

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÜZÜMÜN KABİN TİPİ KURUTUCUDA GÜNEŞ ENERJİSİ İLE
KURUTULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ PALA

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ÜZÜMÜN KABİN TİPİ KURUTUCUDA GÜNEŞ ENERJİSİ İLE
KURUTULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ PALA

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

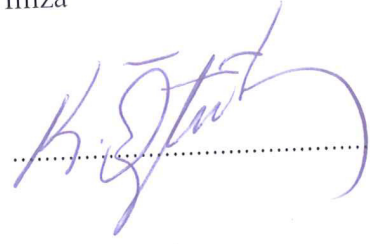
KABUL VE ONAY SAYFASI

ALİ PALA tarafından hazırlanan “ÜZÜMÜN KABİN TİPİ KURUTUCUDA GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTULMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.08.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Öner ATALAY
Pamukkale Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Utkucan ŞAHİN
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
26/09/2018 tarih ve 41/13 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Müdürlüğü (BAP) tarafından 2010FBE064 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



ALİ PALA

ÖZET

**ÜZÜMÜN KABİN TİPİ KURUTUCUDA GÜNEŞ ENERJİSİ İLE
KURUTULMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALİ PALA
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2018

Gıdaların güvenli olarak muhafaza edilebilmesi için uygulanan önemli tekniklerden birisi kurutma işlemidir. Bu amaçla farklı kurutma yöntemleri geliştirilerek gıdaların muhafazasında kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada, çekirdeksiz üzümler güneş enerjisi destekli konvektif kurutma kabinlerinde ve doğal güneşe sererek kurutulmuştur. Üzümlerin kuruma süreleri ile kurutulan üzümlerin fiziksel görünümlerinin karşılaştırılabilmesi için, üzümlerin yarısına %5 K₂CO₃ - %0.5 Zeytinyağ çözeltisine (Potasa) 50 saniye süre ile daldırılarak ön işlem uygulanmış, diğer yarısına herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Kullanılan üç adet kurutma kabininin ebatları ve kurutma hava hızları aynı olup, hava hızları kabin içinde ortalama 0.1 m/s'dir. Kurutma kabinlerinin birincisinde, sulu güneş kollektöründe ısıtılan su ile ortam havası eşanjörden geçirilerek ortam havasının ısıtılması ile kabin kurutma havası sağlanmıştır. İkinci kabinde doğrudan ortam havası kurutma havası olarak kullanılmıştır. Üçüncü kabinde ise havalı güneş kollektörü ile ısıtılan ortam havası kurutma havası olarak kullanılmıştır. Her üç kabinde de kurutma havaları elektrikli bir fan yardımıyla kabin içine yönlendirilerek konvektif kurutma yapılmıştır. Doğal güneşe serme deneyi için de 1 adet üstü tel korumalı kurutma sehpası kullanılmıştır.

Birinci kurutma deneyinde, kurutma kabinlerinin cam kapakları kapatılarak sadece kurutma havasının etkisi ile kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci kurutma deneyinde ise kurutma kabinlerinin cam kapakları alınarak güneş ışınımının da etkisi ile kurutma işlemi yapılmıştır. Her iki deneyde de kurulan 4 farklı kurutma ortamı birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan ilk deneyin sonucunda üzüm kurutma sürelerinin, ön işlem uygulanmamış üzümler için 1. ve 2. kabin ile kurutma sehpasında 11-13 gün, 3. kabinde 6-7 gün olduğu, potasa çözeltisine daldırılan üzümler için ise ortalama 2 gün daha erken kuruduğu tespit edilmiştir. Yapılan ikinci deneyin sonucunda ise üzüm kurutma sürelerinin, ön işlem uygulanmamış üzümler için 2. kabinde 6 gün, 1. ve 3. kabinde 4 gün, kurutma sehpasında 12 gün olduğu, potasa çözeltisine daldırılan üzümler için ise ortalama 1/3 daha kısa zamanda kurdukları tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda güneş ışınımının ve potasa çözeltisine daldırma ön işleminin kurutma süresini kısalttığı, efektif nem difüzyon katsayısının (D_{eff}) 3.13×10^{-8} - 1.05×10^{-7} arasında olduğu ve fiziksel görünümlerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. En hızlı kuruma da 3. kabinde gerçekleşmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Üzüm, Kurutma, Güneş Enerjisi İle Kurutma, Ön İşlem, Kurutma Kinetiği

ABSTRACT

SOLAR DRYING OF GRAPE AT CABIN TYPE DRYER
MSC THESIS
ALİ PALA
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF.DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, AUGUST 2018

One of the most important techniques for preservation food is the drying process. For this purpose different drying methods have been developed and used in the storage of food. In this study, seedless grapes were dried in solar powered convective drying cabinets and open sun. In order to compare the drying times of grapes and the physical appearance of raisins, half of the grapes were subjected to pretreatment solution for 50 seconds with 5% K_2CO_3 - 0.5% olive oil solution (Potasa) and no pretreatment was applied to the other half. The sizes of the three drying cabins used and the drying air velocities were the same and the air velocities were about 0.1 m/s in the cabin. In the first of the drying cabins, the water heated by the solar collector and the air sucked from the outside were passed through the heat exchanger, so the air sucked from the outside was heated and the cabin drying air was provided. In the second cabinet, ambient air was used as drying air. In the third cabinet, the air heated by the solar collector was used as drying air. In all three vessels, the drying air was guided into the cabin by means of an electric fan and convectively dried. For the natural sun drying test, one piece of wire protected drying stand was used.

First, the glass doors of the drying cabinets were closed and drying was effected only with the effect of hot air. In the second drying experiment, the glass doors of the drying cabins were taken and the drying process was performed with the effect of the sunlight. The 4 different drying conditions established in both experiments were compared with each other. As a result of the first experiment, it was found that drying times of grape were about 11-13 days in the 1st cabin, 2nd cabin and drying chamber, 6-7 days in the 3rd cabin for the untreated grapes. And the pre-treated grapes in the potasa solution dried about 2 days earlier. As a result of the second experiment, grape drying times were found to be 6 days in the 2nd cabin, 4 days in the 1st and 3rd cabin and 12 days in the drying table for untreated grapes. And the pre-treated grapes in the potasa solution dried about 1/3 time earlier. As a result of the experiments carried out, it was determined that the solar radiation and pre-treatment potash solution shortened the drying time, the effective moisture diffusion coefficient (D_{eff}) was between 3.13×10^{-8} - 1.05×10^{-7} and the physical appearance was better. The fastest institution was in the third cabin.

KEYWORDS: Grape, Drying, Solar Drying, Pretreatment, Drying Kinetics

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	iiix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Kurutma Sistemleri ve Güneş Enerjisi İle Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar	5
2.2 Çeşitli Ürünlerin Güneş Enerjisi İle Kurutulması Konusunda Yapılan Çalışmalar	8
2.3 Üzümün Güneş Enerjisi İle Kurutulması Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	13
3. KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ	19
3.1 Kurutma	19
3.2 Kurutma İle İlgili Temel Kavramlar, Nemli Havanın Özellikleri.....	19
3.3 Kurutma Sistemleri.....	23
4. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR	25
4.1 Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Sınıflandırılması	25
4.1.1 Doğal Sirkülasyonlu (Pasif Tip) Güneş Enerjili Ürün Kurutucular	27
4.1.2 Aktif Güneş Enerjili Kurutucular	27
4.1.2.1 Dağıtılmış Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri	27
4.1.2.2 Kombine Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular	28
4.2 Kurutucu Seçimi.....	29
5. MEYVELERİN KURUTULMASI VE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER	33
5.1 Meyve Kurutmada Uygulanan Ön İşlemler	33
5.1.1 Yıkama.....	33
5.1.2 Ayıklama.....	33
5.1.3 Sınıflandırma	34
5.1.4 Sap Koparma.....	34
5.1.5 Çekirdek Çıkarma	34
5.1.6 Kabuk Soyma.....	34
5.1.7 Doğrama.....	35
5.1.8 Haşlama	35
5.1.9 Bandırma veya Zeytinyağlı Alkali Çözeltisi	35
5.1.10 Kükürtleme	36
5.2 Meyvelerin Kuruma Hızına Etkileyen Unsurlar	36
6. MATERYAL VE METOT	38
7. SONUÇLAR	47
7.1 Kabin Güneşlenme Kapakları Kapalı Pozisyonda Potasya Bandırılmış Üzümlerin Kurutma Kinetiklerinin Karşılaştırılması	47

7.2 Kabin Güneşlenme Kapakları Açık Pozisyonda Üzümlerin Kurutma Kinetiklerinin Karşılaştırılması	62
8. ÖNERİLER.....	90
9. KAYNAKLAR.....	92
10. EKLER.....	99
EK-A Psikrometrik diyagram	99
11. ÖZGEÇMİŞ.....	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Psikrometrik diyagram.....	21
Şekil 3.2: Kurutma tekniği açısından materyalde bulunan nem çeşitleri.....	22
Şekil 3.3: Isı transfer yöntemine göre endüstriyel kurutucuların sınıflandırılması.....	24
Şekil 4.1: Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması.....	25
Şekil 4.2: Tipik güneş enerjisi kurutucu düzenekleri.....	26
Şekil 4.3: Dağıtılmış tip aktif güneş enerjili kurutucu.....	28
Şekil 4.4: Kombine tip aktif güneş enerjili kurutucu.....	28
Şekil 4.5: Isı pompası ve güneş enerjisiyle ısıtılan ısı depolu güneş enerjisi destekli kurutucu.....	29
Şekil 6.1: Temiz Enerji Evi.....	38
Şekil 6.2: Çalışma düzeneğinin görünüşü.....	38
Şekil 6.3: Çalışma düzeneği modelinin görünüşü.....	39
Şekil 6.4: Çalışma düzeneğindeki kurutma kabininin iç görünüşü.....	40
Şekil 6.5: Sulu kollektör çıkışında (serpantinli eşanjör girişinde) bulunan sirkülasyon pompası, su sayacı, basınç transmitteri ve termokupl.....	41
Şekil 6.6: Datalogger.....	41
Şekil 6.7: Hava için debi ölçer.....	42
Şekil 6.8: Kontrol Panosu.....	42
Şekil 6.9: Kurutma kabin fanı.....	43
Şekil 6.10: Uydu istasyonu bilgisayarı ile birlikte.....	43
Şekil 6.11: Kabin raflarına üzümlerin yerleştirilmesi.....	45
Şekil 6.12: Etüv (Mermert marka).....	45
Şekil 6.13: Hassas terazi.....	46
Şekil 7.1: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümlerin nem oranındaki değişim.....	48
Şekil 7.2: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümlerin ln(MR) değişimleri ...	48
Şekil 7.3: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümlerin efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi.....	49
Şekil 7.4: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi.....	50
Şekil 7.5: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi.....	51
Şekil 7.6: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sistemindeki sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değişimi.....	52
Şekil 7.7: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümlerin nem oranındaki değişim.....	53

Şekil 7.8: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri	53
Şekil 7.9: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	54
Şekil 7.10: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin bağıl nem değişimi	54
Şekil 7.11: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin sıcaklık değişimi	55
Şekil 7.12: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim	56
Şekil 7.13: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri ...	56
Şekil 7.14: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	57
Şekil 7.15: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi	58
Şekil 7.16: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi.....	58
Şekil 7.17: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim.....	59
Şekil 7.18: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri	59
Şekil 7.19: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	60
Şekil 7.20: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda dış ortam sıcaklık ve bağıl nem değişimi	60
Şekil 7.21: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda dış ortam sıcaklık ve güneş radyasyonu değişimi	61
Şekil 7.22: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki değişim	62
Şekil 7.23: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri	63
Şekil 7.24: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	63
Şekil 7.25: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim	64
Şekil 7.26: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri	64

Şekil 7.27: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	65
Şekil 7.28: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi	65
Şekil 7.29: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi.....	66
Şekil 7.30: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sistemindeki sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değişimi	67
Şekil 7.31: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki değişim	67
Şekil 7.32: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün ln(MR) değişimleri	68
Şekil 7.33: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi.....	68
Şekil 7.34: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim	69
Şekil 7.35: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün ln(MR) değişimleri	70
Şekil 7.36: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	70
Şekil 7.37: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin bağıl nem değişimi	71
Şekil 7.38: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin sıcaklık değişimi	72
Şekil 7.39: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki değişim	72
Şekil 7.40: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün ln(MR) değişimleri	73
Şekil 7.41: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	73
Şekil 7.42: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim	74
Şekil 7.43: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün ln(MR) değişimleri	74
Şekil 7.44: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	75

Şekil 7.45: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi	75
Şekil 7.46: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi.....	76
Şekil 7.47: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki ortalama değişim	77
Şekil 7.48: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri.....	77
Şekil 7.49: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	78
Şekil 7.50: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki ortalama değişim.....	79
Şekil 7.51: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri	79
Şekil 7.52: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi	80
Şekil 7.53: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün nem oranındaki değişim	81
Şekil 7.54: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün $\ln(MR)$ değişimleri.....	81
Şekil 7.55: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi....	82
Şekil 7.56: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda dış ortam sıcaklık ve bağıl nem değişimi	83
Şekil 7.57: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda dış ortam sıcaklık ve güneş radyasyonu değişimi	83
Şekil 7.58: Sulu kollektör sisteminde kurutulan numuneler	86
Şekil 7.59: Doğrudan ortam havası sisteminde kurutulan numuneler	86
Şekil 7.60: Havalı kollektör sisteminde kurutulan numuneler.....	87
Şekil 7.61: Sergi sisteminde kurutulan numuneler	87
Şekil 7.62: Kurutulmuş üzümler	88

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Türkiye'nin 2015 yılı kuru meyve ihracatı (Bin ton).	2
Tablo 1.2: Dünya'da çekirdeksiz kuru üzüm üretim miktarları (Bin ton).	2
Tablo 1.3: Türkiye'nin ihracat durumu (21.01.2017 tarihi itibariyle).	3
Tablo 4.1: Bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri.	31
Tablo 4.2: Kurutucu tiplerine göre ürünlerden uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler.	32
Tablo 7.1: Deneylerden elde edilen en küçük ve en büyük efektif nem difüzyon katsayısı değerleri.	85

SEMBOL LİSTESİ

A	:	Yüzey alanı	(m ²)
c	:	Özgül ısı	(kJ/kg°C)
C_s	:	Nemli ısı	(kJ/kg°C)
D_{eff}	:	Efektif nem difüzyonu	(m ² /s)
D_f	:	Difüzyon katsayısı	(m ² /h)
E,e	:	Enerji	(J, kJ, MJ)
Gu	:	Gukman sayısı	
h	:	Entalpi	(kJ/kg)
h	:	Zaman	(saat)
k	:	Isı iletim katsayısı	(W/m°C)
m_{km}	:	Maddenin içerdiği nem kütlesi	(kg)
MR	:	Nem oranı	
M₀	:	Maddenin başlangıçtaki nem içeriği	(kg su/kg kuru madde)
M_e	:	Maddenin denge anındaki nem içeriği	(kg su/kg kuru madde)
M_t	:	Maddenin herhangi bir andaki nem içeriği	(kg su/kg kuru madde)
m_w	:	Kuru madde kütlesi	(kg)
Nu	:	Nusselt sayısı	
P	:	Basınç	(kPa)
P_b	:	Nemli havadaki su buharının kısmi basıncı	(Pa, mmHg)
P'_b	:	Havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı	(Pa, mmHg)
Q	:	Hava akış miktarı	(m ³ /m ³ s, m ³ m ⁻³ s ⁻¹)
Re	:	Reynold sayısı	
T	:	Sıcaklık	(°C)
v	:	Hava hızı	(m/s)
V_h	:	Nemli hacim	(m ³ /mol g)
V	:	Hacimsel debi	(m ³ /h)
w	:	Özgül nem	(kg _w /kg _a)
W_d	:	Nem içeriği (kuru madde esaslı)	
W_w	:	Nem içeriği (yaş madde esaslı)	
α	:	Isı taşınım katsayısı	(W/m ² °C)
δ_ü	:	Ürün yoğunluğu	(kg/m ³)
η	:	Nem alma verimi	(%)
μ	:	Dinamik viskozite	(kg/ms)
ν	:	Kinematik viskozite	(m ² /s)
φ	:	Bağıl nem	
ρ	:	Yoğunluk	(kg/m ³)

ÖNSÖZ

Çalışmasını gerçekleştirdiğim “Meyvelerin Kabin Tipi Kurutucuda Güneş Enerjisi İle Kurutulması” konulu tez çalışmamın yürütülmesi, tamamlanması ve her kademesinde her türlü görüş ve desteğini gördüğüm danışmanım Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında görüş ve bilgileri ile desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Öner ATALAY ve Yrd.Doç.Dr. Engin DEMİRAY’a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin 2010FBE064 nolu proje ile finansal olarak desteklenmesinde katkıları olan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimde kullandığım deney malzemesi olan üzümlerin temininde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Sayın Birsal KOCABIYIK ve değerli ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans tezine başlamam konusunda bilgi ve desteğini esirgemeyen o zamanki Sayın Genel Müdürüm İsmail Hakkı GERELİOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmamın başından sonuna devamlı desteğini gördüğüm başta babam Hüseyin PALA ve eşim Semra Hilal PALA olmak üzere değerli aileme minnettarım.

1. GİRİŞ

Gıda işleme tekniklerinin en önemlisi gıda muhafazası olarak görülmektedir. Gıdaların muhafazası ile raf ömürlerini uzatmak ve renk, tekstür, lezzet gibi kalite özelliklerini korumak amaçlanmaktadır. Bu şekilde gıdalar mümkün olduğu kadar taze ve güvenli tutulabildiği gibi gıdanın kalitesi ve besinsel özellikleri korunabilmekte ve bozulmanın önüne geçilebilmektedir. Günümüzde gıdaların muhafazası için fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç temel kategori altında çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kurutma, tuzlama, tütsüleme ve fermantasyon gibi uygulamalardır (Dinçer, 2003).

Tarımsal ürünlerin güvenli olarak bozulmadan saklanabilmesi için en çok kullanılan yöntemlerden birisi olan kurutma işlemi ilk çağlardan beri yapılmaktadır. Kurutma işleminin amacı ürünlerden serbest suyu uzaklaştırarak meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmaktır. Bu amaçla farklı kurutma yöntemleri geliştirilerek gıdaların muhafazasında kullanılmıştır. Günümüzde kurutma işlemi de büyük çoğunlukla güneşe doğrudan sererek yapılmaktadır. Her kurutma işleminin avantaj ve dezavantajları olduğu gibi güneşe doğrudan sererek kurutma işleminin de tozlanma, mikroorganizma üremesi, bozulma ve yerel meteorolojik şartlara bağlılık gibi birçok dezavantajları vardır. Dolayısıyla, kurutma işlemi uygun şartlarda yapılmadığından, istenilen standartlarda ürün elde edilemediği gibi hijyenik olarak da kurutulamamaktadır. Kurutma parametrelerinin kontrol edilebildiği bir kurutma kabini içinde yapılacak kurutma, daha hijyenik ve daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlar (Dinçer, 2003).

Ülkemiz, kurutulmuş meyve ve sebze açısından yüksek potansiyeline sahiptir. 2015 yılına ait Türkiye'nin kuru meyve ihracatına bakıldığında, çekirdeksiz kuru üzüm miktarının toplam ihracatın yarısından fazla olduğunu görülmektedir (Tablo 1.1) (T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü Kasım / 2016 Yaş ve Kuru Meyve Sebze İle Seracılık Dış Pazar Çalışması).

Tablo 1.1: Türkiye'nin 2015 yılı kuru meyve ihracatı (Bin ton)

Ürün	Miktar
Çekirdeksiz Kuru Üzüm	224.538
Kuru Kayısı	65.555
Kuru İncir	62.021
Antep Fıstığı	5.127
Badem	4.974
Ceviz	4.092
Çamfıstığı	1.103
Diğer	44.689
TOPLAM	412.099

Türkiye, çekirdeksiz üzüm çeşidiyle Dünya'da başta gelen üretici ülkeler arasında yer almaktadır. Bulduğumuz coğrafya olan Ege Bölgesi'nde üzüm yetiştiriciliği ve üzümlerin kurutulması yoğun olarak yapılan tarımsal faaliyettir. Özellikle Ağusyos-Eylül aylarında bağlardan toplanılan üzümlerin kurutulması faaliyeti yapılmakta ve kurutulmuş üzümlerin neredeyse tamamına yakınının da ihracı yapılmaktadır. Dünya'daki çekirdeksiz kuru üzüm ihracatının yaklaşık %20-25'ini ülkemiz gerçekleştirmektedir (Tablo 1.1, Tablo 1.2) (T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü 2017 Yılı Çekirdeksiz Kuru Üzüm Raporu).

Tablo 1.2: Dünya'da çekirdeksiz kuru üzüm üretim miktarları (Bin ton)

ÜLKELER	2010 / 2011	2011 / 2012	2012 / 2013	2013 / 2014	2014 / 2015	2015 / 2016	2016 / 2017	2017 / 2018
Türkiye	249	269	310	186	328	209	313	310
A.B.D	259	270	248.27	305	276	388	238	216
İran	135	135	135	125	145	145	155	80
Şili	60	62	83	65	55	61	70	50
Arjantin	30	40	26	29	27	40	30	25
G. Afrika	29	19	19.2	35	46	40	33	51
Avustralya	12	5	10.6	15	13	15	19	13
Yunanistan	5	5	5	5	5	5	0	2
Çin	130	120	150	150	180	120	130	190
Hindistan	120	135	125	145	105	140	140	140
Özbekistan	25	25	25	25	25	45	45	45
TOPLAM	1053	1085	1129.07	1142	1205	1208	1173	1122

Tablo 1.3: Türkiye'nin ihracat durumu (31.03.2018 tarihi itibariyle)

SEZON	ÜRETİM MİKTARI (Bin Ton)	İHRACAT MİKTARI (Bin Ton)	İHRACATIN ÜRETİME ORANI (%)
2002/03	210	207	98.6
2003/04	200	193	96.5
2004/05	250	238	95.2
2005/06	220	200	90.9
2006/07	276	266	96.4
2007/08	225	195	86.7
2008/09	310	274	88.4
2009/10	270	207	76.7
2010/11	249	205	82.3
2011/12	269	197	73.2
2012/13	310	246	79.4
2013/14	186	182.6	98.1
2014/15	209	258.7	78.8
2015/16	196	270	86.2
2016/17	313	124.9	39.9
2017/18	310	176	56.7

Tarımsal ürünlerin özelliklerine göre geçmişten günümüze kadar geçen süreçte kurutma işleminde beklenen özellikleri sağlayacak şekilde çeşitli kurutucuların kullanılmasının yanı sıra uygulanan çeşitli kurutma teknikleri ve ön işlemler de bulunmaktadır. Yoğun olarak kullanılan kurutma teknikleri arasında kontakt kurutma, konvektif kurutma, ışınım ile (kızılötesi) kurutma, dielektrik ve mikrodalga kurutma, vakumlu kurutma, donmalı kurutma ve ozmotik kurutma (dehidrasyon) bulunmaktadır. Yoğun olarak kullanılan ön işlemler de yıkama, ayıklama, sınıflandırma, sap koparma, çekirdek çıkarma, kabuk soyma, doğrama, haşlama, çözeltiye bandırma (sodyum hidroksit, sodyum karbonat, potasyum karbonat çözeltileri gibi) ve kükürtleme ön işlemleri uygulanmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

Üzümlerin kurutulmasında kaliteli ürün elde edilmesi ve kuruma hızlarının artırılması üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan üzüm kurutma çalışmasında ön işlem olarak da potasyum karbonat ile zeytinyağ çözeltisi olan POTASA çözeltisi kullanılmıştır. Potasa çözeltisi, 100 litre suya 5 kg Potasyum Karbonat (K_2CO_3) ve

0.5 litre Zeytinyağı katılarak hazırlanmaktadır (İsmail, 2005). Potasa çözeltisi ön işleminin uygulanmasındaki amaç üzüm üzerindeki mumsu tabaka yapısının bozulması sağlanarak su transferinin hızını arttırmaktır (İsmail, 2005). Söz konusu ön işlem 50 saniye süreyle üzümlere uygulandığı için bir ozmotik dehidrasyon ile kurutma yöntemi değildir.

Üzümlerin kurutulmasında özellikle bulunduğumuz Ege Bölgesi'nde yere serme yöntemi uygulanmaktadır. Tozlanma, mikroorganizma üremesi, yerel meteorolojik şartlara bağlılık gibi dezavantajlar nedeniyle güneşlenmeyi önlemeyecek bir kabin içinde kurutma işleminin yapılması düşünülmüştür. Kurutma süresinin kısaltılması için de kurutma havasının farklı yöntemlerle ısıtılması planlanmıştır. Bu sayede geleneksel yere serme yönteminin dezavantajları ortadan kaldırıldığı gibi kurutma havasının ısıtılması ile de kuruma sürelerinin kısaltılması hedeflenmiştir. Dolayısıyla her yerde kullanılabilir ve yenilenebilir enerji olan güneş enerjisinden faydalanılan kurutma kabinleri kullanılmıştır. Bu sayede, hızlı, ekonomik, hijyenik bir kurutma sağlanabildiği gibi, kurutmaya etki eden kurutma havası sıcaklığı, ışınım şiddeti gibi faktörlerin etkileri üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışmada üzüm olarak, Denizli ili Güney ilçesine bağlı Cindere çekirdeksiz üzümü kullanılmıştır. Bu üzümlerin yarısı POTASA çözeltisine 50 saniye süreyle daldırılarak (İsmail, 2005), diğer yarısı da herhangi bir ön işlem uygulanmadan doğal olarak kurutulmuştur. Kurutma işlemi 3 farklı kurutma kabini ortamında ve yaygın olarak yapılan güneşe serme sehpasında yapılmıştır. Kurutma kabinlerinin ilkinde, sulu güneş kollektöründe ısıtılan su ile ortam havası bir eşanjörden geçirilip ortam havası ısıtılarak kurutma havası sağlanmıştır. İkinci kabinde doğrudan ortam havası kurutma havası olarak kullanılmıştır. Üçüncü kabinde ise ortam havası havalı güneş kollektöründe ısıtılarak kurutma havası olarak kullanılmıştır. Her kabin ve sehpa üzümün yarısı ön işlem uygulanmış, diğer yarısı da uygulanmamış olarak yerleştirilmiştir. Kurutma işleminden sonra, kuruma süresi, son ürünün rengi ile grafikler çizilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma, kabin güneşlenme kapakları açık ve kapalı pozisyonunda olacak şekilde 2 kez yapılmış, her çalışmada ikişer numune ölçümü ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tarımsal ürünlerin kurutulması için kullanılan sistemler ve bu sistemler ile kurutulan ürünler ile ilgili geçmişte olduğu gibi halen çalışmalar yapılmaktadır. Gıda maddelerinin kalite ve kuruma hızları üzerinde daldırma çözeltilerinin etkileri de birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmalarda hem deneysel hem de matematiksel metodlarla kurutma parametreleri incelenmiştir. Herbir gıda maddesinin içerdiği su oranı, dolayısıyla kurutulabilecekleri min. su oranı değeri birbirinden farklıdır. Kurutma işleminden önce kurutma işleminin sonlandırılacağı min. su oranı değeri belirlenmelidir. Kurutma işlemi esnasında da kurutmanın tamamlanmasına kadar geçen süre zarfında kurutulan gıda maddesinin nemindeki ve sıcaklığındaki değişimlerin tespit edilmesi gerekir. Yine aynı şekilde, kurutma havasının sıcaklığı, bağıl nemi, hızı ve ürüne göre akım yönünün belirlenmesi gerekir. Kurutma işleminin yapılacağı kurutucunun, kurutulacak ürünün özelliklerine uygun olması ve kurutma işleminde beklenen özellikleri de sağlayacak yeterlilikte olması gerekir. Kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı, dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemi, ışınım şiddeti gibi birçok parametre tespit edilmiş ve sonuçlar literatürde karşılaştırılmıştır. Konuyla ilgili aşağıdaki literatür çalışması yapılmıştır.

2.1 Kurutma Sistemleri ve Güneş Enerjisi İle Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar

Güngör ve Özbalta (1997) yaptıkları çalışmada kurutucular ile ilgili olarak, tasarımında dikkat edilmesi gereken noktaları, sistemin enerji tasarruflu yönlerini, sistemdeki kütle-enerji dengelerini, kurutma hızlarının ve ürün nem içeriğinin belirlenmesi konularını incelemişler, bunun yanında endüstride kullanılan kurutucuların sınıflandırılması ve seçimine etki eden parametreleri ele almışlardır.

Özek ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, güneş enerjili kurutma sistemleri sınıflandırılarak tanıtılmış, bu sistemlerin tasarım parametreleri ve ısıl analizleri yapılmıştır. Ayrıca, örnek bir taneciğin kurutulması, örnek kurutucu tasarımı ile teknik-ekonomik analizi ve enerji maliyeti çalışmasının yapılması ve güneş enerjili

hava kollektörünün örnek termal performansı çalışmalarını yapıp hesaplamalarını sunmuşlardır. Ülkemizde yaygınlaşmayan güneş enerjili kurutucuların kullanımının yaygınlaştırılmasını da hedeflemişlerdir.

Ekechukwu ve Norton (1999) yaptıkları çalışmada güneş enerjili kurutma sistemlerinin kapsamlı bir incelemesini yaparak daha önce bildirilen güneş enerjisi ile kurutma sistemlerinin pratik olarak gerçekleştirilen geniş tasarım çeşitlerinin yapım detaylarını ve çalışma prensiplerini ayrıntılı olarak belirtmişlerdir. Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması için sistematik bir yaklaşım getirmişlerdir. Pasif veya doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucular ve aktif veya zorlanmış konveksiyonlu güneş enerjili kurutucular (genellikle hibrid kurutucular olarak da anılan) olarak iki genel enerji grubu kurutucusu belirtmişlerdir. Bunların 3 alt grubu olarak da integral tipi (doğrudan mod), dağıtılmış tip (dolaylı mod) ve karışık mod tipinin tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Bunun yanında, gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal bölgelerde bulunan çiftçiler tarafından uygulanacak her tasarımın uygunluğu da tartışılmıştır.

Hollich (1999) yaptığı çalışmada Hindistan Baharatlar Kurulu ve UYECRE için yapılan ve güneş enerjisi kollektörünü kullanan bir fizibilite çalışması ile benzer kuruma olanaklarından bahsetmiştir. Ticari kurutma işlemlerinin operasyonunda minimum değişimler ile güneş enerjisine geçilebileceğini belirtmiştir. Çalışmada ayrıca güneş enerjisinin çay, kahve, meyve, baharat, tohum ve diğer ürünler gibi çok geniş bir ürün yelpazesine uygulanabileceği belirtilmiştir.

Abdallah ve Nijmeh (2004), güneş enerjisini iki eksenli takip sistemi izlenmesinin etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Toplanan enerjileri ölçmüşler ve güney yönünde 32°'de eğimli sabit bir yüzey ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda, hareketli yüzey üzerinde toplanan güneş enerjisinin sabit bir yüzey üzerinde toplanan güneş enerjisinden daha büyük olduğunu ve %41.34'lük bir artışla daha iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Purohit ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada güneş enerjisi ile kurutmanın mali fizibilitesini yaygın kullanılan açık güneşte kurutmaya karşı kolaylaştırmak için

örnek hesaplamalar yapmışlardır. Sundukları çerçevenin uygulanabilirliği, formülasyonunda yapılan varsayımlarla sınırlandırmışlardır. Çerçevenin sonuçlarının hesaplamalarda kullanılan parametrelere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Örnek olarak bir kurutucunun operasyonel ve finansal faktörlerini varsayım ve hesaplamalarla belirtmişlerdir.

Abu-Khader ve ark. (2008), Ürdün’de çok eksenli güneş izleme sistemlerinin performansını değerlendirmek için bir düz fotovoltaiik sistemine göre elektrik üretimi üzerindeki etkisi üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çok eksenli (Kuzey-Güney, doğu-batı, dikey) elektromekanik güneş izleme sistemi tasarlamışlar ve inşa etmişlerdir. Ölçülen değişkenleri sabit eksen ile karşılaştırmışlardır. Kuzey-Güney eksenlerinin çıkış sisteminin sabit PV sistemine kıyasla çıkış gücünde yaklaşık %30-45 arasında bir artış olduğunu, Kuzey-Güney eksenlerinin güneş izlemesinin optimum olduğunu belirtmişlerdir.

Murthy (2009) yaptığı çalışmada küçük ölçekli gıda ürünlerinin kurutulması için kullanılan güneş kurutucularını gözden geçirerek, Asya-Pasifik bölgesinde popüler olanları ve geliştirilmiş teknolojilere sahip olanları incelemiştir. Bu inceleme sonucunda alternatif çözümler sunmakla birlikte çeşitli gıda ürünlerinde yapılan modelleme ve deneysel araştırmalar için çeşitli hususlar da sunulmuştur. Ayrıca kurutucunun performans değerlendirmesi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Belessiotis ve Delyannis (2011) yaptıkları çalışmada çeşitli doğrudan ve dolaylı güneş enerjili kurutma uygulamaları ve güneş enerjili kurutuculardan bahsetmişlerdir. Yüzyıllar boyunca uygulanan güneşte kurutmanın kısa bir tarihsel tanımı da verilmiştir. Kullanılan enerji türünden bağımsız olarak bazı kurutma fenomenleri ve konveksiyonla kurutma yöntemlerini yöneten genel kurallar analiz edilmiştir. Kurutmada kullanılan özel güneş kolektörleri ve çeşitli güneş kurutucularına bağlanma şekilleri, dolaylı bir güneş termal enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Dolaylı güneş ışınımı ile kurutma olarak örnek bir üzüm kurutması göstermişlerdir.

VijayaVenkataRaman ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, gelişmekte olan ülkelerde güneş enerjisi ile kurutma teknolojileri hakkında bilgi vermişlerdir. Güneş

enerjili kurutucuların farklı tasarımları, çeşitleri ve performans analizlerini yapmışlardır. Bitkilerin kurutulması, sebze, meyve, tahıl, üzüm kurutucu vb. gibi spesifik ürünler kullanılarak özel olarak tasarlanmış veya test edilmiş güneş enerjili kurutucuları, teknik özellikleri ve sonuçları hakkında bilgi vermişlerdir. Bunun yanında, son teknolojiler ve güneş enerjili kurutucuların gelişimi hakkında bilgi de sunmuşlardır.

2.2 Çeşitli Ürünlerin Güneş Enerjisi İle Kurutulması Konusunda Yapılan Çalışmalar

Nijmeh ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada, Ürdün iklim koşullarında yerel olarak temin edilebilen malzemelerden üretilen iki güneş kurutucusunun, hayvan yemi olarak kullanılması için gıda atıklarının kurutulması konusunda çalışmışlardır. Kullandıkları iki farklı yöntemin biri ışınım ve taşınım yoluyla kurutulan sistem, diğeri ise güneş enerjili bir sistemdir. Karşılaştırma sonrasında hayvan yemi olarak uygunluğun testleri de yapılarak güneş enerjisi ile kurutma sisteminde diğere sisteme göre kalite açısından daha iyi olduğu ve ürünlerin besleyici değerlerinin tavukların beslenmesinde kullanılan yemlerin uluslararası tavsiye edilen değerler içinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Adam ve ark. (2000) yaptıkları çalışmalarında, dilimlenmiş soğanın laboratuvar ortamındaki kurutucuda farklı koşullar altında kurutularak kalite, renk, piruvat, kimyasal ve duyuşal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 65 °C'nin üzerindeki kurutma sıcaklıklarının renk değişimlerini etkilediği, şeker içeriğinin de kurutma sıcaklığından önemli derecede etkilendiğini görmüşlerdir. Kimyasal olarak belirlenen piruvat içeriği ile kurutulmuş soğanın duyuşal olarak değerlendirilen kokusu arasında anlamlı korelasyonların da çalışma sonucunda elde edildiği belirtilmiştir.

