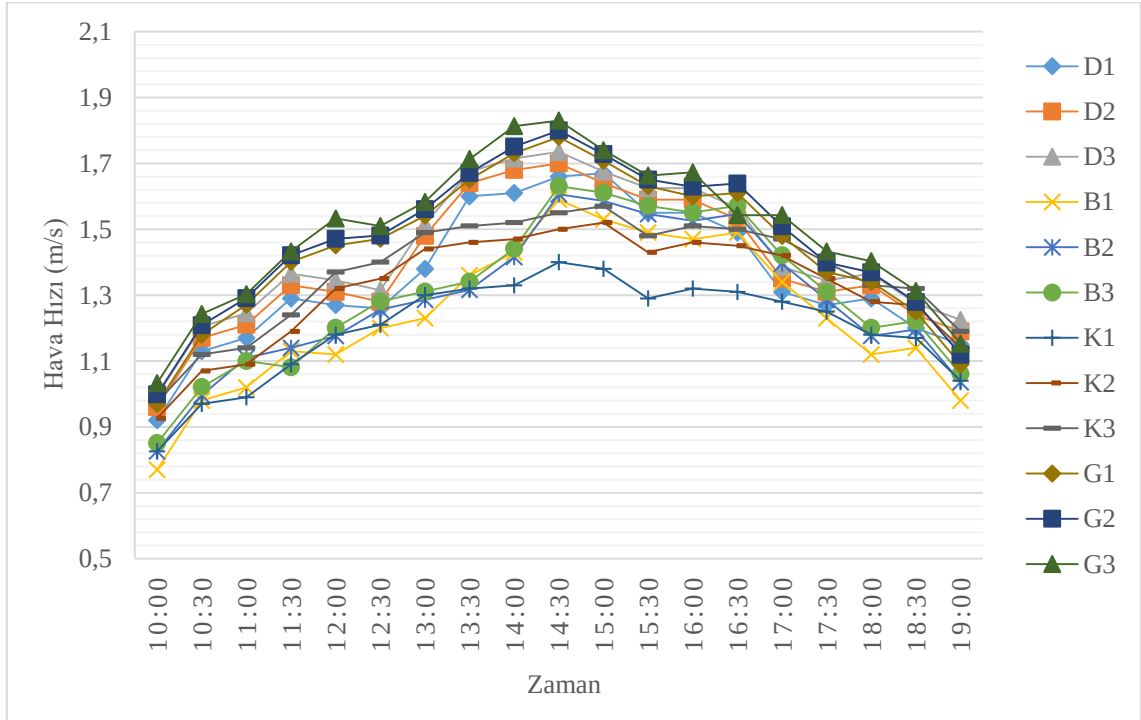
Ölçümlerin yapıldığı günlerde 12.00 ile 12.30 saatleri arasında Güneş ışıının şiddetinin en fazla olduğu görülmektedir.

Güneş ışıının şiddetinin en fazla olduğu zaman dilimleri ile güneş bacası sera alanın sıcaklığının en yüksek olduğu zaman dilimleri birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise güneş ışıınınındaki ısı enerjisi güneş bacası sistemine gecikmeli dâhil olmasından kaynaklanmaktadır.

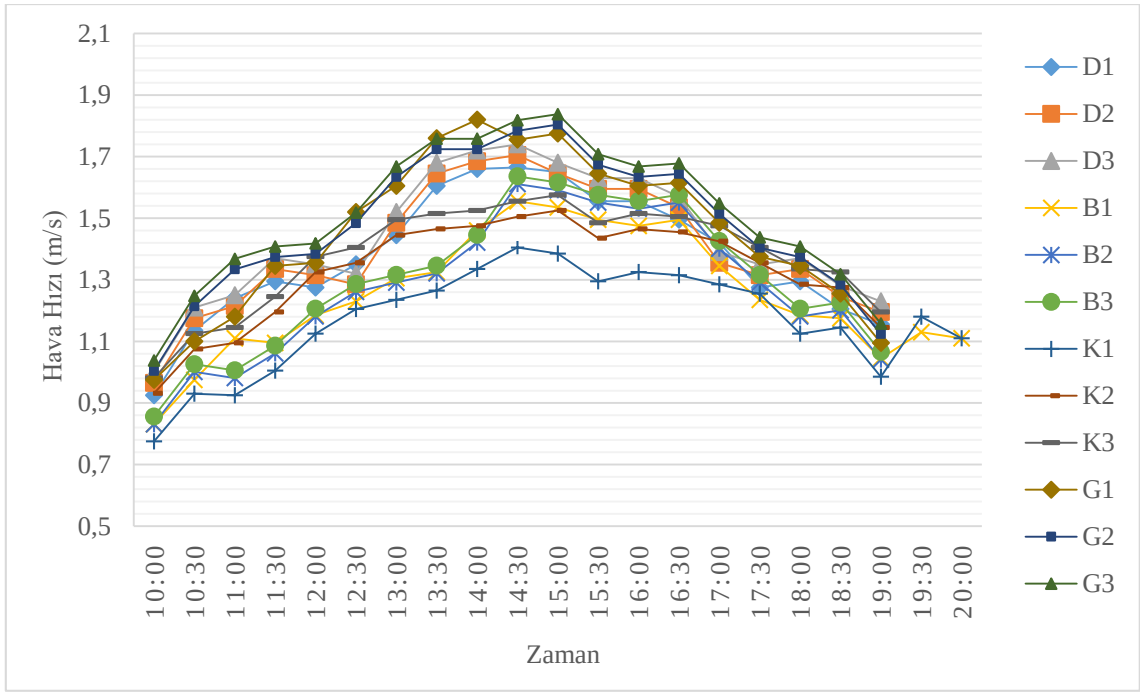
4.3. Hava Hızı - Zaman Grafikleri



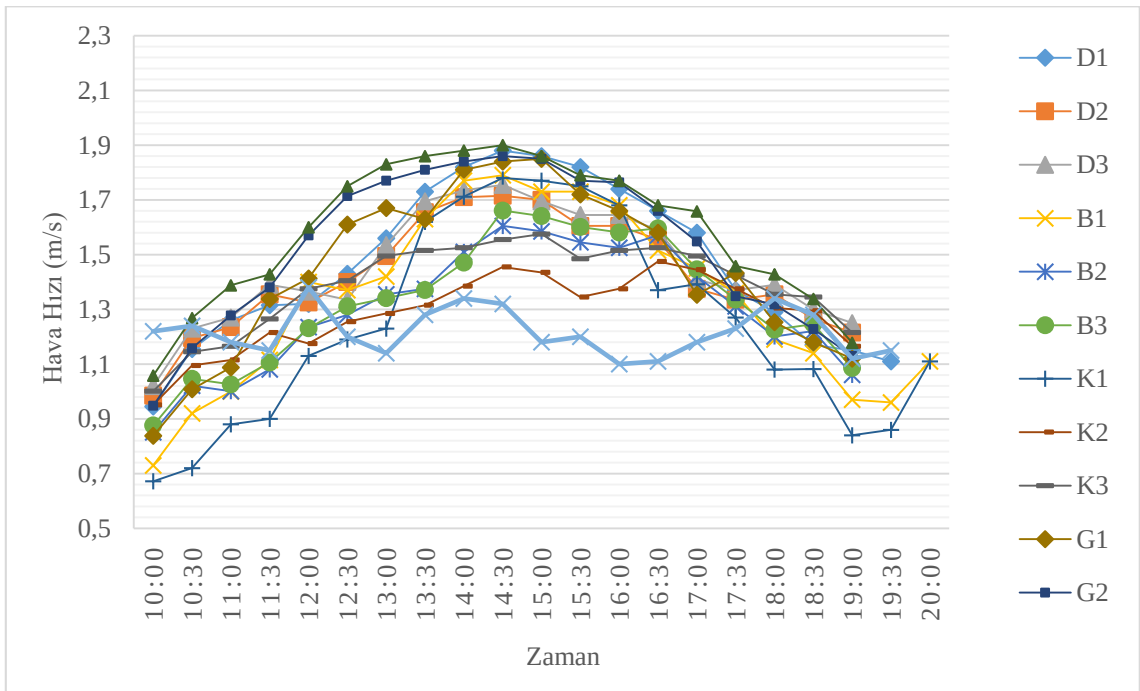
Şekil 4.6. 3 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi



Şekil 4.7. 5 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi



Şekil 4.8. 7 mm kalınlığındaki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi



Şekil 4.9. Bütün haldeki çileklerin kurutulduğu noktalardaki hava hızının zamanla değişimi

Hava hızı- zaman grafiklerine bakıldığında 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulması sırasında ortalama hava hızı doğu yönünde 1.37 m/s, batı yönünde 1.24 m/s, kuzey yönünde 1.28 m/s, güney yönünde ise 1.45 m/s olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca güney bölgesindeki baca girişinde ortalama hava hızı 1.48 m/s olarak hesaplanmıştır. Maksimum hava hızı ise güney bölgesinde 1.81 m/s olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6.).

5 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulması sırasında ortalama hava hızı doğu yönünde 1.39 m/s, batı yönünde 1.28 m/s, kuzey yönünde 1.3 m/s, güney yönünde ise 1.47 m/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca güney bölgesindeki baca girişinde ortalama hava hızı 1.49 m/s olarak hesaplanmıştır. Maksimum hava hızı ise güney bölgesinde 1.83 m/s olarak ölçülmüştür (Şekil 4.7.).

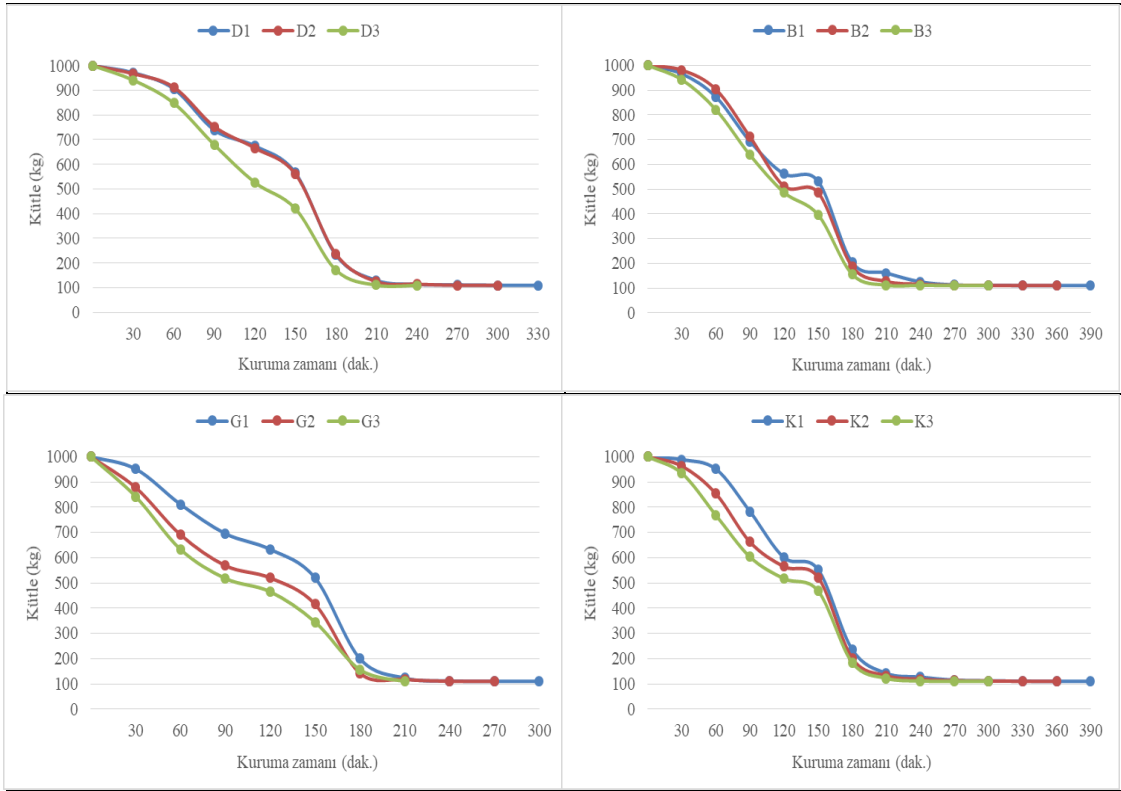
7 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulması sırasında ortalama hava hızı doğu yönünde 1.41 m/s, batı yönünde 1.28 m/s, kuzey yönünde 1.29 m/s, güney yönünde ise 1.48 m/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca güney bölgesindeki baca girişinde ortalama hava hızı 1.51 m/s olarak hesaplanmıştır. Maksimum hava hızı ise güney bölgesinde 1.84 m/s olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8.).

Bütün kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulması sırasında ortalama hava hızı doğu yönünde 1.45m/s, batı yönünde 1.33 m/s, kuzey yönünde 1.31 m/s, güney yönünde ise 1,51 m/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca güney bölgesindeki baca girişinde ortalama hava hızı 1.59 m/s olarak hesaplanmıştır. Maksimum hava hızı ise güney bölgesinde 1.9 m/s olarak ölçülmüştür (Şekil 4.9.).

