

**KONVEKTİF VE UV-KONVEKTİF KURUTUCULARDA
ÖKSEOTU (*Viscum Album L.*) BİTKİSİNİN
KURUMA DAVRANIŞI**

Bircan KÖSE

**Y. Lisans Tezi
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Yrd. Doç. Dr. Saliha ERENTÜRK**

**2008
Her Hakkı Saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y. LİSANS TEZİ

**KONVEKTİF VE UV-KONVEKTİF KURUTUCULARDA
ÖKSEOTU (*Viscum Album* L.) BİTKİSİNİN
KURUMA DAVRANIŞI**

Bircan KÖSE

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2008
Her Hakkı Saklıdır

Yrd.Doç.Dr. Saliha ERENTÜRK danışmanlığında, **Bircan KÖSE** tarafından hazırlanan bu çalışma **20/08/2008** tarihinde aşağıdaki jüri Tarafından **Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı**'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Yrd. Doç. Dr. Saliha ERENTÜRK

İmza: 

Üye Yrd. Doç. Dr. Özlem KORKUT

İmza: 

Üye Yrd. Doç. Dr. Turan ÇALBAN

İmza: 

Yukarıdaki Sonucu Onaylarım

(İmza)

.....
Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

KONVEKTİF VE UV-KONVEKTİF KURUTUCULARDA ÖKSEOTU (*Viscum Album L.*) BİTKİSİNİN KURUMA DAVRANIŞI

Bircan KÖSE

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Saliha ERENTÜRK

Bu çalışmada oldukça yüksek farmakolojik özelliğe sahip olan *Viscum Album L.* bitkisinin iki farklı tip kurutucuda kuruma kinetiği incelenmiştir. Kurutma deneyleri raflı tip konvektif kurutucuda ve UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kurutma parametresi olarak 60-70-80°C sıcaklık ve 0,5-1-1,5 m/s hava hızı seçilmiştir. Denemeler sonunda kurutma eğrileri boyutsuz nem içeriğine karşı zaman olarak grafik edilmiştir. Kuruma modeli olarak literatürde bulunan modellerden altı tanesi denenmiş her iki tip kurutma için Modifiye Page modelinin ökseotu kurutma karakteristiğini en iyi şekilde ifade ettiği bulunmuştur. Model katsayıları hava hızı ve sıcaklığa bağlı olarak ifade edilmiştir. Ökseotunun kuruması sırasında etkin nem difüzyonuna, hava sıcaklığı, hava hızının ve UV'nin etkileri belirlenmiştir. Ayrıca bitkinin kuruma sonrası C vitamini içeriği belirlenmiş ve renk değişiminin tesbiti için L* a* b* değerleri incelenmiştir.

2008, 65 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Ökseotu, Modelleme, Morötesi ışınlar, Difüzyon, Askorbik asit, Etkin Nem

ABSTRACT

Master Thesis

DRYING BEHAVIOUR OF MISTLETOE (*Viscum Album L.*) PLANT IN CONVECTIVE AND UV-CONVECTIVE DRIERS

Bircan KOSE

Ataturk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Saliha ERENTURK

In this study, drying kinetics of *Viscum Album L.* Plant which has fairly high pharmacological characteristic potential was investigated for two different types driers. Drying experiments were conducted in a shelf type of convective drier and a UV combined convective drier. Drying parameters were selected as 60, 70, 80°C for air temperature and 0,5-1-1,5 m/s for air velocity. Time versus dimensionless moisture content graphics were obtained for conducted experiments. In order to derive a kinetic model for misletoe six mathematical models reported in literature have been considered and the best fitting was obtained with the Modified Page model for both types drying. Model coefficients were expressed in terms of air velocity and temperature. The effect of air temperature, air velocity and UV to effective moisture diffusivity were determined during drying of misletoe. In addition, vitamin C content of plant and L^* , a^* , b^* values were evaluated at the end of drying.

2008, 65 Pages

Keywords: Drying, Mistletoe, Modelling, Ultraviolet rays, Diffusion, Ascorbic acid, Effective moisture

TEŞEKKÜR

Öncelikle, Yüksek Lisans'a başladığım günden itibaren bilgisi ve hoşgörüsüyle, yardım ve desteğini benden esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Saliha ERENTÜRK'e teşekkür ederim.

Deneylem için materyal temin eden ve maddi-manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, özellikle anne ve babam Sayın Hava KÖSE ve Sayın Nuri KÖSE'ye sonsuz teşekkür ederim.

Düzenegin kurulması ve işleyişi sırasında her türlü yardım ve desteği sağlayan Sayın Yrd.Doç.Dr. Köksal ERENTÜRK'e, laboratuvar desteğiyle Sayın Prof.Dr. Sezai ERCİŞLİ, Sayın Yrd.Doç.Dr. İ.Güngör ŞAT ve Sayın Arş.Gör. Emine ORHAN a saygılarımı sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Bununla birlikte arkadaşlarım Eda KELEŞ, Nejdet DEĞERMENCİ, Sinan KUL, Kevser KARAGÖZ, Zeynep EKMEKYAPAR ve kardeşim Emrah KÖSE'ye yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, 2003/258 nolu projeye desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi Araştırma fonuna teşekkür ederim.

Bircan KÖSE

Ağustos 2008

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Kurutma yüzey alanı (cm ²)
a*	Yeşilden kırmızıya renk değişimi
b*	Maviden sarıya renk değişimi
D _{eff}	Etkin difüzyon katsayısı (m ² /s)
E _a	Aktivasyon enerjisi (Kj/mol)
F _o	Fourier sayısı
L*	Parlaklık
L _s	Kuru katı kütlesi (kg kuru katı)
M	Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru katı)
M _o	Başlangıç anında denge nem içeriği (kg su/ kg kuru katı)
M _e	Denge anında nem içeriği (kg su/ kg kuru katı)
MR	Boyutsuz nem içeriği
R	Kuruma hızı (kg kuru katı/cm ² dk)
R	Evrensel gaz sabiti (8,314 J/mol K)
R	Korelasyon katsayısı

Kısaltmalar

AA	Askorbik asit
konv.	Konvektif

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Kurutma.....	8
2.2. Materyallerde Suyun Tutulması	10
2.3. Ürün İçinde Nem Hareketi	11
2.4. Ürün Yüzeyinde Nem Hareketi.....	11
2.5. Kurutma Kinetiği.....	12
2.6. Morötesi UV Kurutma.....	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.2. Kurutma Düzenegi	17
3.3. Kurutma Deneyleri	19
3.4. Nem İçeriği Belirlenmesi	19
3.5. C Vitamini Analizi	20
3.6. Renk Analizi.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	22
4.1. Kurutma Havası Sıcaklığının Konvektif Kurutmaya Etkisi.....	22
4.2. Kurutma Havası Hızının Konvektif Kurutmaya Etkisi	24
4.3. Kurutma Havası Sıcaklığının UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutmaya Etkisi.....	27
4.4. Kurutma Havası Hızının Konvektif UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutmaya Etkisi.....	30

4.5. Konvektif Tip Kurutucuda Kuruma Hızı	32
4.6. UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kuruma Hızı	34
4.7. Konvektif Tip Kurutucu ile UV-Konvektif Tip Kurutucunun Kuruma Hızına Etkisinin Kıyaslanması	37
4.8. Konvektif Tip Kurutucu ile UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutulan Ökseotu Bitkisinde C Vitamini Değişimi.....	42
4.9. Konvektif ve UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutulan Ökseotu Bitkisinde renk değişimi Etkisi	43
4.10. Konvektif ve UV-Konvektif Tip Kurutucuda Tek Tabaka Kurutulan Ökseotu Bitkisinin Kuruma Modeli	45
4.11. Etkin Nem Difüzyon Katsayısı	54
5. SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kurutmada nem içeriği-zaman grafiği.....	12
Şekil 2.2. Kurutma hızı nem eğrisi	12
Şekil 3.1. Ökseotu (<i>Viscum album L.</i>) bitkisinin yaprakları ve ağaç üzerindeki görüntüsü	17
Şekil 3.2. Konvektif tip kurutma düzeneği	18
Şekil 3.3. UV-Konvektif birleştirilmiş tip kurutma düzeneği	18
Şekil 4.1. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=0,5$ m/s).....	22
Şekil 4.2. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1$ m/s).....	23
Şekil 4.3. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1,5$ m/s).....	24
Şekil 4.4. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (60°C)	25
Şekil 4.5. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (70°C)	26
Şekil 4.6. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (80°C)	27
Şekil 4.7. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi ($0,5\text{m/s}$).....	28
Şekil 4.8. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi (1m/s).....	29
Şekil 4.9. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi ($1,5\text{m/s}$).....	30
Şekil 4.10. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (60°C).....	31
Şekil 4.11. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (70°C).....	31
Şekil 4.12. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (80°C).....	32
Şekil 4.13. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=0,5$ m/s).....	33
Şekil 4.14. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=1$ m/s).....	33
Şekil 4.15. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=1,5$ m/s).....	34
Şekil 4.16. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=0,5$ m/s).....	35

Şekil 4.17. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=0,5$ m/s).....	36
Şekil 4.18. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=0,5$ m/s).....	36
Şekil 4.19. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C $0,5$ m/s).....	37
Şekil 4.20. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C 1 m/s).....	38
Şekil 4.21. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C $1,5$ m/s).....	38
Şekil 4.22. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C $0,5$ m/s).....	39
Şekil 4.23. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C 1 m/s).....	39
Şekil 4.24. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C $1,5$ m/s).....	40
Şekil 4.25. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C $0,5$ m/s).....	40
Şekil 4.26. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C 1 m/s).....	41
Şekil 4.27. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C $1,5$ m/s).....	41
Şekil 4.28. Deneysel ve Tahmini boyutsuz nem içeriğinin karşılaştırılması (Konvektif tip).....	50
Şekil 4.29. Deneysel ve Tahmini boyutsuz nem içeriğinin karşılaştırılması (UV-Konvektif tip).....	54
Şekil 4.30. $0,5$ m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (konvektif kurutma).....	55
Şekil 4.31. 1 m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (konvektif kurutma).....	56
Şekil 4.32. $1,5$ m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (konvektif kurutma).....	56
Şekil 4.33. $0,5$ m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma).....	58
Şekil 4.34. 1 m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma).....	58
Şekil 4.35. $1,5$ m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma).....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Ökseotu Bitkisinde C Vitamini Değişimi	43
Çizelge 4.2. Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotunun renk analizi	44
Çizelge 4.3. Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökse otunun renk analizi	44
Çizelge 4.4. Tek tabaka kuruma modelleri	45
Çizelge 4.5. 60°C için İstatistiksel analiz sonuçları	47
Çizelge 4.6. 70°C için İstatistiksel analiz sonuçları	48
Çizelge 4.7. 80°C için İstatistiksel analiz sonuçları	49
Çizelge 4.8. 60°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları	51
Çizelge 4.9. 70°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları	52
Çizelge 4.10. 80°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları	53
Çizelge 4.11. Etkin difüzyon katsayılarının hava hızı ve sıcaklığa göre davranışı	57
Çizelge 4.12. Konvektif ve UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotu bitkisinin aktivasyon enerjileri.....	59

1. GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından bu yana dünyamız içerdiği zengin kaynaklarıyla üzerinde barındırdığı tüm canlılara cömertçe hizmet etmektedir. Hem hayatın devamı ve hem de ekolojik çevrimin vazgeçilmez kaynaklarından biri de bitkilerdir. Bitkiler içerdikleri zengin mineral ve vitaminler sayesinde canlıların beslenmesinde oldukça önemli yer tutarlar. Beslenmenin yanı sıra vücuttaki dengelerin kurulmasında organların ve hormonların düzenli işleyişinde çok etkin olan maddeleri de içermektedirler.

Günümüzde modern bilimin keşfettiği kimyasal maddelerin büyük çoğunluğu bitkisel kaynaklıdır ve her geçen gün tıp dünyasında birçok hastalığın tedavisine imkan sağlayan ilaçlar yine bitkisel kaynaklı maddelerden üretilip geliştirilmektedir.

Tüm dünyada mistletoe adıyla bilinen, halk arasında çekem, burç, gevele gibi değişik pek çok isimle tanınan Santatales takımının Viscacea (Loranthaceae) familyasında yer alan *Viscum album* L. yani ökseotu (Yüksel vd. 2005) bitkisi de bu amaçla kullanılmaktadır.

20. yüzyılın başlarında (1861-1925) Avustralyalı tıp doktoru Rudolf Steiner, ökseotunun hastalara enjekte edilebilecek özütlerini çıkararak bu özütleri kanser hastaları üzerinde kullanmış ve böylece ökseotunun kanser tedavisi ve modern bilim dünyasındaki araştırmalarda yerini almasını sağlamıştır. 20. yüzyılın son 10 yılında ise klinik çalışmalarda kronik virüs enfeksiyonları HIV/AIDS, hepatit vs. gibi hastalıklar üzerine kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte ökseotu çay olarak kullanıldığında diyabet hastalığında, yüksek tansiyon, atar damar sertliği, akciğer kanaması, burun kanaması, tifo veya dizanteri sonrası karşılaşılan bağırsak kanamalarını durdurucu, baş ağrısı, baş dönmesi, kanın temizlenmesi, kalbin güçlendirilmesi, idrar artırıcı, kusturucu, kuvvet verici, spazm giderici olarak kullanılan bir bitkidir. Tüm bunların yanı sıra insanlar için zehirli olan meyveleri iç yağı veya yakı sakızı ile ezilerek merhem olarak kullanılır (Temür 2006).

Ökseotunun tedavi amaçlı kullanımı yapısındaki alkaloidler, lektinler, viskotoksinler, poliholozitler, oz ve türevleri, fenilpropan ve lignanlar, fenolik asitleri içermesi sayesinde (Ergun vd. 1995).

Bilindiği üzere C vitamini (askorbik asit) insan vücudu için çok gerekli bir vitamindir. Eksikliği kılcal damar çeperlerinin zayıflamasına, dişlerin gevşemesine, diş eti hastalıklarına ve eklem hastalıklarına neden olmaktadır. C vitamini birçok hastalıklarına karşı vücudun direncini artırmaktadır. C vitamininin emilimi ince bağırsakta ve 100 mg a kadar %95 seviyelerinde olduğu için besin maddeleri ile alınan C vitamini saf olarak alınan C vitamininden daha iyi emilir. Fazlası depo edilmez idrar ile birlikte dışarı atılır (Erentürk 2002).

C vitamini, biyolojik maddelerin işlenmesi, depolanması ve pişirilmesinde en çok kaybolan vitamindir. Bu nedenle, gıdalara uygulanan birçok olumsuz etkinin belirlenmesinde askorbik asit yani C vitaminindeki kayıp miktarı bir ölçüt olarak kullanılır. Askorbik asit kristalleri kuru koşullarda ve normal oda sıcaklığında, hem gün ışığına hem de hava oksijenine karşı uzun süre dirençlidir (Erentürk 2002).

Kurularak saklama yöntemi; Pastörize (mikroorganizmaları yok etme veya gelişmelerini durdurma), soğutma (solunum miktarını azaltma), atmosfer kontrolü (ürünün etrafındaki atmosfer koşullarında O₂ oranının azaltılıp, CO₂ oranının artırılması), kimyasal uygulamalar (propionic, acetic, bulyric ve formic asit gibi organik asitler ve amonyak gibi maddelerin ürünlerin kurutulmasında kullanılması), Beta ve Gama ışınları (bu ışınlarla mikroorganizmalar iyonlaştırılarak öldürülmesi) yöntemleri içinde, ürünün bozulmadan uzun süre korunmasını sağlamak, ürünün nem miktarının düşmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafaza edilmesini sağlamak, ürün hacminin azalması, dolayısıyla ürünün önemli bileşenlerinin taşınma ve depolanmasındaki verimin artmasına olanak vermesinden dolayı en çok tercih edilen yöntemdir.

Bu çalışmada; bol miktarda C vitamini içeren ve zengin farmakolojik içeriğe sahip olan ökseotu bitkisinin, özelliğini kaybetmeden veya çok az kaybederek daha sonraki aylarda da kullanabilmek için, kurutularak saklama yönteminin uygunluğunun araştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca ökseotu bitkisinin kontrollü kurutulması sırasında çeşitli parametrelerin kurumaya etkisinin incelenmesi, kuruma kinetiğinin çıkarılması, kurumanın modellenmesi, UV nin kurumaya etkisinin incelenmesi ve kuruma sırasında C vitamini ve renkteki değişikliklerin belirlenmesi, böylece uygun kurutma sıcaklığı ve hızlarının belirlenmesi de yine bu çalışmanın amaçlarındandır.

Gıda maddelerinin kurutulması ile ilgili pek çok çalışma literatürde mevcuttur. Bununla birlikte ökseotu kurutulması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kuruma ile ilgili olarak literatürde bulunan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Hacıhafizoğlu *et al.* (baskıda) yaptıkları çalışmada işlenmemiş pirinci tek tabaka şeklinde kurutarak matematiksel modellemesini yapmışlardır. 40-60°C ile 1,5 ve 3,0 m/s hava hızında çalışmışlar ve literatürde ulaşabildikleri birkaç modele uygunluğunu incelemişler. Buna göre Midilli *et al.* modelinin uygun olduğunu bulmuşlardır.

Doymaz (2007) 1,2 m/s ve 50-65°C de alkali etil oleat çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış çileği bir laboratuvar kurutucusunda kurutarak tek tabaka kurutma modelini araştırmıştır. 50 ve 55°C de logaritmik modele uyduğunu, 65°C ise Wang and Sing modeline uyduğunu göstermiştir. Çileğin etkin nem difüzyon katsayısını da $4,95 \times 10^{-10}$ ile $1,42 \times 10^{-9}$ m²/s aralığında bulmuştur.

Demir *et al.* (2007) yaptıkları çalışmada, sofralık yeşil zeytini 40-70°C de 1 m/s sabit hava hızında konvektif kurutucuda kurutarak, 13 farklı matematiksel model denemişlerdir ve yeni modelin en uygun olduğunu bulmuşlardır.

Mohapatra and Rao (2005), kavrulmuş buğdayın ince tabaka kurutma modelini oluşturmuşlardır. Teorik ve deneysel modelleri kullanarak 40°C ve 50°C sıcaklıklar için

buğdayın ince tabaka kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Kurutma süresince nem difüzyon etkisinin önemli ölçüde kurutma periyodunu azalttığını belirlemişlerdir. Bu difüzyonun $1,218 \times 10^{-10}$ ile $2,861 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Koyuncu *et al.* (2005) kızılçık meyvesinin kuruması sırasında kuruma karakteristiği ve enerji gereksinimi üzerine çalışma yapmışlardır. Kızılçıkları 50-70°C, 0,3-0,9 m/s de paralel akışlı, bir kurutucu kullanarak %233(kuru bazda) nem içeriğinden %8 e düşünceye kadar kurutmuşlardır.

Sacilik and Elicin (2005) yaptıkları çalışmada organik elma parçalarını konvektif kurutucuda, 5 ve 9 mm kalınlığında, 40 ve 60°C kurutma havası sıcaklıklarında tek tabaka olarak kurutmuş ve kuru elma parçalarının kalitesine parça kalınlığı ve kurutma havası sıcaklığının etkisini inceleyerek, elma parçalarının 240–260 dakika arasında mükemmel kurduğunu bulmuşlardır. Etkin difüzyon katsayılarını $2,27 \times 10^{-10}$ ve $4,97 \times 10^{-10}$ m²/s aralığında tanımlamış ve logaritmik modelin diğer modellere göre daha iyi uyduğunu göstermişlerdir.

Demir *et al.* (2004) hava ile kurutulan defne yaprağının bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi ve matematiksel modeli ile ilgili çalışmalarında, defne yapraklarını 40-60°C hava sıcaklığında ve 1.5 m/s hava akış hızında kurutmuşlardır. Kuruma oranı ile iyi bilinen beş modeli hava sıcaklığının bir işlevi olarak, hem sıcaklık hem de havadaki neme bağlı uygunluk için test etmişlerdir. Page modelinin defne yapraklarının konveksiyon yöntemi ile kurutulmasında uygun olduğunu belirlemişlerdir. Renkte ve defne yaprağının gerekli yağ miktarında, kurutma şartlarının etkilerini incelemişlerdir.

Erentürk *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada kuşburnu meyvesini 50–80°C sıcaklık, 1,67–3,10 m/s hava hızı ve 0,005–0,08 kg [nem]/ kg [kuru hava] mutlak nem şartlarında kurutarak altı modeli denemişler ve logaritmik modelin diğerlerine göre daha iyi uyduğunu bulmuşlardır.