Gallali ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada güneş enerjili kurutucu ile doğal kurutmanın üzüm, incir, domates ve soğan kurutularak karşılaştırılması ile kimyasal ve duyuşal analiz verilerini değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, üzümler için nihai nem içeriğinin sırasıyla %12.5, %20.05 ve %68.45 olması

nedeniyle karma ve dolaylı kurutma yöntemlerinin doğal kurutmadan daha etkili olduğunu, incir neminin karma modlu kurutmaya %23.5'e, aynı dönemde normal kuruma ile %46.9'a düşürüldüğünü, domatesler için önemli bir farklılığın gözlenmediğini, soğanlar için de iki kurutma yöntemi arasında çok az bir farklılığın bulunduğunu fakat dilim şeklinde kurumanın lob şeklindeki kurumadan daha hızlı olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında güneş enerjisi ile kurutulan üzümlerin doğal olarak kurutulanlar ile arasında son derece önemli bir farklılığın olduğunu ve şeker tayininde de kurutma odasındaki sıcaklığın çok yüksek olması nedeniyle güneş enerjisi ile kurutma işleminde doğal kurutmaya göre şekerlerin daha fazla değiştiği belirtilmiştir.

Madhlopa ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, tasarladıkları tek bir düz plaka kollektöründe iki emici sistem içeren bir güneşli hava ısıtıcısını bir kurutma odasına entegre edilerek taze mango örnekleri (*Mangifera indica*) kurutmuşlardır. Taze ve kurutulmuş mango örneklerini nem içeriği, pH ve askorbik asit açısından analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda dilimlenmiş taze mangoların nem miktarını %85'ten %13'e kadar düşürdüğü ve askorbik asit miktarının da %74'ünü muhafaza ettiğini belirlemişlerdir. Tasarladıkları kurutucunun mangoların ve diğer taze gıdaların korunması için uygun olduğunu görmüşlerdir.

Maskan ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada Türkiye'de iyi bilinen meyve derisi olan pestili, kaynamış üzüm suyu ve nişasta karışımından geleneksel teknik kullanılarak hazırlanmış ve kurutulmasını da sıcak hava ile kurutma ve güneşte kurutma yöntemi ile iki farklı şekilde gerçekleştirmiştir. Sıcak hava ile kurutmada inceledikleri faktörler hava sıcaklığı, numune kalınlığı ve hava hızıdır. Kuruma süresince sıcaklık ve numune kalınlığının pestilin nem içeriğine etkisinin olduğu görülürken hava hızı değişiminin etkisinin olmadığını görmüşlerdir. Kuruma süresinin, numunenin kalınlığına ve hava sıcaklığına bağlı olarak, ticari nem içeriğinin elde edilmesi için 50-140 dakika arasında değiştiği belirtilmiştir. Güneşte kurutmada ise neredeyse tüm numunelerin göz ardı edilemeyecek sürede 180-1500 dakika arasında kuruduğu belirtilmiştir.

Pavon-Melendez ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, gıda kurutma sırasında ısı ve kütle transferinin ayrıntılı denklemleri için boyutsuz bir analiz geliştirmek için

mango dilimlerini kurutmuşlardır. Mango dilimlerinin teorik analiz ile karşılaştırmak için kurutma sırasında nem ve sıcaklık değişimleri deneysel gözlemlerini yapmışlardır. Mango dilimlerinde teorik ve deneysel kurutma kinetikleri, sıcaklık değişimlerinin gıda-hava arasındaki ısı transferi ile kontrol edildiğini, nem kaybının gıda içindeki su dağılımı ile kontrol edildiğini göstermişlerdir. Bu kontrol mekanizmalarının diğer kurutma çalışmaları ile örtüştüğünü ve mango için uygun bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Toğrul ve Pehlivan (2002), Elazığ'da yetiştirilen kayısının ince tabakalarında güneş enerjisi ile kurutma deneylerini konik konsantratörlü bir güneş enerjili hava ısıtıcısından ve bir kurutma dolabından oluşan dolaylı zorlanmış bir konveksiyonlu güneş enerjili kurutucuda yapmışlar. Güneş enerjili hava ısıtıcısında hava üfleciyle ısıtılan hava kayısının üzerinden geçirilmiş ve her test gününde kayısının kütlesi ve termal kuruma parametrelerindeki değişiklikler kaydedilmiş. Verilerden elde edilen kuruma eğrileri bir takım matematiksel modellere uydurularak kurutma havası sıcaklığı, hızı ve bağıl nemin model sabitleri ve katsayıları üzerindeki etkileri çoklu regresyon ile değerlendirilmiştir. Daha önce verilen modeller ile karşılaştırıldığında korelasyon katsayısı (r) 0.994 olan kayısının güneş kuruma eğrisini tatminkâr bir biçimde tarif ettiğini belirtmişlerdir.

Akpınar ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada siklon tip kurutucuda kabak dilimlerinin kuruma davranışını incelemişlerdir. 60, 70 ve 80 °C kurutma havası sıcaklıkları ile 1 ve 1.5 m/s kurutma havası hızlarında deneyleri gerçekleştirmişler, deney süresince kilo kaybı, sıcaklık, bağıl nem ve hız değerlerini izlemişlerdir. Çalışma sonucunda çalıştıkları kurutma koşulları altında kabak dilimlerinin 340-720 dakika içerisinde mükemmel şekilde kurduklarını belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar (2002), aynı kurutucu ve aynı kurutma koşulları altında 12.5 ve 8 mm kalınlığındaki patates dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda 12.5 mm kalınlığındaki patates dilimlerinin 460-740 dakika arasında, 8 mm kalınlığındaki patates dilimlerinin de 280-520 dakika arasında mükemmel şekilde kurduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, patates dilimlerinin kurutma eğrisi denklemini açıklamak için en uygun model olarak difüzyon modelinin bir yaklaşımı olduğu belirtilmiştir.

Krokida ve ark. (2003), patates, havuç, biber, sarımsak, soğan, mantar, mısır, bezelye, kereviz, kabak ve domates kurutulması üzerine çalışmışlar, her çalışmada 5, 10 ve 15 mm olmak üzere 3 farklı örnek kalınlığı, 65, 75 ve 85 °C olmak üzere 3 farklı ortam sıcaklığı, 1.5 m/s, 2 m/s ve 2.6 m/s olmak üzere 3 farklı hava hızında ve %20, %30 ve %40 olmak üzere 3 farklı bağıl nem ortamını kullanmışlardır. Denemeler sonucunda, kuruma hızını etkileyen en önemli parametrenin ortam sıcaklığı olduğu, hava hızı ve neminin ise sıcaklığa göre etkisinin daha az olduğu belirtilmiştir.

Demir ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada defne yapraklarını 40, 50 ve 60 °C sıcaklıkta, 1.5 m/s hava hızı ile %5, %10 ve %15 bağıl nem değerlerine sahip ortamlarda, yaprak yüzeyleri hava akış yönüne paralel olacak pozisyonda kurutmuşlardır. Hem sıcaklık hem de bağıl nem fonksiyonu olarak model uyumu için çalışmışlar. Ayrıca, renk ve defne yapraklarının uçucu yağ miktarının değişimini farklı koşullarda yaprağa olan etkilerini belirlemek için izlemişlerdir. Defne yapraklarının kurutulmasında Page modelinin tatmin edici bir şekilde tanımladığını, 60 °C 'de yapılan kurutma işleminin de önemli bir kalite kaybı yaratmadığı belirtilmiştir.

Pacco ve Menegalli (2004) yaptıkları çalışmada incir kurutulması üzerinde, 45, 60 ve 75 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ve 1 m/s sabit hızda kurutma havası kullanarak çalışmışlardır. Çalışma sonrası farklı yöntemlerle kurutulan incirlerin durumları karşılaştırıldığında, dilimlenmiş incirlerin bütün olarak kurutulan incirlere göre daha iyi kurduğunu, optimum kurutma sıcaklığının da 60 °C olduğunu belirtmişlerdir.

Timoumi ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada tarımsal ürünlerin kurutulması için enerji kaynağı olarak bir güneş enerjisi ile hava ısıtıcısının ısıl davranışını incelemişlerdir. Kurutma havasının sıcaklığı ve hızı değerlendirilerek konvensiyonel ısı ve kütle transfer denklemlerine dayalı matematiksel formül sunarak simüle etmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca, elma dilimleri için kurutma hızının en önemli faktörünün sıcaklık olduğu belirtilirken hava hızı ve hava neminin etkisinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Chen ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada fotovoltaiik sistemli, güneş ışığı yansımalarını azaltmak ve ekstra doğrudan güneş enerjisini ürün üzerine almak için yüksek geçirgenlik camı ile kapalı tip güneş enerjili kurutucu tasarlamışlardır. Tasarladıkları kurutma düzeneğinde limon dilimlerini 60 °C sıcaklıktaki kurutma havası ile kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda kurutulan limon dilimlerinin duyuşal parametreler açısından genel olarak daha iyi kalite seviyelerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Özler ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada 3 farklı mısır çeşidi olan at dişi mısır, sert mısır ve şeker mısırı ön işlem uygulayarak laboratuvar tip kurutucuda kurutmuşlardır. Uyguladıkları ön işlemler %2 etil oleat, %4 potasyum karbonat, %2 sodyum hidroksit çözeltileri olmak üzere 3 çeşittir. Her bir çözeltiliye 1 dakika süreyle ürünler bandırılarak ön işlem uygulanmıştır. Kurutucuda da 50 °C sıcaklıkta ve %21.5 bağıl nemde kurutmuşlardır. At dişi mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine en etkili kimyasalın %2 sodyum hidroksit olduğunu, sert mısırdaki ise kimyasal madde uygulamasının kurutma hızına belirgin bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Bu nedenle sert mısırdaki kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı sonucuna varmışlardır.

Aktaş ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, 4 mm kalınlığında dilimledikleri elmaları tasarladıkları hem ısı pompalı hem de güneş enerjili kurutucuda kurutmuşlardır. Dilimlenmiş elmalar önce ısı pompalı kurutucuda 4.8 (g su/g kuru madde) nemlilikten 0.18 (g su/g kuru madde) oluncaya kadar 3.3 ile 2.4 kg/m²s hava kütleşel hızı ile 3.5 saat süre ile kurutmuşlardır. Aynı zamanda güneş enerjili kurutucuda da 4.8 (g su/g kuru madde) nemlilikten 1 (g su/g kuru madde) oluncaya kadar 3.3 ile 2.9 kg/m²s hava kütleşel hızı ile aynı sürede kurutmuşlardır. Etkin nem difüzyonu ısı pompalı kurutucuda 2.36 x 10⁻⁸ m²/s iken güneş enerjili kurutucuda 1.03 x 10⁻⁸ m²/s olarak bulmuşlardır. Her iki sistem için nem oranı teorik modeller kullanılarak ve ampirik değerlerle karşılaştırılarak istatistik programı ile analiz etmişlerdir. Güneş enerjisinin ürün ön kurutmada kullanılabilceği ve güneş olmadığında ısı pompası gibi farklı bir kurutucuda kurutmanın devam etmesinin ya da her iki sistemi birlikte kullanan kurutma ünitelerinin avantajlı olabileceğini belirtmişlerdir.

Şahin ve Öztürk (2016) yaptıkları çalışmada, soyulmamış ve dilimlenmemiş incirlerin osmotik dehidrasyon ile kurutulması işlemini gerçekleştirmiştir. Osmotik dehidrasyon ön işlemi 50 °Brix ve 50 °C'de sukroz çözeltisinde 4/1'lik çözelti / meyve kütlesi oranı ile gerçekleştirilmiştir. Vakum emdirme işlemi 130 mbar'da 15 dakika daha sonra osmotik işlem ise atmosfer basıncında 165 dakika uygulamışlardır. Ön işlem uygulanmayan incirler ise bir konveksiyon fırını içinde 55 °C, 65 °C ve 75 °C'de kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ön işlem uygulanmış incirlerin kuruma süresinin uygulanmamışa göre daha kısa sürdüğünü ve ön işlem uygulanmamış incirlerin daha fazla büzüldüğünü belirtmişlerdir. Ön işlem uygulanmış üzümlerin nem yayılım değerlerinin ve aktivasyon enerjisinin daha büyük olduğu belirtilmiştir.

2.3 Üzümün Güneş Enerjisi İle Kurutulması Konusunda Yapılan Çalışmalar

Tulasidas ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, Thompson çekirdeksiz üzümleri kombine konvektif ve mikrodalga kurutucuda kurutulmuş üzümlerin hava sıcaklığı, mikrodalga güç yoğunluğu ve hava hızına bağlı nem içeriği değişimini incelemişlerdir. Nem transferine karşı iç direnç Fick'in difüzyon denklemi ile açıklamışlardır. Elde ettikleri nem oranı ve büzülme değişim verilerini simüle ettikleri model sonuçları ile karşılaştırdıklarında, prosedürlerin geçerliliğini kanıtlayan iyi bir ilişki bulmuşlardır.

Vazquez ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, tasarladıkları ısı pompalı kapalı çevrim bir kurutma düzeneğinde gıda ve orman ürünlerini daha düşük enerji tüketimi ve geleneksel kurutuculara göre daha geniş bir hava, hız, sıcaklık ve bağıl nemlilik aralığında kurutma yapılabildiğini belirtmişlerdir. Birkaç farklı kurutma koşulu altında çeşitli ön işlemlerden geçirilmiş olan üzümlerin kurutma özelliklerini belirlemişler. Kurutma koşullarının ve ön işlemin kurutma süresi üzerindeki etkileri ve kurutulmuş ürünün görünümünü çalışma sonrasında tatmin edici olarak belirtmişler ve bir difüzyon modeli ile tarif edilebileceğini belirtmişlerdir.

Pangavhane ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada Thompson çekirdeksiz üzümlerin çeşitli daldırma ön işlemlerinin sıcak havayla konvektif kurutma

koşullarında kurutma kinetiğine etkisini araştırmıştır. Deneilerini hava hızı 0.5 m/s ve sıcaklığı 60 °C olarak kontrollü koşullar altında gerçekleştirecekleri kurutucuyu hazırlamışlar. Üzümlerin ticari daldırma yağı, etil oleat, zeytinyağı ve sıcak sodyum hidroksit çözeltisi ile ön işlemlerini yaparak ön işlemler için kinetik çalışmaları da yapmışlardır. Ön işlemleri yapılan üzümlerin kurutma davranışlarının Page modeli ile uyum içinde olduğunu fakat, ön işlem için Page modelinin kurutma sabitlerini farklı bulmuşlardır. Ayrıca, tüm ön işlemler için duysal değerlendirme gerçekleştirdikleri gibi, Page modelinin kurutma sabitinin bağımlılığını belirlemek için daldırma yağ ön işlemleri deneilerini 60 °C ‘nin dışındaki sıcaklıklarda da gerçekleştirmişlerdir.

Matteo ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada çekirdeksiz üzümlerin kuruma hızlarını arttırmak için alternatif bir yöntem olarak asal bir aşındırıcı malzeme kullanarak üzüm kabuğunun yüzeysel aşındırılması ön işlemleri üzerinde çalışmışlardır. Çalıştıkları bu yeni sürecin verimliliğini, sadece kendi kuruma zamanlarını değil, aynı zamanda taramalı yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile analiz ederek geleneksel etil oleat daldırma işlemininkiyle karşılaştırarak yapmışlardır. Çalışma sonucunda aşınma yöntemini geleneksel yöntem kadar etkili bulduklarını, tüketiciler için daha az cazip daha koyu bir nihai ürün elde etmelerine rağmen üzümlerin ön işleme tabi tutularak kimyasal katkıların kullanılmasını engellediklerini belirtmişler.

Yaldiz ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada Antalya’da yetiştirilen Sultana üzümleri (Thompson üzümleri) için ince tabaka güneş kurutma deneilerini güneş enerjili hava ısıtıcısı ve bir kurutma dolabından oluşan dolaylı zorlanmış konveksiyonlu bir güneş enerjili kurutucuda yapmışlar. Güneş enerjili hava ısıtıcısı tarafından ısıtılan hava elektrikli bir fan yardımıyla ürünün içinden geçirmişlerdir. Sultana üzümlerinin ince tabaka kurutması üzerine kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkisini incelemek amacıyla yirmi iki deney gerçekleştirmişler ve sekiz farklı ince tabakalı matematiksel kuruma modelleri, güneş enerjisi ile kurutma eğrilerini tahmin etmek için kararlılık katsayılarına göre karşılaştırmışlardır. Kuru hava sıcaklığı ve hızının model sabitleri ve katsayıları üzerindeki etkilerini regresyon modelleri ile öngörmüşler ve yaptıkları çalışmalara göre iki dönemlik kurutma modeli Sultana üzümlerinin güneş enerjisi ile kuruma eğrisinin korelasyon katsayısını (r) 0.979 olarak tatmin edici bir şekilde belirtmişler ve bu modelin

sabitleri ve katsayıları, kurutma havası sıcaklıkları ve hızının etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Azzouz ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada Akdeniz'in her iki tarafında yetişen iki çeşit üzümün konvektif kurutulmasını gerçekleştirmişlerdir. Etkin difüzyon hızını değerlendirmek için birisi basitleştirilmiş Fick yasasına dayanan, ikincisi ise kuru katıların hareketini modellemek ve bağlı maddenin hareketini modellemek suretiyle temel bir parametre olarak büzülmeyi etkileyen alan iki model difüzyon yapmışlardır. Çalışma sonucunda da Fick yasasına dayanan regresyon analizi ile bu parametrelerin her bir üzüm çeşidinin kuruma koşullarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

İsmail (2005) yaptığı çalışmada çekirdeksiz yaş üzümün kurutulmasında, kurutma işleminden önce ürüne uygulanan ön işlemlerin kuruma hızına ve kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi için hava hızının 1.5 m/s olduğu yatay hava akımlı bir kurutma cihazı kullanmıştır. Üzüm ön işlemlerinde potasyum karbonatın farklı konsantrasyonlardaki çözeltilerini kullanmış ve bu üzümleri 60 °C ve 70 °C sıcaklıktaki hava ile kurutmuştur. Karşılaştırma yapmak için ön işlem uygulanmamış üzümleri de aynı sıcaklıklarda kurutmuş ve 15-20 dakika ara ile üzüm ağırlıklarını tartmıştır. Çalışma sonucunda %5 K₂CO₃ - %0.5 Zeytinyağ çözeltisine daldırılarak kurutulan üzümlerin daha kısa sürede kurduğunu ve renk analizlerinde de en iyi sonuçların yine %5 K₂CO₃ - %0.5 Zeytinyağ çözeltisine daldırılarak kurutulan üzümlerden elde edildiğini belirtmiştir.

Fadhel ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada doğal konveksiyonlu bir güneş enerjili kurutucuda, bir tünel sera altında ve açık güneşte olmak üzere 3 farklı güneş işlemi ile Sultana üzüm çeşidinin kurutulmasını analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda da güneş tüneli sera kurutmanın tatmin edici olduğunu ve doğal bir konveksiyon güneş kurutma işleminde rekabetçi olduğunu belirtmişlerdir.

Doymaz (2006) yaptığı çalışmada siyah üzümlere çeşitli ön işlemler uygulayarak, hava hızı 1.1 m/s ve sıcaklığı 60 °C olmak üzere bir laboratuvar kurutucusunda siyah üzümlerin ince tabaka kurutma davranışını incelemiştir. Etil oleata ve potasyum karbonat solüsyonuna batırılmış siyah üzümlerin en kısa sürede

(25 saat) kuruduğunu tespit etmiştir. Bunun yanında, Lewis, Page, Henderson ve Pabis gibi farklı ince tabaka kurutma modelleri ve iki terimli üstel modelleri, çeşitli solüsyonlarla ön işleme tabi tutulmuş siyah üzümün nem değişimini analiz ederek, Page modelinin siyah üzümün kuruma eğrilerinin tanımlanması için en uygun model olduğunu ve etkin nem yayılımının 3.82×10^{-10} ila 1.28×10^{-9} arasında değiştiğini belirtmiştir.

Esmaili ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada daldırma işlemi ile önceden işlenmiş çekirdeksiz üzümün kurutma özelliklerini, hava hızı 1 m/s ve hava sıcaklığı 40 ila 70 °C arasında değişen bir laboratuvar ölçekli tepsi kurutucuyu kullanarak incelemiştir. Belirli bir nem içeriğindeki termo-fiziksel özelliklerin deneysel olarak tahmin edilen değerlerinden değişken termal yayılımı hesaplarlarken, etkin nem yayılmalarını, büzülmeyi dikkate alan bir analitik-sayısal çözüm yöntemini kullanarak belirlemiştir. Bu parametreleri lineer olmayan regresyon yöntemi kullanarak ampirik bir modelde karşılık gelen nem içeriği ve sıcaklıklarla korelasyon kurmuşlar. Yaptıkları çalışma sonucunda aynı klon sarmaşıklarının çekirdeksiz üzümünün sıcak su (HW) ve etil oleat (EO) ön muamelelerinin alkalik emülsiyonuna maruz kaldıkça 50 °C 'de 3.34 ila 8.46×10^{-10} m²/s arasında değişen ortalama etkin nem difüzyon katsayıları sergilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca, kurutma sırasında etil oleat ön muamele çekirdeksiz üzümün farklı sıcaklıklarda belirli bir nem içeriğindeki kütle aktarım katsayılarının artması, sıcak su ile ön muamele çekirdeksiz üzümünkinden iki kat fazla olduğunu, bunun yanında ise, ön işlemlerin kurutma sırasında üzümün termal yayılmalarında önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Barnwal ve Tiwari (2008) yaptıkları çalışmada Hindistan Teknoloji Enstitüsü'ndeki Güneş Enerjisi Parkı'nda 100 kg kapasiteli, DC fan ile zorlanmış hava konveksiyonlu bir hibrit fotovoltaik-termal (PV/T) sera kurutucuyu Thompson çekirdeksiz üzümü (Mutant: Sonaka) kurutmak için tasarlamışlar. Karşılaştırma yapmak için açık ve gölgeli olarak iki farklı şekilde kurutmuşlar ve kuruma süresince üzüm yüzeyi sıcaklıkları, ortam havası sıcaklığı ve nemi, sera havası sıcaklığı ve nemi vb. gibi çeşitli verileri kaydetmişler. Yapılan çalışma sonucunda da üzüm için konveksiyonel ısı transfer katsayısını (GR-I) sera için sırasıyla 0.26-0.31 W/m²K ve açık şartlar için 0.34-0.4 W/m²K arasında olduğunu, (GR-II) sera için ise sırasıyla

0.45-1.21 W/m²K ve açık şartlar için 0.46-0.97 W/m²K arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Çağlar ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada çekirdeksiz üzümün kızılötesi kurutmadan elde edilen verilerin kullanılması ile farklı kurutma sıcaklıklarında ve nem içeriğindeki termal difüzyon hızı, nem dağılımı ve kurutma hızı değerlerini belirlemişlerdir. Başlangıçtaki nem içeriğinin ve sıcaklığının etkisini içeren 9 lineer olmayan denklem termal yayılma, nem dağılımı ve kurutma hızının hesaplanmasında kullanılabilecek denklemlerin elde edilmesi için türetmişlerdir. Çekirdeksiz üzümün ön işleme tabi tutulmuş ve ön işleme tabi tutulmamış durumlarında kurutma sıcaklıklarının ve kurutma hızının tahmininde kullanılacak denklemleri belirtmişlerdir.

Bingöl ve Devres (2010) yaptıkları çalışmada kurutma hızını arttırmak ve daha iyi bir kurutulmuş ürün elde etmek için üzümleri kurutma işleminden önce, 3 dakika süre ile 40 °C sıcaklığındaki etil oleat ve potasyum karbonat içeren çözeltiye daldırmış veya 140 saniye süreyle 90 °C'deki buharla haşlayarak ön işlem uygulamışlardır. Ön işlem uygulanmış üzümleri mikrodalga yardımlı konvektif kurutucuda 0.25 W/g başlangıç mikrodalga güç oranı ve 60 °C sıcaklıkta ortalama 1.8 m/s hızındaki hava ile kurutmuşlardır. Matlab programını kullanarak kuruma eğrileri ve matematiksel modelleri oluşturmuşlardır. Kurutma işlemi sonuçlarını literatürdeki sonuçlarda karşılaştırdıklarında mühendislik açısından gerekli yakınsaklığın sağlandığını görmüşlerdir.

Singh ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada 40 °C sıcaklıkta bulunan 1 litre damıtılmış suya 25 gram potasyum karbonat ve 15 mililitre etil oleat ilave edilerek hazırlanan çözeltiye 3 dakika süre ile yeşil ve siyah üzümleri daldırarak ön işlem uygulamışlardır. Daha sonra 60 °C sıcaklıktaki bir kurutucuda baca etkisi ile 0.82 m/s hava hızı oluşturularak kurutulmuştur. Yaş baza göre, %79.94'lük başlangıç nem içeriğine sahip yeşil üzümler 19 saat, %81.38'lik başlangıç nem içeriğine sahip siyah üzümler 27 saat süreyle son nem içeriği %18 olana kadar kurutmuşlardır. Yeşil üzümler için kuruma hızı sabiti değeri 0.036505 h⁻¹ iken, siyah üzümler 0.024793 h⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca son ürünün uluslararası pazarda kabul edilebilir tüm gerekli parametrelere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Adiletta ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada kullandıkları İtalya'da bulunan kırmızı küre üzümünün kurutulmasında kurutma hızını arttırmak ve üzüm numunelerini korumak için alkali etil oleat çözeltisine bandırma ön işlemini uygulamışlardır. Kurutma işlemini konvektif olarak 40-70 °C'de ve 2.3 m/s hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda da 50 °C'de kurutulan ön işlem uygulanmış numunelerde, en düşük renk değişimi, daha az büzülme ve en iyi rehidrasyon kapasitesinin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Büzülme eğrilerini ve kurutma kinetiklerini de yaygın olarak kullanılan ampirik modelleri kullanarak analiz etmişlerdir.

3. KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ

Kurutma işleminin tanımı ve kurutma ile ilgili temel kavramlar olarak nemli havanın özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Ayrıca, ısı transfer yöntemine göre kurutma sistemlerinin sınıflandırılmasından bahsedilmiştir.

3.1 Kurutma

Kurutma, gıda maddelerinin korunmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri olup kimya ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Kurutma, ürünlerden su veya diğer sıvıların uzaklaştırılmasına denir. Yaygın olarak kullanılan anlamı ise su veya uçucu maddelerin ısı yöntemleri ile katı maddelerden giderilmesi işlemidir. Üründeki nemi uzaklaştırmak için gereken ısı, ürüne temas eden katı yüzeyden iletimle, ışınım veya sıcak gazlarla ürüne doğrudan temas ettirerek taşınım ile transfer edilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Isı ve kütle transferi kurutma işlemi boyunca aynı anda gerçekleşir. Kurutulacak ürünün özellikleri ve kurutma ortam koşulları kurutma işlemi için önemli parametredir. Bu nedenle, kurutulacak ürünün ve kurutma havasının özellikleri bilinmelidir (Güngör ve Özbalta, 2009).

3.2 Kurutma İle İlgili Temel Kavramlar, Nemli Havanın Özellikleri

Tarım ürünleri çevre havasının doğrudan kullanılması ile ya da ısıtılarak elde edilecek sıcak havanın kullanılması ile kurutulurlar. Kurutma için kullanılan hava, kuru hava ve su buharı birleşimi olarak ele alınır. Kuru hava azot, oksijen gibi birtakım gazların karışımından meydana gelir. Kurutma işleminde kullanılan havanın içinde ise kuru havayı oluşturan bu gazlara ek olarak değişen miktarlarda su buharı bulunur. İçinde su buharı da bulunan kuru havaya nemli hava denir. Nemli hava içinde bulunan su buharı kurutma olayını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle nemli hava ile ilgili bağıl nem, özgül nem, sıcaklık, entalpi vs. gibi bazı özelliklerin daha detaylı incelenmesi faydalı olacaktır (Güngör ve Özbalta, 2009):

Kuru hava: İçinde su buharı bulunmayan havayı ifade eder.

Nemli hava: İçinde su buharı bulunan havayı ifade eder.

Mutlak Nem: 1 m³ hava içerisinde bulunan su buharının kütleini ifade eder (kg/m³).

Özgül Nem (w): İncelenen andaki durumda nemli hava içinde kg veya g olarak, 1 kg kuru havaya karşılık bulunan su buharı miktarını ifade eder (Yağcıoğlu, 1999).

$$w = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (kg_w/kg_a) \quad (3.1)$$

m_v: Su buharının kütlei

m_a: Kuru havanın kütlei

P_v: Su buharının kısmi basıncı

P: Toplam basınç.

Bağıl Nem (φ): Herhangi bir sıcaklık derecesi ve basınçtaki 1 kg kuru hava içinde bulunan su buharı miktarının, aynı sıcaklık ve basınç şartlarında, havanın su buharıyla doymuş hale gelmesi durumunda taşıyabileceği su buharına oranını ifade eder (Yağcıoğlu, 1999).

$$\varphi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} \quad (3.2)$$

Yüzde Nem (w_v): Mutlak nemin, hava sıcaklığındaki doymunluk nemine oranını ifade eder (Yağcıoğlu, 1999).

$$w_v = 100 \cdot \frac{w}{w_s} = (\% \varphi) \frac{P - P_g}{P - P_v} \quad (3.3)$$

Kuru Termometre Sıcaklığı: Günlük yaşamda kullanılan termometre ile ölçülen nemli havanın sıcaklığını ifade eder (Yağcıoğlu, 1999).

Çiğleşme Sıcaklığı: Nemli havanın sabit mutlak nem ve sabit atmosfer basıncı koşullarında soğutulması durumunda, taşıdığı su buharının hepsini taşıyamaz duruma gelip yoğunlaşarak atmaya başladığı sıcaklık değeri olarak ifade edilir (Yağcıoğlu, 1999).

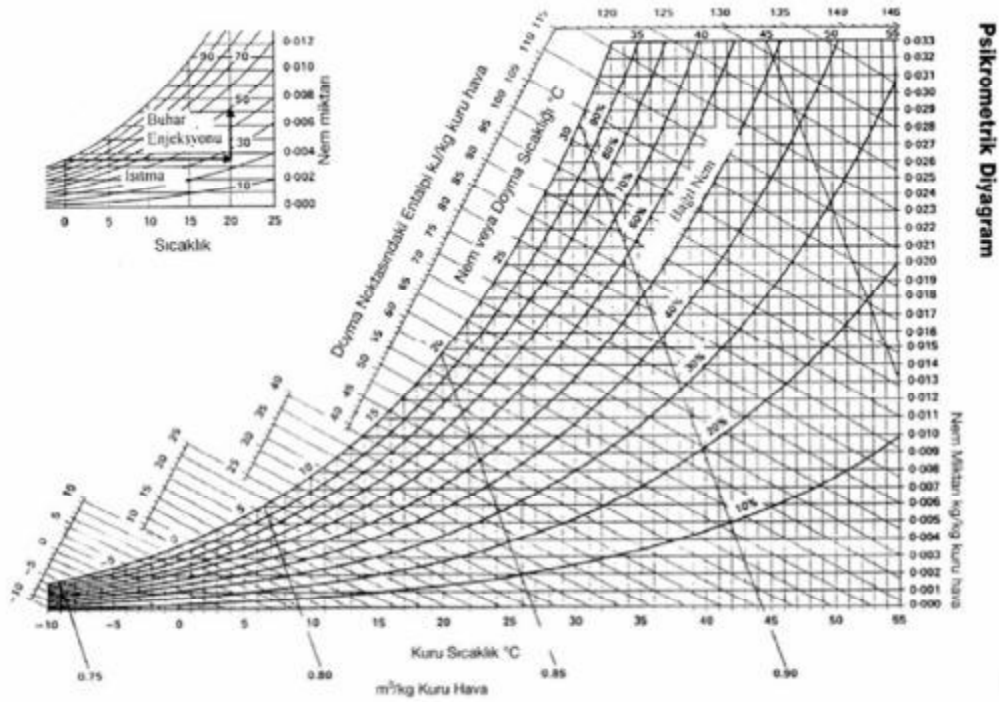
Yaş Termometre Sıcaklığı: Termometrenin ölçüm ucuna ıslak bir pamuğun sarılarak hava akımına tutulduğunda ölçülen sıcaklık değeridir. Kuru termometre sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık değeridir. Havanın doymunluğa ulaştığı sıcaklık değeridir (Yağcıoğlu, 1999).

Nemli Isı (C_s): Bir gram kuru hava ve onun içerdığı su buharının sıcaklığını bir derece arttırmak için gereken enerji olarak ifade edilir (Yağcıoğlu, 1999).

Nemli Hacim (V_h): Kuru havanın içerdığı su buharının hacmi ile birim kütesinin hacminin toplamıdır (Yağcıoğlu, 1999).

Toplam Entalpi: Kuru havanın içerdığı su buharının entalpisi ile birim kütesinin entalpisinin toplamıdır (Yağcıoğlu, 1999).

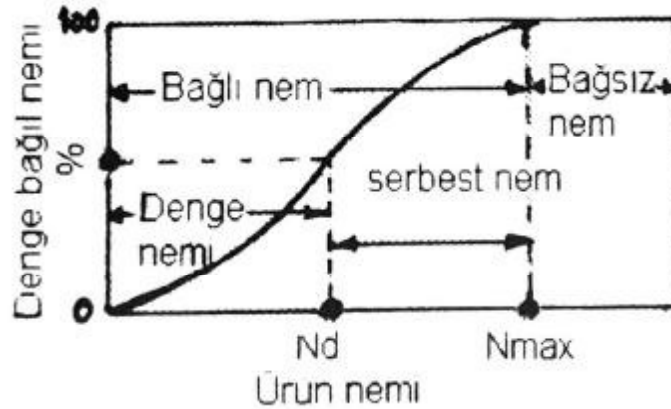
Psikrometrik Diyagram: Kurutma ve nemlendirme ile ilgili çalışmaların teorik ve uygulama kısmında kullanılır. Bu diyagram yardımıyla gaz sıcaklıklarının fonksiyonu olarak kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, bağıl ve mutlak nem, yüzde doymunluk nemi, nemli hacim, entalpi, adyabatik doymunluk doğruları, yaş termometre sıcaklıkları okunabilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Psikrometrik diyagram

Katı Maddenin Nemi: Kurutma işlemlerinde ürünlerden ısı ile kütle transferi aynı anda gerçekleşir. Kurutma ortamından kurutulan maddeye iletimle, taşınım, ışınım ile ısı transferi gibi değişik şekillerde ısı transferi oluşur. Kurutulan maddeye ısı transferi gerçekleştikçe ürünün içerdiği nem iç kısımdan önce madde yüzeyine ve buradan da kurutma ortamına transfer olur. Kurutulan maddelerin ağaç, kâğıt, sebze, meyve vb. gibi çok değişik yapıya sahip olması, kurutma mekanizmalarının farklı olmasını gerektirir. Kurutucu tasarımında, kurutulan ürünün başlangıç ve son nemliliklerinin bilinmesi önemlidir (Yağcıoğlu, 1999).