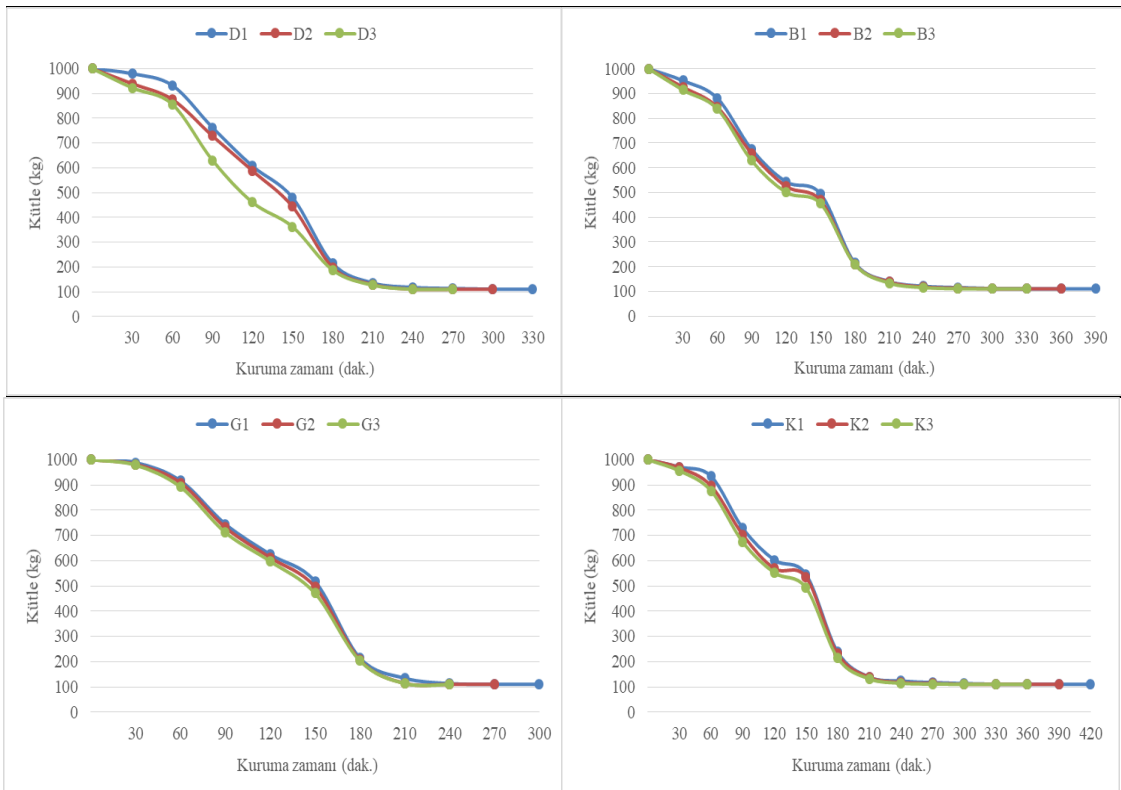
Güneşte (Doğal) kurutma yapıldığındaki ortalama hava hızı 1.21 m/s olarak hesaplanmıştır.

Hava hızının güneş radyasyonunun ve sıcaklıkların fazla olduğu 13:00 ile 15:00 zaman dilimlerinde artış yaşandığı görülmektedir. 16.30'dan sonra güneş radyasyonunun ve hava sıcaklıklarının azalmasıyla birlikte kurutma yapılan noktalardaki hava hızlarında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle güneş radyasyonu ile hava hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir.

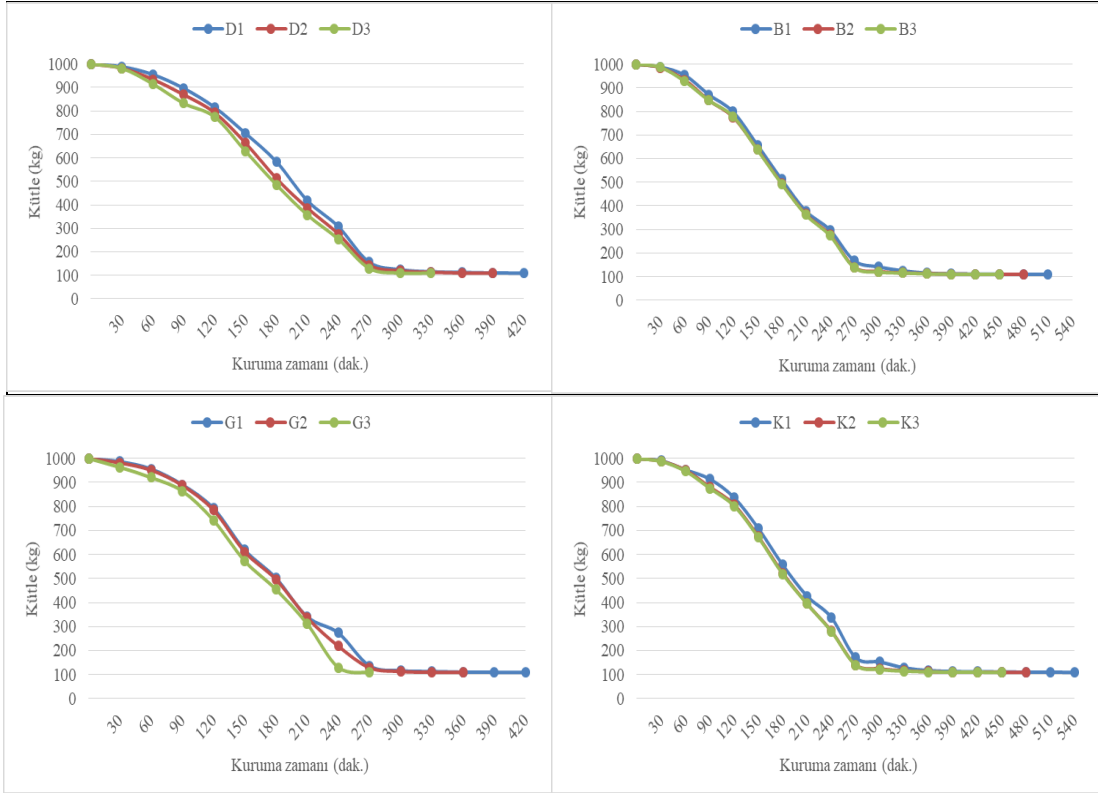
4.4. Kütle Değişimi – Kuruma Zamanı Grafikleri



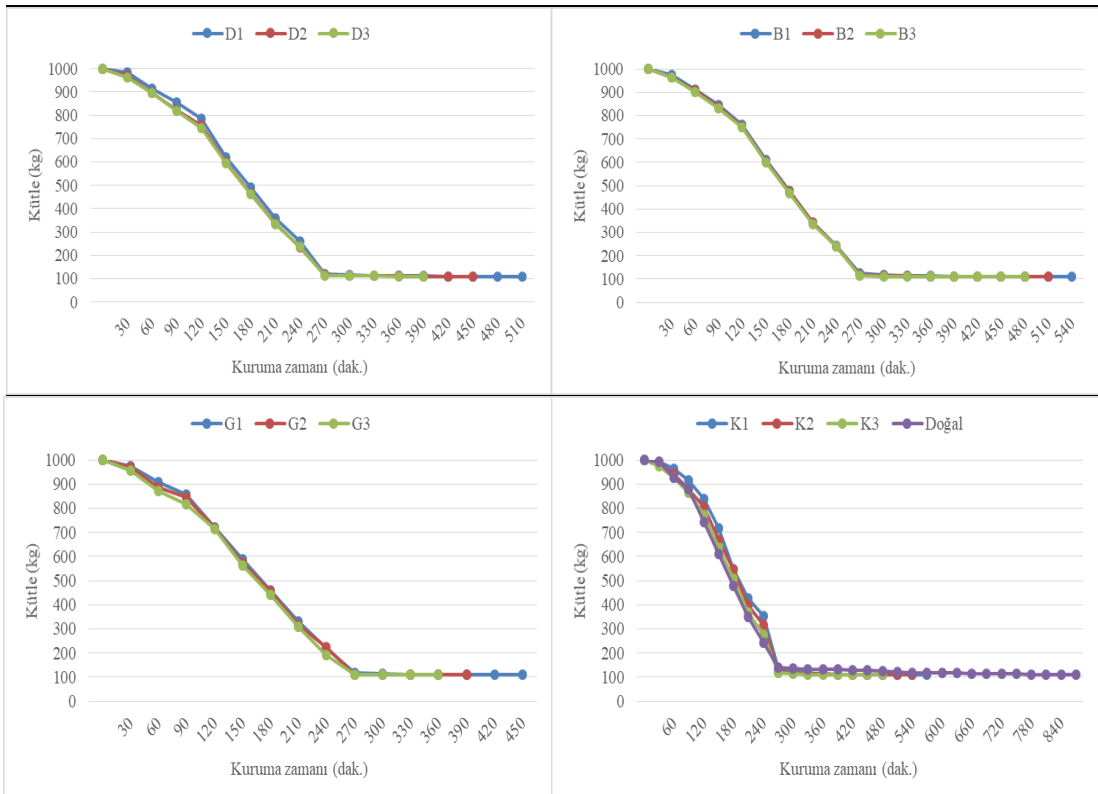
Şekil 4.10. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait kütle kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.11. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait kütle kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.12. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait kütlelerin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.13. Bütün haldeki çileklere ait kütlelerin kuruma zamanına göre değişimi

Kurutulan çileklerin kuru kütleleri 110 grama ulaştığında kütle değişim miktarı neredeyse durma noktasına gelmiştir. Kütle değişim miktarının durma noktasına geldiği anda ürün içerisindeki nem miktarının istenilen seviyeye ulaştığı varsayılarak kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13.) 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kütlelerindeki değişim miktarı 210. dakikadan sonra, 5 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kütlelerindeki değişim miktarı 240. dakikadan sonra, 7 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kütlelerindeki değişim miktarı 270. dakikadan sonra, bütün halde kurutulan çilek örneklerinin kütlelerindeki değişim ise 300 dakikadan sonra durma noktasına ulaşmıştır.

3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 330dakika, D2 noktasında 300dakika, D3 noktasında 240dakika, B1 noktasında 390dakika, B2 noktasında 360dakika, B3 noktasında 300dakika, K1 noktasında 390dakika, K2 noktasında 360dakika, K3 noktasında 300dakika, G1 noktasında 300dakika, G2 noktasında 270dakika, G3 noktasında 210dakika olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10.).

5 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 330dakika, D2 noktasında 300dakika, D3 noktasında 270dakika, B1 noktasında 420dakika, B2 noktasında 360dakika, B3 noktasında 330dakika, K1 noktasında 420dakika, K2 noktasında 390dakika, K3 noktasında 360dakika, G1 noktasında 300dakika, G2 noktasında 270dakika, G3 noktasında 240dakika olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.11.).

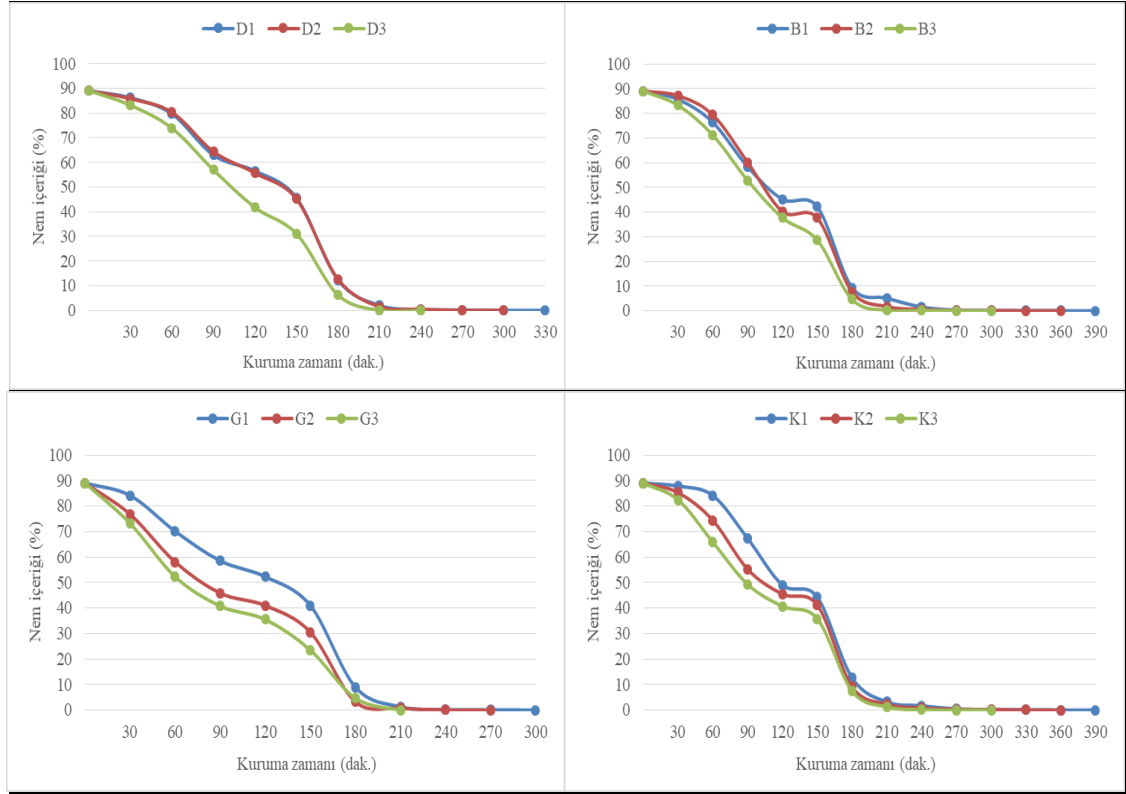
7 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 420dakika, D2 noktasında 390dakika, D3 noktasında 330dakika, B1 noktasında 540dakika, B2 noktasında 480dakika, B3 noktasında 450dakika, K1 noktasında 510dakika, K2 noktasında 480dakika, K3 noktasında 450dakika, G1 noktasında 420dakika, G2 noktasında 360dakika, G3 noktasında 270dakika olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.12.).

Bütün halde kurutulan çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 510dakika, D2 noktasında 450dakika, D3 noktasında 390dakika, B1 noktasında 540dakika, B2 noktasında 510dakika, B3 noktasında 480dakika, K1 noktasında 570dakika, K2 noktasında 540dakika, K3 noktasında 480dakika, G1 noktasında 450dakika, G2 noktasında 390dakika, G3 noktasında 360dakika olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.13.).

