

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ DOĞAL TAŞINIMLI
KURUTMA SİSTEMİNDE KURUTMA
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KARAKAYA

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Program: Termodinamik**

Danışman: Doç. Dr. Meral ÖZEL

Ekim-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ DOĞAL TAŞINIMLI KURUTMA SİSTEMİNDE
KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KARAKAYA
(151120101)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Program: Termodinamik

Danışman: Doç. Dr. Meral ÖZEL

Ekim-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ DOĞAL TAŞINIMLI KURUTMA SİSTEMİNDE
KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KARAKAYA
(151120101)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Program: Termodinamik

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Eylül 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Ekim 2017

Danışman : Doç. Dr. Meral ÖZEL (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)

: Doç. Dr. Rasim BEHÇET (İ.Ü)



Elazığ-2017

ÖNSÖZ

Kurutma çalışması lisans hayatımdan beri araştırdığım ve sürekli üzerine yeni bir bilgi eklemeye çalıştığım bir bilim dalı olmuştur. Dışarıdan bakınca basit olarak görünen bu bilim dalı gerek teorisi gerekse deneyleri oldukça hassasiyet gerektiren çalışmalar içermektedir.

Akademik olarak yapılan kurutma çalışmaları arasına “ Güneş Enerjisi Destekli Doğal Taşınımlı Kurutma Sisteminde Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi ” adlı Yüksek Lisans tez çalışmamı ekleyeceğim için oldukça mutluluk duymaktayım.

Çalışmamda ve öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen başta Doç. Dr. Meral Özel’e ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Hasan KARAKAYA

ELAĞIĞ – 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. KURUTMA.....	21
3.1. Kurutma ile İlgili Genel Termodinamik Terimler	21
3.1.1. Nemli Kurutma Havası ile İlgili Genel Termodinamik Terimler	21
3.1.1.1. Kuru Hava	21
3.1.1.2. Islak Hava.....	22
3.1.1.3. Doymuş Hava	22
3.1.1.4. Kuru Termometre Sıcaklığı (Kt °C)	22
3.1.1.5. Yaş Termometre Sıcaklığı (Yt °C)	22
3.1.1.6. Mutlak Nem (gr/m ³)	22
3.1.1.7. Bağıl Nem (RH, ϕ).....	22
3.1.1.8. Özgül Nem (gr/kg).....	22
3.1.1.9. Entalpi (h-kcal/kg)	23
3.1.1.10. Duyulur Isı (Qd- kcal/kg) ve Gizli Isı (Qg- kcal/kg).....	23
3.1.2. Kurutulacak Ürün ile İlgili Genel Terimler.....	23
3.1.2.1. Nem İçeriği.....	23
3.1.2.2. Ayrılabilir Nem Oranı	23
3.1.2.3. Su Aktivitesi(a_w) ve Denge Bağıl Nemi(ERH).....	23
3.1.2.4. Sorpsiyon İzotermi.....	24
3.2. Kurutma İşleminin Teorik Olarak İncelenmesi	25
3.2.1. Kuruma Evrelerinin incelenmesi	26
3.2.1.1. Ayarlanma Süreci.....	26

3.2.1.2.	Sabit Hız Kuruma Evresi.....	27
3.2.1.3.	Azalan Hızda Kuruma Evresi.....	28
3.3.	Kurutma İşleminde Nem Hareket Mekanizmaları.....	29
3.3.1.	Difüzyon Teorisi.....	29
3.3.2.	Kapılar Teori.....	30
3.4.	Kurutma İşleminde Gerçekleşen Isı ve Kütle Transferi.....	30
3.5.	Kurutma İşlemine Etki Eden Parametreler.....	32
3.5.1.	Ürünün Kimyasal İçeriği.....	32
3.5.2.	Ürünün Boyutları.....	32
3.5.3.	Sıcaklık.....	32
3.5.4.	Havanın Hızı ve Kuruluğu.....	32
3.5.5.	Atmosfer Basıncı ve Ürünün Kuruma Havaasına Yerleştirilme Biçimi.....	33
3.6.	Kurutma Yöntemleri ve Güneş Enerjili Kurutucular.....	33
3.6.1.	Kurutma Yöntemleri.....	33
3.6.1.1.	Dondurarak Kurutma.....	33
3.6.1.2.	Tünel Kurutucular.....	34
3.6.1.3.	Flaş Kurutucular.....	34
3.6.1.4.	Püskürtmeli Kurutma.....	35
3.6.1.5.	Vakumlu Kurutma.....	36
3.6.1.6.	Mikrodalga Kurutma.....	36
3.6.1.7.	Akışkan Yataklı Kurutucu.....	37
3.6.1.8.	Güneş Enerjisi ile Kurutma.....	37
3.6.1.9.	Kabin Kurutucular.....	38
3.6.1.10.	Kızılötesi Işınımli Kurutma.....	38
3.6.2.	Güneş Enerjili Kurutucular.....	38
3.6.2.1.	Güneş Enerjili Kurutucuların Havanın Akış Şekline göre Sınıflandırılması.....	38
3.6.2.1.1.	Doğal Akışlı Kurutucular.....	38
3.6.2.1.2.	Zorlanmış Akışlı Kurutucular.....	39
3.6.2.2.	Güneş Enerjili Kurutucuların Güneşi Kullanış Biçimine göre Sınıflandırılması.....	39
3.6.2.2.1.	Doğrudan Etkili Güneş Enerjili Kurutucular.....	39
3.6.2.2.2.	Dolaylı Etkili Güneş Enerjili Kurutucular.....	40
3.6.2.2.3.	Karışık Tip Güneş Enerjili Kurutucular.....	41

4.	MATERYAL ve METOT	43
4.1.	Materyal.....	43
4.1.1.	Doğal Taşınım, Soğurucu Yüzeyle Kolektöre Sahip Kurutucunun Tasarımı ve İmalatı	43
4.1.2.	Doğal Taşınım, Borulu Kolektöre Sahip Kurutucunun Tasarımı ve İmalatı	48
4.1.3.	Kurutulacak Ürünler, Kurutma Ortamı ve Kurutma Mevsimi	51
4.1.4.	Kurutma Verilerinin Elde Edilmesi için Kullanılan Ölçüm Aletleri	52
4.1.5.	Kurutma Verilerinin İncelenmesi için Kullanılan Yazılımlar	52
4.2.	Metot	52
4.2.1.	Kurutulacak Ürünlerin İlk Nem İçeriklerinin Elde Edilmesi	52
4.2.2.	Kurutma Çalışması Öncesi Uygulanan Ön Hazırlık İşlemleri	53
4.2.3.	Kurutulan Ürünlerin Belirli Zamanlardaki Nem İçeriklerinin Bulunması.....	54
4.2.4.	Deneysel Ayrılabilir Nem Oranı ve Teorik Ayrılabilir Nem Oranı.....	55
5.	BULGULAR.....	56
5.1.	Kurutma İşleminde Kullanılacak Ürünlerin İlk Nem İçerikleri	56
5.2.	Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri	56
5.2.1.	Elmaların Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri.....	56
5.2.2.	Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri	59
5.3.	Kurutma İşlemine Etki Eden Parametreler.....	63
5.4.	Kurutma Sistemlerinde Elde Edilen Sıcaklık Değerleri.....	66
5.5.	Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri.....	68
5.5.1.	Elmaların Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri.....	68
5.5.1.1.	Elmaların Belirli Zaman Aralığında Nem İçerik Grafikleri.....	72
5.5.2.	Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri	75
5.5.2.1.	Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerik Grafikleri	78
5.6.	Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Deneysel Ayrılabilir Nem Oranı (ANO _{deneysel}) Değerleri	81
5.7.	Çoklu Regresyon Analizi ile Oluşturulan Ayrılabilir Nem Oranı (ANO _{analiz}) Denklemleri ve Değerleri	87
5.7.1.	Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Ayrılabilir Nem Oranı Denklemleri.....	87
5.7.2.	Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Ayrılabilir Nem Oranı Değerleri	92

5.8.	Elma ve Biber Kurutma İşlemi için $ANO_{deneyse}$ ve ANO_{analiz} Değerleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	98
5.9.	Kurutma Sistemleri ve Kurutulacak Ürünler için Teorik Olarak Geliştirilen Ayrılabilir Nem Oranı (ANO_{teorik}) Denklemleri	102
5.9.1.	Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Teorik Olarak Geliştirilen Ayrılabilir Nem Oranı (ANO_{teorik}) Denklemleri	103
6.	TARTIŞMA.....	115
7.	SONUÇLAR.....	122
8.	ÖNERİLER.....	127
	KAYNAKLAR.....	128
	ÖZGEÇMİŞ	131

ÖZET

Bu çalışmada, Elazığ ilinde elma ve biber kurutma işlemini gerçekleştirmek için doğal taşınımı, güneş enerjisi destekli iki farklı kurutma sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Kurutma sistemlerinde ve dış ortam şartlarında gerçekleştirilen kurutma işlemine güneş ışıınımı, rüzgâr hızı, bağıl nem, sıcaklık ve ürün boyutlarının kuruma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu, kurutma sistemlerinde ve dış ortam şartlarında kurutulan ürünlerin ilk nem içerikleri ve belirli zaman periyotlarında nem içeriğindeki değişimleri tespit edilip, ayrılabilir nem oranı değerleri bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri ile deneysel çalışmalarla elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımıyla incelenmiştir. Sonuç olarak teorik zamana bağıl ayrılabilir nem oranı denklemleri eğri uydurma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucu kurutma havası sıcaklığının artması ile bağıl nemin azaldığı, kurutulan ürünlerin nem içeriğindeki düşüşün arttığı ve kurutma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Kurutma işleminin gerçekleştirildiği dönemlerde artan güneş ışıınımı değerlerine bağıl olarak kurutma sistemlerinde elde edilen sıcaklık değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kurutulan ürünlerin kalınlıkları ve ağırlıkları arttıkça nem içeriğindeki düşüşün azaldığı ve kurutma süresinin arttığı tespit edilmiştir. Soğurucu yüzeyli kurutucunun, dış ortamda şartlarındaki kurutma işlemine ve borulu kolektöre sahip kurutucuya göre daha aktif görev yaptığı görülmüştür. Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda elmaların nem içerikleri %86' dan ortalama %7.9' a kadar, biberlerin nem içerikleri ise %94.5' tan ortalama %8.21 nem içeriğine düşürülmüştür. Elma kurutma işleminde kurutucu içerisinde 43.2°C ile 55.9°C arasında sıcaklıklar elde edilirken, biber kurutma işleminde ise 41.6°C ile 56.5°C arasında sıcaklıklar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taşınım, Regresyon Analizi, Bağıl Nem, Kurutucu

SUMMARY

Investigation of the Drying Parameters at the Drying System with Natural Convection Supported with Solar Energy

In this study, two different drying systems supported with solar energy with natural convection are designed and manufactured to realise the drying process of apple and pepper in Elazığ. Effect on drying behavior of solar radiation, wind velocity, relative humidity, temperature and product dimensions is examined at these drying systems and at drying process realised with laying method at the external environment conditions. At the end of experimental studies first moisture contents of dried products at the drying systems and the external environment conditions, and variations in the moisture content at the certain time periods are determined and then, humidity rate are calculated. The correlation of the values of resolvable humidity rate obtained by analysis and experimental study is examined by analysis and experimental study is examined by regression analysis. Consequently, the equations of resolvable humidity rate theoretically developed are obtained using the curve fitting method as time dependent.

As a results, it is seen that relative humidity decreases, reduction in the moisture content of dried products increases and drying time decreases when the temperature of drying air increases. In the period realised of drying process, it is determined that the temperature values obtained in the drying systems increase depending up on values of increasing solar radiation. It is seen that reduction in the moisture content decreases and drying time increases as thicknesses and weights of dried products increase. The results show that absorber surfaced dryer is better than drying process external environment conditions and dryer having tubular collector. In absorber surfaced dryer, moisture contents of apples are reduced averagely from %86 to %7.9 while moisture contents of peppers are reduced averagely from %94.5 to %8.21. Temperatures in the dryer are obtained between 43.2°C and 55.9°C in the drying of apple while they are obtained between 41.6°C and 56.5°C in the drying of peppers.

Key Words: Natural Convection, Regression Analysis, Relative Humidity, Dryer

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 5.1. Kurutulacak ürünlerin ilk nem içerikleri	56
Tablo 5.2. Doğal taşınım, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	57
Tablo 5.3. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	57
Tablo 5.4. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	58
Tablo 5.5. Doğal taşınım, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	58
Tablo 5.6. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	59
Tablo 5.7. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	59
Tablo 5.8. Doğal taşınım, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	60
Tablo 5.9. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	61
Tablo 5.10. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	61
Tablo 5.11. Doğal taşınım, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	62
Tablo 5.12. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	62
Tablo 5.13. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri	63
Tablo 5.14. 1 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	64
Tablo 5.15. 2 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	64

Tablo 5.16.	3 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	65
Tablo 5.17.	12 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	65
Tablo 5.18.	13 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	66
Tablo 5.19.	14 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri	66
Tablo 5.20.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri	67
Tablo 5.21.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri.....	67
Tablo 5.22.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri	68
Tablo 5.23.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri.....	68
Tablo 5.24.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	69
Tablo 5.25.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	69
Tablo 5.26.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	70
Tablo 5.27.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	70
Tablo 5.28.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	71
Tablo 5.29.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri.....	71
Tablo 5.30.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	75
Tablo 5.31.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	75
Tablo 5.32.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	76
Tablo 5.33.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	76
Tablo 5.34.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	77

Tablo 5.35. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri	77
Tablo 5.36. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	81
Tablo 5.37. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri	82
Tablo 5.38. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	82
Tablo 5.39. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	83
Tablo 5.40. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri	83
Tablo 5.41. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	84
Tablo 5.42. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	84
Tablo 5.43. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri	85
Tablo 5.44. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	85
Tablo 5.45. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	86
Tablo 5.46. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri	86
Tablo 5.47. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri.....	87
Tablo 5.48. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri	88
Tablo 5.49. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri.....	88

Tablo 5.50. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri	89
Tablo 5.51. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri	89
Tablo 5.52. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri	90
Tablo 5.53. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{analiz} denklemleri	90
Tablo 5.54. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	90
Tablo 5.55. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	91
Tablo 5.56. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	91
Tablo 5.57. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	91
Tablo 5.58. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	91
Tablo 5.59. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{analiz} denklemleri	92
Tablo 5.60. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	92
Tablo 5.61. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	93
Tablo 5.62. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	93
Tablo 5.63. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	94
Tablo 5.64. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	94
Tablo 5.65. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	95
Tablo 5.66. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri	95

Tablo 5.67. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri.....	96
Tablo 5.68. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri.....	96
Tablo 5.69. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri.....	97
Tablo 5.70. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri.....	97
Tablo 5.71. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri.....	98
Tablo 5.72. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	99
Tablo 5.73. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	99
Tablo 5.74. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	99
Tablo 5.75. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	100
Tablo 5.76. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki.....	100
Tablo 5.77. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	100
Tablo 5.78. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	101
Tablo 5.79. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	101
Tablo 5.80. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	101
Tablo 5.81. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO _{deneyssel} ile ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki	101

- Tablo 5.82.** Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin $ANO_{deneyse}$ ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki 102
- Tablo 5.83.** Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin $ANO_{deneyse}$ ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki 102



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü.....	4
Şekil 2.2. Sera tipi kurutucu	5
Şekil 2.3. Zorlanmış taşınımlı, güneş enerjili kurutucu	6
Şekil 2.4. Güneş enerjili kurutma sistemi.....	7
Şekil 2.5. Kolektörlerin tasarımları ve görüntüleri	8
Şekil 2.6. Güneş enerjili biber kurutma sistemi ve kurutulacak ürünler	9
Şekil 2.7. Güneş kolektörlü bacalı kurutma sistemi	10
Şekil 2.8. Güneş kurutucu ve Hysys programı model görünümü	11
Şekil 2.9. Zorlanmış taşınımına sahip güneş enerjili kurutucu.....	12
Şekil 2.10. Zorlanmış taşınımlı güneş enerjili kurutma sisteminin tasarım görüntüsü.....	13
Şekil 2.11. Doğal ve zorlanmış akışlı güneş enerjili kurutma sistemi ve kurutulacak ürünler	14
Şekil 2.12. Isı pompalı kurutma sistemi.....	15
Şekil 2.13. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucu	16
Şekil 2.14. Güneş enerjisi destekli kurutma serası	17
Şekil 2.15. Yarı silindirik kurutma serası ve kurutulacak ürünler	18
Şekil 2.16. Güneş enerjili elma kurutma fırını ve kısımları	19
Şekil 2.17. Düz plakalı hava ve su ısıtıcılı güneş kolektörü.....	20
Şekil 3.1. Sorpsiyon izotermi grafiği	25
Şekil 3.2. Kuruma hızı eğrisi	26
Şekil 3.3. Kurumanın aşamaları.....	26
Şekil 3.4. Katı bir ürünün kurutulmasındaki ısı ve kütle transferi işlemi	31
Şekil 3.5. Tünel kurutucunun şematik görseli	34
Şekil 3.6. Öğütücülü flaş kurutucu	35
Şekil 3.7. Püskürtmeli kurutucu.....	36
Şekil 3.8. Akışkan yataklı kurutucu.....	37
Şekil 3.9. Doğrudan etkili güneş enerjili kurutucu	40
Şekil 3.10. Dolaylı etkili güneş enerjili kurutucu	41
Şekil 3.11. Doğal akışlı karışık tip güneş enerjili kurutucu	42
Şekil 3.12. Karışık tip güneş enerjili kurutucuların farklı uygulama alanları	42
Şekil 4.1. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör ve b) kurutma bölmesi tasarımı	45

Şekil 4.2.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) önden ve b) arkadan tasarım görünüşleri.....	46
Şekil 4.3.	İmalatı tamamlanan soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör bölümü, b) kurutma bölmesi ve c) genel görüntüsü.....	47
Şekil 4.4.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucunun kolektör tasarımı.....	48
Şekil 4.5.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucunun a) önden ve b) arkadan tasarım görünüşleri.....	49
Şekil 4.6.	İmalatı tamamlanan borulu kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör bölümü ve b) genel görünüşü.....	50
Şekil 4.7.	Kurutma ortamı ve imal edilen kurutma sistemleri.....	51
Şekil 4.8.	Hazırlanan biberlerin kurutma rafına dizilmiş hali	53
Şekil 4.9.	Hazırlanan elmaların kurutma bölmesine yerleştirilmiş hali	54
Şekil 5.1.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği.....	72
Şekil 5.2.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği	72
Şekil 5.3.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği.....	73
Şekil 5.4.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği.....	73
Şekil 5.5.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği	74
Şekil 5.6.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği.....	74
Şekil 5.7.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği	78
Şekil 5.8.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği	78
Şekil 5.9.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği	79
Şekil 5.10.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği	79
Şekil 5.11.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği.....	80
Şekil 5.12.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği	80
Şekil 5.13.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamanabağı eğri uydurma grafiği.....	103

Şekil 5.14.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 5.5 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	104
Şekil 5.15.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 6 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	105
Şekil 5.16.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	106
Şekil 5.17.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	107
Şekil 5.18.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	108
Şekil 5.19.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, amana bağlı eğri uydurma grafiği.....	109
Şekil 5.20.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	110
Şekil 5.21.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 10 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	111
Şekil 5.22.	Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	112
Şekil 5.23.	Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 14 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	113
Şekil 5.24.	Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği.....	114

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kuruma yüzey alanı (m^2)
ANO	: Ayrılabilir nem oranı
ANO_{analiz}	: Analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı
ANO_{deneysel}	: Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı
ANO_{teorik}	: Teorik çalışmalar sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı
a_w	: Su aktivitesi
c_w	: Katı maddedeki bir noktanın su yoğunluğu (kg/m^3)
D_L	: Difüzyon katsayısı (m^2/s)
ERH	: Denge bağıl nemi (%)
h	: Entalpi (kcal/kg)
h	: Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
H_{hava}	: Kurutma havasının mutlak nemi (kg su / kg kuru hava)
H_{kmad}	: Kurutulacak maddenin yüzeyinde oluşan su buharı filminin mutlak nemi (kg su / kg k. hava)
h_s	: Yüzeyin ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
Hz	: Hertz
I	: Güneş ışınlam miktarı (W/m^2)
k	: Kütle aktarım katsayısı ($kg/m^2 s$)
k₁	: Kurutma hızı sabiti (sn/m)
l	: Maddenin yarı kalınlığı (m)
L	: Uzunluk (m)
m	: Birim alan başına kuruma oranının nem içeriğine oranı ($1/m^2 s$)
M	: Nem içeriği (kg su / kg kuru madde)
M_∞	: Denge nem içeriği (kg su / kg kuru madde)
M_i	: Başlangıç nem içeriği (kg su / kg kuru madde)
M_k	: Ürünün kuru kütlesi (kg)
M_s	: Ürün içerisindeki suyun kütlesi (kg)
N₀	: Ürünün başlangıç anındaki nem içeriği (%)
N_{kb}	: Kuru baza göre nem içeriği (%)
N_t	: Ürünün herhangi bir t zamanındaki nem içeriği (%)
N_{yb}	: Yaş baza göre nem içeriği (%)

$P_{gıda}$	: Gıda maddesinin içerdığı suyun buhar basıncı (Pa)
P_{hava}	: Kurutma havasının kısmi buhar basıncı (Pa)
P_{hava}	: Saf suyun buhar basıncı (Pa)
P_{kmad}	: Kurutulacak maddenin yüzeyindeki havanın buhar basıncı (Pa)
q	: Isı aktarım hızı (j/s)
Q_d	: Duyulur ısı (kcal/kg)
Q_g	: Gizli ısı (kcal/kg)
R^2	: Belirtme katsayısı
RMSE	: Tahminin standart hatası
Θ	: Bağıl nem (%)
T	: Sıcaklık (°C)
t	: Zaman (s)
T_{hava}	: Kurutma havasının sıcaklığı (°C)
T_s	: Katı maddenin sıcaklığı (°C)
$T_{yaş}$	: Maddenin yüzey sıcaklığı (°C)
V	: Rüzgâr hızı (m/s)
w	: Toplam nem (kg)
W	: Toplam nem (kg)
w_1	: Başlangıçtaki nem içeriği (kg)
w_e	: Denge nem içeriği (kg)
y	: Kartezyen koordinat
λ	: Suyun buharlaşma ısısı (j/kg)
ρ_s	: Katı maddenin yoğunluğu (kg/m ³)
ϕ	: Bağıl nem (%)
χ^2	: Khi-kare

1. GİRİŞ

Kurutma deyince akla gelen ilk şey herhangi bir meyve veya sebzenin güneş altında şeklinin ve içeriğinin kuru diye tabir ettiğimiz hale gelene kadar bekletilmesi işlemidir. Kurutma çok eski zamanlardan günümüze kadar gelen bir gıda saklama yöntemi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kurutma; meyve, sebze veya diğer maddelerin yapısında bulunan nem diye tabir edilen veya kurutulacak ürünün büyük birçoğunu oluşturan sıvı kısmın tamamen şartlandırılmış veya şartlanmış havanın psikometrik özelliklerine bağlı olarak kurutulacak üründen uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanabilir.

Kurutulacak ürünlerin yapısındaki nemi uzaklaştırmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden ilk akla geleni serme usulü ile gün ışığında yapılan kurutma işlemidir. Bu yöntem yaygın olarak kullanılsa bile çevre şartlarından etkilendiği ve kurutulan ürünlerin kalitesinin düşük olmasından dolayı ticari olmayan amaçlarla kullanılabilir. Bu tür sebeplerden dolayı mevcut ürün kalitelerinin iyileştirilmesi, kurutma sürelerinin ve verimliliğinin arttırılması istendiğinden yeni kurutma sistemlerinin araştırma ve geliştirme çalışmaları uzun bir süredir yaygın olarak yapılmakta ve ilerleyen bir teknoloji haline dönüşmektedir. Kurutma sistemlerinin araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılırken, mevcut enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan sistemlerin oluşturulması en önemli unsurlardan biridir. Kurutma sistemleri kendi aralarında endüstriyel kurutucular ve küçük ölçekli kurutucular olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Endüstriyel kurutucuların yüksek enerji maliyetlerinden dolayı günümüzde bu sistemlerin enerji maliyetlerini azaltmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri oluşturarak enerji tüketiminin azaltılması işlemi gelmektedir. Güneş enerjisi sonsuz enerji deposu olarak görülebilir. Yeryüzüne düşen güneş ışınlarının sadece bir kısmı enerji üretimi için kullanıldığından elde edilen enerjinin en etkin şekilde kullanılması gerekir. Kurutma sistemlerinde bu enerjinin etkin bir şekilde kullanılması için kurutma karakteristiklerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu kurutma karakteristiklerinden en önemli olanları arasında kurutulacak ürün, kurutma süresi, kurutma sıcaklığı, kurutulacak ürün miktarı ve raf ömrü gibi parametreler ön plana çıkmaktadır.

Kurutulan ürünlerin ticareti ülkemizdeki ekonomi içinde oldukça büyük bir paya sahiptir. Avrupa ülkelerine ihraç ettiğimiz kurutulmuş ürünler içerisinde en fazla oranı

çeşitliliğinden ve kalitesinden dolayı sebzeler almaktadır. Bu sebzelerin kurutulması kontrollü koşullarda, sıcak havanın şartlandırılması yardımıyla, ürün kalitesi ve renkleri bakımından üstün olan, hemen tüketilmeye hazır ürünler olduğundan kurutma işleminin çok hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Gülçimen vd., 2010).

Bu tez çalışmasında, literatürde yapılan kurutma çalışmaları araştırılıp, kurutma hakkında teorik bilgiler toplanmış ve bütün bu bilgilere paralel olarak oluşturulan çalışmada iki ayrı kurutma sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmış olup, açık havada kurutma işlemine göre deneysel olarak elde edilebilen kurutma parametrelerinin kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların iyileştirilmesi ve sistemin geliştirilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Tasarımı yapılan kurutma sistemlerinin boyutları tamamen aynı olup, kurutma için gerekli olan sıcak havanın temini tamamen güneş enerjisi ile elde edileceğinden ek bir enerji kaynağı kullanılmamış ve güneş enerjisinin gün içinde verimli olarak kullanılabilmesi için iki ayrı kolektör tasarımı yapılmıştır. Kolektör boyutları ve kurutma odası boyutları belirlendikten sonra Solidworks 2016 yazılımında üç boyutlu olarak tasarımı yapılmış ve ölçülere bağlı olarak birebir imal edilmiştir.

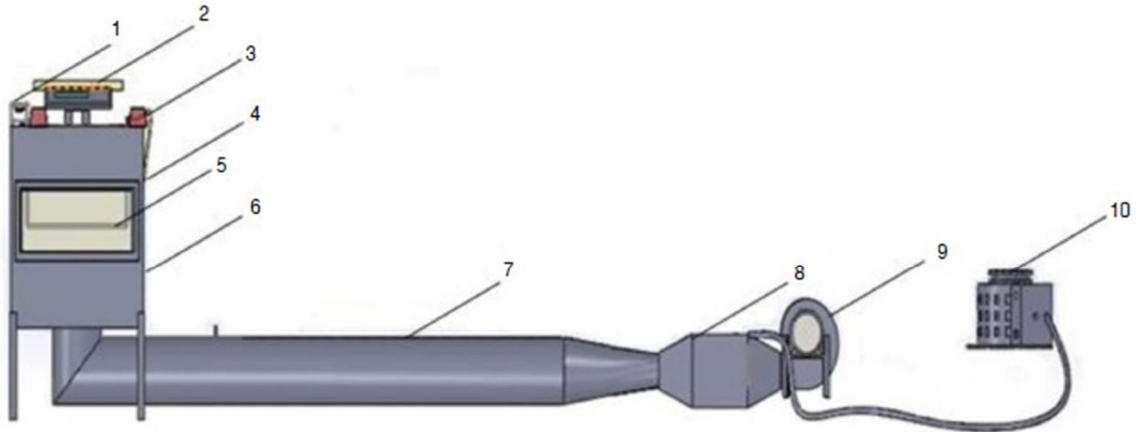
Kurutma parametrelerinin analizini yapmak ve sistemleri değerlendirmek için tasarlanan sistemlerde Elazığ iklim şartlarında deneyler yapılmıştır. Deneylerde kurutmak için elma ve biber kullanılmıştır. Belirli boyutlarda ve ağırlıklarda hazırlanan kurutma numunelerinin temmuz ve ağustos aylarında belirlenen günlerde kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olup, saat başı ağırlık düşümleri ve buna bağlı olarak nem yüzdeleri bulunmuştur. Nem yüzdelerinin zaman göre grafikleri oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra kurutmada kullanılacak olan ürünlerin ilk nem içeriğini yaş baza göre belirlemek için laboratuvar ortamında deneyler yapılmış ve ürünlerin ilk nem içerikleri elde edilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen elma ve biberin ilk nem içerikleri ile saat başı ölçülen nem içerikleri arasında bağlantı kurularak ayrılabilir nem oranı değerleri tespit edilmiştir. Deneysel olarak tespit edilen verilerin yanı sıra Elazığ Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü tarafından bağıl nem, rüzgâr hızı, sıcaklık, güneş ışıınımı değerleri temin edilerek kurutma işlemine etkisi incelenmiştir. Bu değerler ile deneysel çalışmalarda elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasında çoklu regresyon analizi yapılarak ayrılabilir nem oranı denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemlere, belirli zamanlara karşılık gelen güneş ışıınımı, rüzgâr hızı, bağıl nem ve sıcaklık değerleri koyularak analiz sonucu ayrılabilir nem oranı değerleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar ile elde edilen zamana bağlı ayrılabilir

nem oranı değerleri ve analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki ilişkiyi incelemek için IBM SPSS Statistics 21 yazılımı kullanılmıştır. Bütün verilerin analizi ve yorumlanması yapıldıktan sonra tasarlanan kurutma sistemleri için en uygun ürün boyut ile ağırlıkları bulunarak sistemlerin dış ortam şartlarına göre ve kendi aralarında kıyaslanması yapılmıştır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

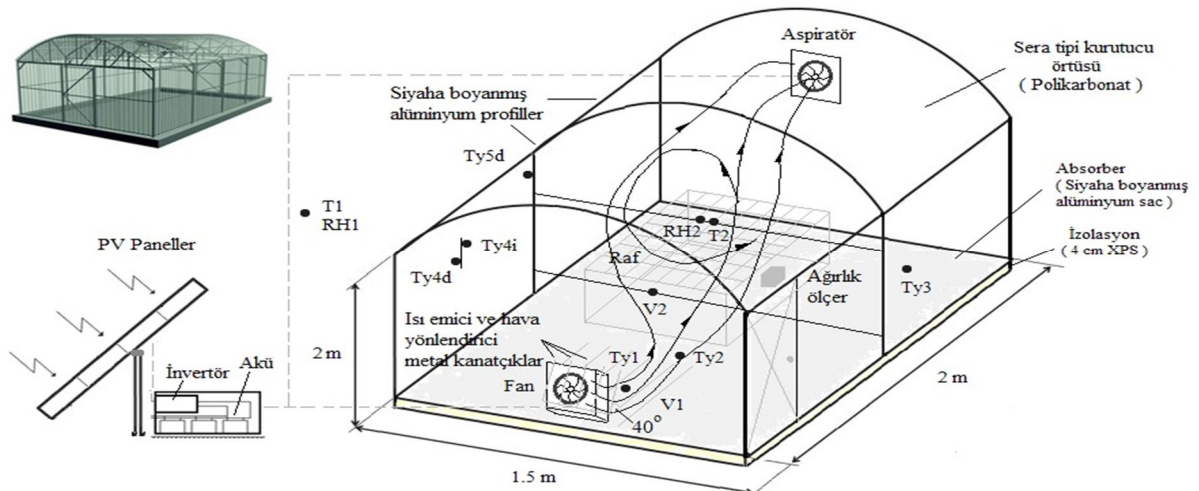
Elma kurutulması işlemini gerçekleştirmek ve belirli sıcaklıklarda kuruma hızının ürün ağırlığındaki düşüş, sıcaklık, boyutsuz nem oranına etkisini incelemek için araştırmacılar havanın elektrik ile ısıtıldığı konvektif tip bir kurutucu tasarlamışlardır. Havanın ısıtılacağı kanala havanın akışı engellemeyecek şekilde 2000 W gücünde ısıtma rezistans telleri yerleştirilmiştir. Kanalin etrafı tamamen yün yalıtım malzemesi ile kaplı olup dış kısmı alüminyum bant ile kaplanmıştır. Hazırlanan bu hava kanalı, kurutmanın yapılacağı kurutma kabini ile birleştirildiğinde mevcut kurutma sistemi şematik olarak Şekil 2.1’ de verildiği gibi elde edilmiştir. Belirli boyutlarda ve ağırlıkta dilimlenen elmaların kurutma işlemi ve ağırlık ölçümleri cihazın üzerine yerleştirilen terazi yardımıyla yapılmıştır. Deneyler belirli bir sıcaklık 45°C ve üç ayrı kurutma hızı değeri olan 0.5, 1, 1.5 m/s hızlarında yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kurutma hızı arttıkça kuruma süresinin azalacağı, ürünün sıcaklığının yüksek sıcaklıklara ulaşacağı gözlemlenmiştir. Kurutma hızı arttığında sistemde nem içeriğindeki en hızlı düşüş gerçekleşmiştir. Kurutma hızının artmasına bağlı olarak gerçekleşen nem içeriğindeki en hızlı düşüş ve bununla beraber yaş baza göre hesaplanan boyutsuz nem oranı da düşmüştür (Özgen, 2014).



1. Nemölçer, 2. Dijital Terazi, 3. Voltmetre ve Anemometre, 4. Hava Çıkış Kanalı
5. Kurutma Tepsisi, 6. Kurutma Kabini, 7. Hava Akış Kanalı, 8. Isıtma Sistemi, 9. Fan, 10. Varyak

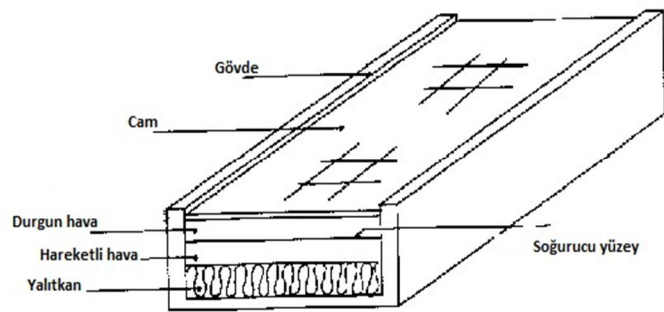
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Kırmızı biber kurutmak için araştırmacılar Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi küçük çaplı sera tipi bir kurutucu imal edilmiştir. Bu kurutucunun boyutlandırılması yapılırken güneş enerjisinden elde edilecek enerji miktarına göre ölçülendirme işlemi yapılmıştır. Tasarım parametreleri olarak ise sera tipi kurutucunun zeminine 4 cm ızalasyon malzemesi ve üzerine siyaha boyanmış alüminyum sac kullanılmıştır. Alüminyum sac kullanarak ısının zemine değil de saca depolanması sağlanılması düşünülmüştür. Dış iskeleti oluşturan yapı siyaha boyanmış alüminyum profiller ve sera yapısını oluşturacak kaplama malzemesi olarak polikarbonat kullanılmıştır. Sistemde bulunan güneş paneli vasıtasıyla enerji üretilmekte bu enerji de sistemin giriş ve çıkış havalarının akışını sağlayan fanlar için kullanılmaktadır. Sera yapısının içinde havanın yönlendirilmesini ve düzgün dağılımını sağlamak amacıyla ısı emici ve bakır kanatçıklar kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde kırmızı biber kurutulması yapılacak, sererek ve gölge durumlarda yapılacak olan kurutma işlemlerine göre kıyaslanması yapılacaktır. Sistemde 0.34 m/s hızındaki hava kurutulacak olan biberlerin üzerine üflenmektedir. Deney sırasında sistemin giriş ve çıkış havasını sağlayan fanlar sürekli olarak sabit debide 250 m³/h çalışmaktadır. Kurutma işlemi sonrasında kırmızı biberlerin 11.5 g.su/g kuru madde başlangıç neminden 0.1 g.su/g kuru madde son nem miktarına kadar kurutulmuştur. Sistemde gün içerisinde 42–61°C, 550-950 W/m² güneş radyasyon değerleri elde edilmiştir. Yapılan bütün deneyler sonrasında kurutucu içerisindeki ürünlerin, sererek ve gölgede yapılan kurutma işlemine göre nem düşümleri daha hızlı olmuştur (Şevik vd., 2014).



Şekil 2.2. Sera tipi kurutucu

Portakal dilimlerinin kurutulması için Şekil 2.3'te görülen zorlanmış taşınımlı, güneş enerjili kurutucu imal etmişlerdir. Kurutucu üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; güneş enerjili hava kolektörü, kurutma kabini ve güneş enerjili hava kolektöründen gelen havanın dolaşımını sağlayacak olan 50 W gücündeki fanlı sistemdir. Havanın şartlandırılmasını sağlayacak olan kolektör için üç ayrı kolektör tasarımı yapılmıştır. Kolektör tasarımları olarak uzunlamasına akışa dik, akışa çapraz ve kıyaslama yapabilmek için boş soğurucu yüzey tasarlanmıştır. Hava kolektöründe şartlandırılmış hava özel olarak hazırlanmış çift geçişli kurutma haznesine gelmektedir. Kurutma haznesinde her bir tepsinin alacağı ürün miktarı 3 kg olduğu belirtilmiştir. Sistemin alacağı en yüksek ürün kapasitesi ise 10 kg olduğu bilgilere eklenmiştir. Belirli bir hava akış debisi için kolektörlerin verimlilikleri karşılaştırılmış ve akışa eğik olan tasarlanan kolektör en yüksek verimliliği elde etmiştir. Güneş ışıınım değerinin 1000 W/m^2 değeri referans alındığında, bölmeler boş halde eğimli absorber tasarımında yaklaşık 80°C , dik absorber tasarımında 63°C ve boş absorber tasarımında 40°C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Sistemde portakal kurutulması işlemi yapılmış ve belirli sonuçlar çıkarılmıştır. Akışa eğik olarak yerleştirilen absorber sonuçlarının diğer iki tasarıma göre daha yüksek verimlilik elde ettiğini ve yaklaşık %28 olduğunu, kurutma hızının kurutma havası sıcaklığı ve kuruma havası hızı ile orantılı olduğunu, kuruma hızının zamanla azalacağını, portakal kabuklarının soyulmasının kuruma hızını arttıracığına çalışmasında yer vermiştir (Slama vd., 2009).



Şekil 2.3. Zorlanmış taşınımlı, güneş enerjili kurutucu

Muz kurutma işlemi için Şekil 2.4' te görülen güneş enerjili bir kurutma sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Kurutucunun tasarımı yapılırken düşük maliyetli malzemeler seçilmiştir. Kurutucunun panel tasarımı

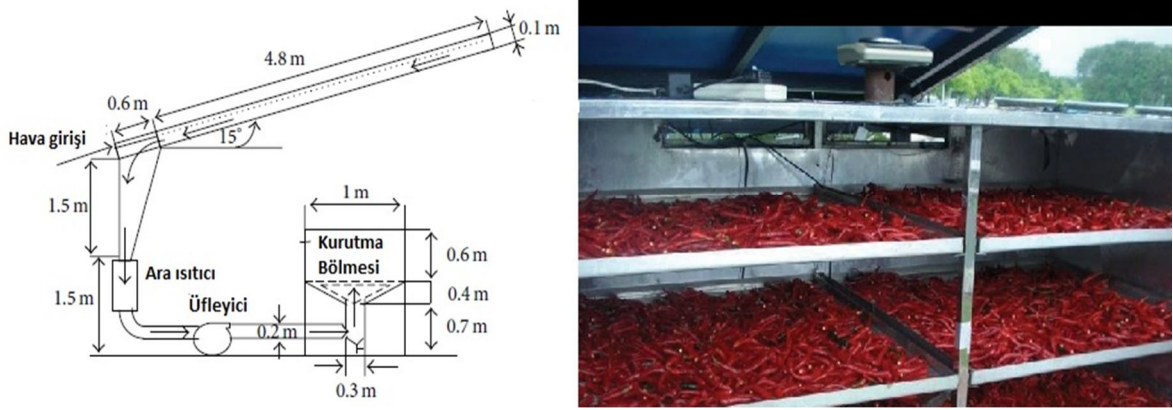
özel olarak yapılmış olup üç ayrı tabakaya sahiptir. Tasarımında iki adet ahşap arasına iki ayrı boyutlarda hava kanalları oluşturulmuş ve özel olarak yalıtılan gövdeye soğurucu yüzey ve cam eklenilerek kolektörün tasarımı tamamlanmıştır. Şartlandırılan havanın ürünler üzerindeki nemi aldıktan sonra dışarıya atılması işlemi kurutma kabini üzerine yerleştirilen fan vasıtasıyla sağlanmıştır. İncelemeler sonucu alt akış kanalında elde edilen sıcaklık üst akış kanalına göre 2.5°C daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Üst akışın verimliliği %27.5 ve alt akışın verimliliği %38.21 olarak belirtilmiştir. Kurutma işlemi sonrası tepside kurutulan ürünler ile şişde kurutulan ürünler arasında %3.1 nem farkı bulunmuştur. Kurutma hızının zamanla büyük ölçüde azaldığı ve 1 m/s hava akış hızı kurutma işlemini en iyi şekilde gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Bununla beraber 0.5 ve 2 m/s hava akış hızlarında kurutulan muzların renginde, tadında ve şekilde 1 m/s hava akış hızında kurutulan ürünlere göre bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir (Hegde vd., 2015).