Denge Nemi: Belirli bir sıcaklıkta ve basınçta ürünün taşıdığı nemin su buharı basıncı, ortam havasının su buharı basıncına eşit ise ürünün içerdiği neme denge nemi, bu durumdaki kurutma havasının bağıl nemine de o ürün için denge bağıl nemi denir. Bu koşulda üründen havaya ya da havadan ürüne nem alışverişi olmaz (Doğanay, 2009). Gıdalarda bulunan nemler Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2: Kurutma tekniği açısından materyalde bulunan nem çeşitleri (Yağcıoğlu, 1999).

Su Aktivitesi: Denge nemine ulaşan ürünün denge buhar basıncının (P), aynı sıcaklıktaki saf suyun denge buhar basıncına (P₀) oranıdır. Diğer bir deyişle, ürün ile dengede bulunan havanın denge neminin 100'e oranıdır yani % bağıl nemdir. Su aktivitesi değeri 0 ila 1 arasında değişmektedir (Özay, Pala ve Saygı, 1993).

Serbest Nem: Maddenin denge nem miktarından daha fazla olarak içerdiği nem şeklinde ifade edilir. Maddenin belirli koşullar altında kurutulabileceği en düşük nem değeri denge nem miktarıdır. Denge nem miktarının üzerindeki madde içeriğindeki

nem miktarları kurutma işlemi ile maddeden uzaklaştırılabilir. Maddelerin içerdikleri nem değerleri de yaş ve kuru madde esasına göre tanımlanır (Güngör ve Özbalta, 2009).

$$\text{Nem İçeriği (Yaş Madde Esası): } W_w = 100 \frac{m_w}{m_{km} + m_w} \quad (3.4)$$

$$\text{Nem İçeriği (Kuru Madde Esası): } W_d = 100 \frac{m_w}{m_{km}} \quad (3.5)$$

$$\text{Nem Oranı (MR): } MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.6)$$

MR: Nem oranı,

M_t : Ürünün herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde),

M_0 : Ürünün başlangıçtaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde),

M_e : Ürünün denge anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde) (Şahin, 2016).

Kurutma deneyinden elde edilen verilerle $\ln(MR)$ 'nin zamana (t) karşı grafiği çizilirse efektif nem difüzyonu (D_{eff}) hesaplanabilir. Büzülme etkisi göz önünde bulundurularak efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) eşitlik (3.7) yardımıyla hesaplanabilir (Şahin 2016).

$$\text{Efektif Nem Difüzyonu (D}_{eff}\text{): } D_{eff} = k_{sbt} \frac{(d_e / 2)^2}{\pi^2} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (3.7)$$

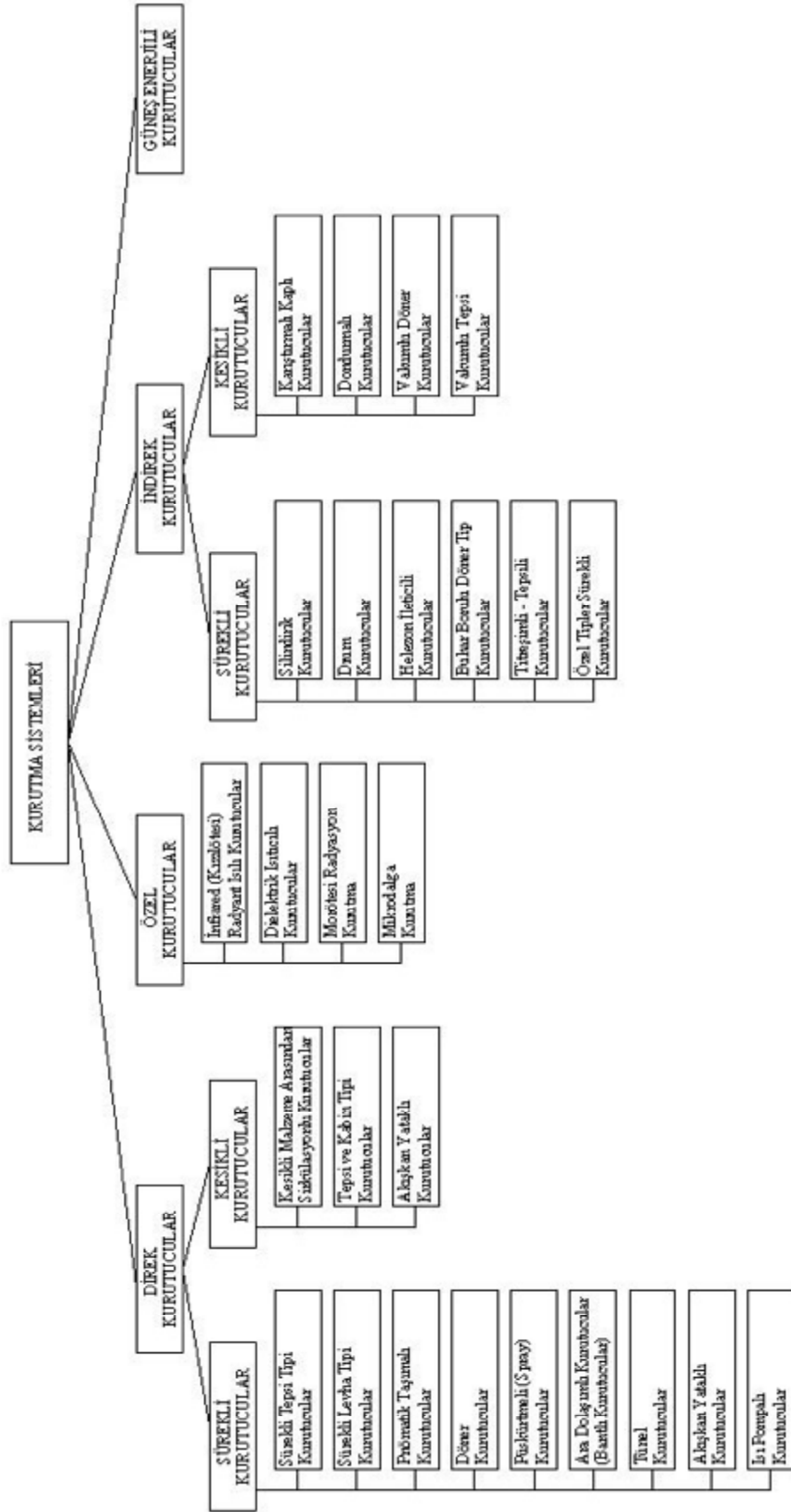
D_{eff} : Efektif nem difüzyonu,

k_{sbt} : $\ln(MR)$ 'nin kurutma süresine (t) karşı elde edilen doğrunun eğimi,

d_e : Ortalama geometrik çap.

3.3 Kurutma Sistemleri

Zaman içinde kurutulacak ürün ve kurutma şekillerine göre yapılan deneysel çalışmalar sonucu kurutma sistemleri, ısı transfer yöntemine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Şekil 3.3) (Mirza, 2006). Güneş enerjili kurutucular dördüncü bölümde incelenmiştir.



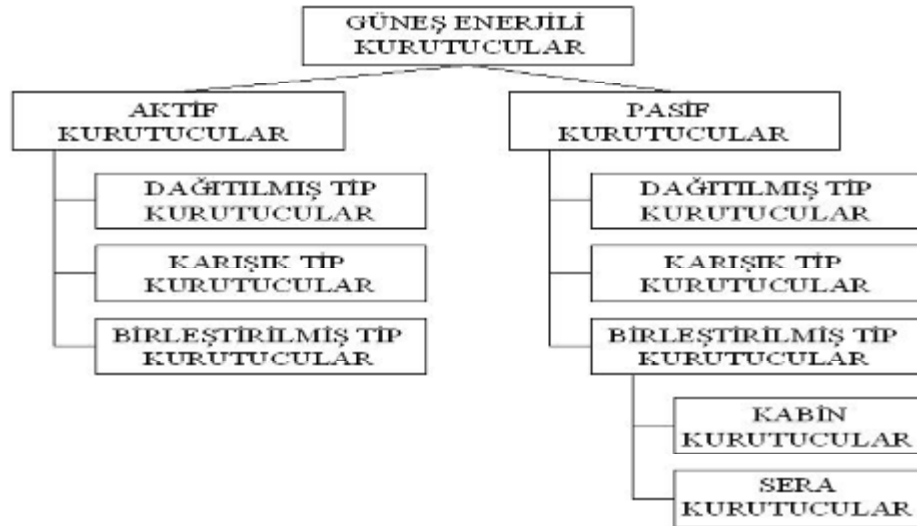
Şekil 3.3: Isı transfer yöntemine göre endüstriyel kurutucuların sınıflandırılması (Mirza, 2006).

4. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR

Uzun seneler boyunca kurutma ihtiyacı duyulan ürünlerin ve kurutma ortamlarının farklılıkları nedeniyle güneş enerjisi kaynaklı çeşitli kurutucular meydana gelmiştir. Bu kurutucularda kurutma için gerekli ısı enerjisi güneş ışınlarından sağlanır. Kurutma işlemi ön ısıtmalı hava kullanımı ile, kapalı ortamda doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakılması ile veya her iki sistemin kombinasyonu şeklinde kullanılarak yapılabilir. Kurutma havasının akışı doğal yolla olabildiği gibi yapay yolla da sağlanabilir. Bu kurutucular ile ilgili detaylı sınıflandırma çalışmasını 1997 yılında Ekechukwu ve Norton yapmışlardır. Bu çalışma daha sonraki dönemlerde yapılan çalışmalara örnek teşkil etmiştir.

4.1 Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Sınıflandırılması

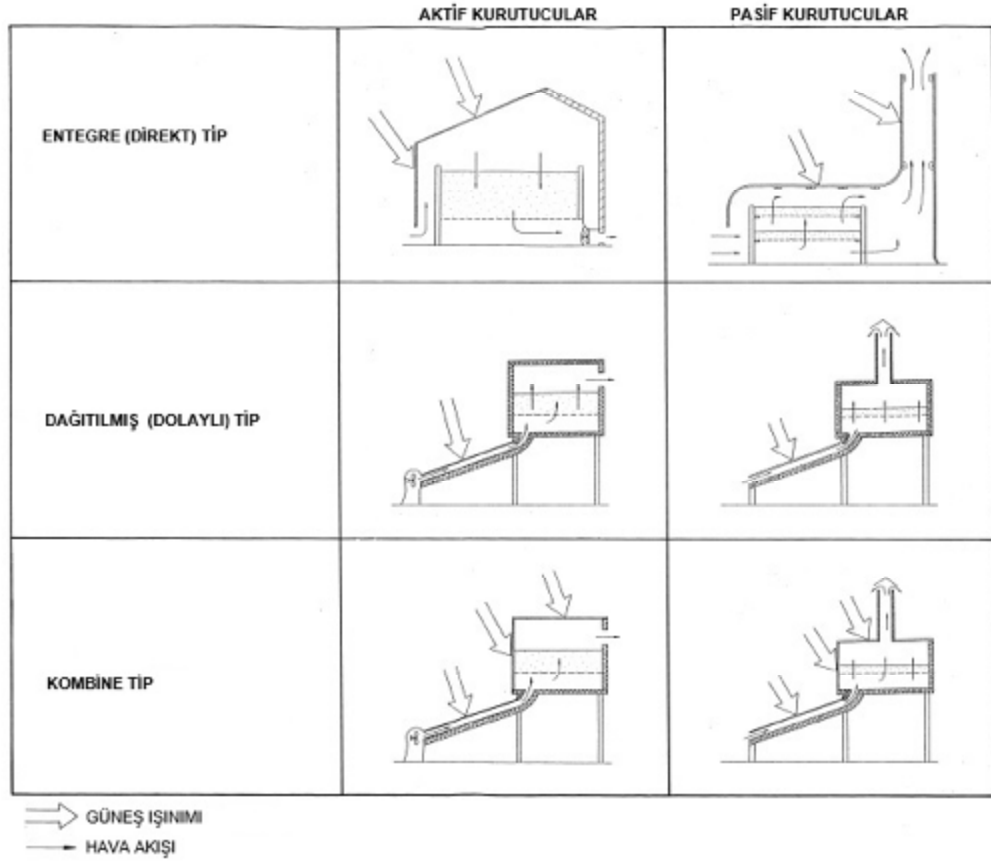
Ürünlerin kuruma süresi ve özellikleri dikkate alınarak kurutma için gerekli sistemin seçilmesi ya da tasarlanması gerekir. Ekechukwu ve Norton'a göre güneşle kurutmada tropikal ülkelerde temel olarak kullanılan "Doğal Güneşe Açık Kurutma" ve "Güneş Enerjili Kurutucular" olmak üzere iki yöntem vardır.



Şekil 4.1: Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması (Ekechukwu ve Norton, 1997)

Güneş enerjili kurutma sistemlerinin ısıtma yöntemlerine ve güneş enerjisinin kullanılma yöntemine göre “Aktif Güneş Enerjili Kurutucular” ve “Pasif Güneş Enerjili Kurutucular” olmak üzere iki çeşidi vardır.

Tipik güneş enerjili kurutucuların temel dizayn özellikleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Tipik güneş enerjisi kurutucu düzenekleri (Ekechukwu ve Norton, 1997)

Doğal güneşe açık kurutmada, ürün tarlada hasat edildikten sonra yere serilerek doğrudan güneşe karşı bırakılır. Doğal hava akımından yararlanır ve zamanla karıştırılarak ürünün her bölgesinin güneş görmesi ve havalandırılması sağlanır. Bu tür sistemlerin maliyeti en düşük sistemler olduğu için yoğun kullanılmaktadır. Fakat, küflenmeler, böcek, kuş gibi çeşitli hayvanların müdahaleleri ve beklenmedik hava muhalefetleri nedeniyle sistemin dezavantajı çoktur. Bu etkiler nedeniyle verimli ve hijyenik bir kurutma sağlanamamaktadır. Bu nedenle çeşitli kurutucu tipleri meydana gelmiştir (Ekechukwu ve Norton, 1997).

Yapılan iki çalışma Şekil 4.2'deki kurutucu düzeneklerinden “Aktif Dağıtılmış (Dolaylı) Tip” ile “Aktif Kombine Tip” düzenekleri ile aynıdır. Bu nedenle bu iki çeşit kurutucu ile ilgili detay bilgi verilmiştir.

4.1.1 Doğal Sirkülasyonlu (Pasif Tip) Güneş Enerjili Ürün Kurutucular

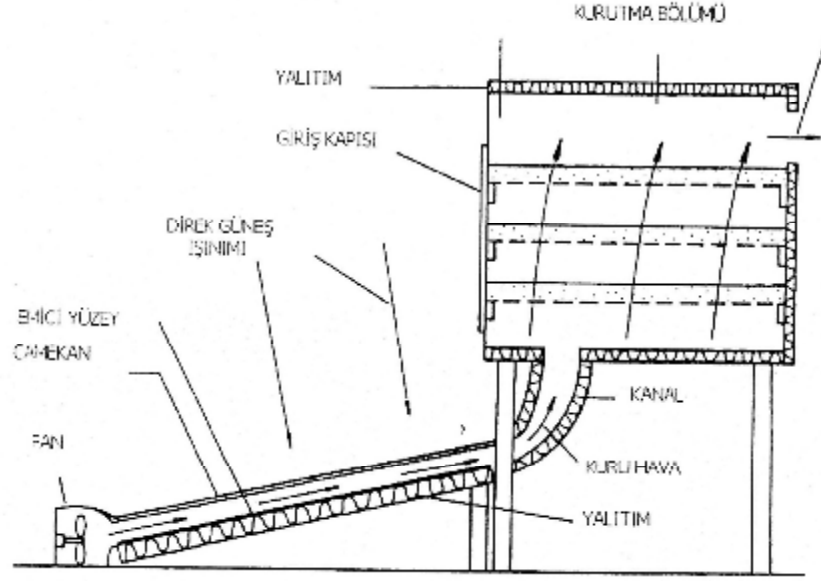
Bu tür sistemlerde güneş ışınlarıyla ısıtılan havanın sirkülasyonu fan kullanılmadan yapay olarak veya doğal olarak rüzgâr basıncının kullanılması veya her ikisinin kombinasyonu ile sağlanmaktadır.

4.1.2 Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

Güneş enerjisinin yanında elektrikli, fosil yakıtlı ısıtma sistemleri ve hava sirkülasyonu için fanlar içerirler. Hibrit güneş enerjili kurutucu olarak da bilinen bu kurutucularda geceleri güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda fosil yakıtlar kullanılarak kurutma işlemi kontrollü bir sıcaklıkta sürdürülebilir. Entegre, dağıtılmış ve kombine tip olarak üç kısma ayrılan bu kurutuculardan çalışma sisteminde kullanılan dağıtılmış ve kombine tip kurutucular ile ilgili detay bilgi verilmiştir.

4.1.2.1 Dağıtılmış Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

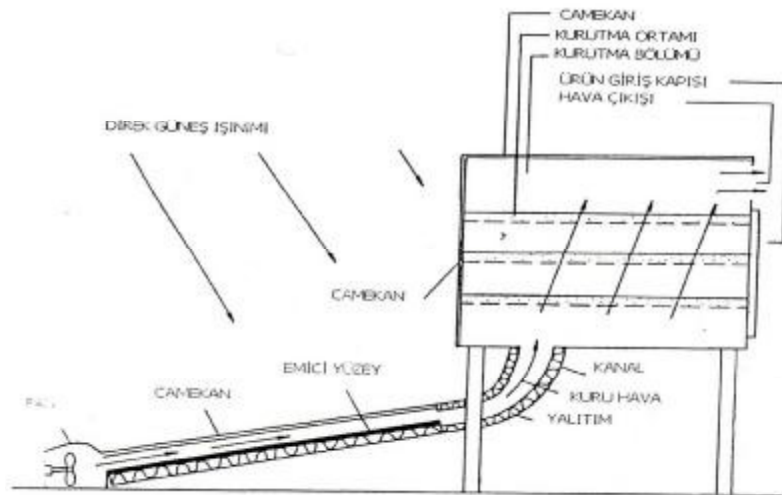
Bu tür kurutma sistemlerinde Şekil 4.11'de görüldüğü gibi kurutma bölümü ve güneş kollektörü ayrılmıştır. Güneş kollektörü içinden bir fan yardımıyla geçirilerek ısıtılan kurutma havası kabin içine gönderilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kabin kapakları güneş ışınımına karşı yalıtımlı olduğundan kurutma üzerinde sadece sıcak havanın etkisi bulunmaktadır.



Şekil 4.11: Dağıtılmış tip aktif güneş enerjili kurutucu (Ekechukwu ve Norton, 1997)

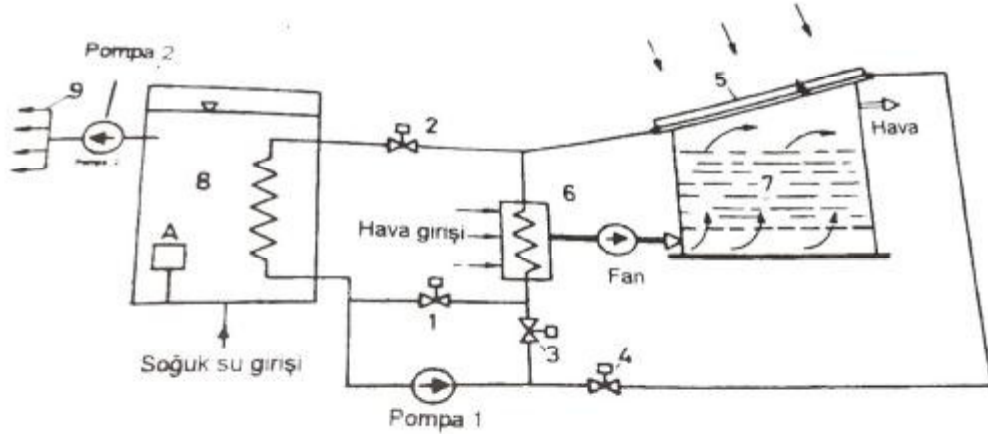
4.1.2.2 Kombine Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

Dağıtılmış tip aktif güneş enerjili kurutuculardan farkı, kabin içinde kurutulan ürünlere güneş ışınımının da etki etmesi sağlanmıştır. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi bir güneş enerjili hava ısıtıcı bölüm, kanallama, ayrı bir kurutma bölümü ve fan içerirler.



Şekil 4.12: Kombine tip aktif güneş enerjili kurutucu (Ekechukwu ve Norton, 1997)

Ekechukwu ve Norton'un aktif ve pasif olarak iki ana başlıkta sınıflandırdığı güneş enerjili kurutucuları Yağcıoğlu üçüncü başlık olarak güneş enerjisi destekli kurutucular sınıflandırması yapmıştır. Bu sınıflandırmada güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kurutuculardan örnek vermiştir (Şekil 4.13) (Yağcıoğlu, 1999).



1,2,3,4:Vana; 5:Toplaç; 6:Isı değiştirici; 7:Kurutulacak ürün; 8:Isı deposu; A:Ek ısıtıcı

Şekil 4.13: Isı pompası ve güneş enerjisiyle ısıtılan ısı depolu güneş enerjisi destekli kurutucu (Yağcıoğlu, 1999).

Şekil 4.13'de görülen sistemde 2 ve 3 numaralı vanalar kapalıyken kurutucu yalnızca toplaçtan (5) elde edilen ısıyla çalışır. Isının depolanması istendiğinde 1 ve 3 numaralı vanalar kapatılarak toplaçta ısıtılan akışkan doğrudan ısı deposundan (8) geçirilerek ısı depodaki suya aktarılır. Kurutma havasının depolanmış ısıdan yararlanılarak ısıtılması istendiğinde 1 ve 4 numaralı vanalar kapatılır. Depodan pompa yardımıyla emilen sıcak su, ısı değiştiriciden (6) geçirilerek yeniden depoya gönderilirken, fan tarafından ısı değiştiriciden geçecek şekilde emilen hava ısıtılarak kurutucuya gönderilir (Yağcıoğlu, 1999).

4.2 Kurutucu Seçimi

Kurutma teknolojileri günden güne gelişerek daha karmaşık bir hale geldikçe, kurutma işlemini yapacak yeterli bilgiye ve tecrübeye sahip olmayan kişiler için kurutacağı ürüne ve kurutma şartlarına en uygun kurutucuyu seçmek gittikçe zorlaşan bir hale gelmiştir. Kurutulacak ürüne ve kurutma koşullarına uygun bir kurutucuyu seçmek oldukça önemlidir. Çünkü, en sağlıklı ve başarılı bir kurutma

işleminin yapılabilmesi için kurutucu seçecek kişinin, piyasada hangi tip kurutucuların bulunduğunu, sisteme rekabetçi olabilecek donanımların neler olduğunu bilmesi kurutma işleminin verimi arttıracak gibi kişiyi piyasada rekabetçi bir konuma getirecektir (Güngör ve Özbalta, 2009).

Kurutulmak istenen ürün ve kurutma işleminin yapılacağı koşullara uygun birden fazla kurutma sistemi yapılacak kurutma işlemi için tercih edilebilir durumda olabilir. Böyle bir durumda mümkün olduğunca çok faktörün değerlendirilmesi bu sayısı en aza indirecektir. Kurutucunun çalışma şartlarındaki değişiklikler ve ürünün karakteristik özellikleri kurutmaya etki edeceği için optimum kalite ve ısı nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını seçmek önemlidir (Güngör ve Özbalta, 2009).

Kurutucuda ürünün taşınması, kurutucu içinde ürünün kalma süresi, ürünün başlangıçtaki durumunun tespiti ve kurutma sonucunda olması gereken durumun belirlenmesi kurutucu seçimi için kritik noktalar olarak görünmektedir (Güngör ve Özbalta, 2009).

Kurutucuların seçilmesi şu adımları takip ederek yapılabilir (Güngör ve Özbalta, 2009);

- Ürünün başlangıç şartlarına (başlangıç nem oranı, kuru madde oranı vb.) ve kurutma işleminin tamamlanacağı son durum şartlarına (kuru ürün nem oranı, fiziksel ve kalite talepleri vb.) uygun olan kurutucuların ön seçimi yapılır.
- Ürün kurutma denemeleri yapılarak optimum kurutma koşulları ve ürün karakteristikleri belirlenir.
- Deneme kurutma sonuçlarına ve verimlilik ile maliyet kıyaslamasına göre belirlenen şartlara göre en uygun kurutucu seçimi yapılır.

Tablo 4.1’de bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri, Tablo 4.2’de de kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjilerin değerleri görülmektedir.

Tablo 4.1: Bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri (Güngör ve Özbalta, 2009)

Malzeme Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süreleri		
		Hafta	Gün	Saat
Meşe Tahtaları	32-52	1-4		
Yumuşak Tahtalar	70-105		2-14	
Tuğlalar	77			30
Kahve	50-72			12-48
Kauçuk	36-60		2-6	
Kabuksuz Hindistan Cevizi	65-92			4-20
Meşin ve Kösele	26-38		2-6	
Meyveler	55-80			6-24
Üzüm	60-65			24
Elma	1.Kademe 70-88 2.Kademe 74			8
Şeftali, Armut	68			24-30
Şerbetçi Otu	50-65			6-12
Sebzeler	50-65			2-18
Havuç	1.Kademe 70 2.Kademe 65			14-24
Mantar	1.Kademe 44 2.Kademe 65			14-24
Soğan	1.Kademe 70-88 2.Kademe 55-60			10-15
Deriler	21-32			2-150
Fırın Boyaları	105-175			1/4-6
Sabun	38-52			12-72
Tütün Yaprakları	29-55			12
Çay Yaprakları (Fanaj veya ilk kurutma)	38			4-8
Çay Yaprakları (Kurutma)	70-110			1-2

Tablo 4.2: Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler (Güngör ve Özbalta, 2009)

Kurutucu Tipleri	MJ/kg Uzaklaştırılan Su
Isı Pompalı Kurutucu	0.5-0.8
Direkt Egzoz Gazları İle Çalışan Kurutucu	3.2-3.8
Hava İle Çalışan Kurutucu 70-110 °C	4.5-5.5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (400 °C)	5-6
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (200 °C)	9-12
<u>Bantlı ve Tünel Kurutucular</u>	
Ters Akışlı Tepsili-Bantlı	8-16
Ters Akışlı Raflı-Tünel	6-16
Arasından Akışlı Tepsili-Bantlı	5-12
Vakumlu Tepsili-Bantlı-Levhalı	3.5-8

Tezin yapımında dağıtılmış ve kombine tip aktif güneş enerjili kurutucu sistemi kullanılmıştır. İki farklı şekilde ısıtılan ortam havası ile elde edilen kurutma havası ve doğrudan ortam havasının kurutma havası olarak kullanıldığı 3 farklı sistem karşılaştırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan güneşe serme yöntemi ile karşılaştırmak için de tel kafes korumalı sergi kullanılmıştır. Dağıtılmış ve kombine tip aktif güneş enerjili kurutucu sistemlerinin kullanılmasının nedenleri, yaygın olarak yapılan güneşe serme yönteminin dezavantajlarının ortadan kaldırmak ve kurutma havasının ısını arttırıp bir fan yardımıyla kurutma kabineine göndererek kurutma süresini kısaltmaktır. Ayrıca kurulan farklı düzenekler sayesinde aynı ortam şartlarında karşılaştırılmaları sağlanmıştır.

5. MEYVELERİN KURUTULMASI VE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER

Meyvelerin kurutulması, içerdikleri yaklaşık %80-95 oranındaki suyun %10-20 oranlarına düşürülmesi anlamına gelmektedir. C vitamini dışında bütün mineraller kuru meyvelerde kurutma işlemi sonrasında korunmaktadır.

Kurutma işlemi uygulanacak meyveler beresiz, çürüksüz ve olgun olmalıdır. Ayrıca, bol olduğu mevsimde kurutulmalıdır.

Meyvelerin kurutulmasında uygulanan ön işlemler ile ilgili detaylı bilgiyi Cemeroglu 2011 yılında yaptığı çalışmada vermiştir. Bu ön işlemler aşağıda belirtilmiştir.

5.1 Meyve Kurutmada Uygulanan Ön İşlemler

Dilimleme-doğrama, ayıklama, kabuk soyma gibi meyvelerin kurutulmasında uygulanan ön işlemler meyveye göre değişmektedir. Ayrıca, elma gibi ürünler için haşlama, erik, üzüm gibi ürünler için alkali çözeltilisine daldırma, kayısı, şeftali, elma, üzüm gibi ürünler için kükürtleme gibi işlemler de uygulanmaktadır.

5.1.1 Yıkama

Toz, toprak gibi ürün üzerindeki yabancı maddeleri gidermek, tarımsal ilaç kalıntılarını uzaklaştırmak amacıyla yıkama ön işlemi uygulanır.

5.1.2 Ayıklama

Çürük, ezik veya fazla olgun ürünlerin elle veya bant üzerinde ilerlerken ayrıştırılması işlemidir.

5.1.3 Sınıflandırma

Ürünün boyutuna, rengine, olgunluğuna, muhafaza yöntemine veya özelliğine göre ayrıştırılmasıdır. Homojen bir kurutma işlemi yapılabilmesi için uygulanan ön işlemdir.

5.1.4 Sap Koparma

Ürünlerin kolay ambalajlanarak verimli muhafaza edilebilmesi ve tamamen tüketilebilir hale gelebilmesi sapları ayrıştırılmalıdır. Ayıklama işlemi gibi ürün bant üzerinde ilerlerken yapılabildiği gibi bu işlem için tasarlanmış makineler ile de yapılabilmektedir.

5.1.5 Çekirdek Çıkarma

Kurutulan ürünün tüketime hazır halde olması ve tamamının tüketilebilmesi için uygulanan ön işlemlerden biri de çekirdek çıkarma faaliyetidir. Çekirdeğin olması birim hacme düşen miktarı etkilediği için kuru ürün için bir kalite göstergesidir. Çekirdek çıkarma faaliyeti de elle (elma, armut, ayva, şeftali, kayısı gibi) ve makine ile (vişne, erik, kiraz gibi) yapılabilmektedir.

5.1.6 Kabuk Soyma

Ürünün istenmeyen ve yenilemeyecek kısımlarının alınması için kabuk soyma faaliyeti yapılır. Enginar, greyfurt, kuşkonmaz, portakal gibi ürünler elle, domates, şeftali gibi ürünler özel tasarlanmış makinelerde buharla, kırmızı biber ve patlıcan özel tasarlanmış makinelerde alevle, şeftali gibi ürünler sıcak suyla, domates dondurarak, elma, armut, patates gibi ürünler yine özel tasarlanmış makinelerde dönen bıçak, törpü gibi mekanik yollarla kabuk soyma faaliyeti yapılabilmektedir. Ayrıca, şeftali, domates, portakal greyfurt gibi ürünlerde NaOH çözeltisi, kostikli çözelti gibi kimyasal bileşiklerle de kabuk soyma faaliyeti yapılabilmektedir.

5.1.7 Doğrama

Kurutulacak ürünlerin 5x5 mm, 10x10 mm, 5 mm şerit gibi belirli şekillerde, muhafaza edilme şekline hazır halde dilimlenmesi faaliyetidir. Doğrama faaliyeti elle ve özel tasarlanmış makineler ile yapılabilmektedir.

5.1.8 Haşlama

Buhar, sıcak su, mikrodalgalar ile özel tasarlanmış makinelerde genellikle sebzelerin kurutulmasında kullanılan ön işlemdir. Bazı durumlarda elmalara uygulanabilmektedir.

5.1.9 Bandırma veya Zeytinyağlı Alkali Çözeltisi

Üzerinde mumsu tabaka bulunan üzüm, erik, armut, elma, vişne gibi meyvelerin kurutulmasında uygulanan ön işlemdir. Geçmişte odun külü uygulanırken, artık yerini potasyum karbonat (K_2CO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) gibi alkali çözeltiler almıştır. Bu ön işlem üzümün üzerindeki mumsu tabakayı gidermenin yanında rengini korumak amacıyla kullanılır.

Çalışmada potasyum karbonat çözeltisine daldırma ön işlemi uygulanmıştır. Bu çözeltiliye potasa denilmektedir. Potasa çözeltisi %5-6 K_2CO_3 ile elde edilir. Daldırmaya uygun emülsiyon oluşturmak için bu çözeltiliye %0.5 zeytinyağı ilave edilmelidir.

Üzüm kurutma işleminde yoğun olarak kullanılan bu ön işlemin amacı;

- Üzüm üzerindeki mumsu tabaka yapısının bozulmasını sağlamak,
- Polifenol oksidaz enziminin faaliyetini yavaşlatmak, yani esmerleşmeyi önlemek
- K_2CO_3 nemin havaya geçmesini kolaylaştırır (Oktar, 2014).

5.1.10 Kükürtleme

Kurutma işleminde ürünün nem düzeyi enzimlerin çalışmasını engelleyecek noktada değilse, enzimatik reaksiyonların devam etmemesi için hem koruyucu hem de antioksidant madde olan kükürt dioksit (SO₂) kullanılır. Buna kükürtleme işlemi denir. Bu işlem kurutmadan önce, kurutma sırasında ve kurutmadan sonra yapılabilmektedir. Üzümler kurutmadan sonra tekrar kükürtlenirler.

Uygulanan kükürt bileşikleri çözelti olarak uygulanan sülfid ve bisülfid tuzları, gaz olarak uygulanan SO₂ gazı ve diğeri de toz kükürttür. Yoğun olarak ülkemizde kullanılan yöntem SO₂ gazının bulunduğu bir ortamda belli bir süre ile ürünün tutulması şeklinde uygulanan kükürtleme faaliyetidir. Kükürtleme faaliyeti çözelti ile yapılacaksa, ürünler bu çözeltiliye daldırılır ya da ürünlerin üzerine hazırlanan çözelti püskürtülerek kükürtleme yapılır.

5.2 Meyvelerin Kuruma Hızına Etkileyen Unsurlar

Meyvelerin kuruma hızına etki eden noktalar aşağıda belirtilmiştir (Yağcıoğlu, 1999).

- Kuruma hızı, kurutulmakta olan ürünün kendinden gelen özelliklerin yanı sıra, kurutma ortamının özelliklerine de yakından bağlıdır. Çünkü, ürünün iç yapısına bağlı olanları kontrol etmek mümkün değildir. Ancak, kuruma hızını etkileyen dış etkenleri, isteğimize uygun duruma getirecek şekilde düzenleme olanağı vardır.
- Kurutulan meyvelerde, ürüne ait özellikler ve bunların arasında özellikle kimyasal yapı, kuruma hızı açısından özel bir öneme sahiptir. Örneğin, şeker, tuz vb. erimiş küçük moleküllü maddelerce zengin olan ürünlerin kuruması, bu tür unsurlarca fakir olanlara göre daha zor olmaktadır.
- Isı ve kütle iletim hızını artıracak her etki, kuruma hızının da artmasını sağlar.

- Konveksiyonla ısı iletim katsayısının büyüklüğü, kurutma havasının bu ürün üzerinden akış hızına da bağlıdır. Akış hızı arttıkça, ısı iletimi de iyileşir ve kuruma hızı artar.
- Isı iletim hızı, iletilen yüzey büyüdükçe artar. Yüzeyin artırılması amacıyla, ürünün daha ufak parçalara ayrılması (doğrama, parçalama, damlacık şeklinde püskürtme vb.) veya kurutma havası ile daha fazla alanının temasa gelmesi (akışkan yatak, püskürtmeli ve havayla püskürtmeli kurutma vb.) sağlanmaya çalışılır. Ürünün daha ufak parçalara ayrılması çoğu ürünlerde uygulanmadığından kurutma havasının ürünün daha fazla yüzeyine temas etmesi kurutma işlemini hızlandıracaktır.
- Kurumanın hızının arttırılması, ürün yüzey sıcaklığının yükseltilmesi ve/veya kurutma havası nem içeriğinin azaltılmasıyla mümkün olabilir.
- Ürünün yüzey sıcaklığı artırıldığında, buharlaşma da artmaktadır. Bu nedenle, konveksiyonla kurutmaya ek olarak, materyal yüzeylerinin kızılötesi ışınım yardımıyla ısıtılması, kurutma hızının, yalnızca konveksiyon yöntemle kurutmaya göre 1.5-2 kat artmasını sağlayabilmektedir.
- Ortam basıncı, suyun buharlaşma sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç azaldıkça (vakum arttıkça), suyun buharlaşma sıcaklığı da azalmaktadır.

6. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi kampüs alanı içinde bulunan, 37° 46' kuzey enlemi, 29° 06' doğu boylamı arasında yer alan Temiz Enerji Evi'nde (Şekil 6.1) gerçekleştirilmiştir.



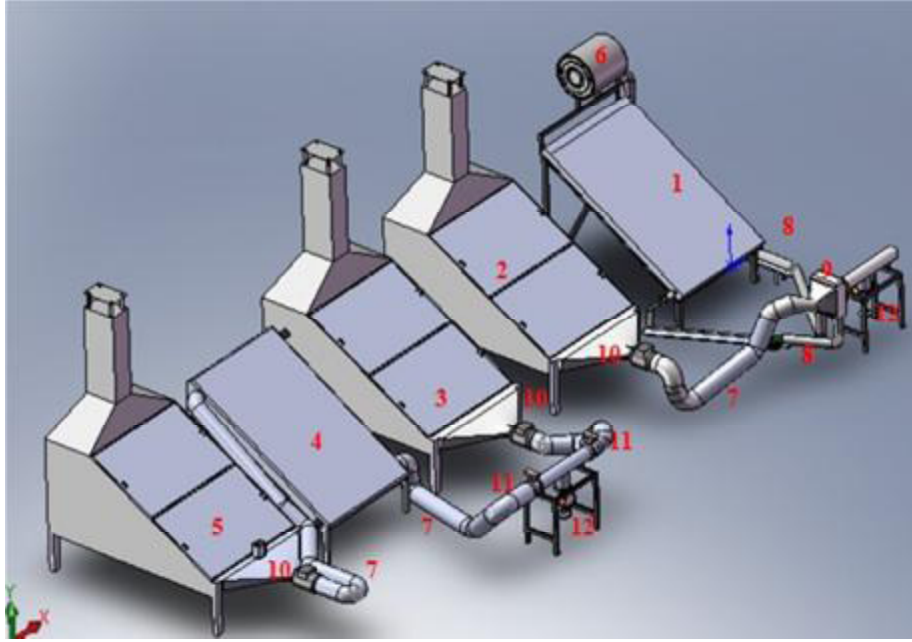
Şekil 6.1: Temiz Enerji Evi

Şekil 6.2'deki sistem, tüm bağlantıları ile aktif hale getirilip bilgisayar ortamında izlenebilir kılınmıştır. Sulu ve havalı güneş enerjisi sistemi, çalışmanın yapıldığı Denizli ilinin enlemine uygun olarak 45° sabit açı ile montajlanmıştır.



Şekil 6.2: Çalışma düzeneğinin görünüşü

Çalışma düzeneğinin üç boyutlu modellenmesi SolidWorks 2007 ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.3). Düzenekte kullanılan ekipmanlar; sulu güneş kollektörü (1), kurutma kabinleri (2, 3, 5), havalı güneş kollektörü (4), sulu kollektör için su deposu (6), kurutma havası taşıyıcı izoleli borular (7), sulu güneş kollektörü su taşıyıcı izoleli borular (8), serpantinli eşanjör (9), fanlar (10), manuel kontrol vanaları (11), kurutma havası için debi ölçer (12)'dir.



Şekil 6.3: Çalışma düzeneği modelinin soldan görünüşü

Çalışma düzeneğinde 3 adet kurutma kabini ve 1 adet üstü tel korumalı kurutma sehpası bulunmaktadır. Kabinlerden biri sulu kollektör, diğer ikisi havalı kollektör ile çalışmaktadır. Sulu kolektör ile çalışan; güneş ışınlarıyla ısıtılan suyun, bir sirkülasyon pompası yardımı ile ısı eşanjöründen geçirilerek ortam havasının ısıtılmasını sağlamakta ve ısıtılan havanın kabin içindeki rafların üzerine gönderilmesiyle kurutma yapmaktadır. Havalı kolektör bulunan kabinler ise iki adet vana yardımıyla birbirinden ayrılmıştır. Bu sayede kabinlerden biri yalnızca ortam havasının raflar üzerine gönderilmesiyle, diğeri ise havalı kolektörden geçirilerek güneş ışınlarıyla ısıtılan havanın raflar üzerine gönderilmesiyle kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sayede üç kabinde üç farklı yöntemle kurutma sistemi gözlenebilmektedir. Eş zamanlı yapılan kurutma işleminde kurutma sehpası ile de yaygın olarak kullanılan yere serme yöntemi ile karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 6.4: Çalışma düzeneğindeki kurutma kabininin iç görünüşü

Kullanılan kurutma kabinlerinde kontrollü bir bölge oluşturabilmek için Elimko ölçüm cihazları kullanılmıştır. Kurutma kabinleri içerisine gönderilen kurutma havasının sıcaklık ve nem değerleri için, her bir kabinin girişinde, kabin içinde ve bacasında olmak üzere üç kabin için toplam dokuz adet sıcaklık ve nem ölçer (Elimko, E-RHT-10 0-2-0-2-0-2) kullanılmıştır (Şekil 6.4’de 1 ile işaretlenmiştir). Her 3 kabinde de alt, orta ve üst olmak üzere 3’er adet üzüm kurutma rafı bulunmaktadır (Şekil 6.4’de 2 ile işaretlenmiştir).

Sulu kollektör sisteminde sirküle edilen kurutma havasını ısıtma suyunun, sıcaklık ve basınç değerleri için iki adet sıcaklık ölçer termokuple (Elimko, ± 0.1 °C < 100 °C) ve iki adet basınç ölçer (WIKA, A-10, ± 0.01 bar < 1 bar) transmitter (sulu kollektörün çıkışında ve sulu kollektörün girişinde) kullanılmıştır (Şekil 6.5). Sulu kollektör sisteminde sirküle edilen, kurutma havasını ısıtma suyunun debi değerleri

için bir adet su sayacı (Teksan, DK, $\pm 0.1 \text{ m}^3$) (sulu kollektörün çıkışında, sirkülasyon pompasından hemen sonra) kullanılmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5: Sulu kollektör çıkışında (serpantinli eşanjör girişinde) bulunan sirkülasyon pompası, su sayacı, basınç transmitteri ve termokupl

Sulu kollektör sistemindeki sirkülasyon pompasının (Welko, LRS 25 - 6S) devri de kendi üzerinden müdahaleye müsaade ettiği 3 farklı çalışma basıncı (3m, 5m ve 6m) ile kontrol edilmiştir (Şekil 6.5).

Sistemden alınacak veriler Datalogger (Elimko, E680) (Şekil 6.6) üzerinden anlık okunması sağlanmıştır.



Şekil 6.6: Datalogger

Ayrıca, kabin hava emiş kanallarının başlarına montajlanan debi ölçerler (Kobold, BGN-S, $\pm 0.1 \text{ m}^3/\text{h}$) ile (Şekil 6.7) kabinlere gönderilen kurutma havasının debisi yine anlık görülebilmektedir. Bu sayede kurutma kabinleri tamamen kontrol edilebilir ve veri toplanabilir hale gelmiştir.



Şekil 6.7: Hava için debi ölçer

Çalışma düzeneğinde, kabin girişlerindeki fanlar ile sulu kollektör hattındaki sirkülasyon pompasının kontrolü, kontrol panosundan (Şekil 6.8) yapılmaktadır.



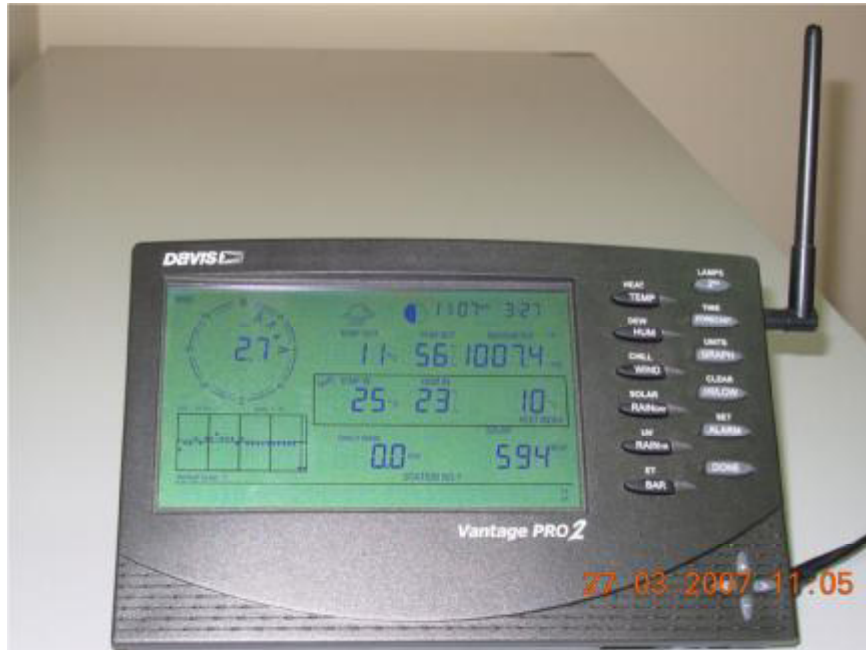
Şekil 6.8: Kontrol panosu

Kurutma kabinleri içerisine gönderilen kurutma havası debisi, kabinlerin girişinde bulunan fanların (Vortice, Lineo 100 VO) (Şekil 6.9) hız kontrolleri yardımıyla kontrol edilmiştir.



Şekil 6.9: Kurutma kabin fanı

Temiz Enerji Evi çatısı üzerine montajlanan Meteoroloji İstasyonu ve ev içine yerleştirilen iç ünite (Şekil 6.10) ile iç-dış hava sıcaklığı, iç-dış nem değerleri, rüzgâr hızı, güneş ışınım değeri gibi karakteristik veriler ölçülüp bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır.



Şekil 6.10: Uydu istasyonu bilgisayar ile birlikte

Burada asıl amaçlanan; şartlandırılmış hava ile çevre havasının, kurutma üstündeki farklı etkilerini görebilmektir.

Deneyler Eylül ve Ekim aylarında olmak üzere 2 kez yapılmıştır. Üzümler de deneylerin yapılacağı dönemlerde 2 kez Güney İlçesi'nin Cindere Mahallesi'nden hasat edilerek bekletilmeden deneye tabi tutulmuştur. İlk kurutma deneyi kabinin camı üzerinde bulunan kapaklar kapatılarak, sadece kurutma havasının kabin içine gönderilmesi ile yapılmıştır. İkinci deneyde ise kabin camı üzerindeki kapaklar alınarak kurutmaya güneş ışınımının da etki etmesi sağlanmıştır. Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak kabinler ve kabin tepsileri yıkanarak temizlenmiştir. Kurutulacak üzümlerin yarısına uygulanacak ön işlem olan potasa çözeltisi (%5 K₂CO₃ - %0.5 zeytinyağ) hazırlanmıştır (İsmail, 2005). Çözelti hazırlamak için temiz bir kaba 1 litre çeşme suyu koyulmuştur. İçine 50 gram potasyum karbonat (K₂CO₃) ve 5 mililitre zeytinyağ ilave edilerek zeytinyağ yüzeyde belirginliğini kaybedinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra kurutulacak üzümlerin yarısı potasa çözeltisine 50 saniye süreyle bandırılmıştır (İsmail, 2005). Düzenekteki rafların ve serginin sağ yarısına potasa çözeltisine bandırılmış üzümler, diğer sol yarısına da potasa çözeltisine bandırılmamış üzümler yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.11). Üzümlerin raflara ve sergiye yerleştirilmesi 16 kg/m² olacak şekilde yapılmıştır (Yaldız vd. 2000). Her raftan 2'şer adet ön işlem uygulanmış ve 2'şer adet ön işlem uygulanmamış numuneler belirlenerek ilk ağırlıkları ölçülerek deneye başlanmıştır.



Şekil 6.11: Kabin raflarına üzümün yerleştirilmesi

Üzümün içerdiği nem ve kuru madde miktarının tespiti için, belirlenen numunelerin ilk ağırlıkları ölçülerek, etüvde (Memmert marka) 40°C sıcaklıkta tam olarak kurutulmuştur (Şekil 6.12).



Şekil 6.12: Etüv (Memmert marka)

Kurutulduktan sonra üzümün kuru madde ağırlıkları ölçülmüş ve ortalama 0.35 gram olarak kabul edilmiştir.

İlk nem oranı %84 ve kuru madde ağırlığı 0.35 gram olarak belirlenerek kabul edilen üzümler için %12-15 nem oranındaki ağırlığı hesaplanarak bu hedef ağırlığa kadar kurutma işlemine devam edilmiştir (Yağcıoğlu, 1999) (Şekil 6.13).



Şekil 6.13: Hassas terazi

Kurutma işlemi 08:00 ile 18:00 saatleri arasında yapılmış ve her 2 saatte bir belirlenen numunelerin ağırlık ölçümleri yapılarak, hava sıcaklığı ve güneş ışınımına göre kütle kaybı takibi yapılmıştır.

7. SONUÇLAR

Kabin güneşlenme kapakları kapalı ve açık olarak ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış üzümlerin kurutulması ile yapılan deneylerde her bir kurutma kabininde ve sergide elde edilen verilerle üzümlerin nem oranı (MR) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan nem oranı (MR) verilerinin logaritması alınarak elde edilen verilerle $\ln(\text{MR})$ 'nin zamana (t) bağlı grafiği çizilerek efektif nem difüzyonu (D_{eff}) (3.7) denklemi ile hesaplanmıştır (Şahin, 2016). Kurutma işleminde üzümlerin başlangıç çapları ölçülerek 16.5 mm ve geometrik şekilleri de küre şeklinde kabul edilerek üzümün geometrik çap eşitliği denklem (7.1) ile hesaplanmıştır (Xanthopoulos ve ark., 2009). Kurutma süresince üzümlerde büzülme olduğu kabul edilerek büzülme faktörü denklem (7.2) ile hesaplanmıştır (Azzouz ve ark., 2002).

$$d_e = \sqrt[3]{d_x d_y d_z} = \sqrt[3]{d^3} \quad (7.1)$$

$$R_v = 0.79 \frac{\bar{X}}{X_i} + 0.22 \quad (7.2)$$

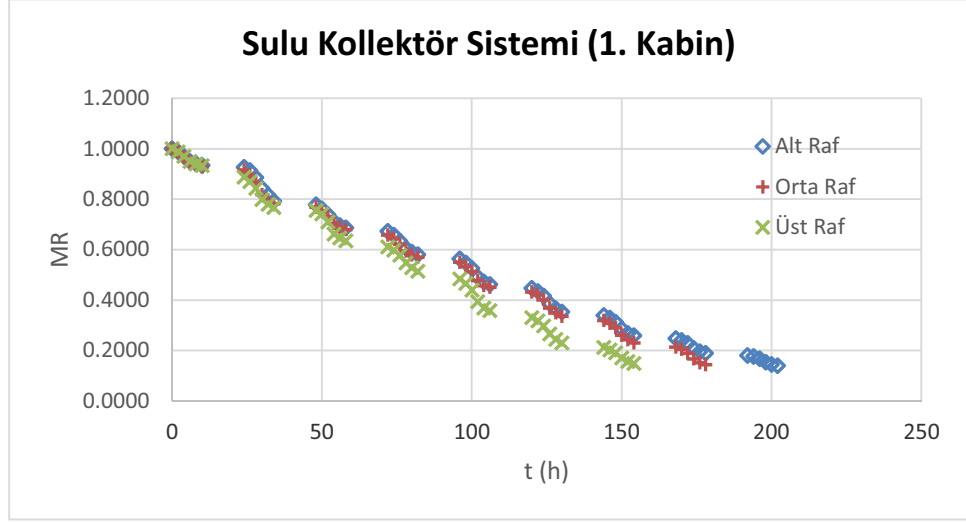
$\bar{X} = M_{\text{ortalama}}$: Ürünün başlangıçtan o ana kadar nem içeriğinin ortalaması,

$X_i = M_0$: Ürünün başlangıçtaki nem içeriği,

Eşitlik (7.1) ve (7.2) kullanılarak (3.7)'deki denklem yardımıyla hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısının (D_{eff}) nem içeriğine ($M_{\text{ortalama}} / M_0$) bağlı değişimleri kurutma kabinlerine ve sergiye göre ayrı ayrı belirtilmiştir.

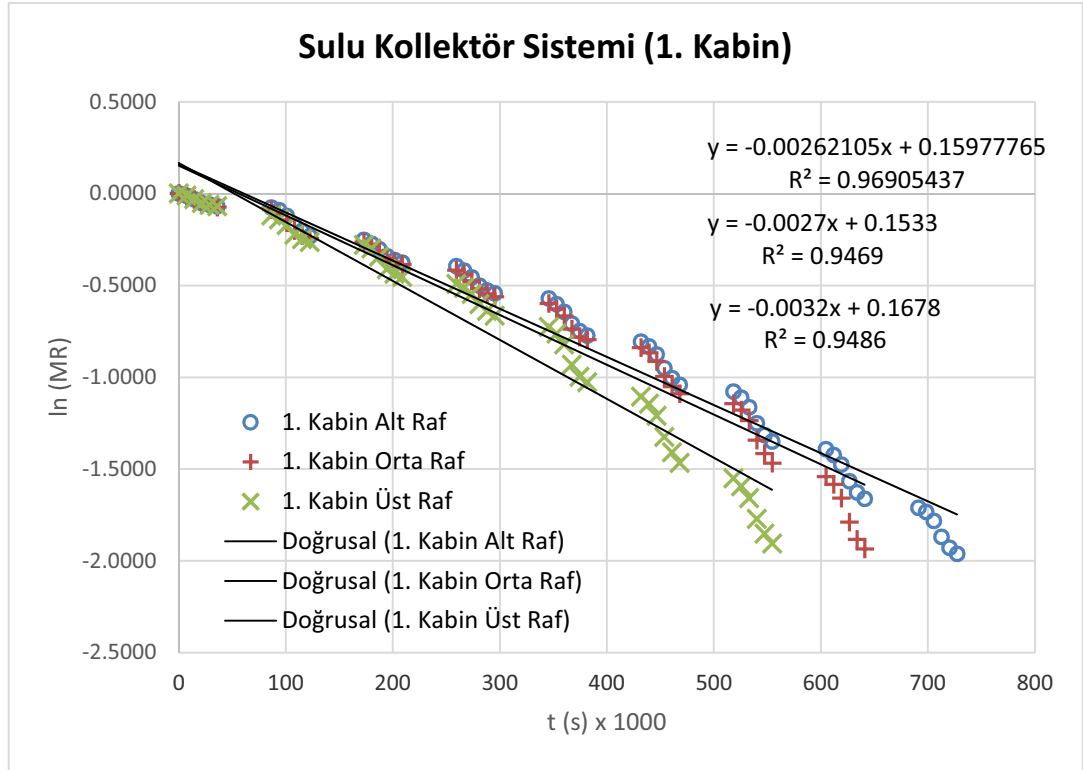
7.1 Kabin Güneşlenme Kapakları Kapalı Pozisyonda Potasaya Bandırılmış Üzümlerin Kurutma Kinetiklerinin Karşılaştırılması

Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda olarak yapılan ilk kurutma deneyinde, sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümlerin zamana bağlı nem oranı değişim grafiği Şekil 7.1'deki gibidir. Buna göre kabin içinde üst rafta bulunan üzümlerin kuruma sürelerinin daha kısa olduğu söylenebilir.



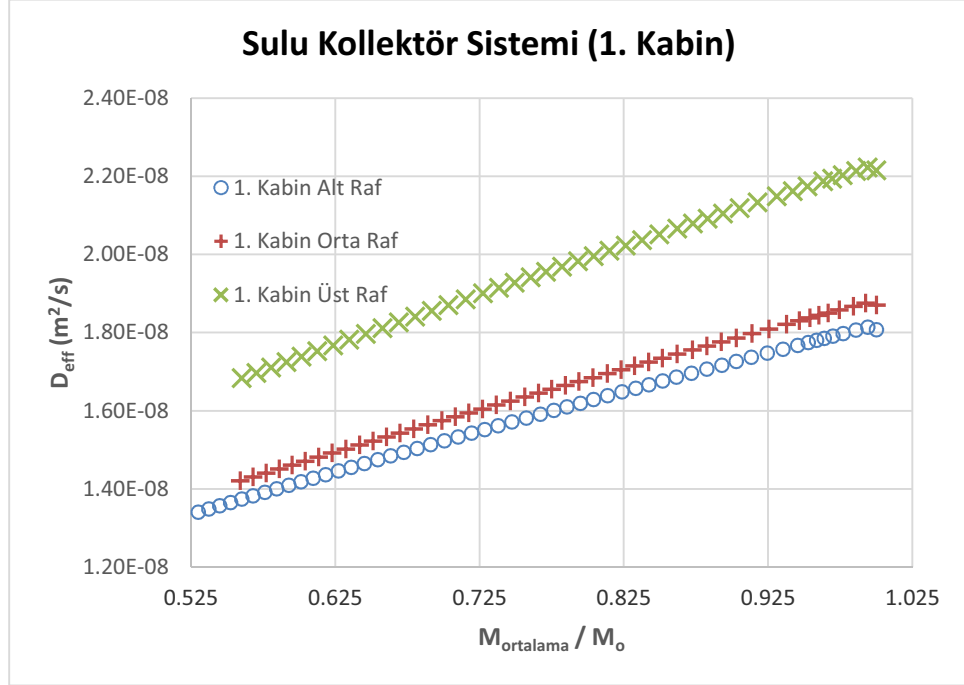
Şekil 7.1: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim

Şekil 7.2’de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin alt rafta $2.621 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.969$), orta rafta $2.712 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.947$) ve üst rafta $3.212 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.949$) olduğu tespit edilmiştir.



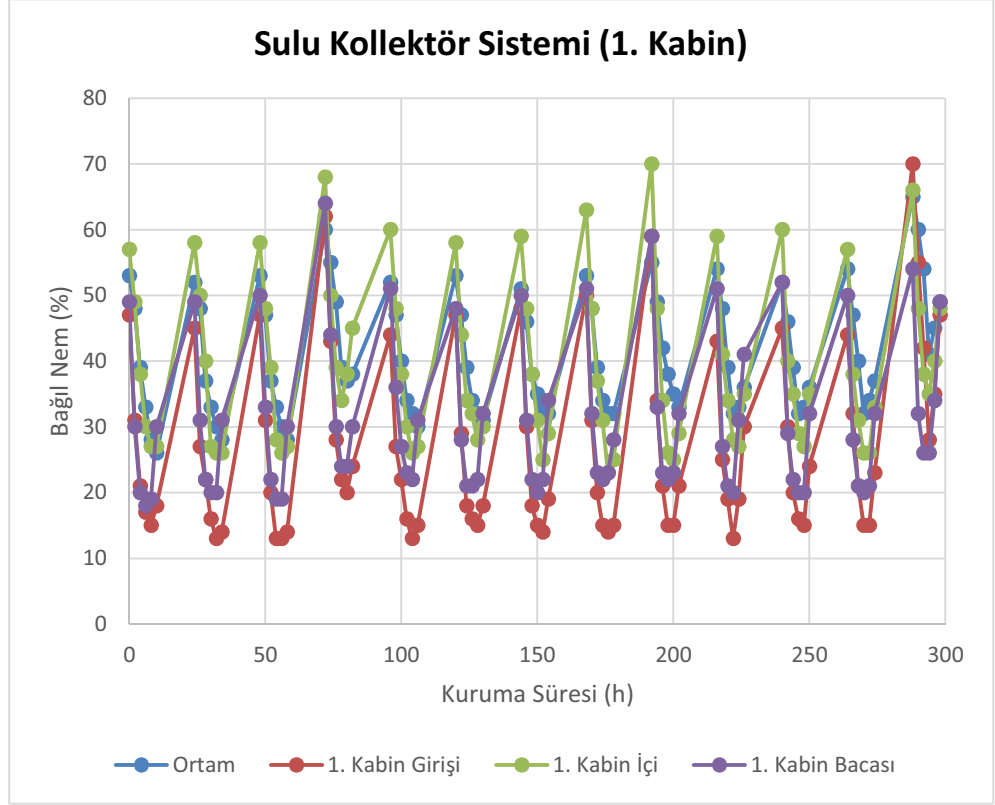
Şekil 7.2: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.3’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve kabin girişinden bacaya doğru raflarda efektif nem difüzyon katsayısının arttığı söylenebilir.



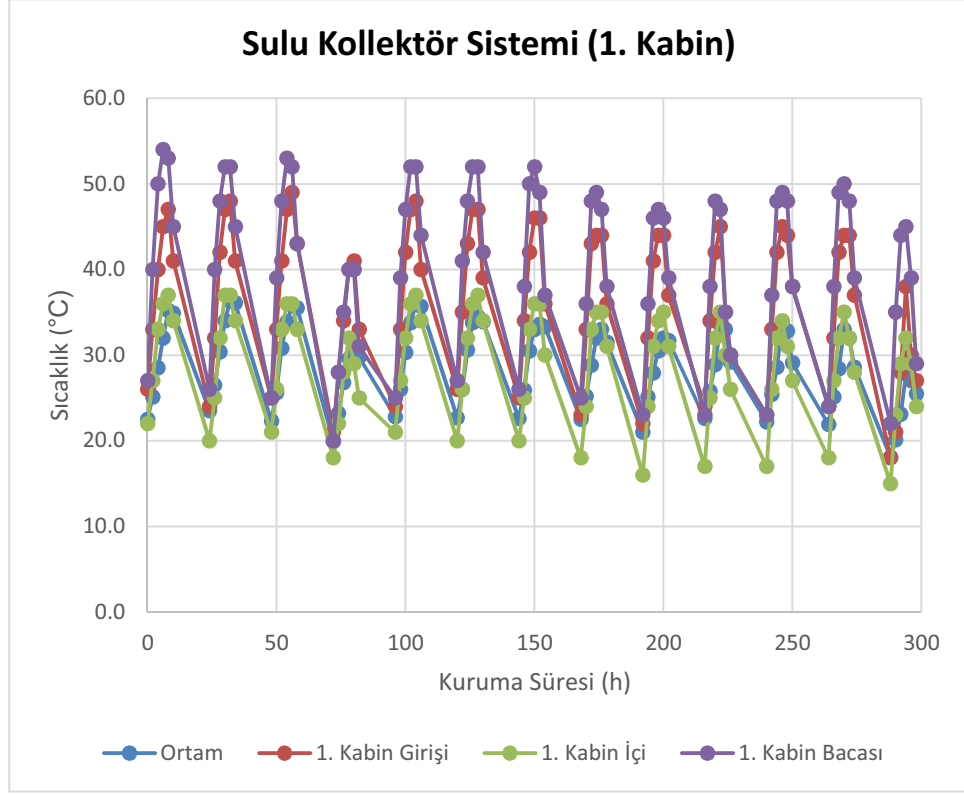
Şekil 7.3: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasya bandırlanmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.4’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde bağıl nem değerlerinin düşerek birbirine yakın olduğu ve kabin girişinde daha düşük değerlerin, kabin içinde kurutma işlemine bağlı olarak daha yüksek değerlerin olduğu tespit edilmiştir. Alt raftan orta ve üst rafa göre kurutma havası hızının kabin kesitinin artması nedeniyle azalması kaynaklı daha hızlı kurutmanın yapıldığı ve buna bağlı kabin içi nem değerinin giriş ve bacaya göre daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.



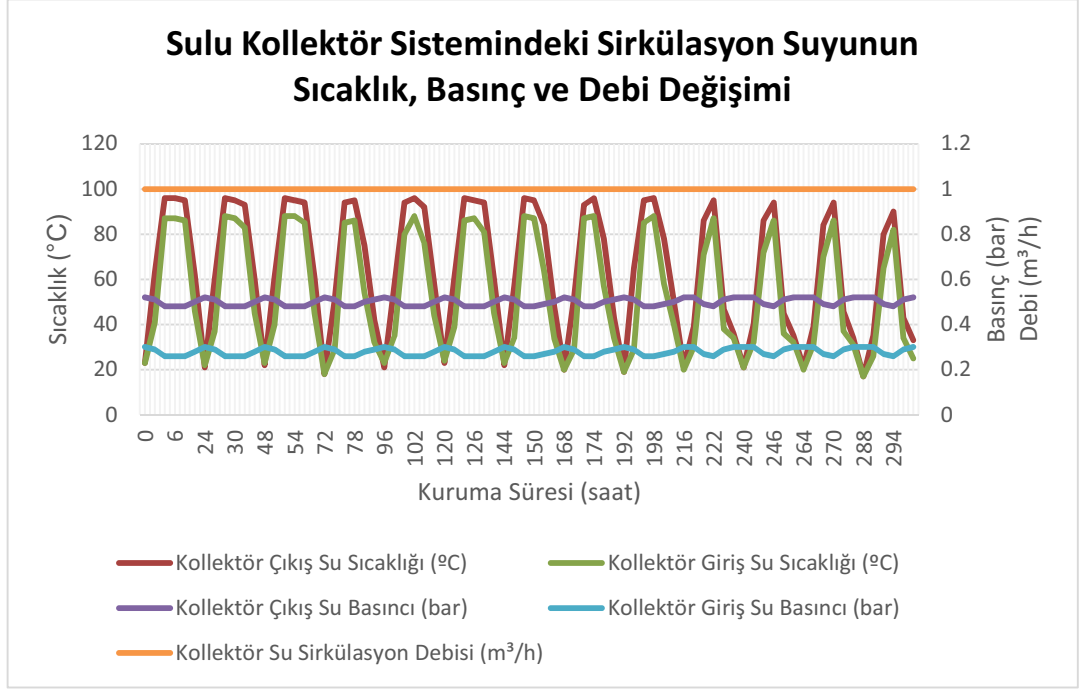
Şekil 7.4: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.5’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde daha yüksek sıcaklıktaki kurutma havasının kabin içinde kurutma işleminin etkisi ile bağıl nemin artmanı nedeniyle sıcaklığının düştüğü ve bacada tekrar yükseldiği tespit edilmiştir.



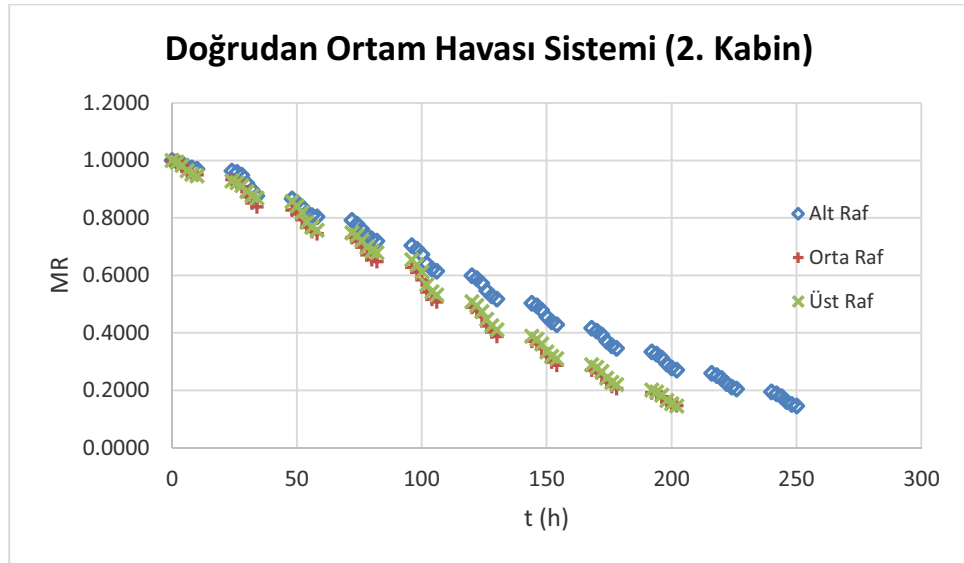
Şekil 7.5: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi

Şekil 7.6'da 1. kabinde kurutma havasını ısıtmak için kullanılan sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Kurutma işleminin gerçekleştiği saatlerde kollektör giriş ve çıkış sıcaklık değerleri arasındaki 8-10 °C sıcaklık farkını kurutma havasına aktardığı ve kurutma işlemi süresince ortam hava koşullarında kritik bir değişim olmaması nedeniyle bu durumun değişmediği tespit edilmiştir.



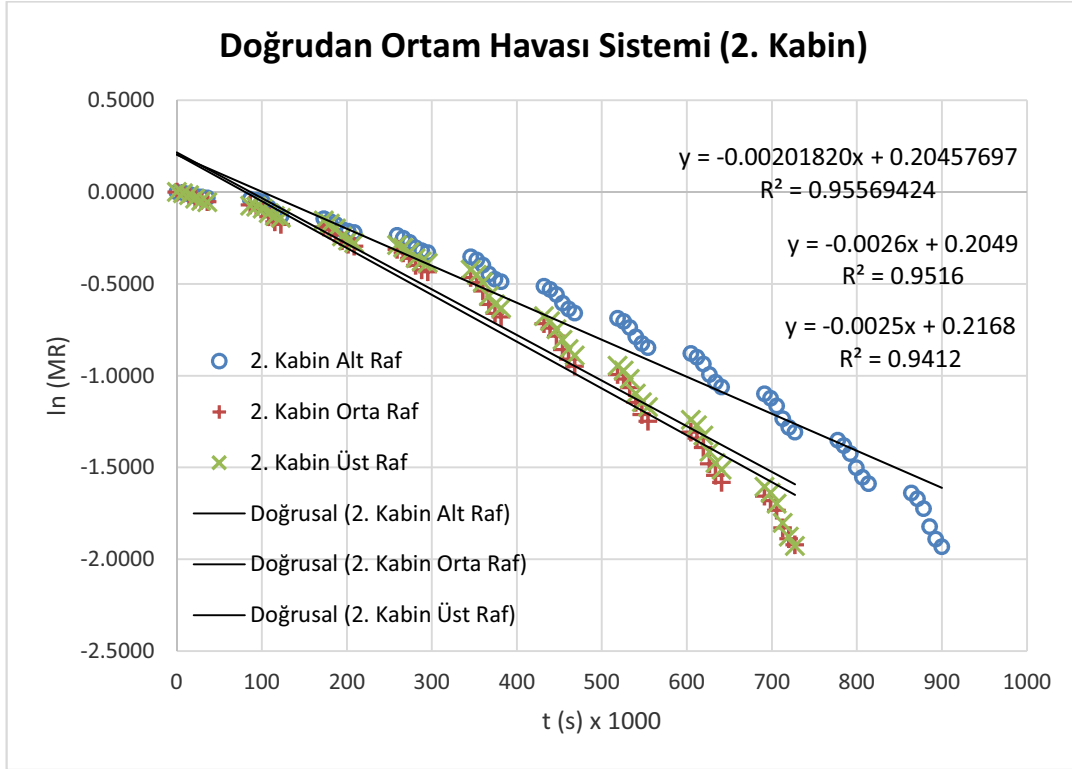
Şekil 7.6: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sulu güneş kollektörü sistemindeki sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değişimi

2. kabin olan doğrudan ortam havasının kurutma havası olarak kullanıldığı kurutma kabininde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranı değişim grafiği Şekil 7.7'deki gibidir. Buna göre kabin içinde orta ve üst rafta bulunan üzümün kuruma sürelerinin daha kısa olduğu söylenebilir.