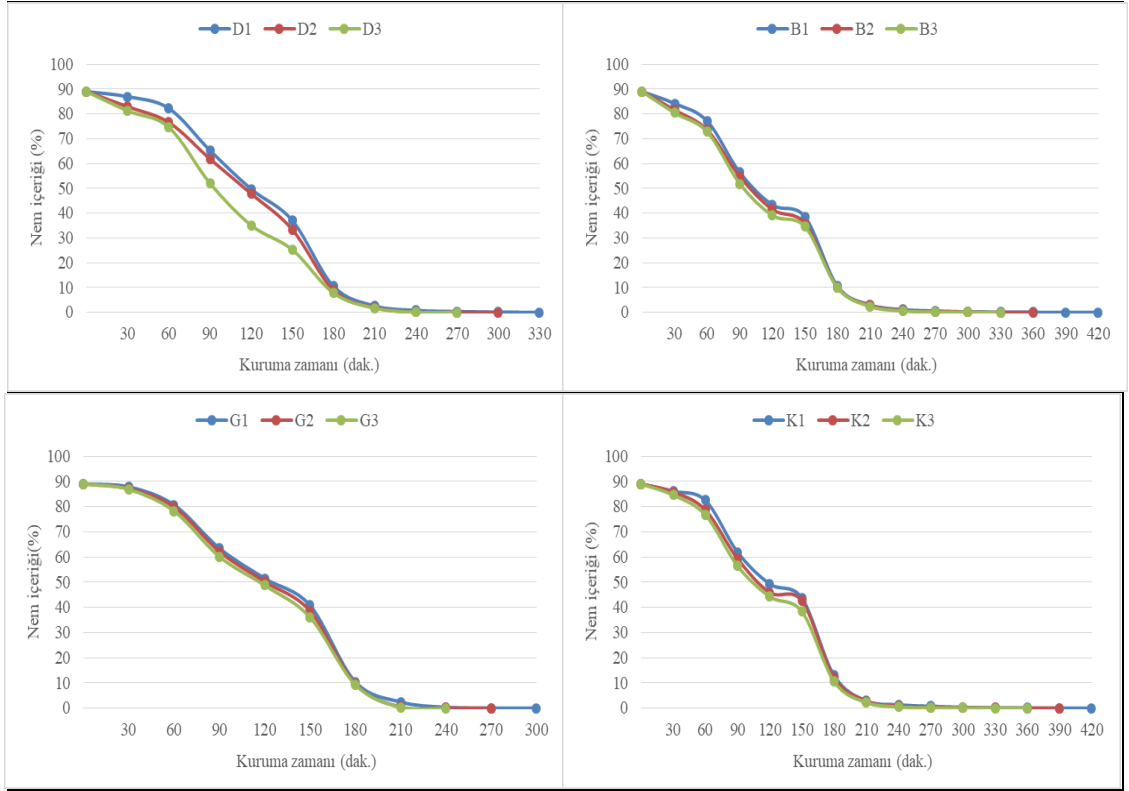
Bütün halde güneşte (doğal) kurutulan çilek örneklerinin kuruma süresi ise 870 dakika olarak tespit edilmiştir.

Yukarıdaki kütle değişimleri kuruma zamanı grafiklerine bakıldığında kurutulmaya bırakılmış çilek kütlelerindeki azalma miktarı sıcaklık ve ışıınım miktarının daha fazla olduğu zamanlarda daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir.

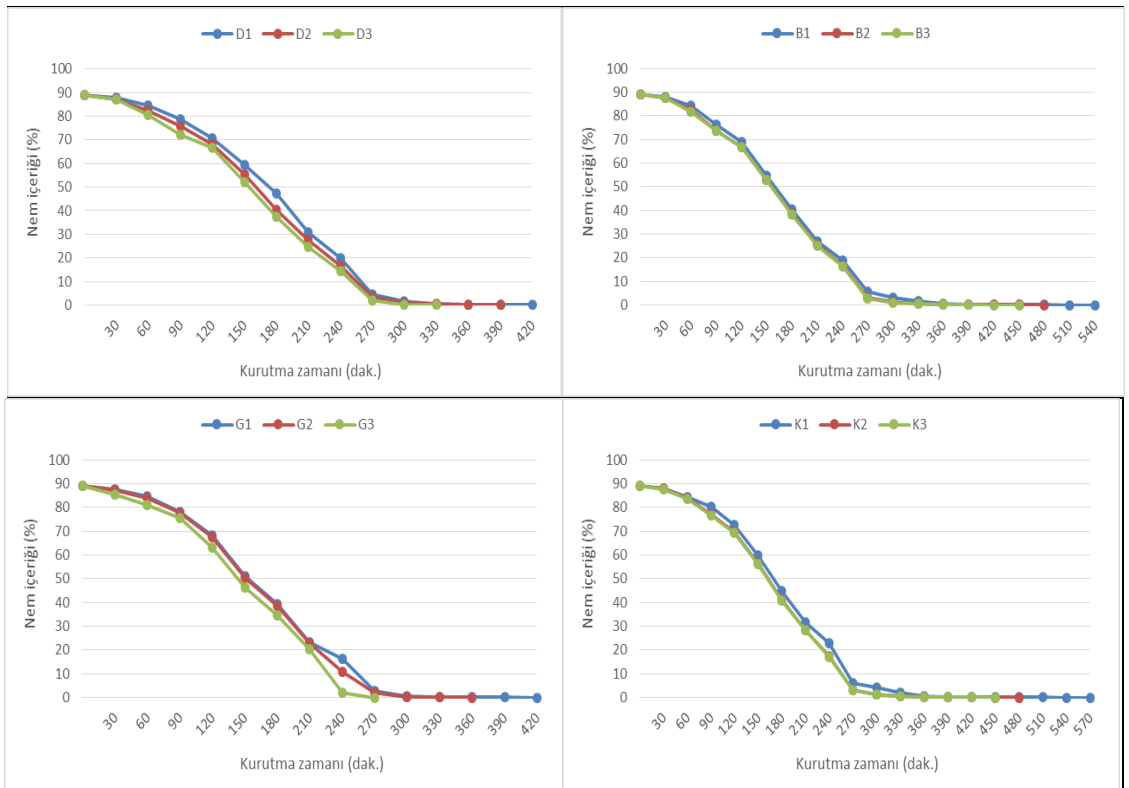
4.5. Nem İçeriği (%) – Kuruma Zamanı Grafikleri



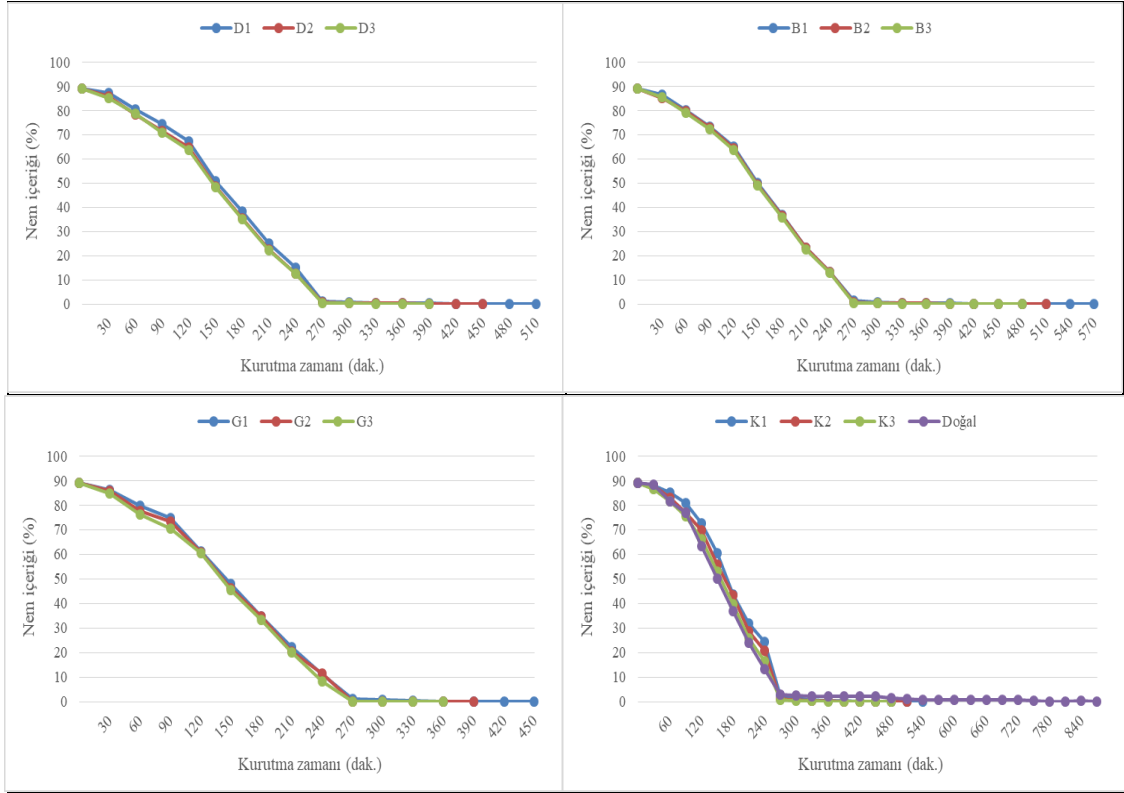
Şekil 4.14. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.15. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.16. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.17. Bütün haldeki çileklere ait % nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi

Grafikler incelendiğinde çilek örneklerindeki nem içeriği başlangıçta %89 iken kuruma boyunca çilek örneklerindeki nem miktarı da azalmaktadır. Çilek örneklerindeki yüzde nem değişimi 30. dakikadan itibaren hızlanmaya başlamış ve denge nemine ulaşıncaya kadar değişim devam etmiştir.

3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin yüzde nem içeriği, D1 noktasında 330. dakikada, D2 noktasında 300. dakikada, D3 noktasında 240. dakikada, B1 noktasında 390. dakikada, B2 noktasında 360. dakikada, B3 noktasında 300. dakikada, K1 noktasında 390. dakikada, K2 noktasında 360. dakikada, K3 noktasında 300. dakikada, G1 noktasında 300. dakikada, G2 noktasında 270. dakikada, G3 noktasında 210. dakikada denge nemine ulaşmıştır (Şekil 4.14.).

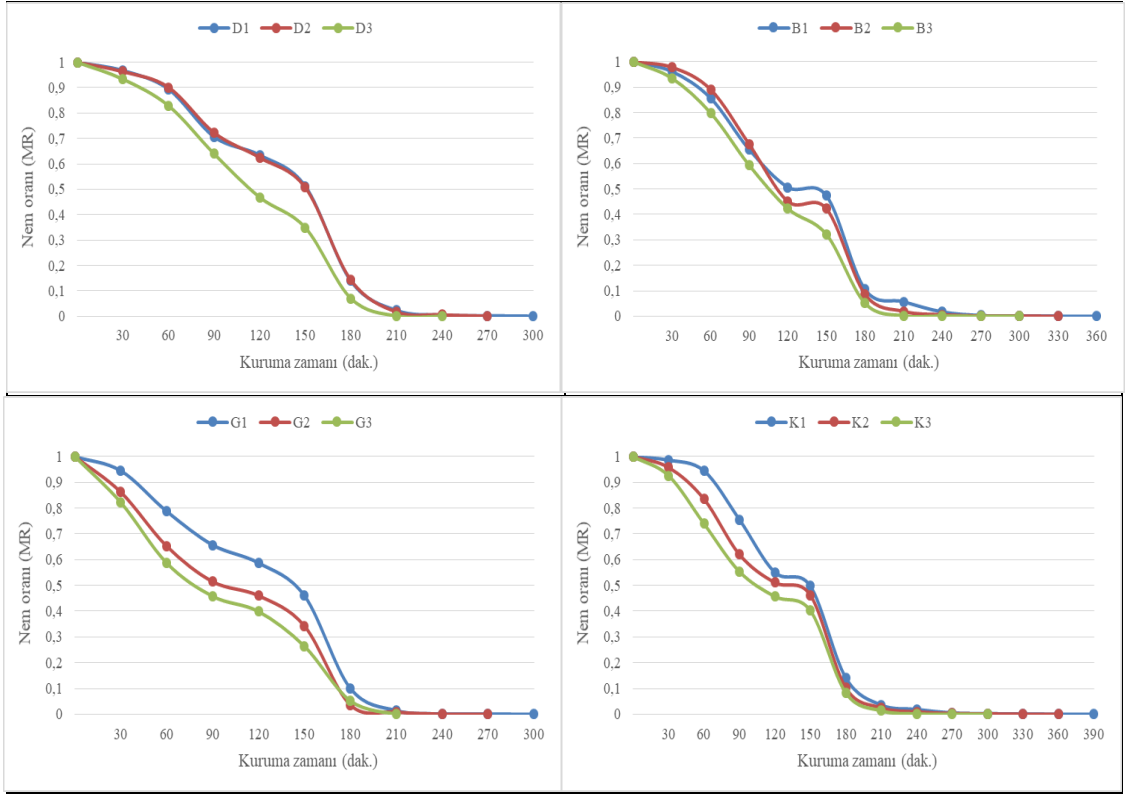
5 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 330. dakikada, D2 noktasında 300. dakikada, D3 noktasında 270. dakikada, B1 noktasında 420. dakikada, B2 noktasında 360. dakikada, B3 noktasında 330. dakikada, K1 noktasında 420. dakikada, K2 noktasında 390. dakikada, K3 noktasında 360. dakikada, G1 noktasında 300. dakikada, G2 noktasında 270. dakikada, G3 noktasında 240. dakikada denge nemine ulaşmıştır (Şekil 4.15.).

7 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 420. dakikada, D2 noktasında 390. dakikada, D3 noktasında 330. dakikada, B1 noktasında 540. dakikada, B2 noktasında 480. dakikada, B3 noktasında 450. dakikada, K1 noktasında 510. dakikada, K2 noktasında 480. dakikada, K3 noktasında 450. dakikada, G1 noktasında 420. dakikada, G2 noktasında 360. dakikada, G3 noktasında 270. dakikada denge nemine ulaşmıştır (Şekil 4.16.).