Şekil 2.4. Güneş enerjili kurutma sistemi

Nane ve reyhan kurutmak için güneş enerjisi yardımıyla havanın şartlandırılacağı bir kurutma sistemi yapılmış ve sistemde deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutma sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Havanın şartlandırılacağı ısıtma ünitesi ve havanın dolaşımını sağlayacak fan, ürünlerin kurutulacağı kurutma kabini ve deney verilerinin elde edileceği ölçüm, kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Isıtma ünitesinin tasarımı yapılırken, soğurucu yüzey 0.6 mm kalınlığında galvanizli sac kullanılmış ve siyaha boyanmıştır. Kolektör alt ve yan yüzeyleri 10 cm kalınlığında ızalasyon malzemesi ile kaplanıp ısı kayıplarının

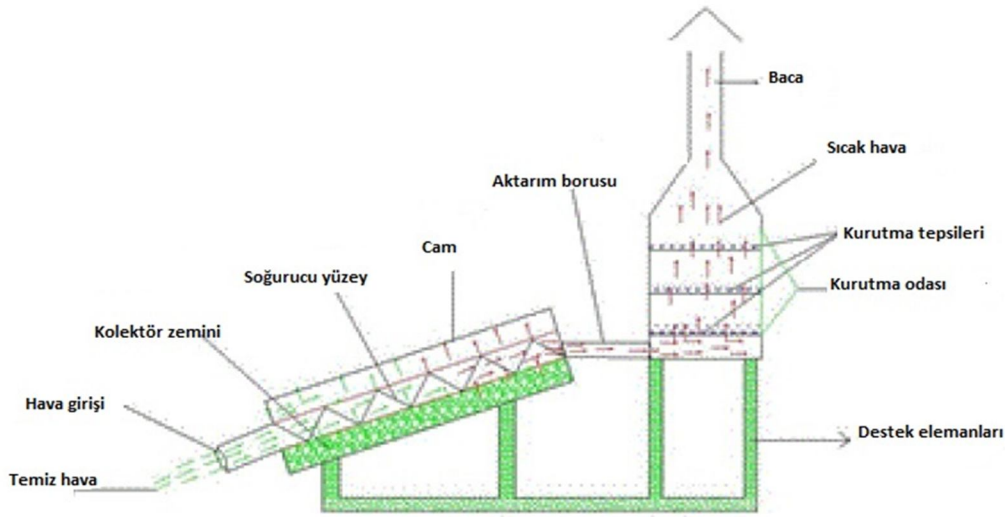
gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi gece durdurulmuş ve yaklaşık 5 gün sürmüştür. Kurutmanın aktif olarak gerçekleştiği süre 33 saat olarak belirlenmiştir. Açık havada yapılan kurutma işlemi ise yaklaşık olarak 65 saatte gerçekleşmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce nem oranları %80 olan biberlerin nem oranları %10 denge nem içeriğine ulaşmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilere göre kurutma sistemi ve açık havada kurutma işleminin doğrusal olmayan regresyon analizi yardımıyla kurutma modelleri ile kıyaslanması yapılmıştır. Kıyaslanma sonucu Page modelinin Newton, Pabis–Henderson modeline göre yüksek R^2 ve düşük MBE değeri elde ettiği görülmüştür (Fudholi vd., 2013).



Şekil 2.6. Güneş enerjili biber kurutma sistemi ve kurutulacak ürünler

Güneş enerjisinden faydalanılarak kurutma yapan bir ısı borulu güneş kolektörlü kurutucunun imalatı yapılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutucunun tasarımında kurutma kanalı içerisine yerleştirilmiş olan ısı boruları ve ısı borularının soğuk yüzeylerine de ısı transferini arttırmak için kanatçıklar eklenmiştir. Kurutma sistemi ısı borulu kurutma paneli, ürünlerin kurutulacağı kurutma odası, havanın kurutma odasından çıkışını sağlayan fan ve çıkan havanın içerisindeki nemi tespit etmek için evaporatörden oluşmaktadır. Kurutma sisteminde ölçüm, kurutucu içerisinden yapılabilmesi için terazi kurutucu içerisine yerleştirilmiştir. Kurutucu içerisine yerleştirilen 1420 gr kayısı, ağırlık sabit oluncaya kadar kurutulmuş ve kayısının son ağırlığı 310 gr olduğu gözlemlenmiştir. Deney verilerine göre kayısının en son nem içeriğinin %22 olduğu belirtilmiştir. Kurutma sisteminde kurutulan ürünlerin, gölgede yapılan kurutma ürünlerine göre renk ve kalite olarak daha iyi durumda olduğu ve kuruma süresinin kısaldığı belirtilmiştir (Doğan, 1999).

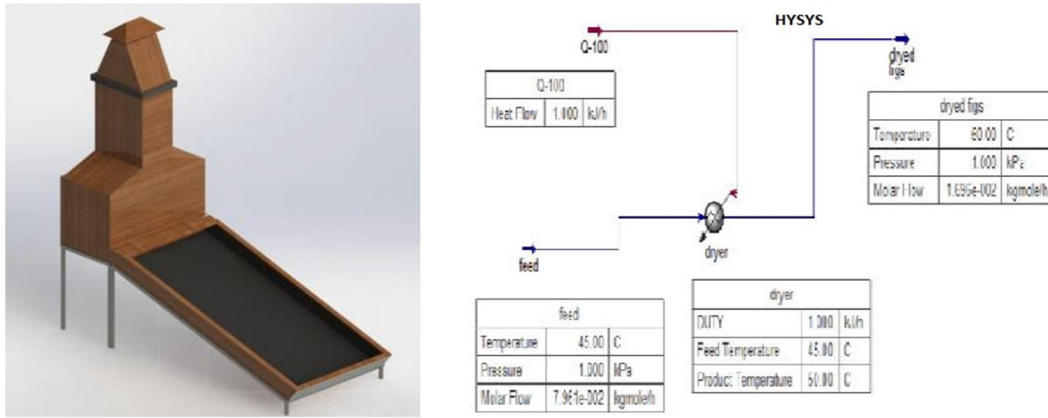
Meyve kurutma işlemini gerçekleştirmek için araştırmacılar Şekil 2.7’ de görülen düz yapıda bir güneş kolektörlü bacalı kurutma sistemi tasarlamış ve deneyler gerçekleştirmiştir. Bu kurutma sisteminde ürün olarak elma kurutulmuştur. Kurutma yaklaşık olarak iki gün sürmüş ve nem içerikleri %85 olan elmaların nem oranları %5 olana kadar kurutulmuştur. Kurutucu içerisinde 50°C ile 90°C arasında sıcaklıklar elde edilmiştir. Elma kurutulması işleminin bütün olarak değil de belirli boyutlarda ve parçalarda kesilmesinin kurutma işlemini hızlandıracağı belirtilmiştir. Bütün bunlara ek olarak elma kurutulması işleminde elde edilen parametrelere bağlı olarak kuruma hızı ve nem oranı eğrilerinden teorik eğri denklemleri elde edilmiştir (Khan ve Min, 2017).



Şekil 2.7. Güneş kolektörlü bacalı kurutma sistemi

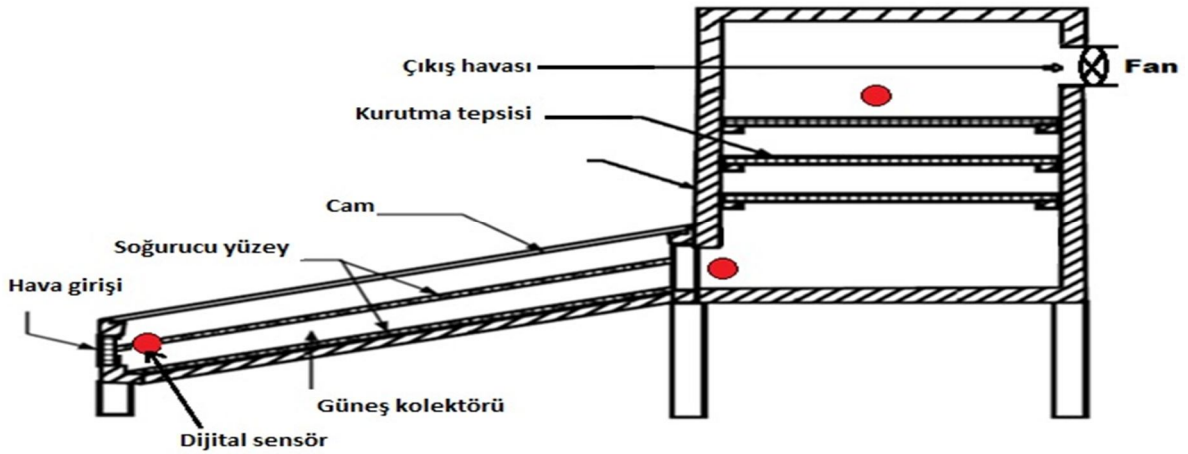
Güneş enerjisi yardımıyla kurutma yapan bir sistemde kurutma karakteristikleri incelenmiştir. Kurutma sistemi tamamen ahşap kontrplaktan oluşmaktadır. Hava şartlandırma paneli ahşaptan oluşup, tutucu yüzey ise çelik levhadan yapılmıştır. Sistemde ek bir enerji kaynağı bulunmamaktadır. Kurutma odasına gönderilen hava, ürünlerden geçirilerek bacaya gelmektedir. Kurutma bölmesi iki adet raflı yapıdan oluşmaktadır. Tasarlanan ve imalatı yapılan kurutucuda incir, muz, elma ve biber kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem gerçekleştirilmeden önce HYSYS adlı bir program yardımıyla teorik olarak bazı sonuçlar çıkarılmıştır. Teorik olarak 1.686 kg kuru incir, 0.6 m/s hava hızı ve 32°C ortalama sıcaklık değerlerinde %85 nem içeriğine sahip olan incirin %46 nem içeriğine düşürüleceği, kolektör verimi ve sistemin verimliliği sırasıyla %46 ve %17.6 olarak elde edilmiştir. Kurutmanın teorik olarak 28.18 saate tamamlanacağı

belirtilmiştir. Deneysel olarak yapılan incir kurutma işleminde ise ilk nem içerikleri %100 kabul edilen incirlerin, 25 saat sonra nem içerikleri %46 olmaktadır. Kurutma sisteminde maksimum ortam sıcaklığı 40°C iken 46°C ile 53.5°C arasında sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bütün bu sıcaklık değerlerine bakılarak tasarlanan güneş enerjili kurutucu ile daha hızlı bir kurutma gerçekleştirileceği belirtilmiştir. Şekil 2.8’ de güneş kurutucusu ve Hysys adlı programdan görseller verilmiştir (Khuresi ve Walke, 2016).



Şekil 2.8. Güneş kurutucu ve Hysys programı model görünümü

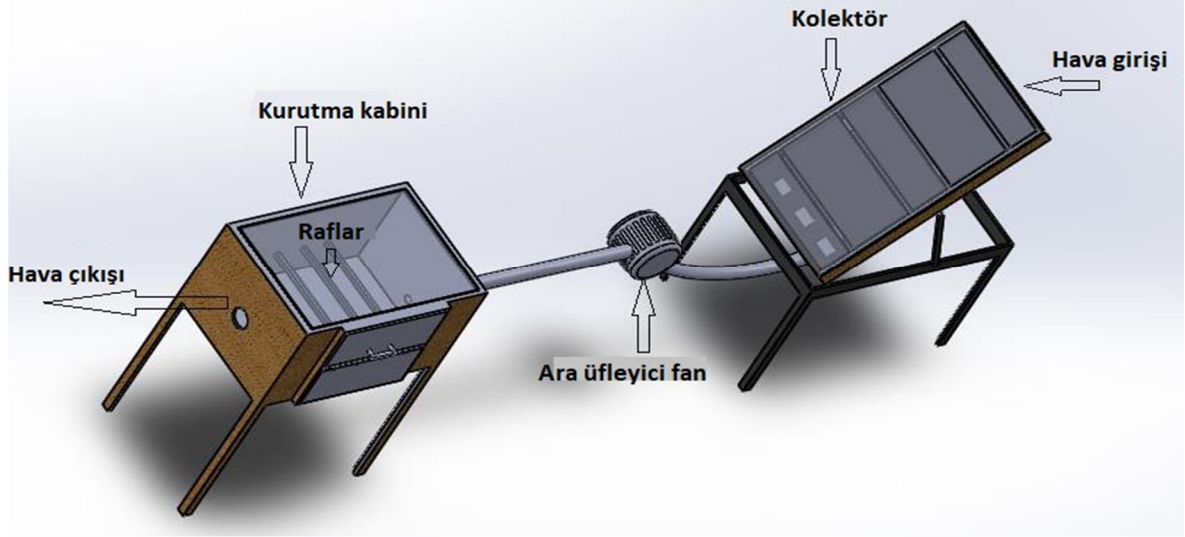
Şekil 2.9’ da gösterildiği gibi zorlanmış taşınımına sahip güneş enerjili bir kurutma sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde elma ve havucun kurutma işlemleri gerçekleştirilerek nem kaybı, sıcaklık, bağıl nem ve ürünlerin kurutma verimliliği kıyaslanmıştır. Kurutma sisteminin tasarımı yapılırken havanın şartlandırıldığı basit yapıda bir güneş kolektörü, iki adet tepsi içeren kurutma kabini ve havanın kurutma kabininden uzaklaşmasını sağlamak için fan yerleştirilmiştir. Kurutma sisteminde ortam sıcaklığı 41°C iken, hava kolektöründe 63°C ve kurutma kabini içerisinde 53°C sıcaklık değeri ölçülmüştür. Kurutma sisteminde kolektörde ve kurutma kabininde elde edilen bağıl nem miktarı, ortam şartlarının bağıl nem miktarından düşüktür. Ortam havasının bağıl nem miktarı %67, kolektörde %32 ve kurutma kabini içerisinde %47 olarak belirlenmiştir. Kurutma sistemine yerleştirilen 1000 gr elmanın kurutma sonrası 288 gr kaldığı ve %71.2 oranında nem miktarında düşüş olduğu, aynı şekilde yerleştirilen aynı miktarda havucun 532 gr kaldığı ve %53.2 nem miktarında düşüş olduğu saptanmıştır. Zorlanmış akışa sahip kurutucuda elma kurutma işleminin verimliliği %46.8 ve havuç kurutma işleminin %28.8 olduğu saptanmıştır. Kurutucunun gıda maddelerini kurutmak için uygun olduğu ve yeterli sürelerde istenilen nem değerlerini vereceği çalışmanın sonunda belirtilmiştir (Elhagar, 2015).



Şekil 2.9. Zorlanmış taşınımına sahip güneş enerjili kurutucu

Araştırmacılar, tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak olan zorlanmış taşınımlı güneş enerjili kurutucunun tasarımı ve imalatını yapmış olup, deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın en büyük amacı Hindistan’da tarımsal faaliyetler sonrası üretilen ürünlerin depolama ve bozulma sıkıntıları olduğundan ve kullanılan soğutma, yüksek enerji gerektiren kurutma sistemlerinin yerine geçebilecek bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır. Kurutma sistemi Şekil 2.10’ da görüldüğü gibi üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden biri havanın şartlandırılmasını sağlayan kolektör kısmıdır. Kolektör kısmının tasarımında galvanizli sac kullanılmış ve siyaha boyanmıştır. Kolektörün güneş ışınlarını verimli bir şekilde kullanabilmesi için uygun eğim açısı belirlenmiş ve buna göre tasarımı yapılmıştır. Bunun yanı sıra kolektör içinde dört ayrı bölme oluşturularak hava akımının hızı yavaşlatılmış ve güneş ışınlarına temas süresi arttırılmıştır. Kurutma sisteminde şartlandırılan hava bir ara eleman olan pompa ile aktarımı sağlanmış ve kuruma işleminin gerçekleştirileceği kurutma odasına gönderilmiştir. Tasarlanan bu sistemin belirli parametrelere göre teorik olarak termal analizi yapılmış olup kolektörün verimi %35.33, kurutucunun verimi ise %13.8 olarak belirlenmiştir. Bu sistemde yeşil elma kurutulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutucunun normal şartlara göre kıyaslanmasının yapılabilmesi için dış ortam şartlarında da ayrı bir kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma kabinde maksimum 51°C ve kolektörde ise 62.2°C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ortam havasının bağıl nemi en sıcak zamanda %57.7, kurutma odasında ise %22.6 olarak tespit edilmiştir. Kurutma odasına ve güneş altına 200 gr ağırlığında elma yerleştirilmiştir. Bir gün süren kuruma işlemi sonrası kurutma odasındaki ürünlerin ağırlığı 34 gr ve güneş altında olan elmaların kütlesi 44.6 gr

olarak ölçülmüştür. Bunlara ek olarak yapılan kimyasal testler sonucu güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulan ürünlerin daha kaliteli olduğu belirtilmiştir (Bharadwaz vd., 2017).



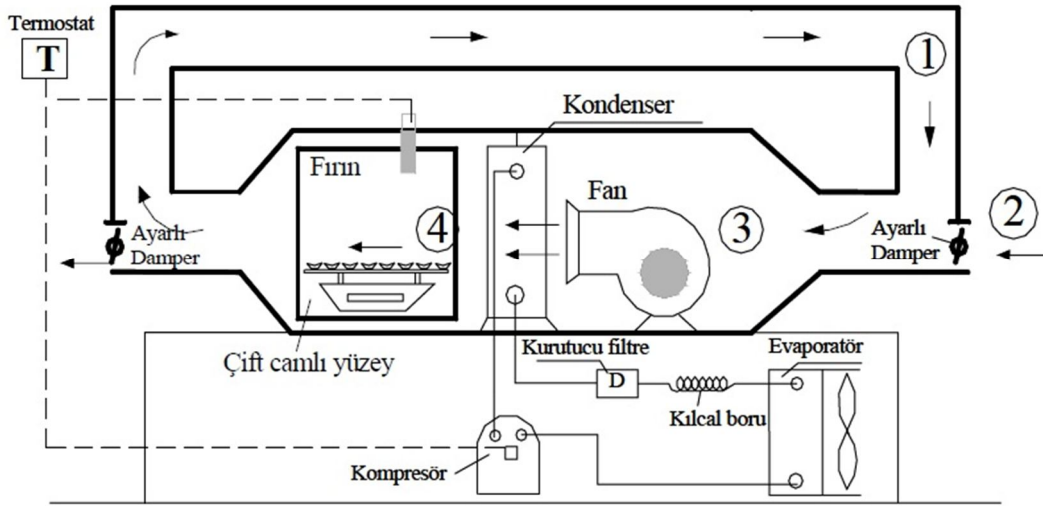
Şekil 2.10. Zorlanmış taşınımlı güneş enerjili kurutma sisteminin tasarım görüntüsü

Güneş enerjisi yardımıyla meyve veya sebzelerin kurutulması sağlanmıştır. Bu çalışmada Şekil 2.11’ de görülen zorlanmış ve doğal akımlı kurutucunun karşılaştırılması ve kurutulan ürünlerin ağırlık düşümü, nem içeriği ve kuruma hızları incelenmiştir. Kurutucu tamamen kontrplaktan imal edilmiştir. Kurutma havasının şartlandırılacağı kurutma paneli galvanizli sac yardımıyla imal edilmiş, alüminyum folyo ile kaplanıp siyaha boyanmıştır. Sistem doğal taşınımlı kullanılmasının yanında sisteme eklenen bir fan vasıtasıyla sistem zorlanmış hale çevrilmiş ve kıyaslama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi için 5 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlığında elma, portakal, mango kullanılmıştır. Kurutma işlemleri 7 saat sürdürülüp belirli zaman aralıklarında ölçümler alınmıştır. Deneyler sonucunda elma, mango, portakal için ağırlık kayıpları en fazla zorlanmış taşınımlı kurutma cihazında gerçekleştiği belirtilmiştir. Zorlanmış akışlı kurutucu ürünlerin nemini almakta daha iyi sonuç verdiği ve kurutma işlemini daha hızlı gerçekleştirdiğini, en yüksek nem kaybının ise 5 mm dilimlenen ürünlerde olduğu belirtilmiştir. Bütün deneyler sonucunda zorlanmış akışlı kurutma sisteminin doğal akışlı kurutma sistemine göre daha üstün olduğu, kurutma performansını ortam sıcaklığı, güneş kolektörünün verimliliği, havanın bağıl nemi ve rüzgâr hızının etkileyeceği sonuç olarak belirtilmiştir (Baradey vd., 2016).



Şekil 2.11. Doğal ve zorlanmış akışlı güneş enerjili kurutma sistemi ve kurutulacak ürünler

Elma kurutma işlemini gerçekleştirmek, teorik ve dnyusal analizler yapabilmek için Şekil 2.12’ de gösterilen ısı pompalı bir elma kurutma sistemi geliştirmiş ve tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem belirli kısımlardan oluşmaktadır. Bu kısımlar; kompresör, evaporatör, kondenser, termostat, kurutma fırını, fan, ayarlı damper ve kurutucu filtreden oluşmaktadır. Kurutma fırını içerisine yerleştirilen ürünlerin nemleri, yoğunlaştırıcı tarafından elde edilen sıcak hava ile alınması prensibine göre sistem çalışmaktadır. Tasarlanan sistemde kurutma havası sürekli olarak 40°C sıcaklıkta, 2.8 m/s hava hızında ve %20 bağıl neminde tutulmuştur. Kurutmaya başlamadan önce kurutulacak olan elmaların yaş baza göre nem içeriklerinin bulunabilmesi için 70°C de son iki ağırlık değişiminin sabit oluncaya kadar ağırlık ölçümleri kaydedilmiş ve ilk nem içeriklerinin %83 olduğu tespit edilmiştir. Kurutma deneyleri için 4 mm kalınlığında dilimlenen elmaların dışında herhangi bir kararma olmaması için limonlu askorbik asitli suda bekletilmiş ve kurutucuya yerleştirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutuma sonrası ürünlerin nem içeriği %18 olarak hesaplanırken, su aktivesi değeri 0.65 olarak tespit edilmiştir. Kurutulan elmaların dnyusal olarak incelenmesi sonucunda ikiye katlandıklarında kırılma olmadığı, ikiye ayrıldıklarında merkezlerinde nem ihtiva etmediklerini ve yüzeylerinde kararma meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Bütün bu çalışmalar ısı pompalı kurutma sisteminin bağıl nemin düşük olduğu yerlerde rahatlıkla kullanılabileceği ve kurutma işleminin verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır (Ceylan vd., 2005).



Şekil 2.12. Isı pompalı kurutma sistemi

Araştırmacılar, güneş enerjisi destekli bir ısı pompalı kurutucunun tasarımı ve imalatını yapmış, bu kurutucuda biber kurutarak normal şartlar altında yapılan kurutma işlemiyle kıyaslanmasını gerçekleştirmiştir. Şekil 2.13' te görülen kurutma sistemi, havanın şartlandırılmasını sağlayan ısı pompası ünitesi, güneş enerjili hava kolektörü ve kurutma odası olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Tasarlanan sistemin kurutulacak ürün kapasitesi yaklaşık olarak 20 kg olduğu belirtilmiştir. Kurutma sistemine 15 kg ağırlığında ve %80 ilk nem içeriğine sahip biber yerleştirilmiştir. Sistemde havanın kütleli debisi 0.15 kg/s, kurutma havası sıcaklığı 46°C ve bağıl nem %27 olup, ortam havası sıcaklığı 31°C ve bağıl nem %61 civarında olduğu belirtilmiştir. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucuda % 80 nem içeriğine sahip biberler %10 nem içeriğine 32 saatte gelirken, güneş altında yapılarak kurutma işlemi sonucunda ise biberler %11 nem oranına 64 saatte gelmiştir. Kurutma işlemleri güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucuda yaklaşık 4 gün sürerken, güneş altında yapılan kurutma işlemi 8 gün sürmüştür. Yapılan çalışmalar sonrası güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucunun aynı miktar kurutulacak ürün için yaklaşık iki katı kadar zamandan tasarruf ettiği gözlemlenmiştir (Dezfooli vd., 2013).



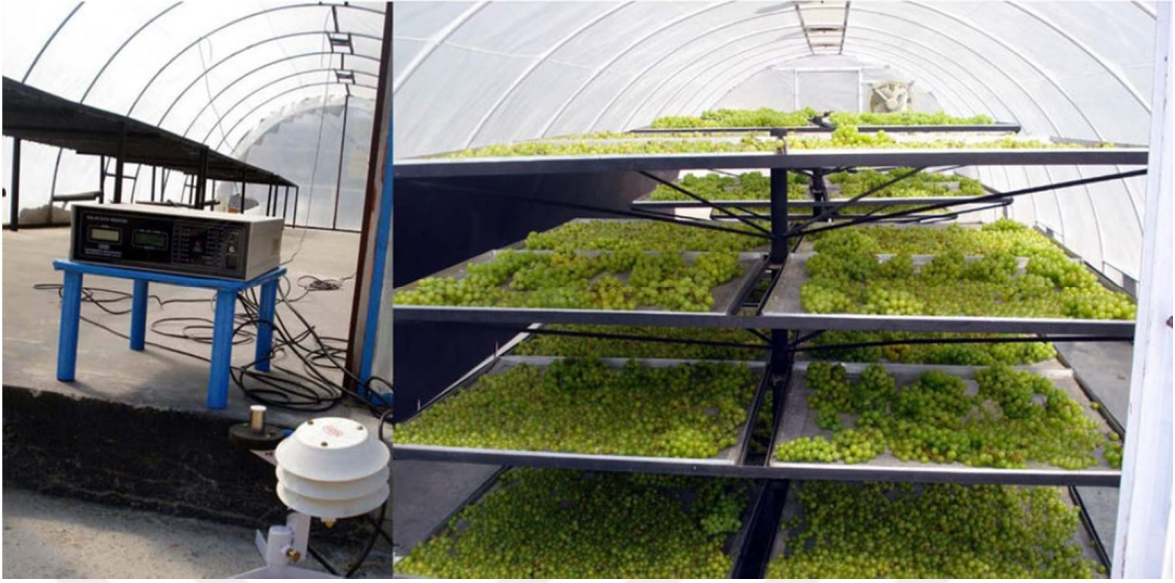
Şekil 2.13. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucu

Kırmızıbiberin kurutulmasını gerçekleştirmek için havanın iki ayrı yolla şartlandırılacağı bir kurutma sistemi oluşturulmuştur. Kurutma sistemi Şekil 2.14’ te görüldüğü gibi iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden biri belirli bir açı ile yerleştirilmiş güneş kolektörü diğeri ise kurutma kabini görevini görecektir. Güneş kolektörü içinde soğurucu bir yüzey, havanın kolektöre girmesi için fan ve çıkış havası deliğinden oluşmaktadır. Güneş kolektöründen elde edilen sıcak hava kurutma serasına ara boru ile gönderilmektedir. Kurutma serası belirli bir kalınlıkta beyaz pleksi levha ile oluşturulmuş ve havanın dışarıya atılması için iki ayrı fan yerleştirilmiştir. Kurutma sistemine yerleştirilen 12.15 g.su/g.kuru ilk nem içerikli kırmızıbiberler 17 saat sonra 0.17 g.su/g.kuru nem içeriğine gelirken, açık havada yapılan kurutma işleminde ise 0.19 g.su/g.kuru nem içeriğine gelen kırmızıbiberler 24 saatte kurutulmuştur. Deneyler sonucu oluşturulan kurutma sisteminin, güneş altında yapılan kuruma işlemine göre kuruma süresini yaklaşık 1 gün kısalttığı görülmüştür (Elkhadraoui vd., 2015).



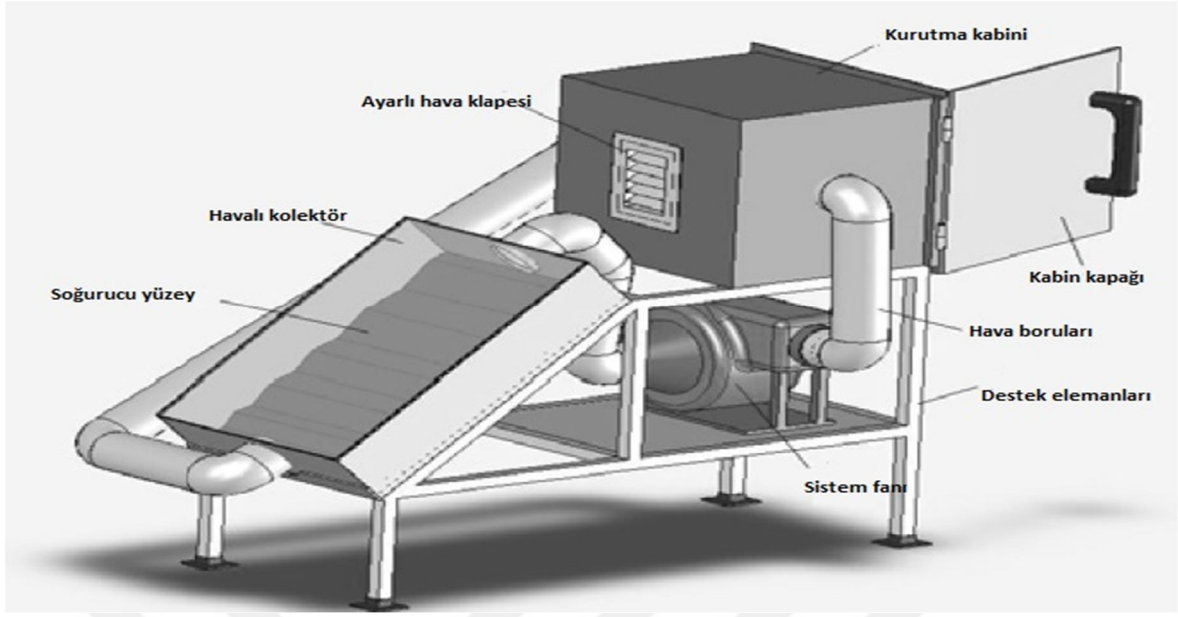
Şekil 2.14. Güneş enerjisi destekli kurutma serası

Üzüm kurutma işlemini gerçekleştirmek için Şekil 2.15’ te görülen yarı silindir şekilde bir kurutma serası tasarlanmış ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kurutma sistemi tamamen doğal akımlı olarak düşünülmüştür. Kurutma sistemi metal boru iskeletten oluşturulmuş ve belirli kalınlıktaki yarı saydam malzeme ile kaplanmıştır. Kurutma serasının kapasitesi 320 kg olarak belirlenmiş ve bu kütlenin yerleştirilebilmesi için dört ayrı yerleşim yüzeyi oluşturulmuştur. Kurutma havasının doğal olarak taşınımını gerçekleştirebilmek için seranın üzerine bacalar yerleştirilmiştir. Kurutucunun en fazla ısı kaybeden yüzeyi kuzey tarafı olduğu belirlenmiş ve belirli kalınlıkta yalıtım malzemesi ile ısı geçişi engellenmiştir. Sistemde yedi ayrı noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sistemde kurutma işlemini gerçekleştirmek için çekirdeksiz üzüm kullanılmıştır. Sistemde elde edilen maksimum sıcaklıklar 55°C ile 70°C arasında olduğu, kurutulan üzümlerin ise %84.4 nem içeriğinden %16.2 nem içeriğine ulaştığı belirtilmiştir. Kurutma işlemi yarı silindirik sera tipi kurutucuda yaklaşık 7 gün sürerken, normal şartlar altında yapılan kurutma işlemi ise 11 gün sürmüştür (Rathore ve Panwar, 2010).



Şekil 2.15. Yarı silindirik kurutma serası ve kurutulacak üzüm

Araştırmacılar, elma kurutma işlemini gerçekleştirmek için Şekil 2.16’ da şematik olarak gösterilen zorlanmış akışlı bir kurutma sisteminin tasarımını yapmıştır. Tasarlanan sistemde havalı güneş kolektörü, hava kanalları, kurutma odası, ayarlı hava klapesi, havanın sistem içerisinde dolaşımını sağlayan fan bulunmaktadır. Havalı güneş kolektörünün soğurucu yüzeyi 30° ile yerleştirilmiş ve 1 cm aralıklarla yükselen sac malzemeden imal edilmiş ve siyaha boyanmıştır. Kurutucunun kolektör kısmında ve kurutma odasında kurutma işleminin gözlemlenebilmesi için çift camlı yapı kullanılmıştır. Sistemde kullanılan fan iki amaçla kullanılmakta olup biri kolektörde ısınan havanın kurutma bölmesine gönderilmesi bir diğeri ise kurutma için kullanılan havanın tekrar şartlandırılmak üzere hava kolektörüne aktarılmasını sağlamaktır. Kurutma sonrası bağıl nemi yükselen havanın bağıl nemini düşürmek için kurutma odasına dışarı ile bağlantılı ayarlı bir hava giriş klapesi yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi için 4 mm kalınlığında dilimlenen elmalar, renk değişimlerinin olmaması için limonlu askorbik asitli suda bekletilmiştir. Elmaların ilk nem içerikleri yaş baza göre %83 olarak bulunmuştur. Elma kurutma işleminin 270 dakika sürdüğü, ortam havası sıcaklığının 5-10°C arasında ve kurutma fırın sıcaklığının ise 10-25°C arasında değiştiği verilerde belirtilmiştir. Teorik hesaplamalar sonucu sistemin veriminin % 40 olduğu, elma kurutulması işleminin ekonomik bir şekilde sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Ceylan vd., 2006).



Şekil 2.16. Güneş enerjili elma kurutma fırını ve kısımları

Pakistan’da su ısıtması ve kurutma için gerekli sıcak hava temini için birleşik çalışan düz bir güneş enerjili hava kolektörü Şekil 2.17’ deki gibi tasarlanmıştır. Hava kolektörünün gövdesinde ahşap malzeme kullanılmış ve yalıtım malzemesi ile belirli kalınlıkta kaplanmıştır. Hava kolektörünün soğurucu tasarımı v oluk şeklinde siyaha boyanmış çelik sac olup hava kolektörünün tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kolektör için 8 mm kalınlığında cam kapak oluşturulmuş ve kolektör tamamen siyaha boyanmıştır. Tasarlanan sistemde giriş ağzına yerleştirilen debisi ayarlanabilir fan ile havanın akış hızının kontrol edilebileceği belirtilmiştir. Destek elemanları yardımıyla kolektör 40°C eğim açısıyla güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Kurutma sisteminde elma, soğan ve hurmaların kurutma işlemleri gerçekleştirilip, kurutma parametrelerinin zaman ile bağdaştırılması yapılmıştır. Elde edilen grafiklerde regresyon analizleri yapıp, verilerin ilişkileri değerlendirilmiştir. Hava kolektöründe 40-50°C sıcaklıklar elde edilmiş olup, bağıl nem ise %10-30 arasında değişmiştir. Hava ısıtmalı güneş kolektöründe 5 saat boyunca 35-45°C sıcaklıklarında sıcak su elde edilebileceği belirtilmiştir. Soğanlar %93 başlangıç neminden %5 nem içeriğine 16 saatte getirilmiş ve kurutma işleminin iki günde bittiği belirtilmiştir. Elma kurutma işleminde %85 nem içeriğine sahip elmalar 9 saatin sonunda %5 nem içeriğine düşürülmüş iki günde tamamlanmıştır. Hurmalar ise %70 nem içeriğinden %6 nem içeriğine 9 saatte getirilmiş ve iki günde kurutma işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen deney verilerine ve teorik analizlere göre tasarlanan sistemin

kurutma ve su ısıtma işleminde verimli bir şekilde kullanılabileceği çalışmada belirtilmiştir (Hanıf vd., 2016).



Şekil 2.17. Düz plakalı hava ve su ısıtıcı güneş kolektörü

3. KURUTMA

Kurutma, meyve ve sebzelerin bozulmadan korunabilmesi için kurutulacak ürüne aynı zamanlı ısı ve kütle transferi işlemi sonrası nem kaybetmesi işlemidir. Tarımsal ürünlerin belirli sıcaklık ve nem değerlerinde kontrollü bir şekilde kurutulması kaliteli kurutulmuş ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Sontakke ve Salve, 2015).

Yetiştirilen meyve veya sebzelerin büyük bir kısmı hasat sonrası bozulmakta ve atık hale gelmektedir. Atık hale gelmesini önlemek ve ürünlerin aynı besin değer içeriğine sahip şekilde uzun süre saklamak için kurutma işlemi uygulanmaktadır. Kurutma çok eski zamandan günümüze kadar gelen bir gıda saklama yöntemi olup günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma işlemi gelecek zamanlarda daha geniş bir uygulama alanına sahip olacağı araştırmacılar tarafından öngörülmektedir. Bu öngörünün en büyük sebebi ekolojik düzenin bozulmasına paralel tarım ürünlerinin üretimin azalması, artan insan nüfusuna bağlı olarak verimli topraklarda üretilen ürünlerin saklanması için en uygun çözüm yolu olduğu belirtilmiştir. Kurutma günümüzde büyük bir pazara sahip olduğundan kaliteli ürünlerin oluşturulması, kurutma çalışmaları ve kurutma sistemlerinin tasarımları için büyük yatırımlar yapılmaktadır.

3.1. Kurutma ile İlgili Genel Termodinamik Terimler

3.1.1. Nemli Kurutma Havası ile İlgili Genel Termodinamik Terimler

Kurutma sistemlerinin tasarımı yapılırken belirli parametrelerin başında ürünlerdeki nemi almak için uygun ortamın hazırlanması ve nemin ortamdan uzaklaştırılması için uygun kurutma havası şartlarının sağlanması işlemleri incelenmektedir. Bu yüzden bu nem transfer işleminin gerçekleştirilebilmesi için belirli parametrelerin iyice kavranması ve net olarak tanımının yapılması gereklidir. Bu bölümde nemli havanın başlıca termodinamik özellikleri incelenmiştir.

3.1.1.1. Kuru Hava

İçinden tamamen su buharı alınmış havadır. Coğrafi koşullara, zamana, yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Kuru hava belirli miktarlarda azot, oksijen, argon, neon, helyum, karbon dioksit, metan, kükürt dioksit, hidrojen, kripton, ksenon ve ozon gazlarından oluşmaktadır (Kırbaş, 2013).

3.1.1.2. Islak Hava

Kuru hava ile su buharının karışarak oluşturduğu havaya ıslak hava denir. Su buharının miktarı, basınca ve sıcaklığa bağlı olarak sıfırdan maksimum değerlere kadar bulunabilir. Atmosfer havasında kütleli %3 ve hacimsel %4 su buharı bulunduran havaya ıslak hava veya nemli hava adı verilir (Kırbaş, 2013).

3.1.1.3. Doymuş Hava

Belirli şartlarda taşıyabileceği maksimum su buharını taşıyan havaya doymuş hava denilmektedir. Doymuş hava bağıl nemi 1 olan su buharı ile doyurulmuş havadır. Havanın doymuş olması nem aktarım hızını yavaşlatmaktadır (URL-1, 2017).

3.1.1.4. Kuru Termometre Sıcaklığı (K_t °C)

Termometreden ölçülen sıcaklık değerine kuru termometre sıcaklığı denilmektedir.

3.1.1.5. Yaş Termometre Sıcaklığı (Y_t °C)

Termometrenin alt kısmına yaş bir bez sarıp ve vantilatörün önüne koyduğumuzda rüzgârın etkisi ile bezdeki nem ortamdaki gizli ısıyı çekip buharlaşmaya başlayacaktır. Buharlaşma sonunda termometre sıcaklığı giderek düşecek ve belirli bir noktada duracaktır. Termometrede elde edilen son sıcaklık değerine yaş termometre sıcaklığı adı verilmektedir (Gönen, 2014).

3.1.1.6. Mutlak Nem (gr/m^3)

1 m^3 havada bulunan su buharı miktarını belirtir. Sıcaklık ve hacme göre su buharının miktarı değişmektedir. Mutlak nem sıcaklığın artması veya azalması ile değişmektedir (Bozkurt ve Kantay, 1990).