Akpınar ve Biçer (2003) siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışını incelemişlerdir. Deneysel olarak 60-80 °C'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken, 1 ve 1,5 m/s'lik kurutma havası hızları kullanmışlardır. Deneysel sonuçlardan elde ettikleri kuruma hız-nem içeriği değişimi eğrilerini, Non-lineer regresyon analizi metodunu kullanarak matematiksel olarak modellemişlerdir. Deneysel sonuçlarına göre en yüksek kuruma hızını 80°C sıcaklıkta ve 1,5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızını ise 60 °C sıcaklığında ve 1 m/s kurutma havası hızında elde etmişlerdir.

Akpınar *et al.* (2003) farklı kalınlıktaki patates dilimlerini siklon tip bir konvektif kurutucuda 60-80°C ve 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızında kurutmuşlardır. Patates dilimlerinin kalınlığına göre kuruma sürelerini incelemişler ve Non-lineer regresyon analizi ile en uygun modelin difüzyon yaklaşımı modelinin olduğunu göstermişlerdir.

Doymaz ve Pala (2002) kırmızıbiberin sıcak hava ile kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, farklı işlem ve hava kurutma şartları altında kırmızıbiberlerin kurutulmasının teorik ve deneysel bir çalışmasını sunmuşlardır. Bu çalışma sonuçları önceden hazırlanmış biberlerin daha önce kurduğunu, L (Işıksız), +a (kırmızısız) ve b (sarımsız), kimyasal işleme tabi tutulmamış ve kurutulmuş biberlerden daha değerli olduğunu göstermiştir. %2 etil alkol ve %5 K₂CO₃ çözeltisi 50 °C de kurutulan balina biberleri için sağlanan en etkili sonuç ve en iyi renk kalitesinde ürün olmuştur. Parçalanmış biberlerin kuruyan kavisleri üstel denklem ve Page denklemi kullanılarak elde edilmiştir. Her iki denklemin R² değerleri karşılaştırılarak üstel denklemden daha iyi kurutma karakteristiklerini hazırlayan denklemin Page denklemi olduğu sonucuna varmışlardır.

Toğrul ve Pehlivan (2002) kayısının kurutma parametrelerinin modellenmesi ile ilgili çalışmalarında, kayısının kuruma davranışını, kuru bir odada sıcak havanın akıntı yönüne tutarak belirlemişlerdir. Deneysel olarak hava sıcaklıklarını 50-80°C akıntı oranlarını ise 0.2-1.5 m/s olarak kullanmışlardır. Literatürde verilen 14 farklı tek tabaka kuruma modellerini kullanarak yeni bir model geliştirmişlerdir. Bütün modeller

içinde logaritmik modeli kayısıların kuruma davranışını açıklamak için en iyi model olarak tespit etmişlerdir.

Maskan *et al.* (2001) üzüm pestillerinin sıcak hava ve güneşle kurutulması ile ilgili çalışmalarında, sıcak hava kurutması için hava sıcaklığını 55-75°C, örnek kalınlığını 0.71-2.86 mm ve hava hızını 0.86-1.82 m/s olarak belirlemişlerdir. Pestilin kurutma süresince kuruma zamanı, sıcaklık ve dilim kalınlığı, nem içeriği önemli iken hava hızının ise önemli olmadığını tespit etmişlerdir. Fick difüzyon modeline göre, etkin difüzyon katsayısını sıcak hava kurutmada $3,00-37,6 \times 10^{-11}$ m²/s, güneşte kurutma için $1,93-9,16 \times 10^{-11}$ m²/s aralığında bulmuşlardır.

Ertekin ve Yıldız (2001) patlıcan kurutmada kurumanın çeşitli modeller ile açıklanması konulu çalışmalarında, bir laboratuvar kurutucusunda, patlıcanın kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacı ile pek çok model denemişlerdir. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kuruma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkilerini, çoklu regresyon yöntemi ile belirlemişlerdir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun modeli saptamış ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliğini (EF) belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Page modelinin patlıcanın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığını belirlemişlerdir.

Yıldız (2001) havuç ve pırasa kurutulmasında kurutma havası özelliklerinin kuruma karakteristiklerin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anda ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasını amaçlamıştır. Bu ürünler 30-70 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0,5-1,5 m/s kurutma havası hızlarında kurutulmuş kurutma sürelerini belirlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, havuç ve pırasa kurutulmasına kurutma havası özelliklerinin önemli etkisi olduğunu tespit etmiştir.

İpek (2001) çalışmasında Elazığ bölgesinde yetişen kayısıların o bölge şartları altında güneş enerjisi yardımıyla kurutulmasında kayısı yüzey sıcaklığını deneysel olarak tespit

etmiştir. Deneplerinde havalı güneş kolektörü ve dikey konumlu, tepsili kurutucu kullanmıştır. Kurutma ortamındaki hava sıcaklığını, hava debisini ayarlayarak değiştirmiştir. Tepsili kurutucuya girişte hava sıcaklığını 27°C ile 49°C aralığında belirlemiştir. Denepleri boyunca kayısları sürekli tartarak kayısındaki nem kaybını tespit etmiş ve kurutulan ürünün renk, koku ve tat değişimlerini sürekli kontrol altında tutmuştur.

Ayrıca kuru ökseotunun kullanıldığı başka bir alan aşağıda yapılan çalışma ile verilmiştir.

Erentürk and Malkoç (2007) yaptıkları çalışmada ökseotu bitkisinin tedavi amaçlı kullanımının yanısıra, sulu çözeltilerden Pb(II)'nin giderilmesi için etkin bir adsorbent olduğunu bulmuşlardır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kurutma

Gıda maddelerini uzun süre bozulmadan saklayabilmek için bünyesinde barındırdığı suyu belli bir düzeye kadar uzaklaştırmak gerekmektedir. Bunun için farklı yöntemler uygulanabilir. Katıdaki su miktarı fazla ise suyu uzaklaştırmak için en basit yöntem presleme ve santrifüjlemedir. Eğer bu tip bir işlem uygun değil ise katı yüzeyine ısı transferi uygulanarak süblimasyon veya buharlaşma yolu ile katının gözeneklerinde bulunan nemin uzaklaştırılması sağlanır.

Kurutma, genel anlamıyla herhangi bir madde içindeki su veya sıvının buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemidir. Kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması ısı transferi ile gerçekleştirilir. Bu transfer yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Konveksiyon kurutma; ısının taşınım yolu ile kurutulacak maddeye iletilmesidir.
- Kondüksiyon kurutma; kurutulacak maddeye ısının iletim yolu ile gerçekleştirilmesidir.
- Radyasyon kurutma; ısı ışınımı yolu ile maddeye iletilmesidir (Isaeva 2007).

Gıda sanayinde kurutulacak ürün ve uygulanacak prosese göre farklı tipte kurutma yöntemleri mevcuttur. Bu kurutma yöntemleri; güneşe maruz bırakarak kurutma, dondurularak kurutma, sıcak hava ile sirkülasyonu sağlanan fırınlarda kurutma olarak sıralanabilir. Kurutucu tipleri ise, ortam koşulları, istenilen kurutma zamanı ve katıya göre seçilir. Kurutucu tipleri aşağıda verilmiştir.

- *Tepsili kurutucular:* Bu tip kurutucular sıvı ürünler için kullanılmaz. Dilimlenmiş katı ürünlerin tepsilere konularak, ısıtılmış havanın bir fan yardımı ile tepsideki ürünle muamele edilmesi prensibine dayanır.

- *Tünel Kurutucular:* Bu kurutucular ile yüksek kapasitede ve nispeten kısa zaman da kurutma işlemi yapılır. Ürün tünele girişten çıkışa kadar maruz kaldığı sıcak hava ile kurutulur. Bu tip kurutucularda enerji verimliliği yüksek, işgücü maliyeti düşük ve ürün kalitesi yüksektir
- *Konveyör (bantlı) Kurutucular:* Bu tip kurutucularda ürünler bir veya daha fazla bant ile ilerlerken alttan veya üstten fanlar yardımıyla gönderilen sıcak hava ile muamele edilirler. Böylece istenilen özellikte ürünler elde edilir.
- *Akışkan Yataklı Kurutucular:* Bu tip kurutucuların avantajı sirküle ettirilen sıcak havanın kurutulmak istenen ürünün yüzeyinin her noktasına teması ile kurutmanın gerçekleştirilmesi, dezavantajı ise sadece akışkanlaşabilme özelliğinde olan küçük boyutlu gıdalar için uygunluğu oluşudur.
- *Püskürtmeli Kurutucular:* Bu kurutucularda diğerlerinde olduğu gibi ısıtılan hava atomizer yardımı ile çok küçük partiküllere ayrılan ürünle muamele edilerek kurutma işlemi sağlanır ve kurutulmuş ürün hava karışımı siklon separatör yardımı ile ayrılır. Bu işlem daha çok toz ürün eldesi için gıda sanayinde kullanılır
- *Valsli Kurutucular:* Bu kurutucularda ilke; içten buhar, sıcak su ya da ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılan ve eksenine etrafında belirli bir hızla dönmekte olan dökme demirden yapılmış bir silindirin sıcak yüzeyine ince bir katman halinde yayılan sıvı gıda maddesinin silindirin dönüşü esnasında yüzeyde kurumması ve buradan kazınıp alınması olarak özetlenebilir. Çift ve tek valsli olmak üzere iki gruba ayrılırlar
- *Güneş Enerjili Kurutucular:* Bu kurutucularda güneş bir enerji kaynağı olarak bir akışkanın ısıtılmasında kullanılır (genellikle su veya hava). Akışkanlara ısıyla yüklenen bu enerji gıdaların kurutulmasında direkt veya endirekt olarak kullanılmaktadır (Apaydın 2007).

Kurutma işlemi su ve kurutulacak madde arasındaki bağlantı kuvvetlerinin çözümü ile başlar.

Tarım ürünlerinden uzaklaştırılması gereken nem, temelde bitkinin kendi öz suyu ile çevre koşulları nedeniyle ek olarak bulundurduğu nemden oluşmaktadır. Hücre suyu olarak adlandırdığımız bitki öz suyu en fazla miktarda, hücre boşluğunda bulunur. Hücre eti ve diğer kısımlarda da bir miktar su bulunmakla birlikte, bu kısımlardaki suyun uzaklaştırılması ancak özel şartlar altında gerçekleştirilebilir. Kurutmanın esasını hücre boşluğundaki suyun uzaklaştırılması oluşturmaktadır (Yayager 1986).

2.2. Materyallerde Suyun Tutulması

Kurutma tekniği açısından herhangi bir maddede bulunan su, bağlı nem, bağımsız nem ve serbest nem olmak üzere üç ana grupta toplanır. Her maddenin içinde bulunduğu hava şartlarına bağlı olarak içerebileceği nem miktarına denge nemi, ortam havasının o sıradaki bağıl nemine denge bağıl nemi denir. Maddenin içinde bulunduğu havanın bağıl nemi %0 ise, madde en düşük denge nemine, %100 ise en yüksek denge nemine sahiptir. Bu iki değer arasındaki neme, bağlı nem, bulunan şartlardaki nem ile en yüksek denge nemi arasındaki değerlere serbest nem, en yüksek denge neminden daha fazla olan neme bağımsız nem denir (Erentürk 2002).

Denge nemi, maddenin bünyesinde bulunan suyun buhar basıncının maddeyi çevreleyen ortamdaki su buharı kısmi basıncına eşit olduğu andaki nem içeriğidir. Genellikle ortam şartlarına göre değişir. Denge neminin bilinmesi, kurutma ve depolama ile ilgili diğer unsurların belirlenmesini kolaylaştırmaktadır (Erentürk 2002).

Denge buhar basıncının havanın doymuş haldeki buhar basıncına oranı denge bağıl nemini verir. Gıda maddeleri için, mikrobiyal gelişimin azaltılması, spor oluşumunun engellenmesi, küf oluşumunun engellenmesi, enzimatik reaksiyonlar ve oksidasyonun engellenmesi için denge bağıl neminin düşük olması istenir.

2.3. Ürün İçinde Nem Hareketi

Herhangi bir üründe nemin hava akımıyla ortamdaki uzaklaşması için, önce ürün yüzeyine ulaşmış olması gerekir. Suyun ürün içinden yüzeyine hareketine içsel nem hareketi denilebilir. Ürün içindeki suyun, bir bölümden başka bir bölüme iletiminin “difüzyon” ile meydana geldiği kabul edilmektedir. Genel olarak difüzyon bir sistem içinde maddenin bir bölgeden diğerine gelişigüzel molekül hareketiyle iletimidir.

Kurutma işlemleri izotermal olmayan şartlarda gerçekleşir. Bu tip sistemlerde nemin bir noktadan diğerine hareketinde konsantrasyon farkının yanısıra sıcaklık farkının da etkisi vardır. Sistem içinde çeşitli noktalarda sıcaklık artışı varsa bu fark;

- Moleküler difüzyon artışı,
- Kütleye değen kısımlardaki havanın ısınmasına bağlı basınç artışı,
- Sıcaklıkla kılcal borulardaki su emme kuvvetlerindeki farklılaşma

gibi etkiler oluşturur (Erentürk 2002).

Yapısı içinde sıcaklık ve nem dağılımının tekdüze olduğu varsayılan bir madde kendinden daha sıcak bir ortama yerleştiğinde, çevreden ısı olarak sıcaklığı artmaya başlar. Sıcaklık artışı yüzeyden başlayarak maddenin iç kısımlarına doğru ilerler. Sıcaklık artışına paralel olarak, yüzeyde bulunan nem, hızla buharlaşarak ayrılır.

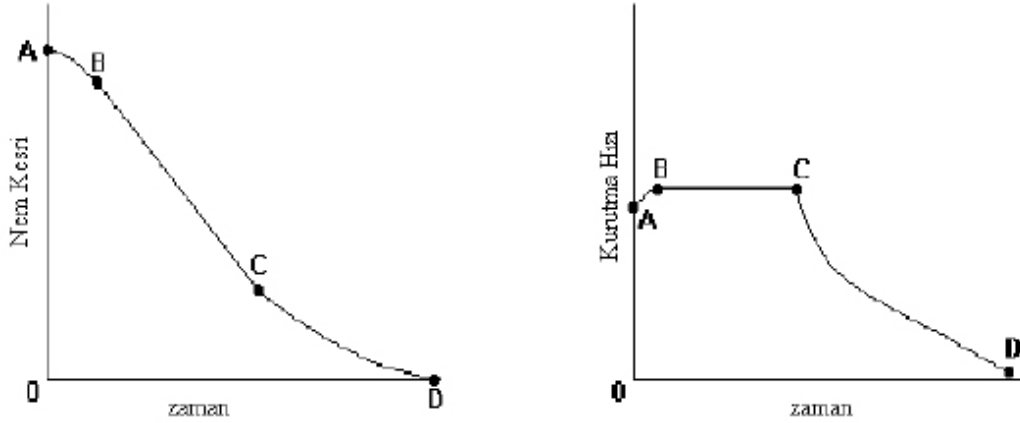
2.4. Ürün Yüzeyinde Nem Hareketi

İçsel nem hareketiyle yüzeye ulaşan su, buradan genellikle konveksiyon yoluyla uzaklaşır. Ürün yüzeyinden buharlaşarak ayrılan su miktarı üzerine nemin bünye içindeki yer değiştirme ve yüzeye ulaşma hızının etkileri önemlidir. Bu unsurlar üründen ürüne değişir. Tarım ürünlerinin çoğu bir kabuğa sahiptirler ve bu kabuk, iç kısımlarla önemli yapı farkına sahip, belirli bir kalınlığı olan ve gözenekli membran

özelliği gösterir. Bu durumda su, kabuğun alt yüzeyinden üst yüzeyine difüzyon, yüzeyden de çevreye konveksiyon yoluyla geçer (Erentürk 2002).

2.5. Kurutma Kinetiği

Kurutma kinetik açıdan incelenirken madde ile çevre havası arasındaki nem alışverişi, kuruma süresince geçen zamanda dikkate alınarak incelenir. Bir katı, sabit kurutma şartlarında kurutulduğunda nem içeriği Şekil 2.1'deki gibi değişir.



Şekil 2.1 Kurutmada nem içeriği-zaman grafiği **Şekil 2.2** Kurutma hızı nem eğrisi

Şekil 2.2.'de verilen grafikte kuruma sırasında üç farklı evre gözlenmektedir. A-B ısınma evresi, B-C sabit kurutma hızı bölgesi, C-D azalan kurutma hızı bölgesi olarak ifade edilir.

Kurutma hızı, birim zamanda maddeyi terk eden su miktarı olarak tarif edilebilir. Teorik yoldan aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$R = (-L_s/A).(dM/dt) \quad (1)$$

Burada R; kuruma hızını, L_s ; kuru katı kütlesini, A; kurutma yüzey alanını gösterirken dM/dt birim zamanda nem içeriğinde meydana gelen değişimi ifade etmektedir.

Kuruma hızına etki eden faktörler aşağıda verilmiştir.

- Fiziksel özellikler: Ürünün büyüklüğü, geometrisi, kurutucuya yerleştirilme şekli ve yüzey alanı
- Kimyasal özellikler: Üründeki şeker, tuz içerikleri ve madde cinsi
- Hava hızı: Kütle transferini etkilemektedir
- Hava sıcaklığı: Isı ve kütle transferini etkilemektedir
- Kurutma havasının özgül nemi: Isı ve kütle transferini etkilemektedir.

Kuruma hızından faydalanarak, şekilleri belli olan gıdaların nem difüzyon hızlarını ölçmek mümkündür. Azalan hızla kuruma evrelerinde nem difüzyonunun başlıca moleküler difüzyon ile gerçekleştiği varsayılır (Sadegihan and Yağcıoğlu 1992).

Düzlem yüzeyler için kararsız hal nem difüzyonu aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial M}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Burada; M, herhangi bir andaki nem içeriği (kg su/kg kuru katı), z, difüzyonun gerçekleştiği yön (m), t, zaman (s), D, neme bağlı difüzyon hızı (m²/s)'dir. Difüzyon hızı (D) nem ile değişir ve kuruma verilerinin (örneğin M ve t) çözümlenmesiyle hesaplanabilir (Akpınar 2003).

Uygun başlangıç ve sınır şartları ile;

$$t = 0 \quad 0 < z < L \quad M = M_0 \quad (3)$$

$$t > 0 \quad z = 0 \quad \frac{\partial M}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$t > 0 \quad z = L \quad M = M_e \quad (5)$$

Eşitlik (2) nin çözümlenmesinden düzlem yüzeylerden boyutsuz nem difüzyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir (Doymaz 2004; Akpınar 2006).

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_o - M_e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D (2n+1)^2}{4L^2} t\right) \quad (6)$$

Farklı biçim ve boyuta sahip gıda maddelerinin kuruma davranışını kontrol eden etkin nem difüzyonu $n = 0$ için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_o - M_e)} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t\right) \quad (7)$$

Burada MR boyutsuz nem içeriği, M herhangi bir t anındaki, Me dengede, Mo başlangıç nem içeriğidir. L, her iki yüzeyden kuruma olduğu kabul edildiği için materyal kalınlığının yarısı, t kurutma süresi' dir. Deff etkin difüzyon katsayısıdır. Etkin difüzyon katsayısı fourier eşitliği ile bulunur. Fo fourier sayısıdır.

$$F_o = \frac{D_{eff} t}{L^2} \quad (8)$$

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 F_o}{4}\right) \quad (9)$$

$$F_o = -0.405 \ln MR - 0.0851 \quad (10)$$

Kurutma sıcaklığı arttıkça Deff değeri de artar (Sacilik and Elicin 2005).

Sıcaklıkla etkin nem difüzyonunun değişimi Arrhenius eşitliği tarafından ifade edilir.