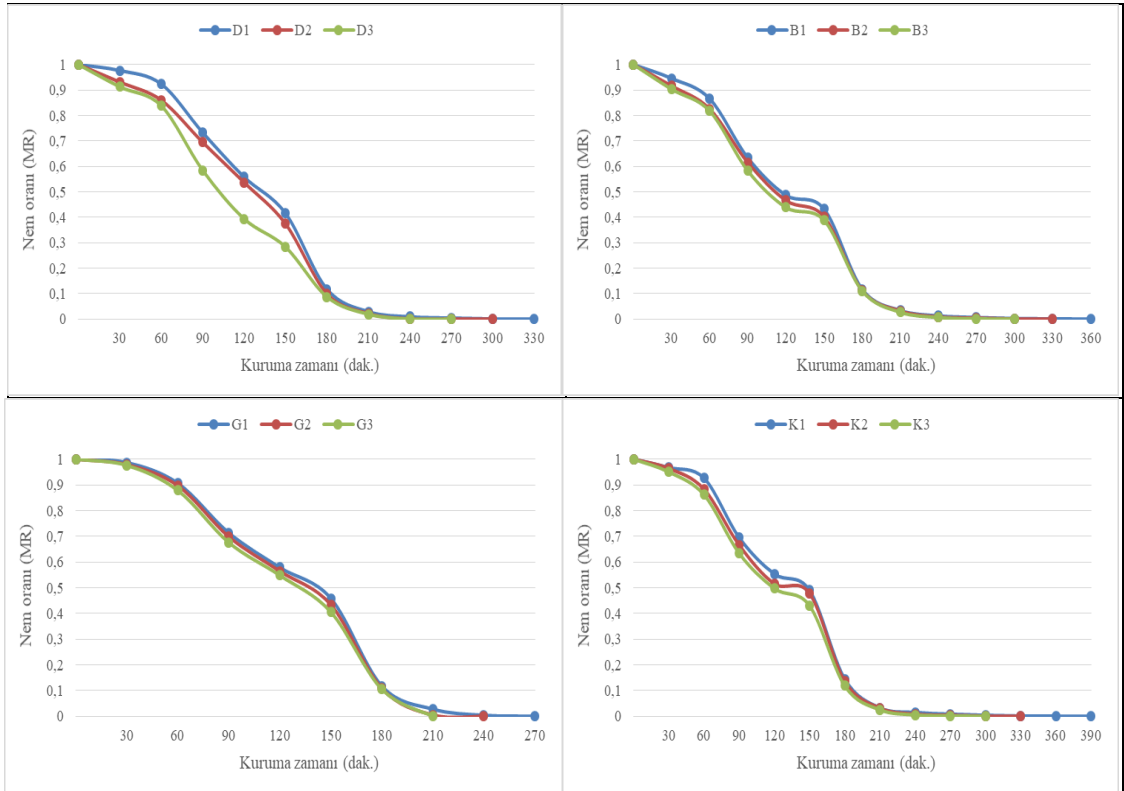
Bütün halde kurutulan çilek örneklerinin kuruma süreleri D1 noktasında 510. dakikada, D2 noktasında 450. dakikada, D3 noktasında 390. dakikada, B1 noktasında 540. dakikada, B2 noktasında 510. dakikada, B3 noktasında 480. dakikada, K1 noktasında 570. dakikada, K2 noktasında 540. dakikada, K3 noktasında 480. dakikada, G1 noktasında 450. dakikada, G2 noktasında 390. dakikada, G3 noktasında 360. dakikada denge nemine ulaşmıştır (Şekil 4.17.).

Çilek örneklerindeki nem miktarı % 89'dan kütle değişiminin durma noktasına geldiği anda sıfır olarak belirlenmiştir. Kurutma ürünlerinde istenilen nem içeriğinin sıfır olması istenmez. Tarım ürünlerinin özelliklerine bağlı olarak kurutulmuş ürün içerisinde her zaman bir miktar su bulunmaktadır. Kurutma işleminin temel amacı ürün içerisindeki su miktarının kabul edilebilir seviyede tutulmasıdır. Çilek örneklerine bakıldığında bu su miktarının %10-15 arasında olması beklenmektedir.

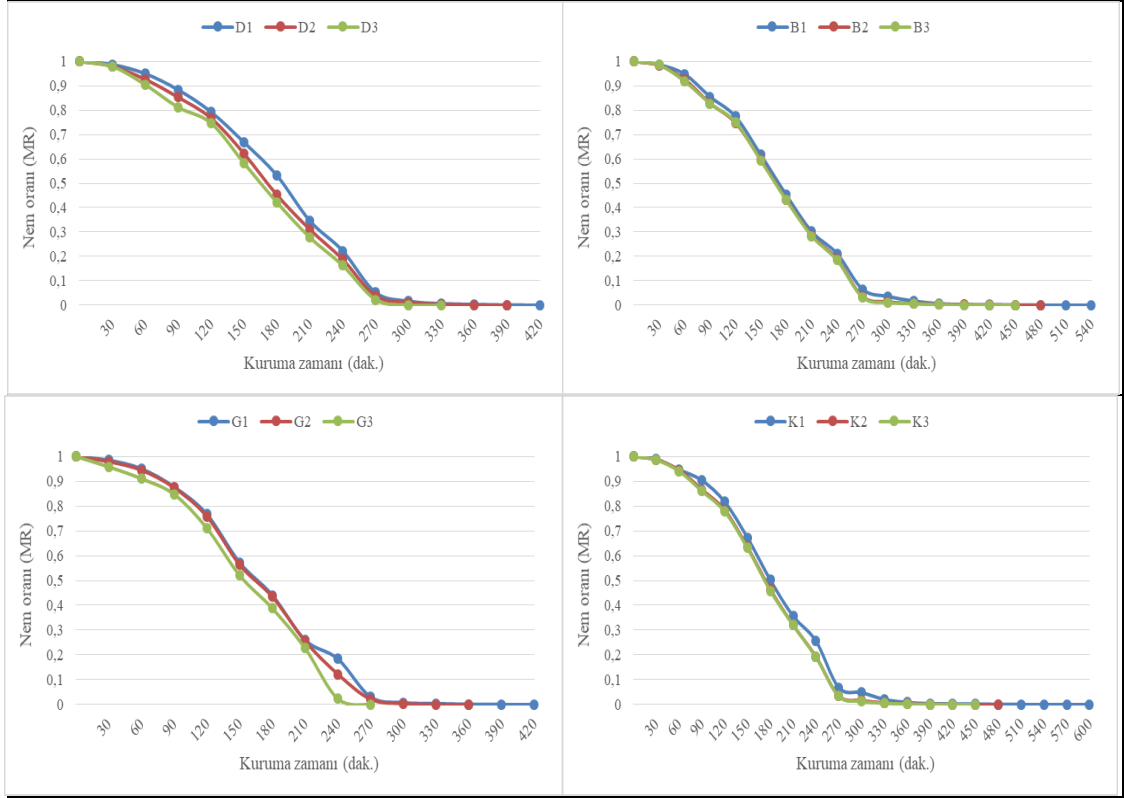
4.6. Nem Oranı (MR) – Kuruma Zamanı Grafikleri



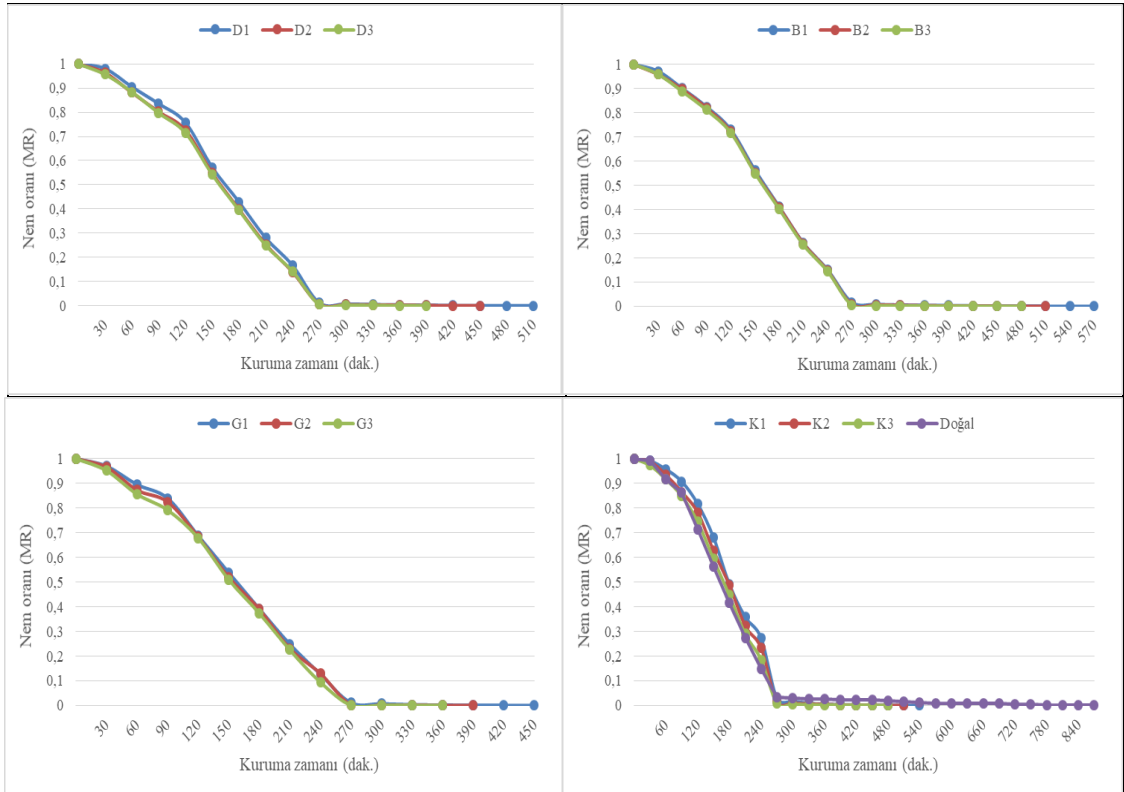
Şekil 4.18. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.19. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi



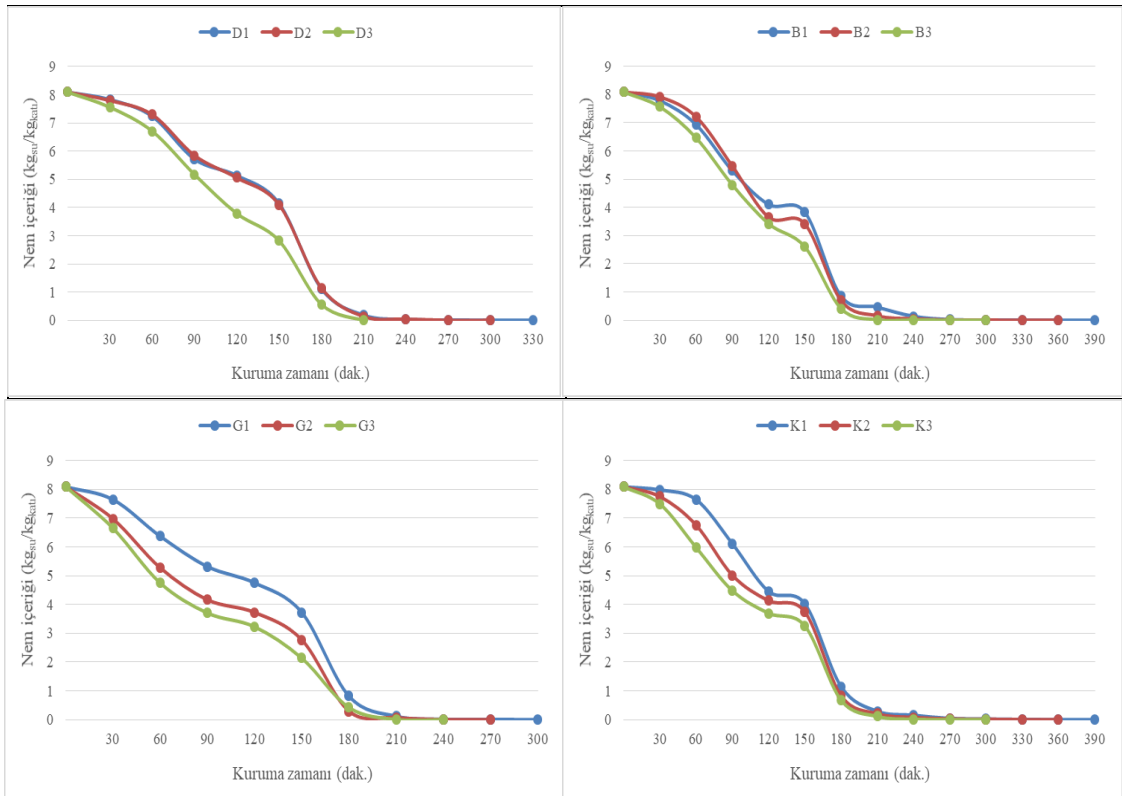
Şekil 4.20. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi



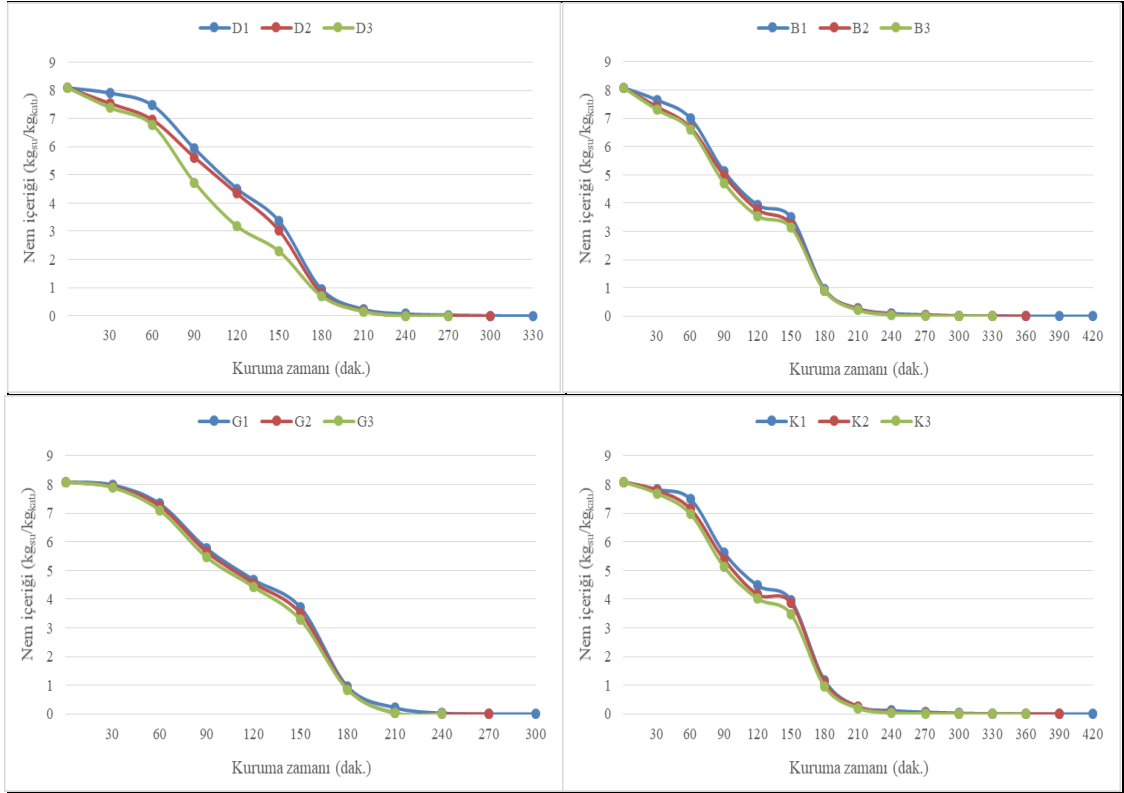
Şekil 4.21. Bütün haldeki çileklere ait nem oranının kuruma zamanına göre değişimi

Herhangi bir t anında çilek içerisinde bulunan nem miktarının çileğin başlangıçta sahip olduğu nem miktarına oranı boyutsuz nem oranı olarak ifade edilmektedir. Nem oranı 3 mm kalınlığındaki örneklerde nem oranı 180. dakikaya kadar (Şekil 4.18.), 5 mm kalınlığındaki örneklerde nem oranı 210. dakikaya kadar (Şekil 4.19.), 7 mm kalınlığındaki örneklerde 270. dakikaya kadar (Şekil 4.20.) ve bütün haldeki çilek örneklerindeki nem oranı 270. dakikaya kadar (Şekil 4.21.) hızlı bir şekilde azalmaktadır. Belirtilen zamanlardan sonra nem oranı değişimi azalmaktadır.