3.1.1.7. Bağıl Nem (RH , ϕ)

Mevcut havada bulunan su buharının, aynı sıcaklık şartlarındaki doymuş havadaki su buharına oranına bağıl nem denilmektedir (Çınar, 2007).

3.1.1.8. Özgül Nem (gr/kg)

Hava içerisindeki su buharı kütlelerinin, toplam su buharı içeren havanın kütlelerine oranı olarak tanımlanabilir (Bingöl ve Devres, 2010).

3.1.1.9. Entalpi (h-kcal/kg)

Kuru hava ve su buharı karışımının oluşturduğu ıslak havanın ısıtılması, soğutulması için sırasıyla verilmesi veya alınması gereken ısı miktarı olarak tanımlanabilir (Çınar, 2007).

3.1.1.10. Duyulur Isı (Q_d - kcal/kg) ve Gizli Isı (Q_g - kcal/kg)

Nemli havanın kuru termometre sıcaklığını değiştirmek için alınması veya verilmesi gereken ısıya duyulur ısı, kuru termometre sıcaklığında herhangi bir değişiklik olmadan mevcut havanın içerisindeki su buharını yoğunlaştırmak diğer anlamıyla durumunu değiştirmek için alınması veya verilmesi gereken ısı miktarına da gizli ısı denilmektedir (Çınar, 2007)

3.1.2. Kurutulacak Ürün ile İlgili Genel Terimler

3.1.2.1. Nem İçeriği

Nem içeriği ürün içerisindeki bağıl nemin bir ölçüsünü olup iki ayrı şekilde tanımlanmaktadır. Kullanım biçimine göre % yaş baz ve % kuru baz olarak hesaplanabilir (Darıcı ve Şen, 2012).

$$\% \text{yaş baza göre nem içeriği: } \%N_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{kuru baza göre nem içeriği: } \%N_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \times 100 \quad (3.2)$$

3.1.2.2. Ayrılabilir Nem Oranı

Ürünün herhangi bir zamandaki nem içeriği ile ürünün deneysel yöntemlerle hesaplanan ilk nem içeriğine oranına ayrılabilir nem oranı denilmektedir.

$$ANO = \frac{N_t}{N_0} \quad (3.3)$$

3.1.2.3. Su Aktivitesi(a_w) ve Denge Bağıl Nemi(ERH)

Su aktivitesi gıda maddelerinin tutabildiği suyun özelliklerini belirten bir terimdir. Bu terimi daha net şekilde ifade edecek olursak gıda maddesinin içerdiği suyun buhar

basıncının, aynı sıcaklık ve şartlardaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak teorik olarak tanımlanabilir (Evranoz, 1988).

Belirli bir nem içeriğine sahip gıda maddesi, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda bekletilirse havanın yapısında bulunan su buharının basıncı ile gıda maddesinin buhar basıncı arasındaki farka göre gıda maddesi ya ortama nem verir ya da nem alır. Belirli bir süre geçtikten sonra ürün, ortam ile arasında herhangi bir nem alışverişi gerçekleştirmez. Bu durumda ortam havasının içerisindeki su buhar basıncı ile ürün içerisindeki suyun buhar basınçlarının birbirine eşit olduğu kabul edilir. Gıda maddesinin bulunduğu ortam ile dengede olduğu andaki nem miktarına *denge nemi* adı verilmektedir. Denge neminde ürünü çevreleyen havanın bağıl nemine de *denge bağıl nemi* adı verilmektedir (Evranoz, 1988).

$$a_w = \frac{P_{gıda}}{P_{hava}} \quad (3.4)$$

Denge bağıl nemi ile su aktivitesi arasındaki ilişki ise aşağıdaki şekilde belirtilebilir.

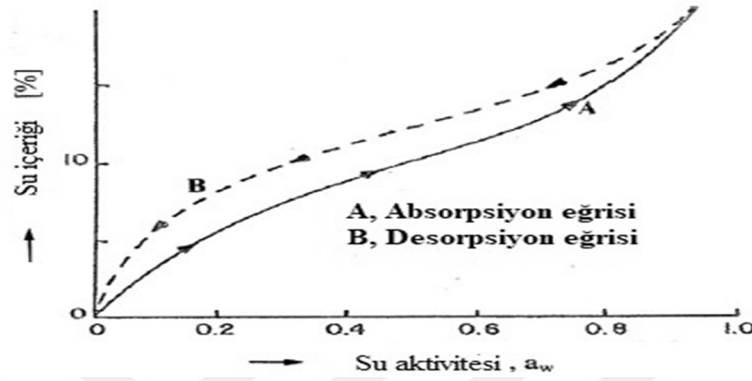
$$a_w = \frac{\text{Denge bağıl nemi(ERH)}}{100} \quad (3.5)$$

Gıda maddelerinin kaliteli bir şekilde saklamak için bilenen yöntemler arasında kurutma, dondurma ve konsantre etme işlemleri gelmektedir. Bütün bu yöntemlerin ortak özelliği gıda maddelerinin su aktivitesini kontrol altına alınmasıdır. Gıda maddelerinin bozulmasına yol açan suyun kurutularak veya dondurularak, gıda maddelerinin içerisinde meydana gelen mikrobiyolojik ve enzimatik olayların engellenmesi sağlanmaktadır. Kurutmada suyun ortamdan uzaklaştırılması, dondurmada buz evresine geçirilmesi ve konsantre işleminde ise su oranının azaltılmasındaki ana amaç su aktivitesinin düşürülmesini sağlamaktır. Su aktivitesi oranı 1.00 ile 0.90 arasındaki ürünler sulu gıda, 0.70 ile 0.90 arasındaki ürünler orta nemli gıdalar, 0.6' nın altındaki gıdalar ise kurutma işleminden geçen gıdalar olarak tanımlanmaktadır (Pala ve Saygı, 1983).

3.1.2.4. Sorpsiyon İzotermi

Gıda maddelerinin işlenmesi, dağıtılması ve depolanması sırasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin gözlenebilmesi ve

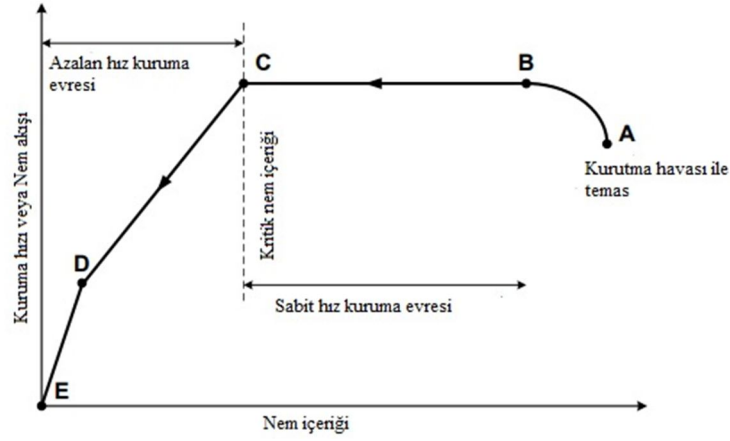
değerlendirebilmesi için sorpsiyon izotermi gereklidir. Sorpsiyon izotermi en genel olarak herhangi bir gıda maddesinin su aktivitesi ile su içeriği arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu ilişki sabit bir sıcaklıkta su aktivitesi ile su içeriği arasındaki grafik ile oluşturulmuştur. Şekil 3.1’ de sorpsiyon izotermi grafiği görülmektedir (Hii vd., 2012).



Sorpsiyon izotermi eğrileri sabit sıcaklıkta, farklı bağıl nem içeriklerine sahip olan ortam ile gıda arasında denge nem içeriği sağlandıktan sonra elde edilen ağırlık değişimlerinden oluşturulmaktadır. Sorpsiyon izoterm eğrileri kurutulmuş gıdalar için düşük su aktivitesi değerlerinden başlayarak absorpsiyon eğrilerini, yaş haldeki gıdalar için ise yüksek su aktivitesi değerleri sonucu desorpsiyon eğrileri oluşmaktadır. Bu eğriler yardımıyla gerçekleşecek olan gıda bozulma, kalite düşümü önceden belirlenebilir ve problemlere karşı çözüm üretilebilir (Erbaş vd., 2008).

3.2. Kurutma İşleminin Teorik Olarak İncelenmesi

Şekil 3.2’ de tek bir ürün için kuruma hızı, nem içeriği eğrisi görülmektedir. Kurumanın başlangıç noktası A noktası olarak tanımlanabilir. A noktası kurutulacak ürünün kurutucuya girdiği nokta olarak da belirtilebilir. A noktasında kurutma havası sıcaklığı ile ısı transferini hızla gerçekleştiren ürün, belirli bir süre sonra B noktasında dengeye ulaşır. Bu dönem oldukça kısa bir süre içerisinde gerçekleşmektedir. BC eğrisi bu durumun devamını temsil etmektedir. Bu eğri nem giderme işleminin sabit bir oranda ilerlediğini gösteren ve ilk kuruma periyodunu oluşturan evre olup, *sabit hız kuruma evresi* adı verilmektedir. Bu evre boyunca ürün yüzeyindeki suyun buharlaştırılması sağlanmaktadır.

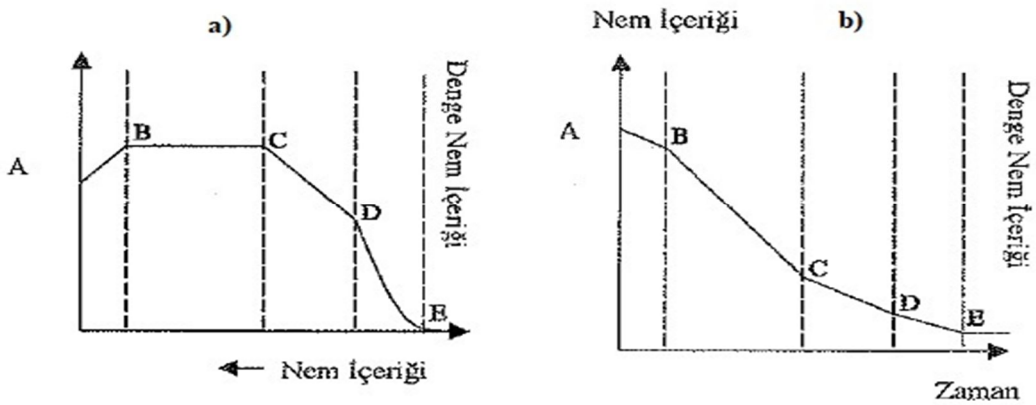


Şekil 3.2. Kuruma hızı eğrisi

Bu evrenin devam edebilmesi için denge koşullarına ulaşmaya kadar yüzeyde nem içeriğinin bulunması gerekmektedir. Yüzeydeki nem taşıma işlemi yavaşladığında ortaya *CDE* eğrisi ile gösterilen *azalan hız kuruma evresi* çıkmaktadır. Sabit hız kuruma evresinin bitip, yerini azalan hız kuruma evresine bıraktığını gösteren nokta *C* olarak gösterilmiş ve bu noktaya *kritik nem içeriği* adı verilmektedir. Azalan hız kuruma evresinde doğrusal bir durum eğrisi oluşturulmuş fakat bu eğri doğrusal değildir. Azalan hız kuruma evresi eğrisinin oluşmasında nem içeriği ve kritik nem içeriğinin büyük bir etkisi vardır. Kuruma işleminin gerçekleştirildiği üründe herhangi bir ıslaklığın kalmadığı ve kuruma işleminin tamamen katı katmanda gerçekleştiği nokta *D* noktası olarak belirtilmektedir. Denge nemi içeriğine ulaşıldığında ise kuruma hızının sıfıra düştüğü nokta *E* olarak görülmektedir (Handscomb vd., 2005).

3.2.1. Kuruma Evrelerinin incelenmesi

3.2.1.1. Ayarlanma Süreci



Şekil 3.3. Kurumanın aşamaları

Belirli bir sıcaklık ve nem içeriğine sahip kurutma havasının, kurutulacak olan ürün üzerinden geçirilerek ürün yüzey sıcaklığını yükseltirken, aynı anda ürün içerisindeki bir miktar nemi buharlaştırmaya başlar. Şekil 3.3’de gösterilen *AB* evresi bu süreci tanımlamaktadır ve kuruma hızı oldukça düşüktür (Doğanay, 2009).

3.2.1.2. Sabit Hız Kuruma Evresi

Şekil 3.3’ de *B* noktasından başlayıp *C* noktasında biten evreye *sabit hız kuruma evresi* adı verilmektedir. Bu süreçte kurutma havasından kurutulacak ürüne ısı aktarım hızı, meydana gelen buharlaşma hızı kadar olmaktadır. Bu evrede kuruma hızını kurutulacak ürünün yüzeyindeki su içeriği ve kurutma havasının yapısındaki su içeriği belirlemektedir.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{q}{\lambda} = kA(H_{kmad} - H_{hava}) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki formül ürünün yüzeyindeki su içeriği ve kurutma havasının su içeriği farkının doğrudan bağlantısı olan, ürünün yüzeyindeki buhar basıncı ile kurutma havasının buhar basıncının farkı şeklinde de ifade edilebilir.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{q}{\lambda} = k_1A(P_{kmad} - P_{hava}) \quad (3.7)$$

Kurutma havasının sıcaklığı, kurutulacak ürünün yüzeyinden sıcaktır. Bu sıcaklık farkının sebebi kurutma havasından aktarılan ısıнын yüzeydeki suyun buharlaşmasını sağlamak için kullanılmasıdır. Her iki yüzey arasında sıcaklık farkı olduğundan sürekli bir enerji aktarımı meydana gelmektedir. Belirli bir süre sonra yüzeydeki suyu buharlaştırmak için kullanılan enerji, yüzey üzerindeki buhar basıncını ve yüzey sıcaklığını sabitleştirir. Bu andaki buharlaşma için gereken enerjinin aktarım hızı ile ürün yüzeyindeki buharlaşma hızları eşittir. Ürünün bu andaki yüzey sıcaklığına *yaş hazne sıcaklığı* adı verilmektedir. Kısaca ürünün bu andaki yüzey sıcaklığı, kurutma havasının yaş termometre sıcaklığına eşittir.

Kuruma işlemi, yaş hazne sıcaklığında ihtiva eden nem içeriği ile kurutma havasının nem içeriğinin farkının belirleyeceği sabit bir kuruma hızında devam etmektedir. Bu süreç kuruma hızının en yüksek değerler elde ettiği süreç olarak tanımlanabilir. Kuruma hızı bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{hA(T_{hava}-T_{yaş})}{\lambda} \quad (3.8)$$

Bu evre, kurutma havasının sıcaklığı ile kurutulacak ürünün yüzey sıcaklığı olan yaş hazne sıcaklığının arasındaki farkın belirleyeceği, *C* noktasına yani *kritik nem* içeriğine ulaşana kadar sabit hızla devam etmektedir (Doğanay, 2009).

3.2.1.3. Azalan Hızda Kuruma Evresi

Azalan hızda kuruma evresi iki kısımda incelenmektedir. Bu evrelerden ilki *kuruma hızının ilk düşüş süreci* olarak tanımlanır ve Şekil 3.3’ de *CD* arası mesafeyi temsil eder. Bu evrede sabit hızda kuruma işlemine devam ederken kurutulacak ürünün nem içeriği azalır ve ürünün iç kısmından yüzeyine nem aktarımı işlemi gerçekleşir. Bu nem aktarım işlemi sürekli olmadığından ürünün dış yüzey sıcaklığı *C* noktasından itibaren artmakta ve artan sıcaklığa bağlı olarak ürün yüzeyinde kuru noktalar oluşmaktadır. *CD* eğrisi boyunca kuruma hızı sürekli olarak düşmeye devam etmektedir.

Kurutma hızının ilk düşüş süreci tanımlandıktan sonra devamında gelen sürece ise *kuruma hızının ikinci düşüş süreci* adı verilmiş ve Şekil 3.3’ de *DE* arası eğri ile gösterilmiştir. Devam eden kurutma işleminde *D* noktasına ulaşıldığında kuru noktaların genişliği artmış ve ürünün dış yüzeyini kuru bir tabaka kaplamıştır. Bu kuru tabakanın ısı geçirgenliğinin düşük olması ve iç ortamdan yüzeye taşınan sıvının difüzyonunun yavaşlamasından kuruma hızı *D* noktasına kadar hızlı bir düşüş sergilemektedir. Bu nokta *ikinci kritik nem içeriği noktası* olarak adlandırılmaktadır. *DE* eğrisi boyunca buharlaşma hızı, ürünün iç ortamda hapsediği suyun yüzeye aktarım hızına bağlıdır. Buharlaşma hızı düştüğünde, kurutma havasından alınan ısı düştüğünden ürünün yüzey sıcaklığı artmaktadır. Belirli bir süre sonunda ürünün içerdiği nemin buhar basıncı ile kurutma havasının neminin buhar basıncı birbirine eşit olur ve kurutma durur. Kurutmanın durmasının sebebi ise ürün içerisindeki nemin uzaklaştırma işlemi gerçekleşmediğinden, nemin buharlaşması için verilen ısı ürünün sıcaklığını arttıracak ve ürünün sıcaklığı kurutma havasının kuru termometre sıcaklığına yaklaşacaktır. Şekil 3.3’ de kurutmanın durduğu nokta *E* noktası olarak gösterilmektedir. Kurutmanın devam edebilmesi için kurutma havasının sıcaklığının arttırılması gerekmektedir (Doğanay, 2009).

3.3. Kurutma İşleminde Nem Hareket Mekanizmaları

Katı bir ürünün genellikle kuruma hızı eğrisinde iki veya üç kısım bulunmaktadır. Sabit hız kurutma dönemi boyunca ürünün dışında bir nem tabakası oluşmakta ve kurutma havasıyla süpürülerek ortamdaki uzaklaştırılmaktadır. Bu şekilde gaz filmi ile kurutma havası arasında bir kontrol faktörü oluşmaktadır. Azalan hız kurutma döneminde ürün içerisindeki nemin yüzeye aktarım biçimi önemlidir. Nemin yüzeye transfer mekanizmasını incelemek için difüzyon teorisi ve kapılar teorisi oluşturulmuştur.

3.3.1. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisinde nemin hava ara yüzüne hareket hızı, ısı iletimine benzer hız denklemleriyle ifade edilmiştir. Azalan hız kuruma döneminde yüzeyin ıslaklığı azalmış ve kuruma hızı sürekli düşmektedir. Bu yüzden birim alan başına kuruma hızı, ıslak alanın su içeriğinin doğrusal bir fonksiyonu olduğu aşağıdaki eşitlikte belirtilmiştir (Richardson vd., 2002).

$$\frac{dW}{dt} \frac{1}{A} = -m(w - w_e) \quad (3.9)$$

Katı içerisindeki suyun hareketinin yüzeye aktarımı, katı içi difüzyonla gerçekleştiği ve ısı iletim denklemleriyle benzer şekilde ifade edilebileceği varsayılmıştır. Kurutmanın her iki yüzeyde de gerçekleştiği, kurutulacak ürünün nem içeriğinin homojen dağıldığını ve kurutma işlemi sonunda yüzeyin tamamen kuru olduğunu kabul ederek aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur (Richardson vd., 2002).

$$\frac{\partial c_w}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c_w}{\partial y^2} \quad (3.10)$$

$$\frac{(w - w_e)}{(w_1 - w_e)} = \frac{\text{Herhangi bir zamandaki serbest sıvı içeriği}}{\text{Başlangıçtaki serbest sıvı içeriği}} \quad (3.11)$$

Bütün veriler ve sınır şartları bir araya getirilerek aşağıdaki genel denklem elde edilmiştir.

$$\frac{(w - w_e)}{(w_1 - w_e)} = \frac{8}{\pi^2} (e^{-D_L t (\pi/2l)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L t (\pi/2l)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L t (\pi/2l)^2} + \dots) \quad (3.12)$$

Kuruma zamanı uzun olduğunda aşağıdaki denklemin kullanılabileceği belirtilmiştir (Richardson vd., 2002).

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{2D_L}{l^2} e^{-\frac{D_L t \pi^2}{4l^2}} (w_1 - w_e) \quad (3.13)$$

3.3.2. Kapılar Teori

Kapılar teoride katı maddenin gözeneklerden oluştuğu ve gözeneklerin kılcal damarlarla bağlı olduğu kabul edilmektedir. Katı madde içerisindeki sıvının yüzeye hareketi gözeneklerde oluşan moleküler çekim ile meydana gelmektedir. Sıvı moleküller ile katı madde arasındaki bu çekim kuvvetine adezyon kuvveti denilmektedir. Adezyon kuvveti ile yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bir bölgeye aktarım söz konusudur. Kapılar akışın bitkilerde suyun köklerden yapraklara taşınması, hayvanların gövdesindeki kan dağılımı gibi birçok örneği bulunmaktadır. Aşağıda kapılar akış için geliştirilmiş bir denklem verilmiştir.

$$\ln\left(\frac{M-M_\infty}{M_1-M_\infty}\right) = \frac{h_s(T-T_s)}{\rho_s L \lambda (M_1-M_\infty)} t \quad (3.14)$$

Matematiksel olarak kapılar akış için geliştirilmiş olan denklem difüzyon denklemine benzemektedir. Bu benzerlik genellikle kapılar teorisinin ve difüzyon teorisinin yanlış tanımlanmasına neden olmaktadır. Her iki yöntemde de benzer itici güç ve konsantrasyon gradyenti olmasına rağmen akış mekanizmaları tamamen farklıdır. Gözenekli katılarda katı içerisindeki suyun yüzeye taşınması difüzyonla olmadığı, kapılar hareketle meydana geldiği belirtilmiştir (Srikiatden ve Roberts, 2007).

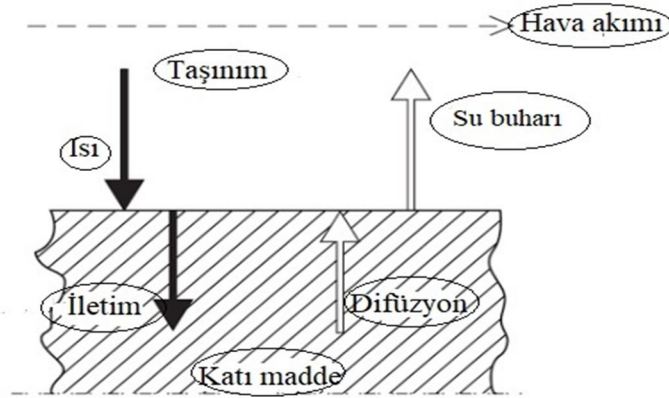
3.4. Kurutma İşleminde Gerçekleşen Isı ve Kütle Transferi

Katı maddelerin kurutulması, yapılarında bulunan suyun çevredeki ortama buharlaştırıldığı süreçtir. Kurutma işleminde iki olay aynı anda gerçekleşmektedir. Bu olaylar enerjinin transfer işlemiyle başlayıp, kurutulacak ürünün içerisindeki suyun yüzeye ve ardından çevre ortama aktarılmasıyla sona ermektedir. Enerjinin ısı olarak aktarılması çoğu durumda taşınım ve iletim sonucunda gerçekleşmektedir. Bazı durumlarda enerjinin aktarılması radyasyon yöntemiyle de olabilmektedir. Katıların kurutulmasında ısı genel

olarak sıcak hava ile katının yüzeyine aktarılmaktadır. Isı transferi genellikle havanın hızına, sıcaklığına, bağıl nemine, ürünün şekline ve boyutuna göre değişmektedir. Sıcak hava ile aktarılan ısı ürünün iç kısımlarına doğru hareket etmektedir. Katı ürünlerde iletim ve taşınım ısı transferinin en genel mekanizmalarıdır. Kurutulacak ürünün yüzey sıcaklığı ile içerisindeki en soğuk noktanın sıcaklığı arasındaki fark ürünün yapısına ve termofiziksel özelliklerine bağlıdır.

Katı kurutma ürünlerinde ısı transferi iletim ve taşınım ile sağlanmaktadır. Şekil 3.4’ de katı bir ürünün kurutulmasındaki ısı ve kütle transferi işlemi şematik olarak gösterilmektedir. Kurulacak üründe iç ve dış ısı akışına göre dirençler meydana gelmektedir. Ürünün dışında meydana gelen direnç, iç ortamda meydana gelen dirence göre fazladır ve bu da ürünün içerisinde bulundurduğu su ile ilişkilendirilmektedir. Sonuç olarak kurutma işleminin sonlarına doğru katı içerisine ısı transfer işlemi, kurutmanın başlangıcına göre daha zor olacaktır.

Kurutulacak katı ürünlerdeki suyun taşınması iki basamakta gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki katının içerisindeki suyun yüzeye taşınması işlemidir. Bu taşıma işlemi yaygın olarak difüzyon ve kapilar akış ile sağlanmaktadır. İkinci taşıma işleminde ise kurutulacak ürünün yüzeyindeki su buharlaştırılarak çevre havasına aktarılmasıdır. Kurutulacak ürünün içerisinde ve dışında gerçekleşen bu iki olay sırasıyla iç ve dış kütle transferlerini sağlamaktadır (Dikeman ve Divine, 2014).



Şekil 3.4. Katı bir ürünün kurutulmasındaki ısı ve kütle transferi işlemi

3.5. Kurutma İşlemine Etki Eden Parametreler

3.5.1. Ürünün Kimyasal İçeriği

Kuruma hızı boyunca ürünün kimyasal bileşimi sürekli olarak değişiklik göstermektedir. İçeriklerinde tuz, şeker gibi maddeler ihtiva eden ürünler yapısında bulunan suyun buhar basıncını düşürür ve suyun buharlaşmasını engeller. Herhangi bir şekilde ortamda yağ ve ürünün yapısında glikoz, nişasta, pektin bulunması ürünün kuruma hızını doğrudan etkilemektedir. Sebzelere su hücrelerinde veya hücreler arasındaki yapıda bulunmaktadır. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması kuruma işlemini hızlandırır. Bu uzaklaştırma işlemi haşlama yöntemiyle yapılabilir (Yaralı, 2014).

3.5.2. Ürünün Boyutları

Kuruma hızı, ürünün kalınlığı ile ters ve yüzey alanıyla doğru orantılıdır. Bu yüzden kurutulacak ürünlerin yüzey alanlarının geniş, kalınlıklarının az olması istenir. Bazı ürünler bütün halinde kurutulmalıdır. Bu nedenle kurutulacak ürünlerin boyutlandırılması yapılırken tüketicinin isteğine ve kuruma hızına göre seçim yapılmalıdır (Yaralı, 2014).

Ürünün şekli, kalınlığı ve yerleştirilme biçimi kurutma hızıyla doğrudan bağlantılıdır. Kurutma hızı, ürünün kurutma kalınlığının karesi ile ters orantılıdır. Kalınlık arttıkça kuruma hızı azalmaktadır (Erdoğan, 1984).

3.5.3. Sıcaklık

Kurutma yapılacak ortamın sıcaklığı ile kurutulacak ürünün sıcaklığı arasındaki fark kuruma hızına büyük ölçüde etki etmektedir. Kurutulacak ürünün sıcaklığının düşük, kurutma ortamının sıcaklığının yüksek olması istenir. Kurutma havasının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa üründen o kadar su alınır (Yaralı, 2014).

Hava sıcaklığının etkisi başlangıçta çok az olmaktadır. Kurutulacak ürün belirli bir nem içeriğine ulaştığında hava sıcaklığının etkisi doğru orantıda kuruma hızını etkilemektedir (Erdoğan, 1984).

3.5.4. Havanın Hızı ve Kuruluğu

Hava hızının belirli değerlerde olması ve artması kurutma işlemine doğru orantıda etki etmektedir (Yaralı, 2014).

Hava hızının etkisi daha çok yüksek kapasitelerdeki kurutma işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Düşük kapasiteli kuruma işleminde pek etkisi olmamaktadır (Erdoğan, 2014).

Havanın kuruluğu yani havanın içerdiği bağıl nem miktarı kurutmanın hangi nem oranına kadar devam edeceğini belirleyen en önemli faktördür. Kurutulacak ürün ile kurutma havası arasında nem dengesi oluşuncaya kadar kuruma işlemi devam etmektedir (Yaralı, 2014).

3.5.5. Atmosfer Basıncı ve Ürünün Kuruma Havasına Yerleştirilme Biçimi

Ortamda mevcut bulunan havanın atmosfer basıncının düşük olması, buharlaşma hızını yükseltir (Yaralı, 2014).

Kurutma sistemindeki havanın geçiş yolları, kurutma raflarının yerleştirilme biçimi, havanın akış şekli, hava hızları kuruma hızına ve ürünlerin homojen bir şekilde kurutulması işlemine doğrudan etki etmektedir (Erdoğan, 2014).

3.6. Kurutma Yöntemleri ve Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutma işleminin verimli şekilde gerçekleştirilmesi için uygun bir kurutma yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Tüketicinin ve üreticinin istediği şartları sağlamak amacıyla çok farklı kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemler uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu bölümde geçmişten günümüze kadar gelen kurutma yöntemleri hakkında bilgiler verilip, güneş enerjili kurutma sistemlerinin sınıflandırılması ve incelenmesi yapılmıştır.

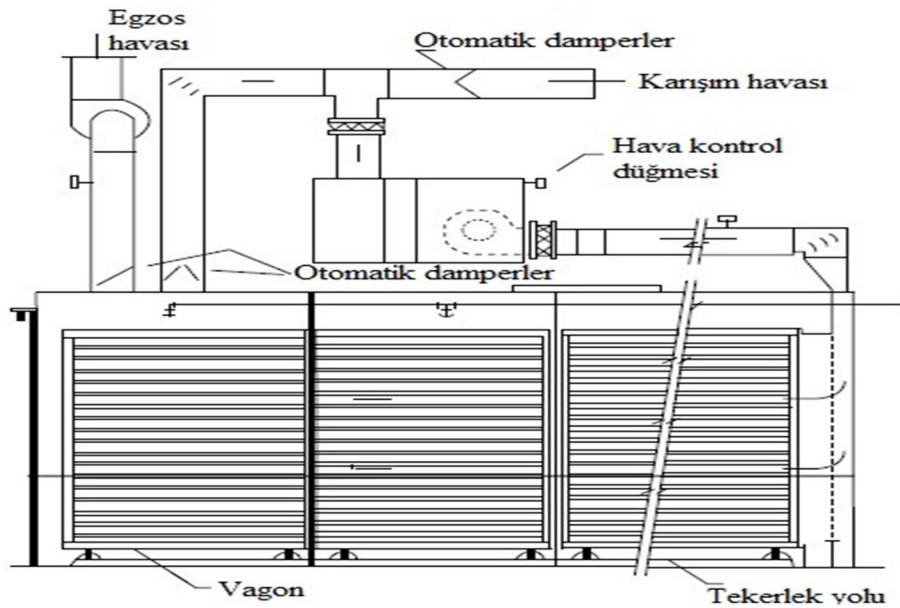
3.6.1. Kurutma Yöntemleri

3.6.1.1. Dondurarak Kurutma

Kurutulacak ürünlerin düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde yapısında bulunan suyun bir kısmının *süblimasyon* ile geriye kalan kısmını da yüksek sıcaklık değerlerine tekrar geri dönerek *desorpsiyon* yolu ile alınması işlemine dondurarak kurutma işlemi adı verilmektedir. Dondurarak kurutma yöntemi yapısında yüksek miktarlarda sıvı bulunduran gıdaların veya kurutulan maddelerin uzun süre saklanabilmesi için uygulanan bir kurutma yöntemidir (Cabı, 1978).

3.6.1.2. Tünel Kurutucular

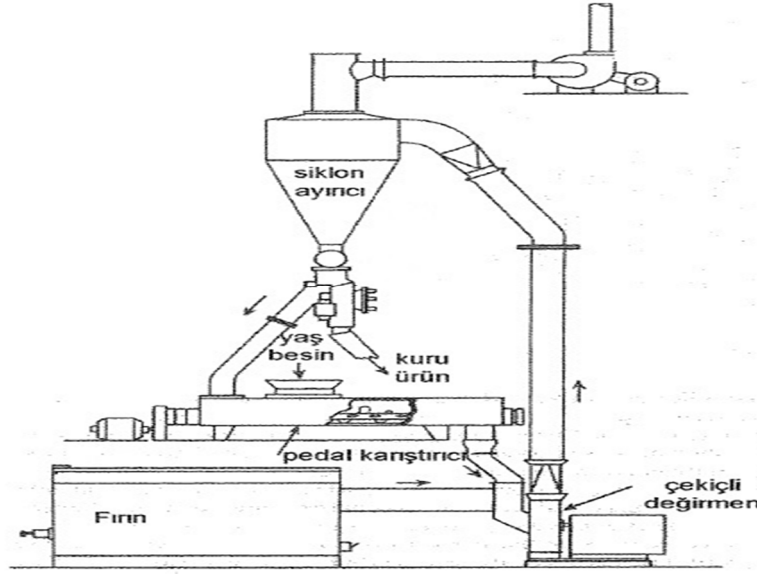
Bu kurutma sistemleri sürekli veya yarı zamanlı olarak çalışabilir. Şekil 3.5’ te gösterilen tünel kurutucuda, kurutma için gerekli olan sıcak hava sistem içerisinde fanlar vasıtasıyla dolaştırılmaktadır. Kurutma sisteminde sürekli hareket halinde bulunan kurutma tepsileri ve tepsileri taşıyan arabalar bulunmaktadır. Kurutma havası bu tepsilerin üzerine paralel, çapraz veya egzoz havası ile birleşerek kurutma bölmesine gönderilmektedir. Kurutma havası olarak atız gazlar veya ısıtılmış hava kullanılmaktadır. Tünel kurutucuda atık havanın tekrar kurutma havasına karışarak kullanılması enerji kaybını azaltmaktadır (Günerban, 2005).



Şekil 3.5. Tünel kurutucunun şematik görseli

3.6.1.3. Flaş Kurutucular

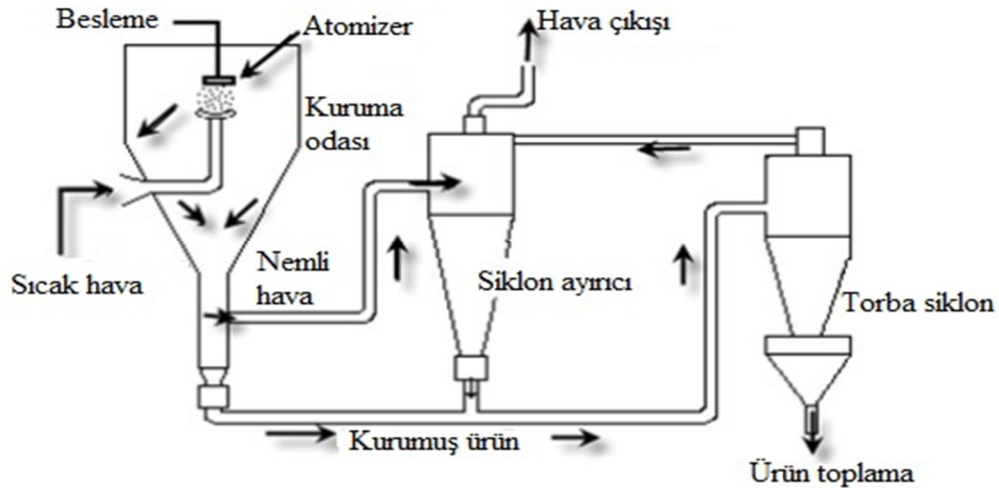
Flaş kurutucularda kurutulacak ürün nem ihtiva eden küçük parçacıklar haline getirilir. Bu parçacıklar yüksek sıcaklıkta bulunan gaz akımına taşınır. Gaz ortamında bulunan nemli kurutma ürünleri yüksek sıcaklıktaki gaz ile temas haline geçtiğinde kuruma işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Kurutma gazı sıcaklığı 650°C olmasına rağmen kurutulacak ürünlerin sıcaklıkları 50°C'nin üstüne çıkmaz. Flaş kurutma işlemi genellikle ısıya hassas malzemelerin kurutulması işleminde kullanılmaktadır. Flaş kurutucuların çoğu kurutulacak ürünün küçük parçacıklar haline ufalanmasını ve kurutulmasını sağlayan bir pülverizatör ile birleşik biçimde faaliyet göstermektedir. Şekil 3.6'de öğütücülü flaş kurutucu görülmektedir (Arın, 2006).



Şekil 3.6. Öğütücülü flaş kurutucu

3.6.1.4. Püskürtmeli Kurutma

Püskürtmeli kurutma sistemleri sıvı, çamurlu ve atomize hale getirilebilen viskozitesi düşük akışkanların kurutulmasını gerçekleştirmektedir. Püskürtmeli kurutma işlemi gıda, boya, ilaç, mineral gibi ısıya duyarlı maddelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu kurutucularda birim saat içinde yüksek miktarlarda kurutma kapasitelerine ulaşılabilir. Şekil 3.7' de gösterilen püskürtmeli kurutucu esas olarak dört adet kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar sıcak hava üretim haznesi, ürünün küçük parçacıklar haline getirildiği kısım, sıcak hava ile pülverize hale gelmiş ürünün bir araya getirildiği bölme ve kuruyan ürünün toplandığı kısımlardan oluşmaktadır. Bu kurutucularda 93°C ile 760°C gaz sıcaklığı arasında kuruma genellikle 5 saniye ile 15 saniye arasında gerçekleşmektedir. Kurutucu odasındaki sıcaklığın artmasıyla sistemin verimliliği artmaktadır. Kurutulan ürünlerin fiziksel özellikleri kurutma gazının sıcaklığına ve bu gazın ürüne olan gönderiliş şekline bağlıdır (URL-2, 2017).



Şekil 3.7. Püskürtmeli kurutucu

3.6.1.5. Vakumlu Kurutma

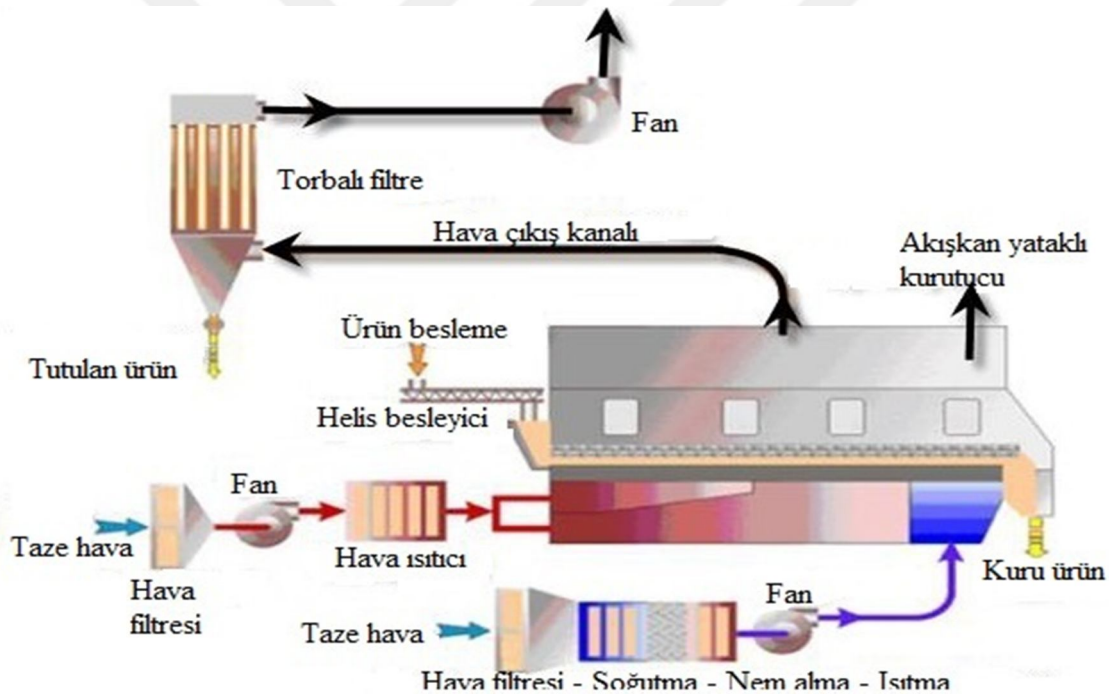
Vakumlu kurutma işleminde, kurutulacak ürünler basıncı düşürülen bir oda içerisine yerleştirilir. Basıncı düşürülen odada su buharının kısmi basıncı çok düşük hale gelmektedir. Kurutma odasına yerleştirilen ürün ile kurutma odası arasında büyük bir kısmi basınç farkı meydana gelir. Meydana gelen basınç farkı nedeniyle ürün yapısında bulunan su çevresine daha kolay halde taşınır. Böylece düşük sıcaklıklarda kurutma işleminin gerçekleştirilmesi sağlanır. Bu yöntem daha çok yüksek sıcaklıklarda fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişiklik gösteren gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır (Wilhelm vd., 2004).