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (11)$$

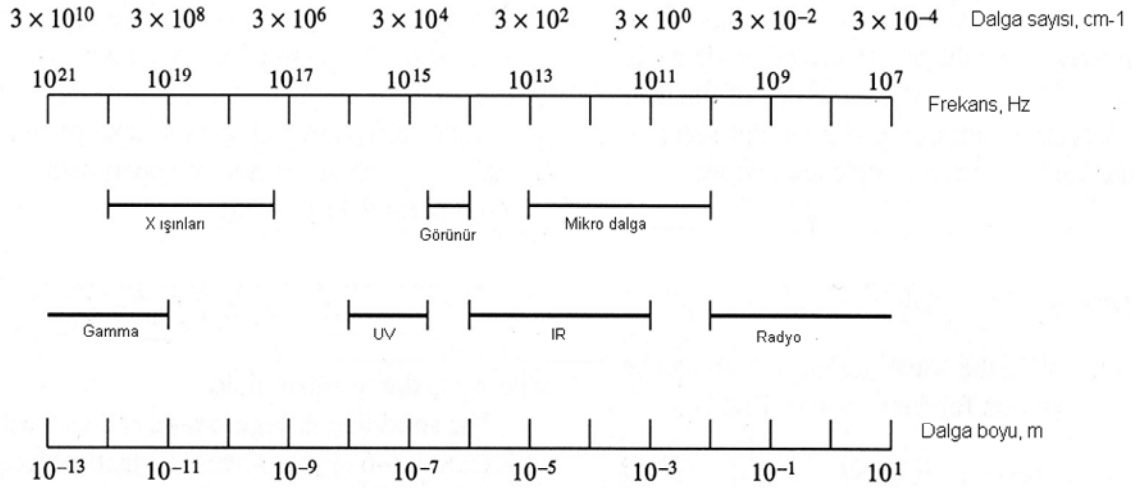
Bu ifadenin logaritması alınırsa;

$$\ln D_{\text{eff}} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (12)$$

Ln Deff in 1/T ye karşı grafiğinin eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanır.

Burada Ea aktivasyon enerjisi (Kj/mol), R evrensel gaz sabiti (8,314 J/mol K)

2.6. Morötesi UV Kurutma



Morötesi elektro manyetik spektrumda 100 ile 380 nm dalga boyundaki ışınları içerir. Morötesi kurutmada elektromagnetik radyasyon kullanılır. Elektromagnetik radyasyon madde üzerine gönderildiğinde moleküllerin uyarılmalarına neden olur. Bu şekilde elektronların uyarıldığı ortama ısı ve ışık yayılır. Bu da kurutma için gereken ısının

açıĝa çıkmasını sağlar. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV radyasyon etkisinde kurutularak işlenirler. Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylerde kullanılan *Viscum Album* L. bitkisi Mart 2008 tarihinde Giresun yöresinde bulunan ‘armut’ ağaçlarından toplanmıştır. Bitki yaprakları öncelikle sapsız olarak ayrılmıştır. Denemelere başlamadan önce yaprakların nem içeriği ve C vitamini analizleri yapılmıştır. Daha sonra plastik, havası boşaltılmış kaplara yerleştirilen yapraklar +4°C de deneyler süresince saklanmıştır.

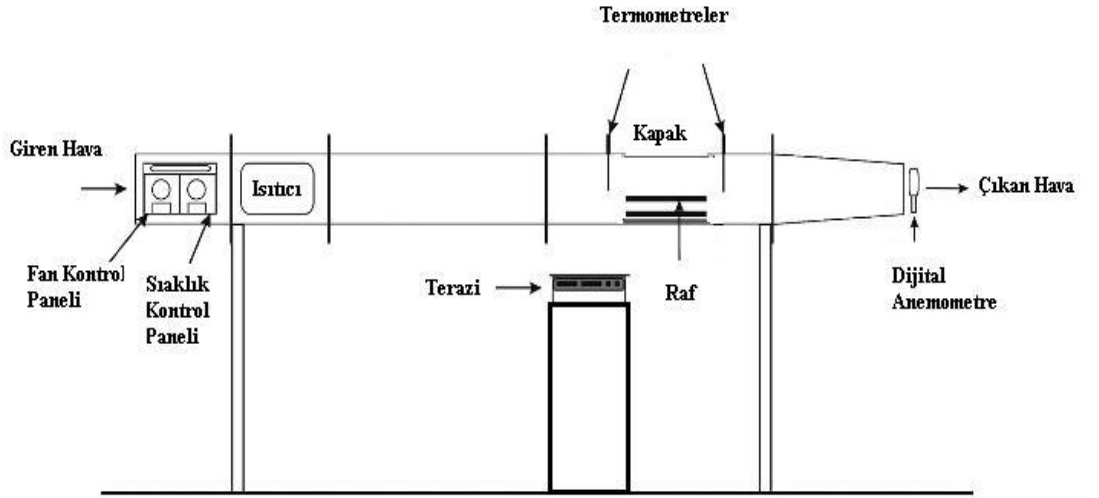


Şekil 3.1 Ökseotu (*Viscum album* L.) bitkisinin yaprakları ve ağaç üzerindeki görüntüsü

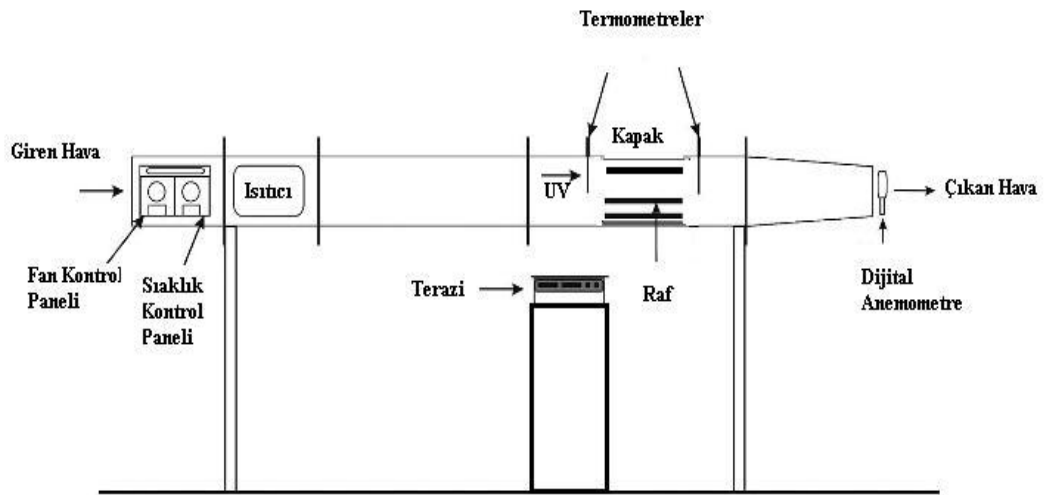
3.2. Kurutma Düzeneği

Kurutma deneyleri Şekil 3.2’de verilen tepsili kurutucu düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kurutucu, hızı kontrol edebilen bir fan ve sıcaklığı kontrol edebilen bir ısıtıcıdan oluşmaktadır. Kurutucu 20x20x220 cm boyutlarındadır. Kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemi raflara girmeden önce ve sonra termokupl ve termometreler

yardımıyla okunmuştur. Kurutma havası hızı tünel çıkışında dijital bir HALT-08 marka anemometre yardımıyla okunmuştur. Ağırlık azalmalarını ölçmek amacıyla Precisa marka 0,01 gr hassasiyetle tartım yapan bir dijital terazi kullanılmıştır. UV'nin kurumaya etkisinin incelenmesi amacıyla 15 Watt gücüne sahip 3 adet lamba kullanılmıştır. Kurutucu, enerji kayıplarını en aza indirmek amacıyla polistiren malzeme ile yalıtılmıştır.



Şekil 3.2. Konvektif tip kurutma düzeneği



Şekil 3.3. UV-Konvektif birleştirilmiş tip kurutma düzeneği

3.3. Kurutma Deneyleri

Kurutma işlemi Şekil 3.2’de verilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri için 60-70-80°C hava sıcaklıkları parametre olarak seçilmiştir. Kurutma havası hızı olarak da 0,5, 1 ve 1,5 m/s seçilmiştir. Yapılan ön denemelerde 1,5 m/s’nin üzerindeki hızlarda yaprakların kurutucudan uzaklaştığı tespit edilmiştir ve bu sebeple bu hızın üzerinde çalışılmamıştır. Konvektif kurutma işleminden sonra UV’nin kurumaya etkisini incelemek amacıyla sisteme 15 W gücünde üç tane UV lamba eklenmiştir. UV ile birleştirilmiş deney düzeneği Şekil 3.3’de gösterildiği gibidir. UV kullanılan kurutma deneylerinde yine 0,5, 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında çalışılmıştır. Lambalar öncelikle açılmış daha sonra ısıtıcılar kontrol edilmiştir. Ortam sıcaklığı sadece konvektif kurutucuda olduğu gibi 60, 70 ve 80°C de sabit tutularak denemeler tekrarlanmıştır.

Kurutma deneylerinde kullanılacak olan yaprakların yaklaşık olarak aynı boyutta olmasına dikkat edilmiştir. Yaprakların en ve boyları ölçülmüştür ve belli boyutlara sahip olan yapraklar kullanılmıştır. Kurutma işlemi için seçilen yapraklar 21x18 cm boyutlarındaki ve paslanmaz çelikten elek yapısına sahip olan tepsi üzerine tek tabaka şeklinde yerleştirilmiştir. İçinde kurutulacak madde bulunan tepsi üzerine gelmeden önceki ve tepsiden geçtikten sonraki kurutma havası sıcaklıkları ve nemi kurutma süresince tespit edilmiştir. Belli zaman aralıklarında materyal ve tepsi çok kısa süreyle ortamdaki uzaklaştırılmış ve tartım yapılmıştır. Böylece ağırlık azalmasından faydalanarak maddenin nem içeriğindeki azalma zamana bağlı olarak hesaplanabilecektir. Kurutma işlemine ağırlık azalması artık değişmeyinceye dek kontrollü bir şekilde devam edilmiştir. Kurutulan ürün hava almayan plastik kaplarda karanlık ve kuru koşullarda C vitamini ve renk analizi yapılmaya dek saklanmıştır.

3.4. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Kurutma deneyleri sonunda kuruma eğrilerinin çizilmesi ve kurutma işleminin modellenmesi için denemelerde alınan ağırlık azalmaları verilerinin nem içeriği ve

boyutsuz nem içeriği değerlerine dönüştürülmesi gerekir. Katı nem içeriği kuru ve yaş temele göre olmak üzere iki şekilde hesaplanabilir.

Yaş temel ortamdan etkileneceğinden kuru temele göre nem içeriğinin belirlenmesi tercih edilmiştir. Buna göre katının kuru madde içeriğinin de belirlenmesi gerekmektedir. Kuru katı içeriğinin belirlenmesi amacıyla denemelere başlamadan önce yaş maddeden 10 g'lık üç paralel numune tartılmış ve 105°C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilmiştir. 1-8 saat süreyle etüvde bekletilmiş 1'er saat aralıklar ile tartım yapılmıştır. 3. saat sonunda ağırlık azalması gözlenmemiştir. Burada tartılan son ağırlık maddenin kuru katı ağırlığı olarak kullanılmıştır. Katının nem içeriği aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır (Erentürk 2002).

$$M = (\text{Yaş katı ağırlığı (örnek)} - \text{Kuru Katı ağırlığı}) / \text{Kuru katı ağırlığı} \quad (13)$$

Modellemede boyutsuz nem içeriği olan MR kullanıldığından nem içeriği boyutsuz nem içeriğine aşağıda verilen şekilde çevrilmiştir.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_o - M_e) \quad (14)$$

3.5. C Vitamini Analizi

Bu çalışmada oksitleyici bileşik olarak 2,6 Diklorofenolindofenol (2,6, DFİF) bileşiği kullanılmıştır. Askorbik asit içeren numuneyi metafosforik asitte çözüp 2,6 DFİF ile titrasyon yaparak volumetrik olarak C vitamini tayin edilmiştir (Keskin 1970).

3.6. Renk Analizi

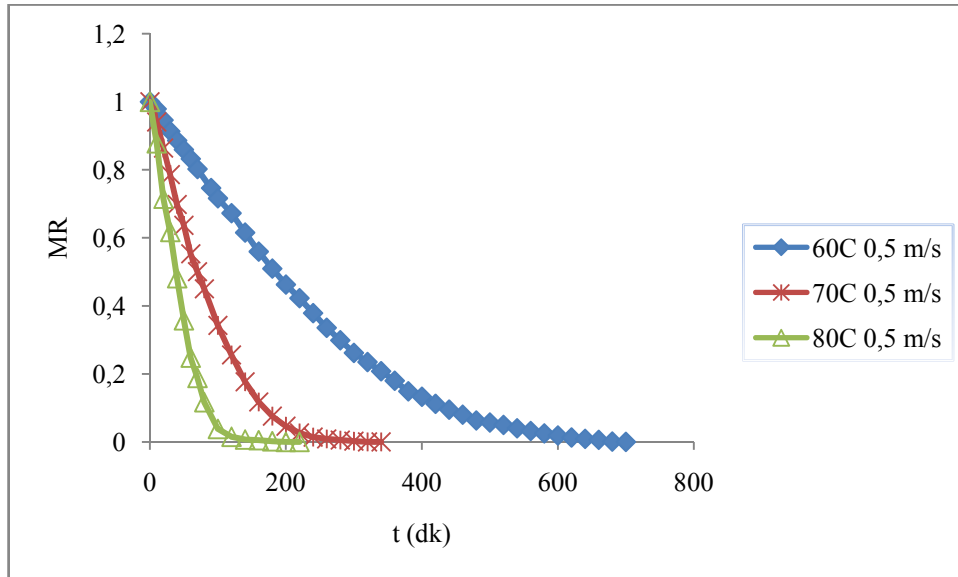
Gıda maddelerinin kurutulması sırasında ısıya maruz bırakılmaları nedeniyle ve kurutucuda kalma sürelerine bağlı olarak renk değişimi gözlenmektedir. Kurutulan üründe renk değişimi bir kalite parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kurutulan yaprakların kalitesini belirlemek amacıyla kurutma işlemi bittikten sonra renk analizleri yapılmıştır.

Ökseotu bitkisinin renk ölçümleri “Minolta Chromo Meter CR-300” cihazıyla yapılmıştır. İnsan gözünün renk algılayışına bağlı olarak L*, a* ,b* değerlerini vermektedir. L* değeri, rengin parlaklığında meydana gelen değişimleri, a* değeri yeşilden kırmızıya, b* değeri ise maviden sarıya renk değişimini ifade etmektedir. L* değeri 0 ile 100 aralığında değerlendirilmektedir. 0 siyahlığı, 100 ise beyazlığı ifade etmektedir. a* değeri (-) den (+) ya doğru değişmektedir. (-) yeşil rengi (+) ise kırmızı rengi göstermektedir. b* değeri (-) de maviliği belirtirken, (+) da sarılığı belirtmektedir(Prachayawarakorn *et al.* 2007).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

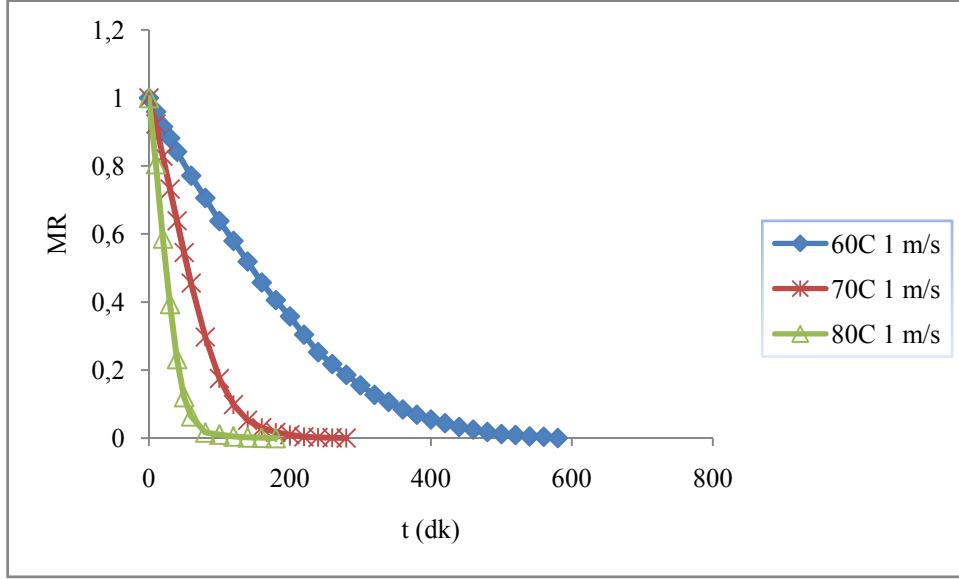
4.1. Kurutma Havası Sıcaklığının Konvektif Kurutmaya Etkisi

Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisini incelemek amacıyla hava sıcaklıkları 60, 70 ve 80°C olarak seçilmiştir. Yapılan denemelerde 0,5, 1 ve 1,5 m/s hava hızları için sıcaklığın kurumaya etkisi incelenmiştir. Şekil 4.1’de konvektif kurutucuda kurutulan ökse otu yaprakları için kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi 0,5 m/s hava hızı için gösterilmiştir. Kuruma eğrisi boyutsuz nem içeriğine karşı kurutma süresi olarak grafik edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığı kuruma üzerinde oldukça etkilidir. Sıcaklığın artması kuruma süresini kısaltmıştır. 0,5 m/s hava hızında yapılan denemelerde 60°C’de en uzun kurutma süresi gözlenmiştir. Denge nemine yaklaşık 630. dakikada ulaşılırken 70°C’de 220. dakikada 80°C’de ise 170. dakikada ulaşılmıştır.



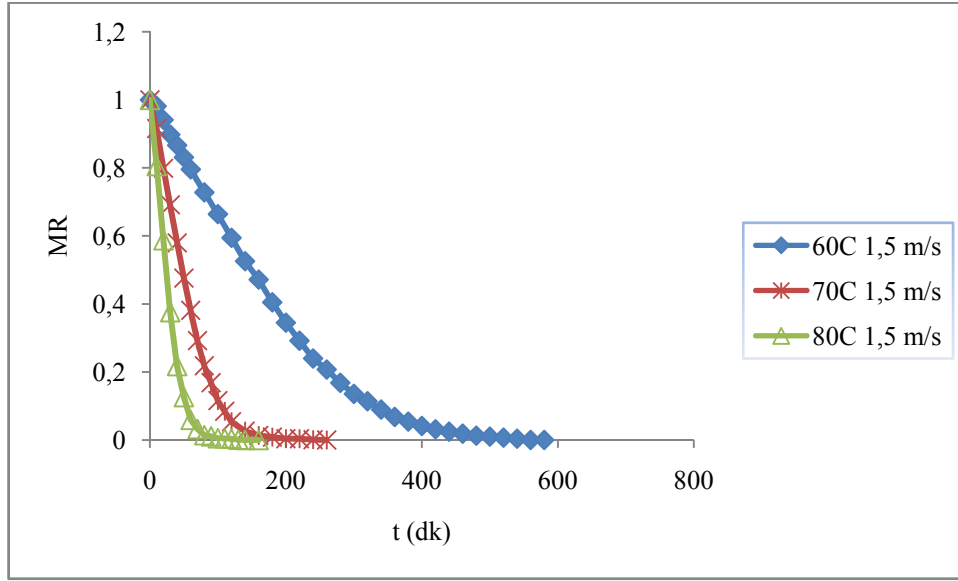
Şekil 4.1. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi (V=0,5 m/s)

Hava hızı 1 m/s için yapılan kurutma deneylerinde yine kurutma havası sıcaklığının etkisi seçilen sıcaklıklarda incelenmiştir. Şekil 4.2’de 1 m/s hava hızında sıcaklığın kurumaya etkisi grafik edilmiştir. 1 m/s için yapılan deneylerde de hava sıcaklığının etkisinin fazla olduğu gözlenmektedir. Kurutma süresi sıcaklığın artışı ile azalmaktadır.



Şekil 4.2. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi (V=1 m/s)

1,5 m/s hava hızında yapılan denemelerde kurutma havası sıcaklığının etkisi Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Diğer hızlarda olduğu gibi burada da kuruma havası sıcaklığının etkisinin oldukça fazla olduğu gözlenmektedir.