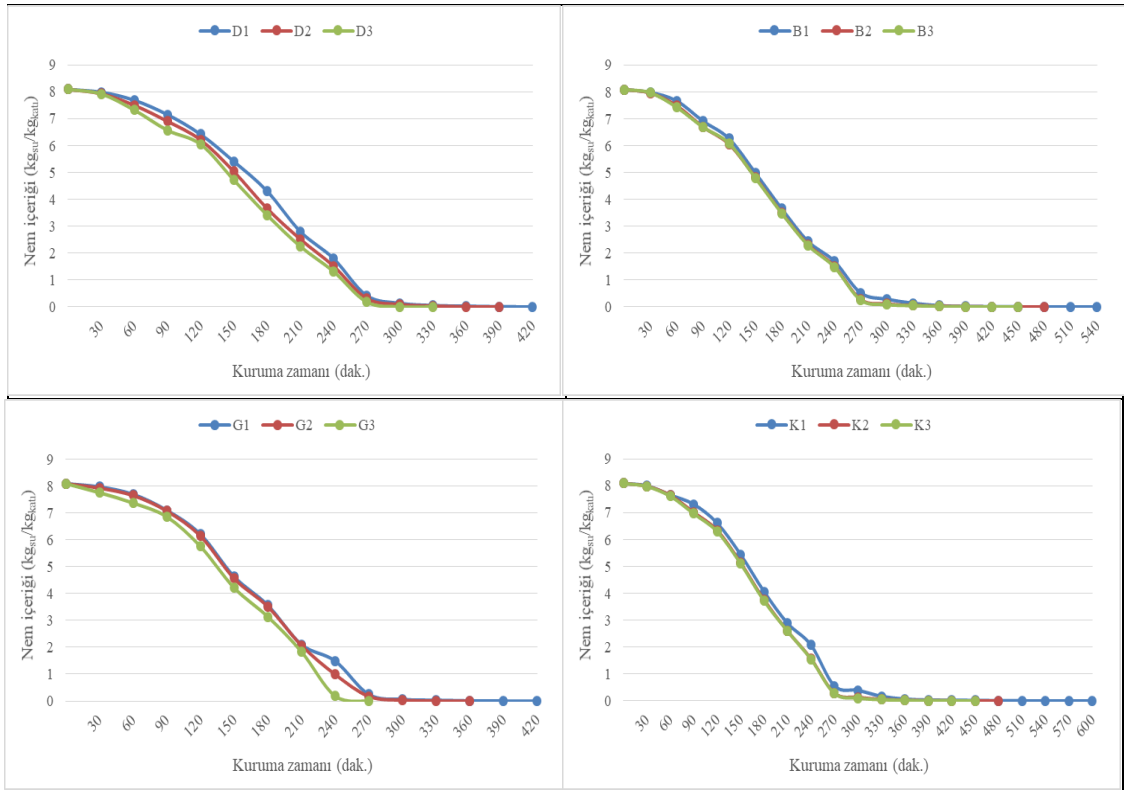
4.7. Nem İçeriği – Kuruma Zamanı Grafikleri



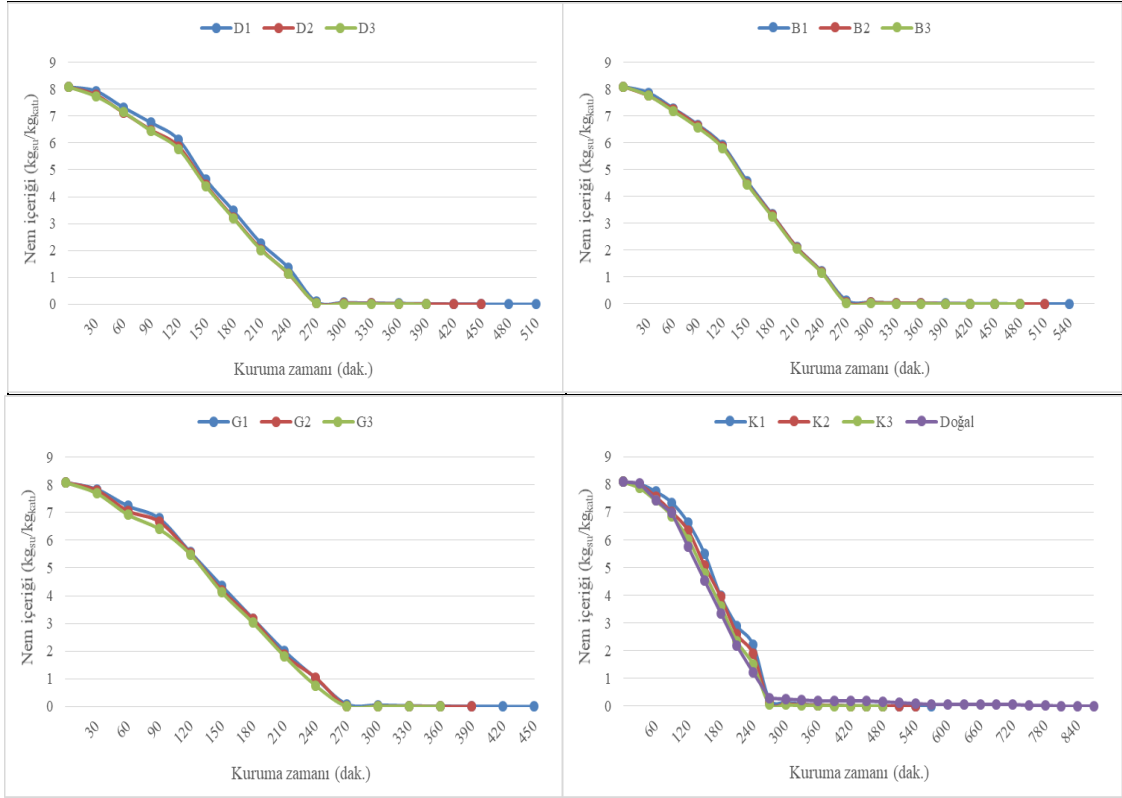
Şekil 4.22. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.23. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.24. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi

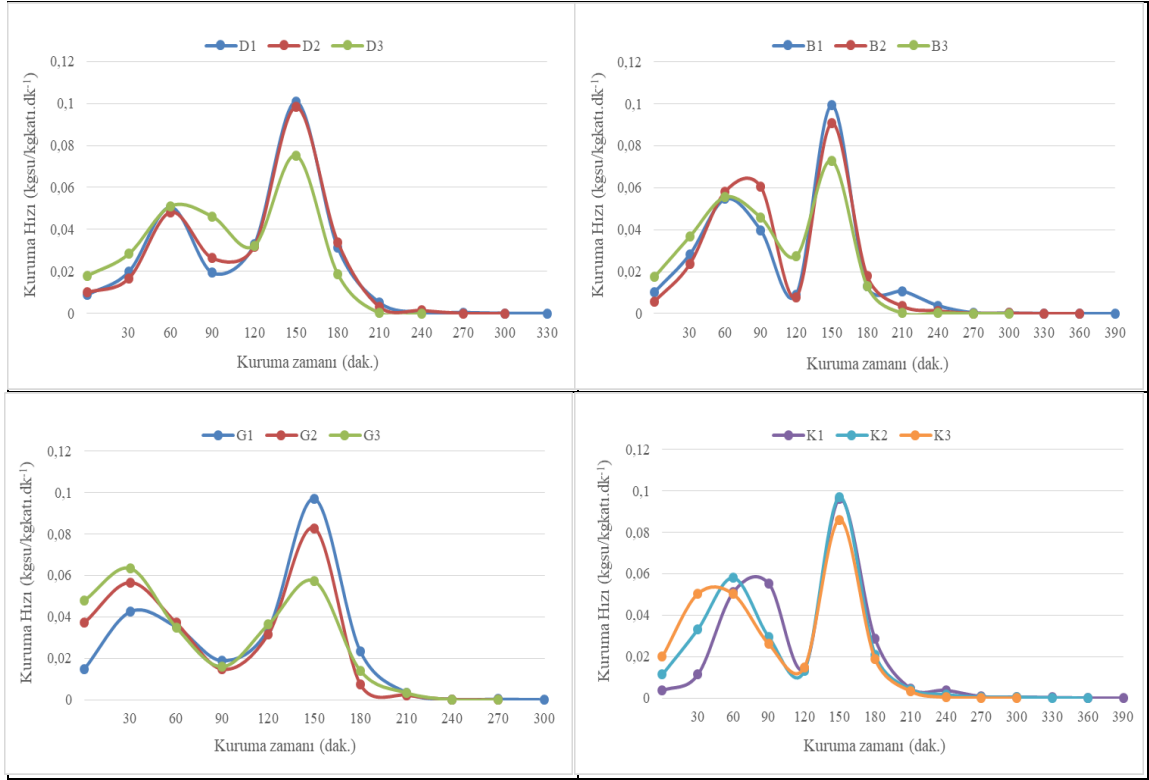


Şekil 4.25. Bütün haldeki çileklere ait nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi

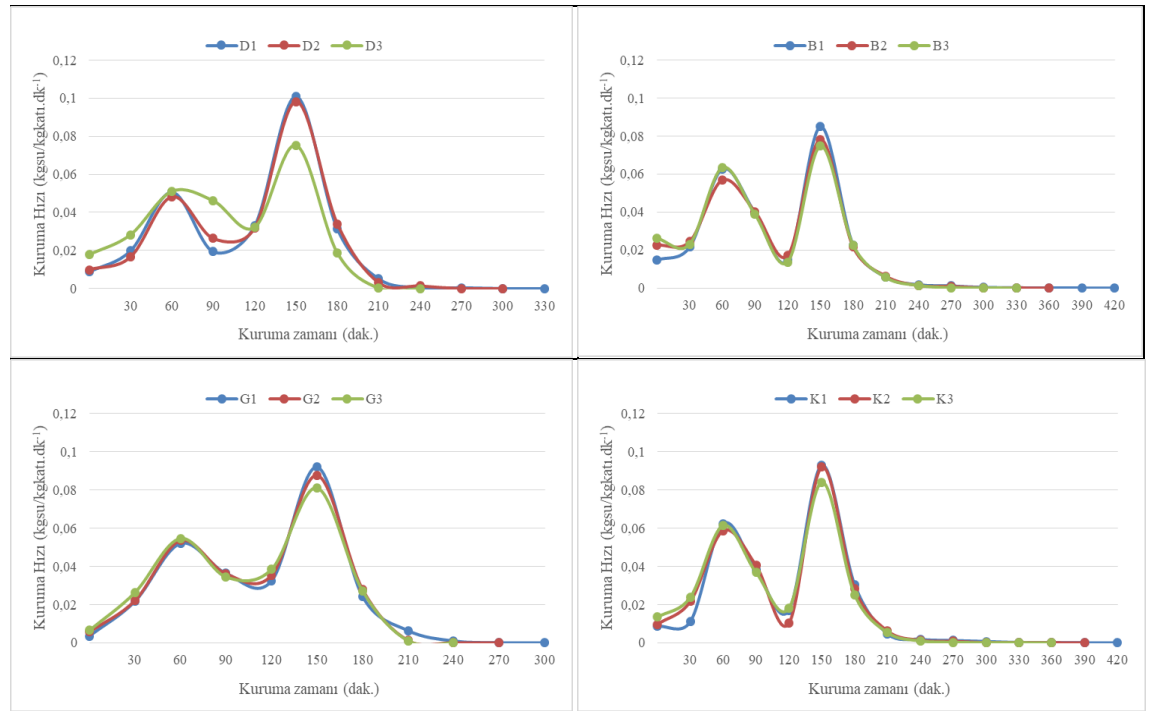
Nem içeriği yaş ürün içerisindeki nem miktarının kuru ürünlerdeki nem miktarına oranıdır. Grafiklere bakıldığında çilekteki nem içeriği en fazla 8,09'dur. Yani yaş çilek içerisindeki nem miktarı kuru çilek içerisindeki nem miktarının 8,09 katıdır.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere 3 mm kalınlığındaki örneklerde nem içeriği 180. dakikaya kadar (Şekil 4.22.), 5 mm kalınlığındaki örneklerde nem içeriği 210. dakikaya kadar (Şekil 4.23.), 7 mm kalınlığındaki örneklerde 270. dakikaya kadar (Şekil 4.24.) ve bütün haldeki çilek örneklerindeki nem içeriği 270. dakikaya kadar (Şekil 4.25.) sürekli azalmaktadır. Çilek örnekleri denge nemine ulaştığında nem içeriği sıfır olmaktadır.