3.6.1.6. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma işleminde, ürün içerisinde serbest halde bulunan su molekülleri bir elektrik alan içerisinde bırakılır. Bu alan içerisinde serbest halde bulunan su molekülleri ısınır ve hal değiştirir. Hal değişimi sonrası ürün içerisindeki nemin uzaklaştırması işlemi gerçekleşmiş olur. Genel olarak bu kurutma sistemleri, elektriği iletmeyen ve şerit halindeki malzemelerin kurutulması için kullanılmaktadır. Bu kurutma işleminin diğer kurutma işlemlerine göre üstünlüğü yüksek kurutma hızı, kontrol edilebilir şartlar, yüksek verimlilik ve uygulama kolaylığı dikkat çekmektedir. Mikrodalga kurutma sistemleri gıda, tekstil, seramik ve ağaç sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-3, 2017).

3.6.1.7. Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı kurutucular, genellikle küçük boyutlardaki taneciklerin kurutulması işlemini gerçekleştiren ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan bir kurutma yöntemidir. Akışkan yataklı kurutucular büyük kurutma kapasitelerine sahiptirler. Şekil 3.8’ de şematik olarak verilen akışkan yataklı kurutma sisteminde, kurutma işlemini gerçekleştirecek gaz taneciklerin yerçekimi koşullarını yenerek tanecikleri havada askıda tutar ve kurutma havası ile tanecikler arasında ısıl bağ kurulur. Kurutulacak tanecikler yatay olarak hareket eder ve oluşturulan bölmede toplanılır. Kurutulacak olan her tanecik için yatakta bekleme süresi yaklaşık 30–120 saniye arasında değişmekte olup, ürünün nem miktarına göre bu süre uzamaktadır. Akışkan yataklı kurutucular kendi aralarında statik, titreşimli ve malzemeyi akışkanlaştıran olarak sınıflandırılabilirler. (URL-4, 2017).



Şekil 3.8. Akışkan yataklı kurutucu

3.6.1.8. Güneş Enerjisi ile Kurutma

Güneş enerjisi ile kurutma işlemi, geçmişten günümüze kadar gelen bir gıda işleme yöntemidir. Güneş enerjisi ile kurutmanın en basit yöntemi kurutulacak ürünlerin güneş altında bekletilerek kuru gıda haline getirilmesidir. Bu yöntemde elde edilen ürünlerin kalitelerinin düşük olması, kuruma sürelerinin uzun olması ve belirli miktarlarla sınırlı olması yöntemin dezavantajlarıdır. Bu yüzden güneş enerjisinden etkin biçimde

faaydalanacak kurutma sistemlerinin oluşturulması için çalışmalar yürütülmektedir. Bu sistemlerin ana çalışma prensibi, kurutma için gerekli olan kuru havanın güneş enerjisi yardımıyla şartlandırılması işlemine dayanmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan teknolojiye paralel olarak farklı yapılar da güneş enerjisi ile kurutuma yapan sistemler oluşturulmuş ve kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ile kurutmanın diğerkurutma sistemlerine göre en büyük avantajı günümüzde giderek azalan enerji kaynaklarını kullanmayıp, sınırsız enerji kaynağı olan güneşi kullanmasıdır.

3.6.1.9. Kabin Kurutucular

Kabin kurutucuların yapısını, vagonlar, delikli tepsiler ve kurutuma odası oluşturmaktadır. Delikli tepsilere yerleştirilen ürünler vagonlara yerleştirilir ve sabit pozisyonda kalırlar. Kurutma için gerekli olan hava girişi kabinin yan tarafındaki ayarlanabilir panjurlarla sağlanmaktadır. Kurutma için kullanılan hava kabinden çıkarak tekrar ısıtıcıya dönmektedir. Bu sistemin dezavantajı, kuruma havasının sisteme yan kısımdan verilmesinden dolayı bütün ürünlere aynı hızda ulaşmamasıdır. Bunu önlemek için havanın sirkülasyonunu sağlayan fanların belirli zamanlarda yönleri değiştirilmekte veya çift fan kullanılmaktadır (URL-5, 2017).

3.6.1.10. Kızılötesi Işınımlı Kurutma

Bu kurutma sisteminde, kurutulacak ürünlerin üzerine bir yansıtıcı aracılığıyla 1 ile 8 mikrometre dalga boyu arasında değişen ışınlar gönderilerek ürünün ısıtılması veya kurutulması yapılmaktadır. Kızılötesi ışınımlı kurutma işlemini daha verimli hale getirmek için kurutma işlemi vakum ortamında yapılabilmektedir (Doğanay, 2009).

3.6.2. Güneş Enerjili Kurutucular

3.6.2.1. Güneş Enerjili Kurutucuların Havanın Akış şekline göre Sınıflandırılması

3.6.2.1.1. Doğal Akışlı Kurutucular

Bu kurutucularda hava, sistem içerisindeki hava ile ortam havasının arasındaki yoğunluk farkına bağlı olarak dolaşmaktadır. Yoğunluk farkına göre dış ortam ile sistem içerisindeki hava arasında sürekli bir basınç farkı bulunmaktadır. Bu kurutucularda düşük basınç farkları elde edildiğinden sistem içerisindeki hava hızları 0.1 m/s ile 0.5 m/s arasında değişmektedir. Kurutucu içerisindeki hava sıcaklıkları doğrudan güneş ışınımına

bağlı olduğundan sistem içerisindeki hava hızları değişkendir. Genellikle bu sistemlerde hava akış hızını arttırmak için çıkış havası ağızına güneş bacası uygulamaları yapılmaktadır. Doğal akışlı kurutucuları diğer sistemlere göre sınırlayan etmenler arasında, hava akış hızı ve değişken hava akış hızları dikkat çekmektedir. Bu sistemlerin zorlanmış akışlı kurutuculara göre performanslarının düşük olmasına rağmen ek bir elektrik kaynağına gerek duymadan kullanılması bu kurutucuların en büyük avantajıdır (Fuller, 2002).

3.6.2.1.2. Zorlanmış Akışlı Kurutucular

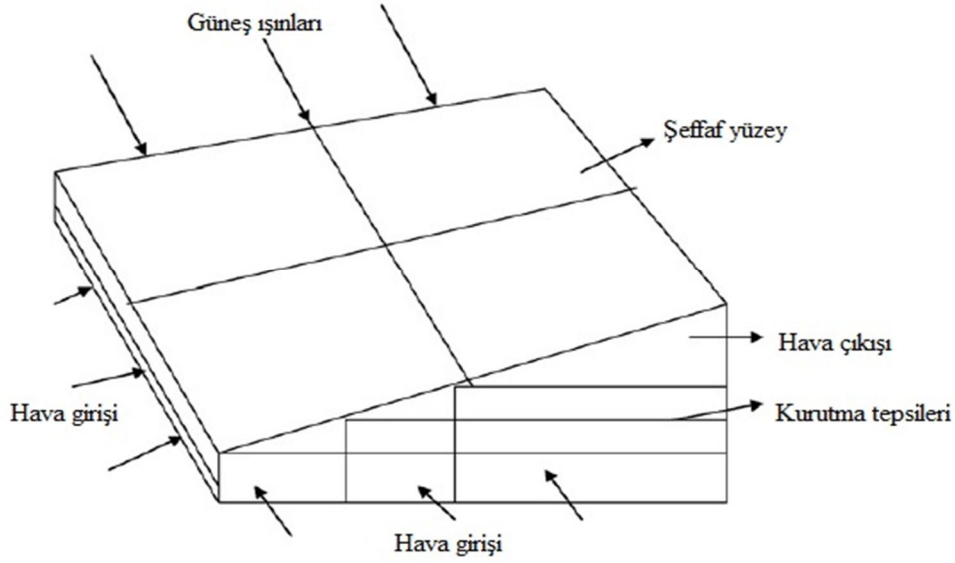
Zorlanmış akışlı kurutucularda havayı kurutucuya göndermek için fan kullanılmaktadır. Bu kurutucularda 3 m/s ve üzerinde hava hızları elde edilmektedir. Bu kurutucuların en büyük özelliği sabit kurutma havası hızları elde edildiğinden, sabit hızda kuruma evresinin verimli şekilde geçmesini sağlanmaktadır. Hava hızı kurutma işleminin ilerleyişine göre kontrol edilebilmektedir. Bu kurutucuların dikkat çeken avantajı yüksek miktarlarda ürün kurutulabilmesi ve kurutma sürelerinin düşük olmasıdır. Sistemin dezavantajı olarak elektrik, işletme ve sermaye maliyetleri gösterilebilir. Bu tür kurutma sistemleri genellikle ticari amaçlarla kullanıldığından avantajları dezavantajlarından daha fazla etki yaratmaktadır (Fuller, 2002).

3.6.2.2. Güneş Enerjili Kurutucuların Güneşi Kullanış Biçimine göre Sınıflandırılması

3.6.2.2.1. Doğrudan Etkili Güneş Enerjili Kurutucular

Doğrudan etkili güneş enerjili kurutuculara doğal akışlı kabin kurutucu adı da verilmektedir. Bu kurutucularda sadece ısınan havanın doğal akışı söz konusudur. Şekil 3.9' da şematik olarak gösterilen kurutucuda güneş ışınlarının toplandığı cam bir bölüm vardır. Güneş ışınlarının bir kısmı kurutma için kullanılırken bir kısmı ürün ve cam yüzeyinden tekrar dış ortama yansımaktadır. Açık havada yapılan kurutma işlemine kıyasla kuruma haznesi cam ile kapalı olduğundan ısının ortamdaki uzaklaşması zorlaşmakta ve zamanla kurutma ortamının, ürün sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Meydana gelen bu sıcaklık artışı ile ürün yapısındaki suyun buharlaştırılması sağlanmaktadır. Üründen alınan nemin uzaklaştırılması ise sisteme üstten açılan bir çıkış havası deliği ile sağlanmaktadır. Bu kurutucular genellikle cam veya plastikten yapılarak iyice yalıtılmaktadırlar. Kurutulacak ürünler delikli tepsilere yerleştirilmekte ve alttan giren

kurutma havasının kurutulacak ürünler üzerinden etkili bir şekilde akması sağlanmaktadır (Akarslan, 2012).

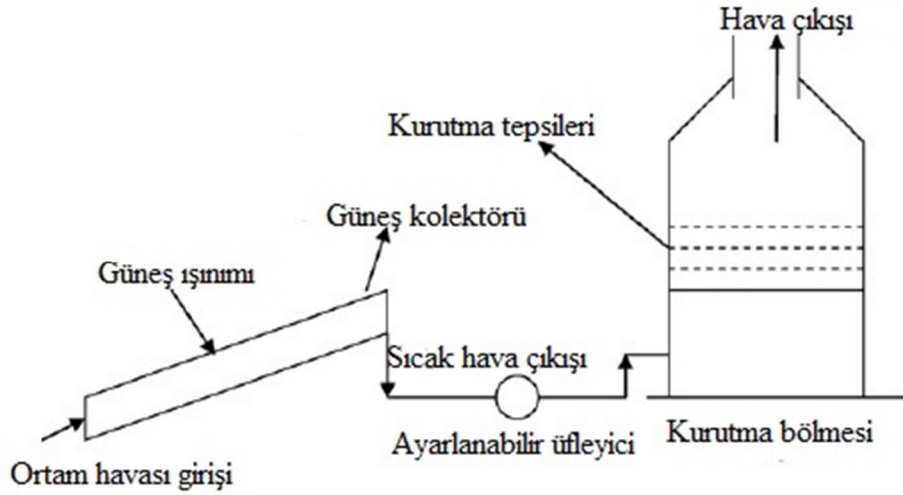


Şekil 3.9. Doğrudan etkili güneş enerjili kurutucu

3.6.2.2.2. Dolaylı Etkili Güneş Enerjili Kurutucular

Dolaylı etkili güneş enerjili kurutma işlemi, doğrudan güneş etkili kurutuma işlemine göre daha üstün bir yöntem olup yeni bir tekniktir. Bu kurutucularda atmosfer havası düz toplayıcı yüzeye sahip kolektör aracılığıyla ısıtılmaktadır. Havanın akışı zorlanmış veya doğal olarak gerçekleşmektedir. Kolektör yardımıyla ısıtılan hava kurutma bölmesine gönderilmekte ve ürünlerin nemlerinin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Dolaylı etkili güneş enerjili kurutucularda ürünlerin doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmamaları sağlanmaktadır (Chaudhari vd., 2014).

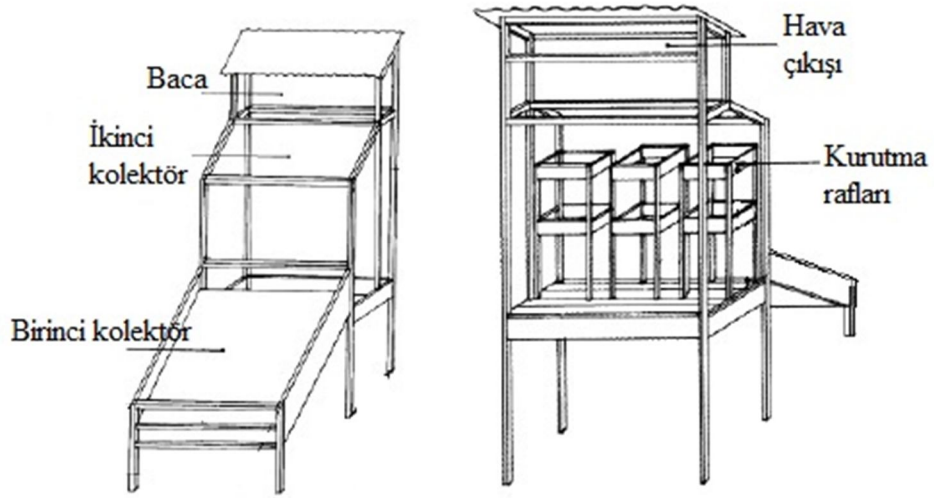
Dolaylı etkili güneş enerji kurutucuların ihtiyaçlara uygun olarak farklı şekillerde tasarımları bulunmaktadır. Şekil 3.10' da görülen dolaylı etkili güneş enerjili kurutma sisteminde, sisteme giren havayı ısıtmak için güneş ışınlarının toplandığı bir güneş kolektörü bulunmaktadır. Kolektör ile ürünlerin kurutulacağı kurutma odası ayrı olarak tasarlanmıştır. Kolektörde ısıtılan hava araya koyulan bir üfleyici vasıtasıyla kurutma bölmesine gönderilmiş ve ürünlerin nemlerinin buharlaştırılması sağlanmıştır. Bu kurutucularda kurutma şartları kontrol edilebilmekte ve daha kaliteli kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir (Akarslan, 2012).



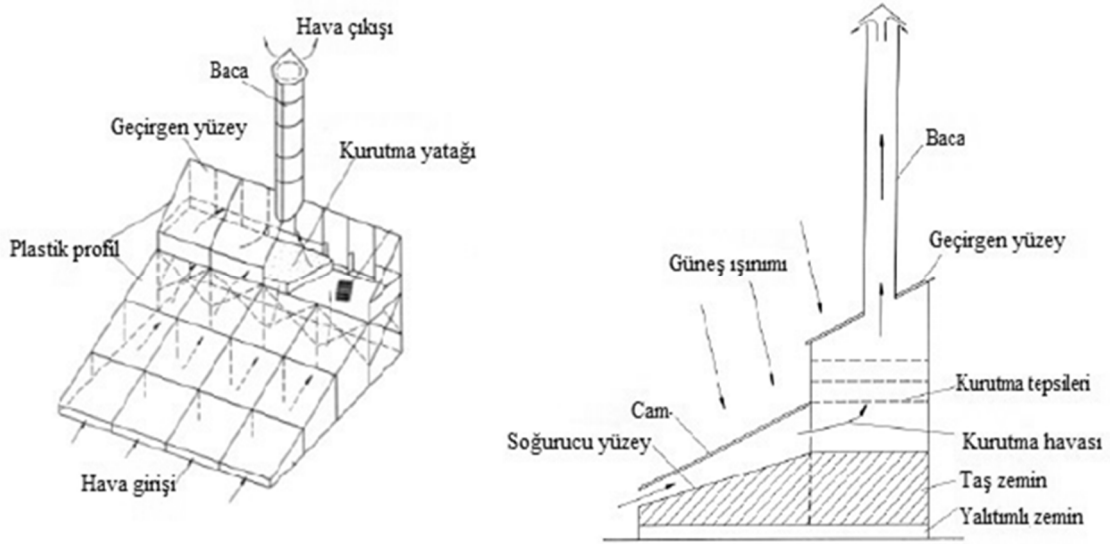
Şekil 3.10. Dolaylı etkili güneş enerjili kurutucu

3.6.2.2.3. Karışık Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Bu kurutucular dolaylı ve doğrudan etkili güneş enerjili kurutucuların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu kurutucularda ürünler, hem güneş ışınlarına hem de kolektörde şartlandırılan kurutma havasına maruz kalmaktadır. Kurutma havası güneş kolektöründe güneş enerjisi yardımıyla ısıtılmaktadır. Kurutulacak olan ürünler tamamen güneş ışınımını geçiren bir bölmeyle koyulmaktadır. Şekil 3.11’ de görülen doğal akışlı karışık tip güneş enerjili kurutucu, hava ısıtıcısı, kurutma bölmesi ve baca olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kurutma sisteminde hava kolektörde ısıdıktan sonra kurutma bölmesine gelmektedir. Sistem tamamen geçirgen malzemeden üretildiğinden kurutulacak ürünler doğrudan güneş ışınımı etkisi altındadır. Şekil 3.12’ de karışık tip güneş enerji kurutucuların farklı uygulamaları şematik olarak verilmiştir (Chaudhari ve Salve, 2014).



Şekil 3.11. Doğal akışlı karışık tip güneş enerjili kurutucu



Şekil 3.12. Karışık tip güneş enerjili kurutucuların farklı uygulama alanları

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Materyal

Bu çalışmada, iki farklı kurutucu tipine sahip güneş enerjisi destekli, doğal taşınımlı kurutma sistemi tasarlanıp imal edilmiştir. İlk olarak soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun, daha sonra ise borulu kolektöre sahip kurutucunun tasarımı yapılmıştır. İki tip kurutucunun tasarım parametreleri tamamen aynı olup aralarındaki tek fark kurutma için gerekli olan sıcak havanın şartlandırıldığı kolektör yapısıdır. Bunun için güneş enerjisi dışında ek bir enerji kaynağı kullanılmayacağından, güneş ışınlarından en verimli şekilde faydalanılacak kolektör tasarımının yapılması gerekmektedir.

Kolektör tasarımına başlarken ilk önce kurutma işleminin Elazığ’ da gerçekleştirileceği belirlenmiştir. Elazığ ilinin konumuna bağlı olarak uygun kolektör eğim açısı bulunmuştur. Kolektör eğim açısı belirlendikten sonra kolektörün tasarımına geçilmiştir. Kurutma sisteminde kolektörde şartlandırılan havanın dolaşımı, doğal taşınım şartları ile sağlanacağından uygun hava kanalı boyutlandırılması yapılmış ve buna bağlı olarak güneş ışınlarının toplanacağı cam yüzeyin boyutları elde edilmiştir. Kolektör ile kurutma odası bir bütün halde düşünülmüş ve kolektör eğim açısını bozmayacak şekilde kurutma bölmesi kolektör üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma bölümünde ürünlerin kurutulacağı raflar ve kullanılan havanın dış ortama atılmasını sağlayan ayarlı hava çıkış delikleri bulunmaktadır.

4.1.1. Doğal Taşınımlı, Soğurucu Yüzeyli Kolektöre Sahip Kurutucunun Tasarımı ve İmalatı

Yukarıda verilen tasarım parametreleri bir araya getirilerek doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun, kolektör ve kurutma bölmesi tasarımı Şekil 4.1a ve b’ de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Kurutucunun üç boyutlu tasarımı Solidworks 2016 programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2a ve b’ de soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun sırasıyla önden ve arkadan tasarım görünüşleri verilmiştir. Daha sonra tasarımı yapılan bu sistem aşağıdaki şekilde imal edilmiştir.

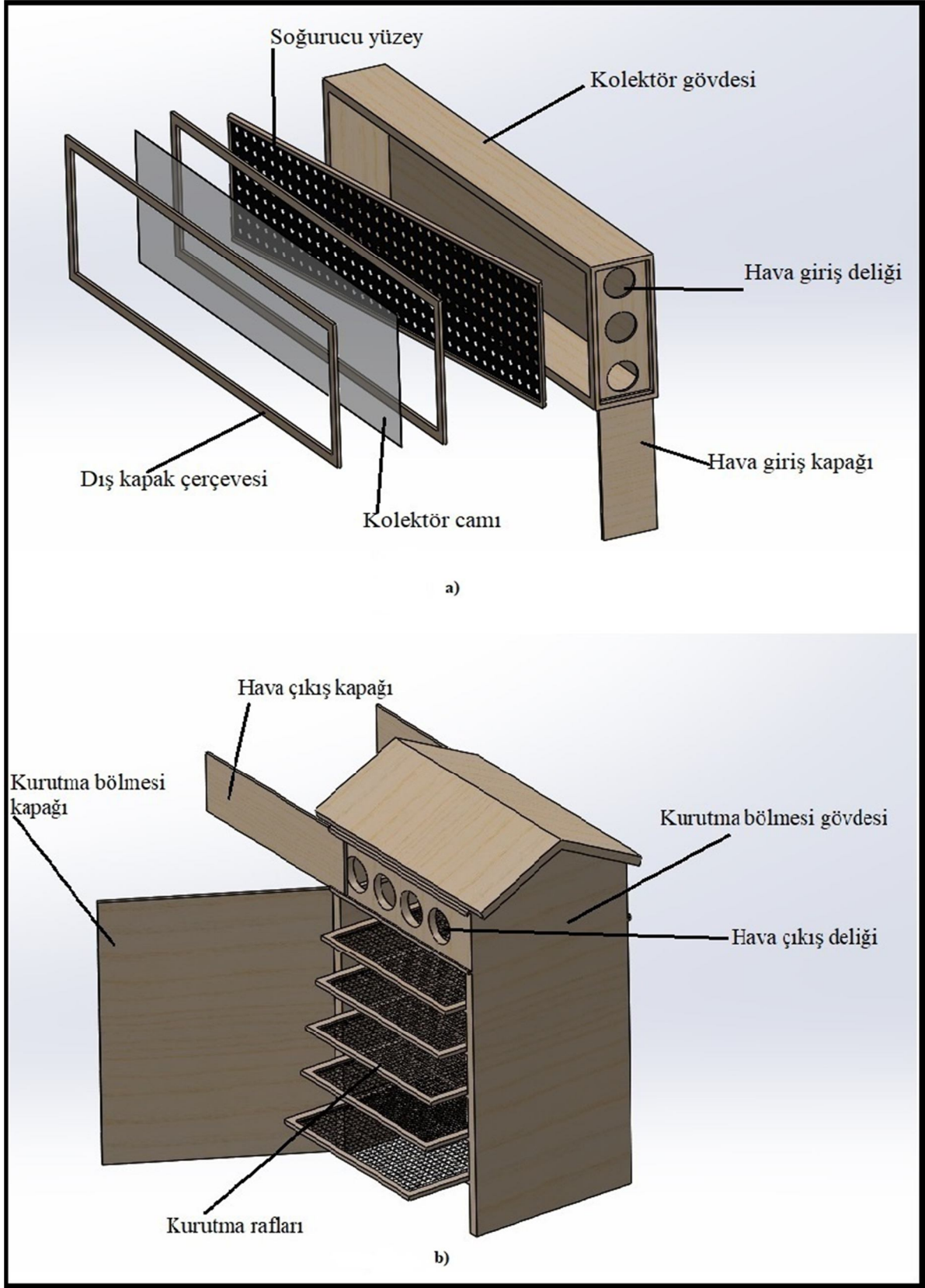
Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucu 1500x1300x475 mm boyutlarındadır. Güneş kolektörü 1200x150x475 mm, kurutma bölümü ise 300x650x475 mm boyutlarında imal edilmiştir. Dış gövde ve kurutma bölmesi 8 mm kalınlığında kayın marin kontrplaktan oluşturulmuştur. Belirli boyutlarda kesilen gövde elemanları ahşap

kereste profilden elde edilen destek elemanları ile birleştirilmiştir. İmal edilen gövdeye tasarım aşamasında 15 mm yalıtım payı verilmiş ve imalat aşamasında iki tarafı alüminyumdan oluşan izocam ile yalıtımı yapılmıştır.

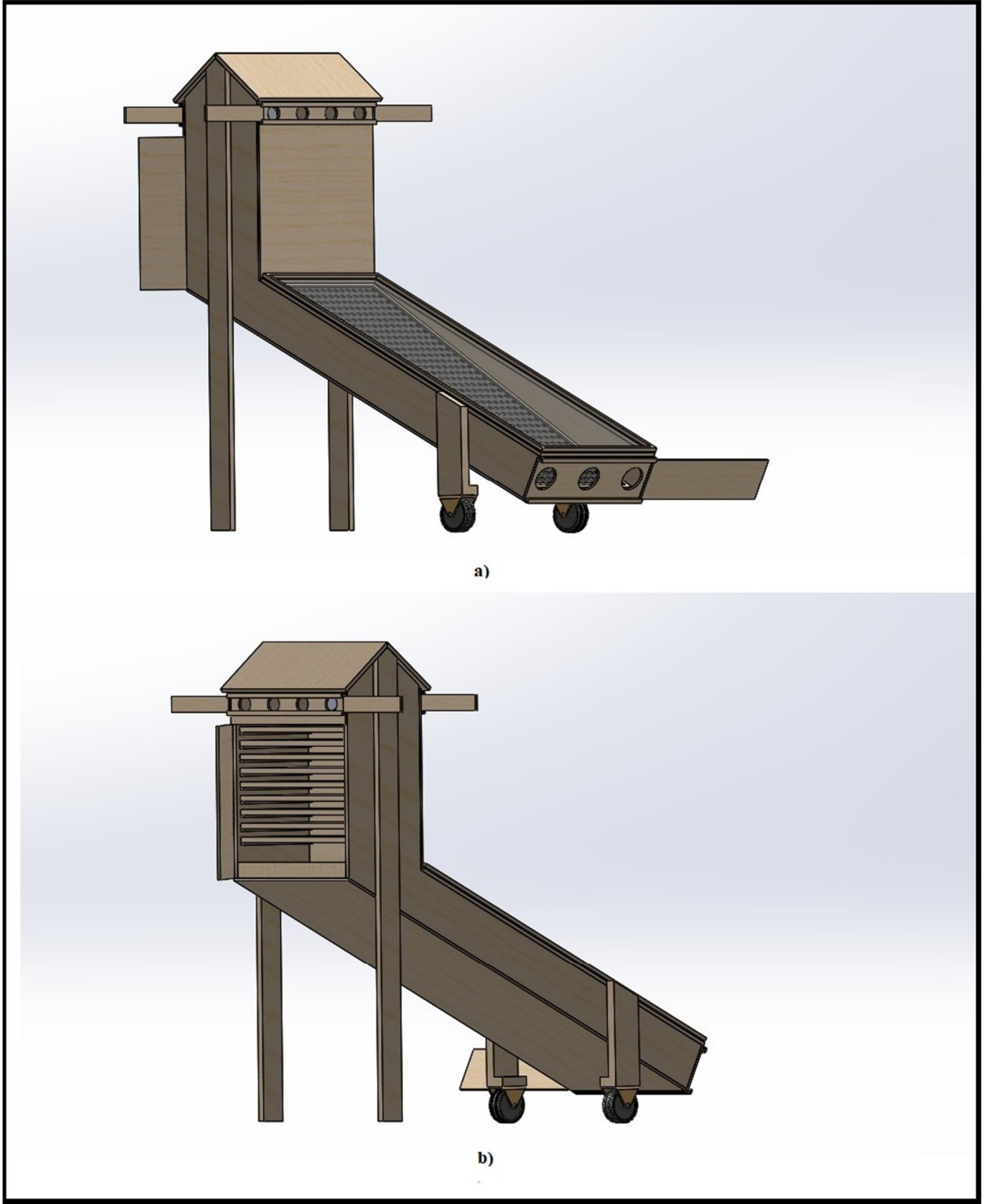
Kolektörde 4 mm kalınlığında sıcak su sağlayan güneş enerjilerinde kullanılan yüksek geçirgenliğe ve çok az yansıma özelliği olan cam kullanılmıştır. Kolektör camı iki adet ahşap profilden oluşturulan çerçeve arasına yerleştirilmiş ve kolektör yüzeyine sabitlenmiştir. Havanın aktığı kanalın tasarımı yapılırken, kolektörün uzun kenarının uzunluğunun 1/8' ine karşılık gelecek şekilde hava kanalı derinliği oluşturulmuştur (Scanlin, 1997). Kolektörde güneş ışınlarının soğurulması ve havanın aktığı kanalda hava akışına direnç oluşturmak için kanal içine 45° eğim açısı ile 1260x448x13 mm boyutlarında soğurucu yüzey yerleştirilmiştir. Soğurucu yüzey delikli paslanmaz çelik saçtan oluşturulmuş ve siyaha boyanmıştır (Gülçimen vd., 2010).

Kurutma bölmesinde kurutulacak ürünlerin yerleştirilmesi için çerçevesi ahşap, temas alanı ise delikli alüminyum sacdan oluşan 450x285x15 mm boyutlarında tepsiler imal edilmiştir. Tepsilerin toplam sayısı 9 adet olup, doğal akışını engellemeyecek şekilde aralarındaki mesafeler ayarlanmıştır. Kolektör ağzına havanın girişini sağlamak amacıyla 40 mm çapında 3 adet delik açılmış ve önüne ayarlı kapak yerleştirilmiştir. Kurutma bölmesinin her iki yüzüne de 35 mm çapında 4 adet hava çıkış deliği oluşturulmuş ve delikleri kapatacak şekilde ayarlı kapak yerleştirilmiştir. Kurutma bölmesinde rafların dış ortam ile ilişkisini kesmek amacıyla bölmeye, yalıtımlı ve kilitli kapak mekanizması oluşturulmuştur.

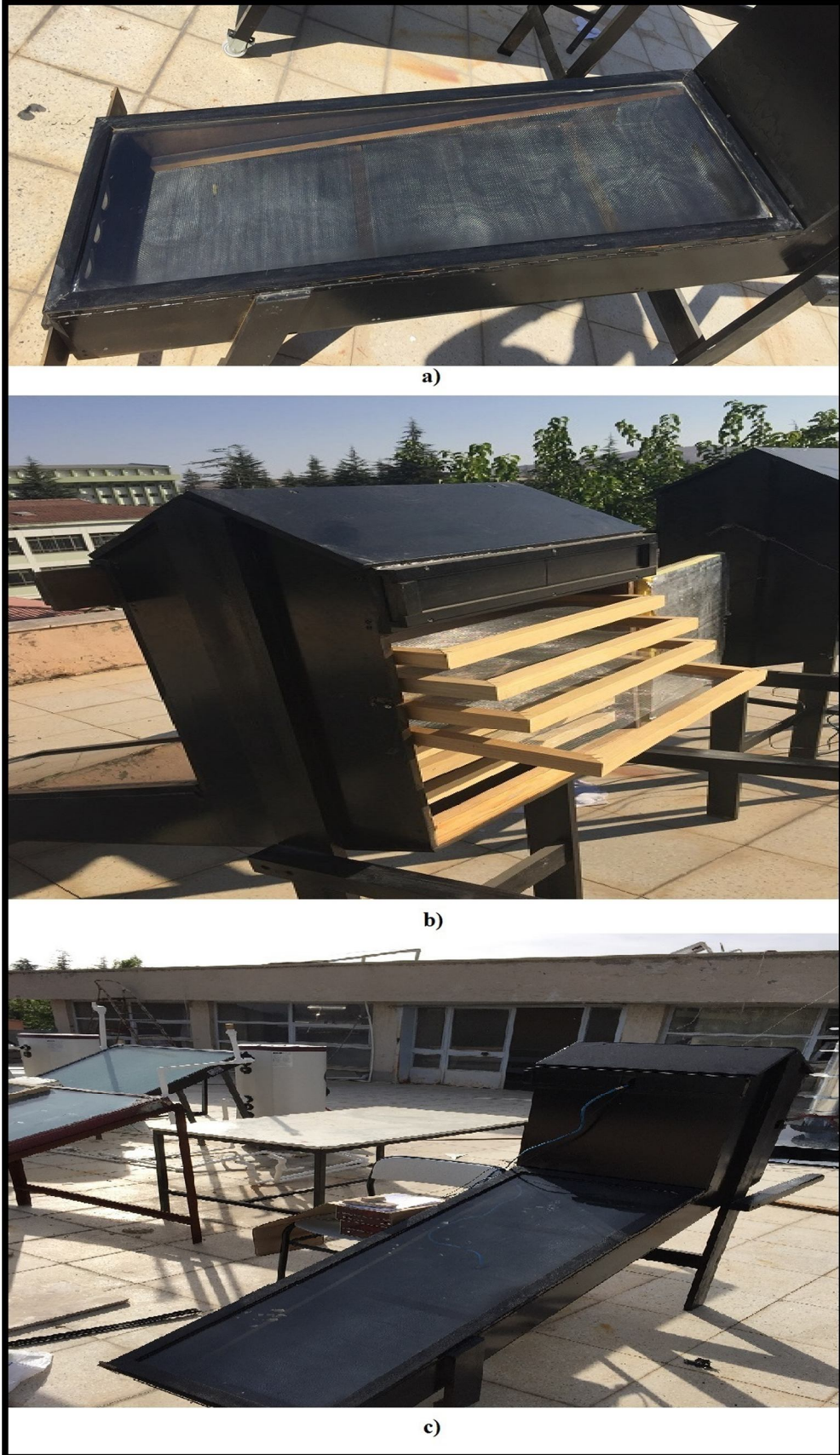
Kurutma sisteminin gövdesinin tamamen imalatı bittikten sonra Elazığ ili için uygun kolektör eğim açısı olan 38° açığa getirilmesini sağlamak amacıyla destek elemanları belirli boyutlarda kesilip, kurutma gövdesiyle bütün hale getirilmiştir (Kılıçkap vd., 2015). Kurutma sisteminin olası durumlarda yerinin kolayca değişimini sağlamak için destek elemanlarının ucuna iki adet kilitli tekerlek eklenerek imalat aşaması bitirilmiştir. İmal edilen kurutma sistemi tamamen siyaha boyanarak, kurutma işlemlerini gerçekleştirmek için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.3a, b ve c' de sırasıyla soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun kolektör bölümü, kurutma bölmesi ve genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör ve b) kurutma bölümü tasarımı



Şekil 4.2. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) önden ve b)arkadan tasarım görüşleri

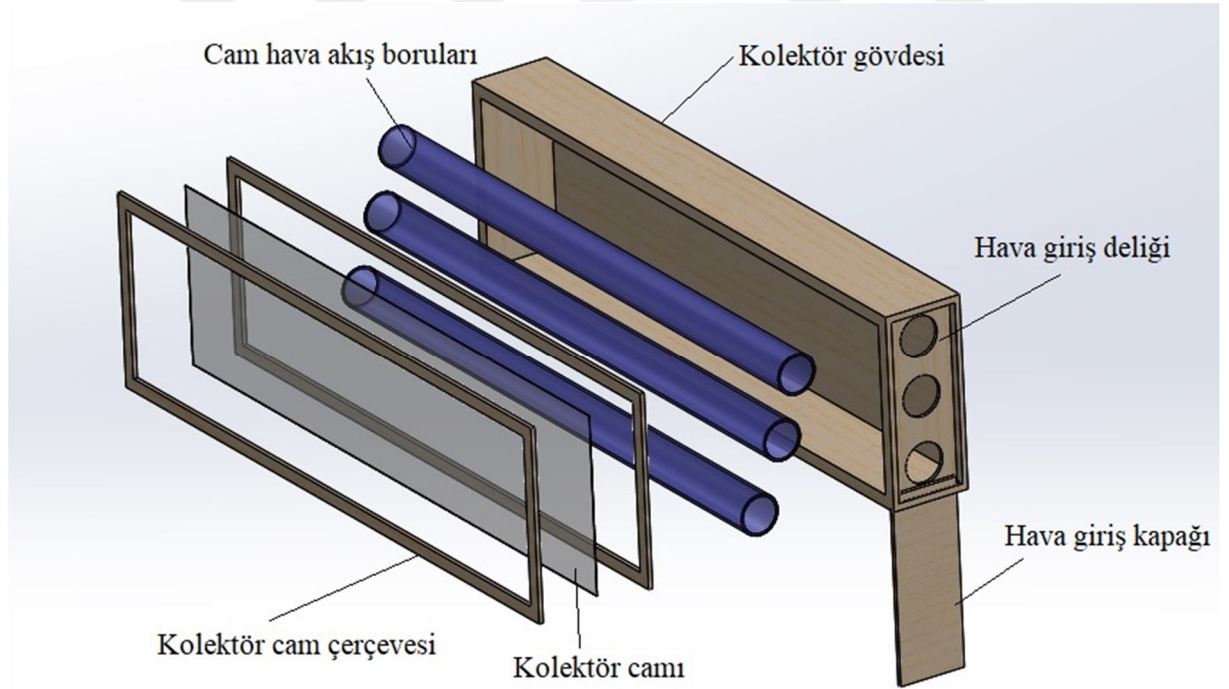


Şekil 4.3. İmalatı tamamlanan soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör bölümü, b) kurutma bölümü ve c) genel görüntüsü

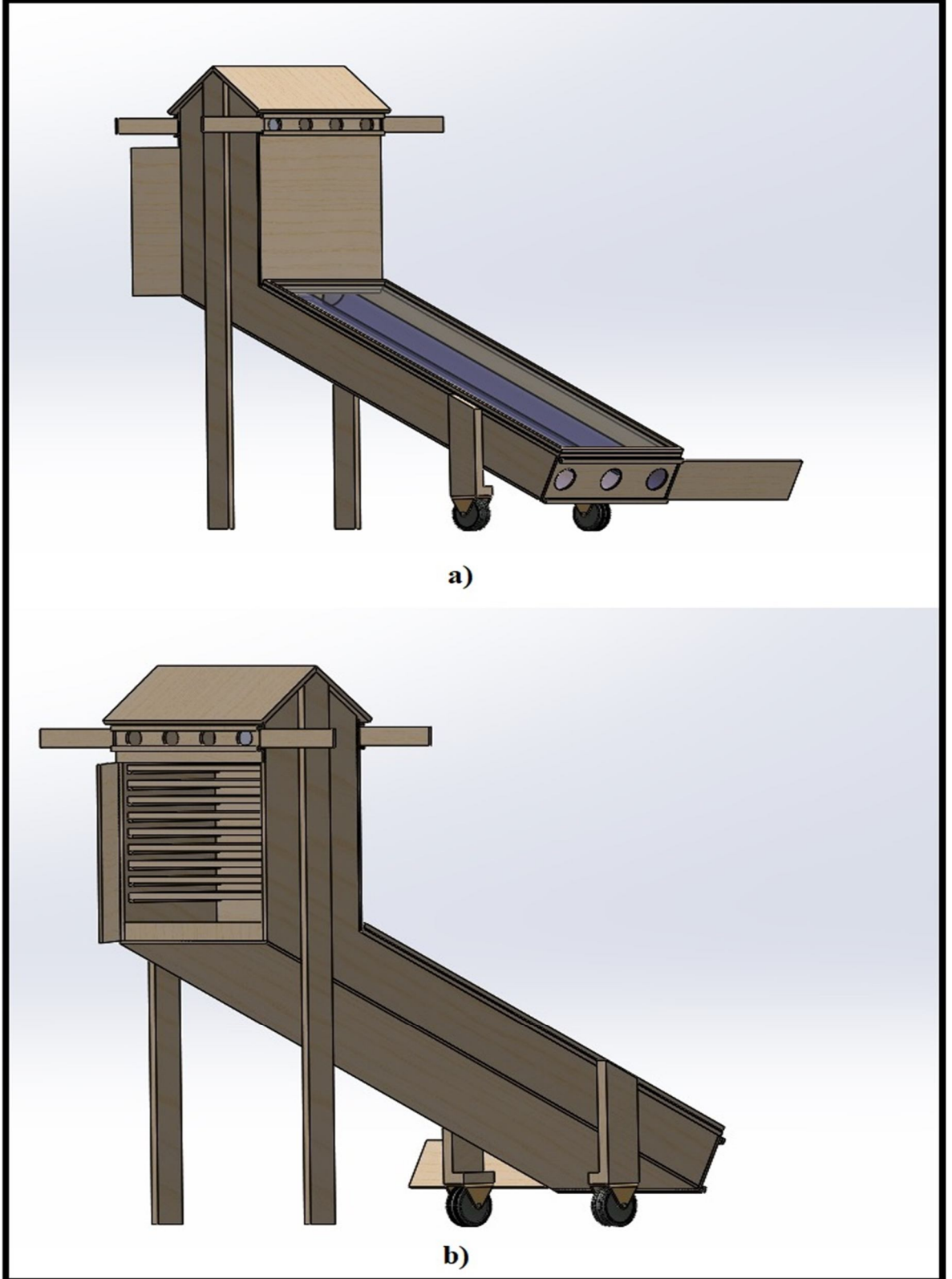
4.1.2. Doğal Taşınımlı, Borulu Kolektöre Sahip Kurutucunun Tasarımı ve İmalatı

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucunun kolektör tasarımında hava akışına belirli bir açıda yerleştirilmiş soğurucu yüzey bulunurken, borulu kolektöre sahip kurutucuda ise havanın kolektör içerisinde cam borular içerisinde akması sağlanmıştır. Şekil 4.4’ te borulu kolektöre sahip kurutucunun kolektör tasarımı görülmektedir. Şekil 4.5a ve b’ de borulu kolektöre sahip kurutucunun sırasıyla önden ve arkadan tasarım görünüşleri verilmiştir.