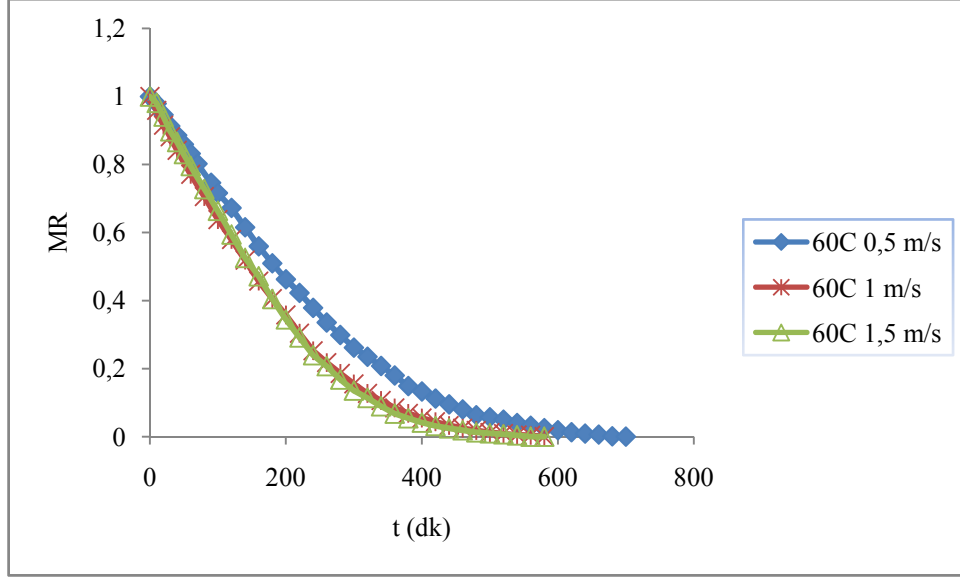
Şekil 4.3. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1,5$ m/s)

Hava hızı ve sıcaklığın kurumaya etkisini daha iyi anlamak amacıyla, aynı nem içeriği seçilerek bu nem içeriğine ulaşma süreleri karşılaştırılmıştır. Buna göre 0,5 m/s için 60°C de aynı nem içeriğine 540 dakikada ulaşılırken 70°C’de 205 dakika 80°C’de 95 dakikada ulaşılır. 1 m/s için 60°C için aynı nem içeriğine 425 dakikada ulaşılırken 70°C’de 150 dakikada 80°C’de ise 70 dakikada ulaşılmaktadır. 1,5 m/s hava hızında ise yine aynı boyutsuz nem içeriği değerine ulaşmak için 60°C’de 405 dakika 70°C’de 130 dakika 80°C’de ise 65 dakika gereklidir. Kurutma havası sıcaklığının artışı ile kurutma süresinin kısılması daha önce yapılan, Sacilik and Elicin (2005); Erentürk *et al.* (2002); Demir *et al.* (2004); Toğrul and Pehlivan (2001); Sharma *et al.* (2004) çalışmalarında da aynı şekilde ifade edilmiştir.

4.2. Kurutma Havası Hızının Konvektif Kurutmaya Etkisi

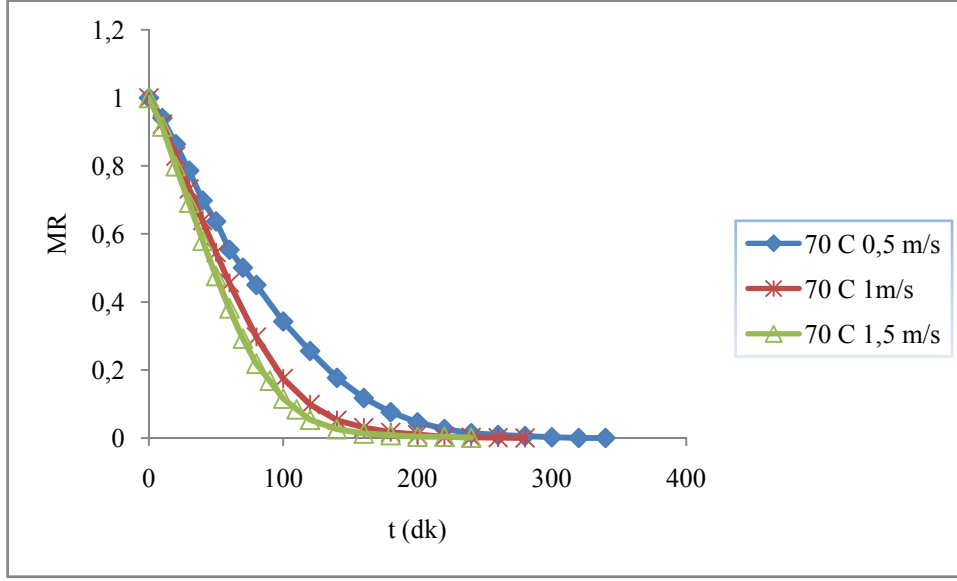
Kurutma havası hızının kurumaya etkisini incelemek amacıyla hava hızları 0,5, 1 ve 1,5 m/s olarak seçilmiştir. Yapılan denemelerde 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarında kurutma havası hızının kurumaya etkisi incelenmiştir. Şekil 4.4’de konvektif kurutucuda

kurutulan ökse otu yaprakları için kurutma havası hızının kurumaya etkisi 60°C hava sıcaklığı için gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (60°C)

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi; 60°C'de yapılan denemelerde en düşük kurutma hızı 0,5 m/s'dedir. 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında çalışıldığında hava hızının etkisinin oldukça az olduğu hatta ihmal edilebileceği söylenebilir.



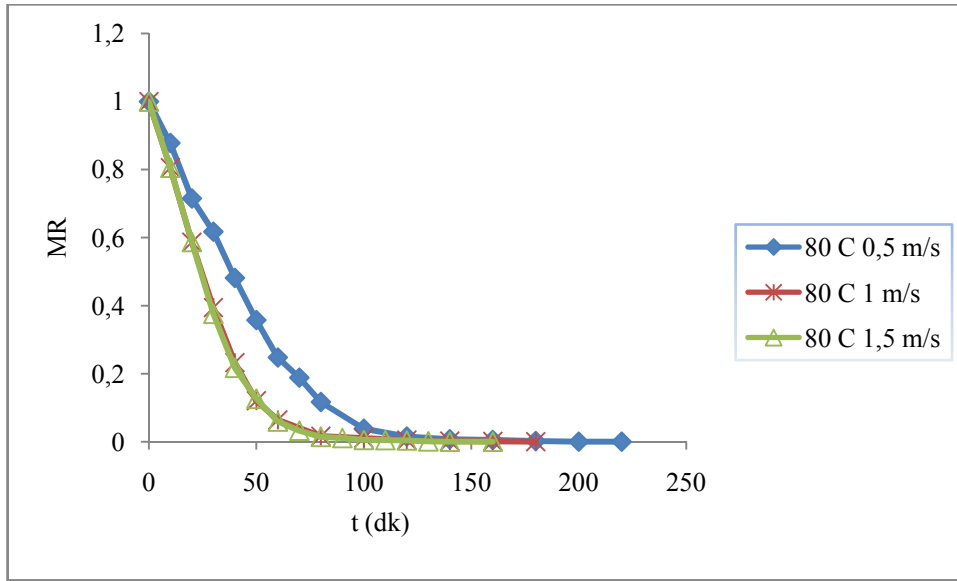
Şekil 4.5. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (70°C)

Şekil 4.5'te kurutma havası hızının kurumaya etkisi 70°C için verilmiştir. Yine 60°C'de olduğu gibi bu sıcaklıkta da hava hızının 1 ve 1,5 m/s için ihmal edilecek kadar az olduğu söylenebilir. Bununla birlikte 60°C'de hava hızının azalması kuruma süresinin uzamasına neden olmuştur.

80°C için elde edilen nem içeriği zaman grafiklerinde hava hızının kurumaya etkisi Şekil 4.6'da verilmiştir. Diğer sıcaklıklarda da gözlendiği üzere hava hızı sadece 0,5 m/s için etkilidir. Bunun üzerindeki hızlarda çalışıldığında etkisi yok denecek kadar azdır.

Bütün sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda hava hızının etkisinin yalnızca 0,5m/s için kayda değer olduğu diğer hızlar için ihmal edilebileceği söylenebilir. Katı içinden yüzeye nem difüzyon hızının 0,5 m/s hava hızında yüzey nem hareketinden daha fazla olması sebebiyle kurutma süresi 1 ve 1,5 m/s hızlarına göre daha fazladır. 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında ise kurutma havası hızının etkisinin azaldığı görülmektedir. Kurutma havası sıcaklığının etkisi ile kıyaslandığında hava hızının kuruma üzerine etkisinin oldukça az olduğu söylenebilir. Hava hızı daha çok yüzey neminin fazla olduğu

durumlarda oldukça etkilidir. Ökseotu kurutulmasında hava hızının etkisinin az olması nedeniyle kuruma sırasında içsel nem difüzyonunun etkili olduğu sonucuna varılabilir. Kurutma havası hızının kurumaya etkisinin az olması sonucu daha önceden yapılmış olan Madamba *et al.* (1996); Sabarez and Price (1999); Maskan *et al.* (2002); Erentürk *et al.* (2004) çalışmalarında da ifade edilmiştir.



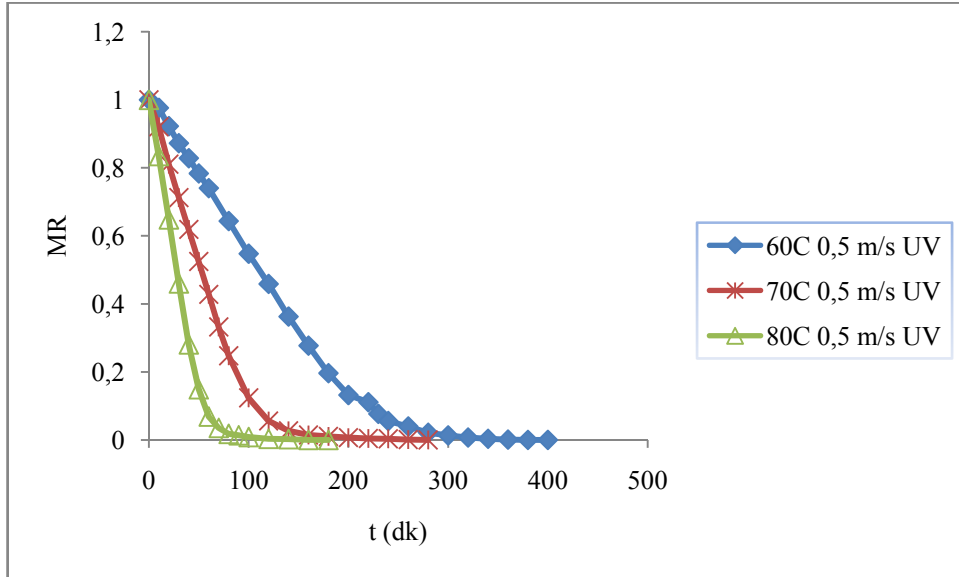
Şekil 4.6. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (80°C)

4.3. Kurutma Havası Sıcaklığının UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurumaya Etkisi

UV'nin kurumaya etkisinin incelenmesi amacıyla ökse otu bitkisinin kurutulması deneyleri 15W'lık üç adet UV lambalar ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda tekrarlanmıştır. Yalnızca konvektif tip kurutucuda kurutma sırasında seçilen parametreler bu denemelerde de aynen kullanılmıştır. Kuruma havası sıcaklıkları hava hızları sabit tutularak tekrarlanmıştır. Sisteme yerleştirilen UV lambalar ile UV ışınlarına maruz bırakılan yapraklarda ortam sıcaklıkları 60, 70 ve 80°C'lere ayarlanmıştır. Diğer kurutucudan tek farkı sisteme verilen UV ışınlarıdır.

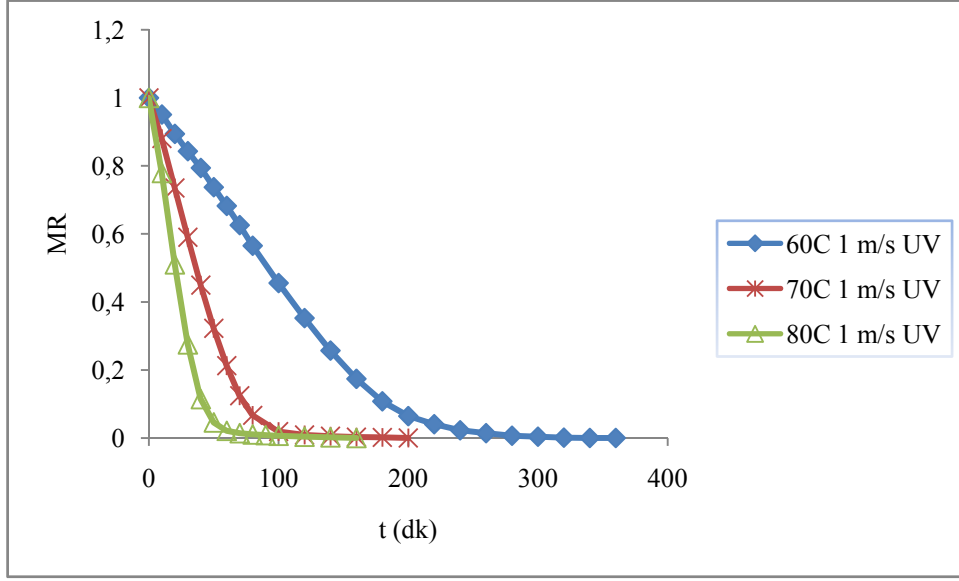
UV ile birleştirilmiş kurutucuda kurutulan yapraklar için kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi incelenirken konvektif kurutucuda kurutulan yaprakların kıyaslandığı nem içeriği dikkate alınarak kıyaslama yapılmıştır.

0,5 m/s hızı için kurutma havası sıcaklığının etkisi Şekil 4.7’de verildiği gibidir. Şekilden görüleceği gibi hava sıcaklığı kuruma üzerinde oldukça etkilidir. Aynı nem içeriğine 60°C’de 260 dakikada ulaşılırken, 70°C’de 130 dakikada 80°C’de ise 68 dakikada ulaşılmaktadır.



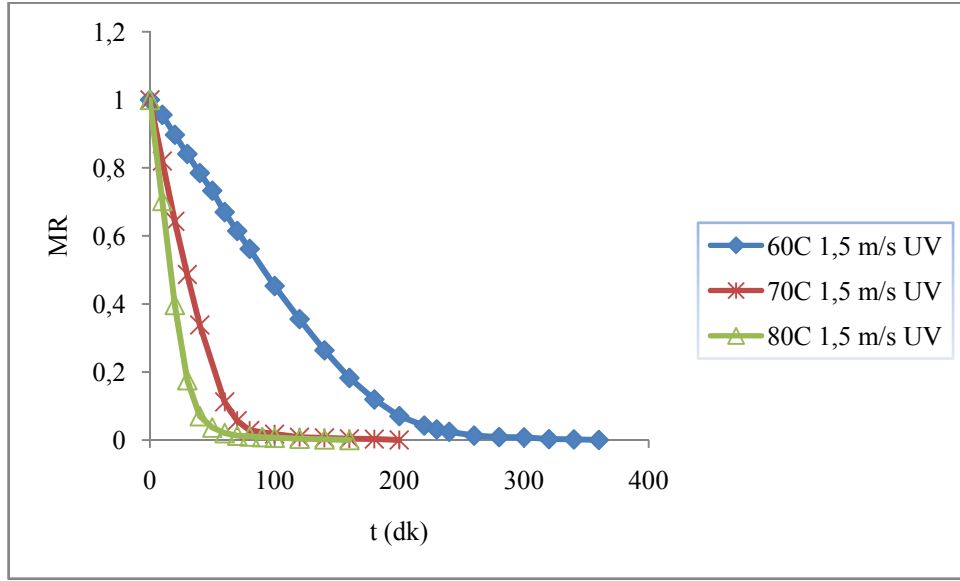
Şekil 4.7. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi(0,5m/s)

UV ile birleştirilmiş kurutucuda kurutulan yapraklar için kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi 1 m/s hızı için Şekil 4.8’de verildiği gibidir. Aynı nem içeriği değerine 60°C’ de 225 dakikada ulaşılırken, 70 °C’ de 90 dakikada 80°C’ de ise 52 dakikada ulaşılmaktadır.



Şekil 4.8. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi (1m/s)

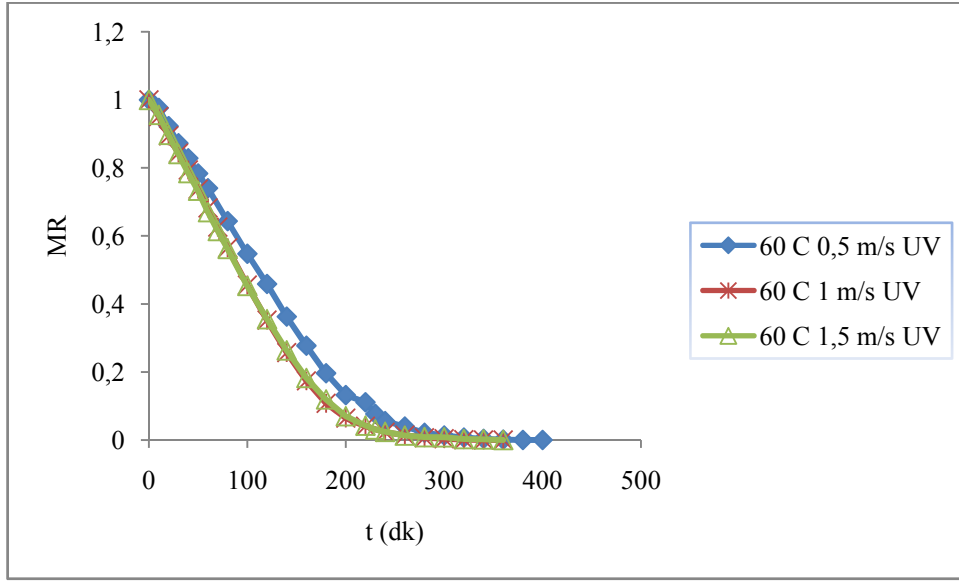
UV ile birleştirilmiş kurutucuda kurutulan yapraklar için kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi 1,5 m/s hız için Şekil 4.9’da verildiği gibidir. Aynı nem içeriği değerine 60°C’de 225 dakikada ulaşılırken, 70°C’de 75 dakikada, 80°C’ de ise 48 dakikada ulaşılmaktadır.



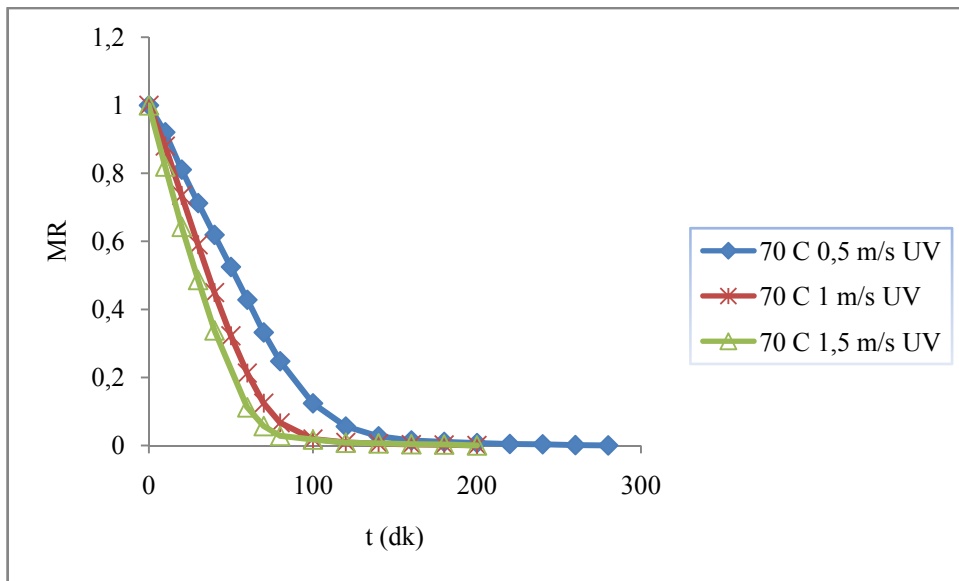
Şekil 4.9. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda sıcaklığın kurumaya etkisi (1,5m/s)

4.4. Kurutma Hava Hızının UV -Konvektif Tip Kurutucuda Kurumaya Etkisi

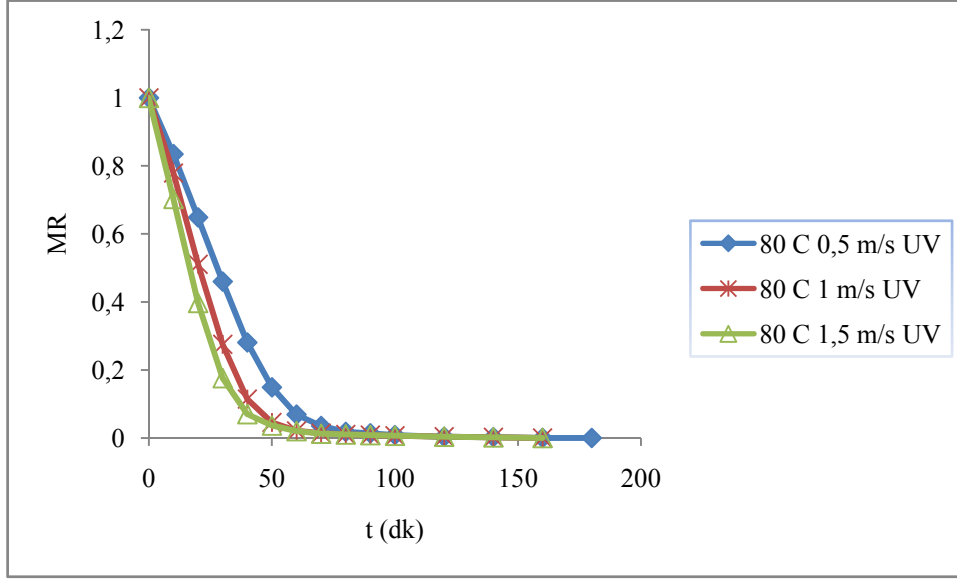
UV ile birleştirilmiş kurutucuda kurutulan yapraklar için kurutma havası hızının kurumaya etkisini incelemek amacıyla hava hızları 0,5, 1 ve 1,5 m/s olarak seçilmiştir. Yapılan denemelerde 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarında kurutma havası birleştirilmiş edilmiş konvektif kurutucuda kurutulan ökseotu yaprakları için kurutma havası hızının kurumaya etkisi 60, 70, 80°C hava sıcaklığı için gösterilmiştir. Bütün sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda konvektif tip kurutucuda olduğu gibi hava hızının etkisinin yalnızca 0,5 m/s için kayda değer olduğu diğer hızlar için ihmal edilebileceği söylenebilir. Hava hızı daha çok yüzey neminin fazla olduğu durumlarda oldukça etkilidir. Ökseotu kurutulmasında hava hızının etkisinin az olması nedeniyle kuruma sırasında içsel nem difüzyonunun etkili olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4.10. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (60°C)



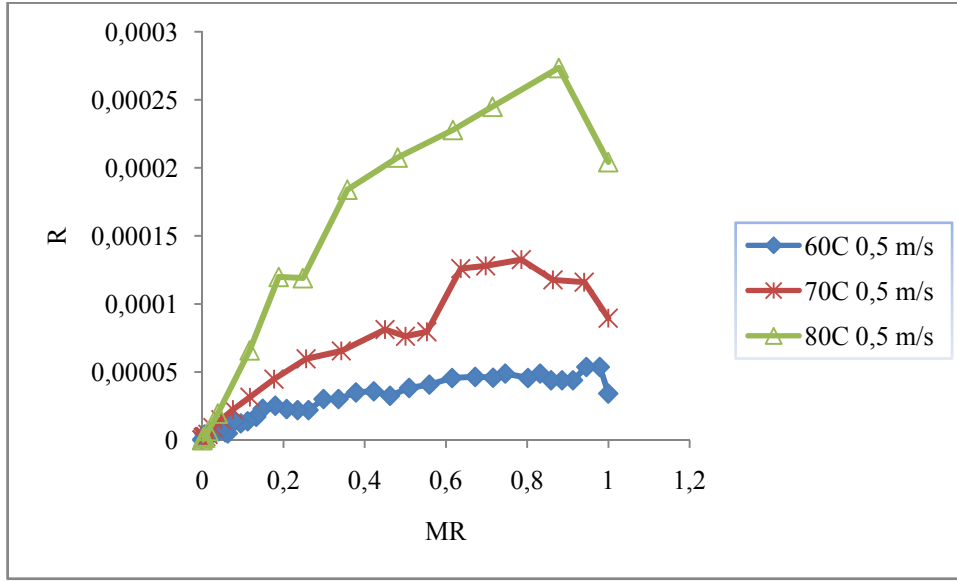
Şekil 4.11. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (70°C)



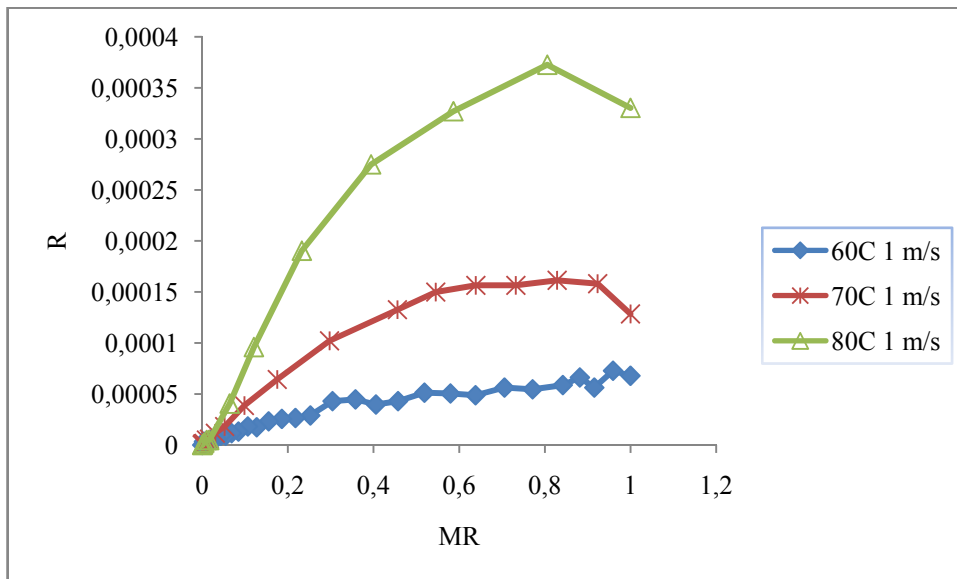
Şekil 4.12. UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda kurutma havası hızının kurumaya etkisi (80°C)

4.5. Konvektif Tip Kurutucuda Kuruma Hızı

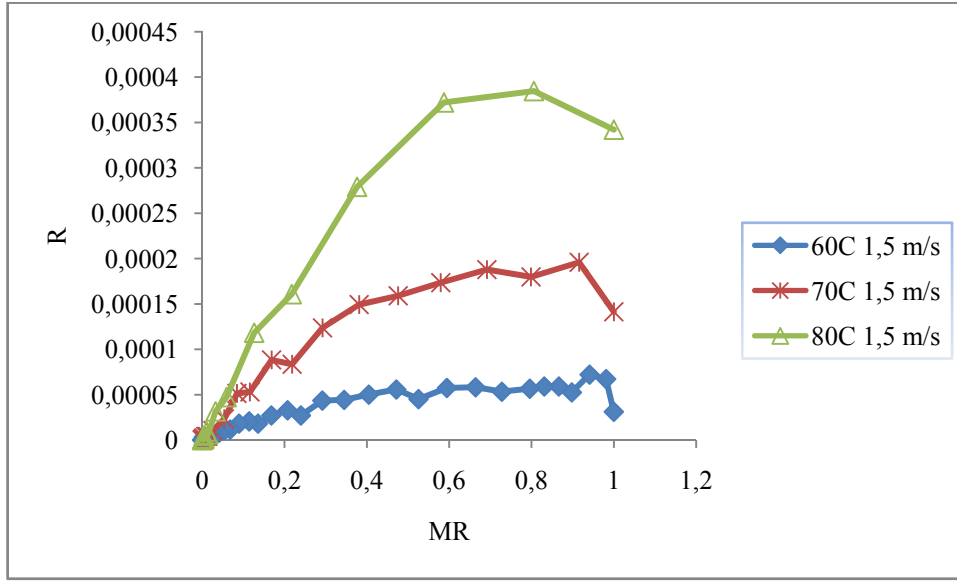
Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotu bitkisinin 0,5, 1 ve 1,5 m/s sabit kurutma havası hızlarında ve çalışılan kurutma havası sıcaklıkları için kuruma hızı eğrileri sırasıyla Şekil 4.13, 4.14, 4.15’de verilmiştir. Kurutma hızı eğrileri kurutma hızına karşı nem içeriği olarak grafik edilmiştir. Bu üç grafikte görüldüğü gibi çalışılan bütün sıcaklıklarda başlangıçta bir miktar ısınma evresi gözlenmiştir. Isınma evresinin çok kısa bir süre için gözlemlendiği Prachayawarakorn (2007) tarafından bildirilmiştir. Isınma evresinden sonra sabit hızla kuruma evresi gözlenmemiştir, azalan hız bölgesinde kurumunun devam ettiği görülmüştür. Azalan kuruma evresinin gözlenmesi, kuruma prosesinin, katı içinden nem difüzyonuyla gerçekleştiğini gösterir. Azalan hızla kuruma bölgesinde nem oranı azaldıkça kuruma hızı da azalır. Bu ifade daha önceden yapılmış çalışmalarda da aynı şekilde ifade edilmiştir (Doymaz 2007; Toğrul 2002). Yapılan bütün denemeler sonunda kurutma havası sıcaklığının 70°C’den 80°C’ye çıkarılması ile kuruma hızının önemli bir oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 4.13. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı (V=0,5 m/s)



Şekil 4.14. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı (V=1 m/s)

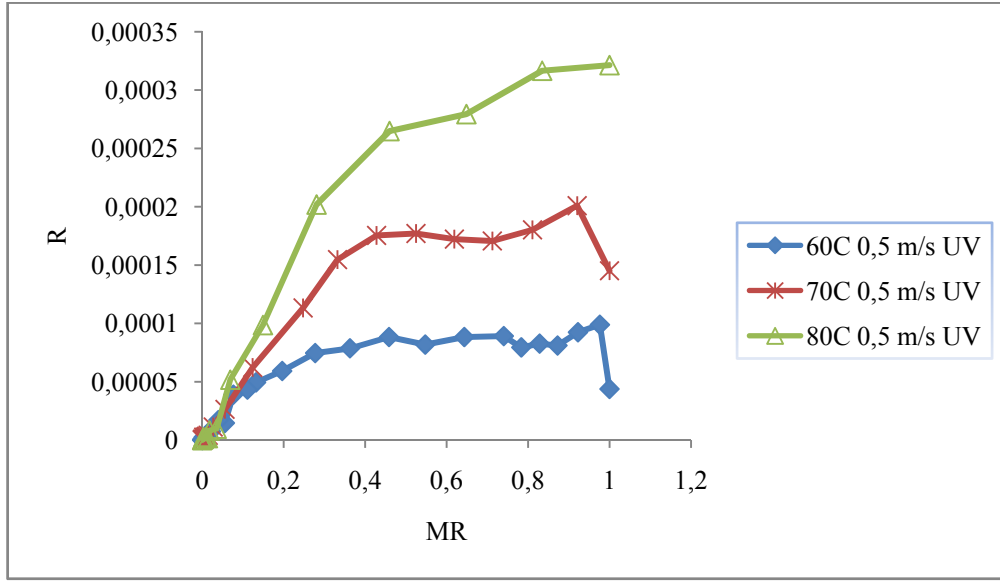


Şekil 4.15. Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=1,5$ m/s)

4.6. UV -Konvektif Tip Kurutucuda Kuruma Hızı

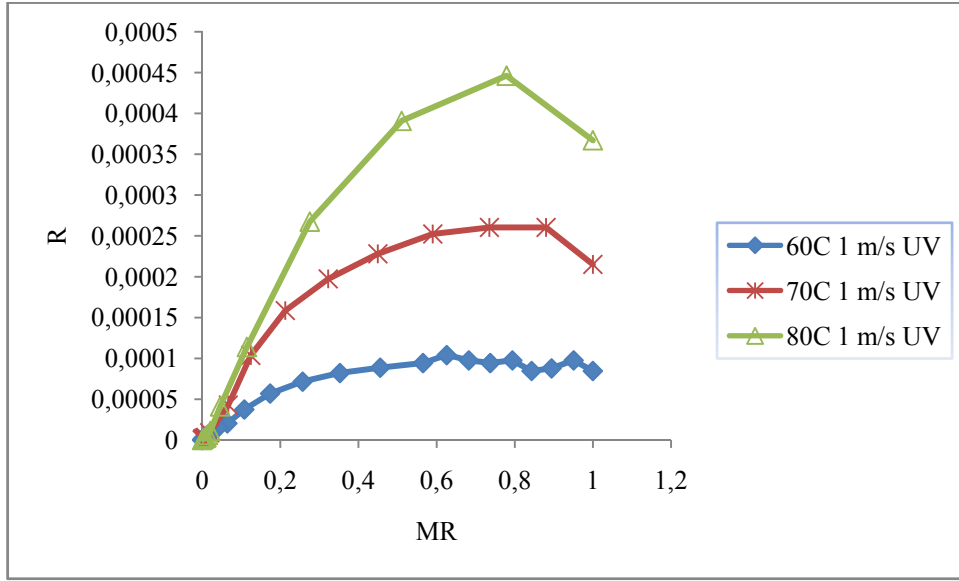
UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotu bitkisinin 0,5, 1 ve 1,5 m/s sabit kurutma havası hızlarında ve çalışılan kurutma havası sıcaklıkları için kurutma hızı eğrileri sırasıyla Şekil 4.16, 4.17, 4.18’de verilmiştir. Konvektif kurutucuda olduğu gibi kurutma hızı eğrileri kurutma hızına karşı nem içeriği olarak grafik edilmiştir. Çalışılan sıcaklıklarda başlangıçta ısınma evresi gözlenmiş, sonra azalan hız bölgesinde kurumanın devam ettiği tespit edilmiştir. Konvektif kurutucuda kuruma hızında da bahsedildiği gibi azalan hız bölgesinde kuruma, materyal içinden nem difüzyonu ile gerçekleşir.

Konvektif tip kurutucu ve UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotunun kuruma hızı grafiklerinden kurutma hızının sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir.

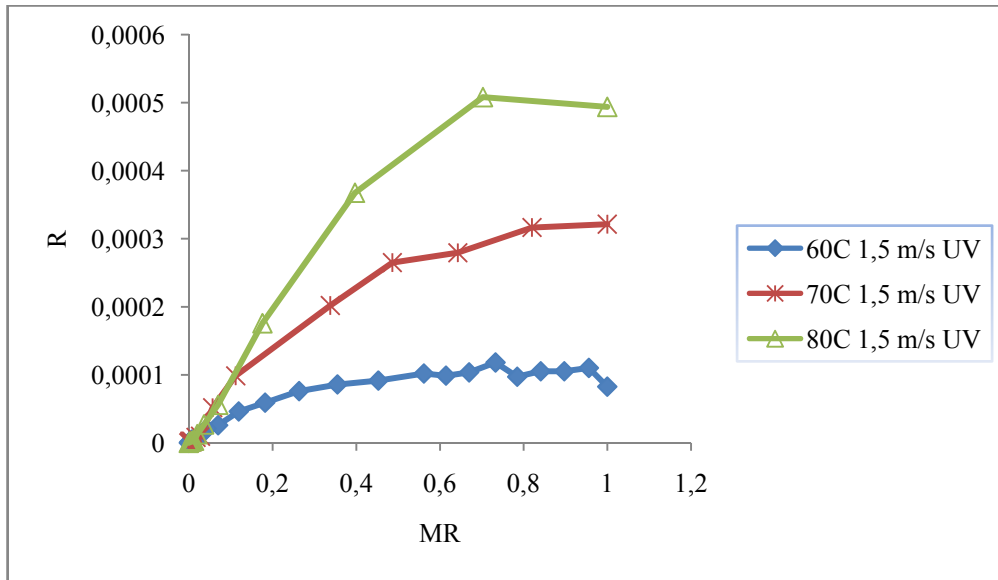


Şekil 4.16. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=0,5$ m/s)

UV ile birleştirilmiş kurutucuda kurutulan ökse otu bitkisinin $0,5$ m/s sabit kurutma havası hızında, kuruma hızı ile boyutsuz nem içeriğinin verildiği Şekil 4.16'da 80°C sıcaklıkta azalan hız bölgesinde kuruma meydana gelirken 60 ve 70°C sıcaklıklarda yapılan kurutmada başlangıçta bir miktar ısınma evresi geçirdikten sonra azalan hız bölgesinde kurumaya devam ettiği görülmüştür.



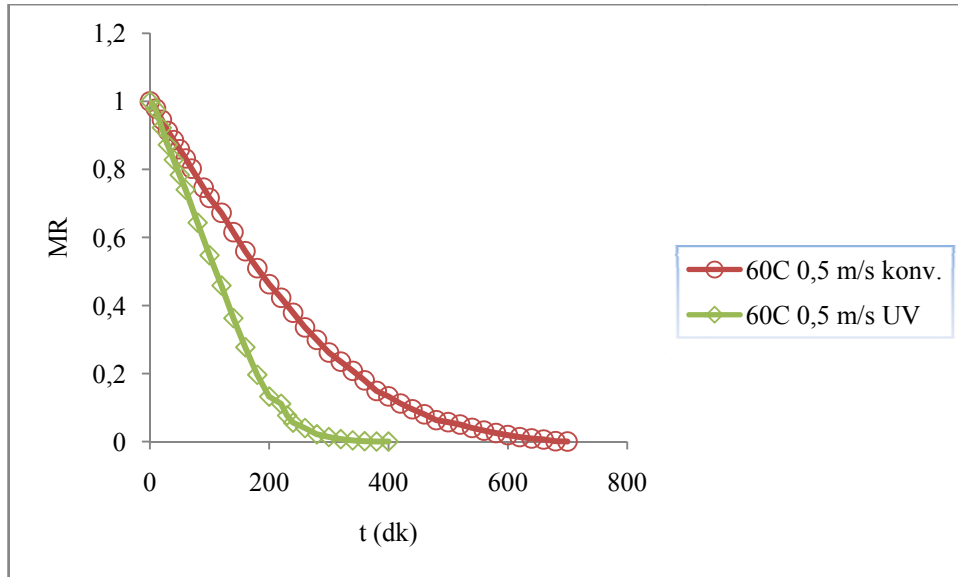
Şekil 4.17. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=1$ m/s)



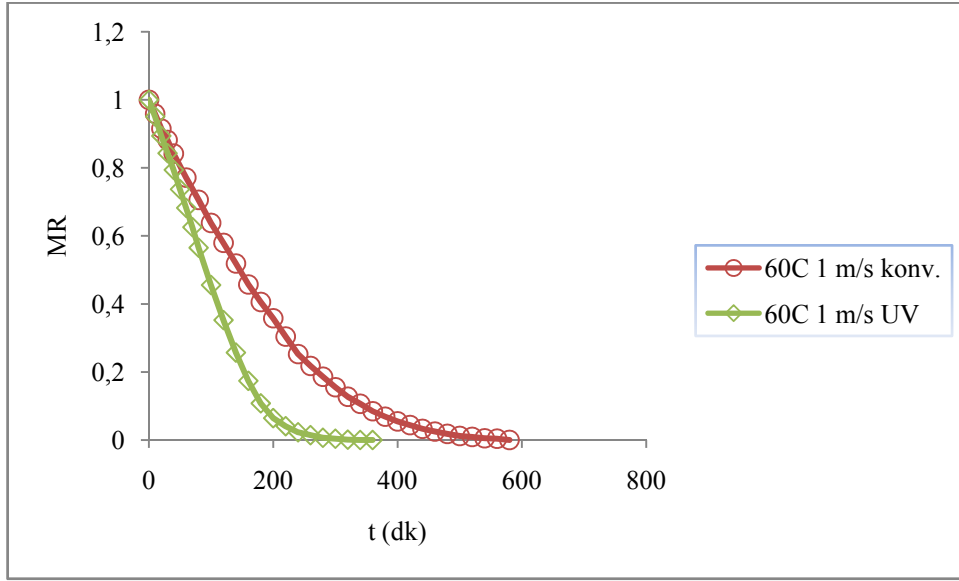
Şekil 4.18. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutma hızı ($V=1,5$ m/s)

4.7. Konvektif Tip Kurutucu İle UV-Konvektif Tip Kurutucunun Kuruma Hızına Etkisinin kıyaslanması

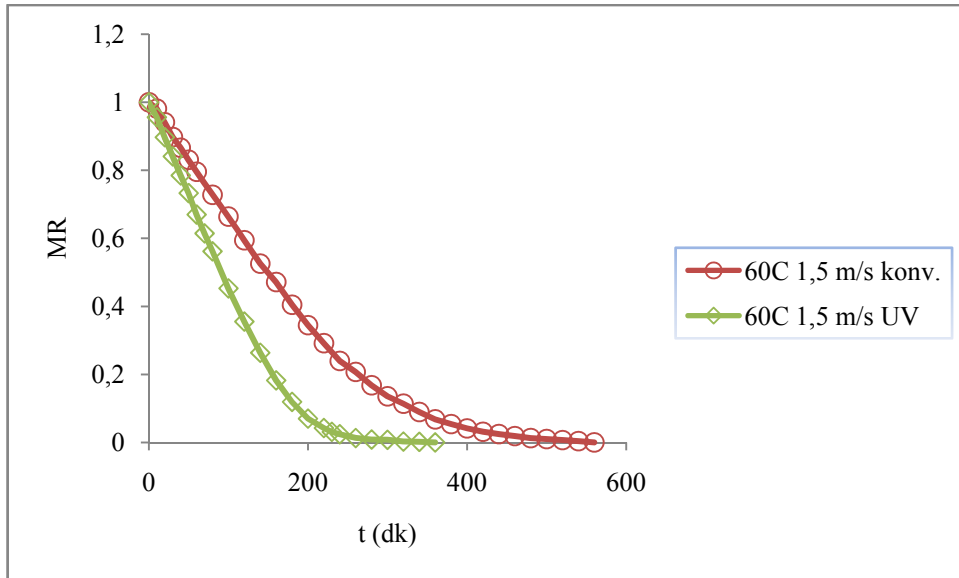
Konvektif tip ve UV-Konvektif tip kurutucuda 0,5-1-1,5 m/s ve 60-70-80°C şartlarında Ökseotu bitkisinin kurutulması sırasında UV lambaların kuruma hızına etkileri Şekil 4.19- 4.27’de verilmiştir.



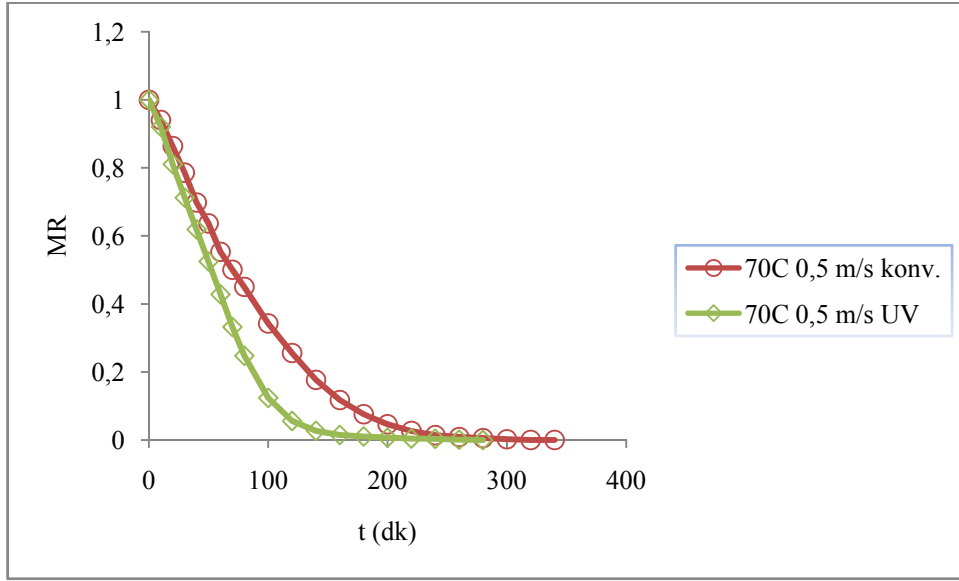
Şekil 4.19. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C 0,5 m/s)



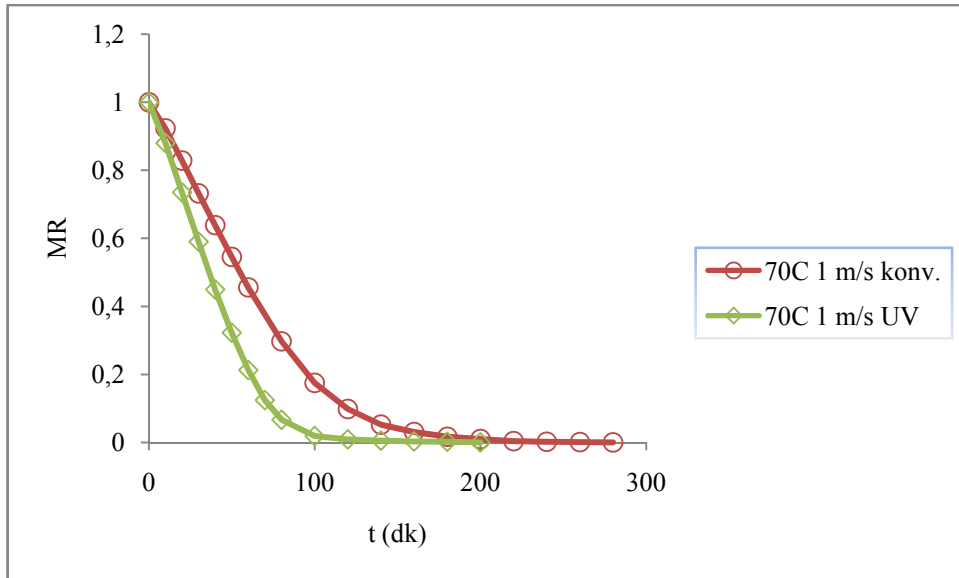
Şekil 4.20. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C 1 m/s)



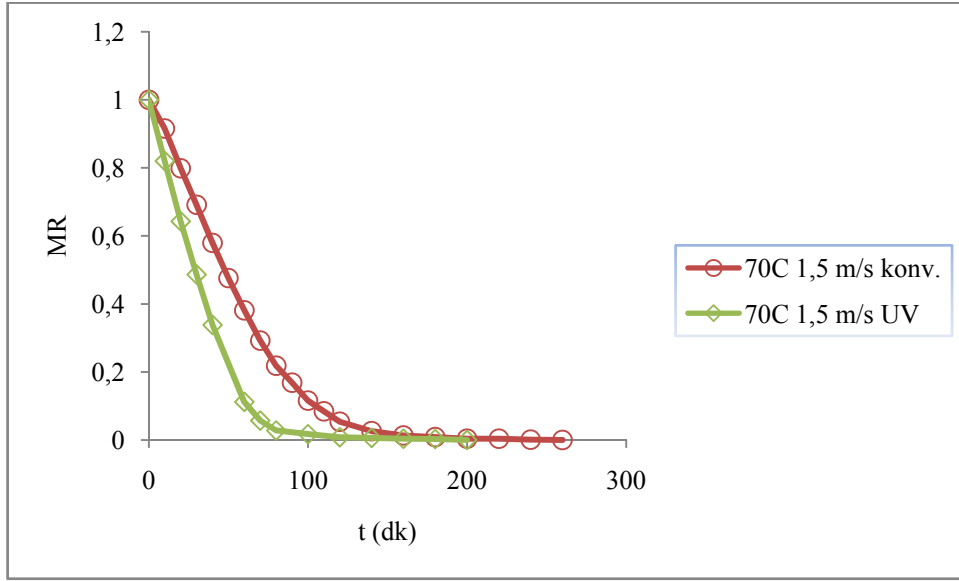
Şekil 4.21. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (60°C 1,5 m/s)



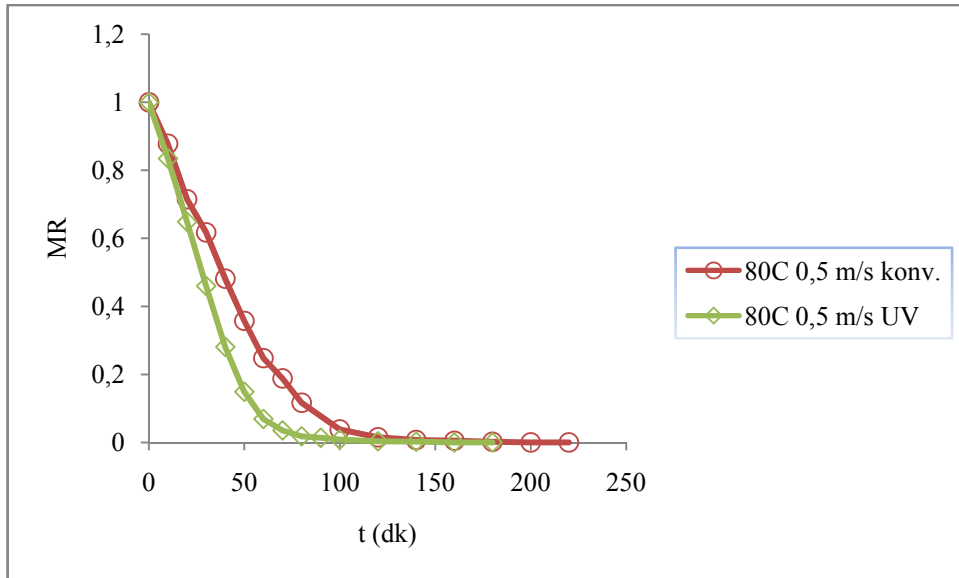
Şekil 4.22. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C 0,5 m/s)



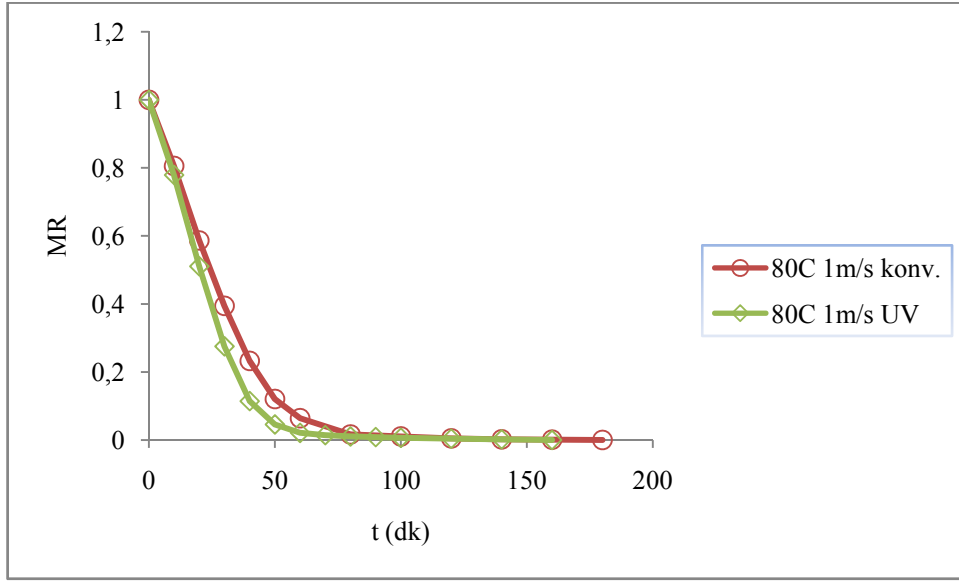
Şekil 4.23. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C 1 m/s)



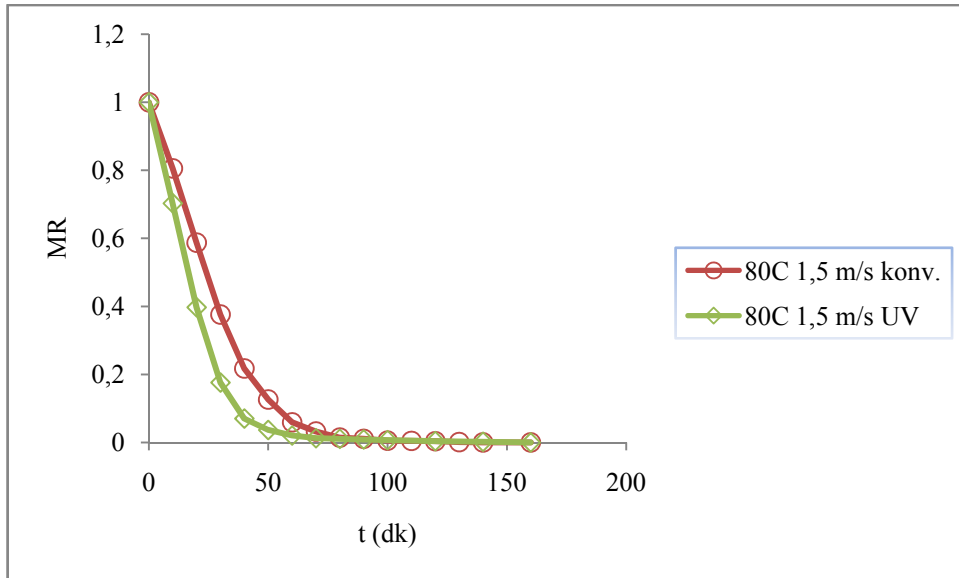
Şekil 4.24. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (70°C 1,5 m/s)



Şekil 4.25. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C 0,5 m/s)



Şekil 4.26. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C 1 m/s)



Şekil 4.27. Konvektif ile UV-Konvektif kurutucunun kuruma hızına etkisinin kıyaslanması (80°C 1,5 m/s)

Şekillerden görüldüğü gibi kurutucuya UV lamba eklendiği zaman kuruma süresi azalmıştır. UV lambaların kuruma süresine yaptığı bu etki düşük sıcaklıklarda daha iyi gözlenmektedir.

4.8. Konvektif ve UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutulan Ökseotu Bitkisinde C Vitamini Değişimi

Hem konvektif kurutucuda ve hem de UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda yapılan denemeler sonunda kurutulan yapraklarda C vitamini analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yaş bitkinin C vitamini içeriği kuru temele göre 534,48 mg AA/100 g kuru yaprak bulunmuştur. Kurutma işleminden sonra yapılan C vitamini analizlerine göre başlangıç içeriği dikkate alındığında C vitamininde oldukça fazla miktarda bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni C vitamininin sıcaklığa duyarlı bir vitamin olmasındandır. Aynı zamanda kurutucuda kalma süresi de son C vitamini değerlerini etkilemektedir. Elde edilen sonuçlara göre C vitamini miktarına kuruma sıcaklığı, kuruma süresini kısalttığı için olumlu etki yapmıştır. Örneğin 1 m/s hava hızında 60°C’de son C vitamini değeri konvektif tip kurutucuda 27,47 mgAA/100g kuru yaprak olarak bulunmuş iken 80°C’de 44,51 mgAA/100g kuru yaprak olarak bulunmuştur. UV-Konvektif tip kurutucuda ise aynı hava hızında 60°C’de 35,69 mgAA/100g kuru yaprak iken 80°C’de 114,29 mgAA/100g kuru yaprak olarak bulunmuştur. Çalışılan bütün hava hızlarında ve sıcaklıklarında UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotu bitkisinde C vitamini daha az bozunmuştur. Daha önceden kuruma sırasında C vitamininin değişimi hakkında yapılmış olan çalışmalarda da buna benzer sonuçlar elde edilmiştir (Erentürk *et al.* 2004).

Çizelge 4.1. Ökseotu bitkisinde C vitamini değişimi

Hava hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Konvektif (mg/100g kuru katı)	UV-Konvektif (mg/100g kuru katı)
0,5	60	33,70	33,70
	70	35	38,51
	80	40,54	55,65
1	60	27,47	35,69
	70	31,93	50
	80	44,51	114,29
1,5	60	33,10	35
	70	39,15	53
	80	53	176,47

4.9. Konvektif ve UV-Konvektif Tip Kurutucuda Kurutulan Ökseotu Bitkisinde Renk Değişimi

Hem konvektif tip kurutucuda ve hem de UV ile birleştirilmiş konvektif tip kurutucuda yapılan denemeler sonunda kurutulan yapraklarda renk analizi için 10 adet numune kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ortalama değerlerdir. Analiz sonuçları ($\pm 0,007$ 'lik bir hata ile) Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2'de gösterilen sonuçlardan en yüksek L* değeri (38,87) 1 m/s hava hızında 70°C'de elde edilmiştir. En düşük a*/b* değeri yine aynı sıcaklık ve hava hızında elde edilmiştir.

Çizelge 4.3'de UV-Konvektif tip kurutucuda en yüksek L* değeri (42,19) 1,5 m/s hava hızında ve 80°C'de elde edilmiştir. En düşük a*/b* değeri yine aynı sıcaklık ve hava hızında elde edilmiştir.

Arslan and Özcan (2007) yaptıkları çalışmada, kurutma proseslerinde ürünün son halinin besin değeri ve estetik görünümü açısından L^* değerinin yüksek ve a^*/b^* oranının düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.2. Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökse otunun renk analizi

V (m/S)		0,5			1			1,5		
T(C)	Taze Yaprak	60	70	80	60	70	80	60	70	80
L^*	37,021	34,34	33,08	31,99	32,41	38,87	36,62	31,43	33,04	35,92
a^*	-14,466	3,263	2,919	2,813	3,376	1,665	2,384	3,163	2,563	2,016
b^*	21,905	24,76	21,96	23,19	23,06	31,32	29,68	22,94	24,39	28,33
a^*/b^*	-0,667	0,132	0,133	0,121	0,146	0,053	0,08	0,138	0,105	0,071

Çizelge 4.3. UV- Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotunun renk analizi

V (m/S)		0,5			1			1,5		
T(C)	Taze Yaprak	60	70	80	60	70	80	60	70	80
L^*	37,021	33,78	39,12	40,46	34,46	39,8	41,47	35,97	39,86	42,19
a^*	-14,466	2,125	1,256	1,209	1,719	0,382	0,562	2,122	0,909	-0,375
b^*	21,905	27,46	34,28	38,01	26,17	32,76	36,53	29,54	33,27	35,2
a^*/b^*	-0,667	0,077	0,037	0,032	0,066	0,012	0,015	0,072	0,027	-0,011

4.10. Konvektif Kurutucuda ve UV-Konvektif Tip Kurutucuda Tek Tabakada Kurutulan Ökseotunun Kuruma Modeli

Hava ile kurutma işlemlerinin tasarımında modern yöntemler, kuruma süresince maddedeki nem hareketinin matematiksel olarak ifade edilmesini gerektirmektedir (Hernandez *et al.* 2000). Çok geniş matematiksel model arasında tek tabaka kuruma modelleri, kullanım kolaylığı açısından geniş uygulama alanı bulmaktadırlar. Literatürde çok sayıda tek tabaka kuruma modelleri mevcuttur. Bu modeller arasından Çizelge 4.4'te verilen modeller ökseotu yapraklarının kuruma modelini aydınlatmak amacıyla seçilmiş ve uygulanmıştır. Denenen modeller arasında kuruma kinetiğini en iyi yansıtan model ökseotunun kuruma modeli olarak seçilmiştir.

Modelleme aşağıda belirtilen kabuller doğrultusunda yapılmıştır;

- Yapraktaki nem içeriği uniformdur
- Yapraktaki sıcaklık gradyeni ihmal edilmiştir
- Kurutucu duvarları adyabatiktir ve ısı kaybı yoktur
- Yapraktan yaprağa kondüksiyon ile transfer ihmal edilmiştir.
- Yaprak hacmindeki büzülme ihmal edilmiştir.