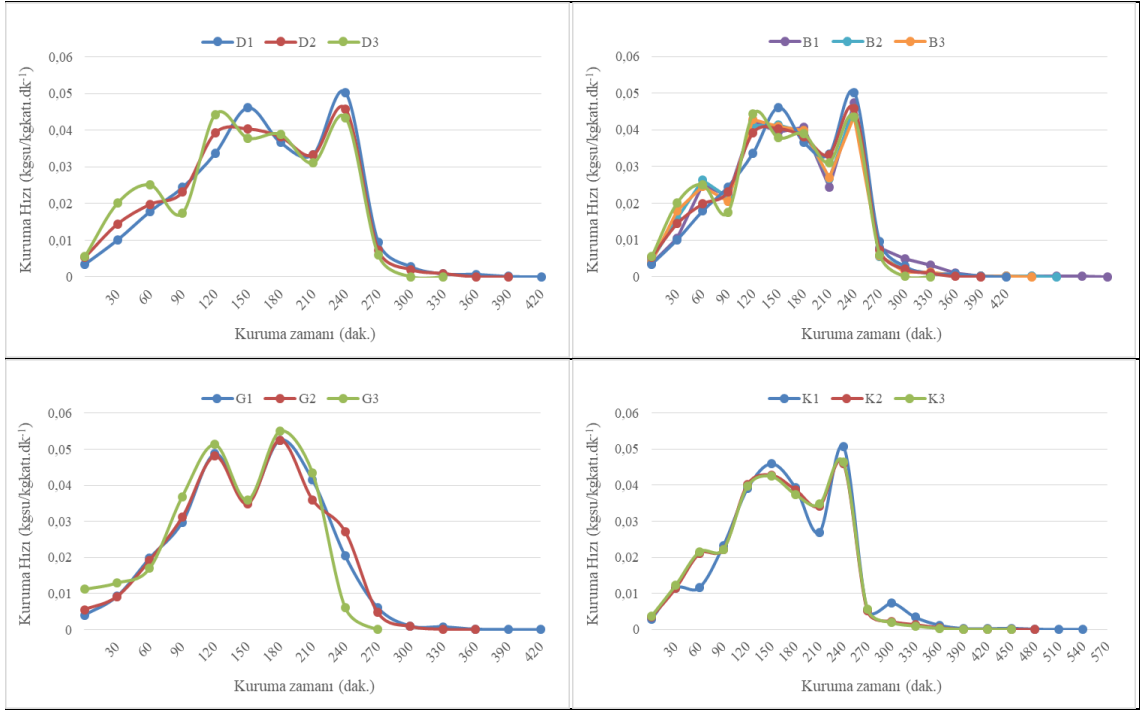
4.8. Kuruma Hızı – Kuruma Zamanı Grafikleri



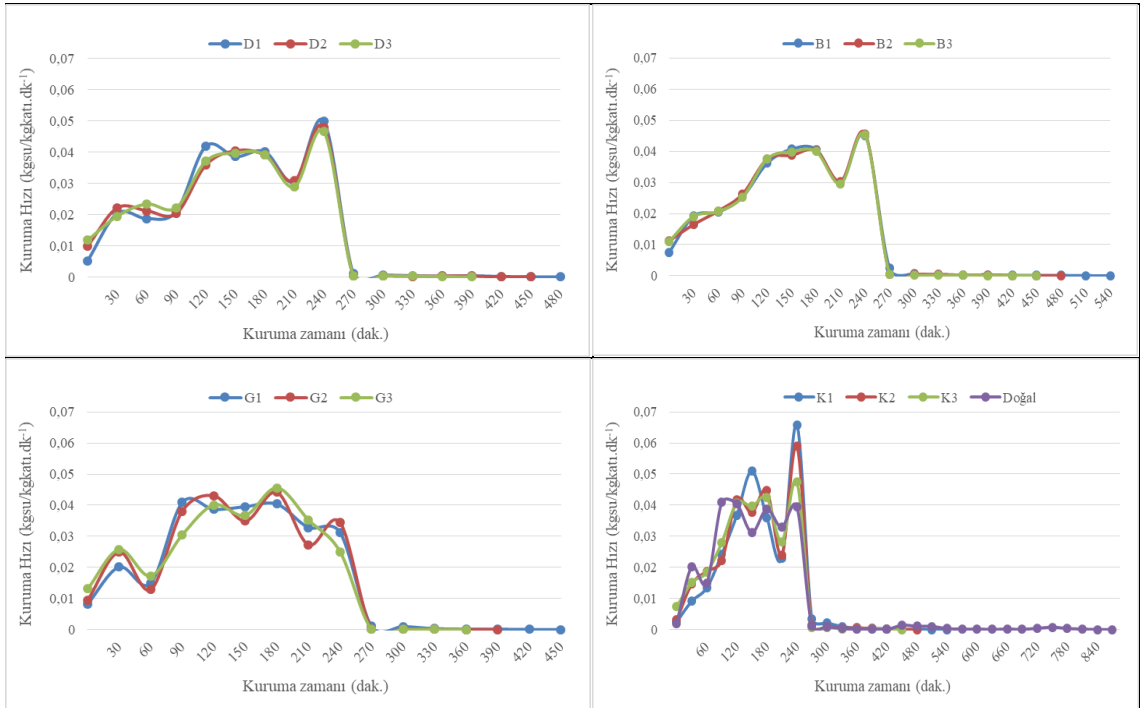
Şekil 4.26. 3 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.27. 5 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.28. 7 mm kalınlıktaki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 4.29. Bütün haldeki çileklere ait kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi

Kurutma işleminde en önemli iki parametre kurutma hava sıcaklığı ve hava hızıdır. Güneş bacası sera örtü alanında yapılan kurutma işleminde kurutma hava sıcaklığı ve hava hızı sabit olmadığından dolayı kurutma hızı güneş ışınımına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Kuruma hızı kuruma zamanı değişimlerine bakıldığında kuruma hızında öncelikle kurutma hava sıcaklığı ve hava hızındaki artıştan dolayı bir artış yaşandığı görülmektedir. Sonrasında ise kurutulan çilek örneklerinin kaybettikleri nem miktarı kurutma hava sıcaklığı ve hava hızına göre daha baskın bir parametre haline geldiğinden kurutma hızında bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Sistem dengeye ulaştıktan sonra artan kurutma hava sıcaklığı ve hava hızı tekrardan nem miktarına göre daha etkili parametre haline geldiğinden kurutma hızında bir artış meydana gelmiştir. Kurutma hava sıcaklığının ve hava hızının azalması ve çilek örneklerinin kaybettiği nem miktarının artmasıyla birlikte kurutma hızında düşüş yaşandığı görülmektedir.

Yukarıdaki grafiklere bakıldığında çileklerin kuruma hızları 3 mm çilek örnekleri için maksimum $0.1008 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı.dak.}}^{-1}$ (Şekil 4.26.), 5 mm çilek örnekleri için maksimum $0.093 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı.dak.}}^{-1}$ (Şekil 4.27.), 7 mm çilek örnekleri için maksimum $0.055 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı.dak.}}^{-1}$ (Şekil 4.28.), bütün halde kurutulan çilek örnekleri için maksimum 0.065 1/dak. , doğal kurutmada ise maksimum $0.040 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı.dak.}}^{-1}$ (Şekil 4.29.) olduğu görülmektedir.

Tüm kalınlıklarda güney yönünde ve baca girişlerindeki yani G3 noktasındaki ortalama kuruma hızının diğer bölge ve noktalara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Grafiklere bakıldığında (Şekil 4.26., Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29.) 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin 240. dakikadaki tüm noktalardaki kuruma hızları, 5 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin 270. dakikadaki tüm noktalardaki kuruma hızları, 7 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin 360. dakikadaki tüm noktalardaki kuruma hızları ve bütün halde kurutulmuş çilek örneklerinin 270. dakikadaki tüm noktalardaki kuruma hızlarının hemen hemen birbirlerine eşit olduğu görülmektedir. Kurumaya başladıktan belirli bir süre sonra nem içerikleri eşit olacağından tüm noktalardaki kuruma hızları da hemen hemen birbirine eşit olacaktır.

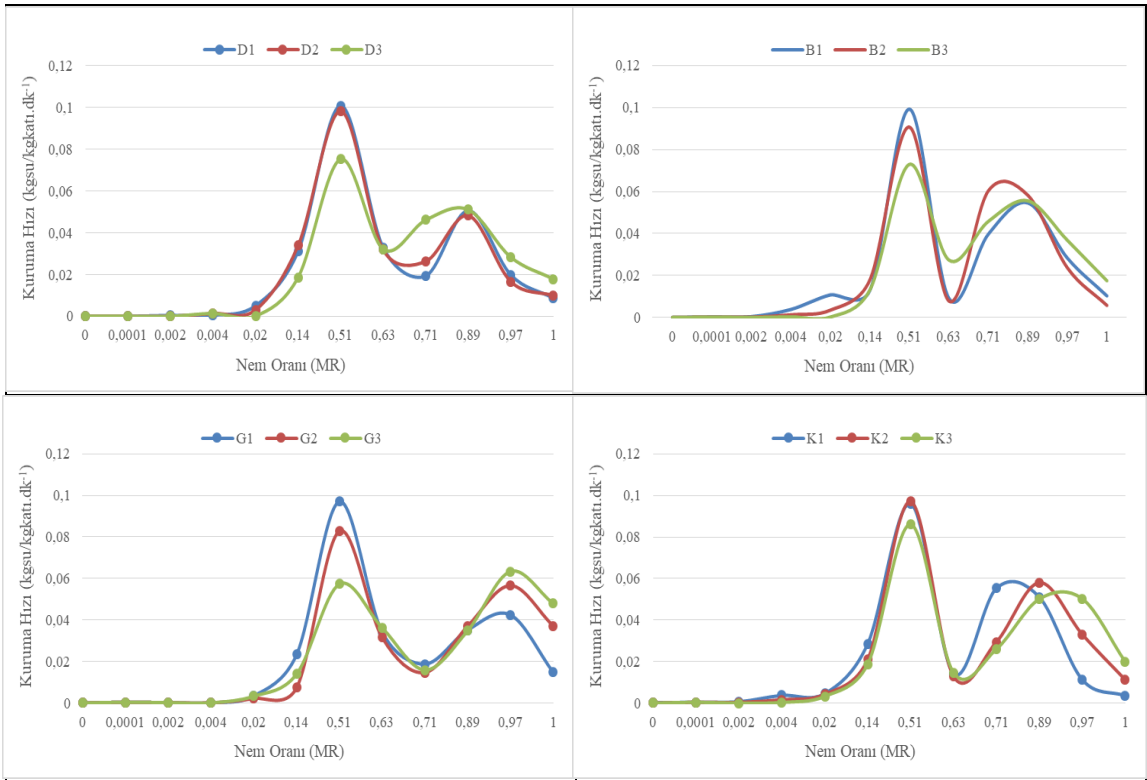
Kurutma deneyleri yaklaşık aynı güneş ışıınım değerlerine sahip günlerde yapılmasına rağmen 3 mm kalınlığındaki çileklerin 5 mm kalınlıktaki, 7 mm kalınlıktaki ve bütün haldeki çilek örneklerine göre kuruma hızının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çilek örneklerinin kuruma hızları kalınlığa göre sıralandığında $3\text{mm} > 5\text{mm} > 7\text{mm} > \text{bütün}$ şeklinde bir sıralama elde edilmiştir. Yani kalınlık arttıkça kuruma hızında bir azalma, kuruma süresinde artış olduğu belirlenmiştir.

Shishegharha ve ark. (2002) dilim ve bütün haldeki çilekleri örnekleri üzerinde yaptıkları kurutma çalışmalarında kurutulan ürünün kalınlığının artmasının kuruma süresinin artmasına, kuruma hızının azalmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen verilerin literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

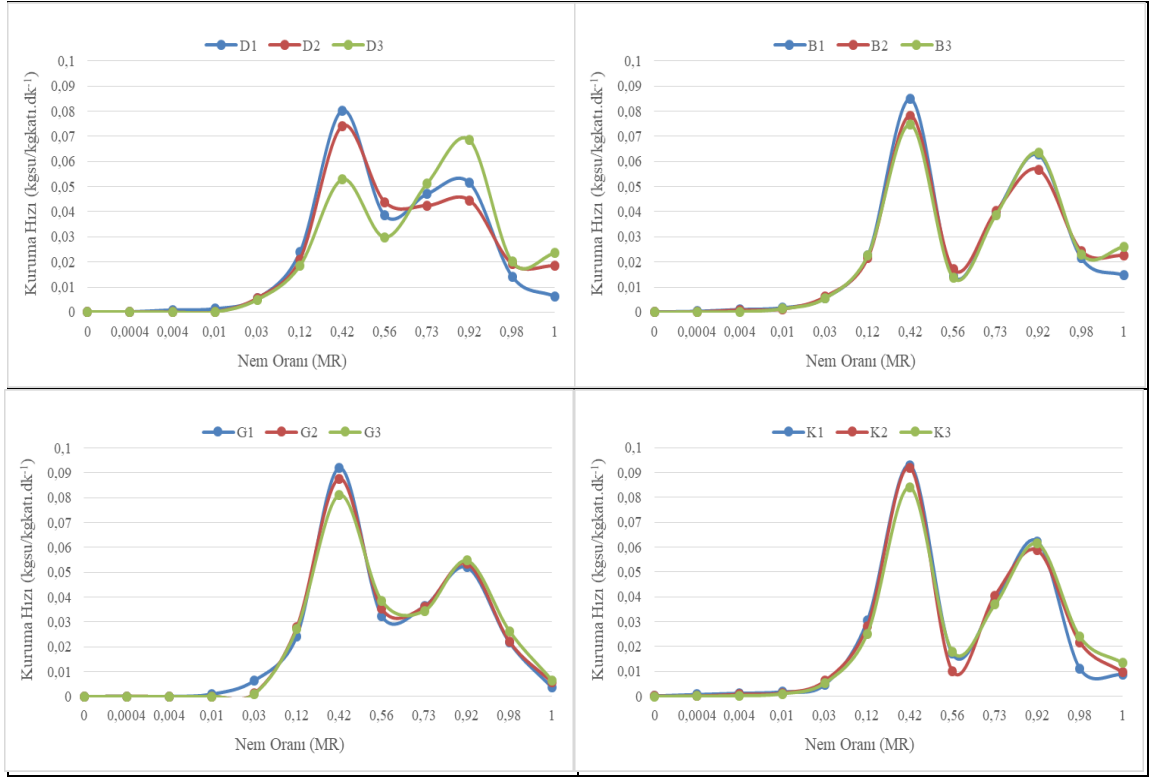
Çalışmamızda kuruma hızı zaman grafikleri incelendiğinde hava sıcaklığının ve güneş radyasyonunun en fazla olduğu zaman dilimlerinde kuruma hızının da arttığı belirlenmiştir. Nitekim literatürdeki çalışmalar da verilerimizi desteklemektedir.

Karaaslan ve Balta (2014), Al-Hilpy ve AlRikabi (2013) ve İzli (2016) yaptıkları farklı deneysel çalışmalarında kurutma sıcaklıklarının ve mikrodalga güçlerinin artmasının kuruma hızını da arttırdığını, kuruma süresini azalttığını ayrı ayrı belirlemişlerdir.