Her iki kurutucu tamamen aynı boyutlarda imal edilmiştir. İki sistem içinde bütün tasarım parametreleri aynı şekilde eksiksiz uygulanmıştır. Borulu kolektöre sahip kurutucuda soğurucu yüzey yerine, kolektör hava giriş delikleri ile bütünleşik olarak oluşturulan 1.6 mm et kalınlığında ve 150 cm uzunluğunda 3 adet vakumlu güneş enerjisi tüpü kullanılmıştır. Kolektör ağzına 45 mm çapında delikler açılarak borular yerleştirilmiş ve borunun gittiği yol boyunca destekler oluşturularak boruların sabitlenmesi sağlanmıştır. Şekil 4.6’ da borulu kolektöre sahip kurutucunun kolektör bölümü ve genel görünüşü görülmektedir.



Şekil 4.4. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucunun kolektör tasarımı



Şekil 4.5. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucunun a) önden ve b) arkadan tasarım görüşleri



Şekil 4.6. İmalatı tamamlanan borulu kolektöre sahip kurutucunun a) kolektör bölümü ve b) genel görünüşü

4.1.3. Kurutulacak Ürünler, Kurutma Ortamı ve Kurutma Mevsimi

Kurutma deneyleri Elazığ ilinde bulunan Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü terasında gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerine başlamadan önce kurutma yapılacak ortam düzenlenmiş ve deneyler için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.7’ de kurutma ortamı ve imal edilen kurutma sistemleri görünmektedir.



Şekil 4.7. Kurutma ortamı ve imal edilen kurutma sistemleri

2017 yaz mevsiminde iki ayrı dönemde deneyler yapılmıştır. Birinci dönem 1, 2 ve 3 Temmuz tarihlerinde, ikinci dönem ise 12, 13 ve 14 Ağustos tarihlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutma dönemlerini belirlenirken sıcaklığın yüksek olduğu aylar seçilmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan kurutma sistemlerinde Elazığ ilinde yetiştirilen beyaz biber ve Karaman ilinde yetiştirilen yeşil elma, kurutma materyali olarak seçilmiştir.

4.1.4. Kurutma Verilerinin Elde Edilmesi için Kullanılan Ölçüm Aletleri

Kurutma sistemlerinde belirli noktalardaki sıcaklık değerlerini ölçmek için ELİMKO-6000 sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı 12 kanala sahip olup Fe-Const teknolojisine sahip ısıtıcı çiftler bulundurmaktadır. Cihazın kanal direnci 0.025 ohm'dan düşük, çalışma gerilimi 220 Volt, 50 Hz $\pm$ %10 ve güç sarfiyatı 4 W' tır. Seçilen kanal değeri $\pm$ % 0.25 doğruluktadır (Ersöz, 2011). Kurutulacak olan deney materyallerinin ağırlık değişimlerini takip edebilmek için 3000 gr kapasiteli, 0.01 gr hassasiyetle ölçüm yapabilen DESİS markasının NHB 3000 PLUS modelli hassas terazisi kullanılmıştır. Kurutulacak ürünlerin ilk nem içerikleri MEMMERT markasının UN30 laboratuvar tipi etüv cihazında belirlenmiştir. Deneylerin yapıldığı dönemlere ait tarihlerdeki bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş ışınlam miktarı ve sıcaklık değerleri Elazığ Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nden saatlik olarak temin edilmiştir.

4.1.5. Kurutma Verilerinin İncelenmesi için Kullanılan Yazılımlar

Kurutma deneylerinde elde edilen verilerin tablolarını ve grafiklerini oluşturmak için Microsoft Excel yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen kurutma verilerinin birbirleriyle ilişkisini sorgulamak, teorik bağlantılar oluşturmak ve eğri uydurma metotlarını gerçekleştirmek amacıyla çalışmada IBM SPSS Statistics 21 yazılımı kullanılmıştır.

4.2. Metot

4.2.1. Kurutulacak Ürünlerin İlk Nem İçeriklerinin Elde Edilmesi

Kurutma işleminde kullanılacak olan yeşil elma ve biberin ilk nem içeriğini belirlemek amacıyla etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde 70 °C sıcaklıkta kurutma fırınına yerleştirilen ürünlerin ağırlık ölçümleri belirli zaman periyotlarında gerçekleştirilmiştir. Kurutulan ürünlerin belirli bir zaman sonra nem kaybından dolayı ağırlıkları sabit hale gelmektedir. Sabit halde elde edilen ağırlık, ürünün kuru ağırlığı olarak adlandırılmıştır. Bölüm 3' te yer alan 3.1 numaralı eşitlik ile ürünlerin yaş baza göre ilk nem içerikleri hesaplanmış ve çalışmalarda kullanılmıştır.

4.2.2. Kurutma Çalışması Öncesi Uygulanan Ön Hazırlık İşlemleri

Kurutma çalışmasına başlamadan önce kurutma sistemi ve içerisinde bulunan kurutma rafları dışarıya çıkarılarak güneş altında bekletilmiş ve ortam sıcaklığı ile denge haline ulaşması sağlanmıştır. Kurutma sisteminin belirli noktalarına sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmek için ısı çiftleri yerleştirilmiştir. Kurutma sırasında belirli zaman periyotlarda ürünlerin ağırlık düşümlerini takip edebilmek için hassas terazinin dış ortam şartlarından etkilenmediği bir noktaya kurulumu yapıp, kalibrasyonu sağlanmıştır. Kurutulacak ürünler yıkandıktan ve kurulandıktan sonra belirli ağırlıklarda ve boyutlarda parçalanma işlemine geçilmiştir. Elmaların kabukları soyulup ve çekirdekleri alındıktan sonra 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlıklarında parçalanmıştır. Elmaların kalınlıklara göre sırasıyla ilk ağırlıkları 4.03, 4.59, 4.9, 4.97, 6.51, 6.95 ve 7.35 gr olarak belirlenmiştir. Biberler ise 10, 13, 14 ve 15 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Kalınlıklara göre sırasıyla ilk ağırlıkları 1.90, 2.38, 2.67 ve 3 gr olarak ölçülmüştür. Şekil 4.8’ de hazırlanan biberlerin kurutma rafına dizilmiş hali ve Şekil 4.9’ da hazırlanan elmaların kurutma bölmesine yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 4.8. Hazırlanan biberlerin kurutma rafına dizilmiş hali



Şekil 4.9. Hazırlanan elmaların kurutma bölgesine yerleştirilmiş hali

4.2.3. Kurutulan Ürünlerin Belirli Zamanlardaki Nem İçeriklerinin Bulunması

İmal edilen kurutma sistemlerinde ürünlerin kurutulması işleminin ana prensibi, kolektörde ısınan havanın doğal akış şartları ile yükselerek kurutma bölgesine gelmesi ve daha sonra ısınan havanın sıcaklığı yardımıyla kurutma bölgesindeki ürünlerin yapısında bulunan nemin uzaklaştırılması işlemidir. Bu döngünün belirli zaman aralığında devam etmesi, çalışmada kullanılacak kurutma verilerinin elde edilmesini sağlamıştır.

Kurutma işlemine 1 Temmuz 2017 tarihinde başlanmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan kurutma sistemlerine aynı boyutlardaki ve ağırlıklardaki elmalar hazırlanıp yerleştirilmiştir. Kurutma sistemlerinin, dış ortamda serme usulüyle yapılan kurutma şartlarına göre kıyaslanmasının yapılabilmesi için doğrudan güneş ışınları ile temas halinde olan bir kurutma tepsisi bulunmaktadır. Bu kurutma tepsisine yerleştirilen ürünler kurutma sistemlerine yerleştirilen ürünler ile aynı boyutlara ve ağırlıklara sahiptir.

Kurutma işlemi 09.00 – 19.00 arasında gerçekleştirilmiş ve hassas terazide numunelerin ağırlıklarının değişmediği zaman dilimine kadar devam ettirilmiştir. Ağırlık ölçümleri saat başı olarak yapılmış ve kayıt edilmiştir. Elmanın ağırlık düşümüne bağlı olarak, zaman dilimlerine karşılık gelen nem içerikleri bulunmuştur.

Biber kurutma işlemi 2 - 3 Temmuz 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi 08.00 – 19.00 arasında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi belirli zaman aralığında kurutma sistemleri için bitmiş, dış ortam şartları için ertesi gün devam etmiştir. Elde edilen ağırlık düşümlerine bağlı olarak biberlerin zaman dilimlerine karşılık gelen nem içerikleri bulunmuştur.

Kurutma sistemlerinde ve dış ortamda yapılan kurutma işlemine bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş ışınlamı ve sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla kurutma işlemi 12 – 13 ve 14 Ağustos 2017 tarihlerinde tekrar aynı sıralama ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi sonucunda elma ve biberlerin belirli zaman aralıklarındaki nem içerikleri bulunmuştur.

4.2.4. Deneyisel Ayrılabilir Nem Oranı ve Teorik Ayrılabilir Nem Oranı

Belirli boyut ve ağırlıktaki ürünlerin kurutulması işlemi, imal edilen sistemlerde ve dış ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi sırasında ürünlerde oluşan ağırlık kaybına bağıl olarak, belirli zaman periyotlarındaki ürünlerin ihtiva ettiği nem içerikleri hesaplanmış ve zamana bağıl nem grafikleri oluşturulmuştur.

Ürünlerin belirli bir zaman periyodundaki nem içeriği ile başlangıç nemi arasında bir bağıntı kurulmuştur. Bu bağıntı Bölüm 3’ te ayrılabilir nem oranı olarak tanımlanmış ve 3.3 numaralı eşitlikle formüle edilmiştir. Deneyisel olarak elde edilen ayrılabilir nem oranı değeri bu çalışmada $ANO_{deneyisel}$ olarak adlandırılmıştır. $ANO_{deneyisel}$ değerleri kurutma sistemlerinde kurutulan her farklı boyut ve ağırlıktaki ürünler için belirli zamana karşılık gelecek şekilde hesaplanmıştır.

Kurutma sistemlerinde kurutulan ürünler için belirli zaman periyodu aralığında elde edilen $ANO_{deneyisel}$ verileri, kurutma işlemine etki eden güneş ışınlamı, bağıl nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile IBM SPSS Statistics 21 programında çok değişkenli regresyon analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda güneş ışınlamı, bağıl nem, sıcaklık ve rüzgâr hızına bağıl olarak denklemler oluşturulmuştur. Elde edilen denklemlere belirli zamana karşılık gelen güneş ışınlamı, bağıl nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri yerleştirilerek ANO_{analiz} değerleri elde edilmiştir.

Belirli zaman periyotlarındaki $ANO_{deneyisel}$ ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki IBM SPSS Statistics 21 programı aracılığıyla incelenmiştir. İncelemede kıyaslamamanın yapılabilmesi için tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) kullanılmıştır.

İnceleme sonucu kurutma sistemleri ve kurutulan ürünler için ilişkinin yüksek çıktığı $ANO_{deneyisel}$ ile ANO_{analiz} verileri belirlenmiştir. İlişki oranı yüksek çıkan ANO_{analiz} verileri ile zaman arasında IBM SPSS Statistics 21 programının eğri uydurma bölümü kullanılarak, kurutulan ürünler için teorik olarak geliştirilen zamana bağıl ANO_{teorik} denklemleri oluşturulmuştur.

5. BULGULAR

5.1. Kurutma İşleminde Kullanılacak Ürünlerin İlk Nem İçerikleri

Kurutulacak ürünlerin ilk nem içerikleri etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilerek bulunmuştur. Tablo 5.1’ de kurutulacak ürünlerin ilk nem içerikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Kurutulacak ürünlerin ilk nem içerikleri

Ürün	N ₀ (%)
Elma	86
Biber	94.5

5.2. Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri

5.2.1. Elmaların Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri

Elma kurutma deneyleri 1 Temmuz 2017 ve 12 Ağustos 2017 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri iki farklı sistemde ve dış ortam şartlarında gerçekleştirilmiş olup, 1 Temmuz 2017 tarihinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri I. dönem, 12 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen ise II. dönem olarak adlandırılmıştır.

I. dönemde kurutulan elmaların ağırlık ölçüm değerleri iki farklı sistem ve dış ortam şartları için Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’ te verilmiştir.

II. dönemde kurutulan elmaların ağırlık ölçüm değerleri iki farklı sistem ve dış ortam şartları için Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Tablo 5.7’ de verilmiştir.

Tablo 5.2. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.60	2.13	2.24	2.72	4.08	4.25	4.79
11.00	0.75	1.18	1.10	1.65	2.86	3.00	3.6
12.00	0.62	0.76	0.82	0.95	1.88	1.95	2.65
13.00	0.61	0.73	0.79	0.78	1.35	1.39	1.98
14.00	0.60	0.71	0.77	0.76	1.09	1.10	1.36
15.00	0.59	0.71	0.77	0.75	1.00	1.06	1.16
16.00	0.59	0.70	0.76	0.72	0.99	1.06	1.13
17.00	0.59	0.70	0.76	0.71	0.97	1.06	1.11
18.00	0.59	0.70	0.76	0.71	0.97	1.06	1.11
19.00	0.59	0.70	0.76	0.71	0.97	1.06	1.11

Tablo 5.3. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.77	240	2.30	2.93	4.34	4.45	4.51
11.00	1.10	1.60	1.51	2.05	3.41	3.28	3.38
12.00	0.71	1.02	0.91	1.33	2.56	2.30	2.43
13.00	0.65	0.77	0.74	0.93	1.88	1.58	1.72
14.00	0.63	0.74	0.71	0.80	1.37	1.16	1.27
15.00	0.63	0.74	0.70	0.78	1.10	1.11	1.13
16.00	0.63	0.73	0.70	0.75	1.02	1.09	1.08
17.00	0.63	0.71	0.70	0.75	0.99	1.09	1.07
18.00	0.63	0.71	0.70	0.75	0.99	1.09	1.07
19.00	0.63	0.71	0.70	0.75	0.99	1.09	1.07

Tablo 5.4. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.53	2.57	2.65	2.93	4.25	4.59	4.75
11.00	0.88	1.89	1.90	2.13	3.28	3.50	3.95
12.00	0.66	1.31	1.34	1.43	2.54	2.61	3.23
13.00	0.65	0.97	0.93	1.03	1.96	1.95	2.66
14.00	0.63	0.77	0.78	0.88	1.49	1.46	2.13
15.00	0.63	0.73	0.75	0.82	1.26	1.21	1.73
16.00	0.63	0.72	0.74	0.76	1.17	1.15	1.44
17.00	0.63	0.72	0.71	0.76	1.11	1.13	1.26
18.00	0.63	0.72	0.71	0.76	1.08	1.11	1.13
19.00	0.63	0.72	0.71	0.76	1.08	1.11	1.13

Tablo 5.5. Doğal taşınimli, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.16	2.08	2.30	2.58	3.72	3.86	4.16
11.00	0.64	0.93	1.03	1.34	2.07	2.20	2.59
12.00	0.62	0.69	0.73	0.84	1.21	1.40	1.68
13.00	0.62	0.68	0.73	0.79	1.06	1.16	1.27
14.00	0.61	0.68	0.71	0.79	1.04	1.09	1.19
15.00	0.61	0.68	0.71	0.78	1.04	1.09	1.15
16.00	0.61	0.68	0.71	0.78	1.02	1.09	1.15
17.00	0.61	0.68	0.71	0.78	1.02	1.08	1.14
18.00	0.61	0.68	0.71	0.78	1.02	1.08	1.14
19.00	0.61	0.68	0.71	0.78	1.02	1.08	1.14

Tablo 5.6. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.96	2.58	2.64	2.82	4.24	4.43	5.04
11.00	0.96	1.34	1.38	1.64	2.76	2.88	3.49
12.00	0.68	0.82	0.91	1.00	1.87	1.95	2.47
13.00	0.65	0.70	0.78	0.82	1.35	1.45	1.75
14.00	0.64	0.70	0.76	0.79	1.10	1.22	1.35
15.00	0.63	0.69	0.73	0.77	1.04	1.14	1.28
16.00	0.62	0.69	0.73	0.75	1.02	1.12	1.24
17.00	0.62	0.69	0.73	0.75	1.02	1.09	1.20
18.00	0.62	0.69	0.73	0.75	1.02	1.09	1.18
19.00	0.62	0.69	0.73	0.75	1.02	1.09	1.18

Tablo 5.7. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların ağırlıkları (gr)						
09.00	4.03	4.59	4.90	4.97	6.51	6.95	7.35
10.00	1.82	2.46	2.78	2.99	4.12	4.52	5.19
11.00	1.00	1.41	1.61	1.87	2.62	2.98	3.81
12.00	0.72	0.97	1.02	1.87	1.73	2.02	2.95
13.00	0.64	0.78	0.80	1.31	1.13	1.33	2.17
14.00	0.64	0.75	0.75	0.89	1.05	1.13	1.59
15.00	0.63	0.71	0.75	0.83	1.01	1.10	1.33
16.00	0.63	0.71	0.75	0.80	1.00	1.09	1.29
17.00	0.63	0.71	0.75	0.80	1.00	1.09	1.27
18.00	0.63	0.71	0.75	0.79	1.00	1.09	1.25
19.00	0.63	0.71	0.75	0.79	1.00	1.09	1.25

5.2.2. Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Ağırlık Ölçümleri

Biber kurutma deneyleri 2-3 Temmuz 2017 ve 13-14 Ağustos 2017 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri üç farklı sistemde gerçekleştirilmiştir. 2-3 Temmuz 2017 tarihinde gerçekleştirilen kurutma işlemleri I. dönem, 13-14 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilen ise II. dönem olarak adlandırılmıştır.

I. dönemde kurutulan biberlerin ağırlık ölçüm değerleri iki farklı sistem için Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’ da verilmiştir.

II. dönemde kurutulan biberlerin ağırlık ölçüm değerleri iki farklı sistem için Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’ de verilmiştir.

I. ve II. dönemde dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutulan biberlerin kurutulması işlemi bir günlük zaman aralığında tamamlanamamıştır. Kurutma işlemi bitmeyen belirli kalınlıktaki ve ağırlıktaki ürün, hava geçirmeyen bir kaba koyularak kurutma işlemine tekrar yeni bir zaman periyodunda devam edilmiştir. Elde edilen ağırlık düşümleri Tablo 5.10’ ve 5.13’ te verilmiştir.

Tablo 5.8. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	0.87	1.02	1.19	1.76
10.00	0.45	0.56	0.66	1.23
11.00	0.17	0.23	0.25	0.70
12.00	0.12	0.15	0.16	0.37
13.00	0.11	0.14	0.16	0.21
14.00	0.11	0.14	0.16	0.19
15.00	0.11	0.14	0.16	0.19
16.00	0.11	0.14	0.16	0.19
17.00	0.11	0.14	0.16	0.19
18.00	0.11	0.14	0.16	0.19
19.00	0.11	0.14	0.16	0.19

Tablo 5.9. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	0.97	1.30	1.51	1.76
10.00	0.61	0.89	1.01	1.21
11.00	0.35	0.47	0.58	0.76
12.00	0.16	0.27	0.34	0.48
13.00	0.13	0.17	0.23	0.31
14.00	0.11	0.16	0.21	0.26
15.00	0.11	0.14	0.18	0.23
16.00	0.11	0.14	0.16	0.20
17.00	0.11	0.14	0.16	0.19
18.00	0.11	0.14	0.16	0.19
19.00	0.11	0.14	0.16	0.19

Tablo 5.10. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	1.06	1.29	1.53	2.12
10.00	0.79	0.92	1.06	1.77
11.00	0.51	0.58	0.71	1.41
12.00	0.32	0.36	0.31	1.08
13.00	0.21	0.27	0.19	0.83
14.00	0.15	0.21	0.17	0.65
15.00	0.14	0.20	0.16	0.55
16.00	0.13	0.17	0.16	0.44
17.00	0.12	0.16	0.16	0.36
18.00	0.11	0.14	0.16	0.30
19.00	0.11	0.14	0.16	0.27
08.00				0.36
09.00				0.24
10.00				0.20
11.00				0.19
12.00				0.19

Tablo 5.11. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	1.27	1.64	1.89	2.05
10.00	0.85	1.13	1.37	1.33
11.00	0.47	0.65	0.87	0.82
12.00	0.12	0.34	0.52	0.52
13.00	0.11	0.16	0.31	0.37
14.00	0.11	0.15	0.18	0.25
15.00	0.11	0.15	0.17	0.22
16.00	0.11	0.15	0.17	0.18
17.00	0.11	0.15	0.17	0.18
18.00	0.11	0.15	0.17	0.18
19.00	0.11	0.15	0.17	0.18

Tablo 5.12. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	1.21	1.68	1.99	2.22
10.00	0.75	1.20	1.47	1.63
11.00	0.40	0.75	1.00	1.12
12.00	0.21	0.48	0.63	0.71
13.00	0.11	0.26	0.42	0.44
14.00	0.11	0.21	0.22	0.20
15.00	0.11	0.14	0.19	0.19
16.00	0.11	0.14	0.17	0.19
17.00	0.11	0.14	0.17	0.19
18.00	0.11	0.14	0.17	0.19
19.00	0.11	0.14	0.17	0.19

Tablo 5.13. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki ağırlık ölçümleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin ağırlıkları (gr)			
08.00	1.90	2.38	2.67	3.00
09.00	1.34	1.85	2.10	2.37
10.00	1.08	1.58	1.74	1.99
11.00	0.93	1.40	1.52	1.62
12.00	0.69	1.12	1.14	1.32
13.00	0.54	0.96	0.86	1.10
14.00	0.35	0.66	0.65	0.82
15.00	0.18	0.52	0.44	0.59
16.00	0.17	0.45	0.37	0.49
17.00	0.16	0.41	0.32	0.42
18.00	0.16	0.41	0.32	0.40
19.00	0.16	0.41	0.32	0.40
08.00	0.17	0.45	0.40	0.44
09.00	0.16	0.31	0.30	0.33
10.00	0.14	0.19	0.19	0.20
11.00	0.12	0.14	0.17	0.19
12.00	0.12	0.14	0.17	0.19

5.3. Kurutma İşlemine Etki Eden Parametreler

Kurutma işlemine etki eden güneş ışınlamı, rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem değerleri Elazığ Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü tarafından temin edilmiştir. Elde edilen değerler Elazığ Merkez ilçesinde kurulu olan ölçüm istasyonu tarafından sağlanmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştirildiği tarihlerde, istenilen saatlerdeki veriler ölçüm istasyonundan alınmıştır. Alınan değerler Tablo 5.14 – 5.19’ da verilmiştir.

Tablo 5.14. 1 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – I. Dönem – 1 Temmuz 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	943	7	24	18
09.00	990	5	32.3	18
10.00	972	2.6	33.2	18
11.00	890	5.1	34.3	18
12.00	752	2.5	35.1	17
13.00	570.8	3.4	35.1	15
14.00	374	4.4	35	15
15.00	178	2.4	35.3	15
16.00	28.6	4	33.8	16
17.00	0	2.3	31.7	19
18.00	0	2.2	30.8	19
19.00	0	2.2	29.9	20

Tablo 5.15. 2 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – I. Dönem – 2 Temmuz 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	961	2.4	33.3	19
09.00	976	3.3	35.4	16
10.00	961	1.3	35.4	15
11.00	878	1.9	36.6	16
12.00	748	2	36.6	14
13.00	569	1.8	37	10
14.00	370	1.6	36.6	10
15.00	167	0.2	37.7	9
16.00	24	0.6	35.7	11
17.00	0	2.5	33.5	15
18.00	0	2.8	32.7	15
19.00	0	0.2	28.5	22

Tablo 5.16. 3 Temmuz 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – I. Dönem – 3 Temmuz 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	952	2.7	35.2	19
09.00	954	2.4	36.1	14
10.00	972	2.7	38	10
11.00	886	0	38.7	8
12.00	746	1.3	37.8	8
13.00	558	2.9	38.9	9
14.00	357	3.5	39.4	9
15.00	168	2.1	37.5	10
16.00	26	1.4	36.8	10
17.00	0	1.2	34.7	10
18.00	0	1.9	28.8	21
19.00	0	2.3	28.1	18

Tablo 5.17. 12 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – II. Dönem – 12 Ağustos 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	869	4.7	35.8	12
09.00	922	5.3	37.2	9
10.00	930	5.2	37.4	6
11.00	841	5.8	37.2	7
12.00	699	2.2	37.5	7
13.00	530	3.3	37.5	7
14.00	312	4.2	36.8	7
15.00	106	3.4	35.6	9
16.00	2.3	2.4	33.8	10
17.00	0	0	31.2	11
18.00	0	0.6	29.4	12
19.00	0	0.7	29	13

Tablo 5.18. 13 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – II. Dönem – 13 Ağustos 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	865	2.2	34	14
09.00	885	2.7	34.2	13
10.00	852	3.5	36	11
11.00	790	4.6	36	11
12.00	563	3	37	10
13.00	481	2.1	35.9	11
14.00	275	1.8	36	10
15.00	80	2.6	34.4	11
16.00	1	1.3	32.1	13
17.00	0	1.3	29.9	16
18.00	0	2.1	27	19
19.00	0	2.1	26.7	20

Tablo 5.19. 14 Ağustos 2017 tarihli kurutma çalışması için saatlik kurutma parametreleri

Kurutma parametreleri – II. Dönem – 14 Ağustos 2017				
Zaman (Saat)	Güneş Işınımı (W/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
08.00	836	1.3	34.2	14
09.00	893	1.8	35.9	14
10.00	546	3.7	36.8	12
11.00	847	3.3	36.7	13
12.00	671	1.4	37.4	11
13.00	464	3.1	37.2	11
14.00	278	1.3	36.8	11
15.00	57	2.7	36.2	10
16.00	1.44	1.1	34.2	12
17.00	0	1	31.5	13
18.00	0	1.5	28.6	18
19.00	0	2.2	25.7	21

5.4. Kurutma Sistemlerinde Elde Edilen Sıcaklık Değerleri

Kurutma sistemlerinin, kurutma odalarına yerleştirilen ısı çiftleri yardımıyla saat başı sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Kurutma çalışmalarının gerçekleştirildiği dönemlere ait sıcaklık değerleri Tablo 5.20 – 5.23’ te verilmiştir.

Tablo 5.20. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri

Kurutma odasında elde edilen sıcaklık değerleri (°C)		
Zaman (saat)	1 Temmuz 2017	2 Temmuz 2017
08.00	42.2	43.1
09.00	42.9	41.6
10.00	46	48.1
11.00	47.2	50.9
12.00	49.4	53.9
13.00	50.1	54.2
14.00	50.8	54.9
15.00	53.2	53.6
16.00	50.8	56.5
17.00	49.5	51.8
18.00	49	52.3
19.00	48.4	50.5

Tablo 5.21. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri

Kurutma odasında elde edilen sıcaklık değerleri (°C)		
Zaman (saat)	1 Temmuz 2017	2 Temmuz 2017
08.00	34	38.3
09.00	35.2	32.8
10.00	35.4	36
11.00	36.2	37
12.00	36.7	40.9
13.00	40.4	40.7
14.00	41.1	42.3
15.00	40.8	43.6
16.00	40.1	45.7
17.00	39.9	44.9
18.00	39.4	43.9
19.00	38.6	42.3

Tablo 5.22. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri

Kurutma odasında elde edilen sıcaklık değerleri (°C)		
Zaman (saat)	12 Ağustos 2017	13 Ağustos 2017
08.00	48.5	39.8
09.00	55.9	50.7
10.00	50.7	64.4
11.00	50.4	73.3
12.00	55.1	69.8
13.00	55.2	81.0
14.00	55.7	82.5
15.00	51.8	75.4
16.00	44.6	59.1
17.00	44.9	56.7
18.00	44.0	55.2
19.00	43.2	55.0

Tablo 5.23. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için kurutma odası sıcaklık değerleri

Kurutma odasında elde edilen sıcaklık değerleri (°C)		
Zaman (saat)	12 Ağustos 2017	13 Ağustos 2017
08.00	34.1	23.9
09.00	40.4	37
10.00	40.7	47.6
11.00	44.6	55.8
12.00	44.3	59.1
13.00	43.9	64.3
14.00	43.3	64.8
15.00	43	58
16.00	39.5	48
17.00	37.7	41.9
18.00	36.1	39.9
19.00	35.4	39.3

5.5. Kurutulan Ürünlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri

5.5.1. Elmaların Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri

Elma kurutma işleminde elde edilen ağırlık ölçüm verileri Bölüm 3’ te yer alan 3.1 numaralı eşitlik kullanılarak, kurutulan belirli boyut ve ağırlıktaki elmaların nem içerikleri elde edilmiştir. I. dönem kurutma işleminde elmaların nem içerikleri Tablo 5.24, Tablo 5.25 ve Tablo 5.26’ da verilmiştir. II. dönem kurutma işleminde elmaların nem içerikleri Tablo 5.27, Tablo 5.28 ve Tablo 5.29’ da verilmiştir.

Tablo 5.24. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	65.806	69.83	69.375	74.419	77.66	77.105	78.517
11.00	24.77	45.54	37.63	57.83	68.132	67.566	71.416
12.00	9	15.44	16.341	26.757	51.521	50.102	61.169
13.00	7.508	11.972	13.164	15.406	32.488	30	48.03
14.00	5.966	9.492	10.909	10.794	16.385	11.545	24.338
15.00	4.372	9.492	10.909	8.447	8.86	8.207	11.293
16.00	4.372	8.2	9.736	7.226	7.939	8.207	8.938
17.00	4.372	8.2	9.736	4.75	6.041	8.207	7.297
18.00	4.732	8.2	9.736	3.408	6.041	8.207	7.297
19.00	4.372	8.2	9.736	3.408	6.041	8.207	7.297

Tablo 5.25. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	68.12	73.225	70.173	76.25	79	78.135	77.184
11.00	48.709	59.83	54.56	66.058	73.272	70.335	69.55
12.00	20.535	37	24.615	47.68	64.398	57.69	57.65
13.00	13.2	16.54	7.297	25.182	51.521	38.417	40.174
14.00	10.45	13.162	3.38	13.025	33.474	16.12	18.976
15.00	10.45	13.162	2	10.794	17.145	12.342	8.938
16.00	10.45	11.97	2	7.226	10.647	10.733	4.722
17.00	10.45	9.492	2	7.226	7.939	10.733	3.831
18.00	10.45	9.492	2	7.226	7.939	10.733	3.831
19.00	10.45	9.492	2	7.226	7.939	10.733	3.831

Tablo 5.26. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	63.124	74.996	74.113	76.252	78.54	78.801	78.33
11.00	35.886	66	63.89	67.33	72.195	72.2	73.94
12.00	14.515	50.946	48.805	51.342	64.09	62.72	64.142
13.00	13.2	33.752	26.23	32.446	53.46	50.1	61.31
14.00	10.44	16.545	12.05	20.931	38.79	33.356	51.69
15.00	10.44	11.972	8.533	15.146	27.61	19.586	40.52
16.00	10.44	10.75	7.297	8.447	22.05	15.39	28.541
17.00	10.44	10.75	3.38	8.447	17.83	13.89	18.33
18.00	10.44	10.75	3.38	8.447	15.55	12.342	8.938
19.00	10.44	10.75	3.38	8.447	15.55	12.342	8.938

Tablo 5.27. Doğal taşınımli, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	51.36	69.105	70.173	73.031	75.5	74.79	75.264
11.00	11.843	30.903	33.39	48.07	55.97	55.77	60.27
12.00	9	6.869	6.027	17.166	24.67	30.5	38.75
13.00	9	5.5	6.027	11.924	14.01	16.12	18.976
14.00	7.344	5.5	3.436	11.924	12.365	10.733	13.529
15.00	7.344	5.5	3.436	10.794	12.365	10.733	10.521
16.00	7.344	5.5	3.436	10.794	10.647	10.733	9.736
17.00	7.344	5.5	3.436	10.794	10.647	9.907	9.736
18.00	7.344	5.5	3.436	10.794	10.647	9.907	9.736
19.00	7.344	5.5	3.436	10.794	10.647	9.907	7.736

Tablo 5.28. Doğal taşınım, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

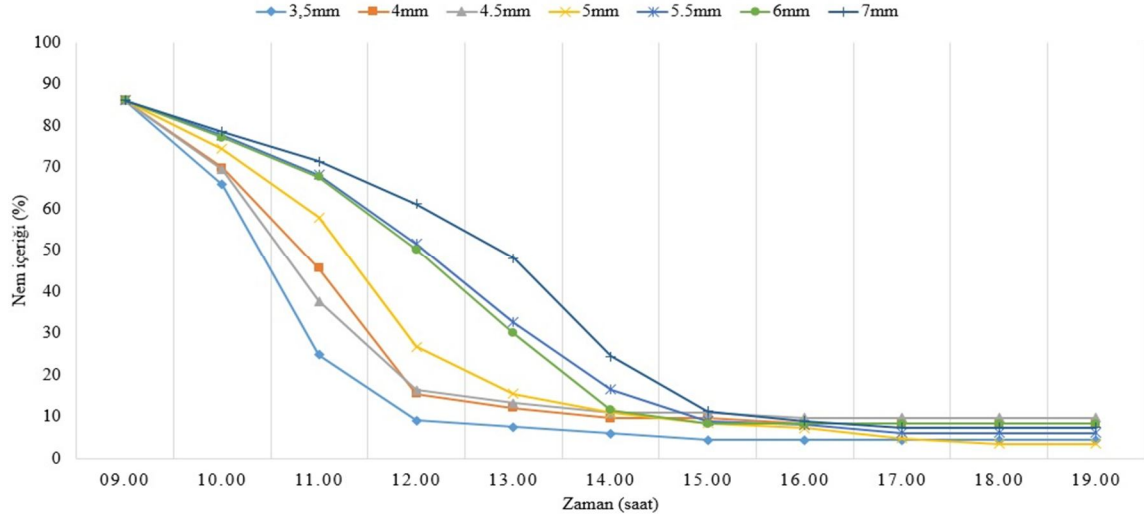
II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	71.21	75.09	74.01	75.326	78.5	78.036	79.583
11.00	41.22	52.04	50.289	57.57	66.97	66.215	70.515
12.00	17.02	21.634	24.615	30.42	51.262	50.102	58.34
13.00	13.2	8.2	12.052	15.146	32.48	32.89	41.2
14.00	11.313	8.2	9.736	11.921	17.14	20.245	23.77
15.00	10.44	6.869	6.027	9.636	12.365	14.649	19.609
16.00	9	6.869	6.027	7.226	10.647	13.125	17.016
17.00	9	6.869	6.027	7.226	10.647	10.733	14.25
18.00	9	6.869	6.027	7.226	10.647	10.733	12.79
19.00	9	6.869	6.027	7.226	10.647	10.733	12.79

Tablo 5.29. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların nem içerikleri (%)						
09.00	86	86	86	86	86	86	86
10.00	69	73.87	75.323	76.72	77.87	78.47	80.173
11.00	43.58	54.42	57.39	62.79	65.21	67.34	72.88
12.00	21.52	33.75	32.74	46.88	47.31	51.53	65.11
13.00	11.71	17.615	14.25	21.82	19.345	26.84	52.58
14.00	11.71	14.32	8.533	16.16	13.2	13.893	35.28
15.00	10.31	9.49	8.533	13.02	11.51	11.545	22.631
16.00	10.31	9.49	8.533	13.02	9.76	10.733	20.23
17.00	10.31	9.49	8.533	11.92	8.86	10.733	18.976
18.00	10.31	9.49	8.533	11.92	8.86	10.733	17.68
19.00	10.31	9.49	8.533	11.92	8.86	10.733	17.68

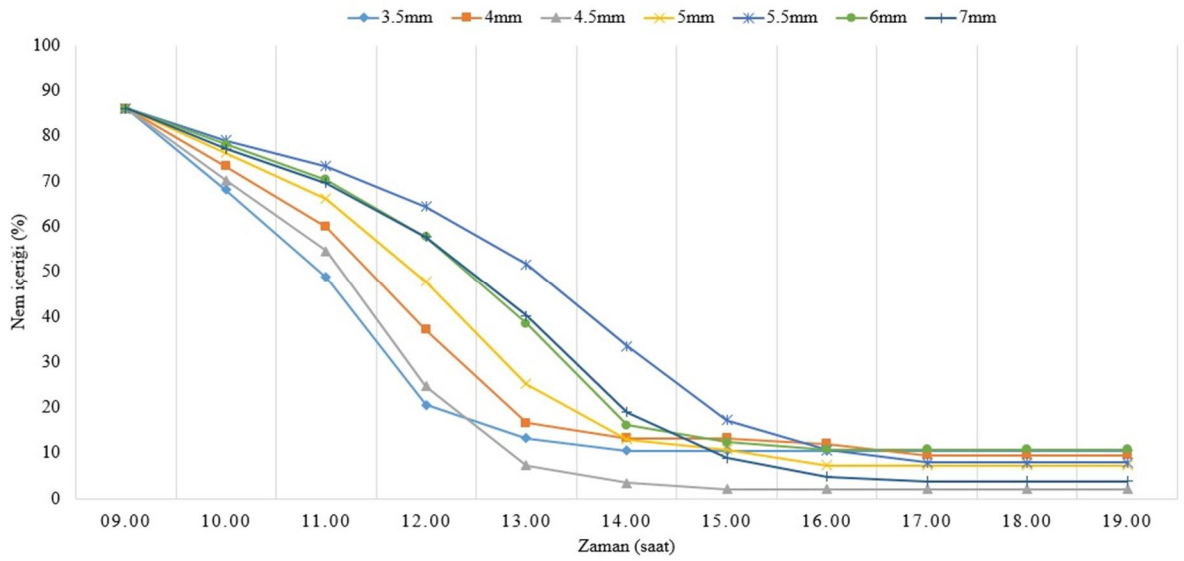
5.5.1.1. Elmaların Belirli Zaman Aralığında Nem İçerik Grafikleri

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.24 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



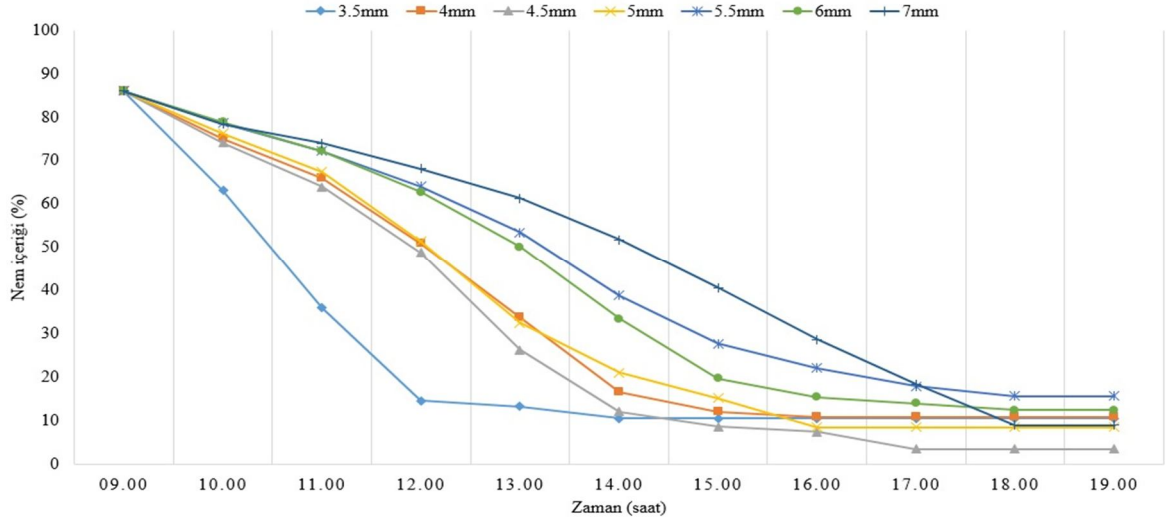
Şekil 5.1. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.25 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



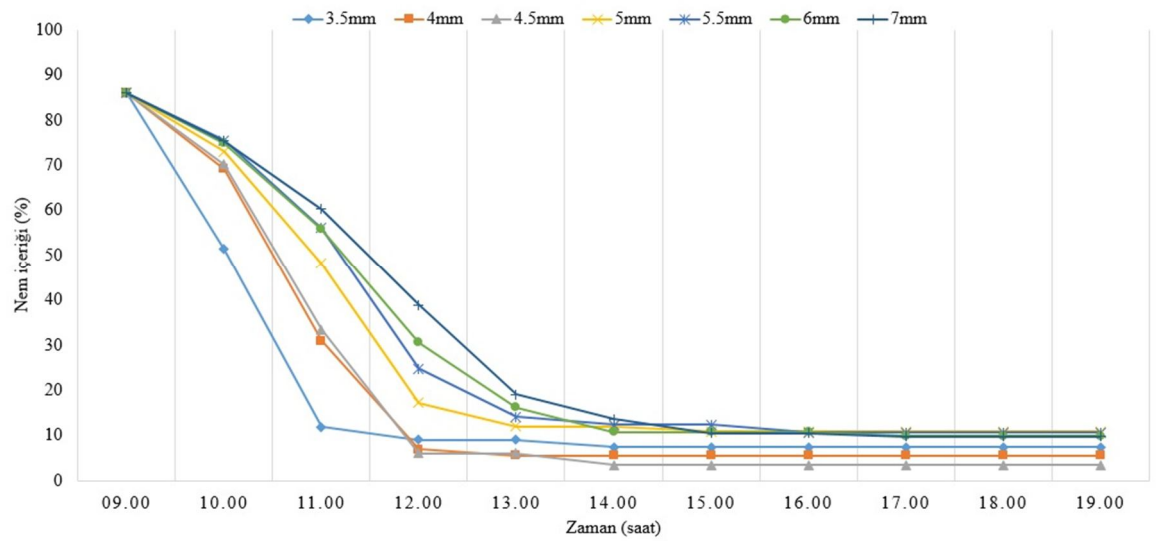
Şekil 5.2. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.26 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.3' te gösterilmiştir.



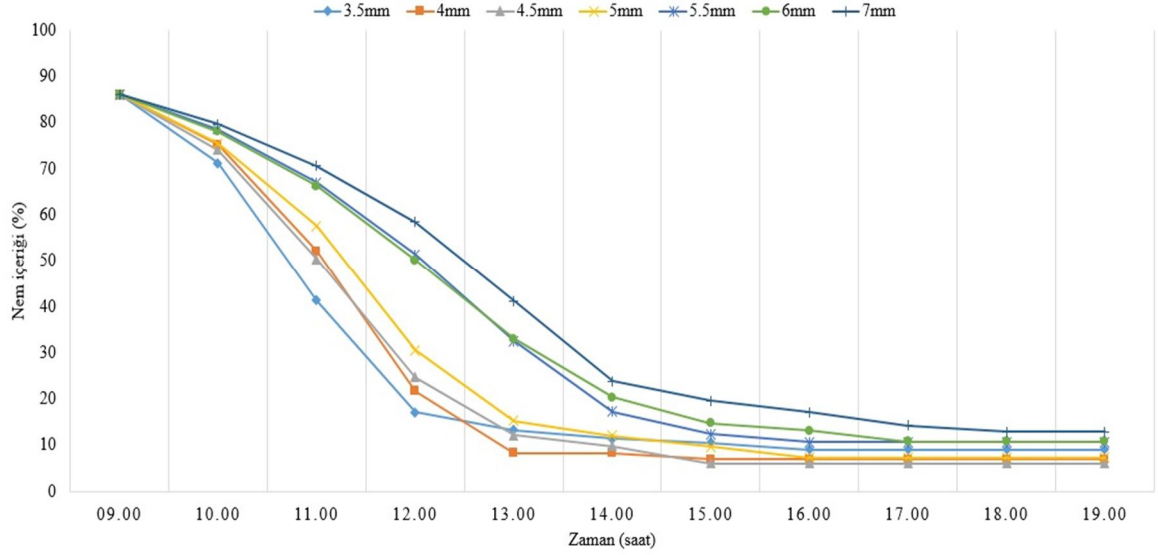
Şekil 5.3. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.27 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.4' te gösterilmiştir.



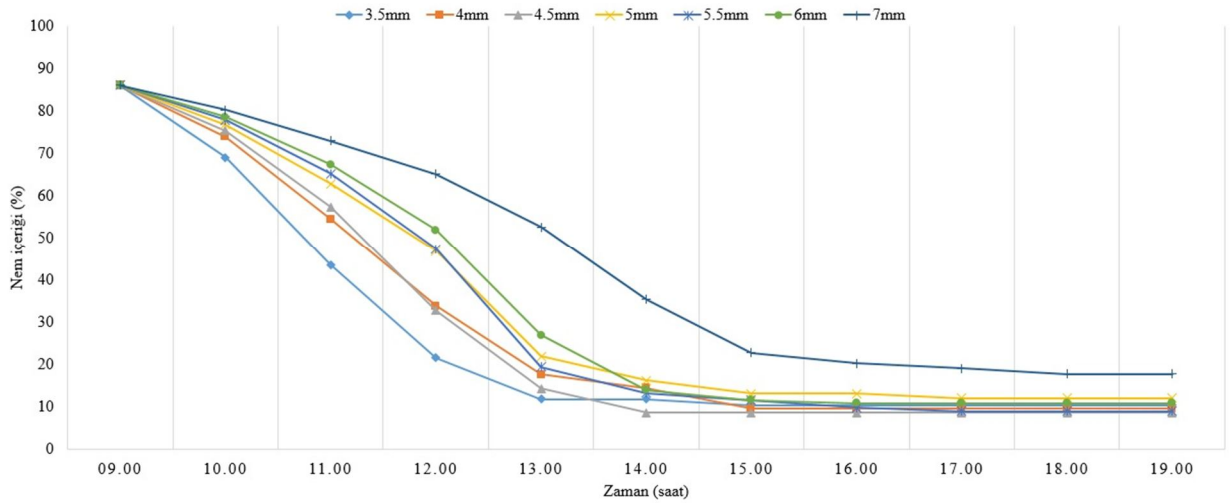
Şekil 5.4. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.28 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.5' te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem elma kurutma işlemi için Tablo 5.29 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem elma kurutma işlemi için nem zaman grafiği

5.5.2. Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerikleri

Biber kurutma işleminde elde edilen ağırlık ölçüm verileri Bölüm 3’ te yer alan 3.1 numaralı eşitlik kullanılarak, kurutulan belirli boyut ve ağırlıktaki biberlerin nem içerikleri elde edilmiştir. I. dönem kurutma işleminde biberlerin nem içerikleri Tablo 5.30, Tablo 5.31 ve Tablo 5.32’ de verilmiştir. II. dönem kurutma işleminde biberlerin nem içerikleri Tablo 5.33, Tablo 5.34 ve Tablo 5.35’ te verilmiştir.

Tablo 5.30. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	87.98	87.167	87.66	90.625
10.00	76.77	76.625	77.75	76.428
11.00	38.529	43.086	41.24	55.405
12.00	12.916	12.733	8.1875	21.428
13.00	5	6.5	8.1875	13.157
14.00	5	6.5	8.1875	13.157
15.00	5	6.5	8.1875	13.157
16.00	5	6.5	8.1875	13.157
17.00	5	6.5	8.1875	13.157
18.00	5	6.5	8.1875	13.157
19.00	5	6.5	8.1875	13.157

Tablo 5.31. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	89.22	89.93	90.27	90.625
10.00	82.86	85.29	85.45	86.36
11.00	70.142	72.14	74.67	78.28
12.00	34.6875	51.51	56.79	65.62
13.00	19.615	23	36.13	46.77
14.00	5	18.18	30.04	36.538
15.00	5	6.5	18.38	28.26
16.00	5	6.5	8.1875	17.5
17.00	5	6.5	8.1875	13.157
18.00	5	6.5	8.1875	13.157
19.00	5	6.5	8.1875	13.157

Tablo 5.32. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	90.141	89.85	90.39	92.21
10.00	86.77	85.771	86.13	90.68
11.00	79.5	77.43	79.295	88.29
12.00	67.343	63.63	52.58	84.72
13.00	50.238	51.51	22.631	80.12
14.00	30.33	37.66	13.529	74.61
15.00	25.357	34.55	8.125	70
16.00	19.615	23	8.125	62.5
17.00	12.916	18.1875	8.125	54.16
18.00	5	6.5	8.125	45
19.00	5	6.5	8.125	38.8
08.00				54.166
09.00				31.25
10.00				17.5
11.00				13.157
12.00				13.157

Tablo 5.33. Doğal taşınimli, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	91.77	92.01	92.22	91.95
10.00	87.705	88.06	89.27	87.59
11.00	77.76	79.24	83.103	79.87
12.00	12.916	60.32	71.73	68.26
13.00	5	15.687	52.58	55.405
14.00	5	10.066	18.33	34
15.00	5	10.066	13.529	25
16.00	5	10.066	13.529	8.33
17.00	5	10.066	13.529	8.33
18.00	5	10.066	13.529	8.33
19.00	5	10.066	13.529	8.33

Tablo 5.34. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

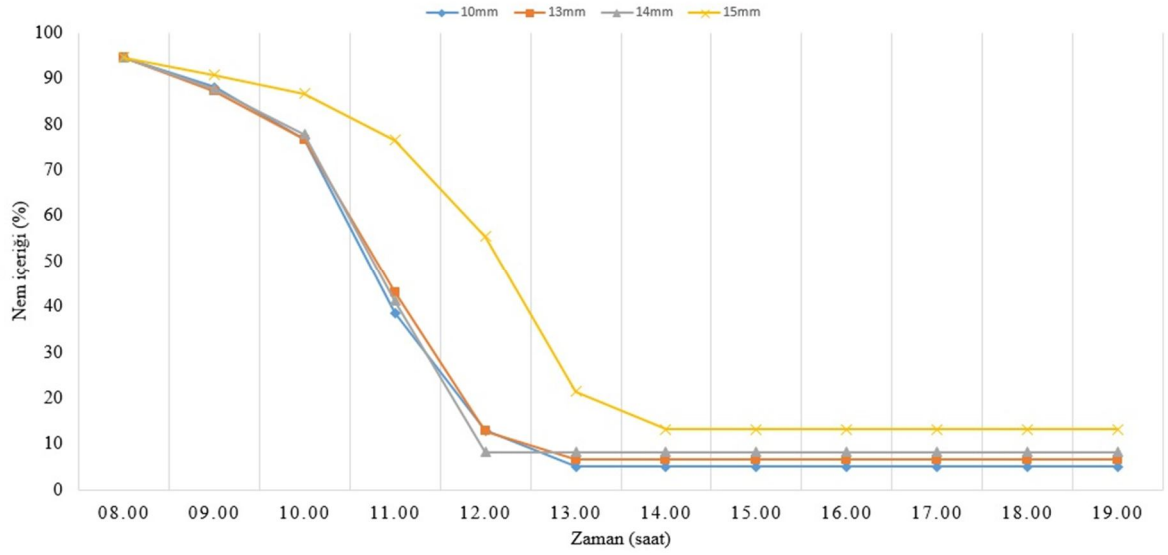
II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	91.36	92.208	92.61	82.56
10.00	86.06	89.091	90	89.87
11.00	73.875	82.54	85.3	85.26
12.00	50.238	72.72	76.66	76.76
13.00	5	49.65	65	62.5
14.00	5	37.66	33.18	17.5
15.00	5	6.5	22.631	13.157
16.00	5	6.5	13.529	13.157
17.00	5	6.5	13.529	13.157
18.00	5	6.5	13.529	13.157
19.00	5	6.5	13.529	13.157

Tablo 5.35. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin nem içerikleri (%)			
08.00	94.5	94.5	94.5	94.5
09.00	92.2	92.92	93	93.03
10.00	90.32	91.71	91.55	91.7
11.00	88.76	90.65	90.32	89.81
12.00	84.855	88.31	87.105	87.5
13.00	80.64	86.36	84.68	85
14.00	70.142	80.166	77.38	79.87
15.00	41.944	74.82	66.59	72.03
16.00	38.52	70.91	60.27	66.32
17.00	34.68	68.07	54.06	60.71
18.00	34.68	68.07	54.06	58.75
19.00	34.68	68.07	54.06	58.75
08.00	38.52	70.91	63.25	62.5
09.00	34.68	57.774	51	50
10.00	25.357	31.105	22.631	17.5
11.00	12.916	6.5	13.52	13.157
12.00	12.916	6.5	13.52	13.157

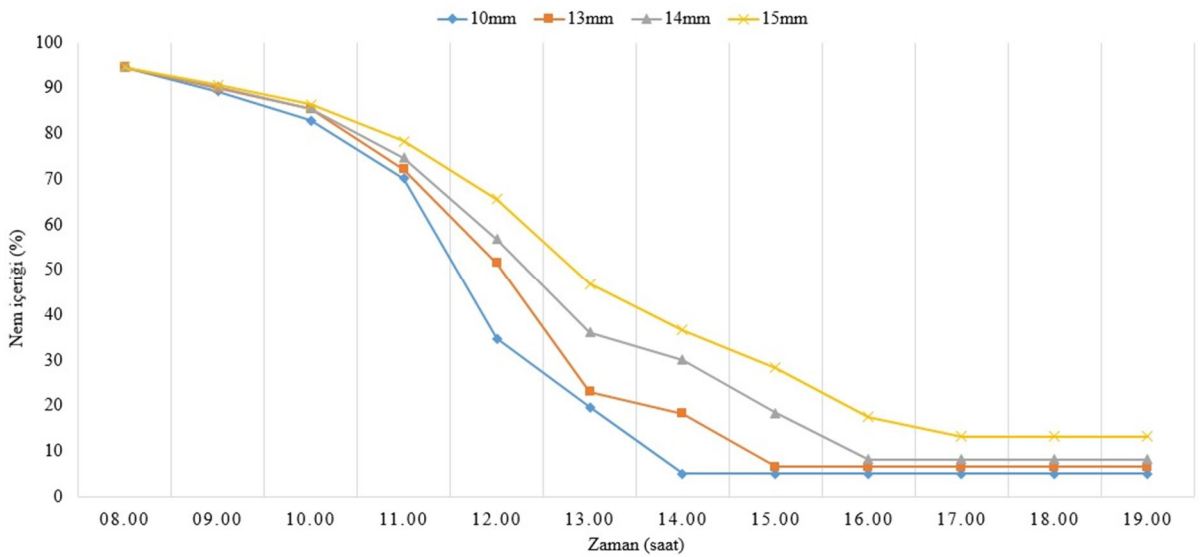
5.5.2.1. Biberlerin Belirli Zaman Aralığında Nem İçerik Grafikleri

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.30 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.7’ de gösterilmiştir.



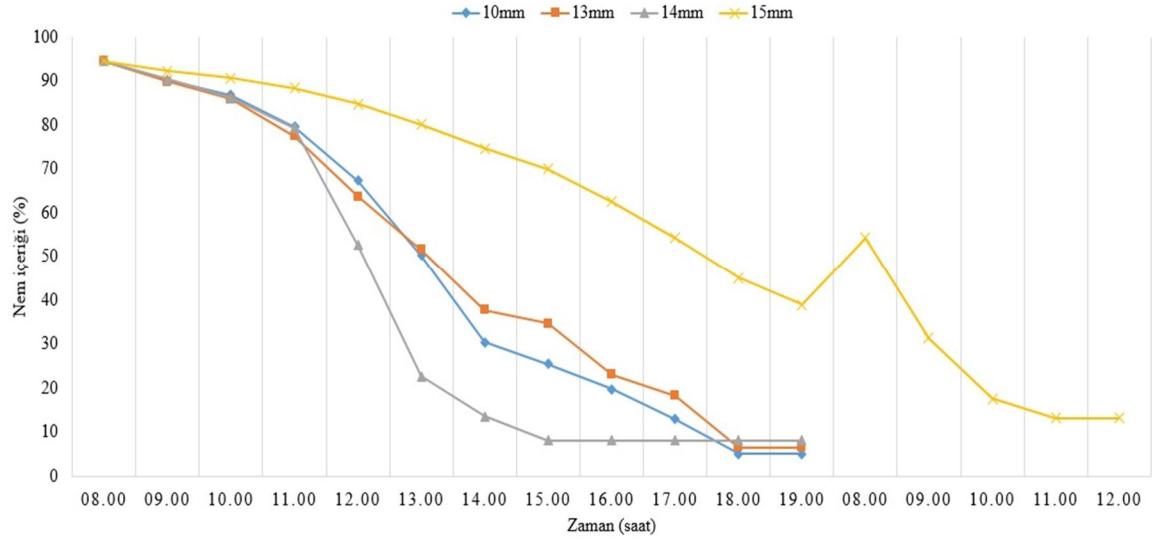
Şekil 5.7. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.31 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.8’ de gösterilmiştir.



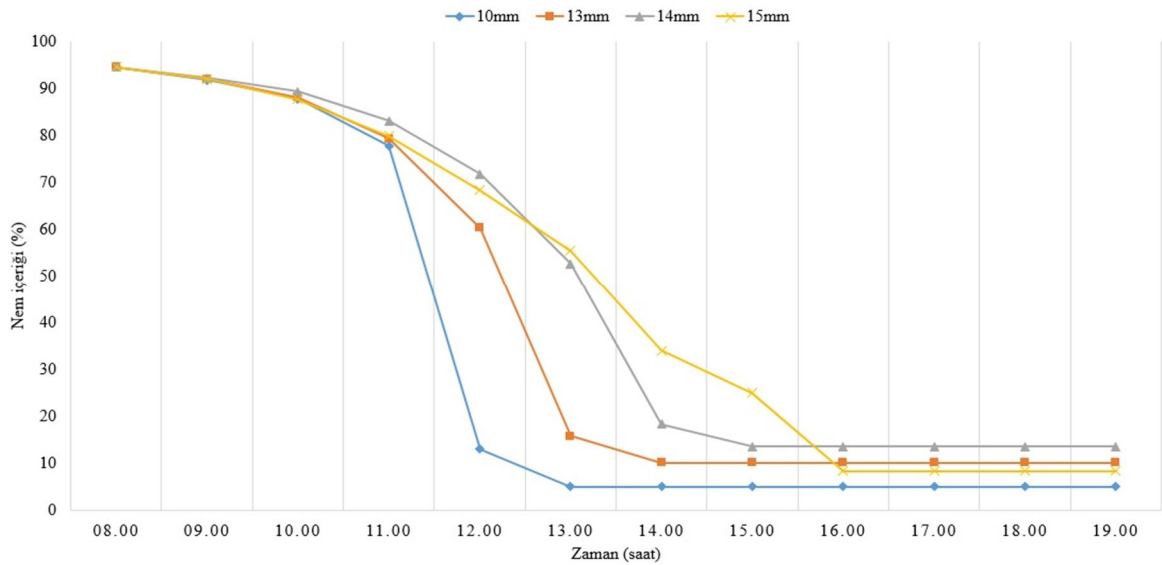
Şekil 5.8. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.32 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.9' da gösterilmiştir.



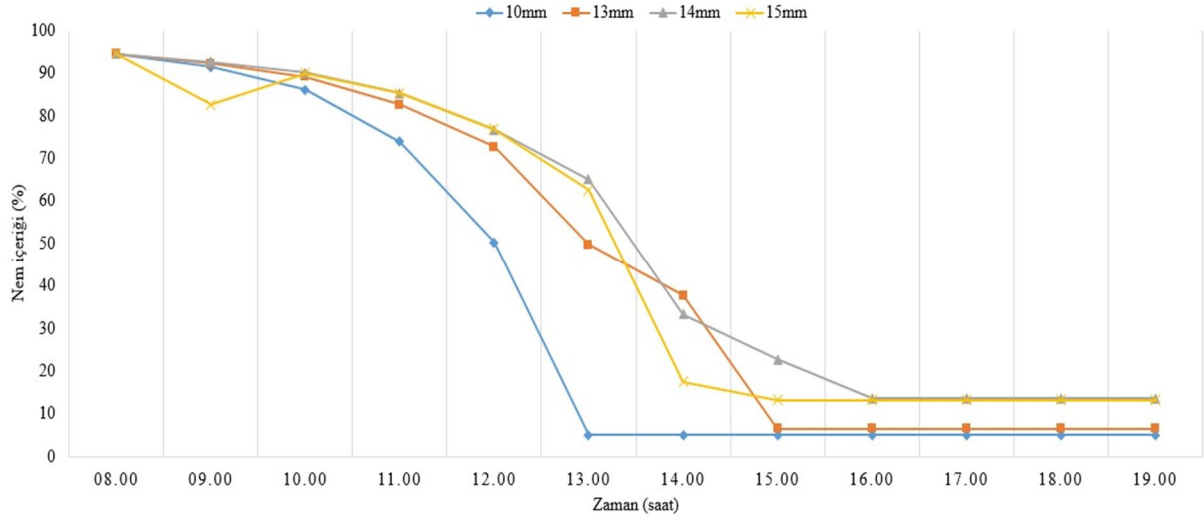
Şekil 5.9. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.33 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.10' da gösterilmiştir.



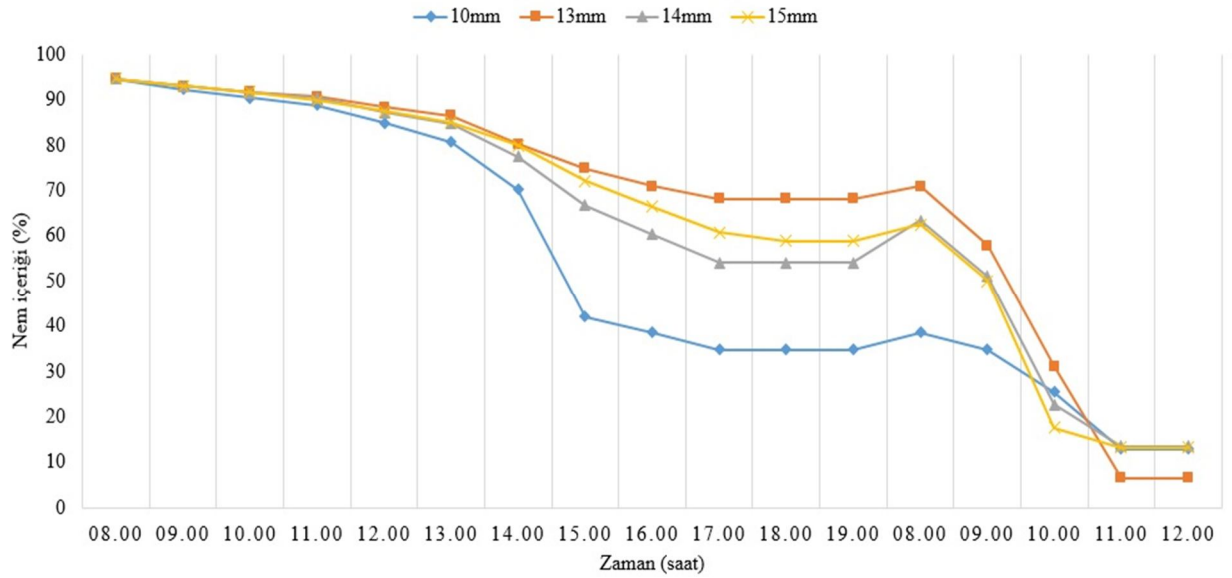
Şekil 5.10. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.34 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem biber kurutma işlemi için Tablo 5.35 verileri kullanılarak nem zaman grafiği oluşturulmuş ve Şekil 5.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönem biber kurutma işlemi için nem zaman grafiği

5.6. Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Deneysel Ayrılabilir Nem Oranı ($ANO_{deneysel}$) Değerleri

Elma ve biber kurutma işleminde elde edilen zamana bağlı nem içerikleri ile ürünlerin ilk nem içeriği arasında Bölüm 3’ te yer alan 3.3 numaralı eşitlik kullanılarak kurutulan belirli boyut ve ağırlıktaki elmaların ve biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri elde edilmiştir. I. dönem kurutma işleminde elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri Tablo 5.36, Tablo 5.37 ve Tablo 5.38’ de, biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri ise Tablo 5.42, Tablo 5.43 ve Tablo 5.44’ te verilmiştir. II. dönem kurutma işleminde elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri Tablo 5.39, Tablo 5.40 ve Tablo 5.41’ de, biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri ise Tablo 5.45, Tablo 5.46 ve Tablo 5.47’ de verilmiştir.

Tablo 5.36. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.765	0.811	0.806	0.865	0.903	0.896	0.912
11.00	0.288	0.529	0.437	0.672	0.792	0.785	0.83
12.00	0.104	0.179	0.190	0.311	0.599	0.582	0.711
13.00	0.087	0.139	0.153	0.179	0.377	0.348	0.558
14.00	0.0696	0.11	0.126	0.125	0.190	0.134	0.283
15.00	0.0508	0.11	0.126	0.098	0.103	0.095	0.131
16.00	0.0508	0.095	0.113	0.084	0.092	0.095	0.103
17.00	0.0508	0.095	0.113	0.055	0.0702	0.095	0.084
18.00	0.0508	0.095	0.113	0.039	0.0702	0.095	0.084
19.00	0.0508	0.095	0.113	0.039	0.0702	0.095	0.084

Tablo 5.37. Doğal taşınimli, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.792	0.851	0.815	0.886	0.918	0.908	0.897
11.00	0.566	0.695	0.634	0.768	0.852	0.817	0.808
12.00	0.238	0.43	0.286	0.554	0.748	0.670	0.67
13.00	0.153	0.192	0.084	0.292	0.599	0.446	0.467
14.00	0.121	0.153	0.039	0.151	0.389	0.187	0.220
15.00	0.121	0.153	0.023	0.125	0.199	0.143	0.103
16.00	0.121	0.139	0.023	0.084	0.123	0.124	0.054
17.00	0.121	0.11	0.023	0.084	0.0923	0.124	0.044
18.00	0.121	0.11	0.023	0.084	0.0923	0.124	0.044
19.00	0.121	0.11	0.023	0.084	0.0923	0.124	0.044

Tablo 5.38. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.734	0.872	0.861	0.886	0.913	0.916	0.910
11.00	0.417	0.767	0.742	0.782	0.839	0.839	0.859
12.00	0.168	0.592	0.5675	0.597	0.745	0.729	0.745
13.00	0.153	0.372	0.305	0.377	0.62	0.582	0.712
14.00	0.121	0.192	0.140	0.243	0.451	0.387	0.601
15.00	0.121	0.139	0.099	0.176	0.321	0.227	0.471
16.00	0.121	0.125	0.084	0.098	0.256	0.178	0.331
17.00	0.121	0.125	0.039	0.098	0.207	0.161	0.213
18.00	0.121	0.125	0.039	0.098	0.180	0.143	0.103
19.00	0.121	0.125	0.039	0.098	0.180	0.143	0.103

Tablo 5.39. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.597	0.803	0.815	0.849	0.877	0.869	0.875
11.00	0.137	0.359	0.388	0.558	0.650	0.648	0.700
12.00	0.104	0.079	0.070	0.199	0.286	0.354	0.450
13.00	0.104	0.063	0.070	0.138	0.162	0.187	0.220
14.00	0.085	0.063	0.039	0.138	0.143	0.124	0.157
15.00	0.085	0.063	0.039	0.125	0.143	0.124	0.122
16.00	0.085	0.063	0.039	0.125	0.123	0.124	0.113
17.00	0.085	0.063	0.039	0.125	0.123	0.115	0.113
18.00	0.085	0.063	0.039	0.125	0.123	0.115	0.113
19.00	0.085	0.063	0.039	0.125	0.123	0.115	0.113

Tablo 5.40. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.828	0.873	0.860	0.875	0.912	0.907	0.925
11.00	0.479	0.605	0.584	0.669	0.778	0.769	0.819
12.00	0.197	0.521	0.286	0.353	0.596	0.582	0.678
13.00	0.153	0.095	0.140	0.176	0.377	0.382	0.479
14.00	0.131	0.095	0.113	0.138	0.199	0.235	0.276
15.00	0.121	0.079	0.070	0.112	0.143	0.170	0.228
16.00	0.104	0.079	0.070	0.084	0.123	0.152	0.197
17.00	0.104	0.079	0.070	0.084	0.123	0.124	0.165
18.00	0.104	0.079	0.070	0.084	0.123	0.124	0.148
19.00	0.104	0.079	0.070	0.084	0.123	0.124	0.148

Tablo 5.41. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
	Kurutulan elmaların deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri						
09.00	1	1	1	1	1	1	1
10.00	0.802	0.858	0.875	0.892	0.905	0.912	0.932
11.00	0.506	0.632	0.667	0.730	0.758	0.783	0.847
12.00	0.250	0.392	0.380	0.545	0.550	0.599	0.757
13.00	0.136	0.204	0.165	0.253	0.224	0.312	0.611
14.00	0.136	0.166	0.099	0.187	0.153	0.161	0.410
15.00	0.119	0.110	0.099	0.151	0.133	0.134	0.263
16.00	0.119	0.110	0.099	0.151	0.113	0.124	0.235
17.00	0.119	0.110	0.099	0.138	0.103	0.124	0.220
18.00	0.119	0.110	0.099	0.138	0.103	0.124	0.205
19.00	0.119	0.110	0.099	0.138	0.103	0.124	0.205

Tablo 5.42. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.931	0.922	0.927	0.958
10.00	0.812	0.810	0.822	0.808
11.00	0.407	0.455	0.436	0.586
12.00	0.136	0.134	0.086	0.226
13.00	0.052	0.068	0.086	0.139
14.00	0.053	0.068	0.086	0.139
15.00	0.053	0.068	0.086	0.139
16.00	0.053	0.068	0.086	0.139
17.00	0.053	0.068	0.086	0.139
18.00	0.053	0.068	0.086	0.139
19.00	0.053	0.068	0.086	0.139

Tablo 5.43. Doğal taşınimli, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.944	0.951	0.955	0.958
10.00	0.876	0.902	0.904	0.913
11.00	0.742	0.763	0.790	0.828
12.00	0.670	0.545	0.600	0.694
13.00	0.207	0.243	0.382	0.494
14.00	0.053	0.192	0.317	0.386
15.00	0.053	0.068	0.194	0.299
16.00	0.053	0.068	0.086	0.185
17.00	0.053	0.068	0.086	0.139
18.00	0.053	0.068	0.086	0.139
19.00	0.053	0.068	0.086	0.139

Tablo 5.44. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.953	0.951	0.956	0.975
10.00	0.918	0.907	0.911	0.959
11.00	0.841	0.819	0.839	0.934
12.00	0.712	0.673	0.556	0.896
13.00	0.531	0.545	0.239	0.847
14.00	0.320	0.398	0.143	0.789
15.00	0.268	0.365	0.086	0.740
16.00	0.207	0.243	0.086	0.661
17.00	0.136	0.192	0.086	0.573
18.00	0.053	0.068	0.086	0.476
19.00	0.053	0.068	0.086	0.410
08.00				0.573
09.00				0.330
10.00				0.185
11.00				0.139
12.00				0.139

Tablo 5.45. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.971	0.973	0.975	0.973
10.00	0.928	0.931	0.944	0.926
11.00	0.822	0.838	0.879	0.845
12.00	0.136	0.638	0.759	0.722
13.00	0.053	0.166	0.556	0.586
14.00	0.053	0.1065	0.193	0.359
15.00	0.053	0.1065	0.143	0.264
16.00	0.053	0.1065	0.143	0.088
17.00	0.053	0.1065	0.143	0.088
18.00	0.053	0.1065	0.143	0.088
19.00	0.053	0.1065	0.143	0.088

Tablo 5.46. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.966	0.975	0.98	0.873
10.00	0.910	0.942	0.952	0.951
11.00	0.781	0.873	0.902	0.902
12.00	0.531	0.769	0.811	0.812
13.00	0.053	0.525	0.687	0.661
14.00	0.053	0.398	0.351	0.185
15.00	0.053	0.068	0.239	0.139
16.00	0.053	0.068	0.143	0.139
17.00	0.053	0.068	0.143	0.139
18.00	0.053	0.068	0.143	0.139
19.00	0.053	0.068	0.143	0.139

Tablo 5.47. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	1	1	1	1
09.00	0.975	0.983	0.984	0.984
10.00	0.955	0.970	0.968	0.970
11.00	0.939	0.959	0.955	0.950
12.00	0.897	0.934	0.921	0.925
13.00	0.853	0.913	0.896	0.899
14.00	0.742	0.848	0.818	0.845
15.00	0.443	0.791	0.704	0.762
16.00	0.407	0.750	0.637	0.701
17.00	0.366	0.72	0.572	0.642
18.00	0.366	0.72	0.572	0.621
19.00	0.366	0.72	0.572	0.621
08.00	0.407	0.750	0.669	0.661
09.00	0.366	0.611	0.539	0.529
10.00	0.268	0.329	0.239	0.185
11.00	0.136	0.068	0.143	0.139
12.00	0.136	0.068	0.143	0.139

5.7. Çoklu Regresyon Analizi ile Oluşturulan Ayrılabilir Nem Oranı (ANO_{analiz}) Denklemleri ve Değerleri

5.7.1. Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Ayrılabilir Nem Oranı Denklemleri

Elma ve biber kurutma işlemi sonucunda belirli zaman aralığındaki deneysel ayrılabilir nem oranı değerleri ile elmaların kurutulduğu döneme ait güneş ışınlamı, rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem değerleri IBM SPSS Statistics 21 yardımıyla çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Çoklu regresyon analizi sonucu belirli kalınlık ve ağırlıktaki elmalar ve biberler için ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemlerde güneş ışınlamı (I), rüzgâr hızı (V), sıcaklık (T) ve bağıl nem (Θ) sembolü ile gösterilmiştir.

I. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı denklemleri Tablo 5.48, Tablo 5.49 ve Tablo 5.50’ de, biberlerin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı denklemleri ise Tablo 5.54, Tablo 5.55 ve Tablo 5.56’ da verilmiştir.

II. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı denklemleri Tablo 5.51, Tablo 5.52 ve Tablo 5.53’ te, biberlerin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı denklemleri ise Tablo 5.57, Tablo 5.58 ve Tablo 5.59’ da verilmiştir.

Tablo 5.48. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$9,662 + (0,00093I) + (0,0056V) - (0,220T) - (0,145\Theta)$
4	4.59	$6,071 + (0,000839I) + (0,033V) - (0,149T) - (0,073\Theta)$
4.5	4.9	$7,469 + (0,000853I) + (0,0155V) - (0,174T) - (0,103\Theta)$
5	4.97	$3,191 + (0,00086I) + (0,039V) - (0,088T) - (0,0247\Theta)$
5.5	6.51	$0,659 + (0,00089I) + (0,0166V) - (0,0289T) + (0,014\Theta)$
6	6.95	$0,518 + (0,00087I) + (0,0149V) - (0,0294T) + (0,024\Theta)$
7	7.35	$0,708 + (0,00092I) + (0,0047V) - (0,021T) + (0,00105\Theta)$

Tablo 5.49. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$4,991 + (0,00079I) + (0,0375V) - (0,127T) - (0,0523\Theta)$
4	4.59	$1,925 + (0,00079I) + (0,032V) - (0,0609T) + (0,0010\Theta)$
4.5	4.9	$2,908 + (0,000876I) + (0,0419V) - (0,089T) - (0,010\Theta)$
5	4.97	$0,613 + (0,000864I) + (0,0179V) - (0,0312T) + (0,0214\Theta)$
5.5	6.51	$0,658 + (0,000897I) + (0,00617V) - (0,0144T) + (0,007\Theta)$
6	6.95	$0,156 + (0,00086I) + (0,00525V) - (0,0166T) + (0,0248\Theta)$
7	7.35	$0,499 + (0,00094I) + (0,00675V) - (0,0206T) + (0,00899\Theta)$

Tablo 5.50. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$7,591 + (0,000804I) + (0,02605V) - (0,177T) - (0,105\Theta)$
4	4.59	$0,905 + (0,000834I) + (0,0155V) - (0,0344T) + (0,0134\Theta)$
4.5	4.9	$0,809 + (0,00088I) + (0,0187V) - (0,0332T) + (0,01207\Theta)$
5	4.97	$0,895 + (0,000856I) + (0,0146V) - (0,0308T) + (0,0069\Theta)$
5.5	6.51	$0,969 + (0,000768I) + (0,00854V) - (0,0171T) - (0,0138\Theta)$
6	6.95	$0,751 + (0,000833I) + (0,00814V) - (0,0178T) - (0,0035\Theta)$
7	7.35	$1,180 + (0,000726I) + (0,0197V) - (0,00739T) - (0,0441\Theta)$

Tablo 5.51. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$-3,546 + (0,000693I) + (0,044V) + (0,0543T) + (0,165\Theta)$
4	4.59	$-0,9939 + (0,000818I) + (0,0899V) - (0,00849T) + (0,1058\Theta)$
4.5	4.9	$-0,837 + (0,000857I) + (0,0918V) - (0,0128T) + (0,1015\Theta)$
5	4.97	$-0,17872 + (0,000818I) + (0,0906V) - (0,023T) + (0,0798\Theta)$
5.5	6.51	$0,00526 + (0,00086I) + (0,0832V) - (0,025T) + (0,0697\Theta)$
6	6.95	$-0,352 + (0,000923I) + (0,0628V) - (0,0148T) + (0,0739\Theta)$
7	7.35	$-0,3487 + (0,000966I) + (0,0474V) - (0,0114T) + (0,0656\Theta)$

Tablo 5.52. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$-0,7529 + (0,000808I) + (0,0788V) - (0,00876T) + (0,0902\Theta)$
4	4.59	$-0,867 + (0,001075I) + (0,0227V) - (0,00027T) + (0,0796\Theta)$
4.5	4.9	$-0,3339 + (0,000935I) + (0,0706V) - (0,0176T) + (0,0752\Theta)$
5	4.97	$-0,2158 + (0,000936I) + (0,0679V) - (0,0180T) + (0,067\Theta)$
5.5	6.51	$-0,4207 + (0,00101I) + (0,0174V) - (0,00204T) + (0,0502\Theta)$
6	6.95	$-0,543 + (0,000944I) + (0,0246V) + (0,00161T) + (0,0511\Theta)$
7	7.35	$-0,756 + (0,00092I) + (0,00725V) + (0,0121T) + (0,0457\Theta)$

Tablo 5.53. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
3.5	4.03	$-0,9076 + (0,000828I) + (0,0699V) - (0,0045T) + (0,0944\Theta)$
4	4.59	$-0,467 + (0,000925I) + (0,0527V) - (0,00988T) + (0,0709\Theta)$
4.5	4.9	$-0,283 + (0,000984I) + (0,0578V) - (0,0169T) + (0,0723\Theta)$
5	4.97	$-0,428 + (0,000974I) + (0,0317V) - (0,00591T) + (0,0613\Theta)$
5.5	6.51	$-0,341 + (0,001028I) + (0,0340V) - (0,00914T) + (0,0591\Theta)$
6	6.95	$-0,365 + (0,00105I) + (0,0188V) - (0,0056T) + (0,0546\Theta)$
7	7.35	$-0,555 + (0,00085I) - (0,00647V) - (0,0145T) + (0,028\Theta)$

Tablo 5.54. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$2,968 + (0,000927I) + (0,028V) - (0,0819T) - (0,020\Theta)$
13	2.38	$2,510 + (0,00088I) + (0,026V) - (0,0705T) - (0,0133\Theta)$
14	2.67	$3,251 + (0,000912I) + (0,0252V) - (0,0875T) - (0,0240\Theta)$
15	3.00	$1,049 + (0,000737I) + (0,0278V) - (0,0334T) + (0,00718\Theta)$

Tablo 5.55. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$-0,858 + (0,000777I) + (0,0196V) + (0,0104T) + (0,0324\Theta)$
13	2.38	$-0,896 + (0,00079I) + (0,0196V) + (0,0137T) + (0,0294\Theta)$
14	2.67	$-0,212 + (0,000831I) + (0,00855V) + (0,00226T) + (0,0128\Theta)$
15	3.00	$-0,341 + (0,000775I) - (0,00134V) + (0,00951T) + (0,014\Theta)$

Tablo 5.56. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$-1,018 + (0,000783I) - (0,00267V) + (0,026T) + (0,017\Theta)$
13	2.38	$-0,635 + (0,000753I) - (0,00684V) + (0,0196T) + (0,0088\Theta)$
14	2.67	$-2,235 + (0,000694I) + (0,0169V) + (0,0451T) + (0,0506\Theta)$
15	3.00	$-5,857 - (0,000394I) + (0,0173V) + (0,1508T) + (0,097\Theta)$

Tablo 5.57. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$15,556 + (0,00204I) - (0,00735V) - (0,366T) - (0,2866\Theta)$
13	2.38	$6,075 + (0,00140I) + (0,0246V) - (0,1463T) - (0,1053\Theta)$
14	2.67	$-0,948 + (0,00097I) + (0,0116V) + (0,0195T) + (0,0287\Theta)$
15	3.00	$-1,689 + (0,000877I) - (0,00240V) + (0,0422T) + (0,0333\Theta)$

Tablo 5.58. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$8,407 + (0,00160I) + (0,0108V) - (0,2017T) - (0,1497\Theta)$
13	2.38	$-2,381 + (0,000946I) - (0,00987V) + (0,0558T) + (0,0494\Theta)$
14	2.67	$-3,575 + (0,000756I) + (0,0082V) + (0,085T) + (0,0728\Theta)$
15	3.00	$-4,958 + (0,000705I) + (0,0279V) + (0,11173T) + (0,1054\Theta)$

Tablo 5.59. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{analiz} denklemleri

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{analiz} denklemleri
10	1.90	$12,521 + (0,001065I) + (0,0512V) - (0,2706T) - (0,257\Theta)$
13	2.38	$13,439 + (0,000911I) + (0,00915V) - (0,28905T) - (0,254\Theta)$
14	2.67	$13,265 + (0,001003I) + (0,00875V) - (0,2843T) - (0,2608\Theta)$
15	3.00	$13,920 + (0,000985I) + (0,00128V) - (0,29804T) - (0,271\Theta)$

5.7.2. Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Ayrılabilir Nem Oranı Değerleri

Çoklu regresyon analizi sonucu belirli kalınlık ve ağırlıktaki elmalar için ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemlere bulunduğu döneme ve saate karşılık gelecek güneş ışınımı (I), rüzgâr hızı (V), sıcaklık (T) ve bağıl nem (Θ) değerleri yerine koyularak, analiz sonucu ayrılabilir nem oranı değerleri elde edilmiştir.

I. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri Tablo 5.60, Tablo 5.61 ve Tablo 5.62’ de, biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri ise Tablo 5.66, 5.67, Tablo 5.68’ de verilmiştir.

II. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri Tablo 5.63, Tablo 5.64 ve Tablo 5.65’ te, biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri ise Tablo 5.69, Tablo 5.70 ve Tablo 5.71’ te verilmiştir.

Tablo 5.60. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.8947	0.9399	0.9167	0.9504	0.9416	0.9361	0.9829
10.00	0.6665	0.7115	0.7076	0.7621	0.85976	0.8583	0.9361
11.00	0.3622	0.5613	0.4850	0.6923	0.7964	0.7918	0.8493
12.00	0.1883	0.3135	0.2908	0.4265	0.5933	0.5855	0.6923
13.00	0.3148	0.3372	0.3561	0.3551	0.4190	0.3933	0.5277
14.00	0.1594	0.2199	0.2212	0.2337	0.2634	0.2399	0.3535
15.00	-0.1002	-0.0551	-0.0291	-0.0392	0.04709	0.0308	0.15749
16.00	-0.045	0.0227	0.0261	0.00199	-0.0019	-0.0072	0.06011
17.00	-0.054	0.036	0.03185	0.0218	0.04705	0.0762	0.073
18.00	0.1433	0.1674	0.1869	0.0971	0.0714	0.10126	0.0914
19.00	0.1963	0.2285	0.2405	0.1516	0.11141	0.15172	0.11144

Tablo 5.61. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.9171	0.9180	0.9300	0.9353	0.9857	0.94387	0.95979
10.00	0.6985	0.7722	0.73361	0.8487	0.9418	0.90085	0.90813
11.00	0.5878	0.7204	0.6686	0.7882	0.8678	0.8251	0.8252
12.00	0.3320	0.4784	0.3776	0.5761	0.72352	0.6547	0.6525
13.00	0.3272	0.3621	0.2765	0.3929	0.5805	0.4540	0.47029
14.00	0.2219	0.22476	0.1549	0.2438	0.41162	0.29174	0.29411
15.00	-0.04598	0.0076	-0.1272	0.02939	0.2191	0.1077	0.09019
16.00	0.03419	0.03317	-0.0675	-0.00285	0.10961	0.03731	0.00044
17.00	0.05765	0.08707	-0.00693	0.0717	0.08271	0.11305	0.03231
18.00	0.1682	0.13868	0.06898	0.09802	0.0950	0.12747	0.05018
19.00	0.2302	0.19449	0.1390	0.1475	0.1010	0.1672	0.0777

Tablo 5.62. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.91011	0.93824	0.9186	0.9448	0.97452	0.97843	0.96474
10.00	0.6738	0.8550	0.8280	0.8666	0.9249	0.92788	0.8977
11.00	0.47831	0.7875	0.6607	0.79906	0.86457	0.86034	0.87933
12.00	0.26303	0.59127	0.55738	0.611432	0.73658	0.71348	0.76611
13.00	0.14079	0.4273	0.39061	0.45566	0.63271	0.57687	0.74049
14.00	0.23631	0.28211	0.23945	0.30488	0.4918	0.42285	0.618054
15.00	-0.0264	0.07733	0.01961	0.09866	0.3191	0.23797	0.43414
16.00	0.05559	0.0425	-0.02007	0.04724	0.22972	0.149744	0.32418
17.00	0.04501	0.10477	0.028900	0.08332	0.18754	0.138962	0.15314
18.00	0.20171	0.13418	0.05691	0.10958	0.20198	0.15416	0.15782
19.00	0.25601	0.17854	0.09886	0.1442	0.20348	0.16668	0.12037

Tablo 5.63. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.83111	0.8678	0.877	0.91825	0.93644	0.94638	0.95949
10.00	0.84811	0.5463	0.5676	0.67174	0.7209	0.72283	0.7634
11.00	0.466973	0.63443	0.65051	0.73769	0.7689	0.75522	0.77374
12.00	0.22645	0.195687	0.194503	0.28848	0.3398	0.39363	0.46251
13.00	0.15774	0.155235	0.15065	0.24990	0.28602	0.30673	0.35140
14.00	0.008256	0.06286	0.05540	0.16921	0.19092	0.17239	0.19145
15.00	0.09513	0.045024	0.02378	0.115428	0.1166	0.09757	0.09941
16.00	0.04653	-0.00762	-0.03234	0.061201	0.05891	0.0396	0.03796
17.00	-0.03684	-0.09429	-0.11986	-0.01852	-0.00804	-0.00086	0.01722
18.00	0.05682	0.07943	0.0597	0.15704	0.15658	0.13736	0.13178
19.00	0.2045	0.19752	0.17556	0.2551	0.22460	0.22346	0.20668

Tablo 5.64. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.89564	0.95081	0.9244	0.94046	0.97865	0.97754	0.992085
10.00	0.621876	0.71829	0.6957	0.73656	0.83398	0.82965	0.86404
11.00	0.6891	0.71589	0.73359	0.76459	0.80514	0.8111	0.8297
12.00	0.28815	0.48144	0.34138	0.381844	0.59847	0.58905	0.67668
13.00	0.23828	0.324735	0.26103	0.29835	0.44692	0.45657	0.52917
14.00	0.13918	0.111004	0.13306	0.168012	0.24382	0.271796	0.3266
15.00	0.100612	0.03091	0.05549	0.07647	0.12469	0.15792	0.20823
16.00	0.04399	-0.0231	-0.0051	0.010913	0.05643	0.08362	0.12949
17.00	-0.03401	0.000176	-0.0558	-0.0404	0.0678	0.06933	0.12422
18.00	0.11923	0.0938	0.09342	0.09974	0.13216	0.13229	0.15249
19.00	0.22082	0.17586	0.18272	0.18073	0.18492	0.18521	0.194075

Tablo 5.65. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi							
Kurutulan elmaların kalınlıkları (mm)							
Zaman (saat)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
Kurutulan elmaların analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri							
09.00	0.90846	0.93572	0.952608	0.9698	0.97890	0.98582	0.98580
10.00	0.62402	0.72317	0.73442	0.789426	0.8046	0.82742	0.91215
11.00	0.68756	0.7453	0.757204	0.78424	0.7944	0.8009	0.85772
12.00	0.317002	0.42131	0.40432	0.5300	0.52332	0.58251	0.76466
13.00	0.25396	0.32296	0.30161	0.4003	0.38699	0.42574	0.61389
14.00	0.13951	0.17565	0.15094	0.2206	0.19988	0.21768	0.41262
15.00	0.10722	0.0966	0.06688	0.12432	0.09008	0.10226	0.2813
16.00	0.05396	0.0366	0.009763	0.06356	0.02503	0.03925	0.20152
17.00	-0.096	0.004644	-0.01498	0.06190	0.02393	0.06088	0.20540
18.00	0.13484	0.12494	0.12242	0.15286	0.11988	0.13684	0.20341
19.00	0.23803	0.20507	0.20726	0.2197	0.18604	0.19556	0.22497

Tablo 5.66. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri				
08.00	0.81877	0.81773	0.81816	0.848177
09.00	0.74589	0.74618	0.742772	0.792572
10.00	0.69587	0.69428	0.73769	0.718737
11.00	0.517566	0.53894	0.513116	0.64134
12.00	0.43985	0.45374	0.44507	0.53395
13.00	0.315563	0.31602	0.33778	0.354393
14.00	0.15825	0.1639	0.18626	0.21553
15.00	-0.139221	-0.11539	-0.106406	-0.016921
16.00	-0.136782	-0.11643	-0.09974	-0.030032
17.00	-0.00565	0.013750	0.02275	0.107300
18.00	0.06827	0.07795	0.100310	0.142360
19.00	0.19945	0.213350	0.23429	0.260620

Tablo 5.67. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri				
08.00	0.897657	0.92504	0.92556	0.98324
09.00	0.851592	0.8951	0.912075	0.971632
10.00	0.768337	0.81465	0.86971	0.948687
11.00	0.760486	0.80668	0.821379	0.90897
12.00	0.596636	0.64714	0.688604	0.780086
13.00	0.328193	0.38969	0.487849	0.589433
14.00	0.16549	0.22308	0.319866	0.431672
15.00	-0.040041	0.02094	0.128889	0.272684
16.00	-0.099912	-0.05279	0.03455	0.170303
17.00	0.0254	0.05295	0.077085	0.184235
18.00	0.02296	0.04787	0.077842	0.176225
19.00	0.155120	0.145170	0.13572	0.237767

Tablo 5.68. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

I. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri				
08.00	0.91685	0.892097	0.935724	0.67052
09.00	0.92979	0.911996	0.904254	0.70586
10.00	0.906392	0.90558	0.809444	0.580176
11.00	0.88800	0.871298	0.866702	0.901218
12.00	0.785944	0.755124	0.67697	0.76016
13.00	0.554721	0.594345	0.365006	0.499554
14.00	0.389038	0.43802	0.20548	0.51418
15.00	0.245427	0.307503	0.039948	0.638822
16.00	0.114390	0.175488	-0.041534	0.59448
17.00	0.101325	0.136500	0.07710	0.693050
18.00	0.079724	0.118768	0.04609	0.577600
19.00	0.09646	0.115832	0.166930	0.57826
08.00				0.965782
09.00				0.610524
10.00				0.507142
11.00				0.405876
12.00				0.347806

Tablo 5.69. Doğal taşınımli, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	0.84803	0.89172	0.98137	0.965325
09.00	1.09855	1.00806	0.98177	0.956805
10.00	0.939755	0.9288	0.936740	0.935304
11.00	0.80519	0.86906	0.88936	0.87829
12.00	0.27447	0.4709	0.64141	0.691951
13.00	0.229805	0.38959	0.55868	0.609077
14.00	0.06177	0.18448	0.32863	0.40055
15.00	-0.04291	0.05994	0.14626	0.192900
16.00	0.074085	0.04325	0.0671	0.096277
17.00	0.017445	0.04185	0.10933	0.10246
18.00	0.213165	0.17586	0.14816	0.078060
19.00	0.036365	0.11445	0.17101	0.09870

Tablo 5.70. Doğal taşınımli, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
	Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri			
08.00	0.86116	1.004376	1.00618	0.98762
09.00	1.00792	0.980121	0.9696	0.93262
10.00	0.9001	0.942647	0.95861	0.92199
11.00	0.81278	0.87313	0.92076	0.90897
12.00	0.3803	0.680588	0.74822	0.710625
13.00	0.31155	0.59991	0.658156	0.610202
14.00	0.10824	0.36418	0.43566	0.362375
15.00	-0.0221	0.13193	0.2316	0.173852
16.00	0.00197	0.04049	0.111316	0.035708
17.00	-0.00499	0.07653	0.14196	0.105397
18.00	0.13948	0.043473	0.12042	0.1199
19.00	0.05029	0.076133	0.16772	0.191781

Tablo 5.71. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin belirli zaman aralığındaki analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri

II. Dönem kurutma işlemi				
Kurutulan biberlerin kalınlıkları (mm)				
Zaman (saat)	10	13	14	15
Kurutulan biberlerin analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri				
08.00	0.75646	0.863445	0.834445	0.84748
09.00	1.006245	1.08243	1.06282	1.079213
10.00	1.03898	1.047397	1.04658	1.05326
11.00	1.02927	1.000980	0.99402	0.99359
12.00	0.691995	0.744493	0.72883	0.74091
13.00	0.599245	0.725511	0.690648	0.71583
14.00	0.594435	0.760195	0.713775	0.75373
15.00	0.603680	0.79835	0.719270	0.76855
16.00	0.561365	0.871301	0.76094	0.83256
17.00	0.38462	0.7443	0.603005	0.67426
18.00	0.43932	0.82786	0.652075	0.7266
19.00	0.2635	0.66058	0.4765	0.54502
08.00	0.62538	0.77098	0.740623	0.758156
09.00	0.251665	0.336098	0.31886	0.30827
10.00	0.24985	0.28522	0.253173	0.21287
11.00	0.319995	0.330677	0.319206	0.29745
12.00	0.35985	0.45862	0.448643	0.455031

5.8. Elma ve Biber Kurutma İşlemi için ANO_{deneyssel} ve ANO_{analiz} Değerleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Deneysel çalışmalarla elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri (ANO_{deneyssel}) ile çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri (ANO_{analiz}) arasındaki ilişki IBM SPSS Statistics 21 programı ile incelenmiştir. İlişkinin yorumlanabilmesi için regresyon analizi sonucu tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerleri elde edilmiştir.

I. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu oluşturulan tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerleri Tablo 5.72, Tablo 5.73 ve Tablo 5.74’ te, biberlerin ise Tablo 5.78, Tablo 5.79 ve Tablo 5.80’ de verilmiştir.

II. dönem kurutma işleminde elmaların analiz sonucu oluşturulan tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerleri Tablo 5.75, Tablo 5.76 ve Tablo 5.77’ de, biberlerin ise Tablo 5.81, Tablo 5.82 ve Tablo 5.83’ te verilmiştir.

Tablo 5.72. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.85181	0.13488	0.172012
4	4.59	0.87231	0.12402	0.190324
4.5	4.9	0.86242	0.12357	0.162000
5	4.97	0.91437	0.11010	0.081477
5.5	6.51	0.98135	0.05304	0.058700
6	6.95	0.97237	0.06372	0.169235
7	7.35	0.99231	0.03443	0.061730

Tablo 5.73. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.88329	0.11487	0.065270
4	4.59	0.91876	0.10045	0.038112
4.5	4.9	0.91439	0.11355	0.041457
5	4.97	0.96428	0.07172	0.032877
5.5	6.51	0.99761	0.01890	0.009175
6	6.95	0.98039	0.05273	0.231774
7	7.35	0.99173	0.03676	0.006018

Tablo 5.74. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.89775	0.10236	0.400457
4	4.59	0.97446	0.05739	0.270795
4.5	4.9	0.96565	0.07189	0.103286
5	4.97	0.97954	0.05267	0.164284
5.5	6.51	0.99477	0.02397	0.015450
6	6.95	0.99596	0.02275	0.018084
7	7.35	0.98903	0.03597	0.052295

Tablo 5.75. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deney} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deney} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.76686	0.15214	0.853466
4	4.59	0.80085	0.15978	0.429963
4.5	4.9	0.82349	0.15531	0.113966
5	4.97	0.87501	0.12189	0.790572
5.5	6.51	0.91403	0.10345	0.254884
6	6.95	0.92230	0.09857	0.114326
7	7.35	0.94607	0.08336	0.081207

Tablo 5.76. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deney} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deney} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.85663	0.12914	0.208918
4	4.59	0.90492	0.11633	0.114560
4.5	4.9	0.91064	0.10957	0.347875
5	4.97	0.93390	0.09432	0.276646
5.5	6.51	0.97878	0.05355	0.175398
6	6.95	0.97673	0.05461	0.147858
7	7.35	0.98432	0.04422	0.078632

Tablo 5.77. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan elmaların ANO_{deney} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem elma kurutma işlemi için ANO _{deney} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
3.5	4.03	0.84656	0.13077	0.163467
4	4.59	0.93105	0.09199	0.375076
4.5	4.9	0.92859	0.09794	0.146082
5	4.97	0.94818	0.08060	0.329166
5.5	6.51	0.94935	0.08454	0.725988
6	6.95	0.96677	0.06790	0.340541
7	7.35	0.99725	0.01763	0.010453

Tablo 5.78. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.77490	0.19071	0.397498
13	2.38	0.77638	0.18689	0.321221
14	2.67	0.75246	0.19487	0.216607
15	3.00	0.79831	0.16649	0.190867

Tablo 5.79. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.91138	0.12454	0.066866
13	2.38	0.95677	0.08634	0.019890
14	2.67	0.97491	0.06173	0.017455
15	3.00	0.98355	0.04653	0.010262

Tablo 5.80. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	I. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.97768	0.05778	0.014843
13	2.38	0.96759	0.06518	0.013528
14	2.67	0.95430	0.08810	0.015857
15	3.00	0.27508	0.26573	0.183077

Tablo 5.81. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyssel} ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyssel} ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.94173	0.10871	0.241718
13	2.38	0.93638	0.10635	0.492506
14	2.67	0.97521	0.06333	0.179187
15	3.00	0.99285	0.03367	0.040747

Tablo 5.82. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyse}l ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyse} l ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.93108	0.11564	0.774457
13	2.38	0.98893	0.04491	0.089353
14	2.67	0.99061	0.03823	0.040700
15	3.00	0.96003	0.08065	0.444504

Tablo 5.83. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan biberlerin ANO_{deneyse}l ile ANO_{analiz} değerleri arasındaki ilişki

Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	II. Dönem biber kurutma işlemi için ANO _{deneyse} l ve ANO _{analiz} değerleri arasındaki ilişki		
		R ²	RMSE	χ^2
10	1.90	0.73397	0.16597	0.811692
13	2.38	0.68056	0.17191	0.955689
14	2.67	0.73780	0.15090	0.689342
15	3.00	0.75376	0.14920	0.647378

5.9. Kurutma Sistemleri ve Kurutulacak Ürünler için Teorik Olarak Geliştirilen Ayrılabilir Nem Oranı (ANO_{teorik}) Denklemleri

Analiz sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri (ANO_{analiz}) ile deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ayrılabilir nem oranı değerleri (ANO_{deneyse}l) arasındaki ilişki regresyon analizi yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

İnceleme sonucu elde edilen tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerinin sıfıra, belirtme katsayısı (R²) değerinin bire yakın olduğu ayrılabilir nem oranı değerleri kurutma sistemleri ve ürünler için belirlenmiştir.

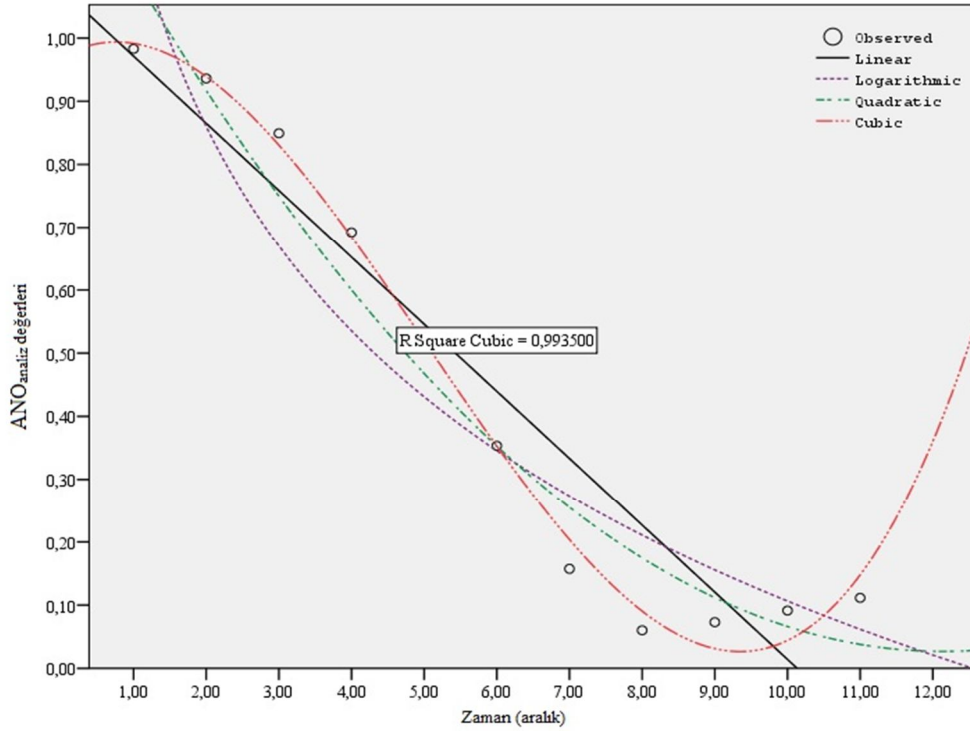
İlişki oranı yüksek çıkan analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemleri, IBM SPSS Statistics 21 programının eğri uydurma bölümü kullanılarak elde edilmiştir.

5.9.1. Elma ve Biber Kurutma İşlemi için Teorik Olarak Geliştirilen Ayrılabilir Nem Oranı (ANO_{teorik}) Denklemleri

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,7mm} = 0.9696 + 0.0651t - 0.0463t^2 + 0.00305t^3 \quad (5.1)$$

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.13' te verilmiştir.

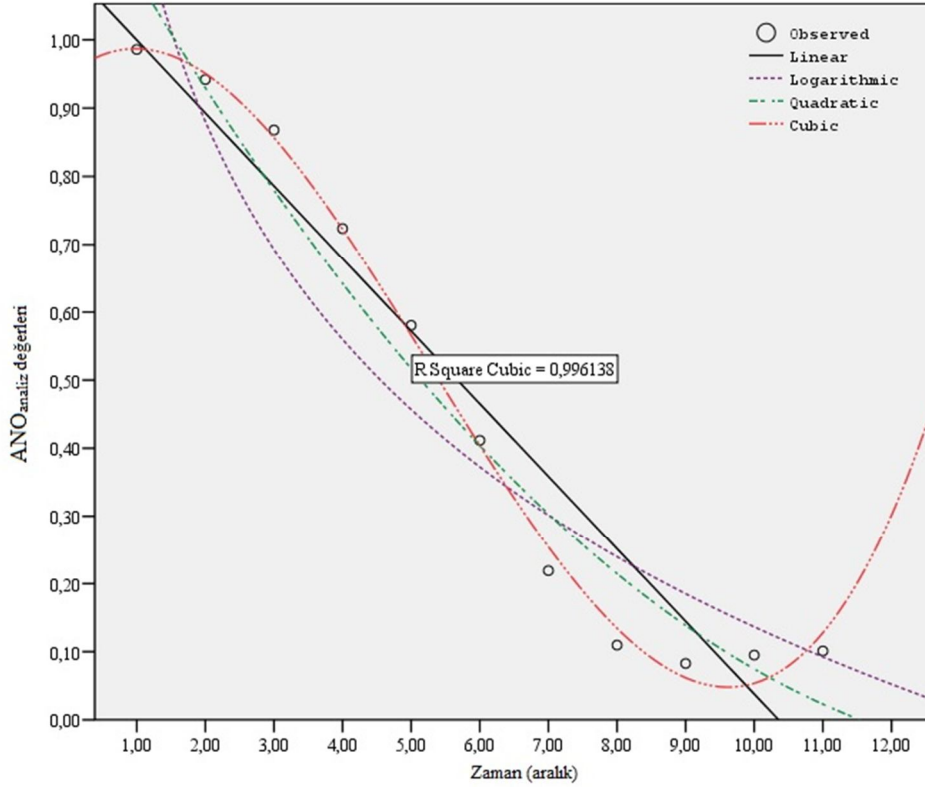


Şekil 5.13. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamanabağı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 5.5 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,5.5mm} = 0.9478 + 0.0822t - 0.0462t^2 + 0.00291t^3 \quad (5.2)$$

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 5.5 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.14' te verilmiştir.

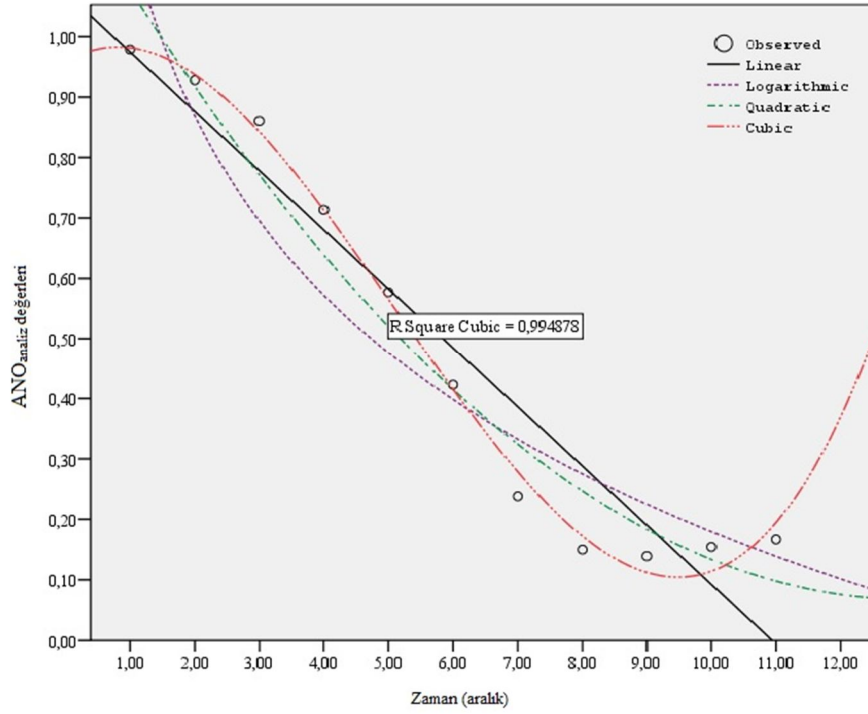


Şekil 5.14. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 5.5 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 6 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,6mm} = 0.9579 + 0.06208t - 0.0415t^2 + 0.00269t^3 \quad (5.3)$$

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 6 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.15’ te verilmiştir.

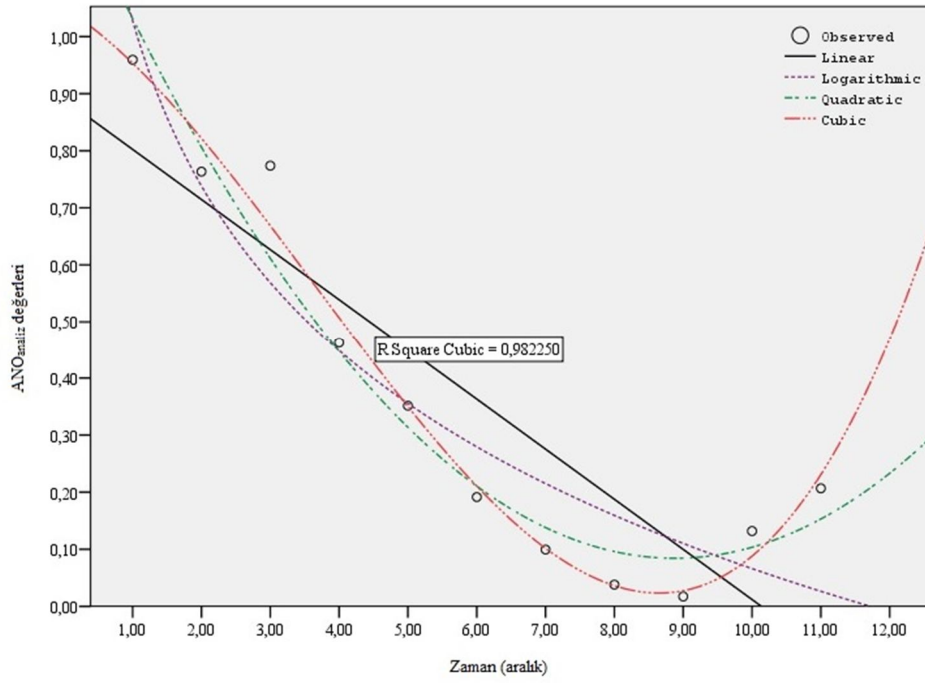


Şekil 5.15. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 6 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik} = 1.0507 - 0.07580t - 0.0236t^2 + 0.00216t^3 \quad (5.4)$$

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.16’ da verilmiştir.

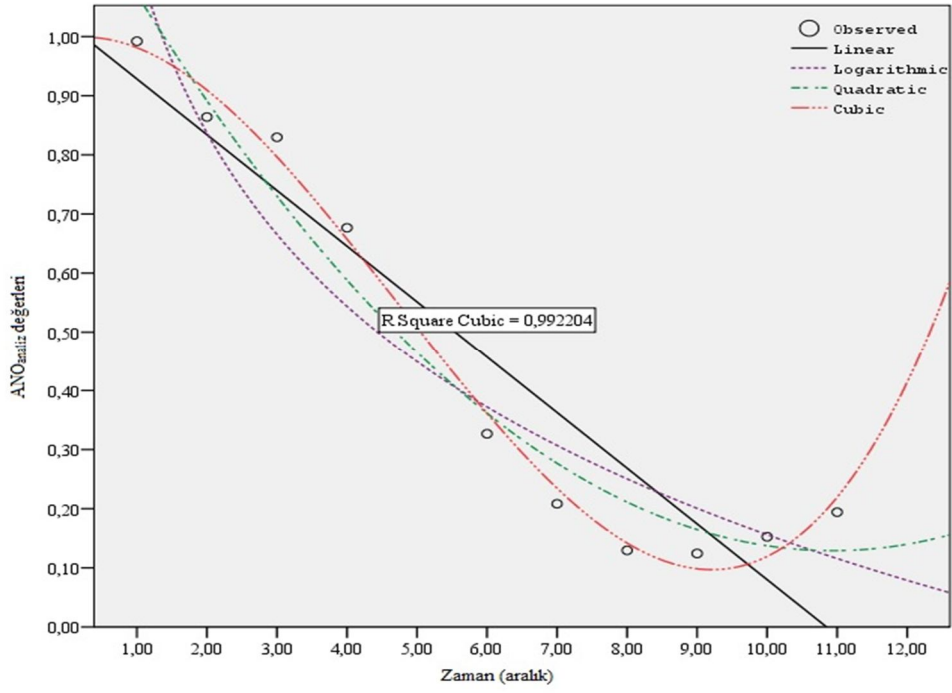


Şekil 5.16. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,7mm} = 0.9967 + 0.01760t - 0.0356t^2 + 0.00251t^3 \quad (5.5)$$

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.17' de verilmiştir.

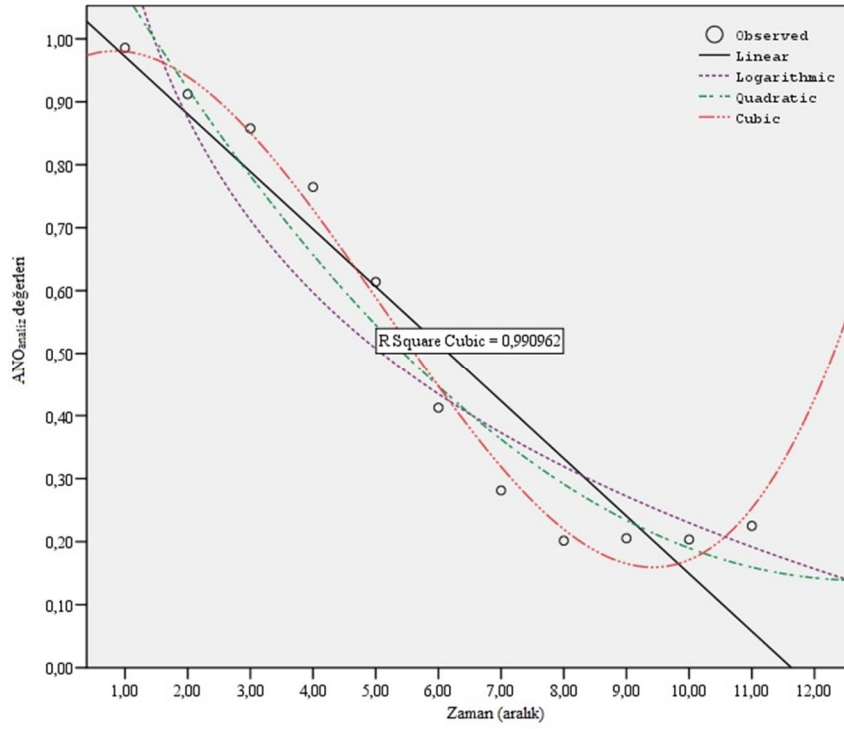


Şekil 5.17. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,7mm} = 0.9554 + 0.06186t - 0.0400t^2 + 0.00260t^3 \quad (5.6)$$

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.18' de verilmiştir.

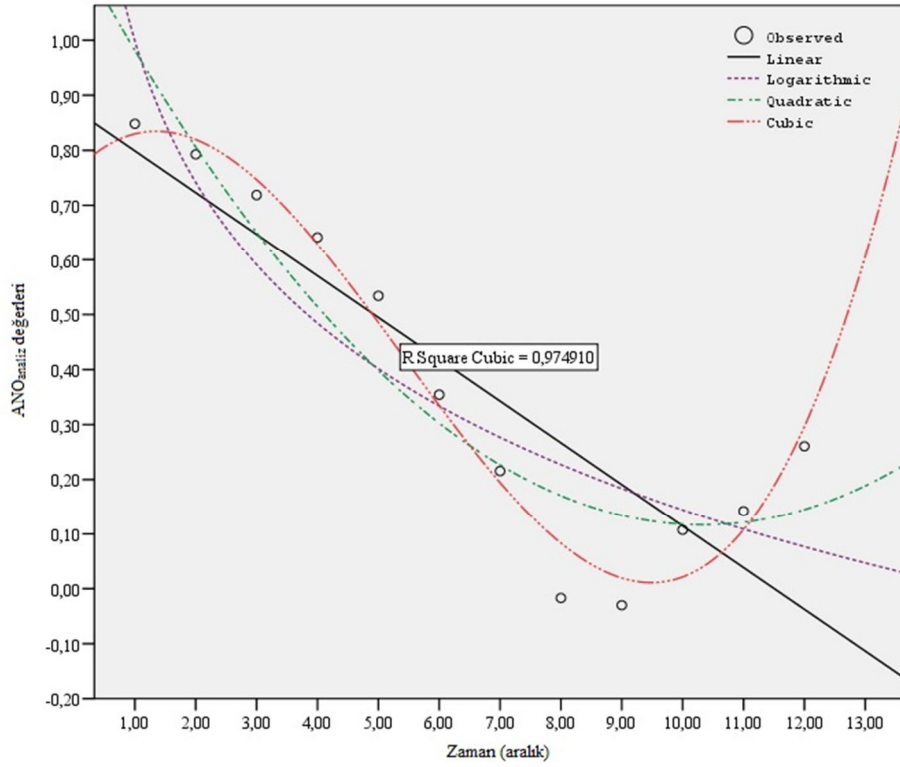


Şekil 5.18. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 7 mm kalınlığındaki elmanın analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,15mm} = 0.7591 + 0.11735t - 0.0497t^2 + 0.00305t^3 \quad (5.7)$$

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.19’ da verilmiştir.

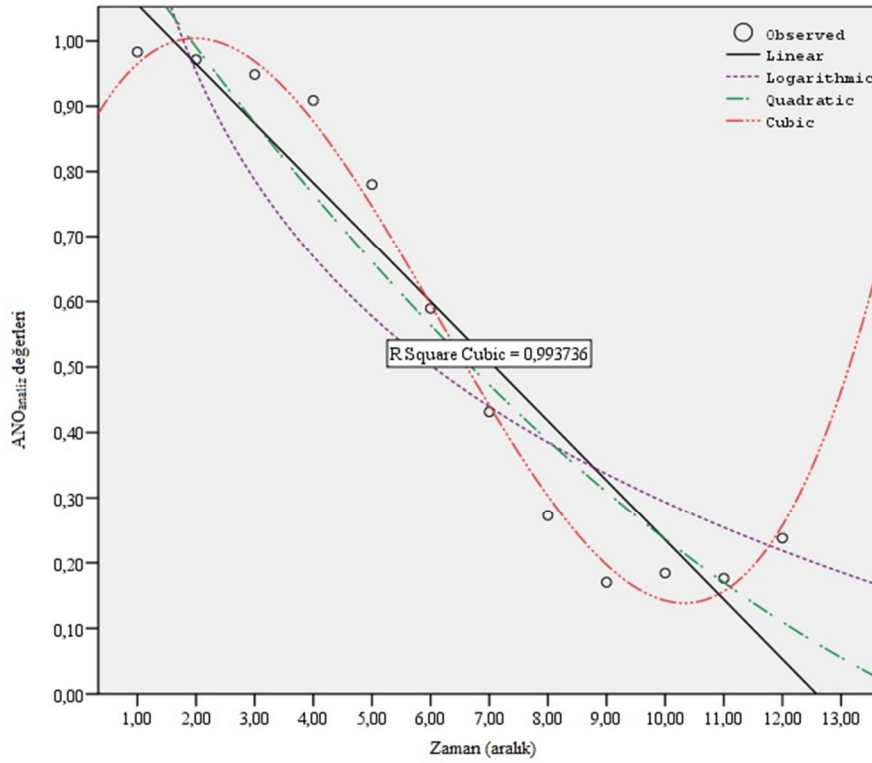


Şekil 5.19. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, amana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,15mm} = 0.8336 + 0.18356t - 0.0551t^2 + 0.00298t^3 \quad (5.8)$$

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.20’ de verilmiştir.

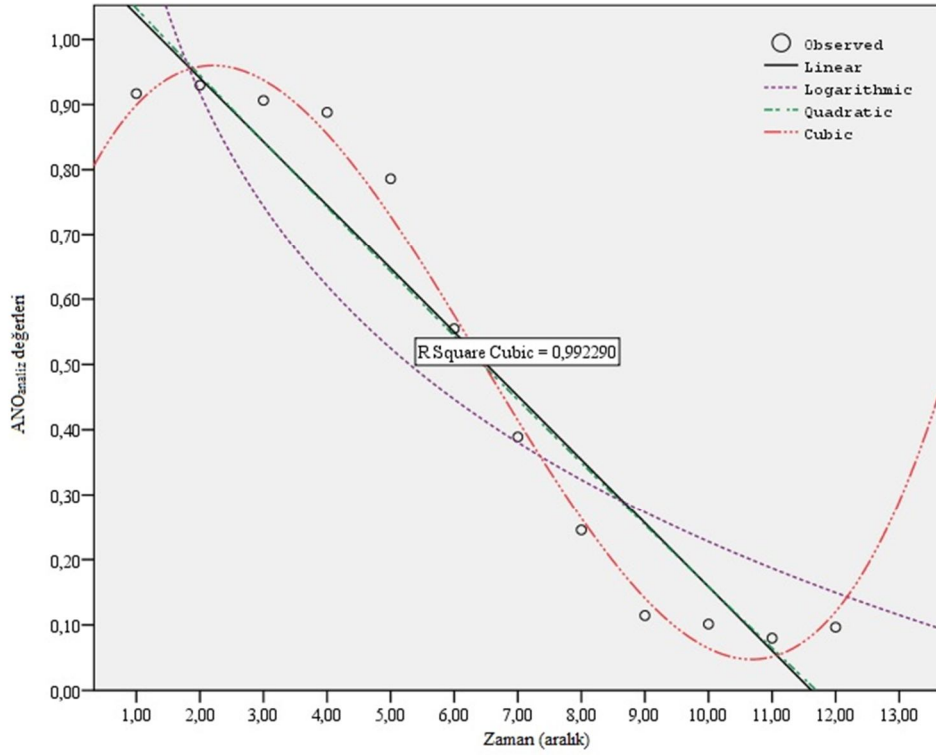


Şekil 5.20. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 10 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,10mm} = 0.7420 + 0.21206t - 0.0579t^2 + 0.00299t^3 \quad (5.9)$$

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 10 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.21’ de verilmiştir.

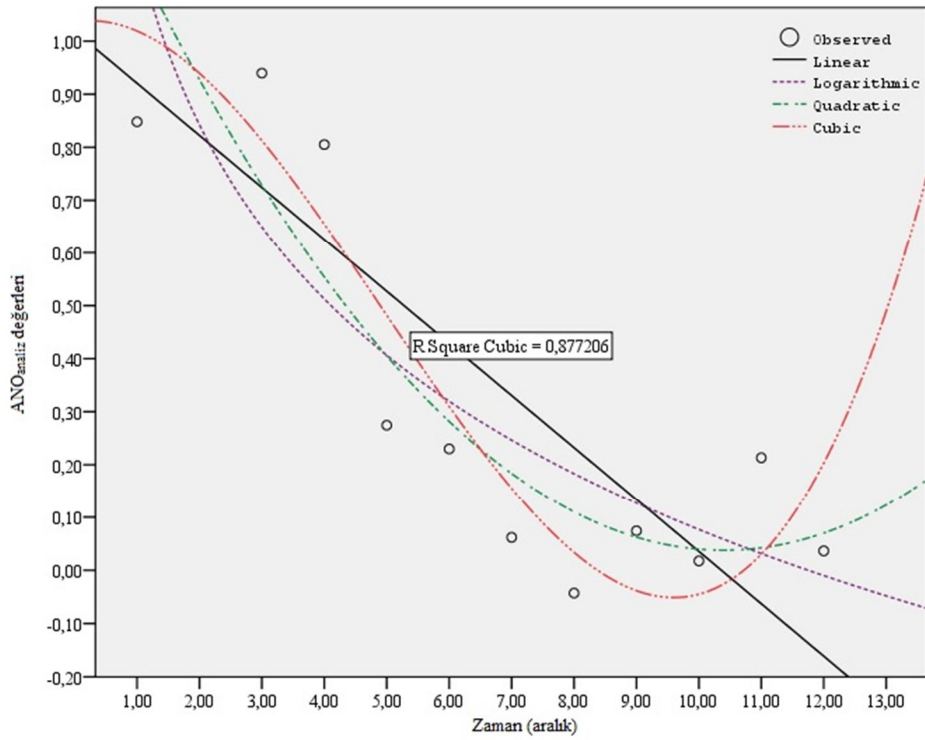


Şekil 5.21. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde kurutulan 10 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,15mm} = 1,0353 + 0.02074t - 0.0397t^2 + 0.00268t^3 \quad (5.10)$$

Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.22’ de verilmiştir.

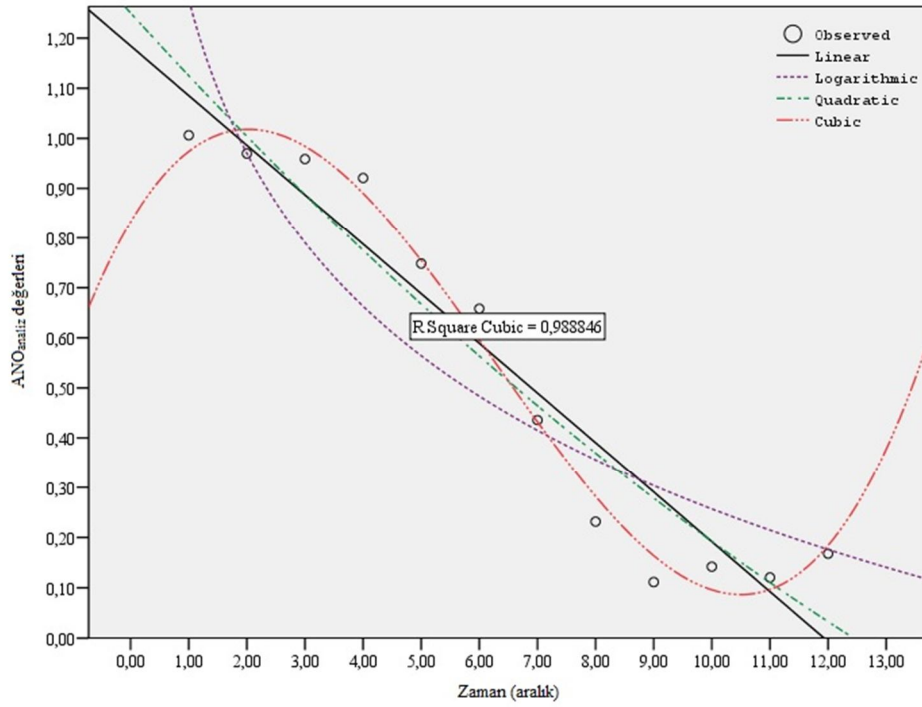


Şekil 5.22. Doğal taşınımlı, soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 14 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,14mm} = 0.8325 + 0.19547t - 0.05752t^2 + 0.00306t^3 \quad (5.11)$$

Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 14 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.23' te verilmiştir.

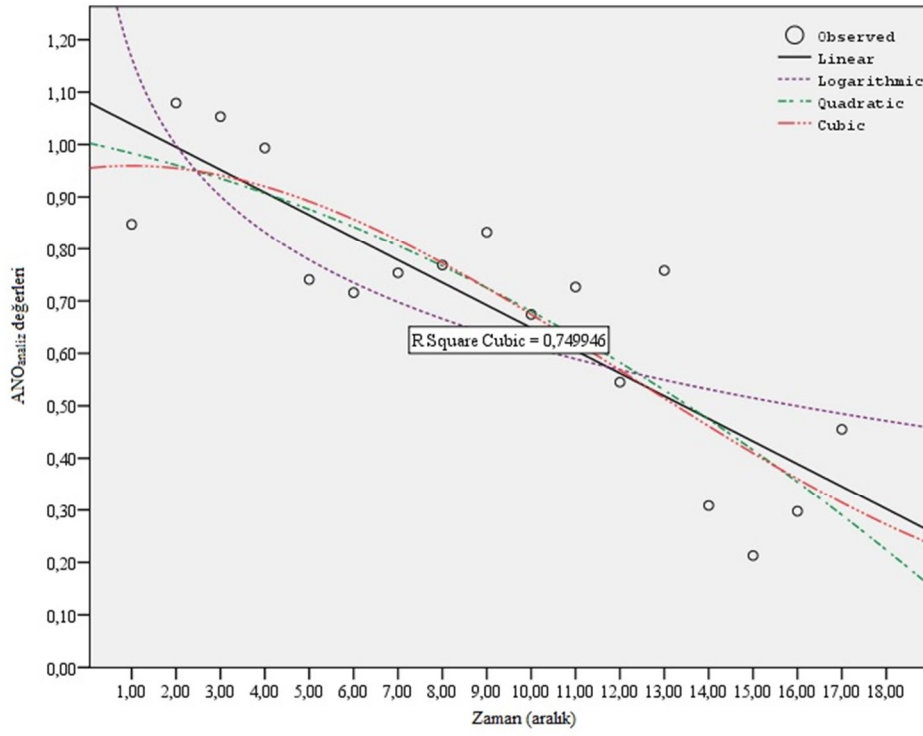


Şekil 5.23. Doğal taşınımlı, borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde kurutulan 14 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$ANO_{teorik,15mm} = 0.9547 + 0.00989t - 0.00521t^2 + 0.000142t^3 \quad (5.12)$$

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin, analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana bağlı eğri uydurma grafiği Şekil 5.24' te verilmiştir.



Şekil 5.24. Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde kurutulan 15 mm kalınlığındaki biberin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerlerinin, zamana bağlı eğri uydurma grafiği

6. TARTIŞMA

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 09.00 – 14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 17.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlıklarındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 17.00’ den sonra sona ermiştir.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 09.00 – 15.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 15.00 – 17.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 17.00’ den sonra sona ermiştir.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 09.00 – 13.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 13.00 – 16.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlıklarındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 17.00’ den sonra sona ermiştir.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 09.00 – 14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 18.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 18.00’ den sonra sona ermiştir.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. ve II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 09.00 – 14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 18.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 18.00’ den sonra sona ermiştir.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu Şekil 5.1’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 09.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu

görülmektedir. 09.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 17.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıını değeriinin düşmesine bağılı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlığındaki elmalar için 7, 8, 8, 9, 9, 7, 9 saat sürmüştür.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu Şekil 5.2’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 09.00 – 15.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 09.00 – 15.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 15.00 – 17.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıını değeriinin düşmesine bağılı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlığındaki elmalar için 6, 9, 7, 8, 9, 8, 9 saat sürmüştür.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu elde Şekil 5.4’ te edilen nem zaman grafiğinde 09.00 – 13.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 09.00 – 13.00 saatleri arasında sıcaklığının giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 13.00 – 16.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıını değeriinin düşmesine bağılı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlığındaki elmalar için 6, 6, 6, 7, 8, 6, 9 saat sürmüştür.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu Şekil 5.5’ te elde edilen nem zaman grafiğinde 09.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 09.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 18.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıını değeriinin düşmesine bağılı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlığındaki elmalar için 8, 7, 7, 8, 8, 9, 10 saat sürmüştür.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. ve II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işlemi sonucu Şekil 5.3 ve Şekil 5.6’ da elde edilen nem zaman grafiklerinde 09.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 09.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 18.00 saatleri arasında

sıcaklığın ve güneş ışımasını değerlerinin düşmesine bağlı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 ve 7 mm kalınlığındaki elmalar için I. dönemde 6, 8, 9, 8, 10, 10, 10 saat ve II. dönemde 7, 7, 6, 10, 8, 8, 10 saat sürmüştür.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işleminde kurutma bölmesinde en yüksek 53.2°C sıcaklık elde edilirken, II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işleminde ise 55.9°C sıcaklık elde edilmiştir. Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işleminde kurutma bölmesinde en yüksek 41.1°C sıcaklık elde edilirken, II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işleminde, kurutma ise 44.6°C sıcaklık elde edilmiştir. II. dönemde kurutma bölmelerinde elde edilen sıcaklık değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, biberlerin kütle kaybının 08.00 – 13.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 13.00 – 14.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlıklarındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 14.00’ den sonra sona ermiştir.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, biberlerin kütle kaybının 08.00 – 13.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 13.00 – 17.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 17.00’ den sonra sona ermiştir.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, biberlerin kütle kaybının 08.00 – 13.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 13.00 – 19.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. En yüksek boyut ve ağırlıktaki biber kurutma işleminde sabit tartım verisi elde edilmediğinden kurutma ertesi gün devam ettirilmiştir. 08.00 – 10.00 saatleri arasında yüksek kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. 10.00 – 12.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiş ve 12.00’ de son bulmuştur.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, biberlerin kütle kaybının 08.00 –

14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 16.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlıklarındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 16.00’ dan sonra sona ermiştir.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, biberlerin kütle kaybının 08.00 – 14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 16.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 16.00’ dan sonra sona ermiştir.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu, elmaların kütle kaybının 08.00 – 14.00 saatleri arasında yüksek olduğu görülmektedir. Artan ürün ağırlığına bağlı olarak 14.00 – 19.00 saatleri arasında ürünlerin ağırlığındaki azalma devam etmiştir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 19.00’ da sabit tartım verisi vermediğinden, kurutma ertesi gün devam ettirilmiştir. 08.00 – 11.00 saatleri arasında yüksek kütle kaybı meydana geldiği görülmektedir. Ürünlerin ağırlığındaki azalma 11.00’ den sonra sona ermiştir.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.7’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 13.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 13.00 saatleri arasında sıcaklığının giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 13.00 – 14.00 saatleri arasında ürün içerisindeki nem içeriği giderek azaldığından nem içeriğindeki düşüş yavaşlamış ve sona ermiştir. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 6, 6, 5, 7 saat sürmüştür.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.8’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 13.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 13.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 13.00 – 17.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıınımı değerlerinin düşmesine bağlı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 7, 8, 9, 10 saat sürmüştür.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.9’ da

elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 13.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 13.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 13.00 – 19.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıınımı değerlerinin düşmesine bağlı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi en yüksek boyut ve ağırlıktaki biber için bir tam gün içerisinde tamamlanamadığından ertesi gün devam edilmiştir. 08.00 – 10.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 10.00 – 12.00 saatleri arasında ürünlerin nem içeriğinde azalma devam etmiş ve 12.00’ de son bulmuştur. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 11, 11, 8, 16 saat sürmüştür.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.10’ da elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 16.00 saatleri arasında ürün içerisindeki nem içeriği giderek azaldığından nem içeriğindeki düşüş yavaşlamış ve sona ermiştir. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 6, 7, 8, 9 saat sürmüştür.

Borulu kolektöre sahip kurutucuda II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.11’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 16.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıınımı değerlerinin düşmesine bağlı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 6, 8, 9, 8 saat sürmüştür.

Dış ortamda, serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işlemi sonucu Şekil 5.12’ de elde edilen nem zaman grafiğinde 08.00 – 14.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. 08.00 – 14.00 saatleri arasında sıcaklığın giderek arttığı ve bağıl nemin azaldığı zaman aralığıdır. 14.00 – 19.00 saatleri arasında sıcaklığın ve güneş ışıınımı değerlerinin düşmesine bağlı olarak nem içeriğindeki düşüş yavaşlamıştır. Kurutma işlemi en kurutulacak biberler için bir tam gün içerisinde tamamlanamadığından ertesi gün devam edilmiştir. 08.00 – 11.00 saatleri arasında nem içeriğinde hızlı bir düşüş olduğu

görülmektedir. Kurutma işlemi 11.00' de sona ermiştir. Kurutma işlemi sırasıyla 10, 13, 14 ve 15 mm kalınlığındaki biberler için 16, 16, 16, 16 saat sürmüştür.

Soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işleminde kurutma bölmesinde en yüksek 56.5°C sıcaklık elde edilirken, II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki biber kurutma işleminde ise kurutma bölmesinde 82.5°C sıcaklık elde edilmiştir. Borulu kolektöre sahip kurutucuda I. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işleminde kurutma bölmesinde en yüksek 45.7°C sıcaklık elde edilirken, II. dönemde gerçekleştirilen farklı kalınlık ve ağırlıklardaki elma kurutma işleminde ise kurutma bölmesinde 64.8°C sıcaklık elde edilmiştir. II. dönemde kurutma bölmelerinde elde edilen sıcaklık değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Kurutulan ürünlerin son nem içeriklerinin ağırlık ve kalınlık ile doğru orantılı şekilde değiştiği düşünülmektedir. Bölüm 5' te elma ve biber için elde edilen nem zaman grafiklerinde ise son nem içeriklerinin bazı noktalarda ağırlık ve kalınlık ile doğru orantılı olmadığı görülmektedir. Bu durum doğal taşınımlı kurutma sistemlerinde kontrol edilemeyen kurutma havası hızı olarak yorumlanmıştır.

Farklı sistemler ve kurutma dönemlerinde kurutulan ürünler için deneysel olarak elde edilen ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneyse}$) değerlerinin, sıcaklık, güneş ışınımı ve bağıl nem ile doğrudan ilişkili olduğu yapılan deneyler sonucu görülmektedir.

Kurutulan ürünlerin kalınlığının artmasına bağlı olarak analiz sonucu ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri ile deneysel ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneyse}$) değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Elma ve biber kurutma işlemi için deneysel ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneyse}$) değerleri ile analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri regresyon analizine tabi tutularak ilişkileri incelenmiştir. İlişkinin yorumlanabilmesi için (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerlerine bakılmıştır. Regresyon analizi sonucu soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda, borulu kolektöre sahip kurutucuda ve dış ortamda serme usulüyle gerçekleştirilen kurutma işleminde ilişkinin yüksek çıktığı ürün kalınlıkları belirlenmiştir. Elma kurutma işlemi için I. dönemde sırasıyla 7, 5.5, 6 mm kalınlığındaki ürünlerin, II. dönemde ise sırasıyla 7, 7, 7 mm kalınlığındaki ürünlerin ilişkisinin yüksek çıktığı belirlenmiştir. Aynı işlemler biber kurutma işlemi için gerçekleştirilmiş olup, I. dönemde sırasıyla 15, 15, 10 mm kalınlığındaki ürünlerin, II.

dönemde ise 15, 14, 15 mm kalınlığındaki ürünlerin ilişkisinin yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Regresyon analizi sonucu ilişki oranı yüksek çıkan belirli kalınlıktaki elmaların ve biberlerin analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı değerleri (ANO_{analiz}) belirlenerek zamana bağlı eğrileri ve denklemleri oluşturulmuştur. Elma kurutma işlemi için I. dönemde sırasıyla 7, 5.5 ve 6 mm kalınlıkları için 0.993500, 0.996138, 0.997878 belirtme katsayısı (R^2) değerlerine, II. dönemde sırasıyla 7, 7, 7 mm kalınlıkları için 0.982250, 0.992204, 0.990962 belirtme katsayısı (R^2) değerlerine sahip denklemler ve eğriler oluşturulmuştur. Biber kurutma işlemi için I. dönemde sırasıyla 15, 15 ve 10 mm kalınlıkları için 0.974910, 0.993736, 0.992290 belirtme katsayısı (R^2) değerlerine, II. dönemde sırasıyla 15, 14 ve 15 mm kalınlıkları için 0.877206, 0.88846, 0.749946 belirtme katsayısı (R^2) değerlerine sahip denklemler ve eğriler oluşturulmuştur. Ürün kalınlığı arttıkça elde edilen belirtme katsayısı (R^2) değerlerinin 1' e yaklaştığı görülmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, elma ve biber kurutma işlemini gerçekleştirmek üzere doğal taşınımlı, güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri tasarlanmış ve imal edilmiştir. İmal edilen sistemlerde elma ve biber kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve dış ortam şartlarına göre kıyaslanması yapılmıştır. Kurutmanın gerçekleştirildiği dönemlere ait güneş ışınlı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem değerleri elde edilerek kurutma işlemine etkisi gözlemlenmiştir. Kurutma sırasında elde edilen ölçüm verileri yardımıyla kurutma sistemleri ve kurutulan ürünler için ayrılabilir nem oranı denklemleri oluşturulmuştur.

Elma ve biberlerin ilk nem içeriklerini elde etmek amacıyla etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Etüvde kurutma işlemi sonucu elmaların ilk nem içerikleri yaş baza göre %86, biberlerin ise %94.5 olarak tespit edilmiştir.

Elma kurutma işlemi I. dönemde 1 Temmuz 2017 tarihinde, II. dönemde 12 Ağustos 2017 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

I. dönemde, ortam için deney süresince ortalama 432.3 W/m^2 güneş ışınlı, 3.28 m/s rüzgâr hızı, 33.31°C sıcaklık, %17.27 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Yedi farklı kalınlıkta ve ağırlıktaki elma dilimlerinin nem içerikleri soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda %86' dan ortalama %6.75 nem içeriğine ortalama 8 saatte düşürülürken, borulu kolektöre sahip kurutucuda %86' dan ortalama %7.38 nem içeriğine yine aynı saatte düşürülmüştür. Aynı ürünlerin nem içeriği dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde ise %86' dan ortalama %9.97' ye ortalama 10.16 saatte düşürülmüştür. Kurutma bölgesi içerisinde soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda ortalama 48.84°C sıcaklık elde edilirken, borulu kolektöre sahip kurutucuda ise 38.52°C ortalama sıcaklık elde edilmiştir.

II. dönemde, ortam için deney süresince ortalama 394.8 W/m^2 güneş ışınlı, 3.00 m/s rüzgâr hızı, 34.78°C sıcaklık, %8.90 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Yedi farklı kalınlıkta ve ağırlıktaki elma dilimlerinin nem içerikleri soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda %86' dan ortalama %7.90 nem içeriğine ortalama 6.85 saatte düşürülürken, borulu kolektöre sahip kurutucuda %86' dan ortalama %9.04 nem içeriğine ortalama 8.14 saatte düşürülmüştür. Aynı ürünlerin nem içeriği dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde ise %86' dan ortalama %11.075' ye ortalama 8 saatte düşürülmüştür.

Kurutma bölgesi içerisinde soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda 50.136°C sıcaklık elde edilirken, borulu kolektöre sahip kurutucuda ise 40.8°C ortalama sıcaklık elde edilmiştir.

Biber kurutma işlemi I. dönemde 2 - 3 Temmuz 2017 tarihlerinde, II. dönemde 12 - 13 Ağustos 2017 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.

I. dönemde, ortam için deney süresince ortalama 471.1 W/m² güneş ışıması, 1.71 m/s rüzgâr hızı, 34.91°C sıcaklık, %14.33 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Dört farklı kalınlıkta ve ağırlıktaki biber dilimlerinin nem içerikleri soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda %94.5' tan ortalama %8.21 nem içeriğine ortalama 6 saatte düşürülürken, borulu kolektöre sahip kurutucuda %94.5' tan ortalama %8.21 nem içeriğine ortalama 8.5 saatte düşürülmüştür. Kurutma bölgesi içerisinde soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda 50.95°C sıcaklık elde edilirken, borulu kolektöre sahip kurutucuda ise 40.7°C ortalama sıcaklık elde edilmiştir.

I. dönemde, dış ortamda serme usulüyle güneş altında biber kurutma işlemi bir tam gün içerisinde tamamlanamadığından deney süresince ortalama 597.88 W/m² güneş ışıması, 1.74 m/s rüzgâr hızı, 35.57 °C sıcaklık, %13.58 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Aynı ürünlerin nem içeriği dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde ise %94.5' tan ortalama %8.21' e ortalama 11.5 saatte düşürülmüştür.

II. dönemde, ortam için deney süresince ortalama 399.3 W/m² güneş ışıması, 2.44 m/s rüzgâr hızı, 33.26°C sıcaklık, %13.25 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Dört farklı kalınlıkta ve ağırlıktaki biber dilimlerinin nem içerikleri soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda %94.5' tan ortalama %9.23 nem içeriğine ortalama 7.5 saatte düşürülürken, borulu kolektöre sahip kurutucuda %94.5' tan ortalama %9.54 nem içeriğine yine aynı saatte düşürülmüştür. Kurutma bölgesi içerisinde soğurucu yüzeyli kolektöre sahip kurutucuda 63.57°C sıcaklık elde edilirken, borulu kolektöre sahip kurutucuda ise 48.3°C ortalama sıcaklık elde edilmiştir.

II. dönemde dış ortamda serme usulüyle güneş altında biber kurutma işlemi bir tam gün içerisinde tamamlanamadığından deney süresince ortalama 505 W/m² güneş ışıması, 2.4 m/s rüzgâr hızı, 34.12°C sıcaklık, %13.11 bağıl nem değerleri elde edilmiştir. Aynı ürünlerin nem içeriği, dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işleminde ise %94.5' tan ortalama %11.52' ye ortalama 16 saatte düşürülmüştür.

Elma kurutma işleminde soğurucu yüzeyli kurutucunun, dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işlemine göre kurutma süreleri arasında fazla bir zaman farkı elde edilmemiş olup, kurutulan ürünlerin son nem içerikleri arasında nem farklılığı meydana gelmiştir. Soğurucu yüzeyli kurutucunun, nem alma kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Elma kurutuma işlemi için tasarlanan ve imal edilen kurutma sistemlerinde ürünler doğrudan güneş ışınları ile temas halinde olmadığından, ürünlerin dış ortamda gerçekleştirilen kurutma işleminde elde edilen ürünlere göre renk değişiminin olmadığı görülmüştür.

Biber kurutma işleminde soğurucu yüzeyli kurutucunun, dış ortamda serme usulüyle güneş altında kurutma işlemine göre kurutma süreleri arasında büyük bir zaman farkı oluşmuş ve kurutulan ürünlerin son nem içerikleri arasında nem farklılığı meydana gelmiştir. Soğurucu yüzeyli kurutucunun, nem alma kapasitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Elma ve biber kurutma işlemi için tasarlanan ve imal edilen soğurucu yüzeyli kurutucunun, dış ortam şartlarına ve borulu kolektöre sahip kurutucuya göre daha aktif olarak görev yaptığı görülmektedir.

Deneyisel çalışmalar sonucu, kurutma havasının sıcaklığının ortam havasının bağlı nemiyle ilişkili olduğu görülmektedir. Bağlı nemin yüksek olduğu deney periyotlarında, kurutma sistemlerinin kurutma bölmelerinde elde edilen sıcaklıkların düşük olduğu görülmüştür.

Kurutma havası, imal edilen kurutma sistemleri içerisinde doğal taşınım parametrelerine göre hareket ettiğinden kurutma havası hızının, kurutma işlemi üzerine etkisi hakkında belirli bir sonuç çıkarılamamıştır. Kurutma işlemlerinin gerçekleştirildiği dönemlerde, belirli zaman aralığında rüzgâr hızları değişken değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak, kurutma sistemleri içerisinde sabit bir kurutma havası hızının olmadığı sonucu çıkarılmıştır. Nitekim Özgen'e (2014) göre, kurutma havası hızının kuruma süresi üzerine önemli bir etkisi olduğu yaptığı çalışma sonucu görülmüştür.

Kurutma sistemlerinde, I. ve II. dönemde gerçekleştirilen elma ve biber kurutma işleminde sıcaklığın artmasıyla kurutulan ürünlerin kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Kuruma süreleri ile sıcaklık arasında yüksek bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

(Heybeli ve Ertekin, 2007)' e görede kurutma havası sıcaklığının yükselmesi ile kurutma süresinin kısaldığı yapılan çalışma sonucu belirlenmiştir.

Kurutma işleminin gerçekleştirildiği I. ve II. dönemde elde edilen deney verilerine göre, belirli zaman aralığındaki güneş işınım değerleri ile sıcaklık arasında ilişki olduğu görülmektedir. Güneş işınım değerleri ile sıcaklığın doğru orantıda değiştiği belirlenmiştir. Artan güneş işınım değerlerine bağlı olarak, kurutma sistemlerinde elde edilen sıcaklık değerleri doğru orantıda arttığı görülmüştür.

Kurutma sistemlerinde, I. ve II. dönemde gerçekleştirilen elma ve biber kurutma işleminde kurutulan ürünlerin kalınlıklarına ve ağırlıklarına bağlı olarak nem içeriğindeki düşüşün ters orantılı şekilde gerçekleştiği belirlenmiştir. Kurutulan rnlerin kalınlığı ve ağırlığı arttığıca nem içeriğindeki düşüşün azalıdığı belirlenmiştir.

Kurutma sistemlerinde ve dış ortamda I. ve II. dönemde farklı kalınlık, ağırlıktaki elmalar ve biberler için gerçekleştirilen kurutma işlemi sonucu ürünlerin belirli zaman aralığındaki nem içerikleri elde edilmiştir. rnlerin belirli zaman aralığında elde edilen nem içerikleri ile ilk nem içerikleri arasında bağıntı kurularak ürünlerin ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneysel}$) değerleri tespit edilmiştir. Deneyisel ayrılabilir nem oranı değerlerinin bağlı nem, sıcaklık ve güneş işınımıyla doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Deneyisel alışmalar sonucu elde edilen belirli zaman aralığındaki ayrılabilir nem oranı değerleri ile I. ve II. dönemde gerçekleştirilen kurutma işlemi için belirli zaman aralığında elde edilen güneş işınımı, bağlı nem, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri SPSS Statistics 21 programı ile çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucu ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) denklemleri oluşturulmuştur. Elde edilen denklemlere kurutma döneminin gerçekleştiği zaman aralığında güneş işınımı, bağlı nem, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri koyularak analiz sonucu ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri elde edilmiştir. Deneyisel ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneysel}$) değerleri ile analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri, SPSS Statistics 21 programı ile regresyon analizine tabi tutulmuş ve ilişkinin incelenebilmesi için tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve belirtme katsayısı (R^2) değerleri elde edilmiştir. Regresyon analizi sonucu tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2)' nin 0' a ve belirtme katsayısı (R^2) değerinin 1' e yakın olduğu analiz sonucu oluşturulan (ANO_{analiz}) değerleri belirlenmiştir. Regresyon analizi sonucu elde edilen verilere göre kurutma sistemlerinde kurutulan ürünlerin kalınlığının artmasıyla deneyisel çalışmalarla elde edilen ayrılabilir

nem oranı (ANO_{deneysel}) değerleri ile analiz sonucu ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri arasındaki ilişkinin arttığı ve kuruma süresinin uzamasıyla ilişkinin azaldığı tespit edilmiştir.

Regresyon analizi sonucu ilişki oranı yüksek çıkan analiz sonucu oluşturulan ayrılabilir nem oranı (ANO_{analiz}) değerleri, SPSS Statistics 21 programının eğri uydurma bölümü kullanılarak elmaların ve biberlerin kurutulma işlemi için zamana bağlı teorik olarak geliştirilen ayrılabilir nem oranı (ANO_{teorik}) denklemleri elde edilmiştir.



8. ÖNERİLER

1. Doğal taşınımlı, güneş kolektörlü kurutma sistemleri gün içerisinde gün ışığının olduğu zamanlarda etkin görev yapmaktadır. Kurutma işleminin gece devam edebilmesi için güneş panelleri yardımıyla gün içerisinde enerji depolanabilir. Böyle bir hibrit kurutma sisteminin imal edilmesi kurutma sisteminin verimini arttırabilir.
2. Doğal taşınımlı, güneş kolektörlü kurutma sistemlerinde sistem içerisinde dolaşan kurutma havası hızının kontrol edilememesi kurutma işlemini olumsuz etkilemektedir. Güneş kolektörlü kurutma sistemlerinde havanın ayarlı bir fan yardımıyla zorlanmış olarak dolaştırılması, kurutma işlemini iyileştirebilir ve kurutma havası hızının kurutma üzerine etkisi incelenebilir.
3. Deneysel sırasında kurutulan ürünlerin ağırlıklarının belirli zaman aralıklarında dış ortamda ölçülmesi, yanlış ölçüm değerleri elde edilmesine yol açabilir. Bu durumu önlemek için ağırlık ölçüm aygıtı ile kurutma bölmesi bir arada olacak şekilde tasarlanıp, imal edilebilir.
4. Kurutma sistemine giren ortam havası güneş kolektöründe şartlandırılıp, kurutma bölmesine hareket etmektedir. Kurutma bölmesine gelen kurutma havası, kurutulacak ürünlerden bir miktar nem alıp doğrudan dış ortama verilmektedir. Kurutma havasının doğrudan dış ortama değil de bir miktar ortam havası ile karıştırılıp tekrar sisteme verilmesi, kurutucunun verimini arttırabilir.

KAYNAKLAR

- Akaraslan, F., 2012. Modeling and Oprimization of Renewable Energy Systems, *Solar-Energy Drying Systems*, pp. 1-20, Eds. Şencan, A., China.
- Arın, G., 2006. Kimya Mühendisliğinde Ayırma Teknikleri, Önder Matbaacılık, Sivas.
- Baradey, Y., Hawlader, M.N.A., Ismail, A.F., Hrairi, M. and Rapi, M.I., 2016. Solar Drying of Fruits and Vegetables, *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, **5(1)**, 1-12.
- Bharadwaz, K., Barman, D., Bhowmik, D. and Ahmed, Z., 2017. Desing, Fabrication and Performance Evaluation of An Indirect Solar Dryer for Drying Agricultural Products, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, **7**, 1684-1692.
- Bingöl, G. ve Devres, O., 2010. Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri IV, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Bozkurt, A.Y. ve Kantay, R., 1990. Ağaç Malzemenin Kurutulması, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, **40(2)**, 2.
- Cabı, O., 1978. Dondurarak Kurutmanın Tanımı, Tekniği ve Kullanma Alanları, *Gıda Dergisi*, **3(1)**, 3-8.
- Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H., 2005. Isı Pompalı Kurutma Odasında Elma Kurutulması, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **25(2)**, 9-14.
- Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H., 2006. Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması, *Politeknik Dergisi*, **9(4)**, 289-294.
- Chaudhari, A.D. and Salve, S.P., 2014. A Review of Solar Dryer Technologies, *International Journal of Research in Advent Technology*, **2(2)**, 218-232.
- Çınar, A., 2007. Psikometri Nedir?, *Türk Tesisat Mühendisliği Derneği Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, **27**, 1-7.
- Darıcı, S. ve Şen, S., 2012. Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **130**, 51-58.
- Dezfouli, M., Mat, S., Ruslan, M.H. and Sopian, K., 2013. Evaluation of Drying Chili by Two Methods: Solar Assisted Heat Pump Dryer and Open Sun Drying, *Proceedings of the 7th International Conference on Renewable Energy Sources*, Kuala Lumpur, Malaysia, April 2-4.
- Dikeman, M. and Devine, C., 2014. Encyclopedia of Meat Sciences Second Edition, *Drying*, pp. 473-475, Eds. Mahfaoudh, S. & Bowden, W., United Kingdom.
- Doğan, H., 1999. Isı Borulu Güneş Kollektörü ile Kurutma, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **1**, 921-925.
- Doğanay, T., 2009. Modern Farmasötik Teknoloji-Kurutma, TEB Eczacılık Akademisi, Ankara
- Elhagar, M.M.E., 2015. A Comparative Study for Drying Apple and Carrot In An Indirect Solar Crop Dryer, *Proceedings of the 10th International Conference on Energy & Environment*, Budapest, Hungary, December 12-14.
- Elkhadraoui, A., Kooli, S. and Farhat, A., 2015. Study on Effectiveness of Mixed Mode Solar Greenhouse Dryer for Drying of Red Pepper, *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)*, **3(2)**, 143-146.

- Erbaş, M., Şekerci, H. ve Gül, S.,** 2008. Gıdaların Sorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi ve Kullanımı, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, Erzurum, 21-23 Mayıs, s. 1021-1022.
- Erdoğan, D.,** 1984. Doğal Akışlı Güneş Enerjili Kurutucular, 2. *Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu*, Ankara, 23-27 Nisan, s. 224-231.
- Ersöz, M.A.,** 2011. Su Isıtmalı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Doğrusal Odaklamalı İki Modelin İncelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 16-18 Mayıs, 108-113.
- Evranoz, Ö.,** 1988. Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri, *Gıda Dergisi*, **13(1)**, 51-58.
- Fudholi, A., Othman, M.Y., Ruslan, M.H. and Sopian, K.,** 2013. Drying of Malaysian Capsicum Annuum L. (Red Chili) Dried by Open and Solar Drying, *International Journal of Photoenergy, Solar Energy and Clean Energy: Trends and Developments*, **167895**, pp. 89-97, Eds. Jwo, S.C., Chen, S.L., Chang, H., Su, Y.S. and Chen, J.S., Hindawi Publishing Corporation, Taiwan, USA.
- Fuller, R.J.,** 2002. Solar Energy Conversion and Photoenergy Systems, *Solar Drying-A Technology for Sustainable Agriculture and Food Production*, pp. 112-135, Eds. Galvez, J.B., Rodriguez, S.M., Delyannis, E., Belessiotis, V.G., Bhattacharya, S.C. & Kumar, S., United Kingdom.
- Gönen, M.,** 2014. Buharlaştırılmalı Soğutma Deneyi, <http://muhendislik.sdu.edu.tr/assets/uploads/sites/148/files/sogutma-kulesi-12022015.pdf>, 17 Ağustos 2017.
- Gülçimen, F., Durmuş, A. ve Durmuş, A.,** 2010. Kurutmada Kullanılmak İçin Havalı Kollektörler Tasarlanması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **118**, 38-43.
- Günerban, H.,** 2005. Endüstriyel Kurutma Sistemleri, *Türk Tesisat Mühendisliği Derneği Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, **13**, 1-11.
- Handscorn, C., Kraft, M. and Bayly, A.,** 2005. Spray Dryer Modelling, *CPGS*, University Of Cambridge, Cambridge.
- Hanif, M., Khattak, M.K., Amin, M., Ramzan, M., Zakir, S., Ullah, S. and Khan, Z.,** 2016. Development of an Efficient Flat Plate Solar Air Heater for Drying and Water Heating Purposes, *Sains Malaysiana*, **45(3)**, 489-497.
- Hegde, V.N., Hosur, V.S., Rathod, S.K., Harsoor, P.A. and Narayana, K.B.,** 2015. Design, Fabrication and Performance Evaluation of Solar Dryer for Banana, *Hegde et al. Energy, Sustainability and Society*, **5(23)**, 1-12.
- Heybeli, N. ve Ertekin, C.,** 2007. Elma Dilimlerinin İnce Tabaka Halinde Kurutma Karakteristiği, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, **3(3)**, 179-187.
- Hii, C.L., Jangam, S.V., Ongand, S.P. and Mujumdar, A.S.,** 2012. Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations, *Sorption Isotherms*, pp. 10-11, Eds. Hii, C.L., Jangam, S.V., Ongand, S.P. and Mujumdar, A.S., Malaysia, Singapore.
- Khan, F. and Min, K.,** 2017. Integrated Use of Flat Plate Solar Collector for the Dehydration Process of Fruit, *Annals of Biological*, **5(2)**, 77-84.
- Khuresi, N.A. and Walke, S.,** 2016. Drying Characteristics of Fruits using Solar Drying, *International Journal of Emerging Technologies and Engineering (IJETE)*, **7**, 48-52.
- Kılıçkap, S., Yıldız, C. ve Çakmak, G.,** 2015. Elazığ İklim Koşullarında Sıcak Sulu Güneş Kollektörlerine İlişkin Verimlerin Araştırılması, *Mühendislik Dergisi*, **6(2)**, 103-110.
- Kırbaş, C.,** 2013. Psikrometrik Diyagram ve Uygulamaları, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/19982ccdd9f6003_ek.pdf, 17 Ağustos 2017.

- Özgen, F.**, 2014. Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, *Mühendis ve Makina Dergisi*, **656**, 42-49.
- Pala, M. ve Saygı, B.**, 1983. Su Aktivitesi ve Gıda İşlemedeki Önemi, *Gıda Dergisi*, **8(1)**, 33-39.
- Rathore, N.S. and Panwar, N.L.**, 2010. Experimental Studies on Hemi Cylindrical Walk-In Type Solar Tunnel Dryer for Grape Drying, *Applied Energy*, **87(8)**, 2764-2767.
- Richardson, J.F., Harker, J.H. and Backhursts, J.R.**, 2002. Chemical Engineering, Butterworth Heinemann, Linacre House-Oxford, Wildwood Avenue-Woburn.
- Scanlin, D.**, 1997, Indirect, Through-Pass Solar Food Dryer, https://www.homepower.com/article/?file=HP57_pg62_Scanlin, 29 Ağustos 2017.
- Slama, R.B., Mechlouch, F. and Daoud, H.B.**, 2009. Experimental Investigation of Solar Drying for Orange Peels by Forced Convection, *International Symposium on Convective Heat and Mass Transfer in Sustainable Energy*, Hammamet, Tunisia, April 26-May 1, 311-315.
- Sontakke, M. and Salve, S.**, 2015. Solart Drying Technologies: A review, *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, **4(4)**, 29-35.
- Srikiatden, J. and Roberts, J.S.**, 2007. Moisture Transfer In Solid Food Materials: A Review of Mechanisms, Models and Measurements, *International Journal of Food Properties*, **10**, 739-777.
- Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H. ve Yılmaz, A.**, 2014. Küçük Ölçekli Sera Tipi Bir Kurutucuda Kırmızı Biber Kurutulmasının Termoeconomik Analizi, *Politeknik Dergisi*, **4**, 143-152.
- Tarhan, S., Ergüneş, G. ve Tekelioğlu, O.**, 2007. Tarımsal Ürünler İçin Güneş Enerjili Kurutucuların Tasarım ve İşletme Esasları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **99**, 26-32.
- URL-1**, <http://aves.akdeniz.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=43&USER=1764>, Konvektif Kurutma, 17 Ağustos 2017.
- URL-2**, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kurutucu%20Haz%C4%B1rlama.pdf, Kurutucu Hazırlama, 24 Ağustos 2017.
- URL-3**, <http://www.hasanbalik.com/odevler/anten/Mikrodalga%20Kurutma/Mikrodalga%20-20kurutma.ppt>, Mikrodalga Kurutma, 25 Ağustos 2017.
- URL-4**, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kurutucu%20Haz%C4%B1rlama.pdf, Kurutucu Hazırlama, 27 Ağustos 2017.
- URL-5**, <http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/sebzeler-i%20kurutma.pdf>, Sebzeleri Kurutma, 28 Ağustos 2017.
- Wilhelm, L.R., Suter, D.A. and Brusewitz, G.H.**, 2004. Focus on Food Engineering Research and Developments, *Drying and Dehydration*, pp. 259-284, Eds. American Society of Agricultural Engineers, ASAE Technical Library.
- Yaralı, E.**, 2014. Gıdalarda Temel İşlemler II, <http://www.akademik.adu.edu.tr/myo/cine/web-folders/File/ders%20notlari/Gida%20temel%20islemler%20II.pdf>, 22 Ağustos 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Karakaya, 25 Mart 1992 yılında Elazığ’ da doğdu. 2010 yılında Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi’nden mezun oldu. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Lisans Programından 2015 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başlamıştır.