Çizelge 4.4. Tek tabaka kuruma modelleri

Model	Eşitlik	Referans
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Mujumdar(1987)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Diamante and Munro (1993)
Modifiye Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Yaldiz and Ertekin (2001)
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu <i>et al.</i> (1999)
Midilli <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)

Kuruma deneyleri sonunda elde edilen nem içeriği verileri boyutsuz nem içeriği MR'ye dönüştürüldükten sonra zamana karşı grafik edilmiştir. Elde edilen bu eğrilere tablodaki modeller kullanılarak eğri uydurulmuş ve en yakın eğrileri veren model kuruma modeli olarak seçilmiştir. Eğri uydurma işleminde lineer olmayan regresyon analizi, STATISTICA 6.0 Non Linear Estimation modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuruma eğrilerini en iyi ifade eden modeli seçmek amacıyla korelasyon katsayısı (R) ve toplamların karesi (χ^2) değerleri seçim kriterleri olarak dikkate alınmıştır. En yüksek R ve en düşük χ^2 değerine sahip olan model kuruma modeli olarak seçilmiştir (Demir *et al.* 2007). Toplamların karesi aşağıda verilen formülasyondan hesaplanmıştır (Doymaz 2003).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{MR}_{\text{deneysel},i} - \text{MR}_{\text{tahmin},i})^2}{N - n} \quad (15)$$

Kuruma sırasında kullanılan parametrelerin etkisinin ifade edilmesi amacıyla yine STATISTICA paket programı kullanılarak, seçilen modele çoklu regresyon analizi yapılmış ve bu parametrelerin modelin sabit ve katsayılarına etkisi ifade edilmiştir. Modelleme sonuçları hem konvektif kurutma ve hem de UV-Konvektif kurutma deneyleri için Çizelge 4.5- 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. 60°C için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı			R	χ^2	
Newton	0,5	k=0,002586			0,9957	0,027671	
	1	k=0,003441			0,9956	0,023728	
	1,5	k=0,004067			0,9962	0,012453	
Page	0,5	k=0,000541	n=2,26384		0,4653	0,202783	
	1	k=0,000689	n=2,35018		0,6150	0,146067	
	1,5	k=0,000794	n=2,40221		0,5451	0,178020	
Modifiye Page	0,5	k=0,004003	n=1,29383		0,9998	0,000498	
	1	k=0,005261	n=1,34411		0,9993	0,000323	
	1,5	k=0,006172	n=1,37442		0,9956	0,002051	
Henderson & Pabis	0,5	k=0,004003	a=1,01979		0,9977	0,003093	
	1	k=0,005261	a=1,02351		0,9977	0,013465	
	1,5	k=0,006172	a=1,02568		0,9961	0,014763	
Logaritmik	0,5	k=0,003416	a=0,70852	c= -0,13576	0,9984	0,060487	
	1	k=0,004621	a=0,70647	c= -0,12139	0,9982	0,052870	
	1,5	k=0,005515	a=0,70528	c= -0,11369	0,9955	0,068545	
Midilli <i>et al.</i>	0,5	k=0,000499	a=0,84746	n= 1,29691	b= -9,48E-13	0,9929	0,010079
	1	k=0,000664	a=0,73368	n= 1,35668	b= -6,21E-13	0,9987	0,002364
	1,5	k=0,000785	a=0,67434	n= 1,39291	b= -4,85E-13	0,9973	0,031268

Çizelge 4.6. 70°C için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı		R	χ^2		
Newton	0,5	k= 0,007072		0,9916	0,019618		
	1	k= 0,009410		0,9864	0,019891		
	1,5	k= 0,011121		0,9813	0,020524		
Page	0,5	k= 0,001908	n= 2,17584	0,6594	0,140903		
	1	k= 0,002430	n= 2,25882	0,6714	0,134596		
	1,5	k= 0,002799	n= 2,30882	0,6825	0,113353		
Modifiye Page	0,5	k=0,010740	n= 1,34398	0,9996	0,000174		
	1	k= 0,014113	n= 1,39620	0,9997	0,000161		
	1,5	k= 0,016557	n= 1,42769	0,9998	0,000069		
Henderson & Pabis	0,5	k= 0,010740	a= 1,02388	0,9708	0,102517		
	1	k= 0,014113	a= 1,02760	0,9477	0,164468		
	1,5	k= 0,016557	a= 1,02979	0,9166	0,212418		
Logaritmik	0,5	k= 0,009977	a= 0,73438	c= -0,06835	0,9974	0,037216	
	1	k= 0,013498	a= 0,73226	c= -0,06111	0,9944	0,038471	
	1,5	k= 0,016108	a= 0,73103	c= -0,05724	0,9933	0,032598	
Midilli et al.	0,5	k= 0,001726	a= 1,01100	n= 1,35775	b= -3,38E-12	0,9976	0,003575
	1	k= 0,002297	a= 0,87526	n= 1,42032	b= -2,22E-12	0,9997	0,003176
	1,5	k= 0,002714	a= 0,00271	n= 1,45825	b= -1,73E-12	0,9992	0,009325

Çizelge 4.7. 80°C için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı		R	χ^2		
Newton	0,5	k= 0,015038		0,9858	0,01341		
	1	k= 0,020009		0,9681	0,023476		
	1,5	k= 0,023647		0,9808	0,013239		
Page	0,5	k=0,004911	n= 2,11209	0,7408	0,09973		
	1	k= 0,006254	n= 2,19264	0,8135	0,067516		
	1,5	k= 0,007204	n= 2,24118	0,7891	0,058754		
Modifiye Page	0,5	k= 0,022513	n= 1,38286	0,9977	0,000838		
	1	k= 0,029583	n= 1,43659	0,9982	0,00057		
	1,5	k= 0,034708	n= 1,46899	0,9994	0,000199		
Henderson & Pabis	0,5	k= 0,022513	a= 1,02695	0,9046	0,261927		
	1	k= 0,029583	a= 1,03069	0,8391	0,383969		
	1,5	k= 0,034707	a= 1,03288	0,8541	0,422938		
Logaritmik	0,5	k= 0,022292	a= 0,75440	c= -0,04085	0,9931	0,029713	
	1	k= 0,030158	a= 0,75222	c= -0,03652	0,9918	0,020859	
	1,5	k= 0,035989	a= 0,75095	c= -0,03421	0,9928	0,020081	
Midilli <i>et al.</i>	0,5	k= 0,004378	a= 1,15405	n= 1,40524	b= -8,78E-12	0,9991	0,005782
	1	k= 0,005825	a= 0,99910	n= 1,47000	b= -5,75E-12	0,9988	0,000613
	1,5	k= 0,006884	a= 0,91829	n= 1,50926	b= -4,49E-12	0,9975	0,00272

Konvektif tip kurutucuda 0,5-1-1,5 m/s ve 60-70-80°C de ökseotunun kurutulmasını tanımlayan en uygun model, en düşük χ^2 ve en yüksek R değerleri dikkate alınarak, Modifiye Page olarak bulunmuştur.

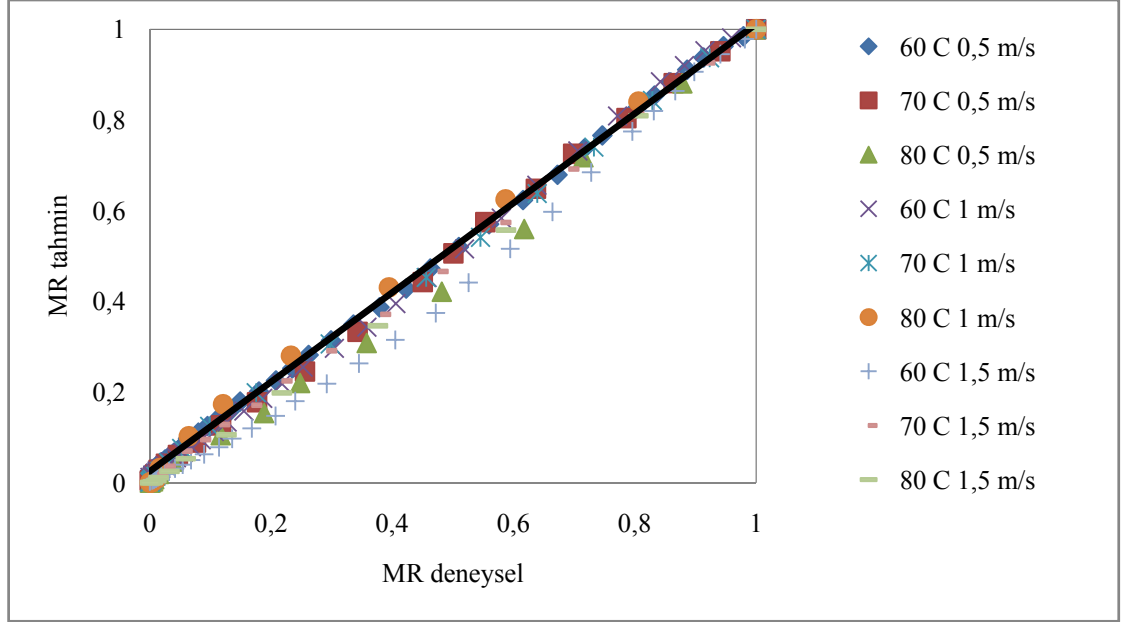
$$MR = \exp[-(kt)^n] \quad [16]$$

Daha sonra k katsayısı ve n üs değerinin sıcaklık ve hava hızına bağlı değişimini ifade etmek için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Buna göre;

$$k = 5,261 * V^{0,394} * \exp(-414,47/T) \quad [17]$$

$$n = 1,754 * V^{0,055} * \exp(-15,97 / T) \quad [18]$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.28. Deneysel ve Tahmini boyutsuz nem içeriğinin karşılaştırılması (Konvektif tip)

Çizelge 4.8. 60°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı				R	χ^2
Newton	0,5	k= 0,006917				0,9933	0,00793
	1	k= 0,009444				0,9905	0,005954
	1,5	k= 0,011332				0,9849	0,009083
Page	0,5	k= 0,000411	n= 1,56225		0,9989	0,001719	
	1	k= 0,001006	n= 1,50989		0,9939	0,002731	
	1,5	k= 0,001700	n= 1,48009		0,9707	0,016193	
Modifiye Page	0,5	k= 0,006850	n= 1,56224		0,9990	0,001518	
	1	k= 0,009372	n= 1,50989		0,9980	0,000604	
	1,5	k= 0,011259	n= 1,48008		0,9890	0,005669	
Henderson & Pabis	0,5	k= 0,007870	a= 1,12649		0,9914	0,005771	
	1	k= 0,010519	a= 1,11014		0,9868	0,004145	
	1,5	k= 0,012465	a= 1,10069		0,9791	0,007519	
Logaritmik	0,5	k= 0,006066	a= 1,23820	c= -0,16391	0,9936	0,001956	
	1	k= 0,008448	a= 1,20868	c= -0,14234	0,9926	0,003791	
	1,5	k= 0,010255	a= 1,19174	c= -0,13107	0,9893	0,011565	
Midilli et al.	0,5	k= 0,000262	a= 0,96725	n= 1,63604	b= -4E-05	0,9975	0,001692
	1	k= 0,000709	a= 0,97116	n= 1,57130	b= -3,9E-05	0,9963	0,002405
	1,5	k= 0,001271	a= 0,97345	n= 1,53462	b= -3,8E-05	0,9755	0,016067

Çizelge 4.9. 70°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı			R	χ^2	
Newton	0,5	k= 0,016386			0,9917	0,004039	
	1	k= 0,022374			0,9906	0,004377	
	1,5	k= 0,026846			0,9925	0,003069	
Page	0,5	k= 0,001281	n= 1,56005		0,998	0,001573	
	1	k= 0,003138	n= 1,50778		0,9994	0,00023	
	1,5	k= 0,005301	n= 1,47801		0,9985	0,000438	
Modifiye Page	0,5	k= 0,015750	n= 1,56005		0,9991	0,000265	
	1	k= 0,021550	n= 1,50777		0,9993	0,000249	
	1,5	k= 0,025888	n= 1,47800		0,9987	0,000665	
Henderson & Pabis	0,5	k= 0,018031	a= 1,09791		0,9895	0,002967	
	1	k= 0,024100	a= 1,08197		0,9899	0,003371	
	1,5	k= 0,028557	a= 1,07276		0,9927	0,002648	
Logaritmik	0,5	k= 0,015199	a= 1,15650	c= -0,05832	0,9923	0,002121	
	1	k= 0,021169	a= 1,12893	c= -0,05065	0,9794	0,018244	
	1,5	k= 0,025696	a= 1,11311	c= -0,04664	0,992	0,002336	
Midilli et al.	0,5	k= 0,000949	a= 0,97957	n= 1,61229	b= -8,1E-06	0,9961	0,002354
	1	k= 0,002573	a= 0,98353	n= 1,54848	b= -7,8E-06	0,5559	0,156692
	1,5	k= 0,004611	a= 0,98586	n= 1,51233	b= -7,6E-06	0,9987	0,000430

Çizelge 4.10. 80°C UV- Konvektif tip kurutucu için İstatistiksel analiz sonuçları

Model	V (m/s)	Katsayı		R	χ^2		
Newton	0,5	k= 0,031291		0,9892	0,004069		
	1	k= 0,042725		0,9898	0,003179		
	1,5	k= 0,051264		0,9936	0,00165		
Page	0,5	k= 0,003005	n= 1,55841	0,9922	0,004608		
	1	k= 0,007364	n=1,50619	0,9993	0,000194		
	1,5	k= 0,012439	n= 1,47646	0,9994	0,000311		
Modfiye Page	0,5	k= 0,029409	n= 1,55841	0,9994	0,000148		
	1	k= 0,040239	n= 1,50619	0,9996	0,000105		
	1,5	k= 0,048340	n= 1,47645	0,9999	0,000065		
Henderson & Pabis	0,5	k= 0,033577	a= 1,07695	0,9882	0,00329		
	1	k= 0,044878	a= 1,06132	0,9892	0,00271		
	1,5	k= 0,053178	a= 1,05228	0,9933	0,001467		
Logaritmik	0,5	k= 0,030271	a= 1,09879	c= -0,02687	0,9893	0,002835	
	1	k= 0,042161	a= 1,07260	c= -0,02334	0,9899	0,002383	
	1,5	k= 0,051176	a= 1,05756	c= -0,02149	0,9936	0,001426	
Midilli et al.	0,5	k= 0,002494	a= 0,98892	n= 1,59469	b= -2,5E-06	0,9897	0,005692
	1	k= 0,006761	a= 0,99292	n= 1,53158	b= -2,4E-06	0,9994	0,00016
	1,5	k= 0,012118	a= 0,99527	n= 1,49583	b= -2,3E-06	0,9989	0,000547

UV-Konvektif birleştirilmiş tip kurutucuda 0,5-1-1,5 m/s ve 60-70-80°C de ökseotunun kurutulmasını tanımlayan en uygun model konvektif tip kurutucuda olduğu gibi, en düşük χ^2 ve en yüksek R değerleri dikkate alınarak, Modifiye Page olarak bulunmuştur.

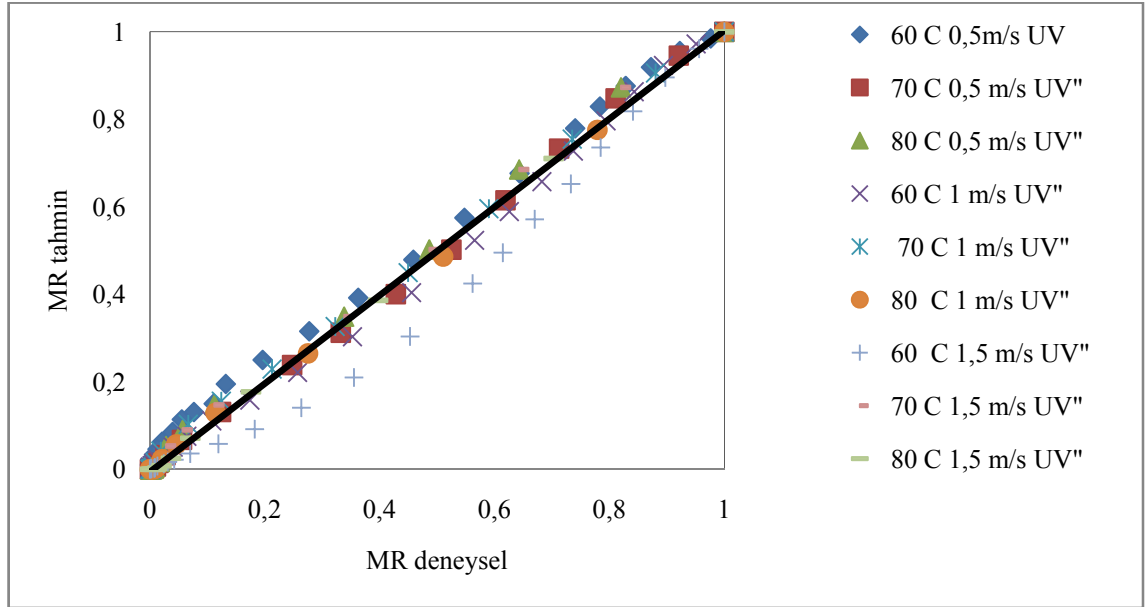
$$MR = \exp[-(kt)^n]$$

Daha sonra k katsayısı ve n üstel değerinin sıcaklık ve hava hızına bağlı değişimini ifade etmek için yine çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Buna göre;

$$k = 3,185 * V^{0,452} * \exp(-349,69/T) \quad [19]$$

$$n = 1,495 * V^{-0,049} * \exp(0,589/T) \quad [20]$$

bulunmuştur.



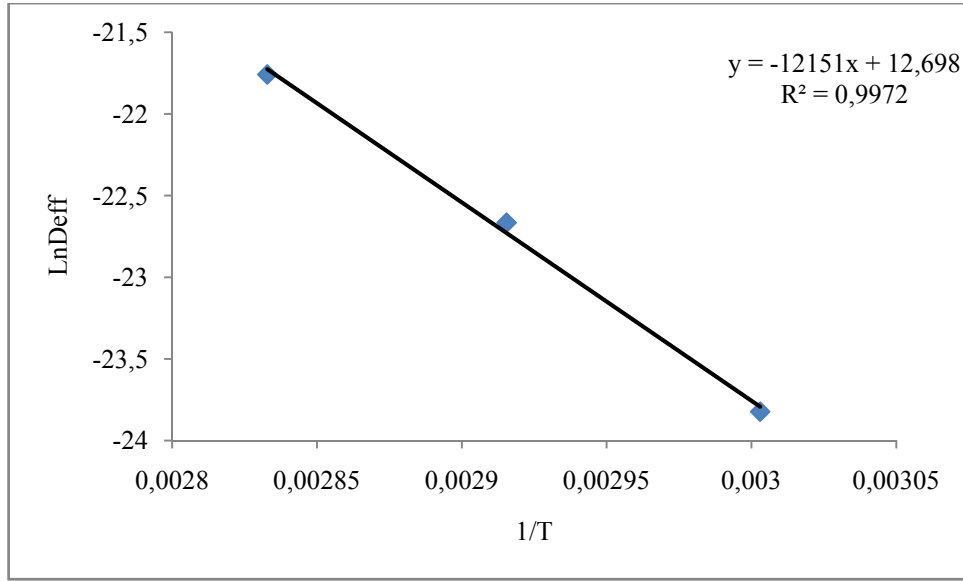
Şekil 4.29. DeneySEL ve Tahmini boyutsuz nem içeriğinin karşılaştırılması (UV-Konvektif tip)

4.11. Etkin Nem Difüzyon Katsayısı

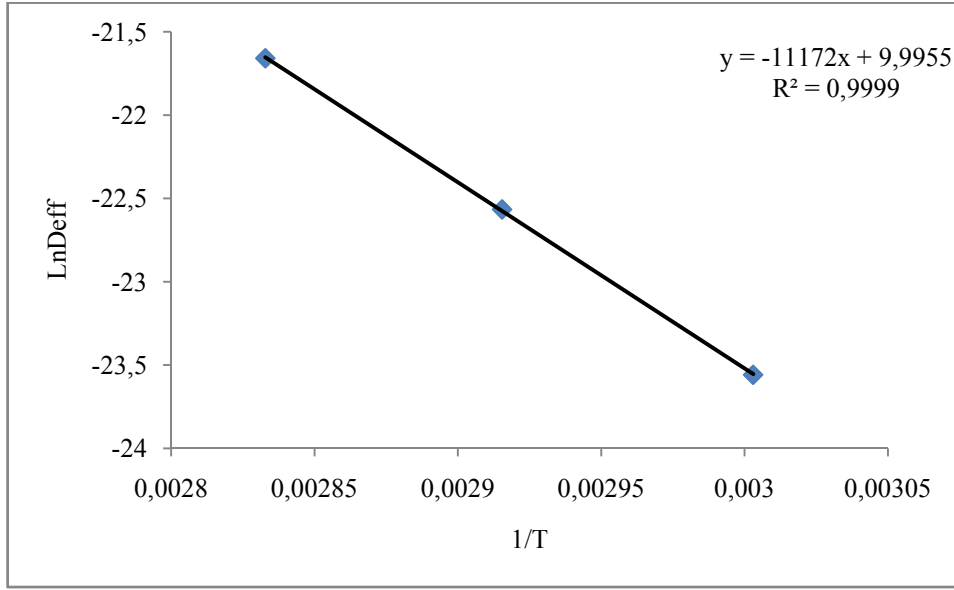
Gıda maddelerinin difüzyon katsayıları maddenin cinsine ve içinde bulunduğu koşullara bağlı olarak değişir. Etkin nem difüzyon hızı, sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu, yüzeydeki difüzyon, kapiler akış ve hidrodinamik akışı içine alan ve madde içinde nem hareketinin mümkün olan bütün mekanizmalarını tanımlar.

Ökseotu bitkisi elek üzerine yüzeyi kaplayacak şekilde dizilerek konvektif tip bir kurutucuda 60-80°C kurutma havası sıcaklıklarında 0,5-1-1,5 m/s kurutma havası hızında kurutulmuştur. Bu veriler kullanılarak ayrıca etkin nem difüzyon katsayıları Fick'in 2. kanunundan yola çıkılarak ve (i) başlangıç nem içeriği katı içinde üniform olduğu, (ii) katı yüzeyindeki nemin hava ile dengede olduğu, (iii) kuruma süresince katıda büzüşme olmadığı, (iv) 2 yönlü difüzyon olduğu ve prosesi katı içindeki nem difüzyonunun kontrol ettiği, şeklindeki kabuller yapılarak eşitlik (7) ile hesaplamalar yapılmıştır (Doymaz 2007).

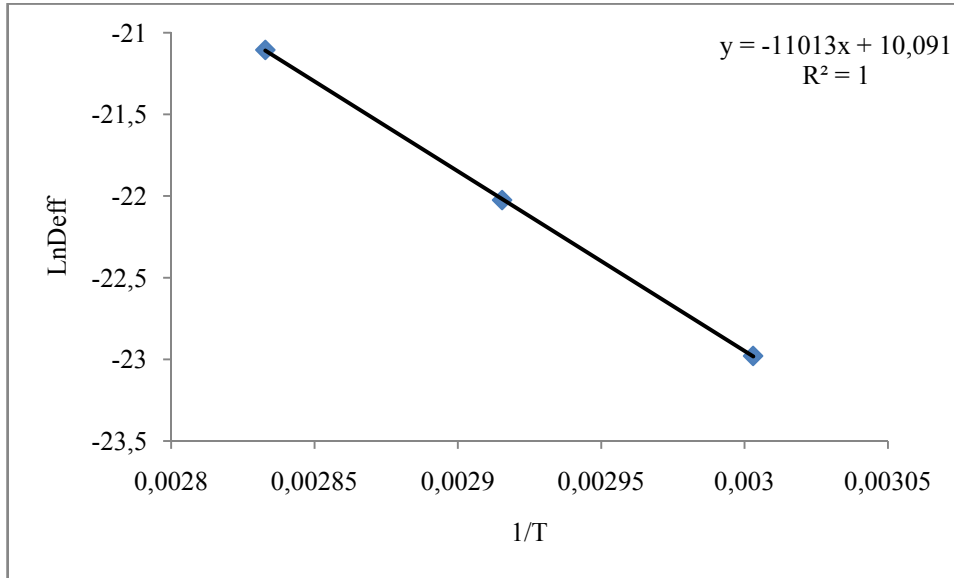
Eşitlik (7) çözümlenerek ve eşitlik (10) kullanılarak bulunan D_{eff} değerlerinin pozitif değeri olanlarının ortalaması, ortalama etkin nem difüzyon katsayısı olarak ifade edilmiştir. Ortalama etkin nem difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi Arrhenius eşitliği olan eşitlik (11)'den faydalanılarak ifade edilmiştir. Buna göre, $\ln D_{eff}$ 'e karşı $1/T$ grafiği çizilerek eğimden $-E_a/R$ bulunmuştur.



Şekil 4.30. 0,5 m/s için $\ln D_{eff} - 1/T$ grafiği (konvektif kurutma)



Şekil 4.31. 1 m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (konvektif kurutma)



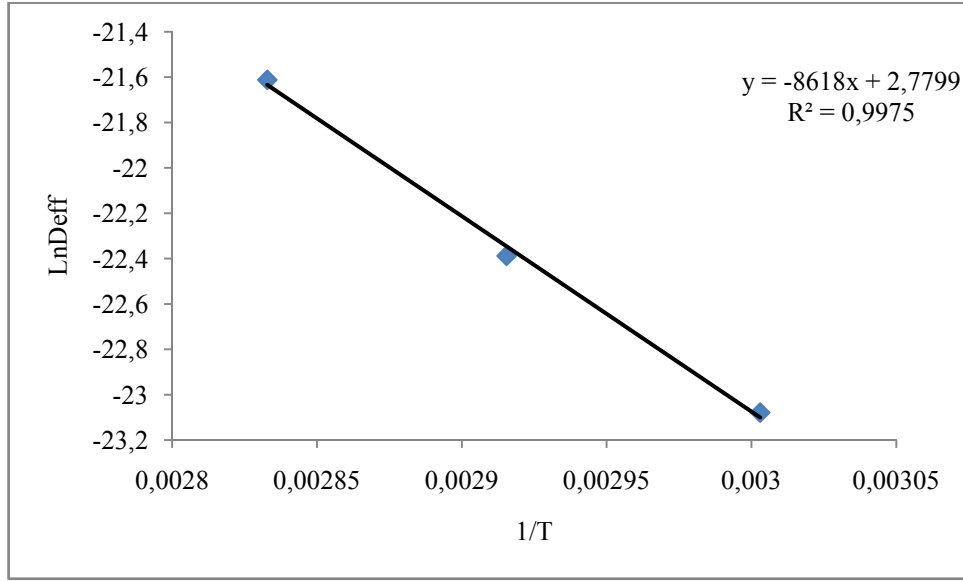
Şekil 4.32. 1,5 m/s için $\ln D_{\text{eff}}-1/T$ grafiği (konvektif kurutma)

Kurutma sırasında ökseotu bitkisi için hesaplanan ortalama etkin nem difüzyon katsayılarının çalışılan kurutma havası parametrelerine göre değişimi Çizelge 4.11’de verilmiştir. Kurutma havası parametreleri incelendiğinde etkin nem difüzyon katsayısı en fazla hava sıcaklığından etkilenmiştir. Sıcaklığın artışıyla ortalama etkin difüzyon

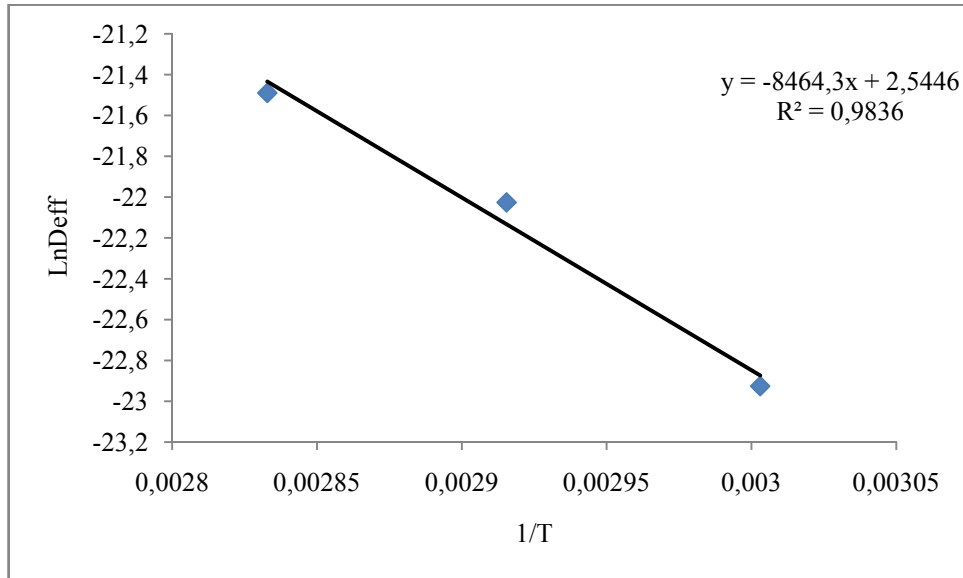
katsayısı oldukça artmıştır. Hava hızının artışı da difüzyonun bir miktarda artmasına neden olmuştur. De_{eff} değerleri konvektif kurutmada $0,46 \times 10^{-10}$ - $6,83 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında değişirken, UV-Konvektif tip kurutmada $0,95 \times 10^{-10}$ - $7,04 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında artış göstermektedir. De_{eff} değerleri her iki tip kurutmada da 10^{-10} mertebesinde dir. Daha önce yapılan çalışmalarda buna benzer sonuçlar bulunmuştur (Panchariya *et al.* 2001, Doymaz 2007, Sacılık *et al.* 2005)

Çizelge 4.11. Etkin difüzyon katsayılarının hava hızı ve sıcaklığa göre davranışı

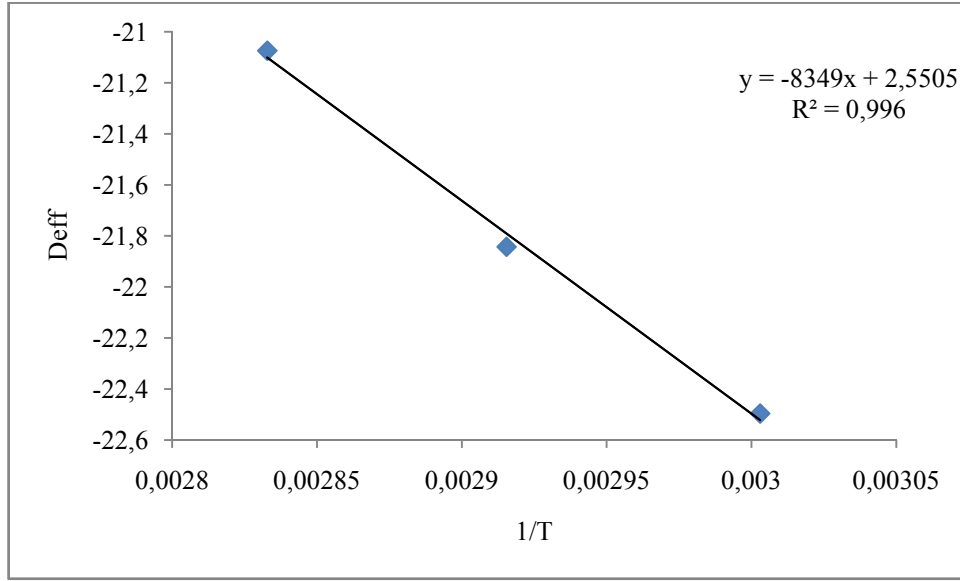
Hava hızı(m/s)	Sıcaklık (°C)	Konvektif $De_{eff}(m^2/s) \times 10^{-10}$	UV-Konvektif $De_{eff}(m^2/s) \times 10^{-10}$
0,5	60	0,46	0,95
	70	1,16	1,89
	80	2,39	4,11
1	60	0,59	1,11
	70	1,58	2,72
	80	3,58	4,65
1,5	60	1,05	1,69
	70	2,57	3,27
	80	6,83	7,04



Şekil 4.33. 0,5 m/s için $\ln D_{eff} - 1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma)



Şekil 4.34. 1 m/s için $\ln D_{eff} - 1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma)



Şekil 4.35. 1,5 m/s için $\ln D_{\text{eff}} - 1/T$ grafiği (UV-Konvektif kurutma)

Çizelge 4.12. Konvektif ve UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotu bitkisinin aktivasyon enerjileri

Hava hızı(m/s)	Konvektif Ea (Kj/mol)	UV-Konvektif Ea (Kj/mol)
0,5	101,82	72,21
1	93,62	70,93
1,5	92,28	69,97

Aktivasyon enerjilerinin çalışılan hava hızlarında elde edilen değerleri çizelge 4.12’de verilmiştir. Buna göre Konvektif tip ve UV-Konvektif birleştirilmiş tip kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerjilerinin hava hızının artışıyla azaldığı gözlemlenmiştir. Aktivasyon enerjisi için, bazı bitki ve meyvelerle, daha önce yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda verildiği gibidir. Örneğin, Corzo *et al.* (2008) 50-80°C ve 1.80 m/s hava hızı ile kuruttukları mango bitkisinin aktivasyon enerjisini (E_a) 22.3 Kj/mol bulurken aynı sıcaklıklar ve 1,91 m/s hava hızı ile kuruttukları mango

bitkisinin aktivasyon enerjisini 11.4 Kj/mol olarak bulmuşlardır. Ayrıca diken üzümü ile yapılan çalışmada aktivasyon enerjisi 110,837-130,61 Kj/mol (Aghbashlo *et al.* in press), siyah çay ile yapılan çalışmada 406,02 Kj/mol (Panchariya 2001), nane ile yapılan çalışmada 82,93 Kj/mol (Park *et al.* 2002) olarak bulunmuştur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada Ökseotu (*Viscum Album* L.) bitkisinin Konvektif tip ve UV-Konvektif kombine tip kurutucuda nem içeriği, kuruma kinetiği, etkin difüzyon katsayısı, kurutma havası hızının ve kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkileri incelenmiştir.

Her iki tip kurutucuda kurutma havası sıcaklığının artışı ile kurutma süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Bütün sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda hava hızının etkisinin yalnızca 0,5m/s için kayda değer olduğu diğer hızlar için ihmal edilebileceği tespit edilmiştir.

Konvektif tip kurutucu ve UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan ökseotunun kuruma hızı grafiklerinden kurutma hızının sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir.

UV-Konvektif tip kurutucuda kuruma süresini Konvektif tip kurutucuya göre daha kısa olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre C vitamini miktarına kuruma sıcaklığı, kuruma süresini kısalttığı için olumlu etki yapmıştır. Özellikle UV-Konvektif kurutucuda yüksek sıcaklıklarda kurutulan ökseotunda C vitamininin daha az bozunduğu gözlemlenmiştir.

Ökseotu bitkisinin kalite parametresi olarak incelenen renk değişimi analizleri sonucuna göre en yüksek L* ve en düşük a*/b* oranı Konvektif tip kurutucuda 1 m/s hava hızında ve 70°C'de elde edilmiştir. UV-Konvektif tip kurutucuda ise en yüksek L* ve en düşük a*/b* oranı, 1,5 m/s hava hızında ve 80°C'de elde edilmiştir.

Literatürde mevcut olan tek tabaka kurutma modellerinden altı model denenmiştir. Denenen modeller arasında her iki tip kurutucu için çalışılan sıcaklık ve hava hızına bağlı olarak ökseotu bitkisinin kuruma davranışını en iyi ifade eden modelin en düşük χ^2 ve en yüksek R değeri veren **Modifiye Page** modeli olduğu tespit edilmiştir.

Etkin nem difüzyon katsayısının ($Deff$) her iki tip kurutmada da 10^{-10} mertebesinde olduğu saptanmıştır. Kurutma havası parametreleri incelendiğinde etkin nem difüzyon katsayısı en fazla hava sıcaklığından etkilenmiştir. Sıcaklığın artışıyla ortalama etkin difüzyon katsayısı oldukça artmıştır. Hava hızının artışı da difüzyonun bir miktarda artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. $Deff$ değerleri konvektif kurutmada $0,46 \times 10^{-10}$ - $6,83 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında değişirken, UV-Konvektif tip kurutmada $0,95 \times 10^{-10}$ - $7,04 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığındadır.

Konvektif tip kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerjileri çalışılan hava hızına bağlı olarak 102,82 - 92,28 KJ/mol hesaplanmıştır. UV-Konvektif tip kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon enerjileri ise 72,21 - 69,97 KJ/mol aralığında bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Akhijahani, H.S., in press Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae) *Energy Conversion and Management* xxx (2008) xxx–xxx
- Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 1, 75-84 .
- Akpınar, E. K., Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16. sayı, cilt 1, 159-169s, Ankara.
- Akpınar, E., Midilli, A., Bicer, Y. 2003. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*, 44 (2003), 1689–1705.
- Apaydın, N., Coşkun, B. 2007 Aydın Yöresinde İncir Kurutmada Kullanılacak Olan Doğal Akımlı Bir Güneş Enerjili Kurutucunun Modellenmesi; Adnan Menderes Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın
- Arslan, D., Özcan M.M., 2007 Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 1258–1264
- Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C., 2008 Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87 (2008) 479-484
- Demir, V., Günhan, T., Yağcıoğlu, A. K. 2007 Mathematical Modelling Of Convection Drying Of Green Table Olives *Biosystems Engineering*, 98 (2007) 47–53
- Demir, V., Günhan, T., Yağcıoğlu, A.K., Değirmencioglu, A. 2004 Mathematical Modelling and the Determination of Some Quality Parameters of Airdried Bay Leaves. *Biosystems Engineering*, 88 (3), 325–335
- Diamante, L.M., Munro, P.A., 1993. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sweet potato slices. *Sol. Energy* 51, 271–276.
- Doymaz, İ., 2007. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, 47 (2008), 914–919.
- Doymaz, İ. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- Doymaz, İ., M. Pala. 2003. The Thin-Layer Drying Characteristics Of Corn. *Journal Of Food Engineering*, 60:125-130.
- Erentürk, S., Malkoç, E. 2007 Removal of lead(II) by adsorption onto *Viscum album L.*: Effect of temperature and equilibrium isotherm analyses. *Applied Surface Science* 253 (2007) 4727–4733
- Erenturk, S., Gulaboğlu, M.S., Gultekin, S., 2005 The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying *Journal of Food Engineering* 68 (2005) 513–51
- Erenturk, S., Gulaboğlu, M. S., Gultekin, S., 2004 The Thin-layer Drying Characteristics of Rosehip *Biosystems Engineering* 89 (2), 159–166
- Erentürk, S., Gülaboğlu, Ş., Gültekin, S. 2002 Kuşburnu meyvesinin kurutulmasında bazı parametrelerin kurumaya ve C vitamini miktarına etkileri; Atatürk üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum

- Ergun, F. Deliorman, D. *Viscum album* L. (ökse Otu) Bitkisinin Kimyasal Bileşimi; Ankara üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi Cilt :24 – Sayı: 2, 1995’ den Ayrı Baskı, Ankara
- Ertekin C., Yıldız O. 2001. Patlıcan Kurutmada Kurumunun Çeşitli Modeller İle Açıklanması. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi. (13–15 Eylül 2001), 399-404s, Şanlıurfa.
- Hacıhafizoğlu, O., Cihan, A., Kahveci, K. 2008 Mathematical Modelling Of Drying Of Thin Layer Rough Rice. *Food And Bioproducts Processing* X X X (2008) Xxx–Xxx. In Press
- Henderson, S.M., Pabis, S. 1961 Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *J Agric Res Eng* 6:169–74.
- Hernandez, J.A., Pavon, G., Garcia, M. A., 2000. Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modelling food drying kinetics. *Journal of food engineering*, 45, 1-10.
- Ipek, B., (2001), “Yeni Tasarlanan Havalı Kollektör Yardımı ile Elazığ Yöresi Kayıslarının Kurutulmasında, Kayısı Yüzey Sıcaklığının Tespiti”, Malatya Meyvecilik Araştırma Enstitüsü yayınları.
- Isaeva, J. Akaryıldız, E. 2007 Kayısı Kurutulmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Keskin, H., 1970. Gıda Kimyası. Osman Yalcın Matbaası, 2. Baskı, İstanbul
- Koyuncu, T., Tosun, İ., Pınar, Y. 2005 Drying Characteristics And Heat Energy Requirement Of Cornelian Cherry Fruits (*Cornus Mas* L.) *Journal Of Food Engineering* 78 (2007) 735–739
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H., & Buckle, K. A. (1996). The thin layer drying characteristic of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75–97.
- Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M., 2002. Hot air and sun drying of grape leather. *Journal of Food Engineering*, 54, 81–88
- Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M. 2001. Effect Of Concentration And Drying Processes On Color Change Of Grape Juice And Leather (Pestil). *Journal Of Food Engineering*, 54:75-80.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002. A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513.
- Mohapatra, D., Rao, P. S. 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66:513-518.
- Mujumdar, A.S., 1987. *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker, New York.
- Panchariya, P.C., Popovic, D., Sharma, A.L., 2001 Thin-layer modelling of black tea drying process *Journal of Food Engineering* 52 (2002) 349–357
- Park, K.J., Vohnikova, Z., Brod, F.P.R. 2002 Evaluation of Drying Parameters And Desorption Isotherms Or Garden Mint Leaves (*Mentha crispa*. L.) *Journal Of Food Engineering* 51, 193-199.
- Prachayawarakorn, S., Tia, W., Plyto, N., Soponronnarit, S 2007 Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature *Journal of Food Engineering* 85 (2008) 509–517
- Sabarez, H. T., & Price, W. E. (1999). A Diffusion Model For Prune Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 42(3), 167–172.

- Sacilik, K., Elicin, A. K., 2005. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 73 (2006), 281–289.
- Sadegihan, E., Yağcıoğlu, A. K., 1992. Bandırılmış Çekirdeksiz Üzümün Farklı Kuruma Evrelerindeki Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B. 2004 Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Onion Slices *Journal of Food Engineering* 67 (2005) 361–366.
- Temür, N., Gökçe, İ., 2006. Çam , kavak , söğüt ve armut ağaçları üzerinde yetişen ökse otu (*Viscum album L.*) bitkilerinin antioksidan aktivitelerinin incelenmesi; Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat
- Toğrul, İ. T., Pehlivan, D. 2001. Mathematical Modelling of Solar Drying Of Apricots In Thin Layers. *Journal of Food Engineering*, 55 (2002) 209-216.
- Toğrul, İ. T., Pehlivan, D. 2002. Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58:23-32.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536. İzmir.
- Yaldız O., 2001. Havuç ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havası Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi. (13-15 Eylül 2001), 412-417s, Şanlıurfa.
- Yaldız, O., Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying some different vegetables. *Drying Technology*, 19(3), 583–596.
- Yayger, T., Yağcıoğlu, K. 1986. Rocco Cinsi Çeltiğin Farklı Kurutma Havası Debisinde Gösterdiği Kurutma Karakteristiklerinin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma; Ege Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Yüksel, B., Akbulut, S., Keten, A. 2005. Çam Ökseotu (*Viscum Album Ssp. Austriacum* (Wiesb.) Vollman)'nun Zararı, Biyolojisi Ve Mücadelesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2005, Issn: 1302-7085, Sayfa: 111-124

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Giresun'un Tirebolu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tirebolu'da, lise öğrenimi Giresun'da tamamladı. 1999 yılında öğrenime başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilimdalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.