4.9. Kuruma Hızı – Nem Oranı Grafikleri



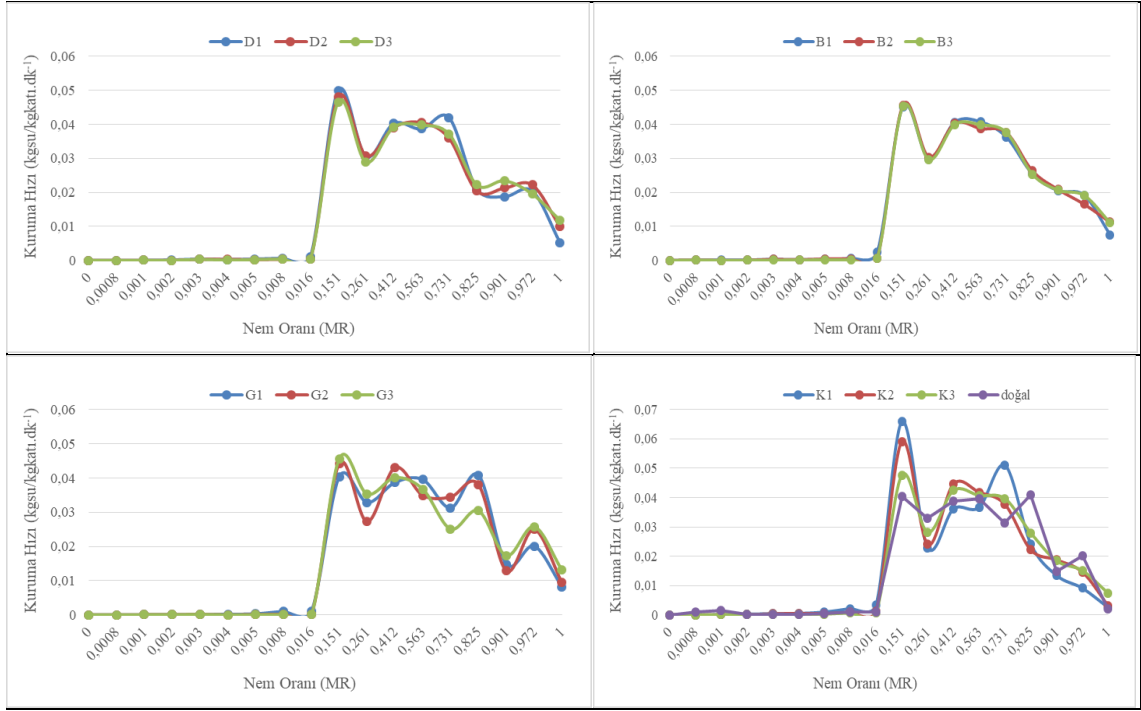
Şekil 4.30. 3 mm kalınlıktaki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi



Şekil 4.31. 5 mm kalınlıktaki çilelerin kuruma hızı – nem oranı değişimi



Şekil 4.32. 7 mm kalınlıktaki çilelerin kuruma hızı – nem oranı değişimi



Şekil 4.33. Bütün haldeki çileklerin kuruma hızı – nem oranı değişimi

Grafiklere bakıldığında (Şekil 4.30., Şekil 4.31., Şekil 4.32., Şekil 4.33.) belirli bir nem oranından sonra ürünün nem oranının artması kuruma hızını artırdığı görülmektedir. Ürün kurutulmaya başladığındaki nem oranı fazla olduğundan kuruma hızı daha fazladır. Ürün kurudukça ürün içerisindeki nem miktarı azalacağından kuruma hızının azalacağı söylenebilir.

Grafiklerden anlaşılabileceği üzere oranı belirli bir değerin altında olduğunda ölçüm alınan noktalardaki kuruma hızlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.02 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ 'ye kadar (Şekil 4.30.), 5 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.01 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerine kadar (Şekil 4.31.), 7 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.02 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerine kadar (Şekil 4.32.), bütün haldeki çilek örneklerindeki nem oranı $0.016 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerine kadar (Şekil 4.33.) kuruma hızlarının birbirine çok yakın değerde olduğu görülmektedir. Bu değerlerden sonra kuruma hızları artarak 3 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.51 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerinde, 5 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.42 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerinde, 7 mm kalınlıktaki çilek örneklerindeki nem oranı $0.22 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerinde, bütün haldeki çilek örneklerindeki nem oranı $0.151 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{katı}}.\text{dak.}^{-1}$ değerinde maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Ölçüm noktalarına göre kuruma süreleri (dak.)

Kalınlık	D1	D2	D3	B1	B2	B3	K1	K2	K3	G1	G2	G3	Doğal
3 mm	330	300	240	390	360	300	390	360	300	300	270	210	
5 mm	330	300	270	420	360	330	420	390	360	300	270	240	
7mm	420	390	330	540	480	450	510	480	450	420	360	270	
Bütün	510	450	390	540	510	480	570	540	480	450	390	360	870

Tablo 4.1.’de görüldüğü gibi tüm yönlerin G3 noktası kurutma sürelerinden de anlaşılacağı üzere kurutulan çileklerin kalınlığı arttıkça kuruma süresinin de arttığı belirlenmiştir.

Güneş bacası sera örtüsü altındaki en kısa kuruma süresi 210 dakika ile G3 bölgesindeki 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinde tespit edilmiştir. Güneş bacası sera örtüsü altındaki en uzun kuruma süresi ise 570 dakika ile bütün haldeki çileklerde, K1 bölgesinde tespit edilmiştir. Ayrıca bütün haldeki kurutma işleminde doğal kurutma süresinin güneş bacası sera örtüsü altında kurutma süresinden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1.’de görüldüğü gibi güneş bacası sera örtü alanında yapılan kurutma işlem performansları karşılaştırıldığında en iyi kurutma yönünün “**Güney**” yönü olduğu, en iyi kurutma noktasının ise baca giriş bölgesi olan “**G3**” noktası olduğu belirlenmiştir.

Literatüre bakıldığında sıcaklık artışının kuruma süresini kısalttığı yapılan farklı çalışmalar sonucunda ve bu çalışmada da belirlenmiştir. Güneş bacalarının yapısal özelliklerinden dolayı güneş bacalarının sera örtü alanlarının sıcaklıkları çevrelerine göre daha fazladır. Bu sıcaklık farkları sayesinde güneş bacası sera örtü alanları kurutma işlemleri için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Güneş bacası sera örtüsü alanında kurutulan bütün haldeki çilek örnekleri ile doğal ortamda güneşte kurutulan çilek örnekleri karşılaştırıldığında güneş bacası sera örtüsü altındaki en kısa kuruma süresi 360 dakika ile G3 bölgesinde, güneşte doğal kurutmada ise kuruma süresinin 870 dakika olduğu tespit edilmiştir. Güneş bacası sera örtüsü alanında yapılan kurutma işlemi doğal kurutmaya göre kuruma süresinin **%58,6** azaldığı tespit edilmiştir.

Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan kurutma işleminin doğal kurutmaya göre kuruma süresini kısaltması, kısalan kuruma süresi sayesinde birim zamanda daha fazla ürün kurutulabilmesi, sadece güneş enerjisi kullanılarak, ekstra bir enerji kaynağı kullanılmamasının sağladığı ekonomiklik, ekstra kurutma alanı kullanılmadan sadece atıl durumdaki güneş bacası sera örtü alanı kullanılarak kurutmanın yapılması gibi avantajlarından dolayı güneş bacası sera örtü alanlarında kurutma yapılabileceği belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Çileğin farklı kurutma yöntem ve sıcaklıklarındaki kuruma süreleri

Kurutma Yöntemi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (Saat)	Kaynak
Etüv’de Kurutma	50	22,5	
Vakumlu Etüv’de Kurutma	50	31,5	
Mikrodalga Kurutma	50	8,75	Çakmak, 2019
Laboratuvar Tipi Konvektif Kurutucuda Kurutma	50	13,5	
Güneşte (Doğal) Kurutma	min	15	Bu tez çalışması sonucunda elde edilen verilere göre
	max	52	Çakmak, 2019
Güneş Bacasında Kurutma	min	4,5	Bu tez çalışması sonucunda elde edilen verilere göre
	max	9	

Çakmak 2019, yaptığı çalışmasında ikiye böldüğü Albion türü çilekleri kullanarak yaptığı çalışmasında çilek örneklerinin nem miktarını ETÜV’ de yaklaşık olarak % 88 tespit etmiştir. Kurutma deneylerinin çilek örnekleri denge nemine ulaşmaya kadar sürdürmüş ve elde ettiği sonuçlardan farklı kurutma yöntemlerinden elde ettiği kurutma süreleri Tablo 4.2.’de görülmektedir.

Çakmak yaptığı araştırmasında 50 °C sıcaklıkta kurutma süreleri ETÜV kurutmada 22.5 saat, vakumlu ETÜV kurutmada 31.5 saat, konvektif kurutucuda 13.5 saat, mikrodalga kurutucuda 8.75 saat ve doğal kurutmada ise 52 saat olarak ölçmüştür.

Güneş bacası sera örtü alanında G3 bölgesinin sıcaklığı ortalama 50 °C olduğu varsayılarak ve güneş bacası sera örtüsünde elde edilen minimum kurutma süresi ile karşılaştırılacak olunursa kurutma süreleri ETÜV'e göre 5 kat, vakumlu ETÜV'e göre 7 kat, konvektif kurutucuya göre 3 kat mikrodalga kurutmaya göre ise 1,94 kat azalma olduğu görülmektedir.

7 mm kalınlıktaki çilek örneklerinin kurutulmasında elde edilen maksimum kurutma süresi ile karşılaştırılacak olunursa kurutma süreleri ETÜV'e göre 2,5 kat, vakumlu ETÜV'e göre 3,5 kat, konvektif kurutucuya göre 1,5 kat azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2.'deki verilerde de görüldüğü gibi güneş bacası sera örtü alanındaki kurutma süresi diğer kurutma yöntemlerine göre daha kısa olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında Güneş bacası sera örtüsü altında kurutma yapılmasının daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. 3 mm kalınlığındaki çilek için literatürdeki güneş enerjili kurutucudaki kuruma süresinin güneş bacası ile kıyaslanması

Kurutma Yöntemi	Ortalama Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (Saat)		Kaynak
Güneşte Enerjisi Destekli Kurutma	51°C	Min	6	Cankurtaran, 2018
		Max	8	
Güneş Bacasında Kurutma	49,1 °C	Min	3,5	Deneysel Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre
	40 °C	Max	6,5	

Tablo 4.3.'te görüldüğü gibi Cankurtaran (2018), 3 mm kalınlığındaki çilek örnekleri ile yapmış olduğu deneysel çalışmada güneş enerjili kabin tipi kurutma sisteminde çilek örneklerinin kuruma süresinin minimum 6 saat, maksimum 8 saat olarak tespit etmiştir. Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan ve 3 mm kalınlığındaki çilek örneklerinin kurutulması deneyinde sera örtü alanının ortalama sıcaklığı 40 °C ve minimum kuruma süresi 3,5 saat maksimum kuruma süresi ise 6,5 saat olarak ölçülmüştür. Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan kurutmanın güneş enerjili kurutuma sistemine göre kurutma süresini minimum 1,21 kat, maksimum 2,28 kat azalttığı görülmektedir.

Literatürde yapılan araştırmalar ile karşılaştırıldığında güneş bacası sera örtüsü alanında yapılan kurutma işleminin başlıca avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kurutma işlemi için fazladan kurutma alanına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Kurutma süresi diğer birçok kurutma yöntemine göre daha kısadır.
- Sadece güneş enerjisi kullanıldığından ekstra bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadığından dolayı ekonomiktir.
- Tek enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanıldığı için çevre dostu bir yöntemdir.
- Güneş bacalarının bakım ve onarım maliyetleri düşüktür.

Yukarıda sıraladığımız avantajlarına bakıldığında güneş bacası sera örtü alanlarının kurutma işlemi için elverişli ve uygun bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu deneysel tez çalışmasında Batman iklim koşullarında Albion türü Sason çilekleri kullanılarak güneş bacası sera örtüsü altında farklı yön ve belirli noktalarda kurutma işlemi incelenmiştir. Çalışma sonucu ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Güneş bacası sera örtüsü alanında yapılan değişiklikler neticesinde Avcı (2022) yapmış olduğu çalışmaya kıyasla sera örtü alanında hava sıcaklığı 13.1 °C ve zemin sıcaklığı da 10.2 °C arttığı tespit edilmiştir.
2. Sera örtüsü altındaki sıcaklığın ve güneş ışınım şiddetinin en fazla olduğu 13.00 ile 15.00 saatleri arasında kuruma hızının da arttığı belirlenmiştir.
3. Sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin artması kuruma hızını arttırdığını, kuruma süresini kısalttığı belirlenmiştir.
4. Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan kurutma işlemi için en uygun yön “Güney” yönü olduğu belirlenmiştir.
5. Sera örtüsü altındaki kurutma işlemi için en uygun yerin baca giriş bölgesi yani 3. nokta (G3) olduğu tespit edilmiştir.
6. Güneş bacası sera örtü alanında yapılan kurutma süresi güneşte (doğal) kurutma süresine göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir.
7. Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan kurutma işleminin kuruma süresi literatürde yapılan kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında bazı kurutma yöntemlerine (ETÜV, vakumlu ETÜV, konvektif kurutucuya, Güneş enerjili kurutucuya) göre daha kısa olduğu anlaşılmıştır.
8. Güneş bacası sera örtüsü altında kurutma işleminin uygun olduğu anlaşılmıştır.