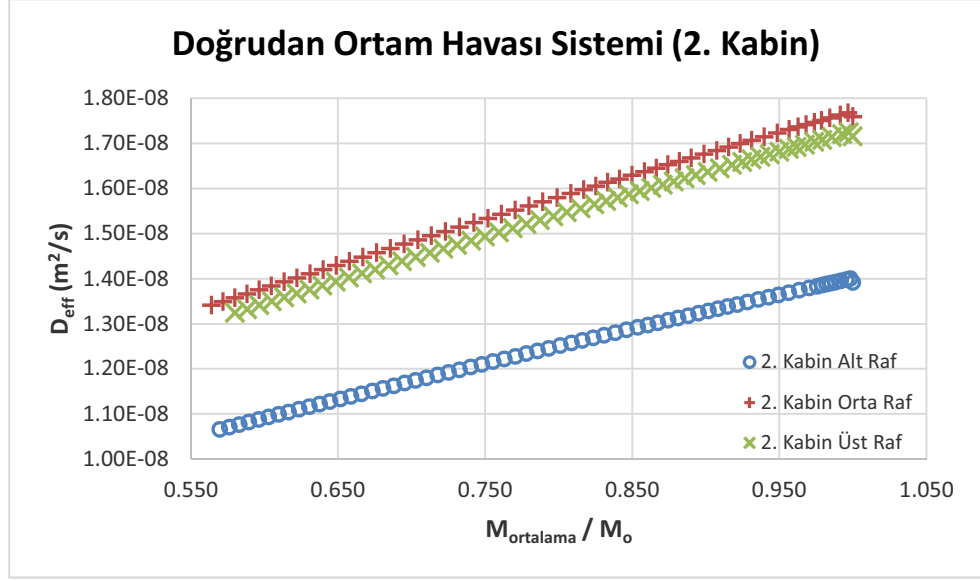
Şekil 7.7: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim

Şekil 7.8’de doğrudan ortam havası sisteminde $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin alt rafta $2.018 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.956$), orta rafta $2.551 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.952$) ve üst rafta $2.487 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.941$) olduğu tespit edilmiştir.



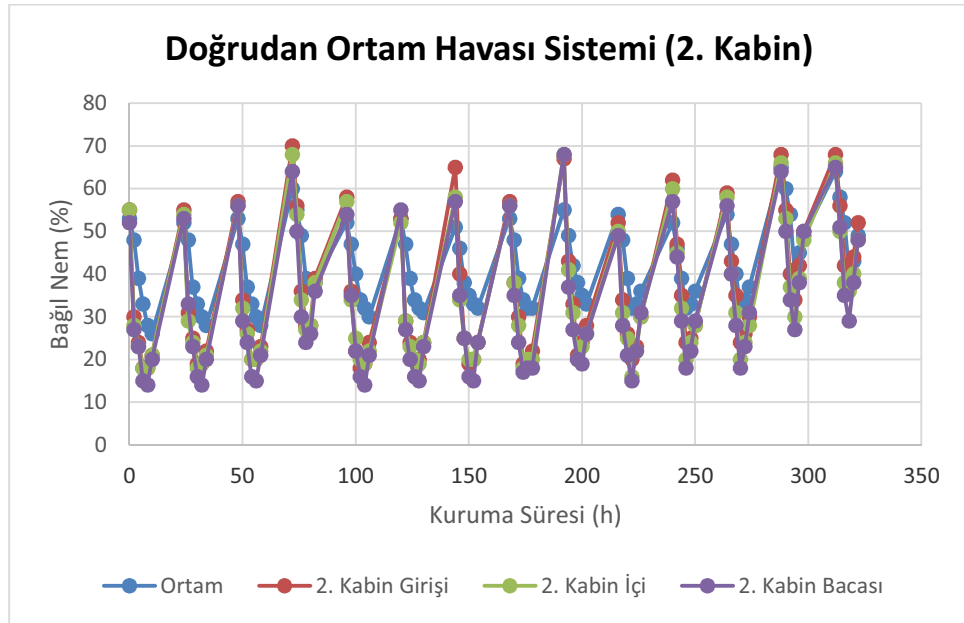
Şekil 7.8: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasya bandırlanmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.9’da kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve orta raf ile üst rafta efektif nem difüzyon katsayısı birbirine yakın olmasına rağmen alt rafta daha düşük olduğu söylenebilir.



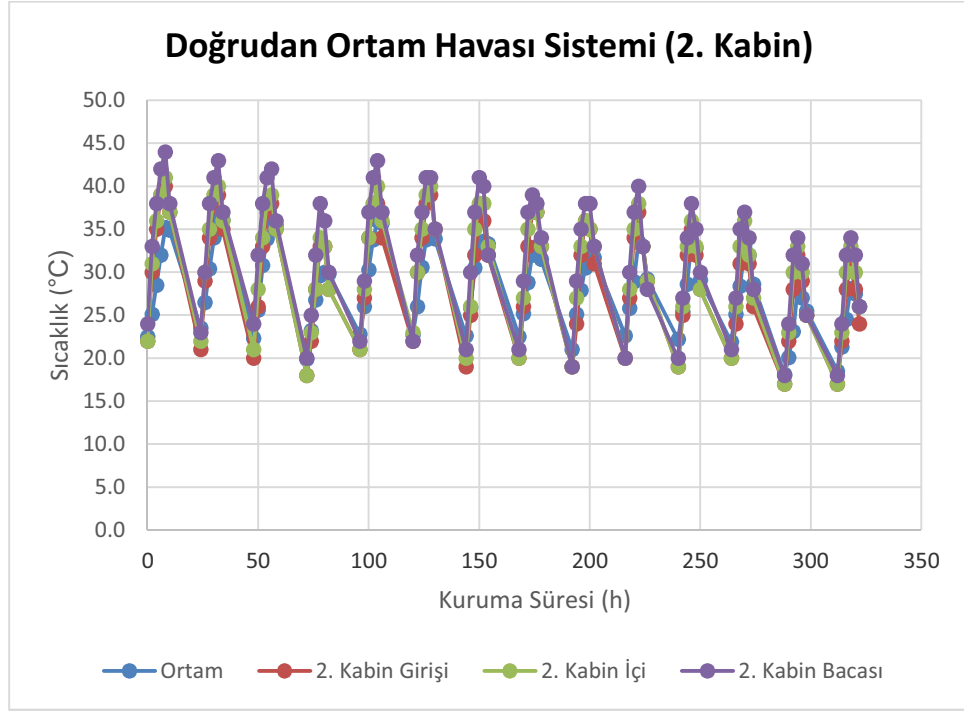
Şekil 7.9: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.10’da kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde orta ve üst rafta alt rafa göre daha hızlı kuruma olmasına rağmen kabin içi bağıl nem değerlerinin hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir.



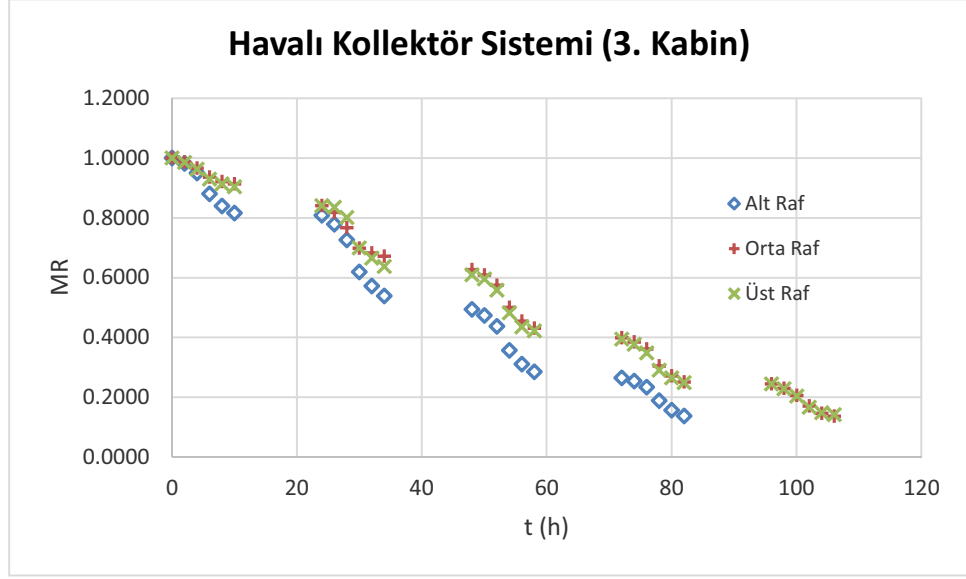
Şekil 7.10: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.11’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin içindeki kurutma havası sıcaklığının bağıl nem gibi hemen hemen birbirine yakın ve ortam havasından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



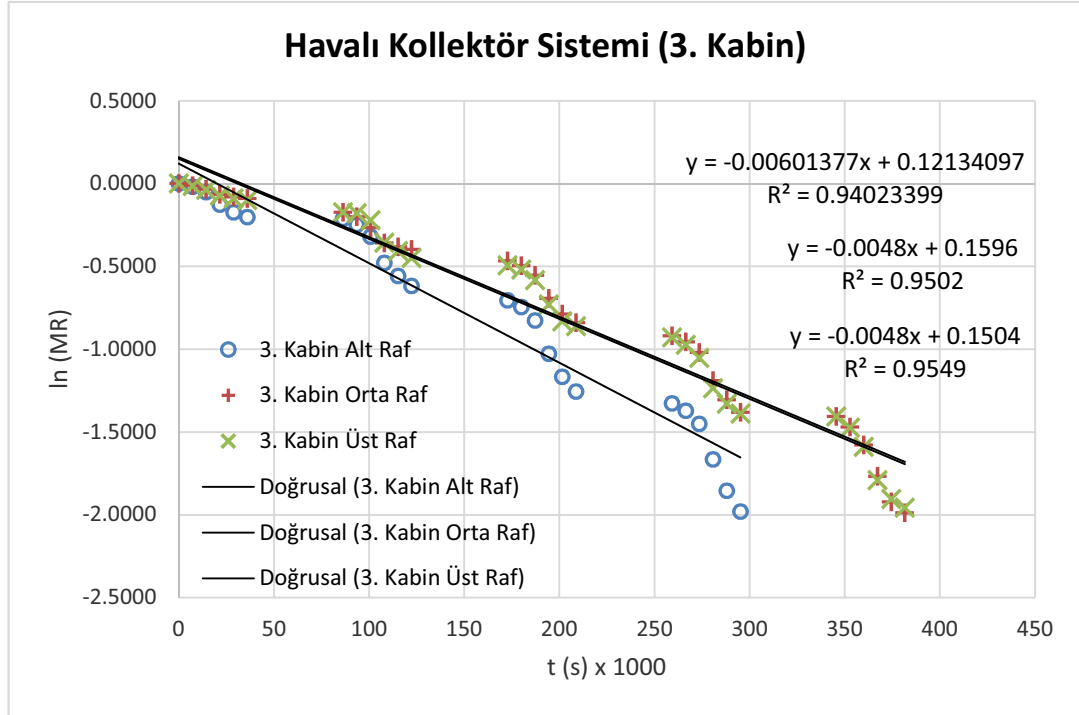
Şekil 7.11: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin sıcaklık değişimi

3. kabin olan havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranı değişim grafiği Şekil 7.12’deki gibidir. Buna göre kabin içinde alt rafta bulunan üzümün kuruma sürelerinin daha kısa, orta ve üst rafta bulunan üzümün kuruma sürelerinin hemen hemen aynı ve daha uzun olduğu söylenebilir.



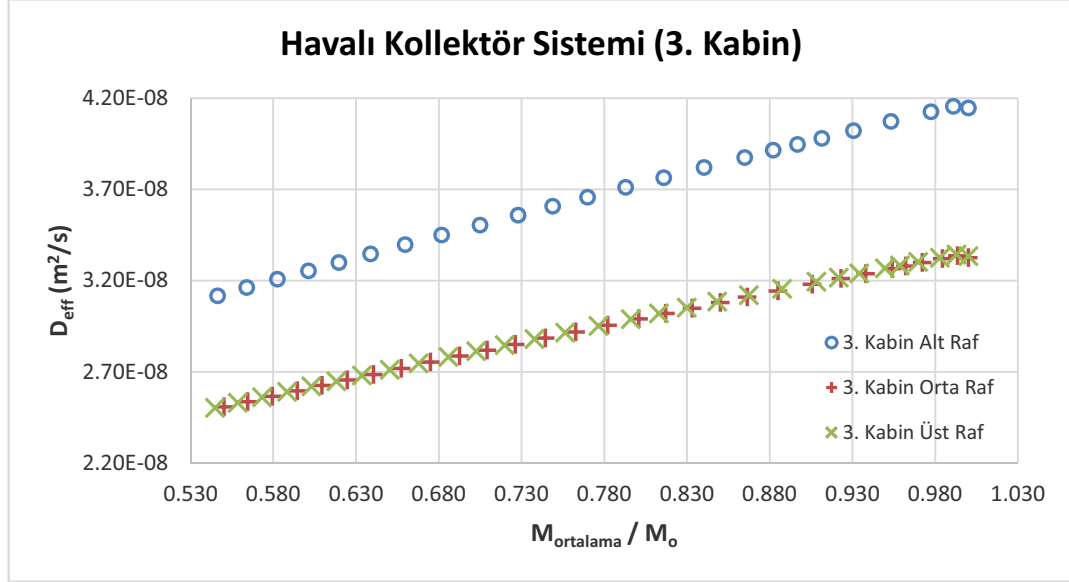
Şekil 7.12: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim

Şekil 7.13’de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin alt rafta $6.014 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.940$), orta rafta $4.821 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.950$) ve üst rafta $4.834 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.955$) olduğu tespit edilmiştir.



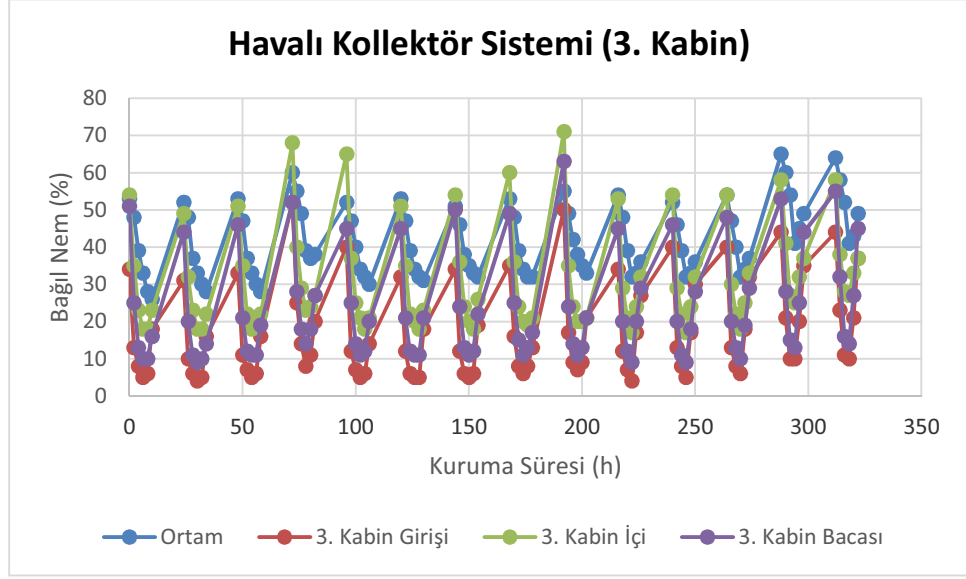
Şekil 7.13: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.14’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve orta raf ile üst rafta hemen hemen eşit olduğu ama alt rafta efektif nem difüzyon katsayısının daha yüksek olduğu söylenebilir.



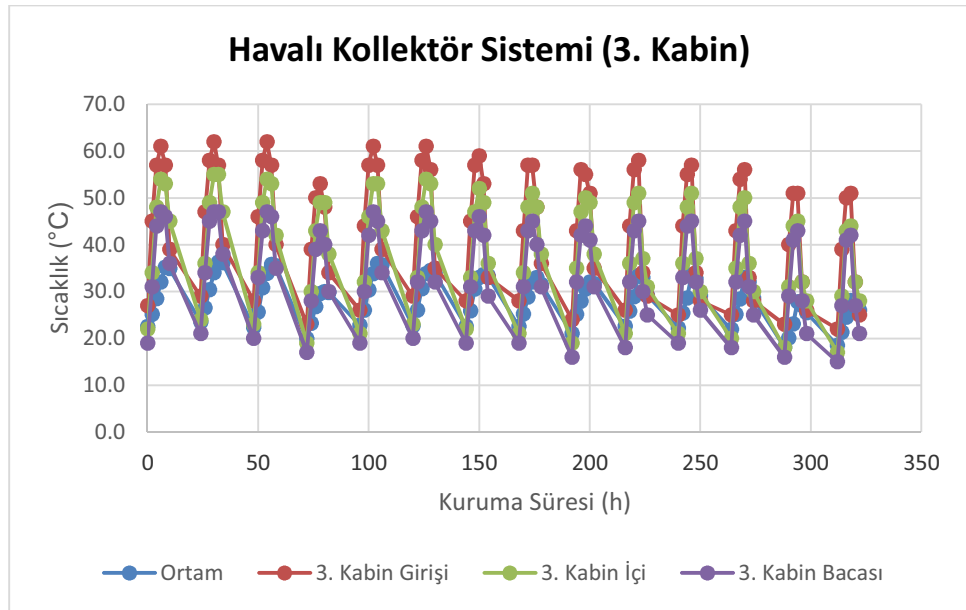
Şekil 7.14: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.15’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde ve bacasında bağıl nem değerlerinin birbirine yakın ve daha düşük değerlerin olduğu, kabin içinde kurutma işlemine bağlı olarak daha yüksek değerlerin olduğu tespit edilmiştir.



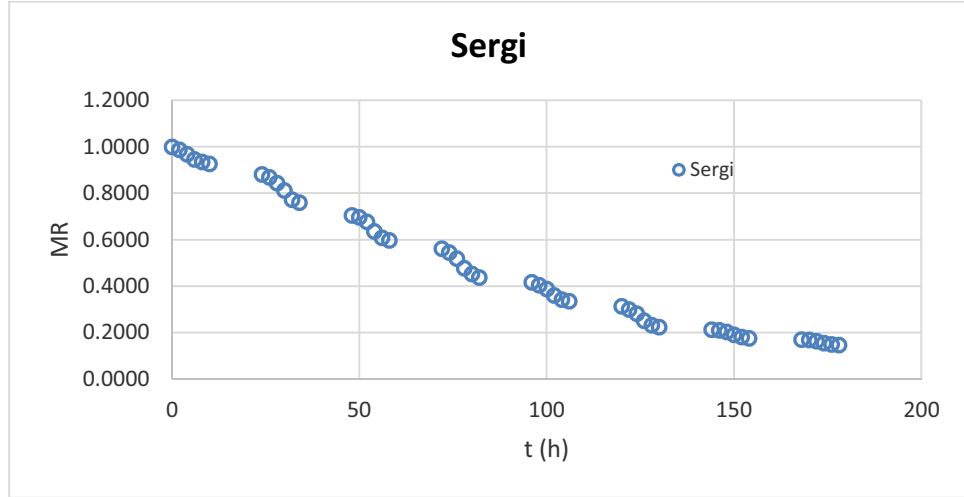
Şekil 7.15: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.16’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde daha yüksek sıcaklıktaki kurutma havasının kabin içinde kurutma işleminin etkisi ile sıcaklığının düştüğü ve bacada daha düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.



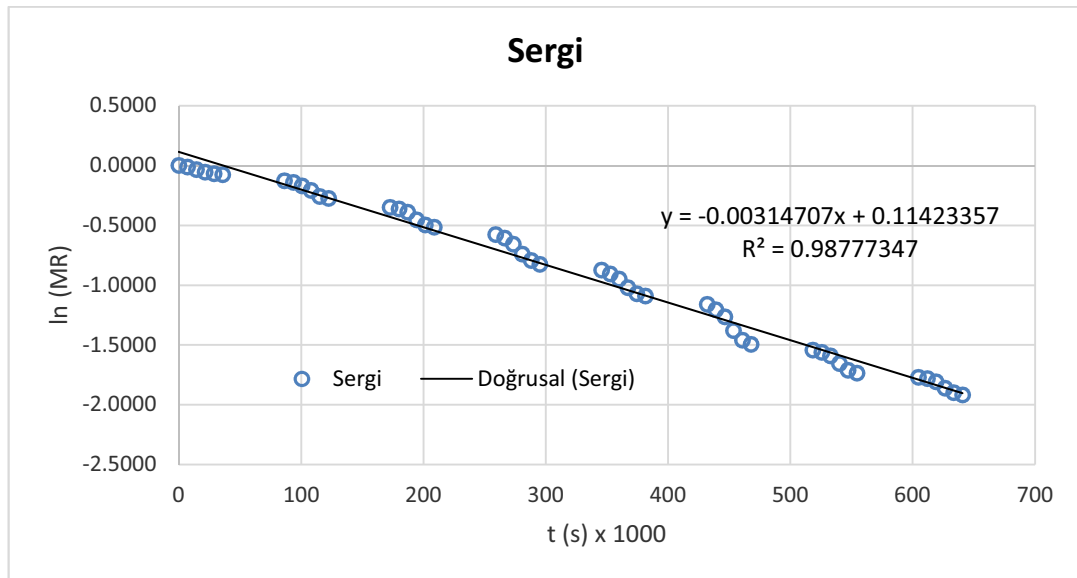
Şekil 7.16: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi

Aynı zaman diliminde sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranı değişim grafiği Şekil 7.17'deki gibidir. Kuruma süresi doğrudan ortam havası sisteminden daha az, sulu kollektör sistemi ile aynı zamanda, havalı kollektör sisteminden daha geç olarak gerçekleşmiştir.



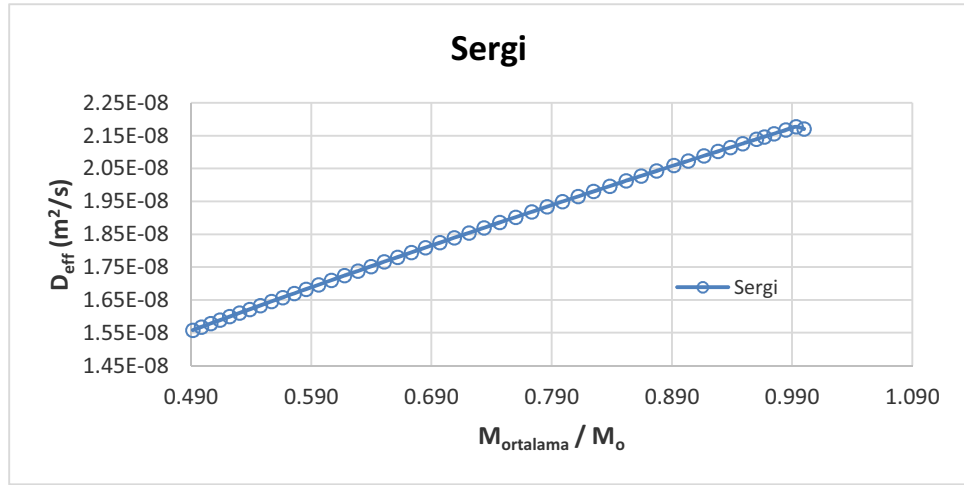
Şekil 7.17: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki değişim

Şekil 7.18'de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin sergide $3.147 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.988$) olduğu tespit edilmiştir.



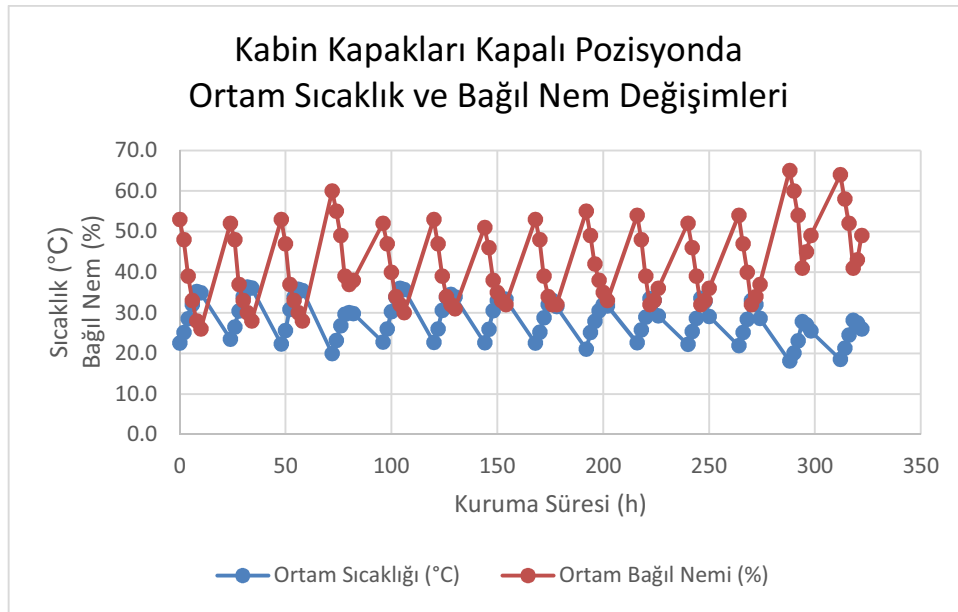
Şekil 7.18: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.19’da kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve 1.56×10^{-8} - 2.17×10^{-8} arasında olduğu söylenebilir.



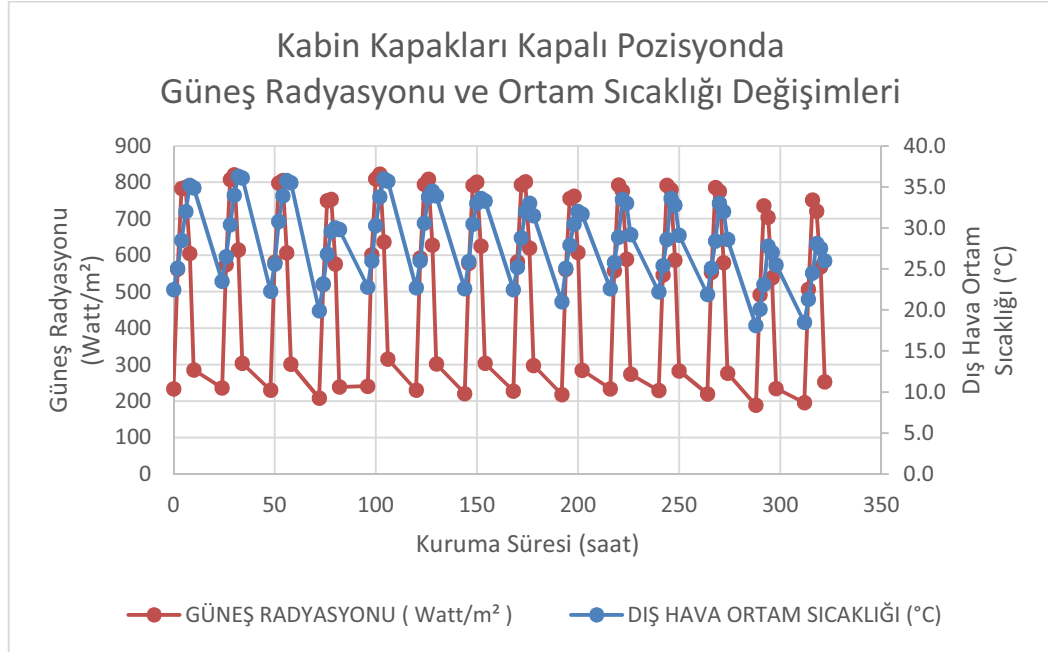
Şekil 7.19: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda sergi sisteminde potasya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.20’de yapılan birinci deney süresince elde edilen ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin değişim grafiği verilmiştir. Kurutma süresince meteorolojik koşullarda kritik bir değişim olmadığından deney üzerinde bir etkisinin oluşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.20: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda dış ortam sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Şekil 7.21’de ortam sıcaklığı ile güneş radyasyonu değişimleri verilmiştir. Güneş radyasyonu değerinin deney süresince 200-800 W/m² değeri arasında olduğu görülmüştür. Kurutma süresince meteorolojik koşullarda kritik bir değişim olmadığından deney üzerinde bir etkisinin oluşmadığı tespit edilmiştir.

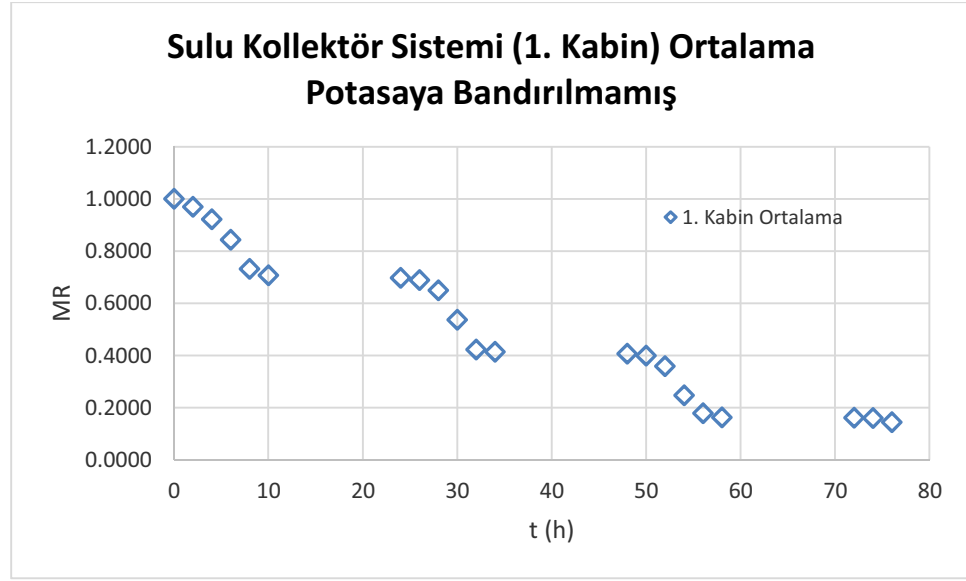


Şekil 7.21: Kabin güneşlenme kapakları kapalı pozisyonda dış ortam sıcaklık ve güneş radyasyonu değişimi

Yapılan iki deneyin ilkinde kabin cam kapakları kapalı pozisyonda kuruma süresi; potasa çözeltilisine bandırılmamış üzümün, sulu kollektör sisteminde, doğrudan ortam havasının verildiği sistemde ve sergide 250-298 saat iken, havalı kollektör sisteminde 130-154 saat olduğu; potasa çözeltilisine bandırılmış üzümün ise, doğrudan ortam havasının verildiği sistemde 202-250 saat iken, sulu kollektör sisteminde ve sergide 154-202 saat, havalı kollektör sisteminde 82-106 saat olduğu görülmüştür. Üzümün potasa çözeltilisine bandırılması aynı ortam koşullarında doğrudan ortam havası ve havalı kollektör sisteminde 2 gün, sulu kollektör sisteminde 4 gün, sergide de 5 gün daha erken kurumasını sağladığı görülmüştür.

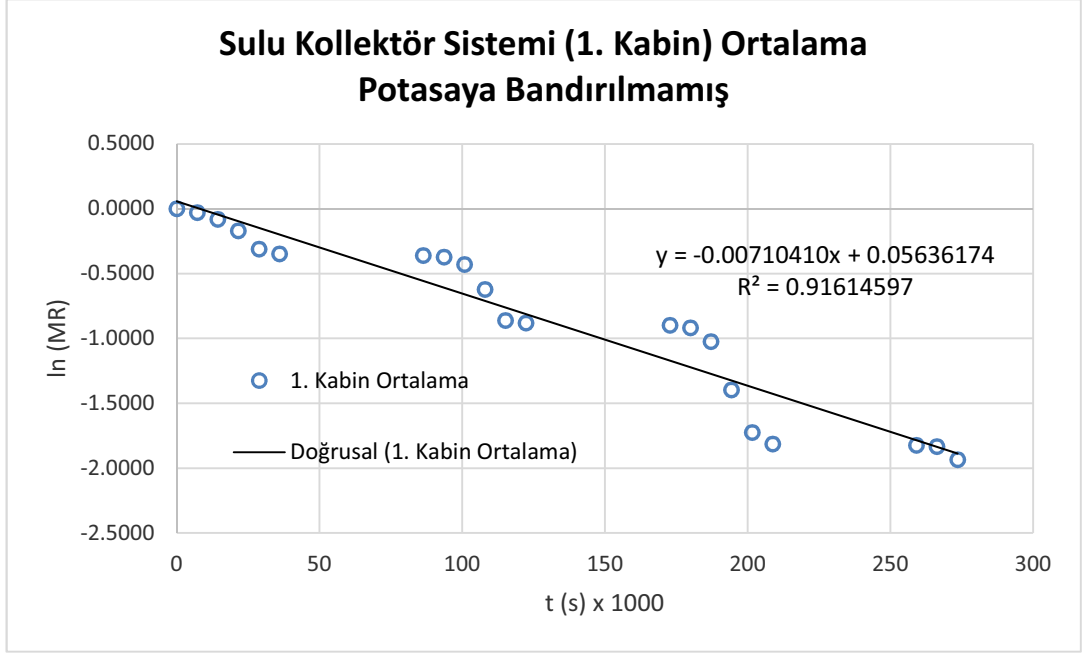
7.2 Kabin Güneşlenme Kapakları Açık Pozisyonda Üzümlerin Kurutma Kinetiklerinin Karşılaştırılması

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda olarak yapılan ikinci kurutma deneyinde, sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün zamana bağlı nem oranının değişim grafiği Şekil 7.22'deki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



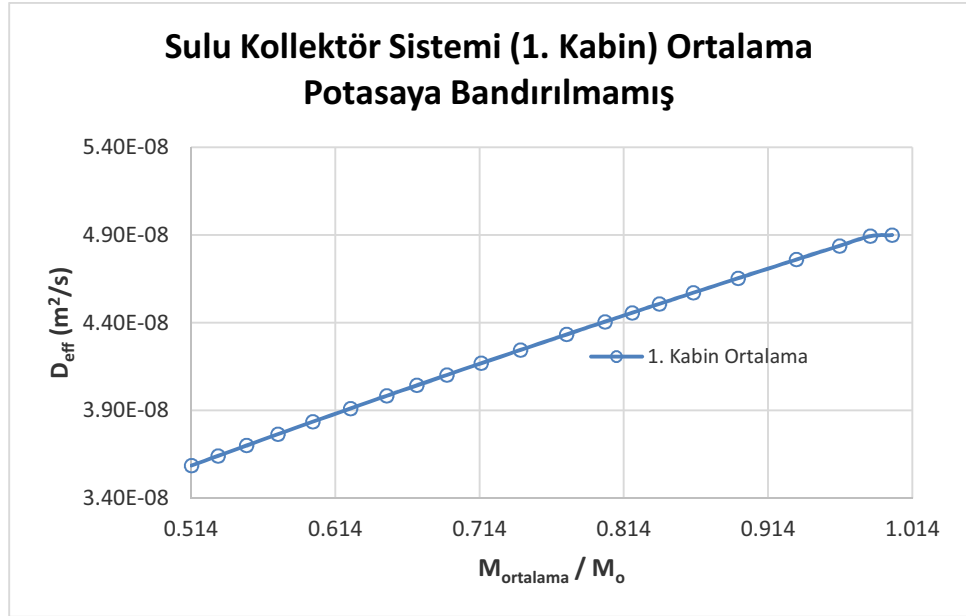
Şekil 7.22: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.23'de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $7.104 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.916$) olduğu tespit edilmiştir.



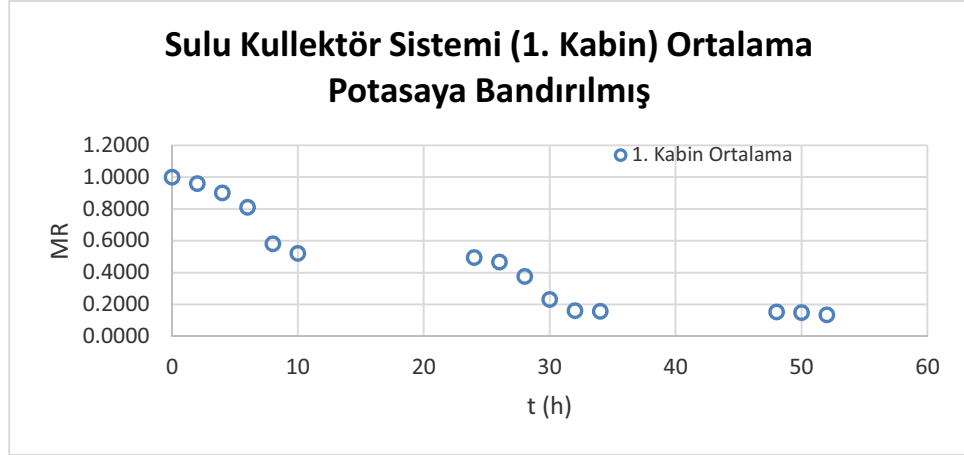
Şekil 7.23: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.24’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 3.59×10^{-8} - 4.90×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



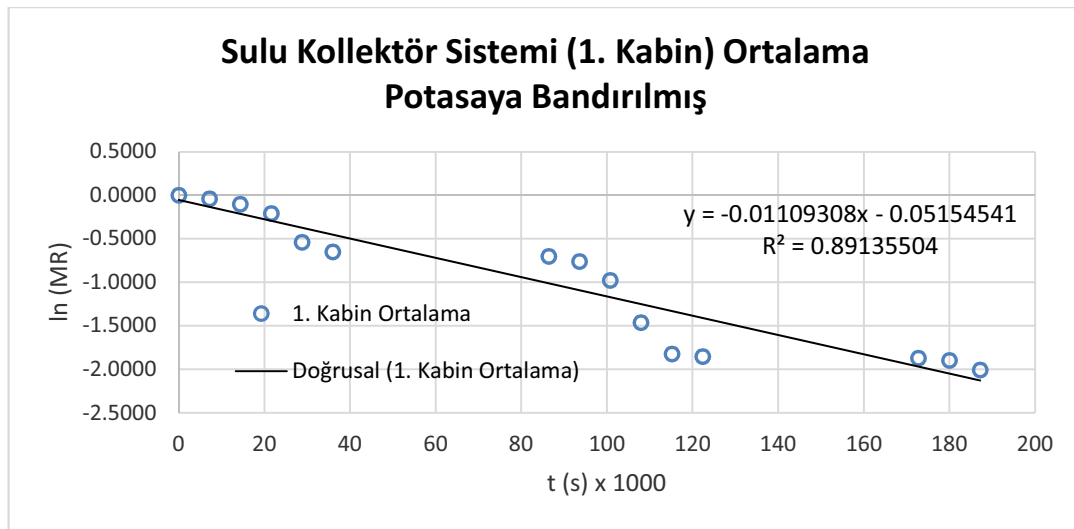
Şekil 7.24: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranının ortalama değişim grafiği Şekil 7.25'deki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



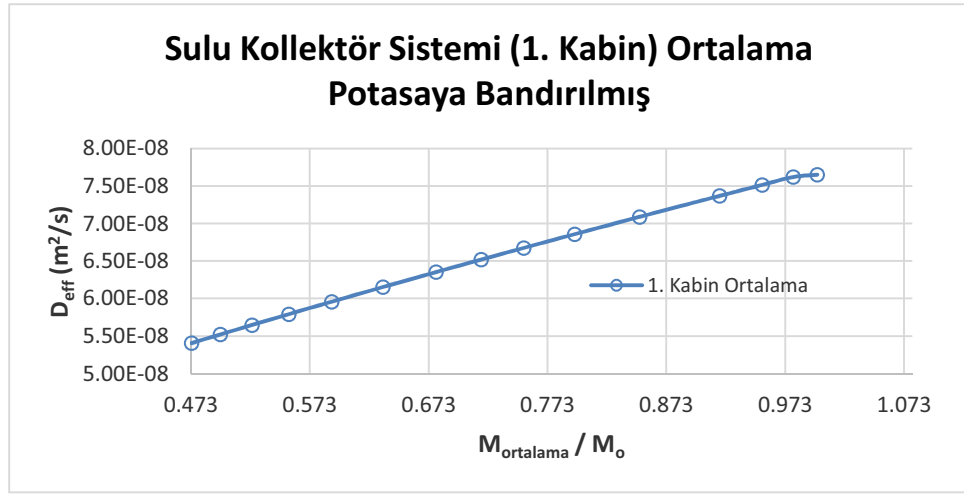
Şekil 7.25: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.26'da $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $11.093 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.891$) olduğu tespit edilmiştir.



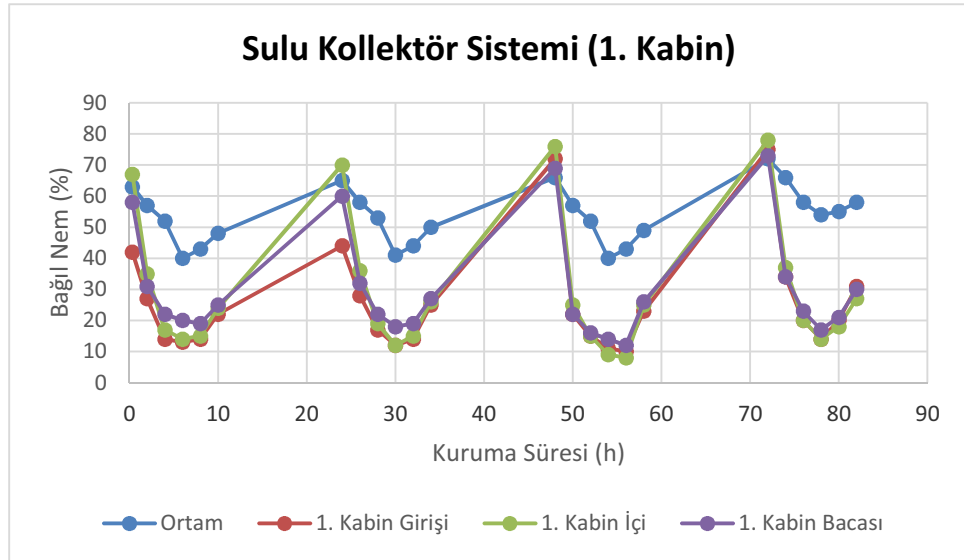
Şekil 7.26: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.27’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 5.41×10^{-8} - 7.65×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



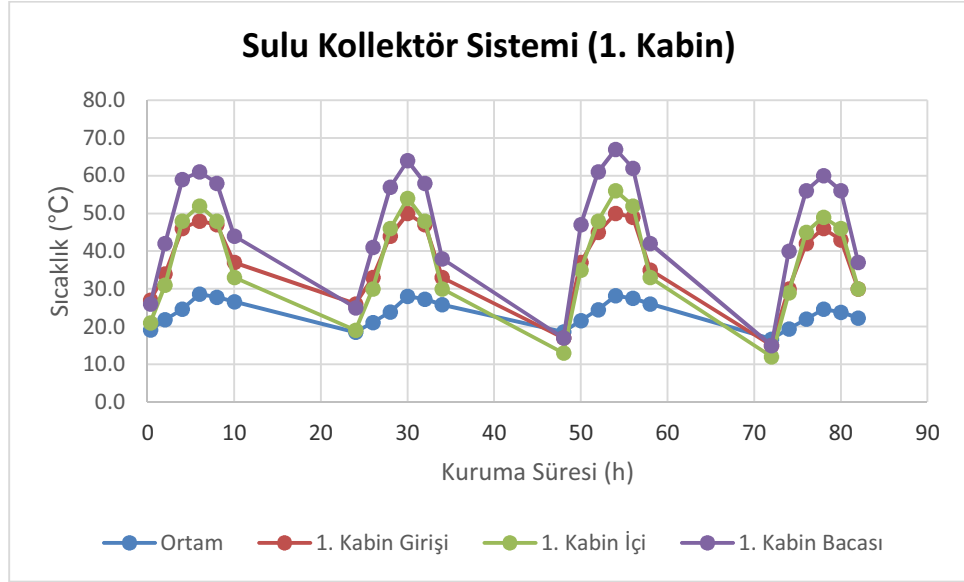
Şekil 7.27: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.28’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde bağıl nem değerlerinin raflar arasında kurutma süresinin değişmediği gibi birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.



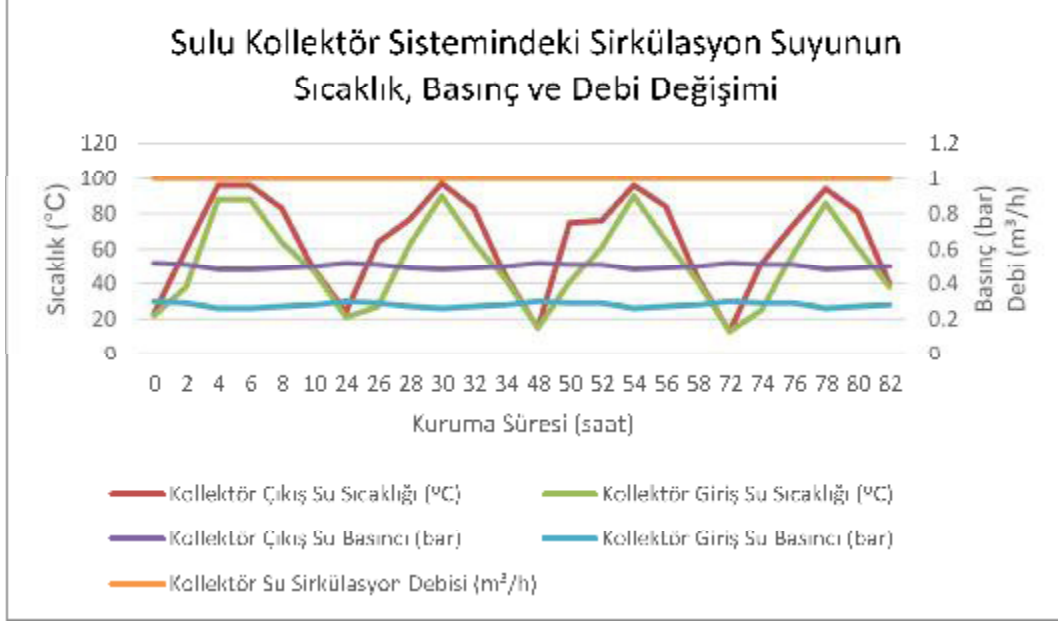
Şekil 7.28: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.29’da kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde ve kabin içinde birbirine yakın seyreden sıcaklık değerlerinin güneş ışınımının etkisiyle bacada yükseldiği tespit edilmiştir.



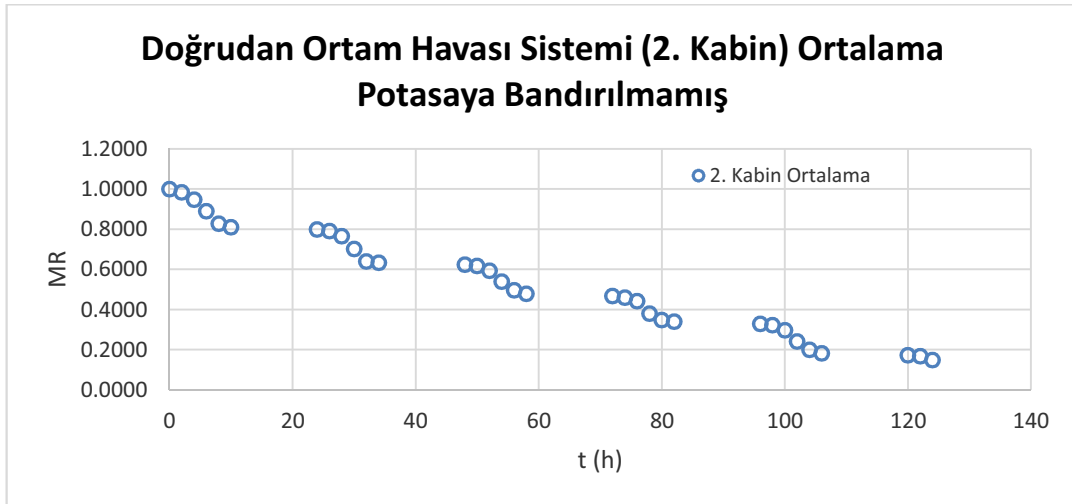
Şekil 7.29: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi

Şekil 7.30’da 1. kabinde kurutma havasını ısıtmak için kullanılan sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Kurutma işleminin gerçekleştiği saatlerde kollektör giriş ve çıkış sıcaklık değerleri arasındaki 8-10 °C sıcaklık farkını kurutma havasına aktardığı ve kurutma işlemi süresince ortam koşullarında kritik bir değişim gerçekleşmediği için bu durumun değişmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle kurutma sürecinde bir değişim etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



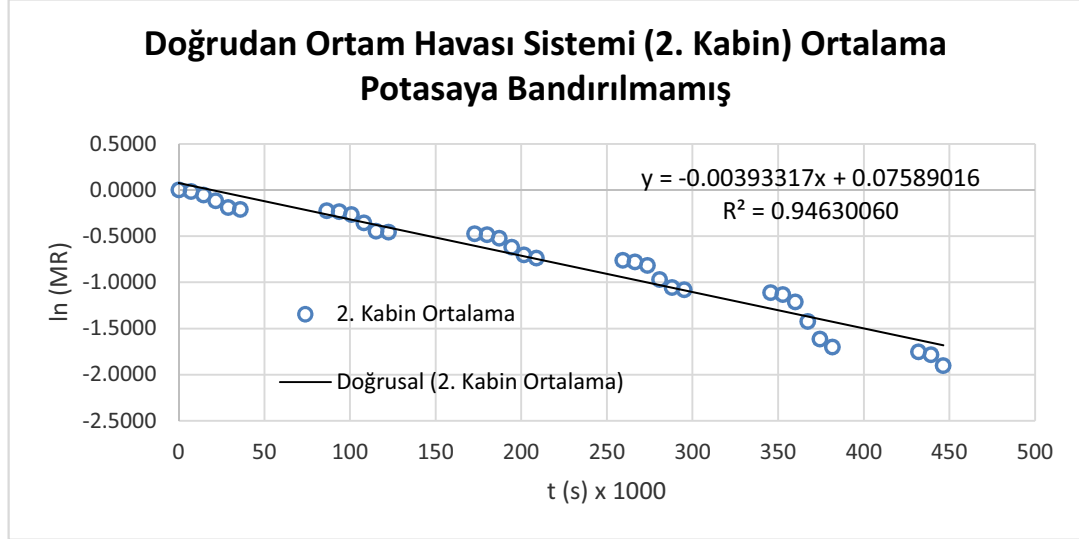
Şekil 7.30: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sulu güneş kollektörü sistemindeki sirkülasyon suyunun sıcaklık, basınç ve debi değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümlerin zamana bağlı nem oranının değişim grafiği Şekil 7.31'deki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



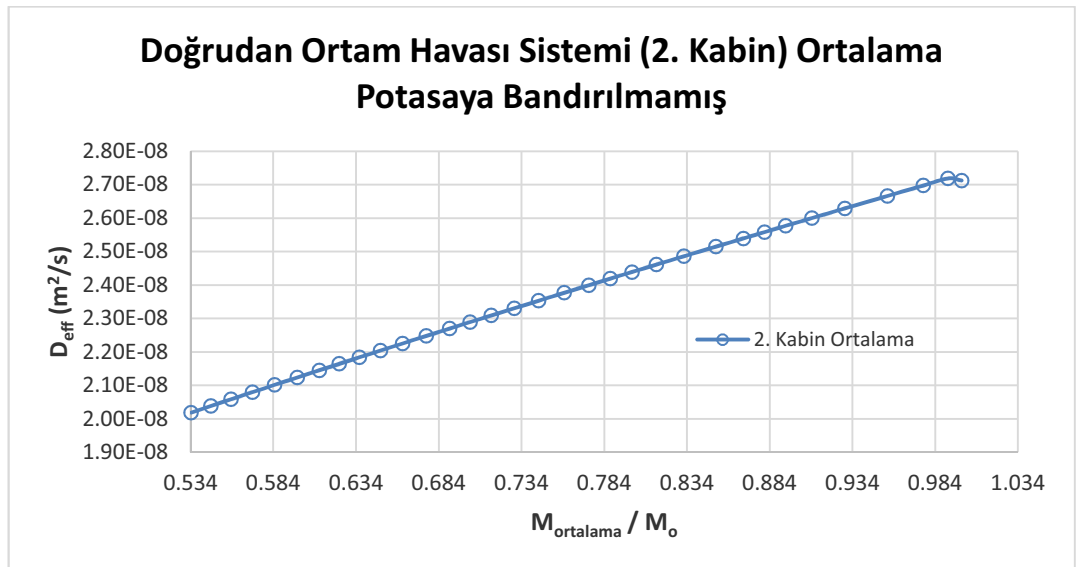
Şekil 7.31: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümlerin nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.32’de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $3.933 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.946$) olduğu tespit edilmiştir.



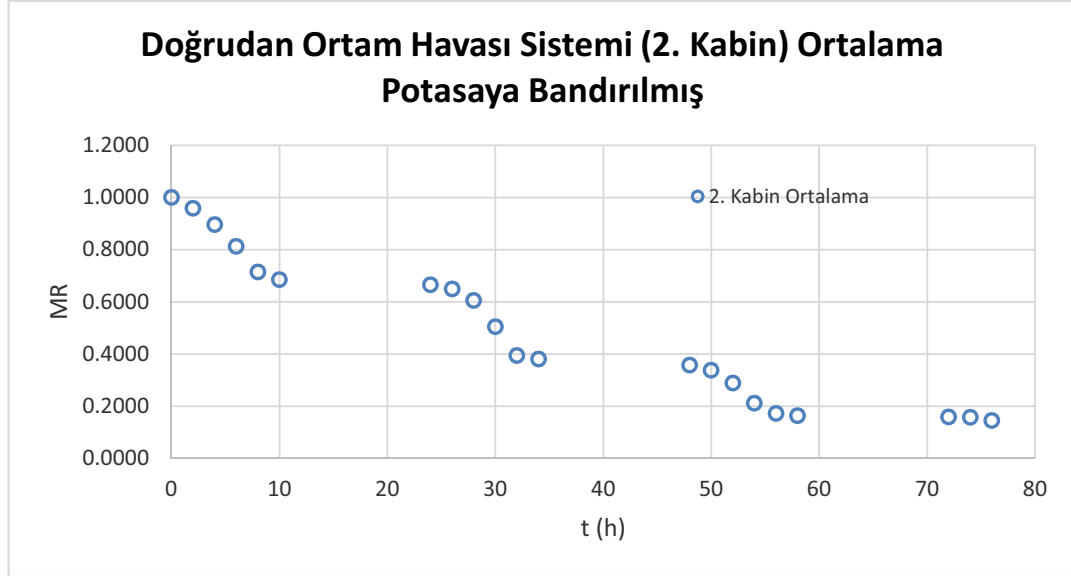
Şekil 7.32: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.33’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 2.02×10^{-8} - 2.71×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



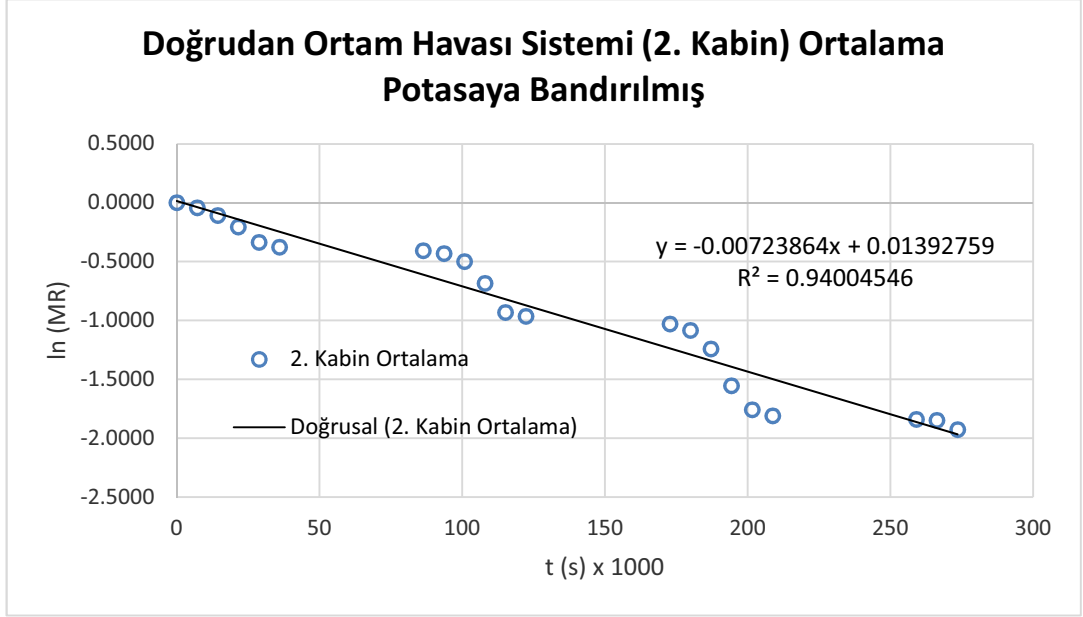
Şekil 7.33: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranının ortalama değişim grafiği Şekil 7.34'deki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



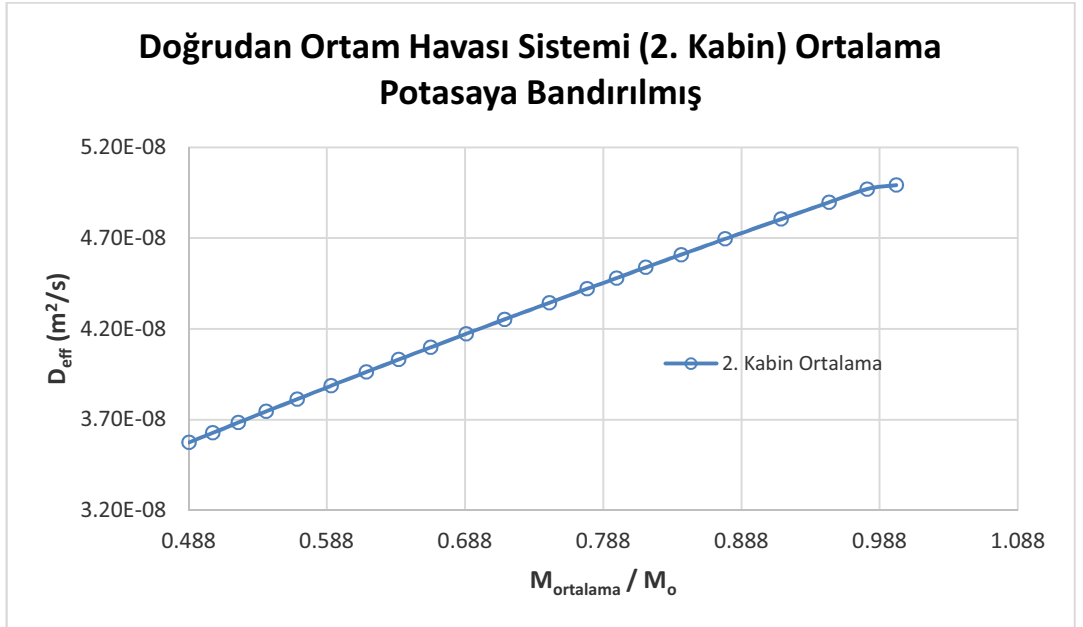
Şekil 7.34: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.35'de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $7.239 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.940$) olduğu tespit edilmiştir.



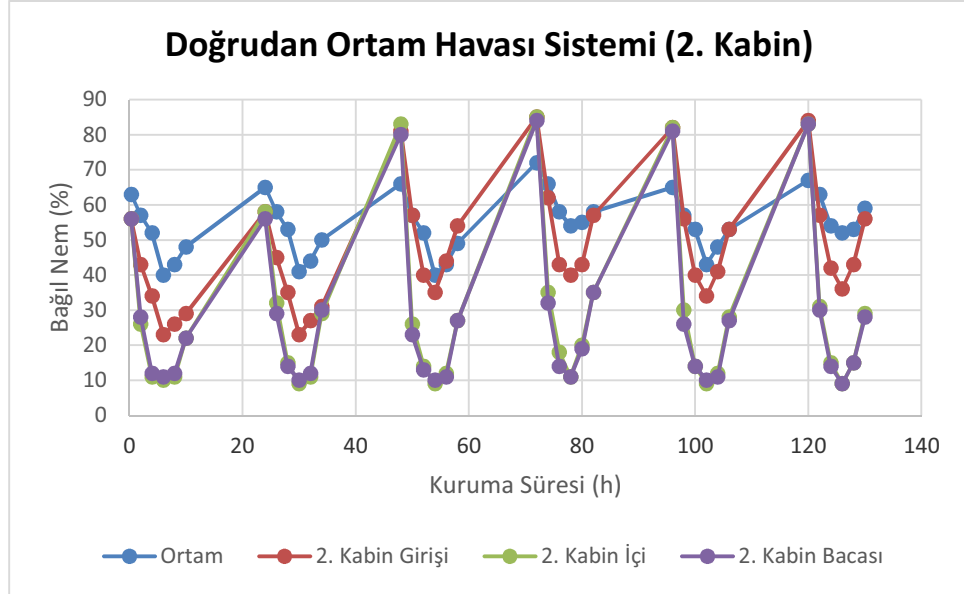
Şekil 7.35: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.36’da kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 3.57×10^{-8} - 4.99×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



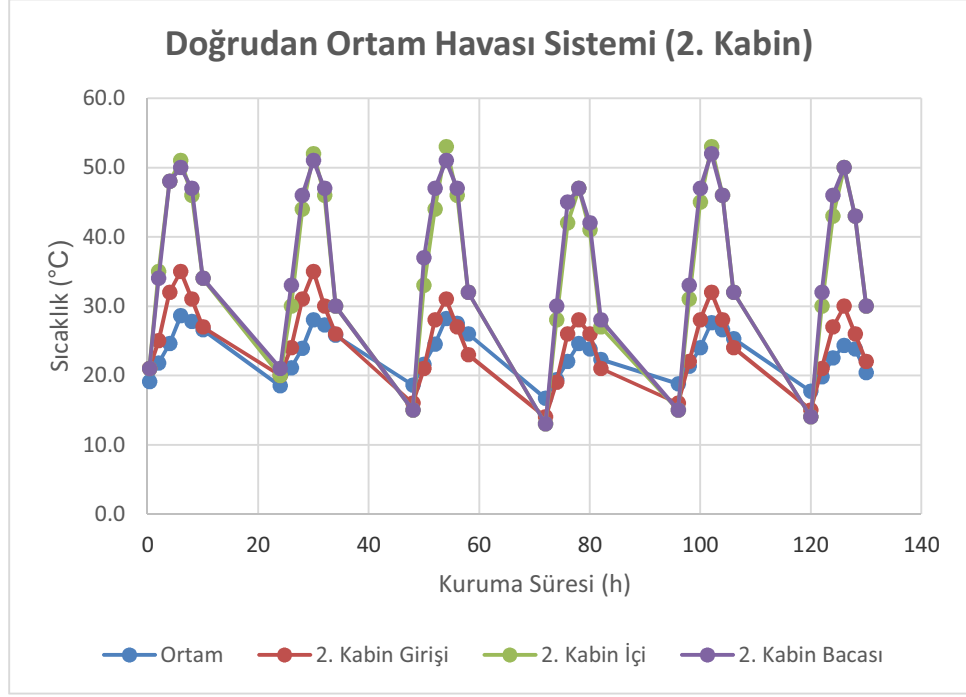
Şekil 7.36: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.37’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde bağıl nem değerlerinin kabin girişinde ortama göre düşük olduğu, kabin içinde ve bacasında hemen hemen aynı ve kurutma işlemine ve güneş ışınımına bağlı olarak kabin girişinden daha düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.



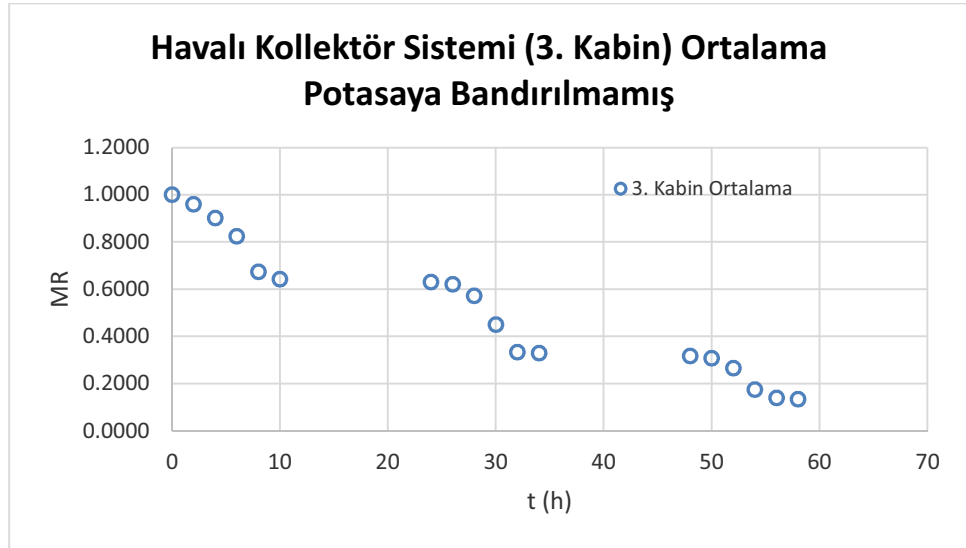
Şekil 7.37: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.38’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde ortam ile hemen hemen aynı, kabin içinde ve bacada birbirine çok yakın ve güneş ışınımının etkisiyle daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



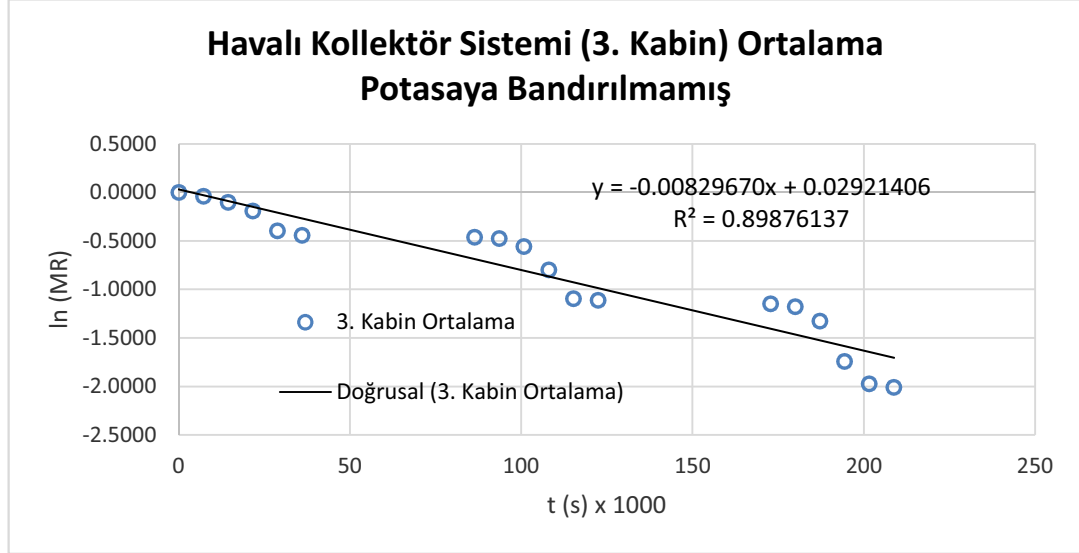
Şekil 7.38: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda doğrudan ortam havası sisteminde kabin sıcaklık değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün zamana bağlı nem oranının değişim grafiği Şekil 7.39'daki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



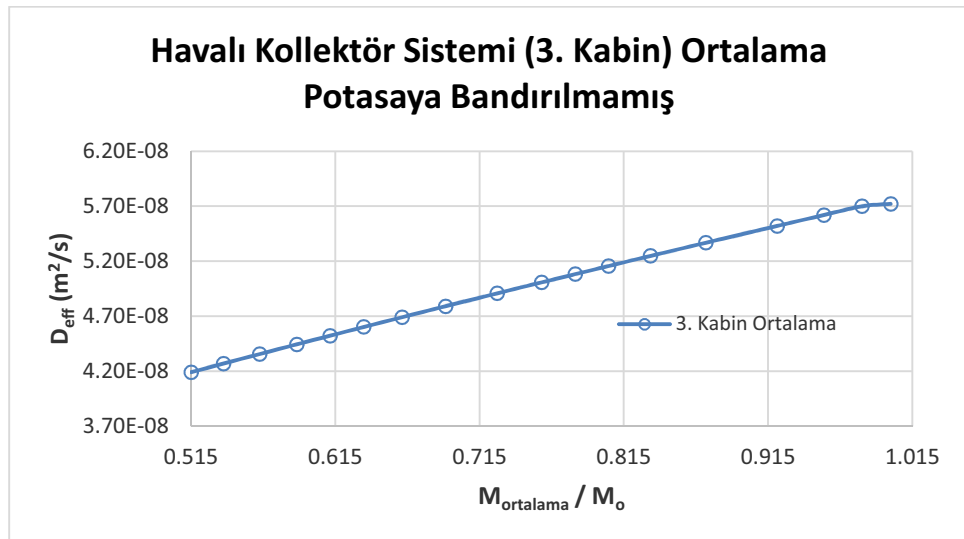
Şekil 7.39: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.40'da $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $8.297 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.899$) olduğu tespit edilmiştir.



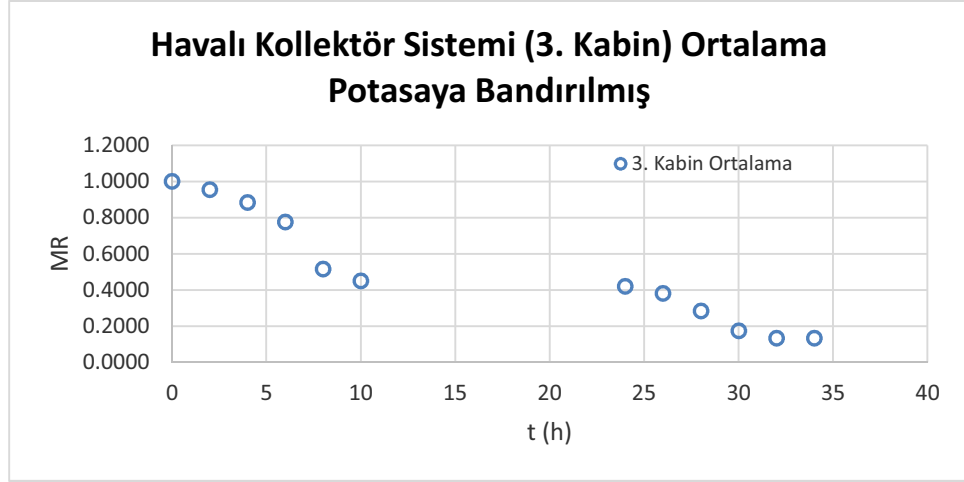
Şekil 7.40: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.41'de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 4.19×10^{-8} - 5.72×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



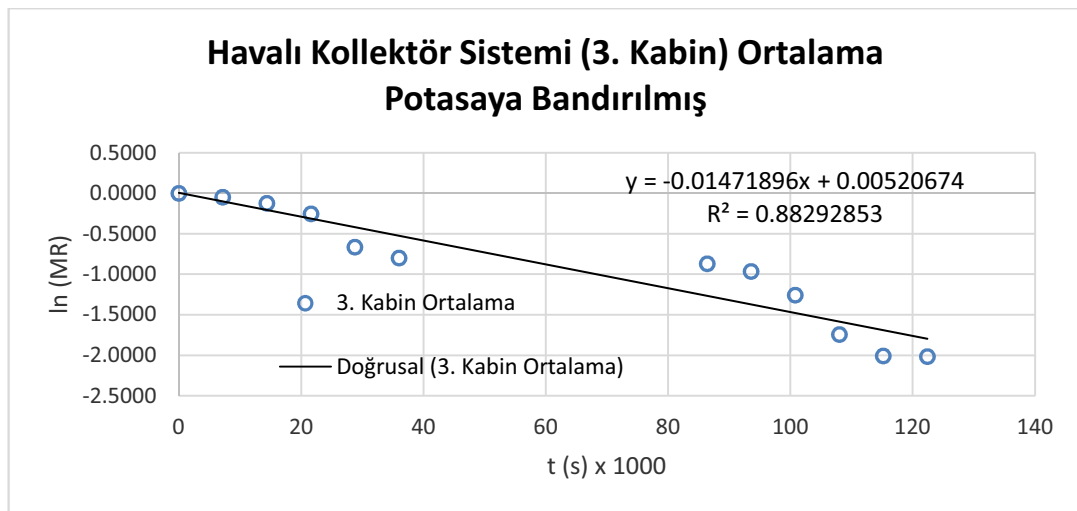
Şekil 7.41: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranının ortalama değişim grafiği Şekil 7.42'deki gibidir. Kabin raflarındaki nem oranı değerleri hemen hemen birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür, verilerin ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur.



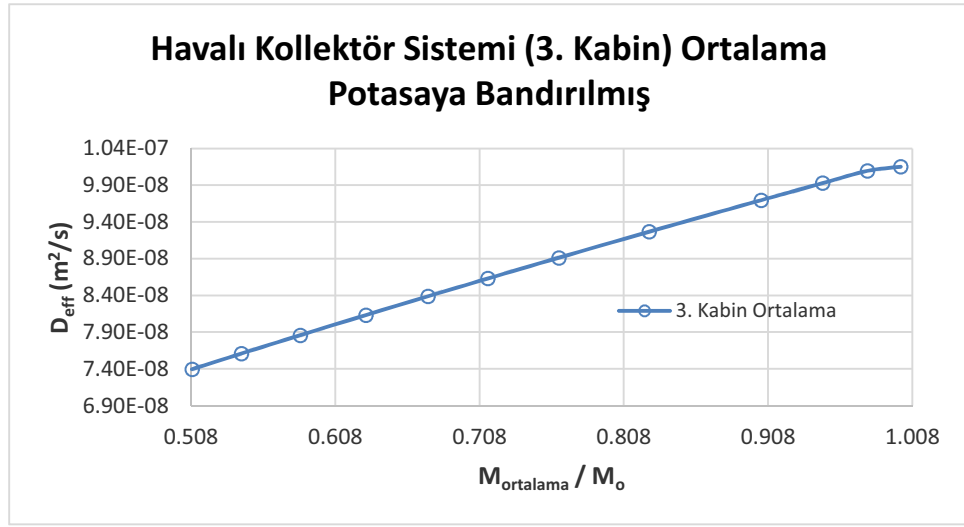
Şekil 7.42: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.43'de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin raflara göre hemen hemen aynı olduğu görülmüş ve ortalama olarak $14.719 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.883$) olduğu tespit edilmiştir.



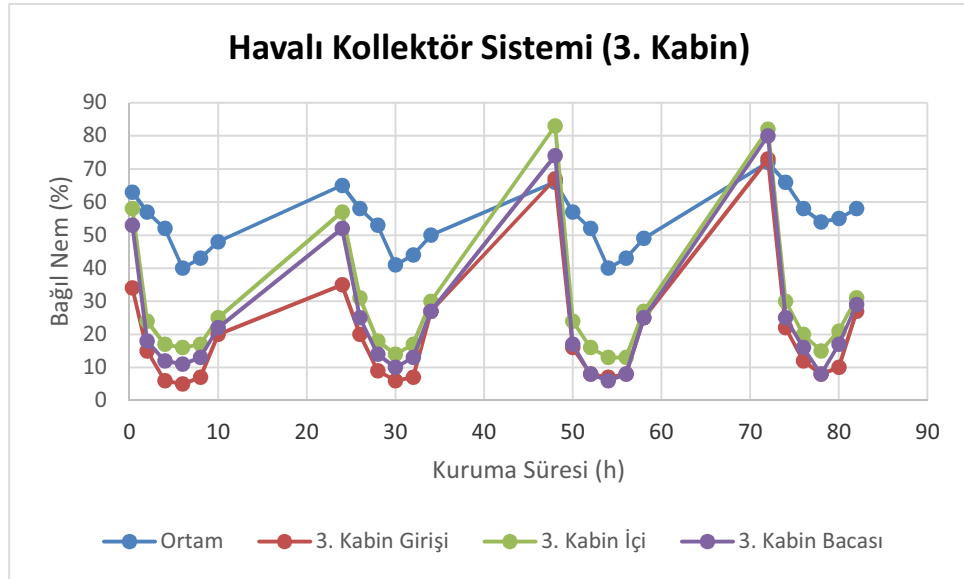
Şekil 7.43: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.44’de kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve değerlerin 7.40×10^{-8} - 1.02×10^{-7} aralığında olduğu tespit edilmiştir.



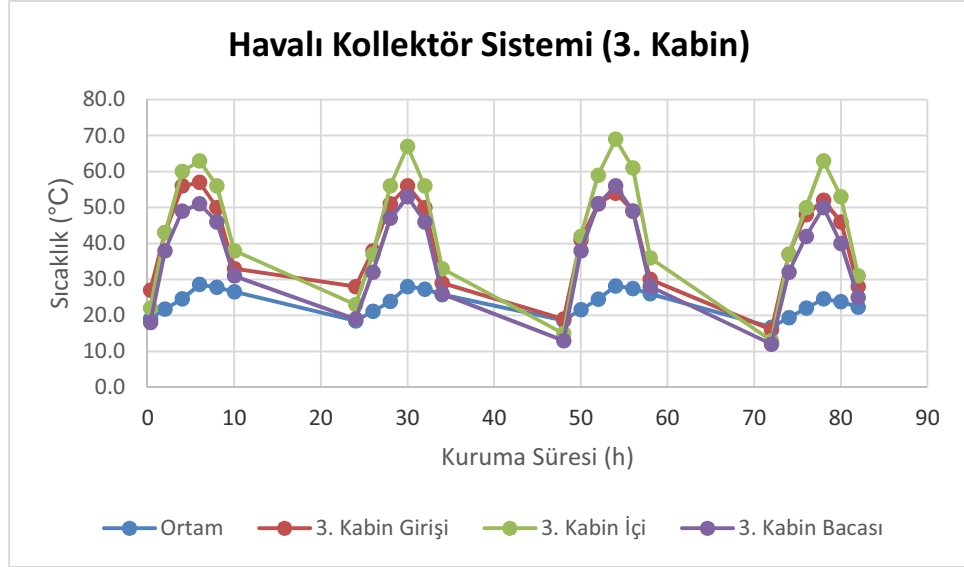
Şekil 7.44: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde potasaya bandırılmış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.45’de kurutma süresince ortam ile kabin içindeki bağıl nem değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde bağıl nem değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.



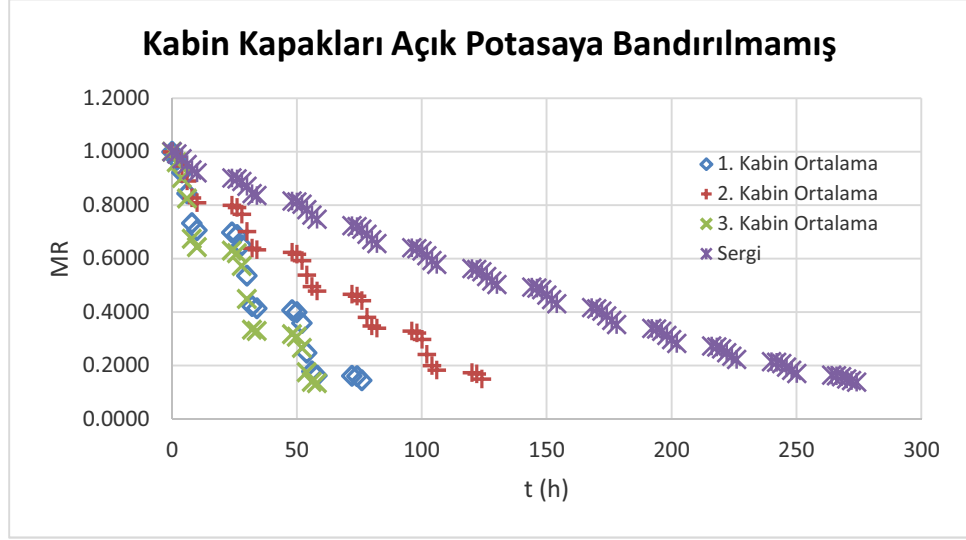
Şekil 7.45: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin bağıl nem değişimi

Şekil 7.46’da kurutma süresince ortam ile kabin içindeki sıcaklık değişimlerinin grafiği gösterilmektedir. Kurutma işleminin yapıldığı gündüz saatlerinde kabin girişinde ve kabin bacasında birbirine yakın seyreden sıcaklık değerlerinin kabin içinde kurutma işlemine bağlı daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.



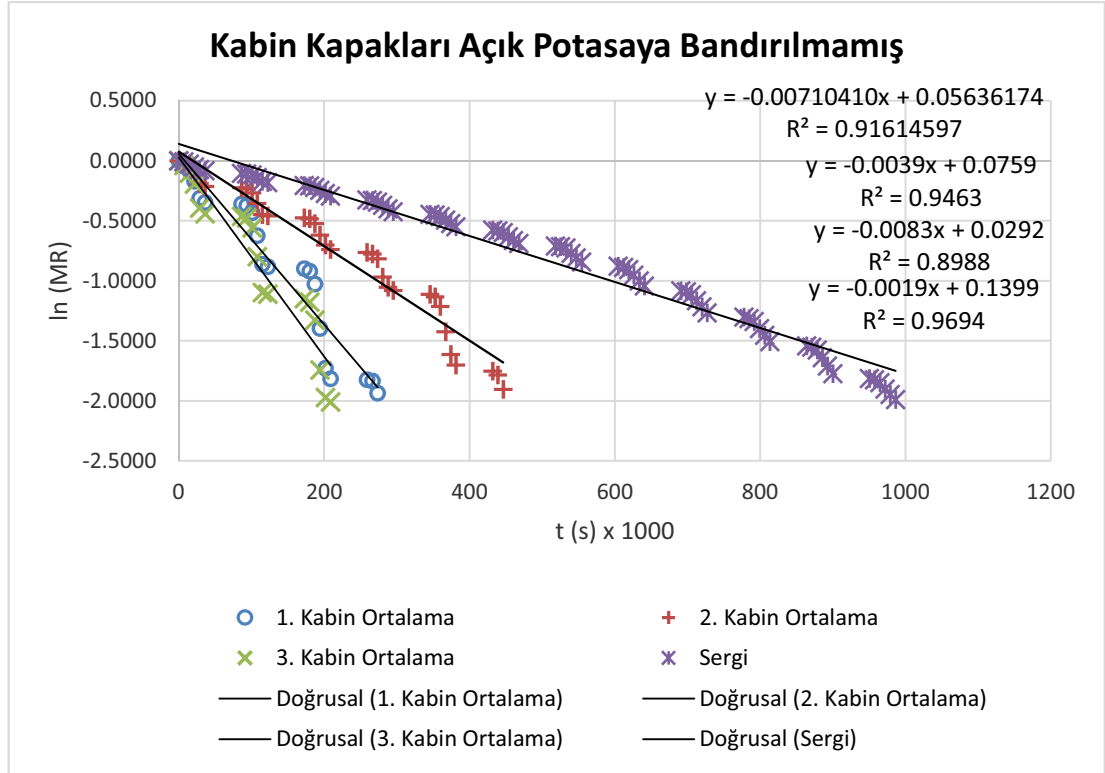
Şekil 7.46: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda havalı kollektör sisteminde kabin sıcaklık değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sistemlerde potasya bandırılmamış üzümün zamana bağlı nem oranının karşılaştırmalı değişim grafiği Şekil 7.47’deki gibidir. Önce havalı kollektör sisteminde, sonra sulu kollektör sisteminde, sonra doğrudan ortam havası sisteminde daha sonra da sergi sisteminde kurutma işleminin tamamlandığı tespit edilmiştir.



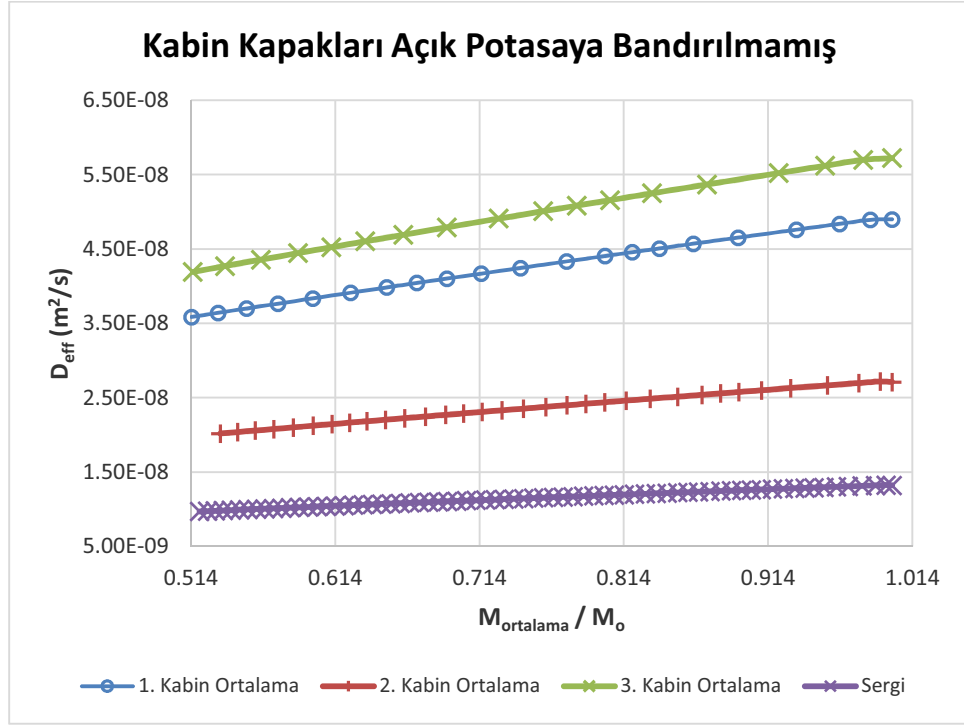
Şekil 7.47: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.48’de sistemlerde potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemleri sırasıyla sulu kollektör, doğrudan ortam havası, havalı kollektör ve sergi sistemi olarak belirtilmiştir.



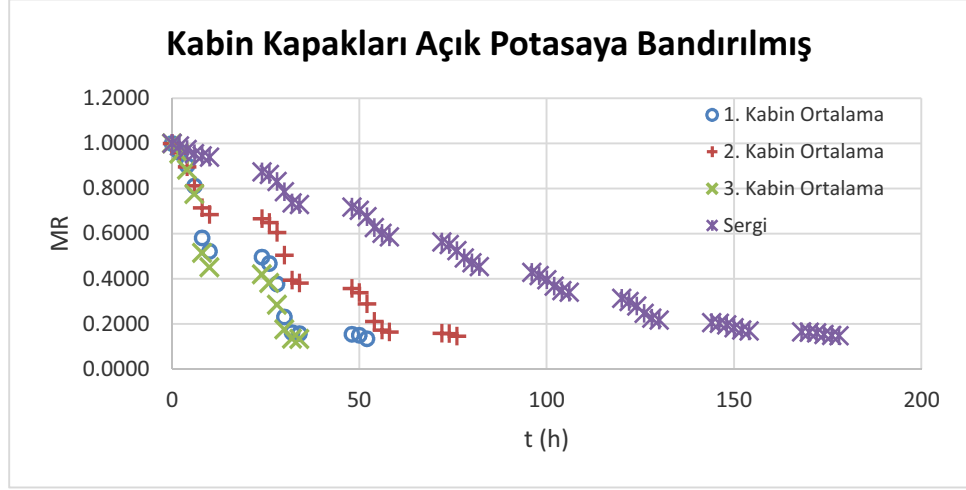
Şekil 7.48: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.49’da kurutma süresince sistemlerde efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve büyükten küçüğe doğru havalı kollektör sisteminde, sulu kollektör sisteminde, doğrudan ortam havası sisteminde ve sergi sisteminde olduğu tespit edilmiştir.



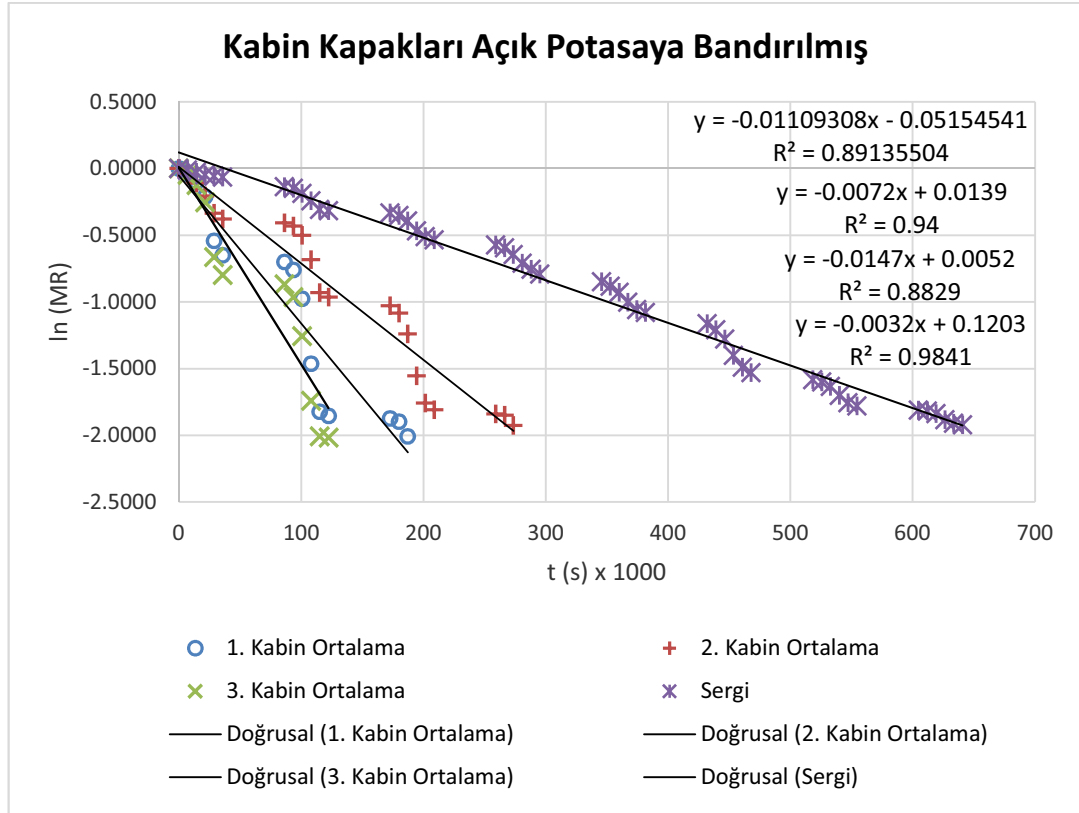
Şekil 7.49: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sistemlerde potasaya bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranının karşılaştırmalı değişim grafiği Şekil 7.50’deki gibidir. Önce havalı kollektör sisteminde, sonra sulu kollektör sisteminde, sonra doğrudan ortam havası sisteminde daha sonra da sergi sisteminde kurutma işleminin tamamlandığı tespit edilmiştir.



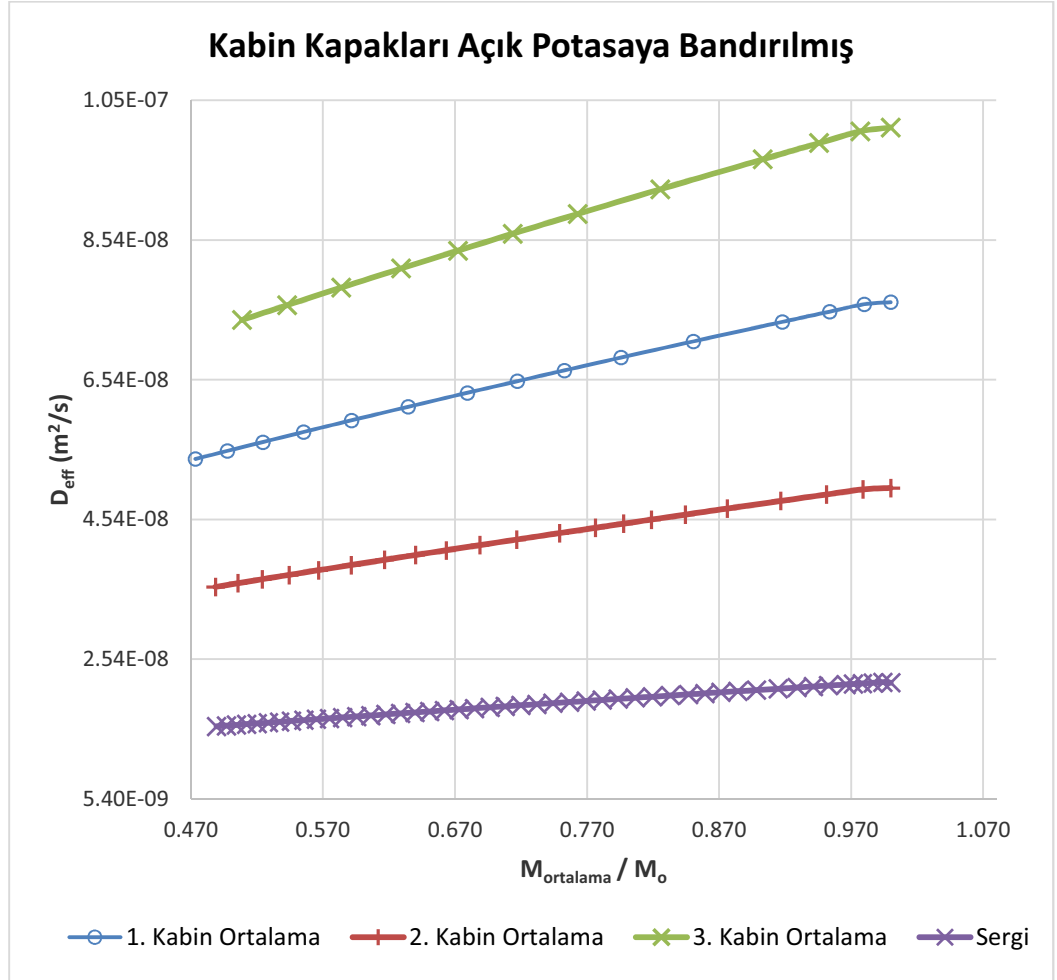
Şekil 7.50: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmış üzümün nem oranındaki ortalama değişim

Şekil 7.51’de sistemlerde potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemleri sırasıyla sulu kollektör, doğrudan ortam havası, havalı kollektör ve sergi sistemi olarak belirtilmiştir.



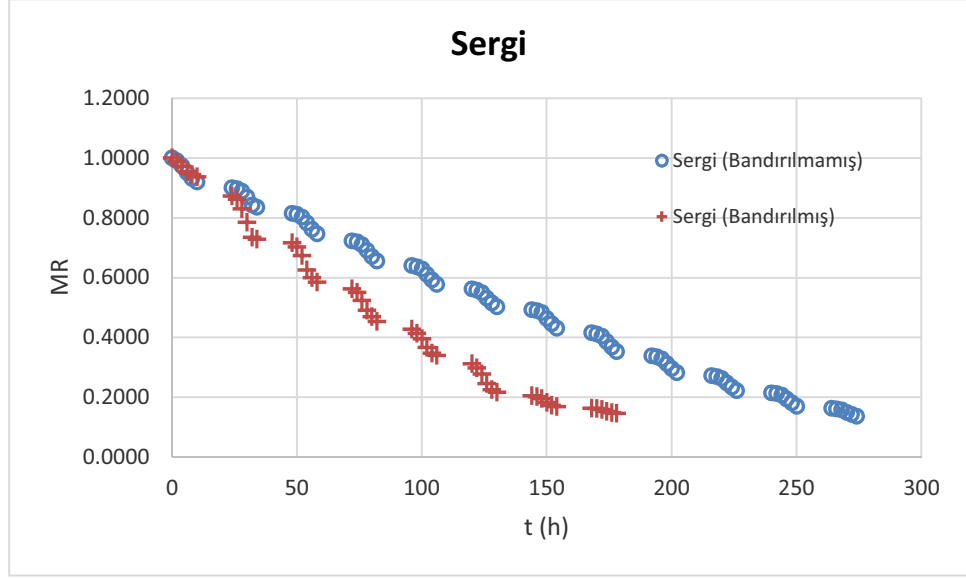
Şekil 7.51: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmış üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.52’de kurutma süresince sistemlerde efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve büyükten küçüğe doğru havalı kollektör sisteminde, sulu kollektör sisteminde, doğrudan ortam havası sisteminde ve sergi sisteminde olduğu tespit edilmiştir.



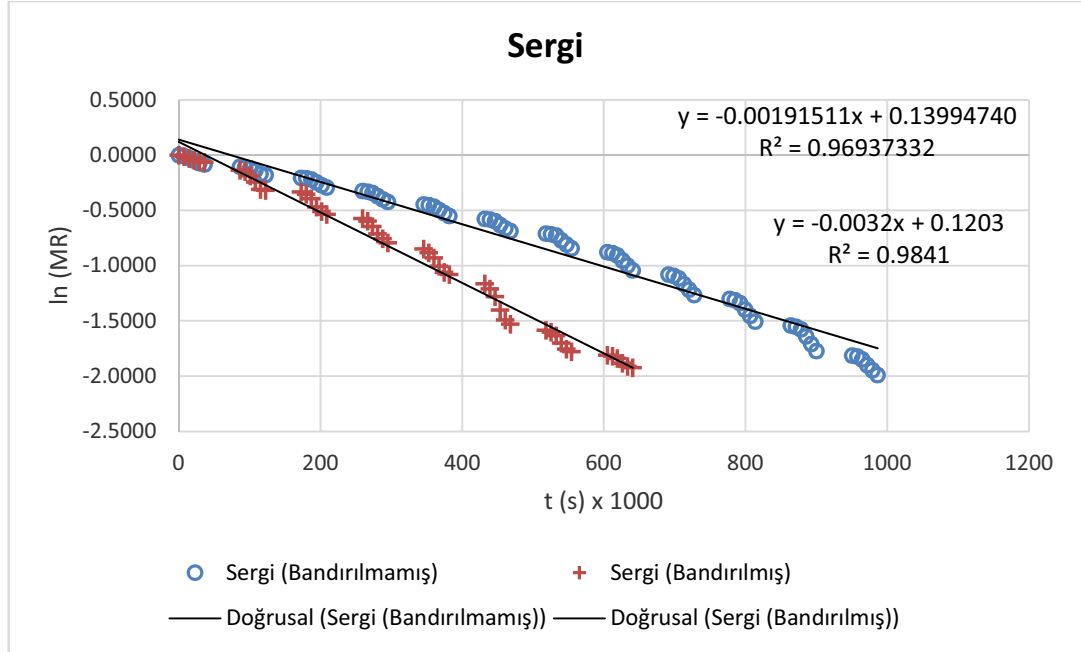
Şekil 7.52: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda potasaya bandırılmamış üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Aynı zaman diliminde sergi sisteminde potasaya bandırılmamış ve bandırılmış üzümün zamana bağlı nem oranı değişim grafiği Şekil 7.53’deki gibidir. Kuruma süresi tüm kabin sisteminden daha geç olarak gerçekleştiği ve sergi sisteminde potasaya bandırılmış üzümün bandırılmamışlardan daha erken kurduğu tespit edilmiştir.



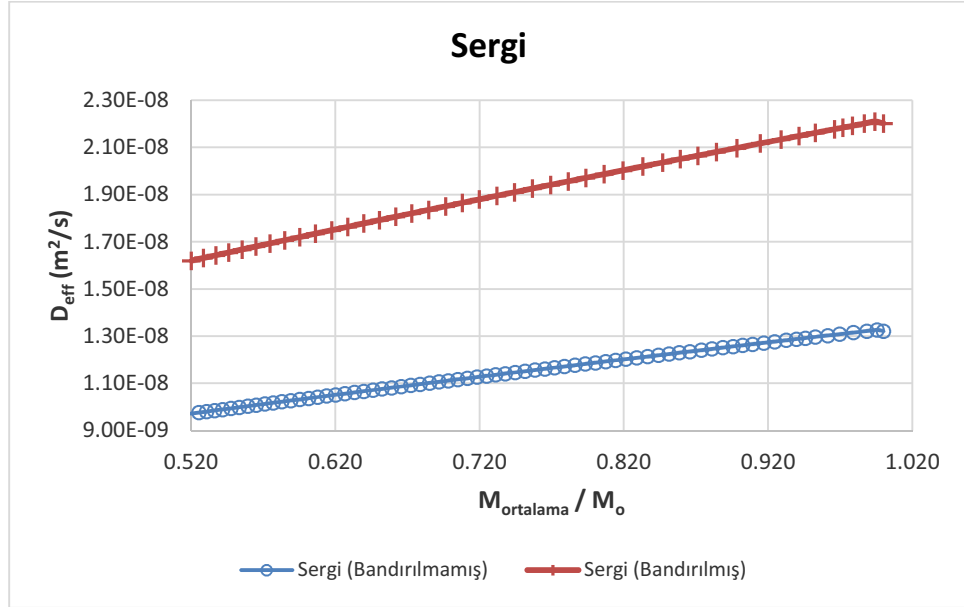
Şekil 7.53: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün nem oranındaki değişim

Şekil 7.54'de $\ln(MR)$ ile zaman (t) arasında oluşturulan doğrusal denklemin eğiminin sergi sisteminde potasaya bandırılmamış üzümde $1.915 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.969$), potasaya bandırılmış üzümde $3.193 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.984$) olduğu tespit edilmiştir.



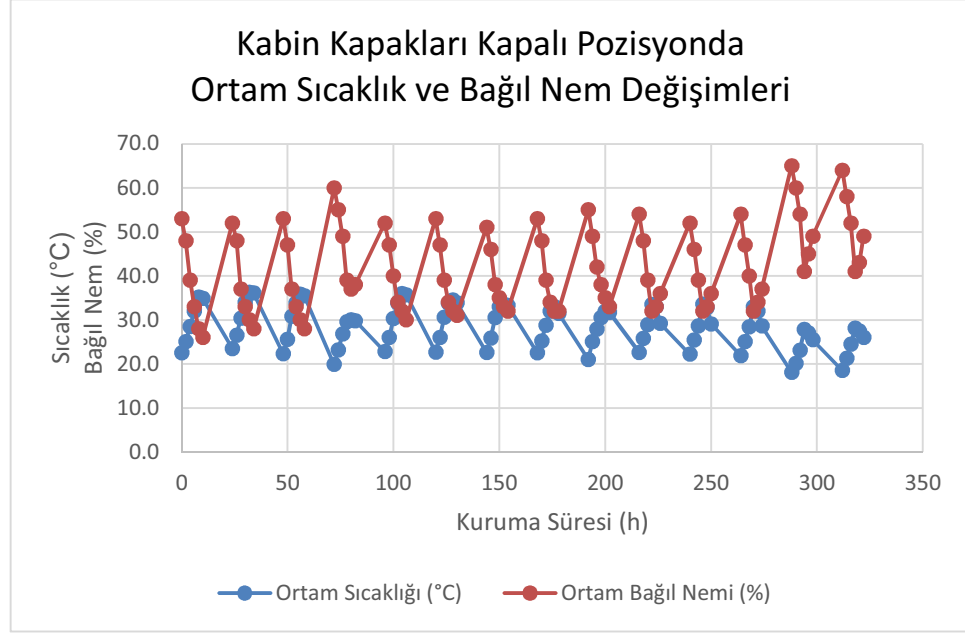
Şekil 7.54: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün $\ln(MR)$ değişimleri

Şekil 7.55’de sergi sisteminde kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının azaldığı ve potasaya bandırılmamış üzümde 9.71×10^{-9} - 1.32×10^{-8} arasında, potasaya bandırılmış üzümde 1.58×10^{-8} - 2.20×10^{-8} arasında olduğu söylenebilir.



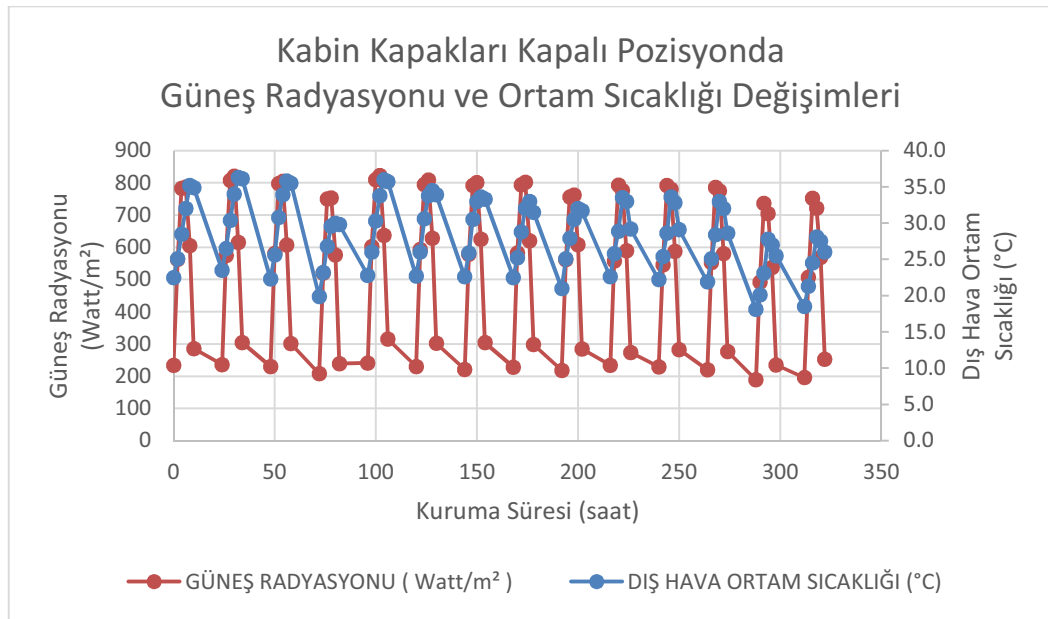
Şekil 7.55: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda sergi sisteminde üzümün efektif nem difüzyon katsayısı-nem içeriği değişimi

Şekil 7.56’da yapılan ikinci deney süresince elde edilen ortam sıcaklığı ve bağıl nemi değerlerinin değişim grafiği verilmiştir. Kurutma süresince meteorolojik koşullarda kritik bir değişim olmadığından deney üzerinde değişim etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.56: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda dış ortam sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Şekil 7.57’de ortam sıcaklığı ile güneş radyasyonu değişimleri verilmiştir. Güneş radyasyonu değerinin deney süresince 200-800 W/m² değeri arasında olduğu görülmüştür. Kurutma süresince meteorolojik koşullarda kritik bir değişim olmadığından deney üzerinde değişim etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.57: Kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda dış ortam sıcaklık ve güneş radyasyonu değişimi

Yapılan ikinci deneyde kabin cam kapakları açık pozisyonda güneş ışınımının da etkisi ile kuruma süresi; potasa çözeltilisine bandırılmamış üzümlerin, doğrudan ortam havasının verildiği sistemde 124 saat, sulu kollektör sisteminde 76 saat ve havalı kollektör sisteminde 58 saat iken sergide 274 saat olduğu; potasa çözeltilisine bandırılmış üzümlerin ise, doğrudan ortam havasının verildiği sistemde 76 saat, sulu kollektör sisteminde 52 saat ve havalı kollektör sisteminde 34 saat iken, sergide 178 saat olduğu söylenebilir. Üzümlerin potasa çözeltilisine bandırılması aynı ortam koşullarında sulu ve havalı kollektör sisteminde 1 gün, doğrudan ortam havası sisteminde 2 gün, sergide de 4 gün daha erken kurumasının sağladığı söylenebilir.

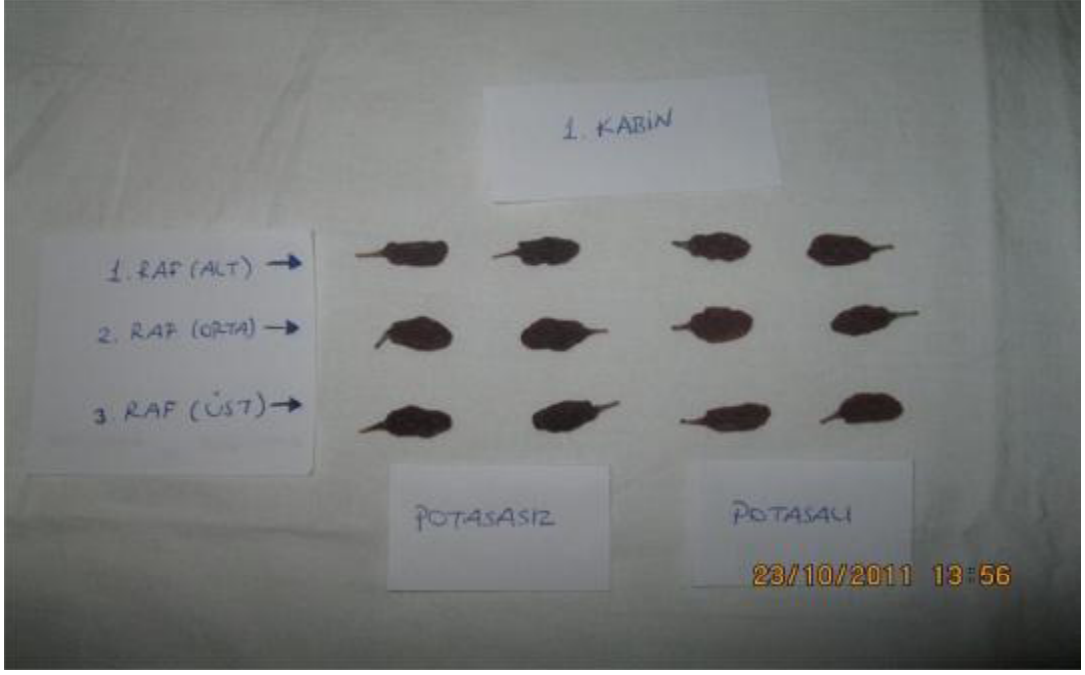
Deneylerden elde edilen efektif nem difüzyon katsayısı aralıkları Tablo 7.1’de verilmektedir. Buna göre, üzümün efektif nem difüzyon katsayısı değerinin kabin güneşlenme kapaklarının kapalı olduğu deneyde potasaya bandırılmış üzümler için 1.07×10^{-8} - 4.15×10^{-8} aralığında olduğu, kabin güneşlenme kapaklarının açık olduğu deneyde potasaya bandırılmamış üzümler için 1.96×10^{-8} - 6.15×10^{-8} aralığında olduğu, kabin güneşlenme kapaklarının açık olduğu deneyde potasaya bandırılmış üzümler için 3.13×10^{-8} - 1.05×10^{-7} aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sergideki üzümler için efektif nem difüzyon katsayısı değerinin 9.71×10^{-9} - 2.20×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deney süresince belirlenen numunelerden elde edilen veriler ile kurutma kinetiği değerlendirilmiştir. Elde edilen en küçük ve en büyük efektif nem difüzyon katsayısı değerleri Tablo 7.1’de belirtilmiştir.

Tablo 7.1: Deneylerden elde edilen en küçük ve en büyük efektif nem difüzyon katsayısı değerleri

Deney Kontrol Yerleri		D_{eff} (m ² /s)	
		En Küçük	En Büyük
Kabin Güneşlenme Kapakları Kapalı Potasya Bandırılmış	1. Kabin Alt Raf	1.34x10 ⁻⁸	1.81x10 ⁻⁸
	1. Kabin Orta Raf	1.42x10 ⁻⁸	1.87x10 ⁻⁸
	1. Kabin Üst Raf	1.68x10 ⁻⁸	2.22x10 ⁻⁸
	2. Kabin Alt Raf	1.07x10 ⁻⁸	1.39x10 ⁻⁸
	2. Kabin Orta Raf	1.34x10 ⁻⁸	1.76x10 ⁻⁸
	2. Kabin Üst Raf	1.32x10 ⁻⁸	1.72x10 ⁻⁸
	3. Kabin Alt Raf	3.12x10 ⁻⁸	4.15x10 ⁻⁸
	3. Kabin Orta Raf	2.51x10 ⁻⁸	3.32x10 ⁻⁸
	3. Kabin Üst Raf	2.50x10 ⁻⁸	3.33x10 ⁻⁸
	Sergi	1.56x10 ⁻⁸	2.17x10 ⁻⁸
Kabin Güneşlenme Kapakları Açık Potasya Bandırılmamış	1. Kabin Alt Raf	3.49x10 ⁻⁸	4.71x10 ⁻⁸
	1. Kabin Orta Raf	3.63x10 ⁻⁸	5.03x10 ⁻⁸
	1. Kabin Üst Raf	3.65x10 ⁻⁸	4.98x10 ⁻⁸
	2. Kabin Alt Raf	2.06x10 ⁻⁸	2.82x10 ⁻⁸
	2. Kabin Orta Raf	2.04x10 ⁻⁸	2.75x10 ⁻⁸
	2. Kabin Üst Raf	1.96x10 ⁻⁸	2.58x10 ⁻⁸
	3. Kabin Alt Raf	3.91x10 ⁻⁸	5.28x10 ⁻⁸
	3. Kabin Orta Raf	4.28x10 ⁻⁸	5.81x10 ⁻⁸
	3. Kabin Üst Raf	4.43x10 ⁻⁸	6.15x10 ⁻⁸
	Sergi	9.71x10 ⁻⁹	1.32x10 ⁻⁸
Kabin Güneşlenme Kapakları Açık Potasya Bandırılmış	1. Kabin Alt Raf	5.55x10 ⁻⁸	7.78x10 ⁻⁸
	1. Kabin Orta Raf	5.17x10 ⁻⁸	7.21x10 ⁻⁸
	1. Kabin Üst Raf	5.51x10 ⁻⁸	7.99x10 ⁻⁸
	2. Kabin Alt Raf	3.13x10 ⁻⁸	4.38x10 ⁻⁸
	2. Kabin Orta Raf	3.76x10 ⁻⁸	5.23x10 ⁻⁸
	2. Kabin Üst Raf	3.87x10 ⁻⁸	5.42x10 ⁻⁸
	3. Kabin Alt Raf	7.07x10 ⁻⁸	9.70x10 ⁻⁸
	3. Kabin Orta Raf	7.45x10 ⁻⁸	1.03x10 ⁻⁷
	3. Kabin Üst Raf	7.69x10 ⁻⁸	1.05x10 ⁻⁷
	Sergi	1.58x10 ⁻⁸	2.20x10 ⁻⁸

Şekil 7.58’de 1. kabin olan sulu kollektör sistemindeki numunelerin kurutma işlemi sonrasındaki görüntüsü bulunmaktadır.



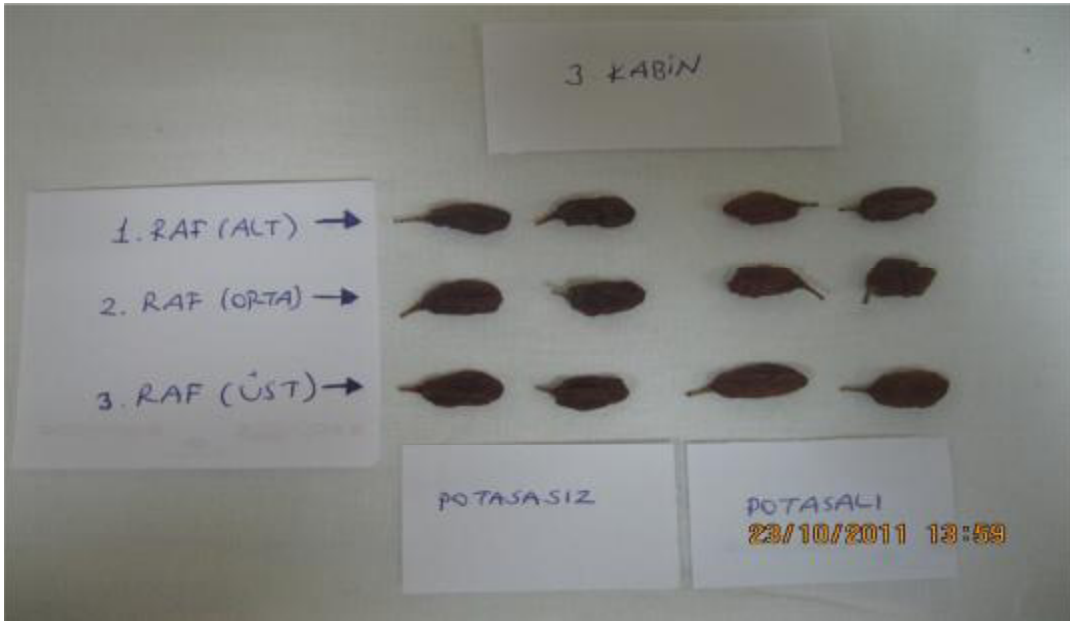
Şekil 7.58: Sulu kollektör sisteminde kurutulan numuneler

Şekil 7.59'de 2. kabin olan doğrudan ortam havasının kurutma havası olarak kullanıldığı sistemdeki numunelerin kurutma işlemi sonrasındaki görüntüsü bulunmaktadır.



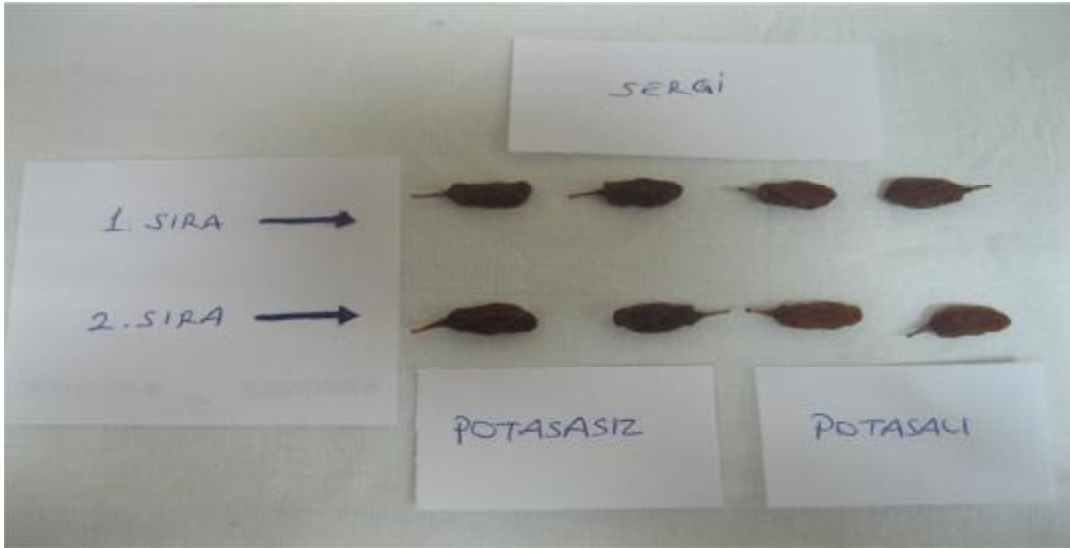
Şekil 7.59: Doğrudan ortam havası sisteminde kurutulan numuneler

Şekil 7.60'da 3. kabin olan havalı kollektör sistemindeki numunelerin kurutma işlemi sonrasındaki görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 7.60: Havalı kollektör sisteminde kurutulan numuneler

Şekil 7.61'de sergi sistemindeki numunelerin kurutma işlemi sonrasındaki görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 7.61: Sergi sisteminde kurutulan numuneler

Yapılan her iki deneyde potasaya bandırılmış üzümün kuruma süreleri karşılaştırıldığında, güneşlenme kapakları açık şekilde yapılan kurutma işleminde güneşlenme kapakları kapalı şekilde yapılan kurutma işlemine göre, sulu kollektör ve doğrudan ortam havası sisteminde 5 gün, havalı kollektör sisteminde 3 gün daha erken kurutma işleminin tamamlandığı, sergide beklendiği gibi bir değişikliğin olmadığı söylenebilir.

Kabin kapakları açık olarak yapılan ikinci deneyde diğerlerinden daha erken kuruyanın hava kollektörlü sistemde potasa çözeltisine bandırılmış olan üzümün olduğu söylenebildiği gibi, diğerlerinden daha geç kuruyanın da doğrudan ortam havasının verildiği sistemde potasa çözeltisine bandırılmamış olan üzümün olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 7.62: Kurutulmuş üzümler

Şekil 7.62’de kabin güneşlenme kapakları açık şekilde gerçekleştirilen ikinci deneyde kurutma işlemi sonrasında raftan alınan kurutulmuş üzümün görüntüsü bulunmaktadır. Potasaya bandırılmış üzümün kurutma işlemi sonrasında renk, koku gibi genel kabul kriterleri açısından potasaya bandırılmamış üzümlere göre daha iyi olduğu söylenebilmektedir.

Hazırlanan bu kurutma kabinlerinde üzüm kuruma süresinin, yaygın olarak kullanılan güneşe sererek kurutma yöntemindeki kuruma süresinin yaklaşık 1/4'i olduğu gibi, dış ortam faktörlerinden (yağış, toz, uçan-sürünen hayvanlar gibi) etkilenmemesi en büyük avantajıdır. Sistem güneş enerjisine bağlı olduğu için sürekli değildir ama yine de oldukça kısa sürede kurumayı sağlamaktadır.

Potasa çözeltilisine bandırılan üzümler potasa çözeltilisine bandırılmayan üzümlere göre yaklaşık 1.5-2 kat daha hızlı kuruduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında Şekil 7.62'de görüldüğü gibi renk, koku, tat gibi fiziksel özelliklerinin güneşe sererek kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlere ve potasa çözeltilisine bandırılmayan üzümlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Üzümlerin kuruma süresi açısından kabinler karşılaştırıldığında, ilk olarak güneşlenme kapaklarının açık pozisyonda olması tüm kabinlerdeki kurutma sürelerini 3 katına kadar kısaltmaktadır. Diğer taraftan potasa çözeltilisine bandırılan üzümler için, havalı güneş kollektörü ile ısıtılan kurutma havasının ürünlere fan yardımıyla gönderilen kabin sistemi en hızlı kurumaya sahip sistem olarak tespit edilmiştir ve 2 günde kurutma işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra 2.5 günde kurutma işleminin tamamlandığı, kabin sulu güneş kollektörü ile ısıtılan suyun bir eşanjör yardımıyla ısınıp kurutma havasına aktardığı ve ısınan bu havanın ürünlere fan yardımıyla gönderildiği kabin sistemi en hızlı kurutan 2. sistem olarak tespit edilmiştir. 3.5 günde kuruma işleminin tamamlandığı doğrudan ortam havasının fan yardımıyla ürünlere gönderilen kabin sistemi de 3. sırada hızlı kurutan sistem olarak tespit edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan güneşe serme sisteminde potasaya bandırılan üzümler 8 günde, potasaya bandırılmayan sergi sistemi üzümlerinin ise 12 günde kuruduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, havalı güneş kollektörü ile kurutma havasının ısıtıldığı kabin tipi kurutucu sistemi en hızlı kurutan sistem olarak tespit edilmiştir. Ön işlem uygulanmamış çekirdeksiz üzümler 3 günde, potasa çözeltisi ile ön işlem uygulanmış çekirdeksiz üzümler ise 2 günde kurumuşlardır. Kabinde kurutma sistemi ile oldukça hijyenik ürünler elde edilmiştir. Sistemin seri üretim için oldukça elverişli olduğu düşünülmektedir.

8. ÖNERİLER

Yapılan çalışmada güneş enerjisi ile kurutma işlemini yapmak için özel tasarlanarak yaptırılan kurutma kabinlerinde, güneşlenme kapaklarının kapatılıp açılarak güneş ışınımının kuruma süresine etkisinin görülebildiği gibi, üzümlere ön işlem olarak potasa çözeltilisine daldırma faaliyeti yapılarak ön işlemin yapılması ile yapılmaması arasındaki kuruma süresi ve nem oranı farkı da görülmüştür. Ayrıca bu kabinlere 3 farklı şekilde hazırlanan kurutma havasının da etkileri ile birlikte güneşe doğrudan serme işleminin etkisinin de karşılaştırması yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan Sultana çekirdeksiz üzümlerin ön işlem uygulanmış ve ön işlem uygulanmamış şekilde kurutma kinetikleri karşılaştırılmıştır. Ön işlem olarak %5 K₂CO₃ - %0.5 Zeytinyağ çözeltilisi (potasa) hazırlanarak uygulanmıştır. Kabinlere gönderilen kurutma havası sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür. Aynı zamanda potasa çözeltilisine bandırılan ve bandırılmayan üzümlerin kurutma süresince efektif nem difüzyon katsayısının (D_{eff}) düştüğü, potasa çözeltilisine bandırılan üzümlerde potasa çözeltilisine bandırılmayan üzümlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Potasa çözeltilisine bandırılan üzümlerin kurutma süresi, potasa çözeltilisine bandırılmayan üzümlere göre daha kısa olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda yapılan kurutma işleminde üzümlerin kurutma süresinin kabin kapakları kapalı pozisyonda yapılan kurutma işlemine göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir.

Üzümlerin kurutulması ile elde edilen efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin 1.07×10^{-8} - 1.05×10^{-7} aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kabin güneşlenme kapaklarının açık olması ve potasa çözeltilisine bandırma ön işleminin uygulanması efektif nem difüzyon katsayısı değerinin daha yüksek olmasını sağladığı tespit edilmiştir. Sergideki üzümler için efektif nem difüzyon katsayısı değerinin 9.71×10^{-9} - 2.20×10^{-8} aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sergi için de potasa çözeltilisine bandırma ön işleminin efektif nem difüzyon katsayısı değerinin daha yüksek olmasını sağladığı tespit edilmiştir.

Üzümlerin potasa çözeltilisine bandırılması ile bandırılmadan kurutulması sonucu elde edilen son ürünün renk, koku, tekstür gibi değerler bakımından karşılaştırıldığında, potasa çözeltilisine bandırılmış üzümlerin genel beğeni bakımından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Kabin güneşlenme kapaklarının kapalı veya açık olması bakımından da kabin güneşlenme kapakları açık pozisyonda kurutulan üzümlerin genel beğeni açısından daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Sultana üzümlerin kurutulması işleminden önce potasa çözeltilisinin uygulanmasının, kurutma işlemi süresince kabin güneşlenme kapaklarının açılarak güneş ışınlarının üzümlerin kurutulmasına etki etmesinin ve kurutma kabinlerine gönderilen kurutma havası sıcaklığının daha yüksek sıcaklıkta olmasının kurutma süresini kısaltması ve kurutma kinetik değerlerinin artmasını sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, üzüm kurutma işleminde çeşitli daldırma ön işlemi uygulamalarının yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

9. KAYNAKLAR

Abdallah, S., Nijmeh, S., “Two axes sun tracking system with PLC control”, *Energy Conversion and Management*, 45 (11-12), 1931-1939, (2004).

Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., Abdallah, S., “Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (3), 864-873, (2008).

Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W., Spiess, W., “Quality changes of onion (*Allium Cepa* L.) as affected by the drying process”, *Food / Nahrung*, doi:10.1002/(SICI)1521-3803(20000101)44:1<32::AID-FOOD32>3.0.CO;2-F, (2000).

Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W., Di Matteo, M., “Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment”, *Journal of Food Engineering*, 172, 9-18, (2016).

Aghbashio, M., Kianmehr, M. H., Arabhosseini, A., “Performance Analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer”, *Journal of Food Engineering*, 91 (1), 99-108, (2009).

Akpınar, E. K., Midilli, A., Biçer, Y., “Experimental investigation of drying behaviour and conditions of pumpkin slice via a cyclone-type dryer”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83 (14), 1480-1486, (2003).

Akpınar, E. K., Midilli, A., Biçer, Y., “Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling”, *Energy Conversion and Management*, 44 (10), 1689-1705, (2003).

Aktaş, M., Ceylan, İ., Yılmaz, S., “Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer”, *Desalination*, 239 (1-3), 266-275, (2009).

Atalay, Ö., “Güneş enerjisi destekli nem almalı ısı pompalı kurutucunun tasarımı ve termodinamik analizi”, Doktora, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2010).

Azzouz, S., Guizani, A., Jomaa, W., Belghith, A., “Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes”, *Journal of Food Engineering*, 55 (4), 323-330, (2002).

Barnwal, P., Tiwari, G. N., “Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study”, *Solar Energy*, 82 (12), 1131-1144, (2008).

Belessiotis, V., Delyannis, E., “Solar Drying”, *Solar Energy*, 85 (8), 1665-1691, (2011).

Bingöl, G., Devres, Y. O., “Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi”, *İTÜ Dergisi/d mühendislik*, 9 (4), 63-71, (2010).

Cemeroğlu, B. S., “*Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi - 1*”, İstanbul, Nobel Yayıncılık, (2011).

Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., “Isı pompalı bir kurutucuda kerestelerin kurutma süresinin belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22 (4), 847-854, (2007).

Chen, H., Hernandez, C. E., Huang, T., “A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer”, *Solar Energy*, 78 (1), 97-103, (2005).

Çağlar, A., Toğrul, İ. T., Toğrul, H., “Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying”, *Food and Bioprocess Processing*, 87 (4), 292-300, (2009).

Çengel, Y. A., Boles, M. A., “*Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*”, İstanbul, Literatür Yayıncılık, (2007).

Değim, Z., Doğanay, T., Tırnaksız, F., Takka, S., Çelebi, N., Acartürk, F., Ağabeyoğlu, İ., Değim, T., “*Modern farmasötik teknoloji*”, İstanbul, Türk Eczacılar Birliği Eczacılık Akademisi Yayını, (2009).

Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A. K., Degirmencioglu, A., “Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves”, *Biosystems Engineering*, 88 (3), 325-335, (2004).

Dinçer, İ., “*Refrigeration systems and applications*”, İngiltere, John Wiley & Sons, Ltd., (2003).

Doymaz, İ., “Drying kinetics of black grapes treated with different solutions”, *Journal of Food Engineering*, 76 (2), 212-217, (2006).

Ekechukwu, O. V., Norton, B., “Review of solar-energy drying systems II: An overview of solar drying technology”, *Energy Conversion and Management*, 40 (6), 615-655, (1999).

Erbil, T., “Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı hibrit ısı pompası tesisinin enerji ve ekserji analizinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans, *Ege Üniversitesi*, İzmir, (2002).

Esmaili, M., Sotudeh-Gharebagh, R., Mousavi, M. A. E., Rezazadeh, G., “Influence of dipping on thin-layer drying characteristics of seedless grapes”, *Biosystems Engineering*, 98 (4), 411-421, (2007).

Fadhel, A., Kooli, S., Farhat, A., Bellghith, A., “Study of the solar drying of grapes by three different processes”, *Desalination*, 185 (1), 535-541, (2005).

Gallali, Y. M., Abujnah, Y. S., Bannani, F. K., “Preservation of fruits and vegetables using solar dryer: A comparative study of natural and solar drying, III; Chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, figs, tomatoes and onions)”, *Renewable Energy*, doi:10.1016/S0960-1481(99)00032-4, (2000).

Güngör, A., Özbalta, N., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (1997).

Güngör, A., Özbalta, N., “Kurutmanın temelleri ve endüstriyel kurutucular kurs notları”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (2009).

Hawlader, M. N. A., Rahman, S. M. A., Jahangeer, K. A., “Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer”, *Energy Conversion and Management*, 49 (6), 1612-1619, (2008).

Hawlader, M. N. A., Jahangeer, K. A., “Solar heat pump drying and water heating in the tropics”, *Solar Energy*, 80 (5), 492-499, (2006).

Hollick, J. C., “Commercial scale solar drying”, *Renewable Energy*, 16 (1-4), 714-719, (1999).

Incropera, F. P., De Witt, D. P., “Isı ve kütle geçişinin temelleri”, (eds: Derbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Hepbaşlı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C. ve Uralcan, Y.), İstanbul, Literatür Yayıncılık, (2001).

İsmail, O., “Investigation the effect of potasium carbonate solutions on drying of sultana grapes”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 23 (1), 108-113, (2005).

Kohayakawai, M. N., Silveira-Junior, V., Telis-Romero, J., “Drying of mango slices using heat pump dryer”, *14th International Drying Symposium*, Sao paulo, Brasil, (2004).

Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., Marinos-Kouris, D., “Drying kinetics of some vegetables”, *Journal of Food Engineering*, 59 (4), 391-403, (2003).

Madhlopa, A., Jones, S. A., Saka, J. D. K., “A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration”, *Renewable Energy*, 27 (1), 27-37, (2002).

Marfil, P. H. M., Santos, E. M., Telis, V. R. N., “Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying contitions”, *LWT-Food Science and Technology*, 41 (9), 1642-1647, (2008).

Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M., “Hot air and sun drying of grape leather (pestil)” *Journal of Food Engineering*, 54 (1), 81-88, (2002).

Matteo, M. D., Cinquanta, L., Galiero, G., Crescitelli, S., “Effect of a novel physical pretreatment process on the drying kinetics of seedless grapes”, *Journal of Food Engineering*, 46 (2), 83-89, (2000).

Mirza, M., “Isı pompalı kurutucunun ısı tasarımı”, Yüksek Lisans, *Ege Üniversitesi*, İzmir, (2006).

Murthy, M. V. R., “A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (4), 835-844, (2009).

Nijmeh, M. N., Ragab, A. S., Emeish, M. S., Jubran, B. A., “Design and testing of solar dryers for processing food wastes”, *Applied Thermal Engineering*, 18 (12), 1337-1346, (1998).

Oktar, G., “Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde farklı giberlik asit (GA₃) dozlarının hasat zamanlarının ve bandırma eriğinin konsantrasyonlarının kuru üzüm verim ve kalitesi üzerine etkisi”, Yüksek Lisans, *Ege Üniversitesi*, İzmir, (2014).

Özay, G., Pala, M., Saygı, B., “Bazı gıdaların su aktivitesi (a_w) yönünden incelenmesi”, *Gıda*, 18 (6), 377-383, (1993).

Özek, N., Üçgül, İ., Fişek, S., “Güneş enerjili kurutma sistemleri ve ısı analizleri”, *Çevre-Enerji Kongresi Sempozyumu*, Antalya, (1997).

Özler, S., Ergüneş, G., Tarhan, S., “Sert buğdaydan yapılmış bulgurun tepsili kurutucuda kurutulması”, *Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 160-166, (2005).

Pacco, H. C., Menegalli, F. C., “Drying of sliced figs of “Gigante De Valinhos” variety (Ficus Carical)”, *International Drying Symposium (IDS 2004)*, Brezilya, (2004).

Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L., Sarsavadia, P. N., “Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes”, *Journal of Food Engineering*, 39 (2), 211-216, (1999).

Pavon-Melendez, G., Hernandez, J. A., Salgado, M. A., Garcia, M. A., “Dimensionless analysis of the simultaneous heat and mass transfer in food drying”, *Journal of Food Engineering*, 51 (4), 347-353, (2002).

Purohit, P., Kumar, A., Kandpal, T. C., “Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation”, *Solar Energy*, 80 (12), 1568-1579, (2006).

Queiroz, R., Gabas, A. L., Telis, V. R. N., “Drying kinetics of tomato by using electric resistance and heat pump dryers”, *Drying Technology*, 22 (7), 1603-1620, (2004).

Saensabai, P., Prasertsan, S., “Effects of component arrangement and ambient and drying conditions on the performance of heat pump dryers”, *Drying Technology*, 21 (1), 103-127, (2003).

Singh, S. P., Jairaj, K. S., Srikant, K., “Comparison of drying characteristics of green and black seedless grapes using hot air dryer”, *International Journal of Science, Technology & Society*, doi:10.18091/ijsts.vli2.9520, (2015)

Şahin, U., Öztürk, H. K., “Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (Ficus carica L)”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 104-111, (2016).

T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, “Yaş ve Kuru Meyve Sebze İle Seracılık Dış Pazar Çalışması Kasım/2016 [online]”, (10 Mayıs 2018), https://www.tarim.gov.tr/ABDGM/Belgeler/%C4%B0DAR%C4%B0%20%C4%B0%C5%9ELER/D%C4%B1%C5%9F%20Pazar%20Stratejileri/Ya%C5%9F%20Kuru%20Meyve%20Sebze%20ile%20Serac%C4%B1%C4%B1k%20D%C4%B1%C5%9F%20Pazar%20Stratejisi%20Raporu_09112016.pdf, (2018).

T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, “2017 yılı çekirdeksiz kuru üzüm raporu Mart 2018 [online]”, (10 Mayıs 2018), <http://koop.gtb.gov.tr/data/5ad06e70ddee7dd8b423eb2c/2017%20Kuru%20%C3%9Cz%C3%BCm%20Raporu.pdf>, (2018).

Timoumi, S., Mihoubi, D., Zagrouba, F., “Simulation model for a solar drying process”, *Desalination*, 168, 111-115, (2004).

Toğrul, İ. T., Pehlivan, D., “Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers”, *Journal of Food Drying*, 55 (3), 209-216, (2002).

Tulasidas, T. N., Ratti, C., Raghavan, G. S. V., “Modelling of microwave drying of grapes”, *Canadian Agricultural Engineering*, 39 (1), 57-67, (1997).

VijayaVenkataRaman, S., Iniyani, S., Goic, R., “A review of solar drying Technologies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), 2652-2670, (2012).

Vazquez, G., Chenlo, F., Moreira, R., Cruz, E., “Grape drying in a pilot plant with a heat pump”, *Drying Technology*, 15 (3-4), 899-920, (1997).

Xanthopoulos, G., Yanniotis, S., Lambrinos, Gr., “Water diffusivity and drying kinetics of air drying of figs”, *Drying Technology*, 27, 502-512, (2009).

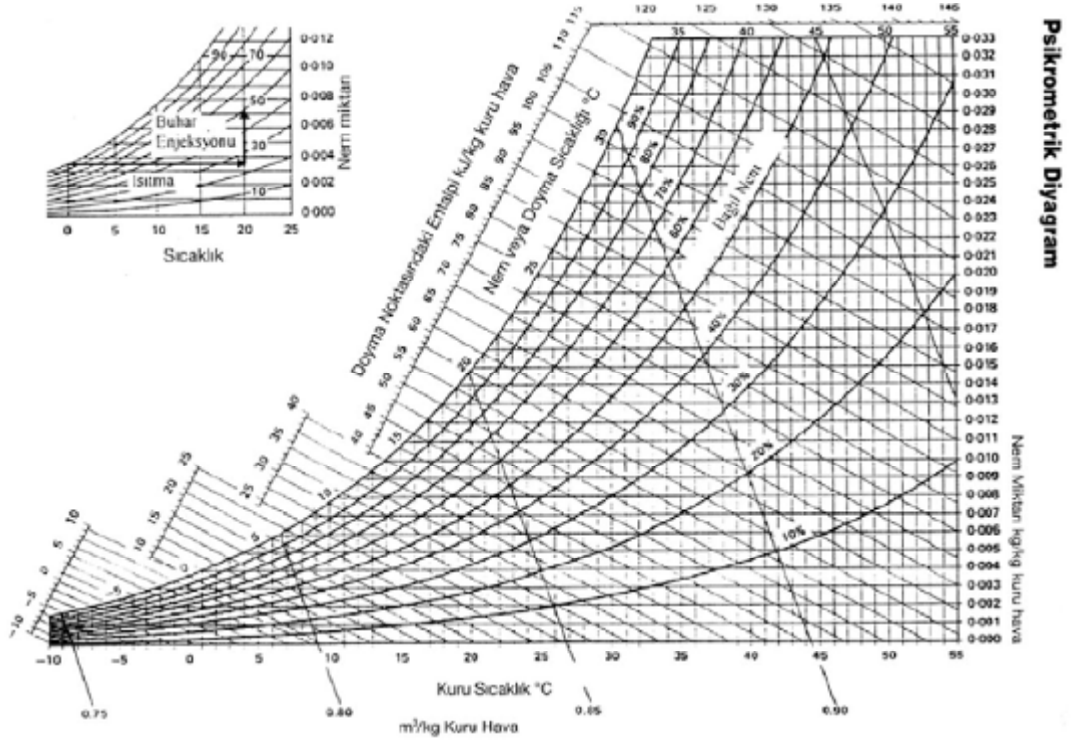
Yağcıoğlu, A., “*Tarım ürünleri kurutma tekniği*”, İzmir, Ege Üniversitesi Yayını, (1999).

Yaldiz, O., Ertekin, C., “Thin layer solar drying of some vegetables”, *Drying Technology*, 19 (3-4), 583-597, (2001).

EKLER

10. EKLER

EK A – Psikrometrik diyagram



11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ALİ PALA

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ / 31.07.1985

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Y. Lisans Üniversite (varsa) : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : alipala@gmail.com

İletişim Adresi : SELÇUKBEY MAH. 658 SOK. NO: 5B

MAVİ BONCUK SİTESİ, A2 BLOK, K:3 D:9

MERKEZEFENDİ/DENİZLİ

1985 yılında Denizli’de doğan Ali PALA, ilköğrenimini Sarayköy ilçesine bağlı Hisar Köy Mahallesi’nde bulunan Hisar Köy İlkokulu’nda, ortaokulu Denizli Arif Yalınkaya İ.Ö.O. ‘nda, liseyi de Denizli Kazım Kaynak Y.D.A. Lisesi’nde tamamlamıştır. 2003 yılında girdiği Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2007 yılında mezun olmuştur. 2007 yılı Aralık ayı ile 2008 yılı Aralık ayı tarihleri arasında askerlik görevini tamamlayan Ali PALA, 2009 yılı Şubat ayında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Bir tekstil birmasında Makine Enerji Sorumlusu olarak çalışan Ali PALA, evli ve bir çocuk babasıdır.