5.2. Öneriler

- Kurutma ürünleri Güneş bacası sera örtü alanından ısı enerjisi çekerek bünyelerinde bulunan suyu uzaklaştırdıklarından sera örtüsünde bir miktar sıcaklık düşüşüne neden olur. Bu nedenle Güneş bacası sera örtüsü altında yapılan kurutma işleminin güneş bacası sisteminden elde edilen elektrik enerjisi verimini nasıl etkilediği ayrı bir çalışma olarak incelenebilir.
- Güneş bacalarının sera örtü alanlarının sıcaklıklarının yüksek olması, örtü alanlarının konstrüksiyonunun insanların giriş çıkışları ve ölçümleri zorlayacak şekilde olmasından dolayı sera örtü alanlarında hareketli bir mekanizma yapılarak ölçüm ve ürün kontrolünün kolaylaştırılması sağlanabilir.
- Güneş bacaları sera örtü alanlarında farklı tarım ürünlerinin kurutma performansları incelenerek, güneş bacalarının kurutma işlemi açısından uygunluğu irdelenebilir.
- Güneş bacaları sera örtü alanlarının kurutma performansları farklı kurutma teknikleri ile karşılaştırılması incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Adak, N., Heybeli, N. ve Ertekin, C., 2017, Infrared drying of strawberry, Food air drying freeze - drying and swell - drying: application on the biological compounds preservation, (Phd. Thesis), *University of La Rochelle*, France.
- Adıyaman, Ç., 2012, Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 60-75.
- Ağaçbiçer, G. 2010, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine katkısı ve yapılan SWOT analizler. Yüksek Lisans Tezi. *Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çanakkale.
- Akbulut, A., 2006, Elâzığ yöresinde yetişen dutların yeni geliştirilen havalı kolektörler yardımıyla kurutulması ve kurutma parametrelerinin elde edilmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H. ve Öztürk, M., 2012. Drying of tomato in a photovoltaic and thermal solar-powered continuous dryer. *Journal of Agricultural Sciences*.
- Al-Hilphy, A.R.S. ve AlRikabi, A.K.J., 2013, Mathematical modeling and experimental study on thin layer halojen dryer of strawberry and study it 's effect on antioxidant activity, *American Journal of Agricultural ve Biological Sciences*, 8(4), 268 - 281.
- Amami, E., ve ark 2017, Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry, *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300.
- Anonim, 2009, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünya'da ve Türkiye'de güneş enerjisi, *EKC Form Ofset*, ISBN (2009): 978-605.
- Anonim, 2012, MEGEP Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, MEB, Ankara, ss 12-23.
- Anonim, 2019, En Büyük 10 Jeotermal Enerji Santrali [online], Türkiye, <https://www.enerjiatlasi.com/en-buyuk/jeotermal> [Ziyaret Tarihi: 23 Aralık 2021].
- Anonim, 2021a, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/185325/mod_resource/content/1/5.%20B%C3%B6l%C3%BCm.pdf [Ziyaret Tarihi:13 Nisan 2021].
- Anonim, 2021b, [http://kutuphane.uludag.edu.tr/Univder/PDF/ziraat/2004-18\(1\)/MK-8.pdf](http://kutuphane.uludag.edu.tr/Univder/PDF/ziraat/2004-18(1)/MK-8.pdf)
- Anonim, 2021c, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sebzeleri%20Kurutma.pdf
- Anonim, 2022a, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-tabii-kaynaklar-komur> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2021].
- Anonim, 2022b, BP, 2021 Dünya Enerji İstatistikleri Raporu, <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energ>

- y-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-oil.pdf [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2021].
- Anonim, 2022c, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi/enerji-dogalgaz> [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2021].
- Anonim, 2022d, MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2022].
- Anonim, 2022e, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi/enerji-gunes> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2022].
- Anonim, 2022f, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.yegm.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2022].
- Anonim, 2022g, Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı Güneş Enerjisi Sektör Raporu 2011, <http://baka.gov.tr/uploads/1303486512gunes-Turkce-Katalog.pdf> [Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2022].
- Anonim, 2022h, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2022].
- Anonim, 2022i, http://www.kurutma.net/ozel_kurutma_sistemleri.html [Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2022].
- Anonim, 2022j, http://www.kurutma.net/urun_saklama_nemleri.html [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2022].
- Anonim, 2022k <https://www.foodelphi.com/sebze-kurutma-sicakliklari-ve-teknikleri-doc-dr-can-ertekin> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2022].
- Anonim, 2022l Meteoroloji genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=BATMAN> [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2022].
- Anonim, 2022m, MGM, Meteoroloji genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=A&m=BATMAN> [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2022].
- Anonim, 2022n https://web.archive.org/web/20131017152102/http://muslimheritage.com/topics/default.cfm?ArticleID=949#sec_4 [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2022].
- Anonim, 2022i <https://www.irhaltarim.com.tr/blog/gida-kurutucuda-susuzlastirabileceginiz-bazi-meyvelerin-listesi/102> [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2022].

- Anonymous, 2019, Wind Power Plant by Country, [online], Turkey, <http://en.enerjiatlası.com/wind-power-plant-by-country.html> [Ziyaret tarihi:23 Aralık 2019].
- Anonymous, 2020, “*Renewables 2020 Global Status Report*”, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), https://www.globalwomennet.org/wpcontent/uploads/2020/06/GSR2020_Full_Report_with_Endnotes.pdf [Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2020].
- ASAE, 1983, Moisture measurement-peants. ASAE Standart of ASAE S.410.1.Agr. Eng. Yearbook of Standarts, 329-331.
- Avcı A.S., 2022, Güneş bacası sistem performansının sayısal ve deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Borquez, R., Melo, D. ve Saavedra, C., 2015, Microwave- Vacuum Drying of Strawberries with Automatic Temperature Control. *Food Bioprocess Technol*, 8, 266-276.
- Bilgen, E., ve Rheault, J., 2005, Solar chimney power plants for high latitudes. *Solar Energy*, 79(5), 449-458.
- Bruijn, J. ve Borquez, R., 2014, Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 63, 42-48.
- Can, S., 2017, Spray drying strawberry and blueberry extracts, (M.Sc.Thesis), *University of Gaziantep*. Food Engineering, Gaziantep.
- Cankurtaran, E., 2018, Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Yezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.
- Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H., 2006, Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması. *Politeknik Dergisi*, Cilt 9, Sayı 4: 289-294.
- Cüce, E., Sen, H., ve Cuce, P.M., 2020, Numerical performance modelling of solar chimney power plants: Influence of chimney height for a pilot plant in Manzanares, Spain, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100704.
- Çakmak, N., 2019, Çilek meyvesinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin kuruma performansı ve kalite üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Tokat Gaziosman Paşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.
- Das, P., ve Chandramohan, V. P., 2018, Effect of chimney height and collector roof angle on flow parameters of solar updraft tower (SUT) plant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-13.
- Das, P., ve Chandramohan, V. P., 2018, CFD analysis on flow and performance parameters estimation of solar updraft tower (SUT) plant varying its geometrical

- configurations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(12), 1532-1546.
- Delgado, A.E. ve Rubiolo A.C., 2005, Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.*, 38, 135-142.
- Doğantan, Z.S., 1986, Kahramanmaraş biberlerinin kurutmaya yönelik fiziksel ve kimyasal özelliklerinin saptanması ile doğal koşullarda ve plastik örtü altında güneş toplayıcılarıyla kurutma üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı*.
- Doymaz, İ., 2008, Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 914-919.
- Ekechukwu O. V, & Norton B. (1999). Review of solar-energy drying systems III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 657-667. 79
- Ekechukwu, O.V., Norton, B., 1999, Review of solar energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40.615-655.
- Evans, S.D., Brambilla, A., Lane, D.M., Torreggiani, D. ve Hall, L.D., 2002, Magnetic Resonance Imaging of Strawberry (*Fragaria vesca*) Slices During Osmotic Dehydration and Air Drying. *LWT*, 35(2), 177-184.
- Faouzi, N.,2020, Solar thermal drying performance analysis of banana and peach in the region of Gafsa (Tunisia), *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 22.
- Gamboa-Santos, J. Montilla, A. Cárcel, J. A, Villamiel, M.& Garcia-Perez, J. V., 2014, Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128, 132-139.
- Gannon, A. J., ve von Backström, T. W., 2003, Solar chimney turbine performance. *Journal of Solar Energy Engineering*, 125(1), 101-106.
- Gholamalizadeh, E., ve Kim, M. H., 2016, CFD (computational fluid dynamics) analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof. *Energy*, 107, 661-667
- Gülçimen, F., 2008, Yeni tasarlanan havalı kolektörler yardımı ile reyhan ve nane kurutulması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 21-47s.
- Haaf, W., 1984, Solar chimneys: part II: preliminary test results from the Manzanares pilot plant, *International Journal of Sustainable Energy*, 2(2), 141-161.
- Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G. ve Schlaich, J., 1983, Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares, *International Journal of Solar Energy*, 2(1), 3- 20.

- Hamdan, M. O., 2010, Analytical thermal analysis of solar chimney power plant. In *ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability* (pp. 451-455). American Society of Mechanical Engineers.
- Huang, L.I., Zhang, M., Yan, W.Q., Mujumdar, A.S. ve Sun, D., 2008, Effect of coating Investigation of Strawberry Drying. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(1), 203 - 216.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2001, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayınları, İstanbul.
- IRENA, 2019, World Energy Council, Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050,
- İsaeva J., 2007, Kayısı kurutmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 32-80.
- İsmiç, B., 2015, Gelişmekte olan ülkelerde elektrik tüketimi, ekonomik büyüme ve nüfus ilişkisi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, ss.259-274
- İzli, N., 2016, Kayısının (*Prunus armeniaca* L.) konvektif, mikrodalga ve mikrodalga konvektif yöntemleriyle kurutulması ve matematiksel modellenmesi, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31, 375 - 384.
- Schlaich, J., Bergemann, R., Schiel, W. and Weinrebe, G., 2005, Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127, 117-124.
- Jiahui Jiang, Min Zhang, Sakamon Devahastin, Dongxing Yu 2021. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries, *LWT* Volume 145, June 2021, 111300
- Johnson, A.C. ve Al Mukhaini, E.M.A., 2016, Drying studies on peach and strawberry, *Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(special issue 2), 2062 - 2067.
- Karaaslan, S. ve Balta, A., 2014, Determination of suitable drying model for combined microwave - fan assisted convection drying of strawberry, *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(special issue 2), 2062 - 2067.
- Karakaş, A., 2014, OECD ve OECD dışı ülkelerde elektrik tüketimi, nüfus ve gelir ilişkisi: 1990-2011 dönemi için panel veri analizi, *Turkish Studies*, 9(2), 845-853.
- Koonsrisuk, A., 2012, Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants. *Energy*, 47(1), 582-589.
- Koonsrisuk A., 2013, Comparison of conventional solar chimney power plants and sloped solar chimney power plants using second law analysis, *Solar Energy*, 98, ss78– 84.

- Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2013, Mathematical modeling of solar chimney power plants, *Energy*, 51, 314-322p.
- Koonsrisuk, A., and Chitsomboon T., 2007, Dynamic similarity in solar chimney modeling, *Solar Energy*, 81, 1439-1446p.
- Koyun, A., 2006, Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22-70s.
- Kunt, S. (2008). Türkiye'nin 2008-2023 Yılları Arasındaki Enerji Gereksinimini Karşılama için Üç Farklı Senaryo, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Lagunas, L.M., Ramirez, J.R., Gracida, M.C., Torres, S.S. ve Bernal, G.B., 2017, Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*); Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230, 174-181.
- Lihui Zhang ,YuQiao, ChaoWang, Li Liao ,Defang Shi , Kejing An ,Jianzhong Hu , Jun Wang , Liu Shi (2021). Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices. *Food Chemistry* Volume 331, 30 November 2020, 127203
- Maas, J. L., Wang, S. Y. ve Galetta, G. J., 1996, Health enhancing properties of strawberry fruit, *Proceeding of The V North American Strawberry Conference*, In : Pritts, M. P., Chandler, C. K. and Crocker, T.E. (eds9). Orlando, Florida, 11-18.
- Macia, M.A., 2013, Comparatives studies of different drying process of strawberry hot air drying freeze - drying and swell - drying: application on the biological compounds preservation, (Phd. Thesis), *University of La Rochelle*. France.
- Mahmutoğlu, M. (2013). Türkiye Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerjinin Rolü. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara.
- Maritza, A.M., Sabah, M., Anaberta, C.M., Montejano-Gaitan, J.G. ve Allaf, K., 2012, Comparative study of various drying processes at physical and chemical properties of strawberries. *Procedia Engineering*, 42, 267-282.
- Menlik, T., Kırmacı, V. ve Usta, H., 2009, Modeling of freeze drying behaviors of strawberries by using artificial neural network, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29(2), 11-21.
- Nijman, Jan., 2020, *Geography: Realms, Regions, and Concepts* (20.bas.). Wiley. ISBN 978-1119607410.
- Pasumarthi, N., ve Sherif, S. A., 1998, Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part I: mathematical model development. *International Journal of Energy Research*, 22(3), 277-288.

- Proposa, V. ve Norton, I., 2017, Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven-drying and freeze drying performance. *LWT- Food Science and Technology*, 80, 401-408.
- Sarıbaş, E., 2015, Türkiye'deki enerji kaynakları ve izlenen enerji politikaları, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 62.
- Schlaich, J., 1995, The solar chimney: electricity from the sun, Edition Axel Menges, Stuttgart, Germany.
- Sen, H., ve Cuce, E., 2020, Dynamic pressure distributions in solar chimney power plants: A numerical research for the pilot plant in Manzanares, Spain, *WSSET Newsletter*, 12(1), 2-2.
- Shalaby, S. M., and Bek, M. A., 2014, Experimental investigation of a novel indirect solar dryer implementing PCM as energy storage medium. *Energy Conversion and Management*, 83, 1-8.
- Shishegharha, F., Makhlof, J. ve Ratti, C., 2002, Freeze- drying characteristics of strawberries, *Drying Technology*, 20(1), 131-145.
- Szandzinska, J., Kowalski, S.J. ve Stasiak, M., 2016, Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1065-1074.
- Tan, F., Canbolat, A.S, Yüce, B.E. ve Türkan, B., 2016, Experimental and numerical investigation of strawberry drying, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(1), 203 - 216.
- TÜİK, 2018, Konularına Göre İstatistikler, [online] http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 . [Ziyaret Tarihi: 27 Aralık 2021]
- Türemiş, N., Özgüven, A. I. ve Paydaş, S., 2000, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çilek yetiştiriciliği, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi Yay., Adana, 36s.48
- Türkmen E., Kurban M., Filik Ü.B. , 2009, Güneş bacaları ve Türkiye'de kullanılabilirliği, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, ss 223-226.
- Üçgül İ., Koyun A., 2010, Güneş bacası tasarım parametreleri ve performansının deneysel olarak incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 16, Sayı 3, ss 255-264.
- Wolfram, C., Shelef, O. ve Gertler, P., 2012, How Will Energy Demand Develop in the Developing World?, *Energy Institute at Haas Working Paper Series*, 226, 1-19.
- Yağcıoğlu, A. 1999, Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536. İzmir.

Yapraklı, S. ve Yurttançıkılmaz, Z., 2012, Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik: Türkiye üzerine ekonometrik bir analiz, *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13(2), 195-215.

YAYÇEP, Eğitim ve Yayın Serisi, Yayın Seri No:21, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aytaç ÇETİNBAS
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: 14 Eylül Şeref Lisesi, Siirt	2004
	Atatürk Üniversitesi, Erzurum	
	Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji	2009
Üniversite	: Sistemleri Mühendisliği, Batman	2018
	Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık	2021
	Fakültesi Makine Mühendisliği, Batman	
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi, YLE, Makine Mühendisliği	
	: ABD	Halen

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-Halen	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir enerji sistemleri, Güneş Enerji Sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR