

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KURUTMA METODLARI VE ŞARTLARININ NAR TANESİNİN
KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Özge CESUR

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2013

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN danışmanlığında, Özge CESUR' un hazırladığı “**Kurutma Metodları ve Şartlarının Nar Tanesinin Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi**” konulu bu çalışma 12/02/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN

Üye : Doç. Dr. Hasan VARDİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Coşkun DALGIÇ

Bu Tezin Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Seyit TEMİR
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 12027

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Nar Meyvesi ve Nar Üretimi.....	4
2.2. Kurutma İşlemi.....	6
2.2.1. Kurutma işlemine etki eden faktörler ve ön işlemler.....	7
2.3. Kurutma İşleminde Kullanılan Modellemeler.....	8
2.3.1. İnce tabaka (thin-layer) kurutma modeli.....	9
2.3.2. Kurutma işleminde kullanılan modellemeler ve denklemleri.....	11
2.3.3. Modellemelerin farklı gıdaların kurutulmasında kullanımı.....	13
2.4. Fenolik Maddeler ve Antosiyantinler.....	14
2.5. Hidroksimetilfurfural (HMF).....	16
2.6. Efektif Nem Difüzyonu.....	17
2.7. L-Askorbik Asit Tayini.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Bitki materyali.....	20
3.1.2. Kimyasal maddeler.....	20
3.2. Yöntem.....	20
3.3. Analizler.....	21
3.3.1. Kurutma kinetiği.....	21
3.3.2. Ekstraksiyon işlemi.....	23
3.3.3. Su aktivitesi.....	23
3.3.4. Toplam antosiyantin miktarı (TA) tayini.....	23
3.3.5. Toplam fenolik madde analizi.....	24
3.3.6. Antioksidan kapasitesi (% DPPH) analizi.....	24
3.3.7. Renk analizi.....	25
3.3.8. Esmerleşme indeksi (sayısı).....	25
3.3.9. Büzülme etkisi.....	25
3.3.10. Hidroksimetilfurfural (HMF).....	25
3.3.11. Efektif nem difüzyonu (<i>Deff</i>).....	26
3.3.11.1. Aktivasyon enerjisi.....	27
3.3.12. L-Askorbik asit analizi.....	27
3.3.13. Kurutulmuş nar tanesinde duyusal değerlendirme.....	27
3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi ve İstatistiksel Yöntemler.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	29
4.1. Kurutma.....	29
4.2. Kurutma Yöntemleri.....	29
4.2.1. Açık havada kurutma.....	30
4.2.2. Kabin kurutucu (hava akımlı).....	31
4.2.3. Vakum kurutucu.....	31
4.3. Kurutma İşlemi.....	33
4.3.1. Kurutma işleminde matematiksel modellemeler.....	41
4.4. Su Aktivitesi.....	42
4.5. Toplam Antosiyantin Miktarı (TA) Tayini, Toplam Fenolik Madde Analizi, Antioksidan Kapasitesi (% DPPH) Analizi.....	45
4.5.1. Toplam antosiyantin miktarı tayini (TA).....	46
4.5.2. Toplam fenolik madde analizi.....	50

4.5.3. Antioksidan kapasitesi (%DPPH) analizi	53
4.6. Nar Tanelerinin Kurutulması Esnasında Meydana Gelen Antosiyanin ve Toplam Fenolik Madde Miktarlarındaki Değişimin Modellenmesi	55
4.7. Kurutulmuş Nar Tanelerinde Renk Analizi ve Esmerleşme İndeksi	60
4.8. Kurutma Esnasında Nar Tanelerinde Hidroksimetilfurfural (HMF) Oluşumu.....	63
4.9. Büzülme Etkisi.....	66
4.10. Efektif Nem Difüzyonu (<i>Deff</i>)	66
4.10.1. Aktivasyon enerjisi	69
4.11. L-Askorbik Asit Analizi	69
4.12. Kurutulmuş Nar Tanesinde Duyusal Değerlendirme.....	71
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	84
EKLER	85
ÖZET	102
SUMMARY	104

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

KURUTMA METODLARI VE ŞARTLARININ NAR TANESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Özge CESUR

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN

Yıl: 2013, Sayfa:105

Bu çalışma kapsamında Hicaz çeşidi (*Punica granatum L.*) nar tanelerinde farklı kurutma metodları (kabin kurutucu, vakum kurutucu ve açık havada kurutma), farklı sıcaklık değerleri (75°C, 65°C, 55°C) ve ön işlemin (80°C 2 dak. haşlama) kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarına, toplam antosiyanin miktarına, HMF miktarına ve su aktivitesine olan etkileri; son üründe ise antioksidan kapasitesine, renk değerlerine, esmerleşme indeksine ve büzülmeye olan etkileri incelenmiş, efektif nem difüzyonları ve aktivasyon enerjileri belirlenmiştir. Ayrıca nem oranı, toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı değişimlerinin zamana bağlı olarak kinetik çalışması yapılmıştır. Ağırlık değişim süresinde kurutma süresi bakımından optimum kurutma koşullarının vakum kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinde 75°C’de yapılan kurutma işlemi olduğu sonucuna varılmıştır. Kurutulan nar tanelerinin kalite özelliklerini (antosiyanin ve fenolik madde miktarı, renk, HMF vs.) optimum miktarlarda koruyan koşullar ise vakum kurutucu 55°C (ön işlemsiz nar taneleri) olarak belirlenmiştir. Açık hava şartlarında (27°C, rüzgar hızı 6 km/sa) yapılan çalışmada kurutma işleminin uzun sürede gerçekleştiği ve ürün kalitesinde yüksek kayıplar olduğu saptanmıştır. Kurutulan nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı, antosiyanin miktarı, antioksidan kapasitesi, renk değerleri vakum kurutucu 55°C sıcaklık değerinde yüksek düzeyde korunduğu saptanmıştır. Ön işlem olarak 80°C 2 dak. haşlamanın vakumlu kurutucu ve kabin kurutucuda kurutulan ürünler üzerinde, antosiyanin miktarı, antioksidan kapasitesi, esmerleşme indeksine olumsuz etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ön işlem uygulanan nar tanelerinde son ürünün su aktivitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kurutulan son ürünlerde farklı kurutma koşulları ve metodlarının büzülme etkisi üzerine etkili olmadığı saptanmıştır. Efektif nem difüzyonunun vakum kurutucuda 75°C ön işlem uygulanan nar tanelerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre nem oranı değişimini en uygun tanımlayan modelin Page ve Modifiye Page Modeli olduğu belirlenmiştir (R^2 ; 0.9813–0.9962, χ^2 ; 6.16×10^{-6} –0.000555, MBE; (-)0.000331–0.027 ve RMSE; 0.0163–0.04374). Toplam fenolik madde miktarı, toplam antosiyanin miktarı, değişimlerinde de ise Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modellemeler olduğu sonucuna varılmıştır .

ANAHTAR KELİMELER: Nar, İnce-Tabaka kurutma, Kinetik, Antosiyanin, Fenolik Madde

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

THE EFFECT OF DRYING METHODS AND CONDITIONS ON THE DRYING KINETICS AND QUALITY OF POMEGRANATE ARILS

Özge CESUR

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Food Engineering Department

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet KARAASLAN

Year: 2013, Page : 105

In the scope of this study, the effects of drying methods (cabinet, vacuum and open air drying), various temperatures (75°C, 65°C, 55°C) and pre treatment (80°C 2 min blanching) on the total phenolic content, total anthocyanin content, HMF content, water activity along with drying period; antioxidant capacity, color index, browning index and shrinkage effect of final product and effective moisture diffusivity and activation energies were determined. Besides, time-dependent kinetic study of moisture ratio, total phenolic content and anthocyanin content was carried out. Optimum drying condition for drying time was observed in the condition of pretreated vacuum drying at 75°C. Quality parameters (anthocyanin, phenolic content, color, HMF) were well conserved in the condition of untreated vacuum drying at 55°C. In the open air drying (27°C, wind velocity 6 km/h), drying process completed in the long time and high quality losses in the product were observed. Total phenolic content, anthocyanin content, color index values were highly conserved in the condition of vacuum drying at 55°C. Pretreated of arils at 80°C for 2 min blanching as a pretreatment had negative effects on the anthocyanin content, antioxidant capacity, browning index of dried pomegranate arils. Water activity of pretreated pomegranate arils were lower. Different drying conditions and methods had no effects on shrinkage of pomegranate arils. Effective moisture diffusivity value was higher in pretreated 75°C vacuum dried pomegranate arils compared to other experimental samples. According to the results, the most qualified models for moisture ratio changes were Page and Modified-Page (R^2 ; 0,9813–0,9962, χ^2 ; $6,16 \times 10^{-6}$ –0,000555, MBE; (-)0,000331–0,027 and RMSE; 0,0163–0,04374) and Page Model and Modified Page model for the changes of total phenolic content and anthocyanin content.

KEYWORDS: Pomegranate, Thin-Layer drying, Kinetic, Anthocyanin, Phenolic content

TEŞEKKÜR

Araştırmamın yürütölmesinden değerlendirilmesine kadar bana her konuda yardımcı olan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAASLAN , Doç. Dr. Hasan VARDİN ve Arş. Gör. Fatih Mehmet YILMAZ'a, istatıksel çalışmalarımda yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. şahin ÇADIRCI'ya, Sigma Plot 12.0 programında kullanılan modellerin yazımı ve teknik desteklerinden dolayı Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. A. Coşkun Dalgıç'a, ayrıca çalışmamın laboratuvar aşamalarında yardımlarını gördüğüm Harran Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğrencilerine ve hayatım boyunca bana destek olan AİLEM'e teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Maillard reaksiyonunun oluşum mekanizması	16
Şekil 2.2. Hidroksimetil furfural (HMF) bileşiğinin kimyasal yapısı	17
Şekil 3.1. Nar tanesi kurutulması	21
Şekil 4.1. Nar tanelerinin kurutulması a) ön işlemsiz nar taneleri, b-d) haşlama ön işlemi uygulanması, e-f) açık havada kurutma, g-h) laboratuvar ortamında vakum ve kabin kurutucularda kurutma.....	33
Şekil 4.2. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri	35
Şekil 4.3. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri.....	36
Şekil 4.4. Açık havada kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi	38
Şekil 4.5. Vakum kurutucuda ve kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kuruma eğrisi	40
Şekil 4.6. Vakum kurutucuda ve kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanan nar tanelerinin kuruma eğrisi.....	41
Şekil 4.7. Kabin kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi.....	44
Şekil 4.8. Kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi.....	44
Şekil 4.9. Vakum kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi.....	45
Şekil 4.10. Vakum kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi.....	45
Şekil 4.11. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında antosiyanin miktarındaki değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri	47
Şekil 4.12. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında antosiyanin miktarındaki değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri	48
Şekil 4.13. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarındaki değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri.....	51
Şekil 4.14. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarındaki değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri	52
Şekil 4.15. Vakum kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Arrhenius grafiği.....	56
Şekil 4.16. Vakum kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Eyring-Polanyi grafiği.....	56
Şekil 4.17. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Arrhenius grafiği.....	57
Şekil 4.18. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Eyring-Polanyi grafiği.....	57
Şekil 4.19. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinde HMF oluşumu A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri.....	64
Şekil 4.20. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinde HMF oluşumu A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri.....	65
Şekil 4.21. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde efektif nem difüzyonunun sıcaklığın etkisiyle değişimi	68
Şekil 4.22. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde efektif nem difüzyonu ve mutlak sıcaklık arasındaki değişimin Arrhenius-tipi bağıntısı.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Nar meyvesinin kimyasal bileşimi.....	4
Çizelge 2.2. 2008 yılına ait Dünyada ve Türkiye’de nar üretimi ve ihracat durumu.....	5
Çizelge 2.3. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri	11
Çizelge 2.4. Farklı gıda maddelerinin kurutulmasında belirlenen en uygun modellemeler.....	14
Çizelge 2.5. Nar meyvesinde bulunan antosiyaninler	15
Çizelge 3.1. Kurutma modelleri ve denklemleri	22
Çizelge 4.1. Kurutma işlemi öncesinde nar tanelerine ait bazı analiz sonuçları	30
Çizelge 4.2. Nar meyvesi ve taneye ait fiziksel özellikler.....	30
Çizelge 4.3. Kurutulan nar tanelerinin son üründeki su aktivitesi	44
Çizelge 4.4. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde antosiyanin miktarı, toplam fenolik madde miktarı ve % antioksidan kapasitesine etkisi.....	54
Çizelge 4.5. Vakum kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı değişimi için hesaplanan Eyring-Polanyi modeli değerleri	58
Çizelge 4.6. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı değişimi için hesaplanan Eyring-Polanyi modeli değerleri	59
Çizelge 4.7. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde L*, a*, b* renk parametrelerine ve esmerleşme indeksine etkisi	62
Çizelge 4.8. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde efektif nem difüzyonları	67
Çizelge 4.9. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde aktivasyon enerjileri.....	69
Çizelge 4.10. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde askorbik asit miktarı.....	71
Çizelge 4.11. Duyusal analiz değerlendirme sonuçları	72

SİMGELER DİZİNİ

Abzorbans	Abzorbans
D	Ön işlemsiz nar tanesi (Direkt)
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
<i>Deff</i>	Efektif nem difüzyonu
D_0	Arrhenius eşitiği preexponential faktörü
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
H	Ön işlemlili nar tanesi (Haşlanmış)
HMF	Hidroksimetil Furfural
K	Mutlak sıcaklık
k	Eğim
MBE	Mean beas error
MR	Nem oranı (birimsiz)
M_0	Başlangıç nem miktarı
M	Anlık nem miktarı
M_c	Denge nem miktarı
N	Gözlem sayısı
R	Ürün çapı (metre)
RMSE	Root mean square error
R^2	Regresyon katsayısı
R_g	Evrensel gaz sabiti (kJ/mol)
T	Sıcaklık (K)
TA	Toplam Antosiyanin
TFM	Toplam Fenolik Madde
V_0	İlk hacim (ml)
V	Son hacim (ml)
X^2	Chi-square
ΔG^*	Serbest aktivasyon entalpisi (J/mol)
ΔH^*	Aktivasyon entalpisi (J/mol)
ΔS^*	Aktivasyon entropisi (J/molK)
a,b,c, n	Model sabitleri
h	Plank sabiti (Js)
k, k_0 , k_1	Model katsayıları
k_b	Boltzman sabiti (J/K)

1. GİRİŞ

Nar meyvesi Punicaceae familyası, *Punica granatum Linnaeus* türüne ait bir tropik-subtropik iklim meyvesidir (Sharma ve ark., 2011). İklimsel olarak nar meyvesinin üretimine uygun olan ülkemizde uzun yıllardır yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Nar meyvesinin sağlık ve beslenme üzerine gösterdiği olumlu etkiler nedeniyle son yıllarda yoğun olarak üretilmekte (Jaiswal ve ark., 2010) ve sofralık tüketimin haricinde nar taneleri farklı işleme şekilleriyle; nar ekşisi, nar pekmezi, nar suyu ve konsantresi, nar tanesi konservesi, şarap ve nar tanesi kurusu olarak değerlendirilmektedir (Vardin ve Abbasoğlu, 2004). Bu kullanım alanlarının yanı sıra nar meyvesinin birçok gıda ürününe eklenmesiyle yeni değerlendirme alanları oluşturulmuştur. Son zamanlarda Amerika'da içerisinde nar meyvesinin bulunduğu 475 çeşit yeni gıda (tavuk sosu, sakız vb.) üretilmektedir (Bchir ve ark., 2010).

Nar meyvesinin, mevsim koşullarına bağlı olarak üretiminin belirli bir dönemde yapılması nedeniyle, uzun süre tüketime sunulabilmesi için uygun koşullarda depolanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Narlar çeşitli koşullarda 4-6 ay süreyle depolanabilmektedir. Narların depolanmasında en güvenilir yöntem ek masraflarına rağmen modern soğuk hava depolarıdır. Bu depolarda sıcaklık ve nisbi nem ayarlanabilmekte ve 1-2°C'de %85-90 nisbi nemle meyveler muhafaza edilebilmektedirler. Ancak uzun süreli depolamada yüzeysel bir esmerleşme şekli olan kabukta yanma sorunları görülebilmektedir (Bchir ve ark., 2010). Soğuk depolara ek olarak narların depolanması ve nakliye işlemleri için direkt soğutma işlemleri de uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemin de yüksek maliyet gerektirmesi ve meyvede bazı olumsuzluklar oluşturması (mikrobiyal gelişme ve dondurma işleminin neden olduğu hastalık oluşumları) nedeniyle farklı koruma metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Al-Kahtani, 1992).

Narların depolanmasının yanı sıra nar tanelerinin de raf ömrünü uzatmak için ayrıca kurutma, pastörizasyon, ozmotik dehidrasyon gibi koruma metodları uygulanmaktadır. Kurutma; enzimatik bozulma ve mikrobiyal hız gelişimini azaltması ile beraber görsel olarak avantaj sağlaması bakımından en çok tercih edilen muhafaza metodlarından birisidir (Bchir ve ark., 2012). Ayrıca kurutma işlemi ürünün rengi, tadı, kokusu, ve aroması gibi özelliklerine artı değer katmaktadır. Bu da tüketicinin ürüne olan ilgisini artırmaktadır. Hindistan'da anar adı verilen aşısız nar tanelerinin geleneksel olarak kurutulmasıyla elde edilen ürüne anardana adı verilmektedir ve kurutulmuş nar taneleri literatüre anardana olarak geçmiştir (Kingsly ve ark., 2006).

Kurutma işlemi kütle ve ısı transferi olaylarını da kapsayan bir işlemdir. Herhangi bir ürünün kurutulması için gerekli olan enerji miktarı birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir; bunlar başlangıç nem miktarı, son ürünün nem içeriği, bağlı nem, kuruma sıcaklığı ve hızı olarak sıralanabilir. Kurutucuların dizaynında ve kurutma prosesinin standardizasyonunda farklı gıda maddeleri için çeşitli matematiksel modellemeler belirlenmekte ve kullanılmaktadır (Toğrul ve Pehlivan, 2002).

Kurutma modellemeleri gıdaların kurutma karakterinin anlaşılmasına katkıda bulunur. Kurutma kinetiğinin değerlendirilmesi; en uygun kurutma koşulunun belirlenmesine ve kurutma ön görüşünün yapılmasına yardımcı olmaktadır. Gıda maddelerinin kurutulmasında kurutucu dizayn ederken kurutma modelleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun için gerekli modellemeler ise farklı geometrik şekillerde ve yapılarda olan gıdaların farklı metot ve uygulamalarla kurutulmasıyla elde edilen deneysel veriler ile belirlenmektedir (Sharma ve ark, 2011). Kurutma işleminin şekillenmesi tam kapasiteli işletmelerde yapılarak belirlenirse zaman kaybına ve ciddi maddi kayba neden olacağından modelleme ile belirlemek büyük bir avantajdır (Guarte, 1996). Kurutma işlemleri için birçok matematik modelleme bulunmakta ve en çok kullanılan modelleme İnce tabaka (Thin-Layer) kurutma modeli olarak adlandırılmaktadır (Doymaz, 2012). Bu kurutma modelini teorik olarak, yarı teorik olarak ve deneysel olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Teorik

yaklaşım difüzyon eşitliği ya da kütle ve ısı transfer eşitliği, yarı teorik yaklaşım ise tahmine dayalı teorik eşitliklerle ilgilidir. Bu yarı teorik yaklaşıma Newton modeli, Page modeli, logaritmik ve yarı logaritmik gibi modeller örnek olarak verilebilir (Hii ve ark, 2009).

Bu çalışmada Şanlıurfa'da yetiştirilen Hicaz çeşidi nar tanelerinin farklı kurutucularda (fanlı kabin kurutucu, vakum kurutucu); farklı sıcaklıklarda (55 °C, 65 °C ve 75 °C) ve açık havada (güneşte) ön işlemsiz ve 2 dak. haşlama (80 °C) ön işlemi ile kurutulmuş nar tanelerinin miktarı, fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesi, HMF miktarı, su aktivitesi, büzülme etkisi, L-askorbik asit ve renk değişimi üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kurutulmakta olan ürünlerden her 10 dak.'da bir numune alınarak tartım yapılmış ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Bu işlem kurutulmuş nar tanelerinin nem içeriği %16'ya ulaşana kadar devam etmiştir. Toplam fenolik madde, antosiyanin tayini ve HMF analizleri için ise 30 dak.'da bir örnek alınarak analizler yapılmıştır. Kurutmanın kinetiği çıkarılarak hangi modellemenin en uygun olduğu belirlenmiş; ayrıca efektif nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi hesaplaması da yapılmıştır. Çalışmalar 2 tekerrür, analizler 2 paralel olarak yürütülmüştür. Bu çalışmada kurutma işleminde kabin kurutucudan farklı olarak vakum kurutucunun kullanılmış olması, kurutma işlemi sırasında zamana bağlı olarak nar tanelerindeki antosiyanin ve toplam fenolik madde ve HMF miktarının ölçülmesi ve farklı kurutma yöntemlerinde bu değerlerin karşılaştırılması ve modellemelerinin yapılması (ön işlem uygulama, direkt kurutma, farklı sıcaklık ve farklı kurutucularda kurutma) önem taşımaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Nar meyvesi ve Nar üretimi

Nar ülkemizde yıllardır geleneksel olarak yetiştirilen bir meyve olup dünyada İran başta olmak üzere İspanya, Mısır, Rusya, Fransa, Arjantin, Çin, Japonya, Amerika ve Hindistan'da yaygın olarak üretilmektedir (Parashar ve ark., 2009). Dünyada ve Türkiyede nar üretimi ve ihracat durumu Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Son yıllarda ise kültürlenme yoluyla dünyanın birçok bölgesinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Karabıyıklı ve Kışla, 2012). Nar meyvesinin genel bileşimi Çizelge 2.1.de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Nar meyvesinin kimyasal bileşimi (İncedayı ve ark., 2010)

Kimyasal Bileşimi	Miktar
Bileşenler	
Su	80.97 g/100 g
Protein	0.95 g/100 g
Karbonhidratlar	17.17 g/100 g
Toplam Şeker	16.57 g/100 g
Mineraller	
Kalsiyum Ca	3 mg/100 g
Demir Fe	0.30 mg/100 g
Magnezyum Mg	3 mg/100 g
Fosfor P	8 mg/100 g
Potasyum K	259 mg/100 g
Sodyum Na	3 mg/100 g

Ülkemizde üretilen başlıca nar çeşitleri Fellahyemez, Katırbaş, Eksilik, Hicaznar, İzmir, Erdemli-Asınar, Ernar, Lefan, Silifke Aşısı, Ekşi Gökmar ve Mayhoş olarak söylenebilir. Bu çeşitler içerisinde ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği ve ihracatı yapılan nar çeşidi Hicaz narıdır. Hicaz narı koyu kırmızı taneli, kırmızı kabuklu mayhoş tada sahip olan bir nar çeşididir. Ayrıca bol verimliliği sayesinde diğer çeşitlere göre üstünlük sağlayarak ülkemizde ve yurt dışında yoğun talep görmektedir (Anonim b, 2011). Türkiye'nin 2008 yılı verilerine göre toplam nar

üretimini bölgelere göre dağılımı Akdeniz Bölgesi'nde % 54.56'lık üretim payı Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde ise sırasıyla %24.42 ve %12.88'dir. Diğer bölgelerde üretim miktarları düşüktür. İllere göre dağılımı ise; Antalya 52.963 tonluk üretimle ilk sırada yer almakta, bu ili sırasıyla Muğla (10.412 ton), Denizli (9.465 ton), Gaziantep (8.509 ton), Mersin (8.197 ton), Aydın (7.247 ton) ve Hatay (4.812 ton) illeri takip etmektedir (Anonim a, 2007). Üretilen bu narlar yurt içi tüketiminin yanı sıra ihraç da edilmektedir. Ülkemizin 2010 yılı verilerine göre en çok nar ihracatı yaptığı ilk dört ülke Rusya, Ukrayna, Almanya ve Bulgaristan olarak sıralanır. Son üç yılda ülkemizin en çok nar ihraç ettiği ülke Rusya'dır (Anonim c, 2011).

Çizelge 2.2. 2008 yılına ait Dünyada ve Türkiye'de Nar Üretimi ve İhracat Durumu (Anonim a, 2007)

ÜLKELER	ÜRETİM (ton)	İHRACAT (ton)
Hindistan	1.140.000	35.000
İran	705.000	60.000
Türkiye	127.760	12.000
ABD	110.000	17.000
Irak	80.000	-
İspanya	40.000	15.000
Tunus	25.000	2.000
Afganistan	24.000	-
İsrail	17.000	4.000
Azerbaycan	65.000	-
Mısır	43.000	-
Özbekistan	35.000	-
TOPLAM	2.411.76	-

Son yıllarda ülkemiz nar üretiminde önemli gelişmeler göstermektedir. Bu gelişmenin nedenleri arasında, nar meyvesinin son yıllarda beslenme açısından öneminin kavranması, ekonomik değerinin artması, ticari olarak istenilen niteliklerde nar üretimi ihtiyacı oluşması, yurt içi ticareti ve ihracat için uygun kalite özelliklerinde nar meyvesine ihtiyaç duyulması sayılabilir (Gölükçü ve Tokgöz, 2008). Nar meyvesi yetiştiriciliğine duyulan ihtiyacın artmasıyla Şanlıurfa'da da önemli miktarlarda nar plantasyonu yapılmıştır ve önümüzdeki 5-10 yıllık süreçte bu narların verime gelmesiyle Şanlıurfa da önemli nar üretim merkezlerinden birisi olacaktır.

2.2. Kurutma İşlemi

Gıdalara, genellikle meyve ve sebzelere uygulanan kurutma işlemi eski çağlardan beri kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Kurutma işlemi katı, sıvı ya da yarı katı maddeleri daha az nem içeriğine sahip olan ürünlere dönüştüren bir işlem olarak tanımlanır. Kurutma işlemindeki temel amaç son ürünü tüketicinin beğenisine uygun hale getirirken kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmaktır. Kurutma işlemiyle son üründe istenilen renk, tat, tekstür gibi özellikler ve istenilen fiziksel formu (granül, toz vb.) elde edebilmek de mümkündür (Erbay ve İçier, 2009).

Kurutma işlemi endüstriyel öneme sahip ve yüksek miktarlarda enerji tüketimini gerektiren bir işlemdir. Birçok sanayileşmiş ülkede kurutma işlemleri için tüketilen enerji miktarı endüstri için tüketilen enerjinin %7-15'i gibi önemli bir paya sahip olmasına rağmen yapılan kurutma işlemlerinin verimliliği %25-50 oranlarında değişmektedir (Günhan ve ark., 2005).

Kurutma işlemi daha az enerji harcamak için açık havada güneş ışığı altında yapılabilmektedir. Ancak açık havada yapılan kurutma işleminde son ürünün kalitesinde ve ürün özelliklerinde belirgin farklılıklar görülebilmektedir. Ayrıca kuruma süresinin uzunluğu ve kurutma işleminin yapıldığı ortama bağlı olarak mikrobiyal risk ve çeşitli kontaminasyonların gelişme riski bulunmaktadır (Doymaz, 2012). Bu nedenle açık havada kurutma işlemine ek olarak çeşitli endüstriyel kurutucular geliştirilmiştir. Açık havada güneş ışınları altında ve güneş ışınlarının kullanıldığı kurutucuda Midilli (2001), kabuklu ve kabuksuz fıstıkları kurutarak ürünün genel kabul edilebilirliğini incelemiş ve fıstıkların farklı ortamlardaki kuruma sürelerini karşılaştırmıştır. Endüstriyel kurutucuda ürünün yaklaşık $50\pm 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 6 saat'de istenilen nem dengesine ulaştığı görülmüştür. Ayrıca açık havada yapılan kurutma işlemine göre olumsuz etkilerden (toz, kirlilik, zararlı böcekler) arındırıldığı belirlenmiştir. Aynı sürede açık havada kurutulan ürünün ise istenilen nem dengesine ulaşmadığı görülmüştür.

Kurutma işlemi sonunda elde edilen ürünün kalitesini koruması ve tüketici beğenisine uygun olması oldukça önemlidir. Bu nedenle kurutma işlemleri sırasında ürünün kokusu, rengi, bileşimi gibi fiziksel ve yapısal özelliklerin korunması için uygun kurutucu, sıcaklık ve kuruma süreleri belirlenmektedir. Midilli ve ark. (1999), mantar kurutması ve anzer balı için en uygun sıcaklık değeri ve süresini araştırmışlardır. Mantar için kabin kurutucuda 50°C ve 6 saat anzer balı için kabin kurutucuda 40-45°C'de 2.5-3 saatin renk, aroma, koku ve yapısında olumsuz değişimler oluşturmayan optimum değerler olduğunu belirlemişlerdir. Kurutma işlemi için kullanılabilen geleneksel mikrodalga fırınlarda Prabhanjan ve ark. (1995), havuç meyvesinin kurtulmasını araştırmışlardır. Uygun kurutma sıcaklık değerlerini 45-60°C olarak belirlemişlerdir. Ayrıca kurutulan üründe makinanın çalışma gücü 2-4 devirlere ayarlanmış ve düşük devirde ürün kalitesinin daha iyi korunduğunu belirlemişlerdir.

2.2.1. Kurutma işlemine etki eden faktörler ve ön işlemler

Gıdalardan suyun uzaklaşması önemli bir fiziksel olaydır. Kurutma işlemine etki eden birçok iç olaylar ve dış faktörler bulunmaktadır. En önemli mekanizmalar ise moleküler difüzyon ve kapiler akım olarak gösterilmektedir. Küre şeklindeki maddelerin kurutulmasında moleküler difüzyon olayı Fick'in ikinci kuralı (Fick's second law) kullanılarak belirlenmektedir (Sharma ve ark., 2011). Fick'in ikinci kuralı kurutma işlemi uygulanan gıdaların kuruma hızının düşüş periyodundaki kütle difüzyon eşitliği olarak tanımlanabilir ve bu eşitlik:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir (Panchariya ve ark., 2002).

Kurutma işlemi yapılan ürünlerde daha etkin bir kurutma sağlanabilmesi için ürün kalınlığının önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Madamba ve ark. (1996), soğanın 50-90°C'de kurutulurken ürün kalınlığının kurutma süresine olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada 2-4 mm arasında değişen örnek kalınlığı ve incelenen

sıcaklık değerlerinin kurutma oranını önemli miktarda etkilediğini gözlemlemişlerdir. Farklı kalınlıklardaki ürünlerde yapılan kurutma işleminin incelendiği diğer bir çalışmada patlıcan sebzesinin inceliği ve kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca farklı kalınlıklardaki örneklerin elde edilen son üründe önemli bir renk farklılığı oluşturmadığı belirlenmiştir (Ertekin ve Yıldız, 2004).

Kurutma işleminden önce ürünün genel kabul edilebilirliğine olumlu etkiler katması açısından bazı ön işlemler uygulanmaktadır. Thakur ve ark. (2010), kurutma işleminden önce ön işlemlerin tekstüre, renge ve genel kabul edilebilirliğe olan etkilerini incelemişler ve nar tanelerinin 30 saniye buharda haşlanmalarının ardından %0.3'lük kükürt çözültüsüyle 60 dak. muamelenin en uygun ön işlem olduğu ortaya konulmuştur. Anardana ürününün kurutulmasında ön işlemlerin etkisini inceleyen diğer bir çalışmada ise kumda kavurma (sand roasting), sıcak suda bekletme ve soğuk suda bekletme işlemlerinin son ürüne etkisi incelenmiş ve en uygun ön işlem olarak sıcak suda 2 dak. bekletmek gösterilmiştir (Parashar ve ark., 2009). Dandamrongrak ve ark. (2002), muz meyvesini ısı pompalı kurutucuda kurutarak haşlama, dondurma, soğutma, haşlama ve soğutma gibi 4 farklı ön işlemin kurutma süresi ve kurutmaya olan etkisini incelemişlerdir. En etkin kurutma soğutma ön işlemi uygulanan muzlarda görülürken haşlanmış ve dondurulmuş örneklerde kontrol ürününe göre farklılık gözlenmemiştir.

2.3. Kurutma İşleminde Kullanılan Modellemeler

Kurutma işlemlerinde kullanılan matematik modellemeler yeni bir proses dizayn edilmesinde veya geliştirilmesinde ve gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Babalıs ve Belessiotis, 2004). Modellemelerin en önemli özelliği kurutma koşullarını en açıklayıcı şekilde belirten matematiksel eşitliklere dayanmasıdır. Matematiksel eşitliklerin çözümü kurutma işleminde ilk duruma dayalı olarak herhangi bir zaman ve noktada parametrelerin belirlenmesine olanak sağlamalıdır (Taheri ve ark., 2011). Kurutma koşullarını

belirleyen parametrelerin hepsi (transfer katsayısı, kuruma sabitleri vb.) modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Babalıs ve Belessiotis, 2004).

Kurutma modellemeleri; gıdaların kurutma ortamı ile birlikte transfer özelliklerini (ısı iletkenliği, ısı difüzyonu, nem difüzyonu, interfaz ısı ve kütle transfer katsayıları) ifade etmektedir (Toğrul ve Pehlivan, 2004). Maskan (2001), kivi meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişimini incelemiş ve renk değişim parametrelerinin (L^* , a^* , b^*) kinetik değişimini belirlemiştir. Lineer olmayan regresyon analizini kullanarak birinci derece ve ikinci derece modellerini en uygun modelleme olarak belirlemiştir.

2.3.1. İnce tabaka (thin-layer) kurutma modeli

Gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde ve yeni bir proses dizayn edilmesinde veya geliştirilmesinde birçok matematik modelleme geliştirilmesine rağmen en çok kullanılan İnce tabaka kurutma modelidir. İnce tabaka kurutma modeli diğer modellere göre birçok avantaj sağlamakta ve daha az veriyle sonuç verebilmektedir (Özdemir ve Devres, 1999). İnce tabaka kurutma modeli örneklerin tek bir kat şeklinin verilerek kurutulmasını amaçlar ve bu şekilde sıcaklığın homojen bir şekilde dağıldığı kabul edilir. Ayrıca bu şeklin çeşitli modellemelerdeki parametreler için oldukça uygun olduğu belirlenmiştir (Erbay ve İçier, 2009) ve birçok gıdanın kurutma eğrilerinin belirlenmesi ve kuruma sürelerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Tarımsal ürünler için herhangi bir zamandaki nem miktarı thin layer kurutma modelinin gelişmesi sırasında ölçülür. Bu ölçüm sabit bağıl nemin ve sıcaklık koşullarının kurutma parametreleri için belirlenmesinden sonra yapılmaktadır (Toğrul ve Pehlivan, 2004). Doymaz (2012), thin layer kurutma modeline göre 55, 65 ve 75°C' de nar tanelerini kurutmuş, nem difüzyon değerlerini Arrhenius eşitliğine göre hesaplamıştır. Ayrıca nem difüzyon değerinin sıcaklığın azalmasıyla düştüğünü, kuruma süresinin ise sıcaklığın azalmasıyla arttığını ortaya koymuştur.

İnce tabaka kurutma modelini teorik olarak, yarı teorik olarak ve deneysel olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Teorik yaklaşım sadece içsel direnci göz önünde bulundururken yarı teorik ve deneysel yaklaşımlar ise nem transferi için ürün ve hava arasındaki dış dirençle ilgili eşitlikleri de incelemektedir (Henderson 1974; Panchariya ve ark., 2002; Erbay ve İçier, 2009; Fortes ve Okos, 1981). En çok kullanılan teorik model Fick'in difüzyon ikinci yasasıdır. Kurutma işlemi uygulanan birçok gıdada (findık, pirinç, kolza, soya fasulyesi, fıstık) Fick'in ikinci yasası ile birlikte Arrhenius sıcaklığa bağlı difüzyon eşitliği kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Özdemir ve Devres, 1999). Teorik modeller difüzyon veya sıcaklık ve kütle transferini içeren eşitliklerin bulunduğu farklı ürün ve koşullar için kullanılabilir (Menges ve Ertekin, 2006).

Yarı teorik modeller tahmine dayalı teorik eşitliklerle ilgilidir (Hii ve ark., 2009) ve genellikle sıcaklık, bağıl nem, hava akışı ve nem gibi parametreler içeren eşitliklerde kullanılmaktadır (Mohapatra ve Rao, 2005). Yarı teorik modellemeler genellikle Fick'in ikinci yasasının çözümlenmesiyle veya bazı modifiye modellerin sadeleştirilmesiyle oluşturulan eşitliklerdir. Teorik eşitliklere göre daha kısa bir süre hesaplamalar için yeterlidir. Bu nedenle hesaplamaların yapılabilmesi için ürünün geometrik şekline, iletkenliğine veya kütle difüzyon değerleri gibi parametrelerin ölçülmesine gerek duyulmamaktadır (McMinn, 2006).

Deneysel modellemelerde kurutma sırasında elde edilen fiziksel değerler dikkate alınmamaktadır. Bu modellemelerde kurutulan ürünün nem miktarı ve kurutma süresi arasındaki ilişkiden yararlanılarak hesaplamalar yapılabilmektedir (McMinn, 2006; Hii ve ark., 2009). Deneysel modellemeler kurutma işlemi sırasında deney koşullarına ait kurutma eğrisi elde edilmesine yardımcı olabilmektedir. Ancak fiziksel parametreler değerlendirilemediğinden tam ve kesin sonuçlar elde edilememektedir.

2.3.2. Kurutma işleminde kullanılan modellemeler ve denklemleri

Kurutma proseslerinin standardizasyonu için en çok kullanılan teorik, yarı teorik ve deneysel modellemeler eşitliklerdeki parametre farklılıklarına göre kendi aralarında gruplara ayrılmaktadır.

Yarı teorik modellemelere Henderson ve Pabis modeli, Lewis modeli, modifiye Page modeli (Özdemir ve Devres, 1999), Newton modeli, Page modeli, logaritmik ve yarı logaritmik gibi modellemeler örnek olarak verilebilir (Hii ve ark., 2009) (Çizelge 2.3).

Deneysel modellemelere Thompson modeli, Wangh ve Singh modeli gibi modellemeler örnek olarak verilebilir (Özdemir ve Devres, 1999) (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri

Model adı	Denklem	Kaynak
Newton	$MR = \exp^{-kt}$	Sarsavadia ve ark., 1999
Page	$MR = \exp^{-kt^n}$	Diamente ve Munro, 1991
Modified Page	$MR = \exp^{-k^n t^n}$	Overhults ve ark., 1973
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp^{-kt}$	Henderson ve Pabis, 1961
Wangh ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wangh ve Singh, 1978
Thompson	$t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$	Thompson ve ark., 1968

Lewis modeli Newton'un soğutma yasasından türetilmiş bir kurutma modelidir. Bu yüzden genel olarak araştırmacılar tarafından Lewis modeli Newton modeli olarak da tanımlanmaktadır (Erbay ve İçier, 2009). Lewis modeli Henderson ve Pabis modelinin özel bir eşitliği olarak tanımlanmaktadır (Doymaz, 2005). Bu kavram kurutulmuş ürünün kurutma sırasında sıcaklığının ve bağıl neminin yorumlanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca ürünün uygun kalınlıkta ve hava akış hızının yüksek olduğunu belirtmektedir. Lewis (1921), higroskopik gıdaların kurutulmasıyla ilgili yaptığı çalışmada Newton modelini kullanmıştır. Kuruma hızının düşüş sürecinde (falling rate periyod) gıdanın nem içeriğindeki değişimin gıda maddesinin kurutucunun havasıyla dengeye geldiği anda, anlık nem miktarının

beklenen nem miktarından farkıyla orantılı olduğunu belirtmiş ve aşağıdaki formülü kullanarak ifade etmiştir (Erbay ve İçier, 2009).

$$dM/dt = -K(M - Me) \quad \text{veya} \quad MR = \frac{M - Me}{M_0 - Me} = \exp(-k_0 t) \quad (2.2)$$

Bruce 1985'te yaptığı bir çalışmada bu eşitliği kullanarak arpanın kurutulmasında olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Lewis modelinin hesaplanmasında oluşan bazı sorunları ortadan kaldırmak için Page modeli (1949) geliştirilmiştir. Duc ve ark. (2011), page modelinin kolza tohumunun kurutulmasında en uygun model olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları araştırmada kolzanın küresel şeklinden dolayı efektif nem difüzyonu Fick'in ikinci kuralıyla hesaplanmıştır. Correa ve ark. (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada Page modeline ek olarak Henderson modelinin de kolzanın kurutulmasında uygun bir modelleme olduğu belirtilmiştir. Kolzanın çimlenmesi ve direnç kazanması için kurutma sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Modifiye Page modelini Overhults ve ark. (1973) soya fasulyesinin kurutulması çalışmasında kullanmışlardır.

Henderson ve Pabis (Single Term) (1961) modeli Fick'in ikinci yasası kullanılarak geliştirilmiş bir modeldir. Henderson ve Pabis eşitliğindeki eğim değeri (k_0 değeri) kurutma işlemi sırasında oluşan kuruma hızının düşmeye başladığı an parametrelerinde kullanılmaktadır. Sıvı difüzyon kontrol işlemindeki efektif difüzyon sayısında da eğim değerinden yararlanılmaktadır (Panchariya ve ark., 2002). Deneysel modellemelerin kullanıldığı bir çalışmada, K, n ve c sabitleri çekirdeksiz üzümde belirlenmiş ve kuruma eğrisi oluşturulmuştur. Ayrıca Henderson eşitliği de çekirdeksiz üzümün kurutma optimizasyonu için uygun model olarak belirlenmiştir (El-Ghetany, 2006).

Thompson modelini Thompson ve ark. (1969), kabuklu mısırı 60 -150°C sıcaklık değerleri arasında kurutmak için yaptıkları araştırma sırasında

geliştirmişlerdir. Bu model ayrıca sorgumun kurutulması işleminde kullanılmış ve elde edilen sayısal değerlerle sorgum için hesaplamalar yapılmıştır (Paulsen ve Thompson, 1973).

Wangh ve Singh modeli, Wangh ve Singh (1978) tarafından yapılan çalışmada çeltiğin belirli zaman aralıkları ile kurutulması sırasında geliştirilmiştir.

Gıdalarda bulunan antosiyanin miktarı, klorofil miktarı ve C vitamini gibi bileşenlerin değişiminin incelenmesi amacıyla İnce-Tabaka modellerinin dışında Eyring-Polanyi modeli de kullanılmaktadır. Eyring-Polanyi modeli durum değişim teorisine bağlı olarak aktivasyon entalpisi (ΔH^*) ve aktivasyon entropisi (ΔS^*) parametrelerini içeren teorik bir modeldir (Cisse ve ark. 2009). Ayrıca diğer modellerin uygun olmadığı çok yüksek ve düşük sıcaklıklar arasındaki nitelik farkını ortaya koyan en iyi modeldir (Peleg ve ark. 2012). Cisse ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada portakal, böğürtlen ve roselle bitkisinde farklı sıcaklık derecelerinin antosiyanin değişimine olan etkilerini incelemiş, ΔH^* değerinin en düşük olduğu sıcaklığın optimum sıcaklık olduğunu belirlemişlerdir.

2.3.3. Modellemelerin farklı gıdaların kurutulmasında kullanımı

Kurutma işleminin optimizasyonu ve kurutucu dizaynı için farklı gıda maddelerinde çeşitli matematiksel modellemeler mevcuttur. Farklı gıda maddelerinde optimum kurutma şartlarını belirleyen modellemeler farklılık göstermektedir (Çizelge 2.4).

Kingsly ve Singh (2006), anardana ürünü elde edilirken kabin tipi kurutucu kullanarak 3 farklı sıcaklıkta kurutmanın (50°C , 55°C , 60°C) modelini belirlemişler ve kuruma olayının kuruma hızının düşüş sürecinde (falling rate period) gerçekleştiğini ve ayrıca modellemeye Thompson modelinin en uygun model olduğunu göstermişlerdir. Sharma ve ark. (2011) ise üç farklı sıcaklıkta (55°C , 60°C , 65°C) yaptıkları nar kurutması çalışmasında kuruma kinetiğini ve modelini

belirlemelerinin yanı sıra difüzyon katsayısını ve aktivasyon enerjisini hesaplayarak göstermişlerdir.

Çizelge 2.4. Farklı gıda maddelerinin kurutulmasında belirlenen en uygun modellemeler

Gıda	Modelleme	Referans
Soğan	Page Modeli	Wang, 2002
Patlıcan	The Midilli	Yaldız ve Ertekin, 2004
Nane yaprakları	Logaritmik Model	Doymaz, 2006
Siyah çay	Lewis Modeli	Panchariya ve ark., 2002
Havuç	Page Modeli	Doymaz, 2004
Zeytin küspesi	Logaritmik Model	Akgün ve Doymaz, 2005
Dut	Logaritmik Model	Doymaz,2004
Siyah üzüm	Page Modeli	Toğrul, 2010

Wang ve ark. (2007), 4 farklı sıcaklıkta (75, 85, 95, 105°C) elma posasını kuruttukları çalışmada kuruma hızının 2 farklı düşüş periyodunu (falling rate period) belirlemişlerdir. İkinci periyotta efektif nem difüzyonunun altı kat daha iyi olduğunu, en uygun modelin ise logaritmik model olduğunu belirlemişlerdir.

Antalya'da yetişen sultana üzümünün kurutulduğu bir çalışmada (Yaldız ve ark., 2001) 2 farklı kutucunun (kabin kurutucu ve bir hava kurutucusu olan dolaylı konveksiyon güneş kurutucu) kullanıldığı kurutma işleminde en uygun model olarak two-term kurutma modeli belirlenmiştir.

2.4. Fenolik Maddeler ve Antosiyaninler

Fenolik bileşikler çeşitli yapı ve fonksiyonlara sahip ikincil metabolitlerdir. Bu bileşikler bir veya daha fazla hidroksil yapılar içeren aromatik halkalara sahiptir. Fenolik bileşikler önemli oranlarda antioksidan, antialerjenik, antikanserojen, antimikrobiyal, kalp hastalıklarını önleyici özellikler göstermektedir. (Vichapong ve ark., 2010). Yüksek oranlarda fenolik bileşikler içeren gıdalar bu koruyucu ve tedavi edici özellikleri nedeniyle sanayi ve sağlık endüstrileri için yoğun olarak araştırılmaktadır (Lee ve ark., 2012).

Nar meyvesi, meyve kabuğu ve meyve çekirdeklerinin yenilebilir nitelikte olan çekirdek bölümleri önemli miktarda fenolik bileşikler, şeker, vitaminler, polisakkaritler, mineraller, ve polifenoller (delfinidin-3,5-diglikozit(%20.8), siyanidin-3,5-diglikozit (%41.6), pelargonidin 3, 5 diglikozit (%9.2), delfinidin-3 glikozit (%2.4), siyanidin-3-glikozit (%24.2), pelargonidin-3-glikozit (%1.7) içerirler (Kelebek ve Canbaş, 2010). Fischer ve ark. (2011), nar meyvesindeki fenolik bileşikleri araştırdıkları çalışmada nar meyvesinin, 9 antosiyanin (delfinidin 3,5-diglukozit, siyanidin 3,5-diglukozit, pelargonidin 3,5-glukozit, siyanidin-pentozit-heksozit, siyanidin 3-glukozit, siyanidin 3-rutinozit, pelargonidin 3-glukozit, siyanidin-pentosit), 4 hidroksibenzoik asit, 7 hidroksisiamik asit, 2 gallotannin, 22 ellagitannin, 2 gallagilester ve 1 dihidroflavonol olmak üzere toplam 48 fenolik bileşik içerdiğini HPLC yardımıyla belirlemişlerdir.

Fenolik bileşikler tüm meyve ve sebzelerde bulunan ve onların renk, tat, tekstür özellikleri ile antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri üzerinde belirleyici rol oynayan bileşiklerdir. Fenolik bileşiklerin alt grubunda yer alan antosiyaninler narda önemli miktarlarda bulunmaktadır (Patel ve ark., 2008). Antosiyaninler doğada yaygın olarak ve yüksek miktarlarda bulunabilen, bitkilere kırmızı, mor ve mavi renk verebilen suda çözünebilir pigmentler olarak tanımlanmaktadır (Jaiswal ve ark., 2010; Jaiswal 2008).

Çizelge 2.5. Nar meyvesinde bulunan antosiyaninler (Jaiswal, 2008)

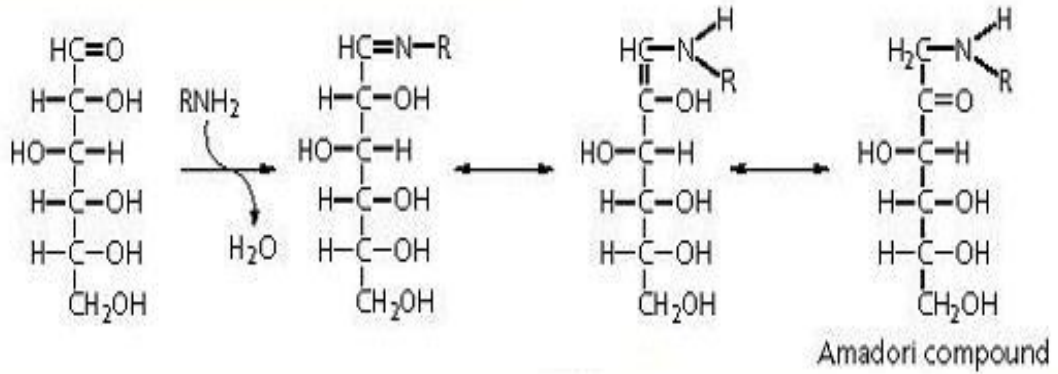
Antosiyaninler	Formül	MV
Siyanidin-3-glukozit	$C_{21}H_{21}O_{11}$	449,38
Siyanidin-3,5-diglukozit	$C_{27}H_{31}O_{16}$	611,52
Siyanidin-3-rutinozit	$C_{27}H_{31}O_{15}$	595,53
Delfinidin-3-glukozit	$C_{21}H_{21}O_{12}$	465,38
Delfinidin-3,5-diglukozit	$C_{27}H_{31}O_{17}$	627,52
Pelargonidin-3-glukozit	$C_{21}H_{21}O_{10}$	433,38
Pelargonidin-3,5-diglukozit	$C_{27}H_{31}O_{15}$	595,53

Meyvede bulunan antosiyanin içeriği kurutma işleminde sıcaklığın etkisiyle zamanla düşmektedir. Jaiswal ve ark. (2010), nar kurutması işleminde antosiyaninlerin ve polifenol oksidaz enziminin ne şekilde değiştiğini gösteren

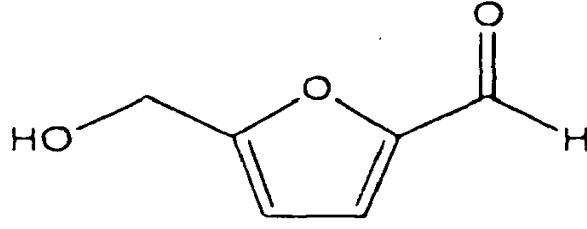
çalışma yapmışlar ve açıkta kurutma işleminin kabin tipi kurutucuya göre antosiyanin degradasyonuna ve polifenol oksidaz enzimi düşüşüne daha çok yol açtığını göstermişlerdir.

2.5. Hidroksimetilfurfural (HMF)

Hidroksimetilfurfural (HMF) maillard reaksiyonu sırasında ortaya çıkan bir bileşiktir (He ve ark., 2012). Maillard reaksiyonu gıdaların kurutulması sırasında ortaya çıkan ürünün kalite ve duyu özelliklerinde olumsuz değişimler meydana getiren bir reaksiyondur (Henares ve ark., 2012). Maillard reaksiyonlarının ilk basamağı indirgen şekerlerdeki karbonil gruplar ile amino asitlerin veya proteinlerin amin grupları arasında oluşmaktadır (Saldamlı, 2007) (Şekil 2.1). Maillard reaksiyonunun meydana geldiği koşullar ortalama bir nem içeriği, 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklar, pH 5-7 arasında olması ve uzun süren ısıl işlemler olarak bilinmektedir. HMF bileşiği sanayi alanında gıda ürünlerinin, kurutulmuş gıdaların, kahvenin, meyve suyunun, reçel ve salçanın kendi proseslerinde ısının etkisini belirleyen bir parametredir (Henares ve ark., 2012).



Şekil 2.1. Maillard reaksiyonunun oluşum mekanizması



Şekil 2.2. Hidroksimetilfurfural (HMF) bileşiğinin kimyasal yapısı

Garza ve ark. (1999), 80, 85, 90, 95 ve 98°C sıcaklıklarda yaptıkları şeftali püresi kurutma çalışmasında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını gözlemlemiş, HMF miktarındaki değişimleri birinci ve otokatalitik modellerle ifade etmişlerdir. Zaroni ve ark. (1998), domatesi deneme tesisi boyutundaki kabin kurutucuda kurutmuşlar ve çalışmalarında HMF miktarındaki değişime kurutma sırasında oksidatif sıcaklık değişiminin neden olduğunu belirlemişlerdir.

2.6. Efektif Nem Difüzyonu (D_{eff})

Efektif nem difüzyonu nem transferinin gerçekleştiği tüm olaylar için iletkenlik parametresi olarak kullanılmaktadır. Efektif nem difüzyonu genellikle kurutma işlemi sırasında elde edilen grafik yardımıyla belirlenmektedir (Srikiatden ve Roberts, 2006).

Gıdaların kurutma işlemi kütle ve ısı transfer olaylarına dayanmaktadır. Bu nedenle nem difüzyonu ve ısı dağılımı için gerekli olan parametreler optimum kurutma işlemi, kalite kontrolü, depolama koşulları ve gıdaların nakliye işlemi için uygun koşulların belirlenmesinde kullanılmaktadır (Motevalli ve ark., 2012).

Efektif nem difüzyonu sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu, yüzey difüzyonu, kılcal ve hidrodinamik akış gibi gıdalarda mümkün olan tüm nem hareketlerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Efektif nem difüzyonu kurutma, adsorpsiyon, desorpsiyon nemini ifade eden nem transferini içeren işlemlerin modelleme ve dizaynında gerekli olan bir parametredir (Sharma ve Prasad, 2004).

Gıdalara uygulanan kurutma işleminde kuruma olayı genellikle kuruma hızının düşüş periyodunda meydana gelmektedir. Kurutma işlemi sırasında meydana gelen nem transferi içsel difüzyonla kontrol edilmektedir. Kurutma işlemi sırasında kuruma hızının düşüş sürecinde meydana gelen kuruma Fick'in ikinci yasası kullanılarak ifade edilmektedir.

Gıdaların nem transferi, nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi gibi fiziksel ve ısıl özellikleri uygun kurutucu dizaynı için önem taşımaktadır (Mirzaei ve ark., 2009). Aktivasyon enerjisi ise nem difüzyonunun gerçekleşmesi için aşılması gereken bir enerji sınırı olması nedeniyle önemlidir. Kurutma işlemi için uygulanan sıcaklığın artması gıdanın kuruma oranını artırmakta ve bu enerji sınırının aşılmasını kolaylaştırmaktadır (Hii ve ark., 2009).

Mohapatra ve Rao (2005), kavrulmuş buğdayda yaptıkları kurutma işleminde kuruma olayının kuruma hızının düşüş sürecinde meydana geldiğini belirlemişlerdir. Arrhenius eşitliğinden yararlanarak difüzyonun sıcaklıktan bağımsız olduğunu göstermişlerdir.

Yüksek sıcaklık değerlerinin aktivasyon enerjisi sınırının aşılmasını kolaylaştırdığı bilinmektedir. Ancak çok yüksek sıcaklıkların kakao bitkisinin kurutulmasında asitliği artırması nedeniyle uygun olmadığı belirlenmiştir. Etkin nem difüzyonunun ise sıcaklık değerlerinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir (Hii ve ark., 2009).

2.7. L-Askorbik Asit Tayini

Askorbik asit meyve ve sebzelerde bulunan, gıdanın kalite göstergesi olarak ifade edilen önemli bir bileşendir (Goula ve Adamopoulos, 2006; Orak ve ark., 2011). Taze gıdalarda bol miktarda bulunan askorbik asit antioksidan, oksidasyon reaksiyonlarında esmerleşme özelliği gibi birçok biyolojik fonksiyona sahiptir (Kulkarni ve Aradhya, 2005). Kurutma işlemi uygulanan gıdalarda askorbik asit miktarı korunuyorsa, genellikle gıdadaki diğer bileşenler de korunmaktadır (Orak ve ark., 2011).

Gıdaya uygulanan işlemler sırasında proses tipi, ürünün fiziksel özelliği ve sıcaklık-zaman ilişkisine bağlı olarak çeşitli miktarlarda askorbik asit kaybı meydana gelmektedir (Goula ve Adamopoulos, 2006). Marfil ve ark. (2008), yaptıkları domates kurutması çalışmasında sıcaklığın artmasıyla askorbik asit miktarının düştüğünü, ozmotik ön işlem uyguladıklarında ise azalmanın daha az miktarlarda olduğunu saptamışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki materyali

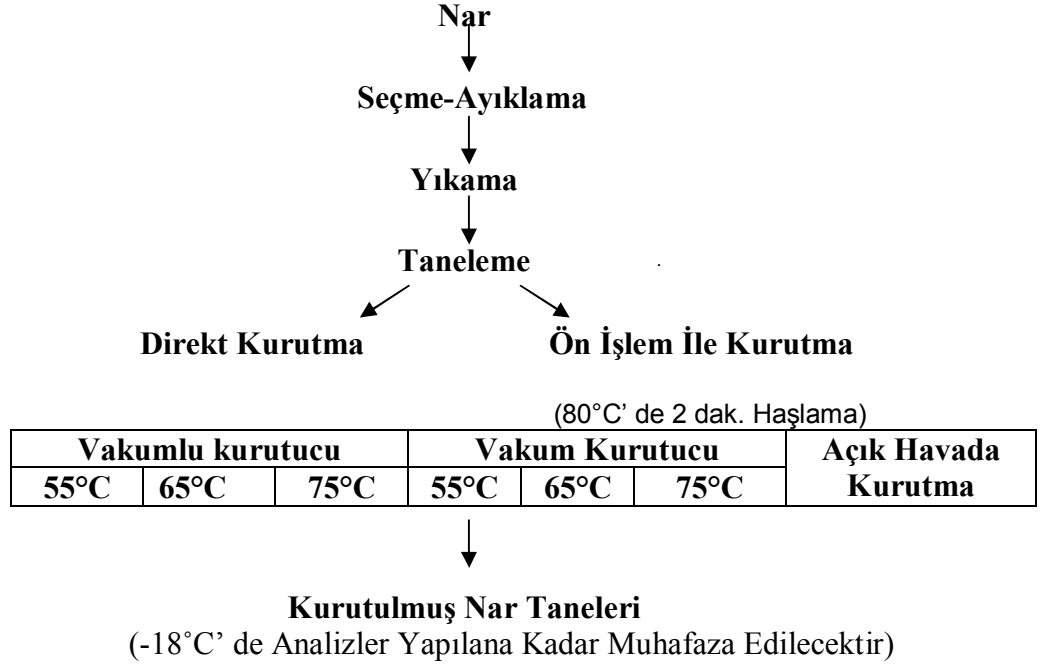
Araştırmada materyal olarak Şanlıurfa'da üretilen Hicaz çeşidi nar kullanılmıştır. Narlar Şanlıurfa meyve-sebze halinden temin edilmiş, uygun şartlarda laboratuvara nakliyesi yapılarak +4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.1.2. Kimyasal maddeler

Çalışmada kullanılan standart hidrokümetilfurfural (HMF) Merck (Almanya) , Folin-Ciocalteu ayracı Merck (Almanya) ve diğer tüm kimyasallar SIGMA-ALDRICH Co. Ltd (Steinheim, Almanya) firmasından sağlanmıştır.

3.2. Yöntem

Seçme, ayıklama, yıkama ve taneleme işlemlerinden sonra elde edilen nar tanelerinin farklı kurutucularda (kabin kurutucu-Kendro Laboratory Products, Germany, vakum kurutucu –Binder Germany); farklı sıcaklıklarda (55 °C, 65 °C ve 75 °C) ve açık havada (güneşte) ön işlemsiz ve 2 dak. haşlama (80 °C) ön işlem ile kurutulmuştur (Şekil 3.1). Kurutulan nar tanelerinde farklı kurutma metodları, farklı sıcaklıklar ve ön işlemin antosiyanin miktarı, fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesi, HMF miktarı, su aktivitesi, büzülme etkisi ve renk değişimi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Kurutulmakta olan ürünlerden her 10 dak.'da bir numune alınarak tartım yapılmış ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Toplam fenolik madde, antosiyanin tayini ve HMF analizleri için 30 dak.'da bir örnek alınarak analizler yapılmıştır. Kurutmanın kinetiği çıkarılarak hangi modellemenin en uygun olduğu belirlenmiş; ayrıca efektif nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi hesaplaması da yapılmıştır. Kurutularak % 16 nem içeriğine gelen örnekler analizler yapılana kadar -18°C'de depolanmıştır.



Şekil 3.1. Nar Tanesi Kurutulması

3.3. Analizler

3.3.1. Kurutma kinetiği

Kurutulmakta olan ürünlerden her 10 dak.'da bir numune alınarak tartım yapılmış ve ağırlık değişimi incelenmiştir. Bu işlem son ürünün nem içeriği %16'ya ulaşınca kadar devam etmiştir. Bu ağırlık değişimi verileri nem oranı $(m - m_e) / (m_0 - m_e)$ hesaplanmış (Sharma ve ark., 2011) ve kurutma kinetiği ile ilgili modellemelerde nem oranı değerleri kullanılmıştır.

Kurutma işlemleri sonunda elde edilen veriler Çizelge 3.1'de gösterilen modellere göre hesaplanmıştır. Her bir modelleme için regresyon analizi (R^2) ve istatistiki hesaplamalar olan Chi-square (χ^2), Mean Beas Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE) yapılarak hangi sıcaklık derecesi ve kurutma koşuluna hangi modellemenin en uygun olduğu saptanmıştır (Toğrul ve Pehlivan, 2004; Kingsly ve Singh 2007; Sharma ve ark., 2011). Bu değerler Sigma Plot 12.0 programı

kullanılarak bulunmuştur. R^2 değerinin 1'e en yakın olduğu; χ^2 , MBE, RMSE değerlerinin minimum olduğu modeller kurutma işlemi için en uygun modelleme olarak belirlenmiştir.

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z}$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i}) \right]$$

Antosiyanin miktarı ve toplam fenolik madde miktarı değişimlerinde ise ayrıca Eyring-Polanyi modeline göre de hesaplamalar yapılmıştır. Eyring-Polanyi modeli için vakum kurutucu ve kabin kurutucuda kurutulan örneklerin aktivasyon entalpisi (ΔH^*) ve aktivasyon entropisi (ΔS^*) hesaplamaları yapılmıştır (Cisse ve ark., 2009). ΔH^* ve ΔS^* değerlerinin az olması ürünün sıcaklıktan daha az etkilendiğini göstermektedir. Eyring-Polanyi modeli eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$k = \frac{k_B}{h} T \times e^{-\frac{\Delta G^*}{RT}} = \frac{k_B}{h} T \times e^{-\frac{\Delta H - T\Delta S^*}{RT}}$$

k_B : Boltzman sabiti (1.381×10^{-23} J/K)

h : Planck sabiti (6.626×10^{-34} Js)

Çizelge 3.1. Kurutma modelleri ve denklemleri

Model adı	Denklem	Kaynak
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Lewis, 1921
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Overhults ve ark., 1973
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis, 1961
Wangh ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wangh ve Singh, 1978
Two Term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Henderson, 1974
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu ve ark., 1999

3.3.2. Ekstraksiyon işlemi

Kabin kurutucu ve vakum kurutucudan kurutma sırasında 30 dak. aralıklarla 5 g örnekler alınmıştır. Ekstraksiyon işlemi için nar tanelerinin havan yardımıyla boyutları küçültülmüş ardından %80 aseton çözeltisi ile (%0.01 HCl) 50 ml'lik falkon tüplere alınarak 25 ml'ye tamamlanmıştır. Çalkalamalı inkübatörde (Labline, ABD) 30 dak. bekletilmiş ve 8 dak. 6000 rpm'de santrifüj (Hitachi CT6E, Taiwan) edilmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda falkon tüplerde oluşan üst sıvı faz pipet yardımıyla ayrı bir falkon tüpe alınarak -20°C'de antosiyanin tayini, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasitesi ve HMF analizlerinde kullanılmak üzere muhafaza edilmiştir.

3.3.3. Su aktivitesi

Su aktivitesi miktarı masa tipi su aktivitesi cihazı (Hygropalm AW1; Rotronic, Basserdorf, İsviçre) ile doğrudan belirlenmiştir.

3.3.4. Toplam antosiyanin miktarı (TA) tayini

Antosiyanin pigmentleri indikatör davranışı göstererek, pH 1.0 iken kuvvetli renkli oxonium yada flavilium formunda, pH 4.5 iken ise renksiz karbinol formunda bulunmaktadırlar (Wroslad, 1976; Cemeroğlu ve Artık, 1990). Bu özellikten yararlanarak, Wroslad'ın belirttiği şekilde pH diferansiyel metoduna göre toplam antosiyanin analizi yapılmıştır. Bu amaçla nar suyu örneği tampon çözeltiler kullanılarak pH 1.0 ve 4.5'e ayarlanmıştır. İlk olarak ekstraksiyonu yapılan örnekten 400 µl test tüpüne alınmış üzerine 2000 µl tampon çözelti eklenmiştir. Bu iki çözeltinin belirlenen maksimum dalga boyundaki absorbans farkı, antosiyanin içeriği ile orantılıdır. Bulanıklık faktörü tamponlanmış çözeltilerin 700 nm deki absorbanslarının maksimum absorbanslarından çıkartılması ile etkisiz hale getirilmiş ve aşağıda verilen formüle göre absorbans farkları (A) bulunmuştur. Sonuçlar kuru madde üzerinden değerlendirilmiştir.

$$A = [A_{\max}(\text{pH}1.0) - A_{700}(\text{pH}1.0)] - [A_{\max}(\text{pH}4.5) - A_{700}(\text{pH}4.5)]$$

Burada bulunan **A** değeri verilen ikinci formülde yerine konularak, antosiyanin miktarı mg/kg olarak tespit edilmiştir.

$$\text{Antosiyanin (mg/kg)} = \frac{A}{\Sigma x L} \times \text{Katsayı}$$

Katsayı : $10^3 \times MW \times SF$

MW : Antosiyaninin molekül ağırlığı

Σ : Antosiyaninin molar absorbansı,

L : Küvet optik yolu (1 cm)

SF : Seyreltme Faktörü (36)

Kurutulmuş nar tanesi örneklerinin spektral eğrilerinde, maksimum absorbans 513-522 nm arasında belirlenmiştir. Bu dalga boyunda maksimum absorbans değeri gösteren antosiyanin Siyanidin-3-glukozit'dir. Bu pigmentin molar absorbans değeri 29 600 ve molekül ağırlığı ise 445.2 dir (Wrolstad, 1976).

3.3.5. Toplam fenolik madde

Narın toplam fenolik madde içeriği Folin-Ciocalteu kolorimetrik metodu ile belirlenmiştir. Ektraktlara uygun seyreltmeler yapılmıştır. Sonra meyve ekstraktları 15 µl FCR (Folin – Ciocalteu reagent) ile okside edilecek ve reaksiyon 450 µl sodyum karbonatla nötrale edilmiştir. Absorbans 90 dak. sonra oda sıcaklığında 760 nm de spektrofotometre ile ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri miligram olarak ifade edilmiştir (Meyers ve ark., 2003) ve kuru madde üzerinden değerlendirilmiştir.

3.3.6. Antioksidan kapasitesi (% DPPH) analizi

Elde edilen ekstraktan 0.1 ml alınarak 2.9 ml 0.1 mM DPPH solüsyonuna eklenmiş ve 30 dak. karanlıkta bekletilmiş; daha sonra 517 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır. Antioksidan kapasitesi aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır (Blois 1958).

$$\% \text{ A.C.} = [(A_c - A_s) / A_c] \times 100$$

3.3.7. Renk analizi

Nar tanelerinde ve kurutma işlemi uygulanmış nar tanelerinde Hunter Lab kolorimetresi kullanılarak L^* , a^* , b^* değerleri hesaplanarak değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen L^* değeri parlaklık, a^* değeri kırmızılık, b^* değeri sarı rengi ifade etmektedir (Krokida ve ark., 2001).

3.3.8. Esmerleşme indeksi (sayısı)

Esmerleşme indeks değeri Hunter Lab. Kolorimetresinde belirlenen L^* , a^* , b^* renk parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır (Maskan, 2001):

$$BI = \frac{(100(x - 0.31))}{0.17} \quad X = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)}$$

3.3.9. Büzülme etkisi

Kuruma aşamasındaki nem kaybı büzülme ve ürünün iç yapısındaki değişimlerle yakından ilgilidir. Bu değişimler ürünün hacimsel ve boyutsal değişikliğini ortaya koymaktadır. Kurutmadan önce belirli ağırlıktaki nar taneleri ile kurutma işleminden sonraki nar taneleri ölçü silindirlerindeki su içerisinde hacimleri ölçülerek, değerlerin birbirlerine hacimsel (V/V_0) oranı toplam büzülme olarak ifade edilmiştir (Sharma ve ark., 2011).

3.3.10. Hidroksimetilfurfural analizi

Hidroksimetil furfural birçok aldehit gibi barbiturik asit ve *p*-toluidin ile kırmızı renkli bileşikler oluşturur. Oluşan kırmızı rengin intensitesi HMF miktarına bağlı olduğundan kantitatif kolorimetrik tayin için bu durum esas olarak kabul edilir. Örnekler Acar ve ark. (1997)'nin belirttiği gibi hazırlandıktan sonra spektrofotometrede 1 cm optik yollu kuvvetler içerisinde, 550 nm dalga boyunda,

tanık örneğe karşı absorbans ölçülerek değerlendirilmiştir. Bulunan sonuçlar mg/kg olarak ifade edilmiştir (Velioğlu ve ark., 1992; Acar ve ark., 1997).

3.3.11. Efektif nem difüzyonu (D_{eff})

Gıdaların kurutulmasında kütle difüzyon eşitliği olarak ifade edilen Fick'in ikinci kuralı difüzyon eşitliği kullanılmaktadır:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (3.1)$$

Fick ikinci kuralının kararsız hal difüzyonunda analitik çözümü, küresel boyutlardaki gıdaların kuruma hızının düşüş periyodunda meydana gelen nem transferini ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu eşitlikte kuruma sırasında oluşan büzülme, sabit difüzyon katsayısı ve sıcaklık önemsiz kabul edilmektedir.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 \frac{D_{eff}t}{R^2}) \right) \quad (3.2)$$

Eşitlik 2 uzun süren kurutma prosesleri için sadeleştirilebilmektedir:

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff}t}{R^2}\right) \quad (3.3)$$

Efektif nem difüzyonu kurutma sırasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan $\ln(MR)$ -zaman(dak.) grafiğinden elde edilmektedir. $\ln(MR)$ -zaman (dak.) grafiğinin eğimi K değeri olarak ifade edilmektedir (Doymaz, 2012):

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{R^2} \quad (3.4)$$

$$D_{eff} = \frac{KR^2}{\pi^2} \quad (3.5)$$

R : Tane çapı

K : Eğim

3.3.11.1. Aktivasyon enerjisi

Efektif nem difüzyonunun sıcaklığa bağlı ifadesi Arrhenius eşitliği kullanılarak ifade edilmektedir:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (\text{Doymaz, 2012}) \quad (3.6)$$

$\ln(D_{eff})$ -zaman grafiğinin eğimi K_2 değeri olarak ifade edilmektedir. Aktivasyon enerjisi eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmaktadır (Minaei ve ark., 2011):

$$K_2 = \frac{E_a}{R_g} \quad (3.7)$$

$$E_a = K_2 \times R_g \quad (3.8)$$

K_2 : Eğim

R_g : Gaz sabiti (8.314 kJ/kg mol K)

3.3.12. L-Askorbik asit tayini

Askorbik asit, oksidasyon-redüksiyon indikatör boyasını (2-6 diklorofenol indofenol) renksizliğe indirger. Reaksiyon sonunda indirgenmemiş boyanın fazlası asit çözeltide gül pembesi renk gösterir (Pearson, 1976; Hışıl, 1993). Bu yöntemle göre, nar tanesi örnekleri oksalik asitli ortamda boya ile reaksiyona girmesi sağlanarak, boyanın fazlasında oluşan renk Biochrom Marka çift ışın yollu spektrofotometrede 1 cm optik yollu tüpler içerisinde, 518 nm dalga boyunda absorbans ölçümü ile belirlenmiştir. Hışıl (1993)'ın belirttiği gibi, hazırlanan askorbik asit standart eğrisinden faydalanılarak, mg/100g cinsinden L-Askorbik asit miktarı ifade edilmiştir.

3.3.13. Kurutulmuş nar tanesinde duyusal değerlendirme

Duyusal değerlendirmede ürünler renk, tat-aroma, sertlik, ve genel izlenim gibi özellikleri bakımından değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır.

Duyusal analizler Altuğ (1993)'a göre dört temel tada duyarlılıkları test edilmiş 10 kişilik bir panelist grubu tarafından yapılmıştır. Örneklerin duyuşal özellikleri kalitenin derecelendirilmesinde kullanılan *Grafik Skala* metodu ile değerlendirilmiştir (Ek 7).

3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi ve İstatistiksel Yöntemler

Laboratuar denemeleri, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sonuçlar Windows tabanlı MiniTab v16.1 istatistik programında varyans analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasındaki farklar için ayrıca DUNCAN testi yapılmıştır. Grafiklerin çizimi Sigma Plot (12.0) ve Microsoft Office Excel ile yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Kurutma

Meyveden el yardımıyla ayrılan nar taneleri ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan kurutmalar için iki kısma ayrılmış; ön işlem için 80°C’de 2 dak. haşlama yapılmıştır. Kurutma işlemi öncesinde bazı ölçüm ve analizlerle materyalin yapı ve özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Kurutma işlemleri için vakum tipi kurutucu ve kabin tipi fanlı kurutucuda (hava akış hızı 1.2 m/s) haşlanmış örnekler ve ön işlemsiz örnekler aynı kurutma koşulları sağlanarak birbirinden ayrı olarak kurutulmuştur. Kurutma sırasında kabin kurutucuda her sıcaklık değeri için 10 dak. aralıklarla, vakum kurutucuda ise 30 dak. aralıklarla ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Ağırlık ölçüm kaplarına 20 g örnek alınmıştır. Kurutma işlemleri sonunda elde edilen ağırlık değişim verileri ile regresyon analizi (R^2) ve istatistikî bazı hesaplamalar (χ^2 , MBE, RMSE) kullanılarak en uygun modelleme belirlenmiştir. Kurutma işlemi sırasında HMF, antosiyanin tayini, toplam fenolik madde miktarı analizleri için 30 dak. aralıklarla örnekler alınmıştır. Belirlenen analizler için örneklere ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Büzülme etkisi, askorbik asit analizi ve duyuşsal analiz için sadece kurutma işlemi öncesi ve kurutma işlemi sonunda örnekler alınmıştır. Kurutma sırasında 30 dak. aralıklarla nar tanelerinin su aktiviteleri ölçülmüş, Hunter Lab. Kolorimetresinde renk değerleri ise kurutma öncesi ve kurutulmuş nar taneleri kullanılarak L^* (beyazlık/parlaklık), a^* (kırmızılık/yeşillik), b^* (sarılık/mavilik) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık verilerine göre efektif nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır.

4.2. Kurutma Yöntemleri

Bu çalışmada nar tanelerinin kurutulması açık havada kurutma, kabin kurutucuda kurutma ve vakum kurutucuda kurutma olmak üzere 3 farklı yöntemle yapılmıştır. Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda 55°C, 65°C, 75°C sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Açık havada kurutma yapılan günlerin ortalama sıcaklık

derecesi 27°C (en yüksek sıcaklık 31°C, rüzgar hızı 6 km/sa) olarak belirlenmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde nar tanelerinin bir kısmına ön işlem uygulanmış (80°C 2 dak. haşlama) bir kısmı ise ön işlem uygulanmadan direkt olarak kurutulmuştur.

Çizelge 4.1. Kurutma işlemi öncesinde nar tanelerine ait bazı analiz sonuçları

Analizler	Değerler
% Kuru Madde	
Ön işlem uygulanmış	21.41
Ön işlem uygulanmamış	21.94
pH	
Ön işlem uygulanmış	3.1
Ön işlem uygulanmamış	2.98
Brix (Ön işlem uygulanmamış)	18

Çizelge 4.2. Nar meyvesi ve taneye ait fiziksel özellikler

Fiziksel özellikler	Değerler
Meyve ağırlığı	255.929±13.0121 g
Meyve boyu	7.83±0.125 cm
Meyve çapı	9±0.05 cm
Meyve suyu rengi	Koyu kırmızı-Kırmızı
Kabuk kalınlığı	0.21± 0.001cm
Kabuk rengi	Kırmızı-kahverengi
Tane çapı	0.55±0.005 cm
Tane boyu	1.04± 0.004cm
100 tane ağırlığı	56.996±3.1271 g
Toplam tane ağırlığı	266.213± 5.2784g

4.2.1. Açık havada kurutma

Meyve ve sebzelerin açık havada kurutulması eski zamanlardan bu yana kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Ekipmanlarla yapılan kurutma yöntemlerine

göre daha ucuz olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca belirli bir uzmanlık gerektirmemesi bu yöntemin avantajlarından biridir. Ancak kurutma sırasında oluşabilecek kontaminasyonlar, yabancı atıklar, böcekler ve zararlıların neden olacağı istenmeyen durumlar, istenen son nem oranına ulaşamaması, kurutmanın uzun sürmesi bu yöntemin dezavantajları arasındadır.

Bu çalışmada açık havada kurutma yöntemi seçilerek endüstriyel kurutuculara göre avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir. Ayrıca ön işlemin açık hava kurutma süresine olan etkisi incelenmiştir.

4.2.2. Kabin kurutucu (hava akımlı)

Kabin kurutucular birçok gıdanın kurutulmasına uygunluğu açısından tercih edilmektedir. İç hacmindeki plakalar üzerinde ince tabakalar halinde kurutma yapılır. Sahip olduğu fan ile içeriye temiz hava girişi sağlanmakta ve ayrıca hava akış hızı da kontrol edilebilmektedir.

Bu çalışmada nar tanelerinin bileşimindeki antosiyanin, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasitesi, renk değerleri, fiziksel özelliklerinin diğer kurutma yöntemlerine göre değişimini incelemek amacıyla kabin kurutucu kullanılmıştır.

4.2.3. Vakum kurutucu

Meyvelerin kurutulması sırasında yapılarında olumsuz değişimler görülmekte ve kalite kayıpları oluşmaktadır. Kurutma sırasında ve sonrasında elde edilen ürünün kalite özelliklerine işaret eden bulguların optimum oranlarda olmasının istenmesi kurutucu seçiminin önemini artırmaktadır. Geleneksel kurutucular kullanılarak yapılan kurutmalarda uzun kurutma süresine ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Uzun süreli kurutmalar ürünlerin renk, yapı, besleyici özelliklerini azaltmakta; kalite kayıplarını artırmaktadır. Vakum kurutucular ürün kalitesinin korunmasında diğer kurutuculara göre avantaj sağlamaktadır (Drouzas, 1999). Vakum kurutucular ısıya ve oksijene karşı duyarlı maddelerin düşük basınçta

kurutulması için kullanılmaktadır. Hava akımı olmaması ve dolaylı ısıtma özelliğine sahip olmaları ürün kalitesini korumalarında önemli faktördür. Ayrıca vakum kurutucu sıcaklık değerlerinin artmasıyla kuruma süresinin azaldığı böylece diğer kurutuculara göre enerji tüketim oranının daha fazla düştüğü bilinmektedir (Motevalli ve ark., 2011).

Bu çalışmada nar tanelerinin bileşimindeki antosiyanin, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasitesi, renk değerleri ve fiziksel özelliklerinin diğer kurutma yöntemlerine göre değişimini incelemek amacıyla vakum kurutucu kullanılmıştır.



a) Ön işlemsiz nar taneleri



b) Sıcaklığın 80°C'ye ayarlanması



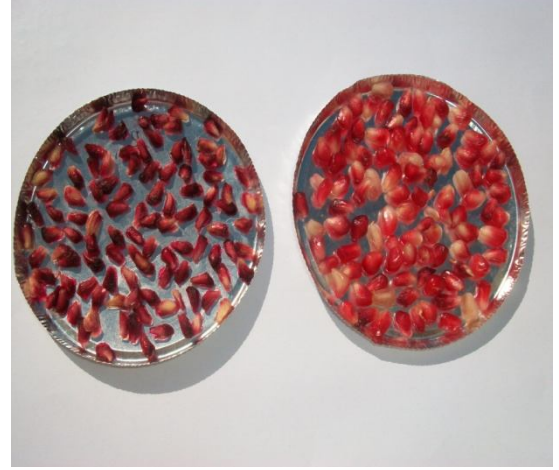
c) Haşlama ön işlemi



d) Haşlanmış nar taneleri



e) Açık havada kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar taneleri



f) 1050 dak. sonunda ön işlemlili ve ön işlemsiz nar taneleri (sırayla)



g) Vakum kurutucuda kurutma işlemi



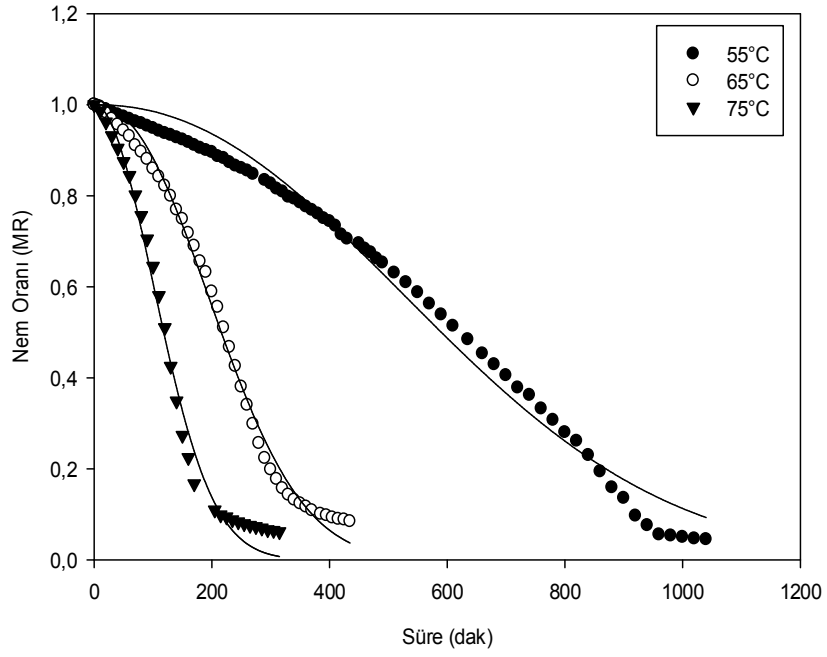
h) Kabin kurutucuda kurutma işlemi

Şekil 4.1. Nar tanelerinin kurutulması a) ön işlemsiz nar taneleri, b-d) haşlama ön işlemi uygulanması, e-f) açık havada kurutma g-h) laboratuar ortamında vakum ve kabin kurutucularında kurutma

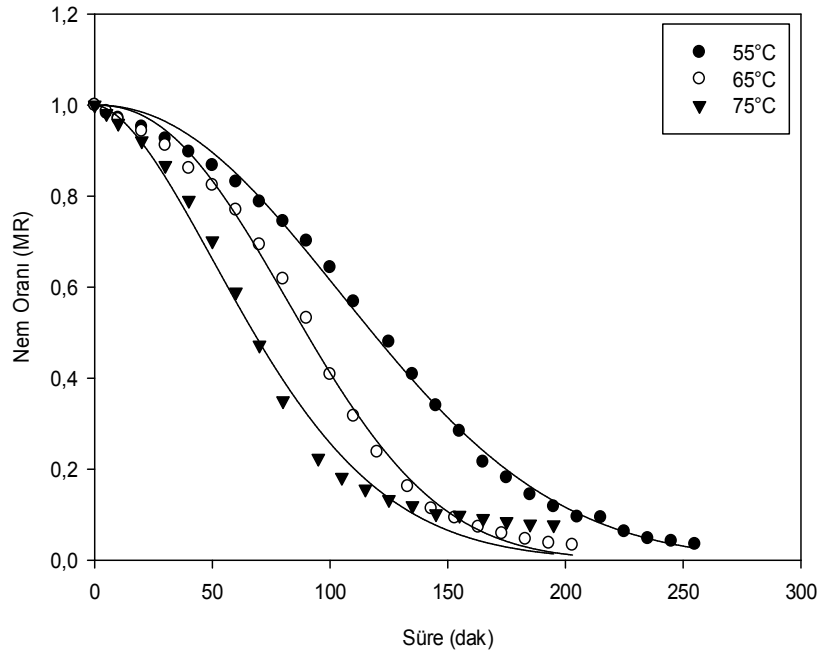
4.3. Kurutma İşlemi

Kurutma işlemi açık havada, kabin tipi fanlı kurutucu (hava hızı 1.2 m/s) ve vakum kurutucu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.1). Ön işlem uygulanmayan ve ön işlem uygulanan (80°C, 2 dak.) nar tanelerinin ilk nem içeriği %78 olarak belirlenmiştir. Açık havada kurutma yönteminde ön işlemsiz nar taneleri güneş ışığı

altında kurutulmuş (1285 dak. 27°C) son nem içeriği % 47 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda kurutulan ön işlemlili nar taneleri ise %17 nem içeriğine 1050 dak.'da ulaşmıştır. Açık havada kurutulan nar tanelerinin kuruma özellikleri üzerinde ön işlemin etkisi olduğu saptanmıştır. Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış nar taneleri 55°C, 65°C, 75°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. İlk nem içeriği % 78 olarak belirlenen nar tanelerinin (direkt ve ön işlemlili) kurutma işlemi sonunda son nem içerikleri %16 olarak hesaplanmıştır. Kabin kurutucuda ön işlemlisiz nar taneleri 235, 425, 920 dak.'da (75°C, 65°C, 55°C) % 16 nem içeriğine ulaşmışlardır. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlili nar taneleri ise 165, 173, 215 dak.'da kurumuş (75°C, 65°C, 55°C), son nem içerikleri %16 olarak hesaplanmıştır. Vakum kurutucuda ön işlemlisiz nar taneleri 240, 270, 430 dak.'da %16 son nem içeriğine ulaştığı belirlenirken, ön işlem uygulanan nar taneleri 90, 120, 180, dak.'da kuruduğu belirlenmiştir (son nem içeriği %16). Ön işlemlili ve ön işlemlisiz nar tanelerinin % kuru maddelerini belirlemek amacıyla kabin kurutucuda 105°C±1°C sabit tartıma ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kabin kurutucuda nar tanelerinin ağırlık değişimlerinin belirlenmesi için tartım kabındaki nar tanelerinin 10'ar dak. aralıklarla ağırlık ölçümü yapılmıştır. Vakum kurutucuda 30 dak. aralıklarla ağırlık kabındaki nar tanelerinin ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Açık havada yapılan kurutma işleminde ağırlık değişimleri 20 dak. aralıklarla ölçülmüştür. Ağırlık değişimlerine göre kabin kurutucuda ve vakum kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde 75°C, 65°C, 55°C'lerde yapılan kurutmalarda kurutma sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin azaldığı belirlenmiştir (p<0.001) (Şekil.4.2. ve Şekil 4.3.). Kabin kurutucuda ön işlemlisiz ve ön işlemlili nar taneleri kuruma noktasına 75°C sıcaklıkta en kısa sürede ulaşmıştır (235 dak., 165 dak.). Vakum kurutucuda ön işlemlisiz ve ön işlemlili nar tanelerinin en kısa sürede kuruduğu sıcaklık 75°C olarak belirlenmiştir (240 dak., 90 dak.). Vakum kurutucu ve kabin kurutucunun kendi kurutma koşulları içinde en kısa kurutma süresine en yüksek sıcaklıkta ulaştığı belirlenmiştir.

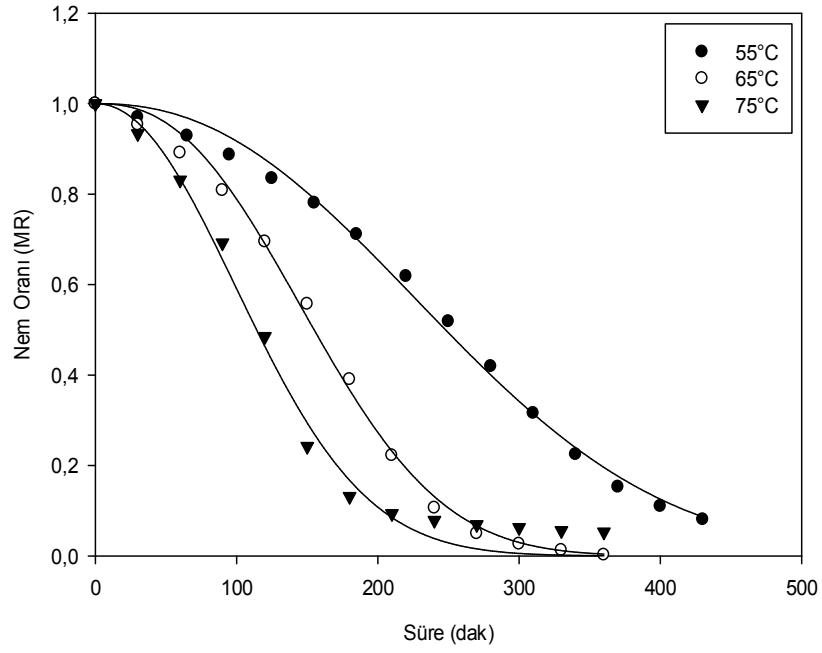


A

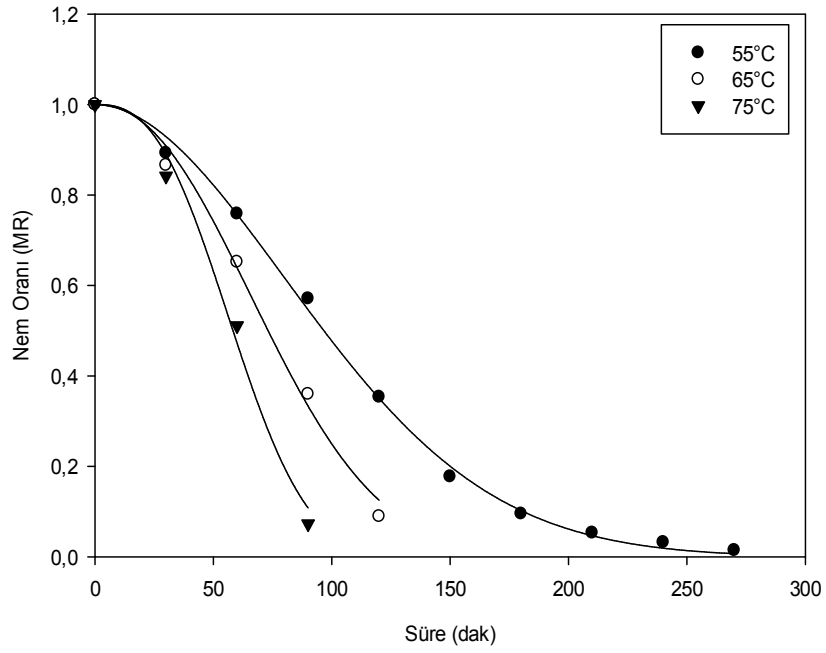


B

Şekil 4.2. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri



A



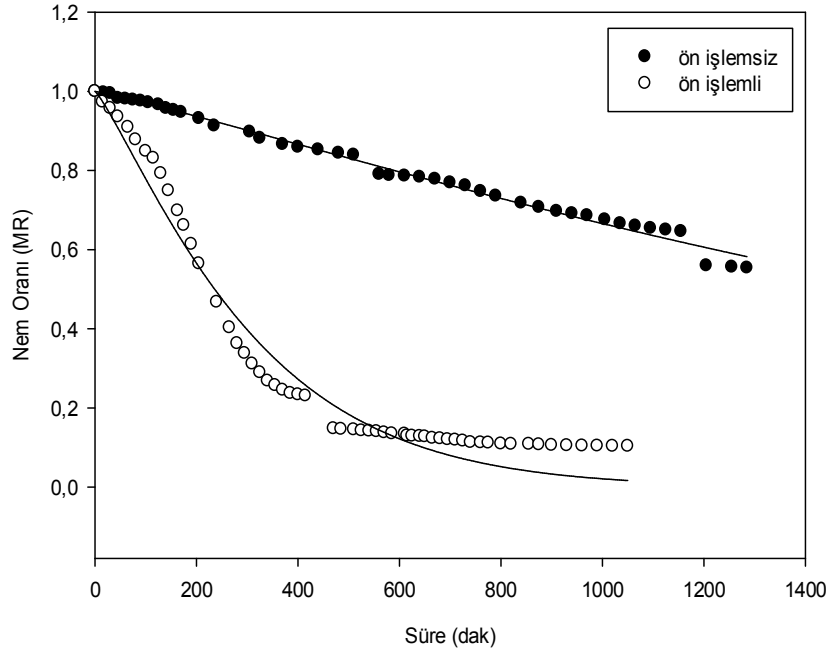
B

Şekil 4.3. Vakum kurutucu kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri

Açık havada yapılan kurutma işleminde, kurutma yapılan günlerin ortalama hava sıcaklığı 27°C olarak belirlenmiştir (rüzgar hızı 6 km/sa). Açık havada

kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinden ön işlem uygulanan nar tanelerinin 1050 dak. süresinde kuruduğu belirlenmiştir. Aynı hava koşulları ve kurutma ortamında ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin ise 1285 dak.'da istenilen nem değerine ulaşlamamış ve kurutma işlemine son verilmiştir (son nem içeriği 47.71) (Şekil 4.4). Kabin kurutucuda aynı sıcaklık derecelerinde ön işlem uygulanan nar tanelerinin ön işlemsiz nar tanelerine göre daha kısa sürede kuruduğu belirlenmiştir ($p<0.001$). Vakum kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanan nar tanelerinin aynı sıcaklık derecesinde ön işlem uygulanmayan nar tanelerine göre kurutma süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir ($p<0.001$). Ön işlem uygulanmayan örneklerle karşılaştırıldığında haşlamanın aynı sıcaklık derecelerinde vakum kurutucu ve kabin kurutucuda; ayrıca açık havada kurutma yönteminde kurutma süresine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Ön işlem uygulanan nar tanelerinde tane zarının deformasyona uğraması ve zar geçirgenliğinin artması kuruma süresinin kısalmasına neden olmaktadır. Bu durum ön işlemin (80°C 2 dak. haşlama) nar tanelerinin yapısının yumuşamasına neden olarak bileşimindeki suyun hareketini hızlandırdığı şeklinde açıklanabilir (Leeratanarak ve ark., 2006; Jaiswal ve ark., 2010). Haşlama işlemi uygulanan ürünlerin hücreleri nem transferi için daha geçirgen bir yapı kazanmaktadır. Ancak uzun süreli haşlama ön işlemlerinde ürünün yapısal değişikliğe uğraması ve haşlama süresinde absorbe edilen su miktarının artması haşlama süresinin nem oranının geçişini azaltmaktadır (Leeratanarak ve ark., 2006). Parashar ve ark. (2009), yaptıkları nar tanelerinin kurutulması çalışmasında çeşitli ön işlemlerin (5 dak. kumda kavurma, 7 dak. kumda kavurma, 1 dak. 80°C sıcak suda haşlama, 2 dak. 80°C sıcak suda haşlama, 5 dak. 30°C suda bekletme, 10 dak. 30°C suda bekletme) kurutma işlemi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kurutma işleminin en hızlı gerçekleştiğini 80°C 2 dak. haşlama işlemi uygulanan tanelerde olduğu ortaya konulmuştur. Gıdalardaki enzimleri inaktive etmesi ve gıdanın dokusunda değişikliklere yol açması, kurutma süresini kısaltması ve kurutma oranını arttırması haşlama işleminin gıdalarda yaygın olarak kullanılan ön işlem olmasını sağlamıştır (Orak ve ark., 2011). Bu bulgularda göz önünde bulundurularak yapılan nar tanesi kurutulması çalışmasında 80°C 2 dak. haşlama ön işlem olarak seçilmiştir. Leeratanarak ve ark. (2006), yaptıkları patates kurutma işleminde kuruma oranının düşük sıcaklık derecelerinde haşlama süresinden

etkilendiğini belirlerken yüksek sıcaklık derecelerinde haşlama süresinin önemli fark oluşturmadığını saptamışlar ve haşlama işleminde 1 dak. olarak uygulanan sürenin, diğer sürelerde yapılan haşlama işlemine göre (3 dak., 5 dak.) kurutma etkisinin daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

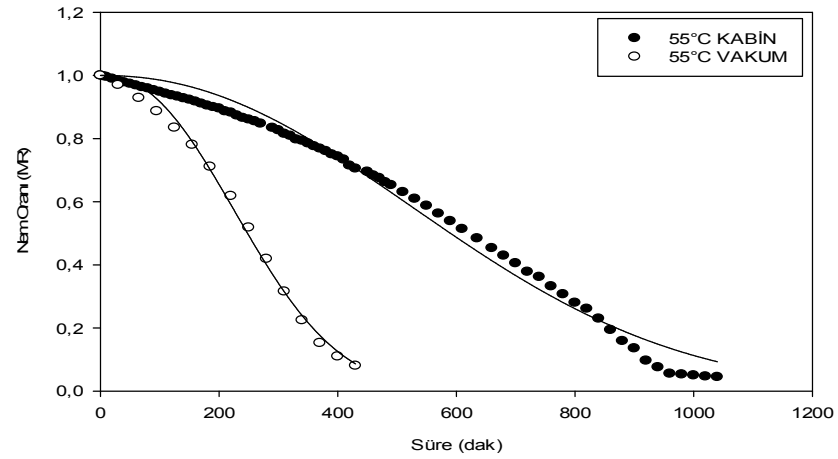
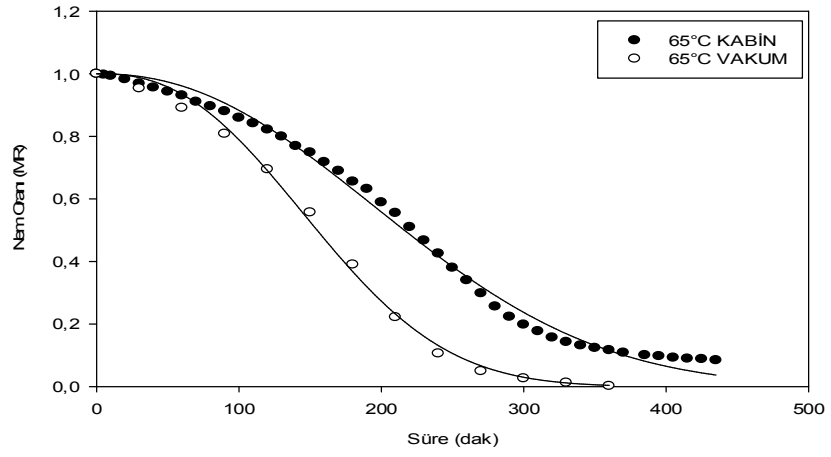
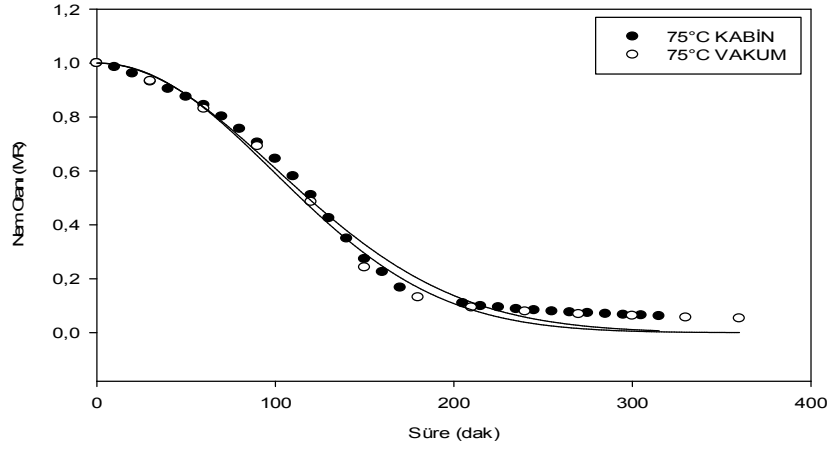


Şekil 4.4. Açık havada kurutulan nar tanelerinin kuruma eğrisi

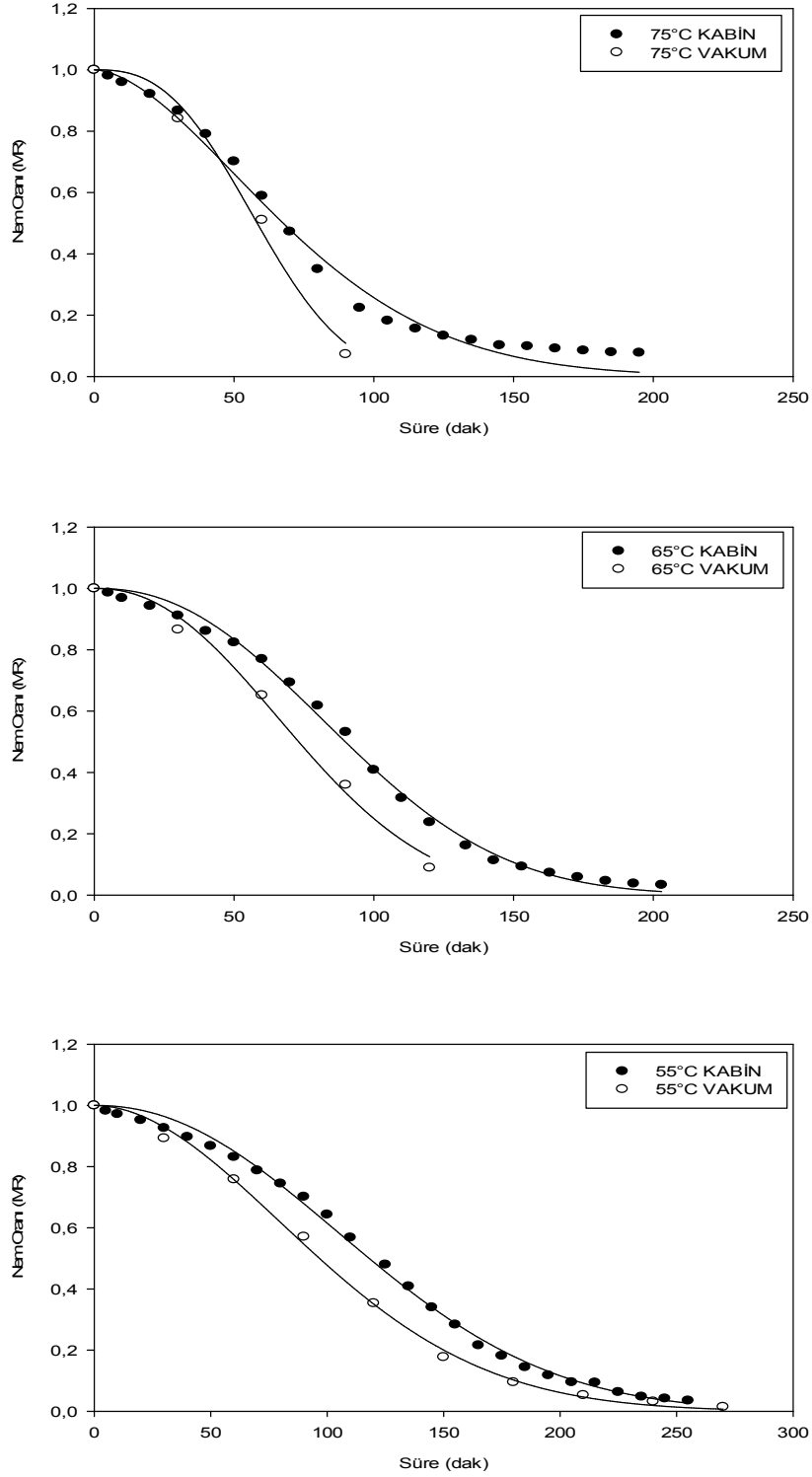
Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlemsiz nar tanelerinin 75°C’de yapılan kurutma işleminde iki kurutucu tipi arasında kuruma süresi açısından önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Her iki kurutucuda 65°C’de yapılan kurutma işleminde ise vakum kurutucudaki örneklerin daha kısa sürede %16 neme ulaştığı görülmüştür. Kabin kurutucuda 55°C’de yapılan kurutma işleminin aynı sıcaklık derecesinde vakum kurutucuda yapılan kurutmaya göre çok daha uzun sürdüğü görülmüştür. Sıcaklık derecelerinin düşmesiyle vakum kurutucuda kurutulan ürünlerin kabin kurutucuya göre daha kısa sürede %16 nem içeriğine ulaştığı saptanmıştır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Ön işlem uygulanan nar tanelerinde vakum kurutucu ve kabin kurutucuda her üç sıcaklık derecesinde vakum kurutucuda yapılan kurutmanın daha kısa sürede %16 nem içeriğine ulaştığı saptanmıştır ($p<0.001$) (Şekil 4.6). Açık

havada kurutma yönteminde ön işlem uygulanmış nar tanelerinin ön işlemsiz nar tanelerine göre daha kısa sürede kuruduğu belirlenmiştir. Ancak açık havada kurutulmuş ön işlem uygulanmış nar tanelerinkabin kurutucu ve vakum kurutucuda yapılan kurutmalara oranla oldukça uzun sürdüğü saptanmıştır. Ayrıca tüm kurutma metodlarında ön işlem uygulamanın kurutma etkinliğini artırdığı saptanmıştır (ön işlemsiz nar taneleri son nem oranı 0.2049, ön işlemlili nar taneleri son nem oranı 0.2036). Benzer sonucu Leenatarak ve ark. (2006), patates cipsi için 70°C, 80°C, 90°C’lerde yaptıkları kurutma işleminde haşlama ön işlemlili uygulamış ve ön işlemlili kurutma oranını artırdığını göstermişlerdir.

Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin sıcaklık arttıkça kuruma sürelerinin kısaldığı görülmüş ve bu durum yüksek sıcaklığın gıdanın içeriğindeki nemin daha hızlı hareket etmesine neden olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Nar tanelerinin kurutulmasında en kısa kurutma süresi 75°C ‘de yapılan kurutmalarda elde edilmiştir. Leeratanarak ve ark. (2006)’da yaptıkları çalışmada ısı transferi için uygulanan kurutma gücünün artması nedeniyle uygulanan en yüksek sıcaklık olan 75°C’yi kurutma süresi için en uygun sıcaklık olarak belirlemişlerdir. Benzer sonuçlar Doymaz (2012) tarafından 55°C, 65°C, 75°C derecelerde yapılan nar tanesi kurutulması çalışmasında gözlenmiş; sıcaklık dereceleri yükseldikçe kuruma işlem süresinin kısaldığı (780, 420, 330 dak.) saptanmıştır. Ön işlem uygulamanın (1 dak. etil oleat çözeltisinde bekletme) aynı sıcaklık derecelerinde kuruma süresini kısalttığı tespit edilmiştir (570, 300, 240 dak.). Kingsly ve Singh (2007), 50°C sıcaklıkta yapılan nar kurutma işleminin 11 saat, 60°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın ise 6 saat sürdüğünü saptamışlardır. Kakaonun kurutulması çalışmasında 60°C, 70°C, 80°C sıcaklık değerlerini kullanılmış ve en kısa kurutma süresi 80°C’de yapılan kurutma işleminde saptanmıştır (Hii ve ark., 2009). Doymaz (2004) karadut meyvesini etil oleat çözeltisinde oda sıcaklığında 1 dak. bekletildikten sonra açık havada kurutmuştur. Elde ettiği bulgulara göre, ön işlem uygulanan örneklerin daha kısa sürede kuruduğunu belirtmiştir. Uygulanan haşlama ön işlemlili her üç kurutma metodunda da ön işlem uygulanmayan örneklere göre kuruma süresini kısaltması açısından olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kuruma eğrileri



Şekil 4.6. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanan nar tanelerinin kuruma eğrisi

4.3.1. Kurutma işleminde matematiksel modellemeler

Kurutma işlemi sırasında %16 nem içeriğine kadar kurutulan nar tanelerinden elde edilen verilere göre her üç sıcaklık değeri, üç kurutma metodu ve bu parametrelerdeki ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerine 7 modelleme uygulanmıştır. Hesaplanan nem içeriği değerlerinden modellemelerde yaygın olarak kullanılan bir parametre olan nem oranı (MR) (Akpınar ve ark., 2006) elde edilmiştir. Nem oranı değerinin zamana karşı grafiği çizilerek 7 modellemenin istatistik parametreleri hesaplanmış ve en uygun model belirlenmiştir. Matematiksel modellemeler için thin layer kurutma yöntemi ve eşitlikleri kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı olan R^2 en uygun modellemenin belirlenmesi için en önemli kriter olarak kabul edilmiştir. Ayrıca tahmin edilen ve deneysel veriler kullanılarak elde edilen χ^2 , Root Mean Square Error (RMSE), Mean Beas Error (MBE) değerleri en uygun modelin saptanmasını sağlamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda R^2 değerinin en yüksek; χ^2 , RMSE ve MBE değerlerinin en düşük olduğu modelleme en uygun model olarak ifade edilmiştir (Kingsly ve Singh, 2007).

Uygulanan modellemeler sonucunda elde edilen verilere göre R^2 0.9813–0.9962 değerleri arasında, χ^2 6.16×10^{-6} –0.000555 değerleri arasında, MBE (-)0.000331–0.027 ve RMSE 0.0163–0.04374 değerleri arasında değişmektedir. Nem oranı değişimi için en uygun modellemenin Page ve Modifiye Page Modeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kingsly ve Singh (2007), yaptıkları nar tanesi kurutma çalışmasında Page modelini en uygun model olarak belirlemişlerdir. Panganhavne ve ark. (1999), çekirdeksiz üzümü konvektif sıcak havalı kurutucuda kurutmuşlar ve kurutma işleminde Page modeli en uygun model olarak belirlenmiştir. Sharma ve ark. (2011), laboratuvar tipi mekanik kurutucuda 3 sıcaklık değerinde (50°C, 60°C, 70°C) yaptıkları nar tanesi kurutma çalışmasında ise 6 model arasından Thompson modelini en uygun model olarak saptamışlardır. Mohapatra ve Rao (2005), kavrulmuş pirinç kurutma çalışmasında kurutma işlemini konvektif kurutucuda yapmışlar ve en uygun model olarak Wangh ve Singh modelini belirlemişlerdir.

4.4. Su Aktivitesi

Kurutma işlemi sırasında 30 dak. aralıklarla su aktivitesi miktarı Rotronic marka masa tipi su aktivitesi cihazı ile doğrudan belirlenmiştir. Kurutulan nar tanelerinin (%16 nem içeriği) su aktivitesi değerlerinin (a_w) 0.385–0.532 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Kabin kurutucuda ön işlem uygulanan ve uygulanmayan nar tanelerinde su aktivitesinin sıcaklığın artmasıyla düştüğü saptanmıştır ($p<0.001$) (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Ön işlem uygulamanın aynı sıcaklık derecelerinde son ürünün su aktivitesini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir ($p<0.001$).

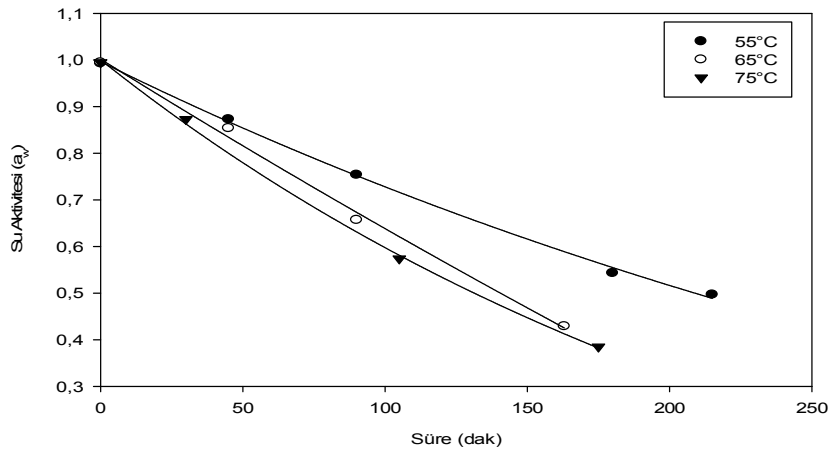
Vakum kurutucuda ön işlem uygulanan ve uygulanmayan nar tanelerinde sıcaklığın artışıyla su çıkışının hızlandığı ve dolayısıyla (Bchir ve ark., 2012) su aktivitesinin düştüğü belirlenmiştir ($p<0.001$) (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Ön işlem uygulanan nar tanelerinin aynı sıcaklık derecelerinde ve kurutma sürelerinde su aktivitelerinin daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0.001$). Ön işlem uygulanan ve uygulanmayan nar tanelerinde aynı sıcaklık değerlerinde kabin kurutucuda kurutulan ürünlerin daha düşük su aktivitesine sahip olduğu saptanmıştır. Vakum kurutucu ve kabin kurutucudan elde edilen ürünlerde her ikisinde ön işlem uygulanan nar tanelerinin su aktivitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre haşlama işlemi ürünün hücre yapısını bozarak su çıkışının daha kolay gerçekleşmesini sağlamaktadır. Ağırlık değişim süresini olumlu etkileyen sıcaklık artışının da ürünün kurutma gücünü arttırmasıyla su aktivitesini daha düşük seviyelere indirdiği sonucuna varılmıştır.

Kurutma işlemi sırasında sıcaklığın etkisi benzer çalışmalarla gösterilmiş (Bchir ve ark., 2012; Shi ve ark., 2008) ısıtma gücünün artmasıyla su hareketinin de hızlandığı ve son ürünün nem difüzyonunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada farklı olarak su aktivitesinin zamanla değişimi farklı kurutma yöntemleri ve şartlarında incelenerek ön işlemin ve farklı kurutucu tiplerinin su aktivitesine etkisi belirlenmiştir

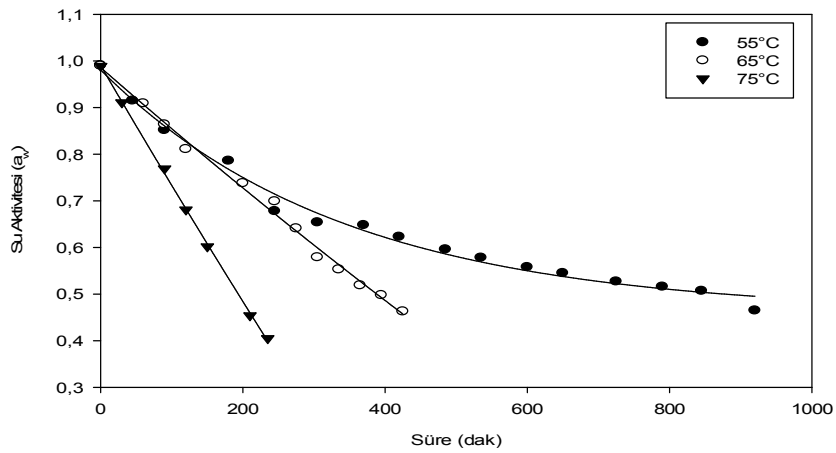
Çizelge 4.3. Kurutulan nar tanelerinin son ürünündeki su aktivitesi

Sıcaklık (°C)	Vakum kurutucu ön işlemsiz	Vakum kurutucu ön işlemlı	Kabin kurutucu ön işlemsiz	Kabin kurutucu ön işlemlı
55	0.532±0.0014	0.447±0.0028	0.465±0.0057	0.497±0.0014
65	0.497±0.0014	0.431±0.0042	0.463±0.0028	0.429±0.0042
75	0.413±0.0014	0.397±0.0028	0.465±0.0057	0.385±0.0014

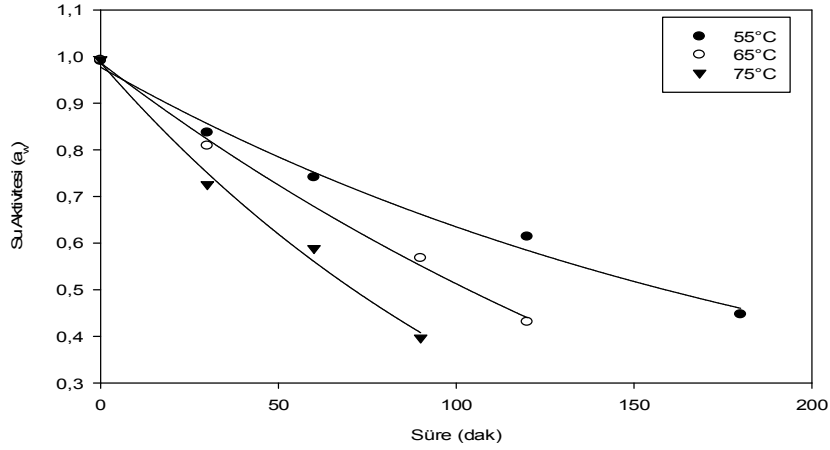
p>0.05



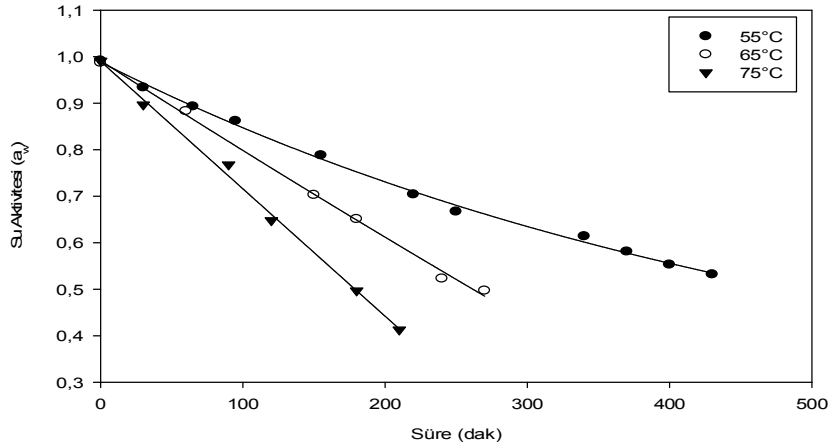
Şekil 4.7. Kabin kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi



Şekil 4.8. Kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi



Şekil 4.9. Vakum kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi



Şekil 4.10. Vakum kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kurutma işlemi sırasında su aktivitesi değişimi

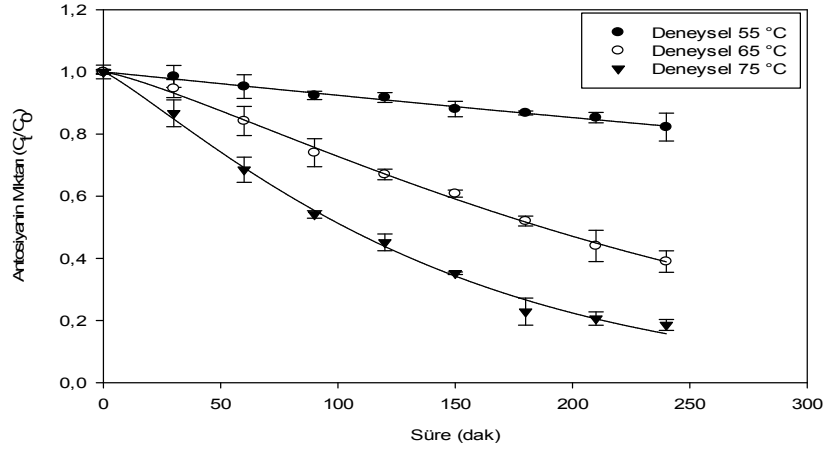
4.5. Toplam Antosiyanin Miktarı (TA) Tayini, Toplam Fenolik Madde Analizi Antioksidan Kapasitesi (% DPPH Analizi)

Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda kurutulan örneklerin antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarı belirlenmiştir. Ayrıca antioksidan kapasitesindeki değişim incelenmiştir. Antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarındaki değişimlerin kinetik çalışmaları yapılarak en uygun modeller tespit edilmiştir.

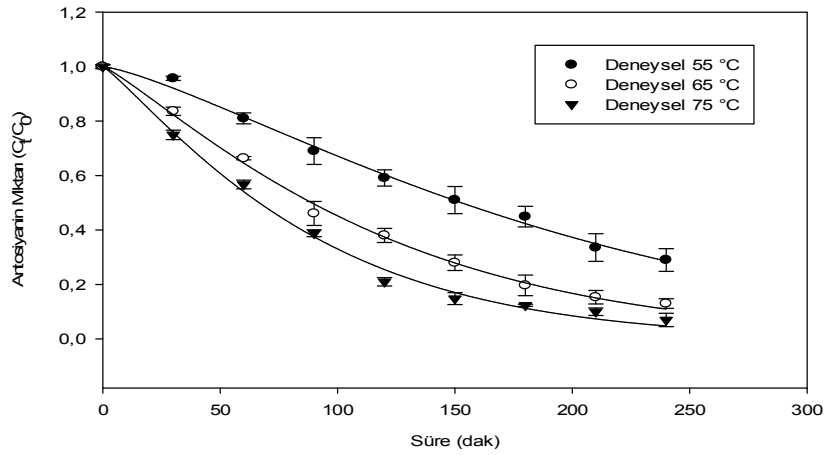
4.5.1. Toplam antosiyanin miktarı (TA) tayini

Antosiyaninler meyve sebzelere karakteristik rengini veren önemli pigmentlerdir (Verbeyst ve ark., 2011). Antosiyaninler fonksiyonel bileşikler olarak isimlendirilmekte ve yapılan çalışmalar bu maddelerin insan sağlığını olumlu yönde etkiledikleri ortaya koymaktadır. Antosiyanin stabilitesi sıcaklık artışından ve oksijen varlığından olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Verbeyst ve ark., 2010). Antosiyanin stabilitesinin sıcaklık artışından ve oksijen varlığından hangi düzeyde etkilendiğini belirlemek amacıyla kabin kurutucu ve vakum kurutucudan alınan örneklerde antosiyanin tayini yapılmıştır. Antosiyanin miktarları Wrolstad (1976) metoduna göre spektrofotometre ile belirlenmiştir. Antosiyanin miktarının mg/kg olarak değişiminde ilk örnek ve son örnek arasındaki değişim miktarı % değişim olarak ifade edilmiştir. Kabin kurutucuda ön işlemsiz ve ön işlemlili nar tanelerinde yapılan analizlerde Şekil 4.11'de görüldüğü gibi en düşük sıcaklıkta antosiyanin miktarının en az düzeyde etkilendiği saptanmıştır (ön işlemsiz 0.29, ön işlemlili 0.31) (Şekil 4.11) (Çizelge 4.4).

Kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin 55°C, 65°C, 75°C sıcaklık değerlerinde kurutulmasında antosiyanin parçalanmasının 55°C sıcaklıkta en az meydana geldiği; sıcaklık değerleri arttıkça antosiyanin miktarının azaldığı belirlenmiştir ($p<0.001$) (Çizelge 4.4.). Kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin ön işlem uygulananlara göre sıcaklık değişiminden daha az etkilendiği örneklerde antosiyanin miktarının daha yüksek oranlarda korunduğu saptanmıştır ($p<0.001$) (Çizelge 4.4.).



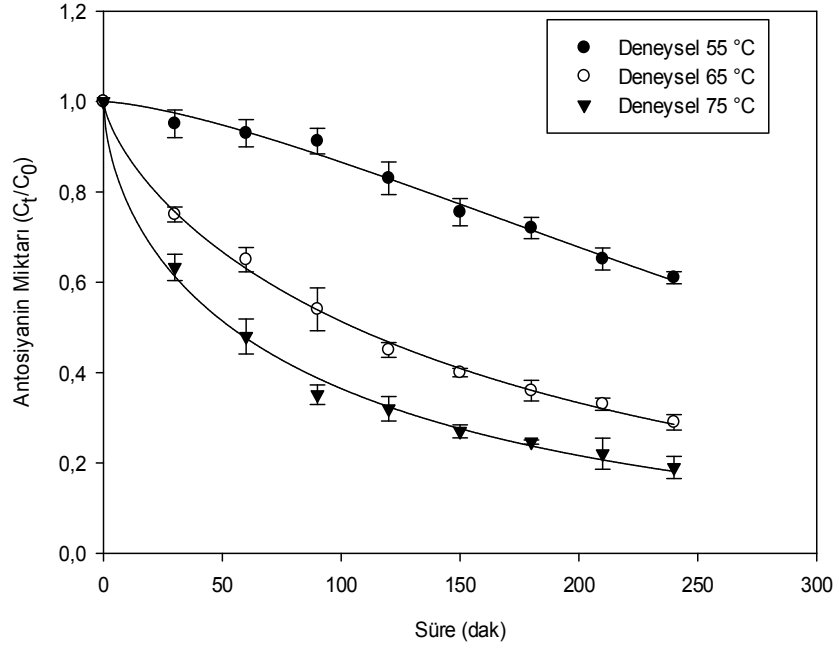
A



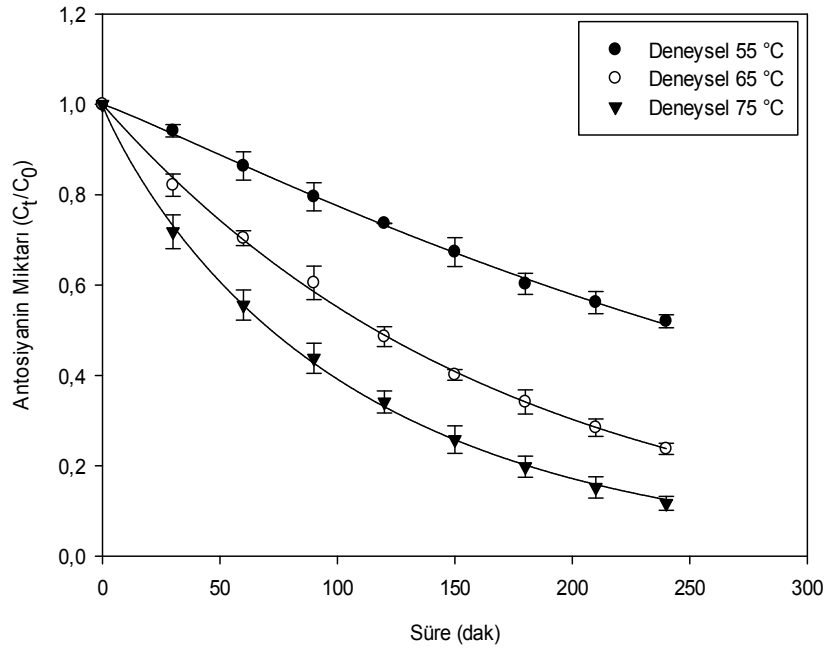
B

Şekil 4.11. Kabin kurutucuda kurutulanan nar tanelerinin kurutma sırasında antosiyanin miktarında değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri

Vakum kurutucuda uygulanan sıcaklık derecesi arttıkça %16 nem içeriğine ulaşmış son ürünün antosiyanin miktarında azalma olduğu belirlenmiştir (75°C ön işlemsiz 0.19, 75°C ön işlemlili 0.44) ($p < 0.001$) (Şekil 4.12). Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinin kurutulmasında aynı sıcaklık değerlerinde vakum kurutucunun antosiyanin miktarını daha iyi koruduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4.). Elde edilen bulgulara göre vakum kurutucu oksijen kaybının olmaması nedeniyle bazı kalite kayıplarının da önleendiği düşünülmektedir (Leeratanarak ve ark., 2006).



A



B

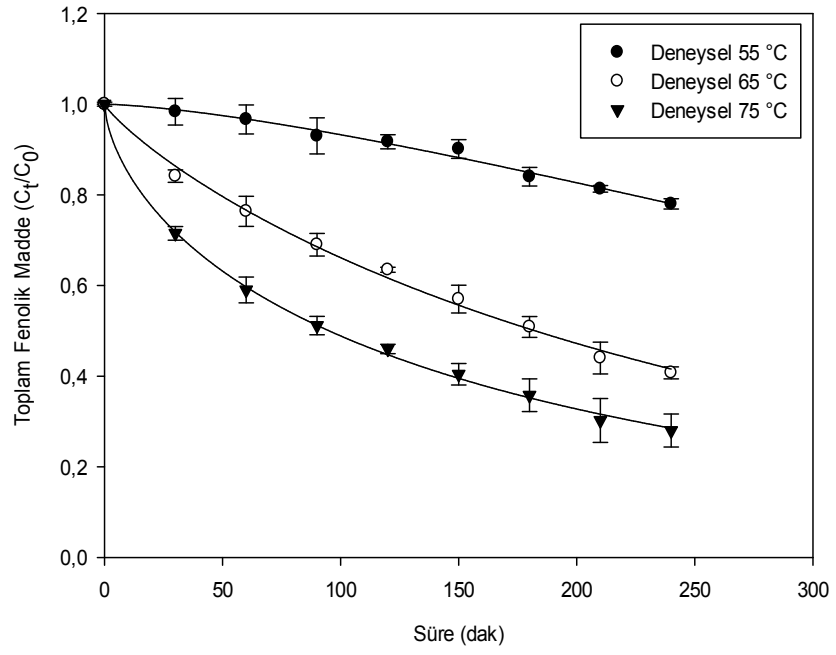
Şekil 4.12. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında antosiyenin miktarında değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri

Uygulanan sıcaklık değerlerinin kurutulmuş ürünlerin antosiyanin miktarları üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$). Sıcaklık değerleri arttıkça (55°C , 65°C , 75°C) kurutulmuş nar tanelerinde antosiyanin miktarının daha yüksek oranlarda azaldığı görülmüştür. Son ürünlerdeki en yüksek antosiyanin değerleri her iki kurutucuda 55°C 'de yapılan kurutmalarda elde edilmiştir (vakum kurutucu ön işlemsiz 0.72, ön işlemlili 0.60, kabin kurutucu ön işlemsiz 0.29, ön işlemlili 0.31). Elde edilen bulgulara göre vakum kurutucunun iç hacminde oksijen içermemesi nedeniyle kaliteyi daha iyi koruduğu söylenilebilir. Bchir ve ark. (2012), nar tanelerini 40°C , 50°C ve 60°C derecelerde kabin kurutucu kullanarak kurutmuş en yüksek antosiyanin konsantrasyonunu 40°C 'de yaptıkları işlemde belirlemişlerdir (40°C %48.78; 50°C %29.27; 60°C %24.39). Bu çalışmada en düşük sıcaklık derecesi olan 55°C sıcaklıkta antosiyanin miktarlarının kabin kurutucuda 0.29, 0.31 (ön işlemsiz, ön işlemlili), vakum kurutucu ise 0.72, 0.60 (ön işlemsiz, ön işlemlili) olduğu saptanmış, yapılan diğer çalışmalar da göz önüne alınarak (Bchir ve ark., 2012) nar tanesi kurutulmasında vakum kurutucu kullanımının antosiyanin korunumuna olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Kurutma sırasındaki antosiyanin konsantrasyonlarındaki azalmanın enzimatik reaksiyonlarla ilgili olduğu düşünülmektedir (Bchir ve ark., 2012). Raynal ve ark. (1989), kurutma sırasında antosiyanin miktarındaki azalmada polifenol oksidazın (E.C. 1.10.3.1) önemli rol oynadığını belirlemişlerdir. Vişneden yapılan kurutma sırasında sıcaklık değerlerinin artmasıyla (60°C - 80°C) antosiyanin miktarında daha fazla azalma olduğunu belirlenmiştir (Cemeroğlu ve ark., 1994). Leeratanarak ve ark. (2006) yaptıkları kurutmada haşlama ön işleminin bazı kalite değerlerinin azalmasında etkili olduğunu belirlemişlerdir. Ön işlem olarak uygulanan haşlama işleminin yapısında bulunan enzimleri inaktive ederek bazı kalite değerlerinde düşmeye neden olduğu belirlenmiştir (Leeratanarak ve ark., 2006). Jaiswal ve ark., nar tanesini fırın kurutucu ve açık havada kurutmuşlar, açık havada yapılan kurutma işleminde antosiyanin miktarının daha fazla düştüğünü belirlemişlerdir (fırın kurutucuda antosiyanin miktarındaki azalma %61, açık havada kurutma işleminde antosiyanin miktarındaki azalma %83).

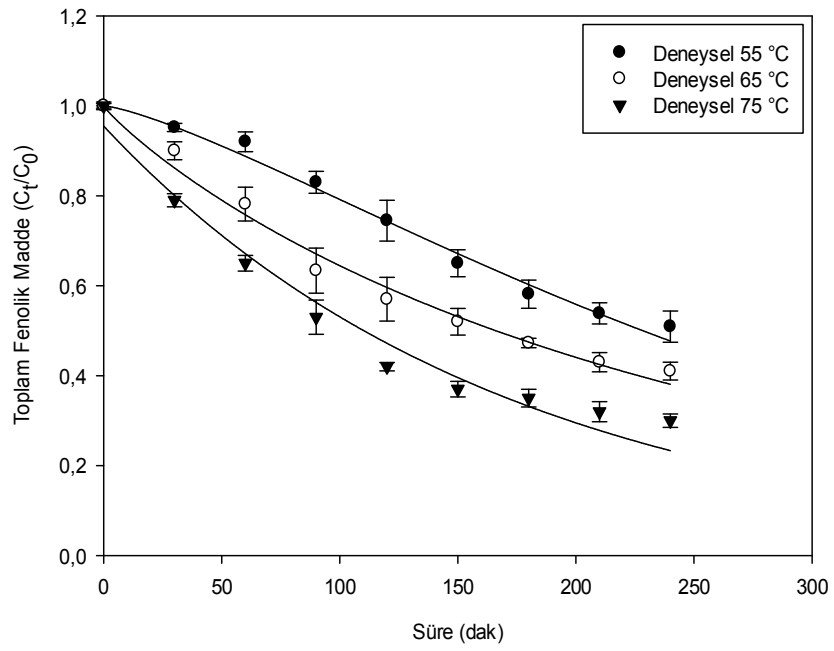
4.5.2. Toplam fenolik madde analizi

Fenolik maddeler sıcaklık artışından ve oksijen varlığından olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Verbeyst ve ark., 2010). Toplam fenolik madde miktarının sıcaklık artışından ve oksijen varlığından hangi düzeyde etkilendiğini belirlemek amacıyla kabin kurutucu ve vakum kurutucudan alınan örneklerde toplam fenolik madde analizi yapılmıştır. Kabin kurutucuda ön işlemsiz ve ön işlemlili nar tanelerinde yapılan analizlerde en düşük sıcaklıkta toplam fenolik madde miktarının en az düzeyde etkilendiği saptanmıştır (ön işlemsiz 0.38; ön işlemlili 0.58) (Şekil 4.13) (Çizelge 4.4). Kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin toplam fenolik madde içeriğinin sıcaklık değerleri arttıkça azaldığı belirlenmiştir ($p<0.001$). Kurutulmuş örneklerdeki toplam fenolik madde miktarının en yüksek olduğu işleme sıcaklığının 55°C olduğu saptanmıştır. Kabin kurutucuda kurutulan; ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde aynı sıcaklık değerlerinde ön işlem uygulanan ürünlerin sıcaklık değişiminden daha az etkilendiği toplam fenolik madde miktarının daha yüksek oranlarda korunduğu saptanmıştır ($p<0.001$) (Çizelge 4.4).

Vakum kurutucuda yapılan kurutma işleminde ise ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin içeriğinde en yüksek toplam fenolik madde miktarı en düşük sıcaklık derecesinde (55°C) kurutulan nar örneklerinde belirlenmiştir (ön işlemsiz 0.58, ön işlemlili 0.52) (Şekil 4.14) (Çizelge 4.4). Vakum kurutucuda sıcaklık değerleri arttıkça örneklerin toplam fenolik madde içeriğinde azalma olduğu belirlenmiştir ($p<0.001$). Ayrıca aynı sıcaklık değerlerinde ön işlem uygulamanın son üründe kalan % toplam fenolik madde miktarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir ($p<0.001$) (Çizelge 4.4). Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinin kurutulmasında aynı sıcaklık değerlerinde vakum kurutucunun kurutulmuş üründeki toplam fenolik madde miktarını daha iyi koruduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4). Elde edilen bulgulara göre vakum kurutucuda oksijenin neden olduğu kayıpların olmaması nedeniyle bazı kalite düşüklüklerinin de önlenildiği düşünülmektedir (Leeratanarak ve ark., 2006).

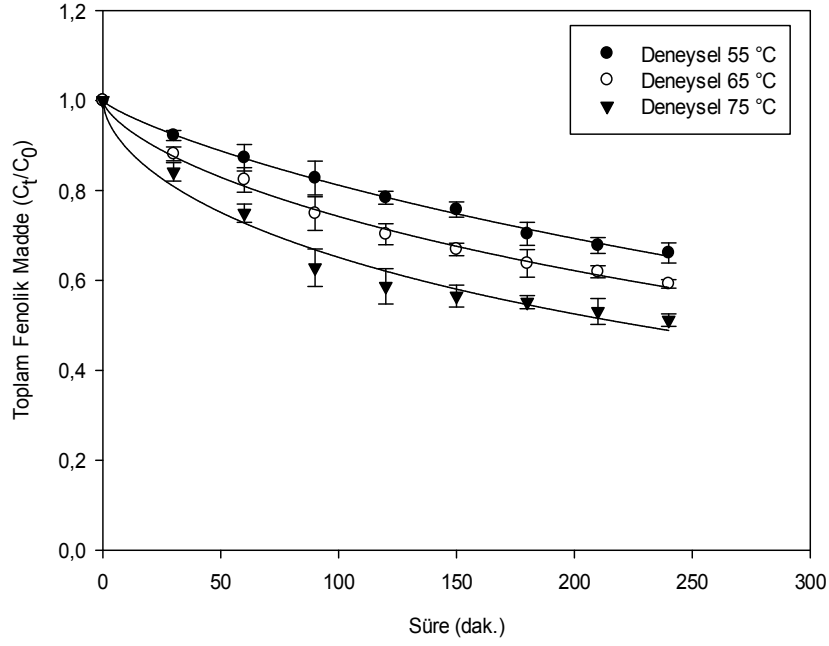


A

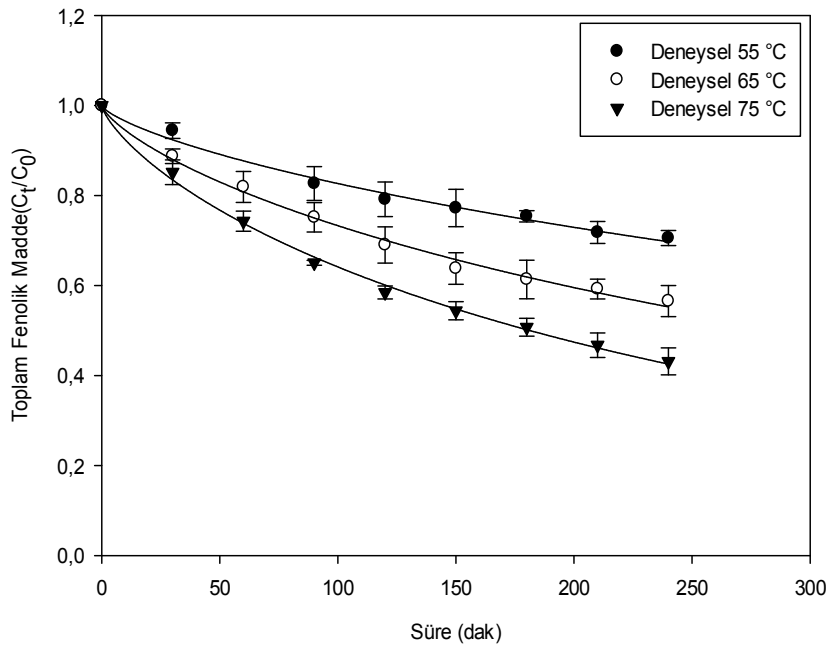


B

Şekil 4.13. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarında değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri



A



B

Şekil 4.14. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinin kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarında değişim A) ön işlem uygulanmayan nar taneleri B) ön işlem uygulanan nar taneleri

Farklı derecelerdeki sıcaklık uygulamasının örneklerin fenolik madde içerikleri üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$) (Çizelge 4.4). En yüksek toplam fenolik madde değerleri her iki kurutucuda 55°C’de yapılan kurutmalarda belirlenmiştir. Kurutma sırasında toplam fenolik madde miktarındaki azalmanın nar

tanelerin yapısında bulunan flavanoid ve fenolik asitler gibi oksidatif bileşenlerde meydana gelen bozulmayla ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda kurutma sırasında fenolik bileşenlerde meydana gelen değişimle ilgili 3 teori bulunmaktadır: bağlı fenolik bileşenlerin serbest kalması; fenolik asit türevlerinin ayrılmasına izin veren ligninin bozulması; ve fenolik bileşenlerin ısının etkisiyle bozulmasıdır (Larrauri ve ark., 1997; Bchir ve ark., 2012). Kurutma işleminde sıcaklığın etkisi benzer çalışmalarla da ortaya koyulmuştur (Bchir ve ark.,2012; Raynal ve ark., 1989).

4.5.3. Antioksidan kapasitesi (% DPPH analizi)

Antioksidan bileşiklerin sıcaklıkla ilgili olan işlemlerde bir kalite göstergesi olduğu bilinmektedir (Bchir ve ark., 2012). Antioksidan kapasitesi tayini Blois'in (1958) DPPH metoduna göre belirlenmiştir. Kurutma işleminde önce nar tanelerinin antioksidan kapasiteleri % 78 olarak belirlenmiş ön işlem uygulanan nar tanelerinde bu değer % 74'e düştüğü belirlenmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde aynı sıcaklık değerlerinde ön işlem uygulanmayan ürünlerin sıcaklık değişiminden daha az etkilendiği; antioksidan kapasitesinin daha yüksek oranlarda korunduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4). Kabin kurutucuda ön işlem uygulanan örneklerde 55°C sıcaklık değerinde antioksidan kapasitesinin en yüksek değerde olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4).

Vakum kurutucuda yapılan kurutma işleminde ise ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin kurutulmasında en yüksek antioksidan kapasitesinin en düşük sıcaklık derecesinde (55°C) kurutulan örneklerde olduğu belirlenmiştir (Çizelge. 4.4). Ancak ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin 55°C sıcaklıkta ön işlem uygulanan tanelere göre antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Vakum kurutucuda sıcaklık değerleri arttıkça antioksidan kapasitesinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca vakum kurutucu ön işlem uygulanan nar tanelerinin aynı sıcaklık değerlerinde ön işlemsiz nar tanelerine göre antioksidan kapasitesinin daha düşük değerlerde olduğu saptanmıştır (Çizelge

4.4). Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlemlili ve ön işlemlisiz nar tanelerinin kurutulmasında aynı sıcaklık değerlerinde vakum kurutucunun her iki grup örnekteki antioksidan kapasitesi daha iyi koruduğu saptanmıştır (Çizelge 4.4). Elde edilen bulgulara göre vakum kurutucuda oksijen kaybının olmaması nedeniyle bazı kalite kayıplarının da önleendiği düşünülmektedir (Leeratanarak ve ark., 2006). Kurutma sırasında oluşan genel kaybın ise antioksidan aktivite sağlayan çeşitli bileşiklerin (askorbik asit, flavanoidle, fenolik asitler vb.) kayıpları nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir (Bchir ve ark., 2012). Piga ve ark. (2003), erik meyvesini farklı ön işlemler uygulayarak kurutmuşlar (alkali ve şeker çözeltilisinde bekletme) ve şeker çözeltilisinde bekletilen örneklerde sıcaklığın artışıyla antioksidan kapasitesinin de arttığını belirlemişlerdir.

Çizelge 4.4. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı, antosiyanin miktarı ve % antioksidan kapasitesine etkisi

Kurutma Yöntemi	Antosiyanin Miktarı (C_t/C_0)	Toplam Fenolik Madde (C_t/C_0)	Antioksidan Kapasitesi (%)
Kabin kurutucu			
75°C ön işlemlisiz	0.22±2.170 ^{ef}	0.24±1.791 ^g	25.32±1.834 ^{lg}
65°C ön işlemlisiz	0.24±2.029 ^{def}	0.29±1.314 ^g	31.92±0.509 ^{efg}
55°C ön işlemlisiz	0.29±4.485 ^{de}	0.38±1.962 ^{fg}	39.28±1.966 ^{ef}
75°C ön işlemlili	0.15±1.383 ^{ef}	0.37±1.954 ^{ef}	24.05±3.210 ^{def}
65°C ön işlemlili	0.22±2.598 ^{ef}	0.49±0.945 ^{de}	28.14±2.588 ^{def}
55°C ön işlemlili	0.31±3.768 ^{de}	0.58±3.134 ^{de}	35.36±2.376 ^{ef}
Vakum kurutucu			
75°C ön işlemlisiz	0.19±3.345 ^{def}	0.51±3.940 ^{cd}	29.72±0.283 ^{de}
65°C ön işlemlisiz	0.38±1.183 ^{de}	0.56±3.077 ^b	34.56±1.386 ^b
55°C ön işlemlisiz	0.72±2.464 ^{bc}	0.58±3.648 ^{bc}	43.91±2.234 ^a
75°C ön işlemlili	0.44±2.710 ^{cd}	0.67±0.534 ^{bc}	27.08±1.683 ^{de}
65°C ön işlemlili	0.49±2.294 ^{ab}	0.69±4.027 ^{ab}	32.21±1.937 ^{de}
55°C ön işlemlili	0.60±2.348 ^a	0.52±1.249 ^a	38.04±2.192 ^{bc}

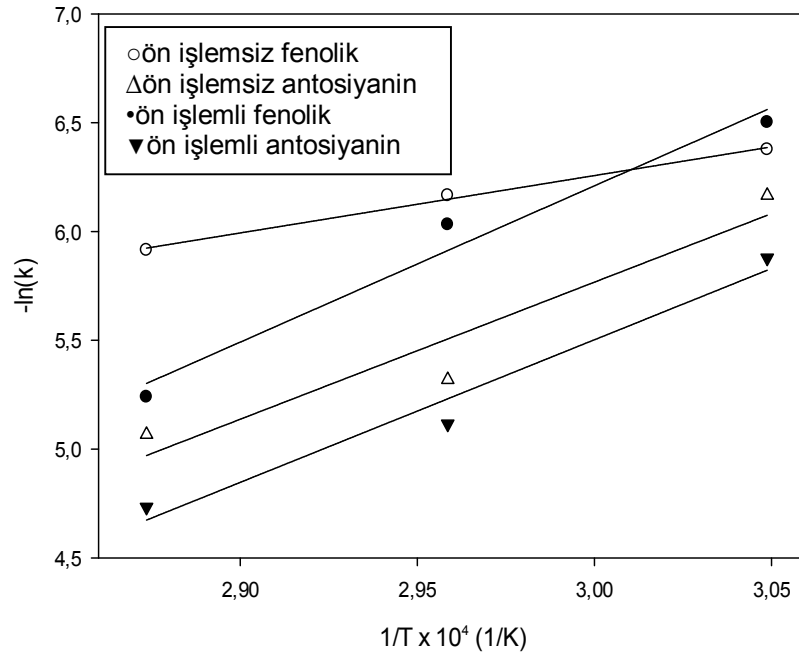
abcdefg Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki olarak fark olduğunu göstermektedir (p<0.05)

Daha önce yapılan çalışmalarla farklı kurutucu tiplerinin, farklı sıcaklıkların ve ön işlem uygulamasının ve toplam fenolik madde miktarına etkisi incelenmiş ancak kinetik çalışması henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada farklı olarak kurutulmuş narların antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarı ve bu maddelerin zamana bağlı olarak değişimlerinin kinetik çalışmaları yapılmış ve en uygun modellemeleri belirlenmiştir.

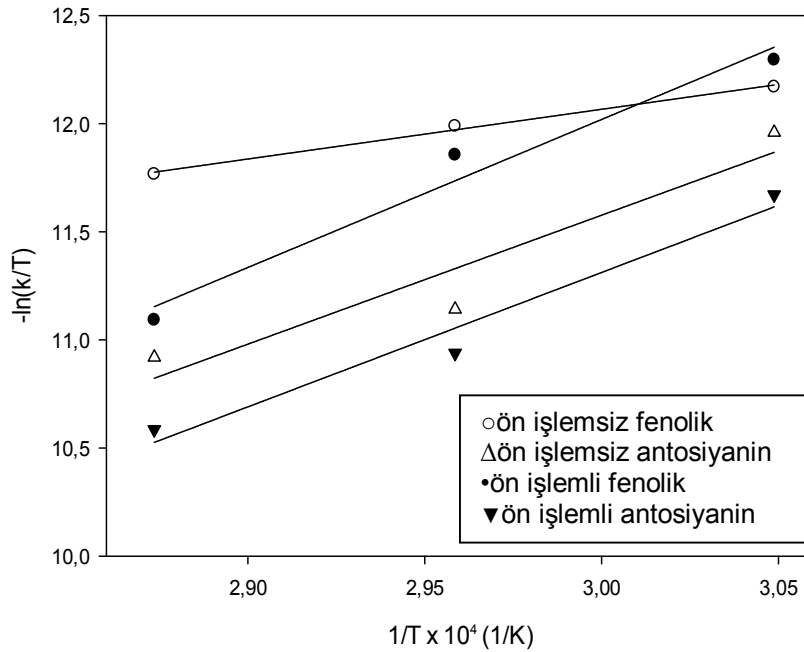
4.6. Nar Tanelerinin Kurutulması Esnasında Meydana Gelen antosiyanin ve Toplam Fenolik Madde Miktarındaki Değişimin Modellenmesi

Kurutma işlemi sırasında %16 nem içeriğine kadar kurutulan nar tanelerinden elde edilen verilere göre her üç sıcaklık değeri, üç kurutma metodu ve bu parametrelerdeki ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerine 7 modelleme uygulanarak en uygun modeller belirlenmiştir. Matematiksel modellemeler için thin layer kurutma yöntemi ve eşitlikleri kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı R^2 en uygun modellemenin belirlenmesi için en önemli kriter olarak kullanılmıştır. Ayrıca tahmin edilen ve deneysel veriler kullanılarak χ^2 , Root Mean Square Error (RMSE), Mean Beas Error (MBE) değerleri en uygun modelin saptanması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda R^2 değerinin en yüksek; χ^2 , RMSE ve MBE değerlerinin en düşük olduğu modelleme en uygun model olarak ifade edilmiştir (Kingsly ve Singh, 2007). Antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarının ilk konsantrasyonları-zamana bağlı konsantrasyonlarının değişim (C_t/C_0) grafikleri çizilmiştir.

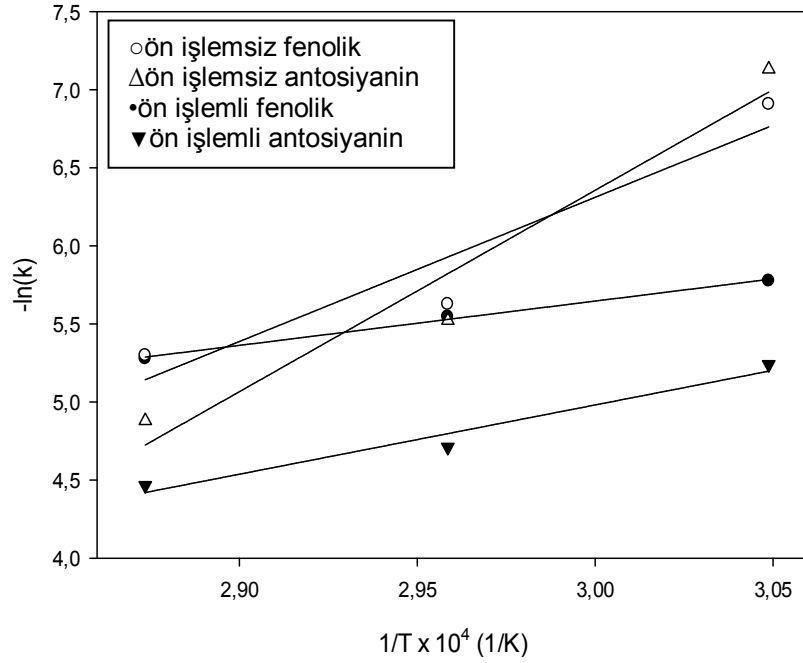
Uygulanan modellemeler sonucunda elde edilen verilere göre antosiyanin değişimi için antosiyanin miktarı değişiminde R^2 0.9138-0.999 değerleri arasında, χ^2 0.0001–0.05464 değerleri arasında, MBE (-)0.018-0.00895 ve RMSE ise 0.0166–0.0088 değerleri arasında değişmektedir. Toplam fenolik madde değişiminde ise R^2 0.9025 –0.9987 değerleri arasında, χ^2 6.75×10^{-5} –0.0623 değerleri arasında, MBE (-)0.00005 0.008 ve RMSE ise 0.066-0.062 değerleri arasında bulunmuştur. Antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarı, için en uygun modellemelerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca antosiyanin miktarı ve toplam fenolik madde miktarı değişimleri için Eyring-Polanyi modeli uygulanmış ve hesaplamaları yapılmıştır (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6). Toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı için vakum kurutucuda ön işlemsiz örneklerin E_a , ΔH ve ΔS değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Kabin kurutucuda ise ön işlemsiz örneklerin E_a , ΔH ve ΔS değerlerinin daha az olduğu belirlenmiştir. ΔH^* ve ΔS^* değerlerinin düşük olması ürünün sıcaklıktan daha az etkilendiğini göstermektedir. Arrhenius ve Eyring-Polanyi grafikleri ile değişim miktarı ifade edilmiştir. (Şekil 4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).



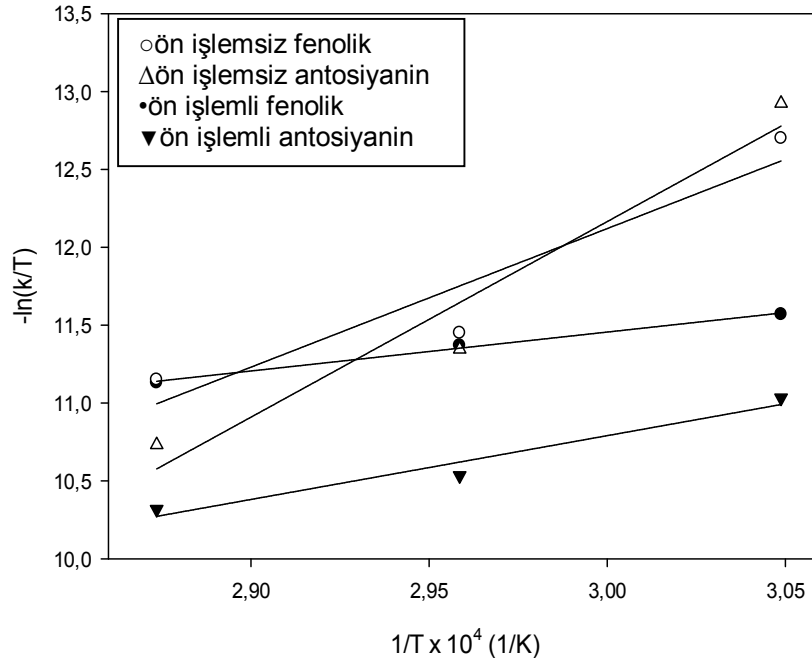
Şekil 4.15. Vakum kurutucuda kurutulan öñ işlemlı ve öñ işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Arrhenius grafiği



Şekil 4.16. Vakum kurutucuda kurutulan öñ işlemlı ve öñ işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Eyring-Polanyi grafiği



Şekil 4.17. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlenmiş ve ön işlemlenmemiş nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Arrhenius grafiği



Şekil 4.18. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlenmiş ve ön işlemlenmemiş nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için Eyring-Polanyi grafiği

Çizelge 4.5. Vakum kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için hesaplanan Eyring-Polanyi modeli değerleri

Ön İşlemlili Nar Taneleri							Ön İşlemsiz Nar Taneleri					
Sıcaklık (°C)	$t_{1/2}$ (saat)	E_a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol.K)	Kuruma Süresi (dak)	C_t/C_0 Kuruma Anında	$t_{1/2}$ (dak)	E_a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol.K)	Kuruma Süresi	C_t/C_0 Kuruma Anında
Toplam Fenolik Madde Miktarı Değişiminin Kinetik Sonuçları												
55	7.70	59.72 (0.9735)	56.92	- 126.72	180	0.75	6.80	21.93 (0.9955)	19.12	- 240.51	430	0.58
65	4.81				120	0.69	5.50				270	0.56
75	2.18				90	0.67	4.28				240	0.51
Antosiyanin Değişiminin Kinetik Sonuçları												
55	4.12	54.50 (0.9708)	51.69	- 136.52	180	0.60	5.50	52.39 (0.9202)	49.58	- 145.04	430	0.52
65	1.93				120	0.49	2.36				270	0.38
75	1.31				90	0.44	1.83				240	0.19

Çizelge 4.6. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarı ve antosiyanin miktarı değişimi için hesaplanan Eyring-Polanyi modeli değerleri

Ön İşlemlili Nar Taneleri							Ön İşlemsiz Nar Taneleri					
Sıcaklık (°C)	t _{1/2} (saat)	E _a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol.K)	Kuruma Süresi (dak)	C _t /C ₀ Kuruma Anında	t _{1/2} (h)	E _a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol.K)	Kuruma Süresi (dak)	C _t /C ₀ Kuruma Anında
Toplam Fenolik Madde Miktarı Değişiminin Kinetik Sonuçları												
55	3.73	23.60 (0.9962)	20.79	-230.42	215	0.58	11.55	76.79 (0.9057)	73.98	- 76.36	920	0.38
65	2.96				173	0.49	3.21				425	0.29
75	2.27				165	0.37	2.31				235	0.24
Antosiyanin Değişiminin Kinetik Sonuçları												
55	2.18	36.88 (0.9708)	34.07	- 185.04	215	0.31	14.44	107.24 (0.9497)	104.44	14.62	920	0.29
65	1.28				173	0.22	2.89				425	0.24
75	1.00				165	0.15	1.52				235	0.22

4.7. Kurutulmuş Nar Tanelerinde Renk Analizi ve Esmerleşme İndeksi

Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde kurutmadan önce ve kurutma işlemi bittiğinde alınan örneklerin Hunter Lab kolorimetresinde renk ölçümü yapılarak L^* (parlaklık/beyazlık), a^* (kırmızılık/yeşillik), b^* (sarılık/mavilik) değerleri belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin ilk renk değerleri 36.09, 16.94, 6.05 (L^* , a^* , b^*), ön işlem uygulanan nar tanelerinin ise ilk renk değerleri 39.385, 19.27, 6.08 (L^* , a^* , b^*) olarak belirlenmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin sıcaklık değerlerinin artmasıyla L^* ve b^* renk değişim değerlerinin azaldığı, a^* renk değişim değerlerinin ise sıcaklık arttıkça yükseldiği saptanmıştır ($p<0.001$). L^* değerindeki düşmeye paralel olarak son ürünün renginin koyulaştığı söylenebilir. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemsiz nar tanelerinde a^* değerinin artması ve b^* değerinin azalmasına paralel olarak kurutma sonunda ürünün daha kırmızı olduğu sonucuna varılmıştır (Maskan, 2001). Kabin kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinde ise aynı sıcaklık derecelerinde kurutulan ön işlemsiz nar tanelerine göre tane rengi L^* ve b^* değerlerinden daha düşük a^* değerinden ise daha yüksek bulunmuştur. Ancak L^* değerindeki değişim önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Ön işlem uygulamanın aynı sıcaklık derecelerinde kurutulan ürünlerin ön işlemsiz ürünlere göre tanedeki kırmızılık değerini artırdığı, parlaklık ve sarılık değerlerini ise düşürdüğü saptanmıştır. Ön işlem uygulanan nar tanelerinin sıcaklıkla renk değişimi değerlendirildiğinde L^* , b^* renk değişim değerlerinin azaldığı, a^* değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir ($p<0.001$) (Çizelge 4.7).

Vakum kurutucuda ön işlem uygulanarak ve uygulanmayarak kurutulan nar tanelerinin sıcaklık değerlerinin artmasıyla L^* , b^* renk değerlerinin azaldığı, a^* renk değerinin ise arttığı saptanmıştır (Çizelge 4.7). Vakum kurutucu kurutulan nar tanelerinde a^* değerindeki artış ve b^* değerindeki düşüşe paralel olarak kurutma sonunda ürünün daha kırmızı olduğu sonucuna varılmıştır (Maskan, 2001). Ön işlem uygulamanın aynı sıcaklık derecelerinde kurutulan ürünlerin ön işlemsiz ürünlere göre tanedeki a^* değerini artırdığı, L^* ve b^* değerlerini ise düşürdüğü saptanmıştır. Elde edilen bulgulara göre a^* değerinin artması ve b^* değerinin azalmasına paralel

olarak uygulanan ön işlemin son ürünün kırmızılık rengini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre tüm kurutma koşulları ve sıcaklıklarda sıcaklık değerlerinin artmasıyla renk karakterizasyon parametreleri L* ve b* değerlerinin azaldığı, a* değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Nar tanelerinde sıcaklığın etkisiyle görülen renk değişimlerinin tanelerin yapısında bulunan ve ısıya karşı hassas olan bileşiklerde (karbonhidrat, protein, vitamin gibi) meydana gelen değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Bchir ve ark., 2012). Kurutma sırasında renk pigmentleri yıkılarak ürünlerin renk değişimine uğramalarına neden olmaktadır. Bu durumun ürünün yapısında bulunan askorbik asitin oksidasyonu ve enzimatik olmayan Maillard reaksiyonu ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir (Maskan, 2001).

Mohammadi ve ark. (2008), kivi meyvesini 5 farklı sıcaklık derecesinde kurutma fırınında kurutmuşlar, kurutma sonunda L* ve b* değerlerinin azaldığı, a* değerinin ise arttığını belirlemişlerdir. Kivi meyvesinin renk parametrelerindeki bu değişimin karotenoid ve klorofil pigmentlerinin enzimatik olmayan Maillard reaksiyonu ve kahverengi pigmentlerin bozulmasıyla ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Ferrari ve ark. (2010), nar tanelerinin kurutma işleminde 3 farklı sıcaklık (25°C, 45°C, 50°C) ve 3 farklı basınç (400MPa, 500MPa, 600MPa) uygulamışlar, her sıcaklık derecesinde basınç artışının a* renk değerini artırdığı ancak en yüksek basınç olan 600 Mpa'nın a* renk değerini olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir.

Kurutma işleminde ön işlem uygulamanın kabin kurutucu ve vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinde renk değerlerini daha iyi koruduğu saptanmıştır. Ön işlem uygulanan nar tanelerinde L* ve b* değerlerinin aynı sıcaklık derecelerinde kurutulan ön işlemsiz nar tanelerine göre azaldığı, a* değerinin ise arttığı saptanmıştır. Ancak L* değerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Yapılan diğer bir çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiş, yapılan patates kurutma işleminde haşlama ön işlemi uygulanmış, bu işlemin

kurutma sonunda L* renk değerini etkilemediği a* değerinin arttığı, b* değerinin ise azaldığı belirlenmiştir (Leenataranak ve ark., 2006).

Çizelge 4.7. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde (%16 nem) L*, a*, b* renk parametrelerine ve esmerleşme indeksine olan etkisi

Kurutma yöntemi	L*	a*	b*	Esmerleşme indeksi
Kabin kurutucu				
75°C ön işlemsiz	31.21±0.893 ^a	15.23±0.048 ^d	3.96±0.035 ^a	46.03±1.187 ^b
65°C ön işlemsiz	33.12±0.636 ^{ab}	14.09±0.035 ^e	4.305±0.042 ^b	42.47±0.057 ^b
55°C ön işlemsiz	36.09±1.082 ^{ab}	13.6±0.170 ^f	5.6±0.007 ^c	42.39±1.598 ^b
75°C ön işlemliler	30.93±2.065 ^{abc}	23.05±0.071 ^a	3.02±0.057 ^g	57.74±0.085 ^a
65°C ön işlemliler	32.52±1.810 ^{abc}	21.97±0.057 ^b	3.655±0.028 ^h	55.51±2.984 ^a
55°C ön işlemliler	35.02±0.651 ^{abc}	17.57±0.014 ^c	4.94±0.014 ^h	48.56±1.160 ^b
Vakum kurutucu				
75°C ön işlemsiz	34.02±1.202 ^{abc}	11.9±0.057 ^h	2.4±0.056 ^d	30.87±1.669 ^{cd}
65°C ön işlemsiz	35.73±1.060 ^{abc}	9.86±0.014 ⁱ	2.55±0.127 ^e	26.2±0.707 ^{de}
55°C ön işlemsiz	37.5±2.645 ^{abc}	8.28±0.021 ^j	3.24±0.049 ^f	24.2±3.451 ^e
75°C ön işlemliler	33.33±0.014 ^{abc}	12.83±0.035 ^g	2.4±0.014 ^{fg}	33.31±0.537 ^c
65°C ön işlemliler	34.16±0.170 ^{bc}	12.56±0.007 ^g	2.44±0.014 ^h	32.1±1.117 ^{cd}
55°C ön işlemliler	36.085±0.148 ^c	10.05±0.113 ⁱ	3.16±0.017 ^h	28.14±1.725 ^{cde}

abcdefghij Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki olarak önemlidir (p<0.05)

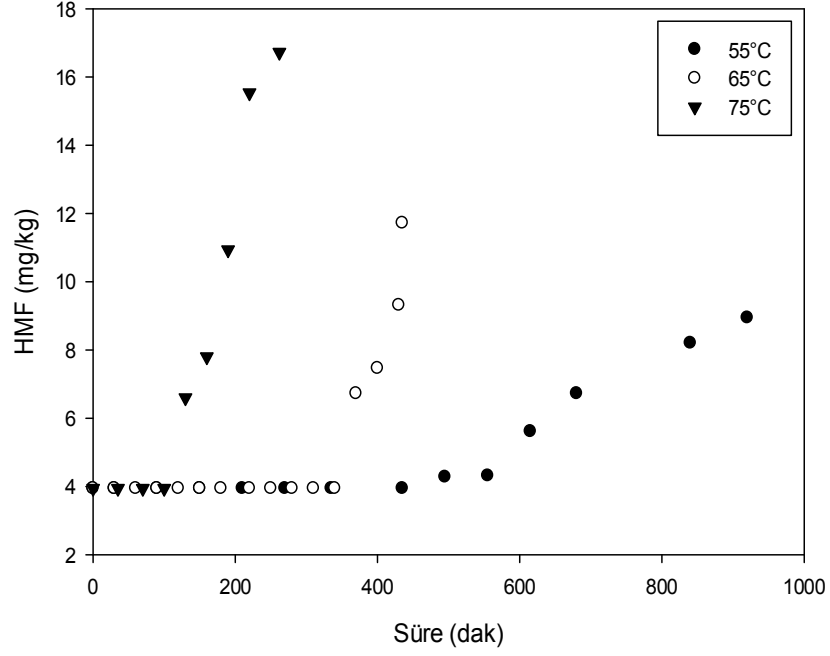
Sıcaklık ve kurutma yöntemlerinin etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için nar tanelerinde ayrıca esmerleşme indeks değerleri de hesaplanması gerekmektedir (Bchir ve ark., 2012). Esmerleşme indeksi meyve ve sebzelerde saf kahverengini temsil eder ve kurutma sırasında enzimatik olan ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları için önemli bir parametredir (Maskan, 2001). Esmerleşme indeksi vakum ve kabin tipi kurutucularda 75°C, 65°C, 55°C’de kurutulan nar örneklerinde kurutma öncesi ve sonrasında belirlenen L*, a*, b* değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemsiz ve ön işlem uygulanan nar tanelerinin sıcaklık değerleri arttıkça (55°C-65°C-75°C) esmerleşme indeks değerlerinin de arttığı ortaya konulmuştur (p<0.001) (Çizelge 4.7). Vakum

kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde sıcaklık değerleri arttıkça esmerleşme indeks değerlerinin de arttığı saptanmıştır ($p < 0.001$). Ayrıca kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinin vakum kurutucuya göre esmerleşme indeks değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kabin kurutucuda renk değişimlerinin daha fazla görülmesi nedeniyle kurutma sırasında Maillard reaksiyonu ve oksidasyon olaylarının meydana geldiği düşünülmektedir. Vakum kurutucuda ise renk değişimlerinin en az düzeyde görülmesi kurutucu iç hacminde oksijen kaybının olmaması ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmediği düşünülmektedir. Esmerleşme indeks değerlerinde belirlenen değişimler ürünün kuruma sırasında değişen renk değerleriyle, özellikle kırmızı renkte görülen yüksek değişim değerleri ile doğrusal bir ilişki olduğu sonucunu ortaya koymuştur (Leeratanarak ve ark., 2006).

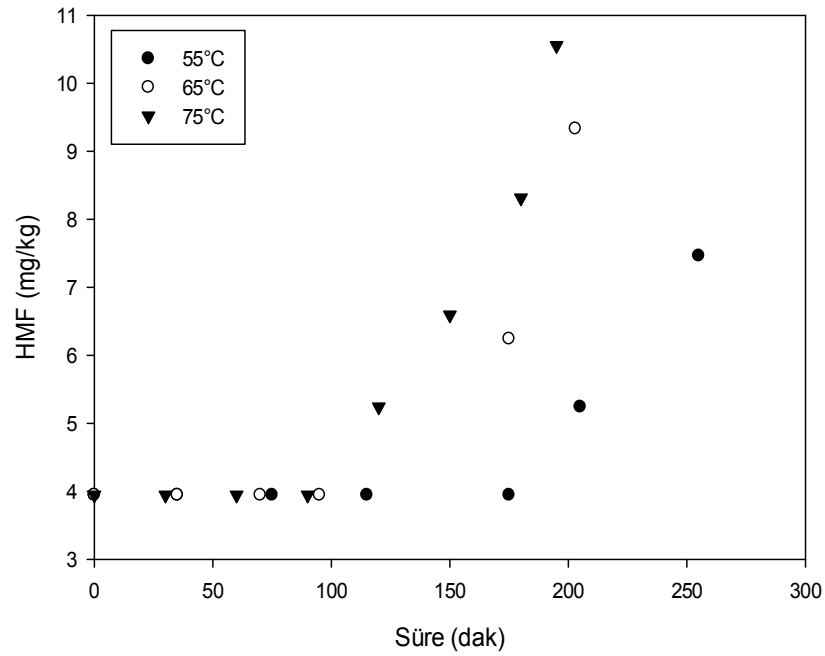
4.8. Kurutma Esnasında Nar Tanelerinde Hidroksimetilfurfural (HMF) Oluşumu

Hidroksimetilfurfural (HMF) maillard reaksiyonu sırasında ortaya çıkan (Zhang ve ark., 2012) ve çeşitli gıda ürünlerinin (reçel, salça, kahve, kurutulmuş meyveler) prosesi aşamasında ısının etkisini belirleyen bir parametredir (Henares ve ark., 2012). Kabin kurutucuda kurutulan ön işlemsiz ve ön işlemlili nar tanelerinde sıcaklığın artmasıyla HMF oluşumunun da arttığı belirlenmiştir (75°C ön işlemlili 10.56 mg/kg ; ön işlemsiz 16.72 mg/kg) (Şekil 4.19) (Ek 6). Uygulanan ön işlemin aynı sıcaklık derecelerinde kurutulmuş nar tanesinde HMF oluşumunu azalttığı görülmüştür (Şekil 4.19). Daha önce yapılan çalışmalarda haşlama ön işlemlili uygulanan örneklerde kurutma sırasında daha az HMF oluşumunun haşlama sırasında gıdanın bileşimindeki şekerin suda çözülmesiyle ilgili olduğu belirtilmiştir (İçiek ve Krysiak, 2009; Orak ve ark., 2011). Vakum kurutucuda 75°C , 65°C , 55°C 'de ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin ön işlem uygulanan örneklere göre HMF miktarlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20) (Ek 6). Kabin ve vakum tipi kurutucularda kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde HMF oluşumunun vakum kurutucudaki örneklerde daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Ön işlem uygulamanın bu sonucu değiştirmedeği görülmüştür. Kurutma işlemlili

sırasında HMF miktarındaki artışın antioksidan bileşiklerin deformasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Bchir ve ark., 2012).

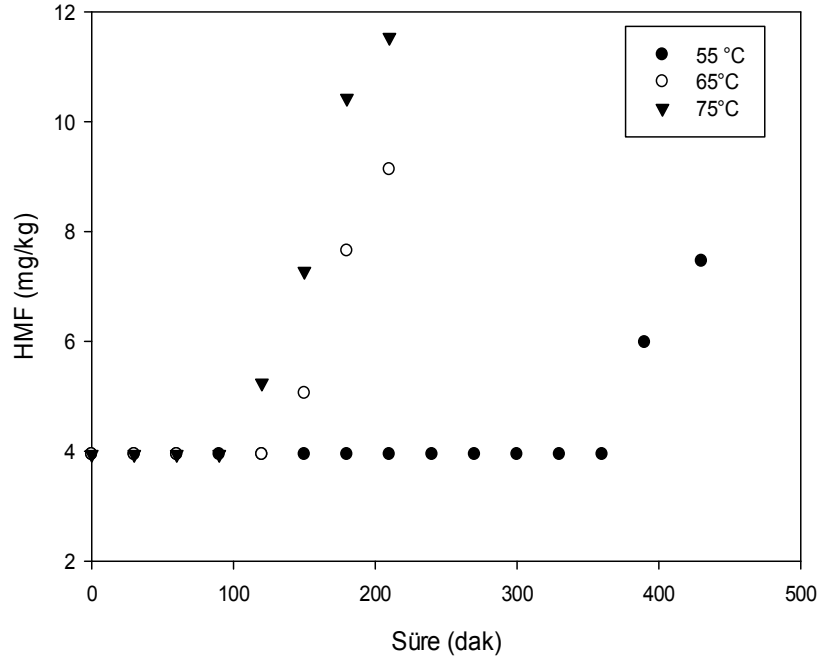


A

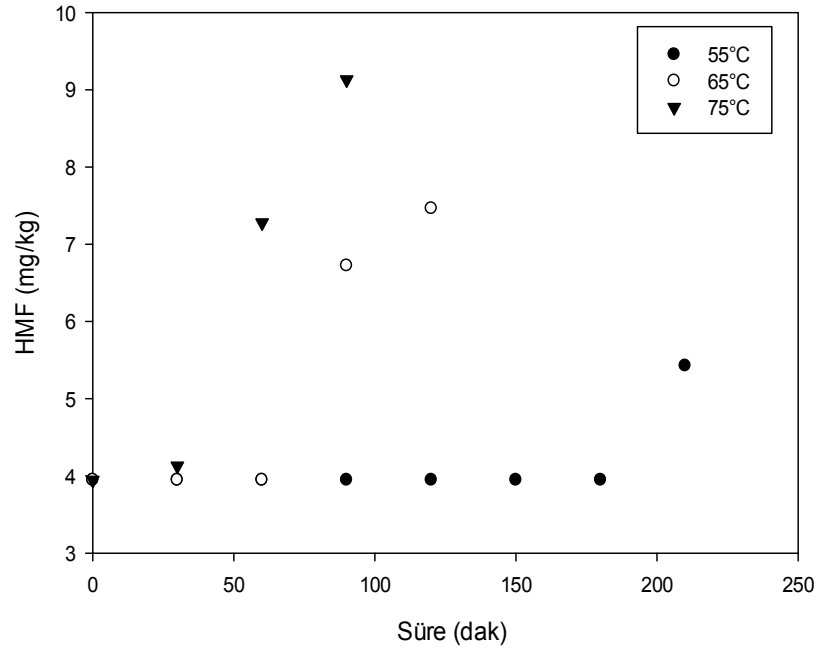


B

Şekil 4.19. Kabin kurutucuda kurutulan nar tanelerinde HMF oluşumu A) ön işlem uygulanmayan B) ön işlem uygulanan



A



B

Şekil 4.20. Vakum kurutucuda kurutulan nar tanelerinde HMF oluşumu A) ön işlem uygulanmayan B) ön işlem uygulanan

4.9. Büzülme Etkisi

Büzülme etkisi kurutulan gıdalarda bir kalite belirteçidir ve ürün kalitesi açısından en düşük düzeyde olması istenmektedir. Büzülmenin etkisiyle gıdalarda meydana gelen şekil değişikliği, hacim kaybı ve ürünün sertleşmesi istenilmeyen değişimlerdir (Mayor ve Serono, 2004). Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda 75°C, 65°C, 55°C'lerde kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin aynı büzülme oranına sahip olduğu saptanmıştır (%80). Ön işlem uygulanan nar tanelerinde ise 2 kurutucu tipinde sıcaklık arttıkça büzülme etkisi değerinde değişim saptanmamıştır (%80). Elde edilen bulgulara göre nar tanelerinin kurutulması sırasında büzülme etkisinin kurutucu tipi, ön işlem uygulanması ve sıcaklık değişiminden etkilenmediği ortaya konulmuştur. Sharma ve ark. (2011) 55°C, 60°C, 65°C'lerde yaptıkları kurutma işleminde büzülme etkisinin sıcaklıktan bağımsız olduğunu belirlemişlerdir. Kurutma işlemi sırasında büzülme etkisinin haşlama ön işleminden etkilenmediği yapılan çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur (Moreira ve ark., 2000).

4.10. Efektif Nem Difüzyonu ve Aktivasyon Enerjisi

Gıdaların kurutulmasında kütle difüzyon eşitliği olarak ifade edilen Fick'in ikinci kuralı difüzyon eşitliği kullanılmaktadır:

Efektif nem difüzyonu kurutma sırasında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan $\ln(MR)$ -zaman (dak.) grafiğinden elde edilmiştir. $\ln(MR)$ -zaman (dak.) grafiğinin eğimi K değeri olarak ifade edilmiştir (Doymaz, 2012):

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{R^2}$$

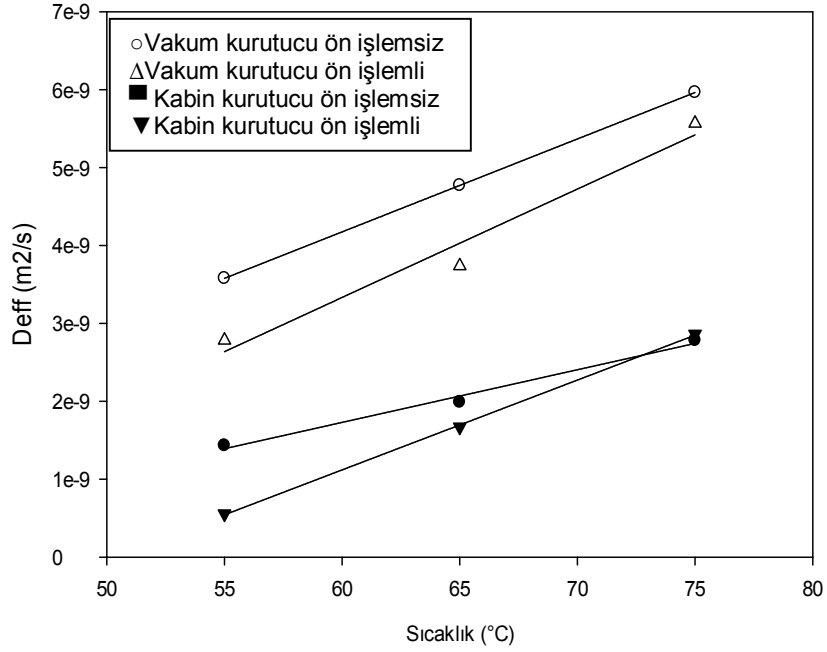
Elde edilen verilere göre yapılan hesaplamalar sonucunda kurutulmuş nar tanelerinde D_{eff} değerleri 5.57×10^{-10} - 5.57×10^{-9} m²/s arasında değişmektedir. Kurutulan gıdaların efektif nem difüzyon aralığı 10^{-9} - 10^{-10} m²/s arasında değişmektedir (Mohapatra ve Rao, 2005). Yapılan bu çalışmada kurutulan nar tanelerinin efektif nem difüzyonu bu değer aralığında bulunmuştur. En düşük efektif nem difüzyonu kabin kurutucuda 55°C'de kurutulan ön işlemsiz nar tanelerinde

belirlenmiştir (5.57×10^{-10}). En yüksek efektif nem difüzyonu ise vakum kurutucuda 75°C ' de kurutulan ön işlemlenmiş nar tanelerinde belirlenmiştir (5.96×10^{-9}). Ayrıca sıcaklık arttıkça efektif nem difüzyonunun arttığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta efektif nem difüzyonunun artması nar tanelerinde iç buhar baskısının artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Mundada ve ark., 2010). Ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde efektif nem difüzyonu aynı sıcaklık derecelerindeki kabin kurutucudan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. kabin kurutucu ve vakum kurutucuda ön işlem uygulanan nar tanelerinde efektif nem difüzyonu aynı sıcaklık derecelerindeki ön işlemiz ürünlere göre yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen verilere göre ön işlem uygulamanın kabin ve vakum tipi kurutucularda efektif nem difüzyon değerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

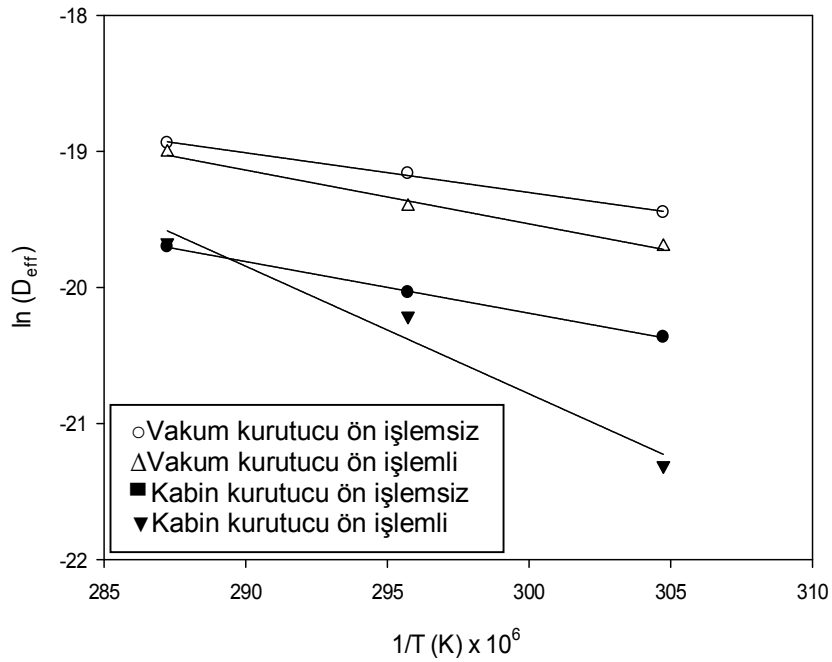
Ön işlemlenmiş ve ön işlemlenmemiş nar tanelerinin kabin kurutucu ve vakum kurutucu D_{eff} değerlerinin sıcaklığın artmasıyla arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.8) (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Benzer sonuçlar yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Doymaz, 2012; Mohapatra ve Rao, 2005; Motevalli ve ark., 2012). Kabin kurutucu ve vakum kurutucu ön işlem uygulanan nar tanelerinin efektif nem difüzyonu daha yüksek bulunmuştur. (Çizelge 4.8). Doymaz (2012), yaptığı nar tanesi kurutulması çalışmasında etil olat çözeltisini ön işlem olarak kullanmış ve bu örneklerin ön işlem uygulanmayan nar tanelerine göre efektif nem difüzyonunun daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.8. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde efektif nem difüzyonları

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Vakum kurutucu ön işlemlenmemiş	Vakum kurutucu ön işlemlenmiş	Kabin kurutucu ön işlemlenmemiş	Kabin kurutucu ön işlemlenmiş
55	1.43×10^{-9}	3.58×10^{-9}	5.57×10^{-10}	2.78×10^{-9}
65	1.99×10^{-9}	4.77×10^{-9}	1.67×10^{-9}	3.74×10^{-9}
75	2.78×10^{-9}	5.96×10^{-9}	2.86×10^{-9}	5.57×10^{-9}



Şekil 4.21. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde efektif nem difüzyonunun sıcaklık etkisiyle değişimi



Şekil 4.22. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlem uygulanan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde efektif nem difüzyonu ve mutlak sıcaklık arasındaki değişimin Arrhenius-tipi bağıntısı

4.10.1. Aktivasyon enerjisi

Aktivasyon enerjisi değerleri Arrhenius eşitliğinin eğimi kullanılarak sıcaklığın D_{eff} üzerine olan etkisi yardımıyla hesaplanmıştır:

$$D_{eff} = 1.502 \times 10^{-4} \exp(-3.793.6T) \quad (\text{Vakum kurutucu ön işlemsiz } R^2 = 0.9994)$$

$$D_{eff} = 2.635 \times 10^{-5} \exp(-2,9182T) \quad (\text{Vakum kurutucu ön işlemlili } R^2 = 0.9969)$$

$$D_{eff} = 1564,93 \exp\left(-\frac{9,374.9}{T}\right) \quad (\text{Kabin kurutucu ön işlemsiz } R^2 = 0.9687)$$

$$D_{eff} = 4.618 \times 10^{-4} \exp(-3,948.9T) \quad (\text{Kabin kurtucu ön işlemlili } R^2 = 0.98)$$

Çizelge 4.9. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde aktivasyon enerjileri

Kurutma Koşulları	Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)	R ²
Vakum kurutucu ön işlemlili	24.26	0.9969
Vakum kurutucu ön işlemsiz	31.54	0.9994
Kabin kurutucu ön işlemlili	32.83	0.9894
Kabin kurutucu ön işlemsiz	77.94	0.9687

Elde edilen bulgulara göre aktivasyon enerjisi 24.26–77.94 kJ/mol arasında değişmektedir. En yüksek aktivasyon enerjisi kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde, en düşük aktivasyon enerjisi ise vakum kurutucu ön işlem uygulanan nar tanelerinde belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin aktivasyon enerjisinin yüksek olması daha önce bahsedilen elde edilen ağırlık değişim sonuçlarına paralel olarak nem hareketi için güçlü bir engel oluşturduğunu belirtmektedir. Ön işlem uygulamanın ise vakum kurutucu ve kabin kurutucuda aktivasyon enerjisini düşürdüğü saptanmıştır.

4.11. L-Askorbik Asit Tayini

Askorbik asit gıdaların kalite göstergesi olarak ifade edilen önemli bir bileşendir. Gıdaya uygulanan işlemler sırasında proses tipi, ürünün fiziksel özelliği

ve sıcaklık-zaman ilişkisine bağlı olarak çeşitli miktarlarda askorbik asit kaybı meydana gelmektedir (Goula va Adamopoulos, 2006). Askorbik asit miktarının sıcaklık artışından ve oksijen varlığından hangi düzeyde etkilendiğini belirlemek amacıyla kabin kurutucu ve vakum kurutucudan alınan örneklerde L-askorbik asit tayini yapılmıştır. Kabin kurutucudan alınan örneklerde sıcaklık arttıkça askorbik asit kaybının arttığı görülmüştür. Ön işlem uygulamanın askorbik asit kaybına olumsuz etkisi olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.10).

Vakum kurutucuda ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde 55°C’de yapılan kurutma işleminde askorbik asit miktarının en az düzeyde etkilendiği belirlenmiştir (55°C ön işlemlili 25.36 mg/100g 55°C ön işlemsiz 27.13 mg/100g). Sıcaklık arttıkça askorbik asit miktarının azaldığı saptanmıştır (75°C ön işlemlili 20.88 mg/100g, 75°C ön işlemsiz 24.74 mg/100g). Aynı sıcaklıklarda ön işlem uygulanan nar tanelerinde ön işlem uygulanmayanlara göre askorbik asit kaybının daha fazla gerçekleştiği ortaya konulmuştur (Çizelge 4.10).

Sıcaklık değerleri arttıkça (55°C, 65°C, 75°C) kurutulmuş nar tanelerinde askorbik asit miktarındaki azalmanın arttığı görülmüştür. Son ürünlerdeki en yüksek askorbik asit değerleri her iki kurutucuda 55°C’de yapılan kurutmalarda elde edilmiştir (vakum kurutucu ön işlemsiz 27.13 mg/kg, ön işlemlili 25.36 mg/kg, kabin kurutucu ön işlemsiz 22.03 mg/kg, ön işlemlili 23.26 mg/kg). Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda yapılan kurutmalarda ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde vakum kurutucunun askorbik asit miktarını daha iyi koruduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Elde edilen bulgulara göre vakum kurutucunun iç hacminde oksijen içermemesi nedeniyle askorbik asit miktarını daha iyi koruduğu söylenilebilir. Uygulanan ön işlem ise her iki kurutucu tipinde yapılan kurutmalarda askorbik asit miktarını düşürdüğü ortaya koyulmuştur. Negi ve Roy (2000), yaptıkları çalışmada lifli sebzelerde ön işlem uygulamanın askorbik asit miktarına etkisini incelemişler ve ön işlem uygulanan (haşlama, haşlama-1 dak. KMS çözeltisinde bekletme, 1 dak. tuzlu suda bekletme, tuzlu su ve KMS çözeltisinde bekletme (1 dak.), NaHCO₃, MgO ve KMS çözeltileri karışımında 1 dak. bekletme) sebzelerde askorbik asit miktarının daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. En olumsuz ön işlem olarak sebzeleri NaHCO₃, MgO ve KMS çözeltileri karışımında bekletme olduğunu

saptamışlardır. Opara ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada nar meyvesinin kabuk tanesindeki askorbik asit miktarını incelemişler ve tanede askorbik asit miktarının daha az olduğunu saptamışlardır.

Çizelge 4.10. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda farklı sıcaklık değerleri ve ön işlemin kurutulmuş nar tanelerinde askorbik asit miktarları

Kurutma Yöntemi	Askorbik Asit Miktarı (mg/kg)
Kabin kurutucu	
75°C ön işlemsiz	17.49±1.367
65°C ön işlemsiz	17.1±2.890
55°C ön işlemsiz	22.03±3.852
75°C ön işlemlı	16.71±2.314
65°C ön işlemlı	16.23±3.850
55°C ön işlemlı	23.26±2.117
Vakum kurutucu	
75°C ön işlemsiz	24.74±6.231
65°C ön işlemsiz	20.35±3.547
55°C ön işlemsiz	27.13±1.253
75°C ön işlemlı	20.88±2.925
65°C ön işlemlı	21.19±3.289
55°C ön işlemlı	25.36±4.012

4.12. Kurutulmuş Nar Tanesinde Duyusal Değerlendirme

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi kurutulan nar tanelerinin aldığı puanlar 2.67-8.70 arasında değişmektedir. En beğenilen çeşit kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanesi olarak belirlenmiştir. Açık havada yapılan kurutmada ön işlemsiz nar taneleri uygun nem içeriğine sahip olmadıkları için küflenme başlangıcı göstermiş bu nedenle muhafaza edilememiş, duyusal değerlendirilmesi yapılamamıştır.

Çizelge 4.11. Duyusal analiz değerlendirme sonuçları

Kurutma yöntemi	Renk	Sertlik	Tat Aroma	Genel kabul edilebilirlik
Kabin kurutucu ön işlemsiz	4.55±0.097 ^a	3±0.523	4.85±0.100 ^a	8.70±0.213 ^a
Kabin kurutucu ön işlemlili	2.67±0.232 ^b	2.83±0.250	3.83±0.182 ^b	6.86±0.331 ^b
Vakum kurutucu ön işlemsiz	3.83±0.084 ^c	3.08±0.320	4±0.175 ^b	7.4±0.312 ^b
Vakum kurutucu ön işlemlili	3.08±0.218 ^b	3.35±0.230	3.98±0.192 ^b	6.65±0.323 ^b
Açık havada kurutma ön işlemlili	1.90±0.113 ^d	3.70±0.309	3.08±0.247 ^c	4.75±0.449 ^c

abcd Aynı sütundaki farklı harfler istatistiki olarak önemlidir (p<0.05)

Renk: p<0.01

Sertlik:p<0.05

Tat-Aroma: p<0.01

Genel kabul edilebilirlik:p<0.01

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Hicaz çeşidi (*Punica granatum* L.) nar tanelerinde kurutma işlemi sırasındaki ağırlık ve kalite özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve zamana bağlı olarak kinetik araştırılması yapılmıştır. Araştırmada farklı kurutma şartları ve metodlarının kurutulan nar tanelerinde kuruma süresi ve oranına, toplam fenolik madde miktarına, toplam antosiyanin miktarına, antioksidan kapasitesine, HMF miktarına, renk değerlerine, esmerleşme indeksine, büzülme etkisine ve ürünün su aktivitesine etkileri incelenmiş ve optimum koşullar belirlenmiştir. Ayrıca zamana bağlı ağırlık değişimi, toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarlarındaki değişimin kinetiği oluşturulmuş 7 farklı modelleme kullanılarak ağırlık değişim ve kalite kaybı için en uygun modellemeler belirlenmiştir. Kabin kurutucu ve vakum kurutucuda (75°C, 65°C, 55°C) yapılan kurutmalarda ön işlem olarak uygulanan haşlamanın kalite değerleri, kurutma süresi ve oranına etkisi önemli bulunmuştur. Ön işlem uygulanan nar tanelerinin kabin kurutucu ve vakum kurutucuda aynı sıcaklık değerlerindeki ön işlem uygulanmayan nar tanelerine göre daha kısa sürede kuruduğu ve kurutma oranını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca kurutucu tiplerinde sıcaklık değerleri arttıkça kuruma süresinin kısaldığı saptanmıştır. Açık havada yapılan kurutma işleminde ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin 3 gün boyunca yapılan kurutmalarda (1285 dak.) nem içeriğinin ancak %47 oranına düştüğü, aynı hava koşulları ve kuruma ortamında ön işlem uygulanan nar tanelerinin ise 1050 dak.'da %17 nem içeriğine düştüğü belirlenmiştir. Ön işlem uygulamanın farklı kurutma yöntemlerinde kurutma süresini kısalttığı görülmüş, optimum kurutma süresi için 80°C 2 dak. ön işlem uygulamalı 75°C'de vakum kurutucu yapılan kurutmanın uygun olduğu sonucuna varılmıştır (90 dak. %16 nem içeriği). Nem oranı değişiminde en uygun modellemelerin Page ve Modifiye Page modeli olduğu belirlenmiştir (R^2 0.9813–0.9962 değerleri arasında, χ^2 6.16x10⁻⁶–0.000555 değerleri arasında, MBE (-)0.000331–0.027 ve RMSE 0.0163–0.04374 değerleri arasında değişmektedir). Yapılan su aktivitesi ölçümlerinde ise ağırlık değişim süresini olumlu etkileyen sıcaklık artışının son üründe su aktivitesini düşürdüğü

belirlenmiştir. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlem uygulamanın kurutulmuş nar tanelerinin su aktivitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Kalite kriterleri olarak belirlenen ürünün antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasitesi özelliklerine ön işlem uygulamanın olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Vakum kurutucu ve kabin kurutucuda sıcaklık değerleri arttıkça antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarlarının düştüğü ve antioksidan kapasitesinde oluşan kayıpların arttığı belirlenmiştir. Vakum kurutucuda oluşan kayıpların kabin kurutucuda meydana gelen kayıplardan daha az olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak kalite kriterlerini koruyan en uygun kurutma koşulunun vakum kurutucuda ön işlem uygulanmış 55°C’de yapılan kurutma ön işlem olduğu sonucuna varılmıştır. Toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı değişimlerinde enuygun modellemelerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu ortaya konulmuştur (Antosiyanin miktarı değişiminde R^2 0.9138-0.999 değerleri arasında, χ^2 0.0001– değerleri arasında, MBE (-)0,018-0.00895 ve RMSE ise 0.0166–0.0088 değerleri arasında değişmektedir. Toplam fenolik madde değişiminde ise R^2 0.9025 – 0.9987 değerleri arasında, χ^2 6.75x10⁻⁵–0.0623 değerleri arasında, MBE (-)0.00005 0.008 ve RMSE ise 0.066-0.062 değerleri arasında değişmektedir).

Kurutma işlemi öncesinde ön işlem uygulamanın ürünlerde HMF oluşumu üzerine olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. HMF miktarının sıcaklık arttıkça arttığı, en yüksek HMF oluşumunun 75°C’de kabin kurutucuda ön işlemsiz nar tanelerinde olduğu ortaya koyulmuştur (16.72 mg/kg). Vakum kurutucuda yapılan çalışmada aynı sıcaklıklarda HMF oluşumunun kabin kurutuya göre daha az gerçekleştiği belirlenmiştir.

Elde edilen son ürünlerde askorbik asit miktarının sıcaklık arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca ön işlem uygulamanın da olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Vakum kurutucuda yapılan çalışmalarda askorbik asit miktarının aynı sıcaklıklardaki kabin kurutucuya göre daha yüksek düzeylerde korunduğu saptanmıştır. En yüksek askorbik asit miktarı vakum kurutucuda 55°C’de kurutulan ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde görülmüştür.

Tüm kurutma yöntemleri ve koşullarında kurutma işlemi sonunda ürünün renk değerlerinden L^* ve b^* değerlerinin azaldığı a^* değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Renk parametrelerinde görülen bu değişime göre son ürünün daha kırmızı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca sıcaklık değerleri artıkça kabin kurutucu ve vakum kurutucu L^* ve b^* değerlerinin azaldığı, a^* renk değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Ön işlem uygulamanın bu sonucu etkilemediği tespit edilmiştir. Ancak ön işlemin kurutma öncesindeki nar tanelerinin renk değerlerini etkilediği görülmüş, L^* , a^* ve b^* değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Renk karakterizasyon parametrelerindeki değişime paralel olarak kabin kurutucu ve vakum kurutucu sıcaklığın artmasıyla esmerleşme oranının arttığı belirlenmiştir. vakum kurutucu kurutulan ön işlemlili ve ön işlemsiz nar tanelerinde esmerleşme oranının kabin kurutucuya göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Ön işlem uygulamanın kurutulmuş nar tanesinde esmerleşme üzerine olumlu etkisi olduğu, vakum kurutucu ve kabin kurutucuda ön işlemsiz ürünlere göre esmerleşme indeksinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Esmerleşme indeksi de göz önüne alındığında ürünün renginin en iyi korunduğu optimum kurutma koşulunun 55°C ön işlemlili vakum kurutucu olduğu sonucuna varılmıştır.

Kurutulan nar tanelerinde sıcaklık, farklı kurutma yöntemleri ve ön işlemin etkisinin olmadığı tek özelliğin büzülme etkisi olduğu tespit edilmiştir (%80).

Kurutulan nar tanelerinin efektif nem difüzyonu 5.57×10^{-10} - 5.57×10^{-9} m^2/s arasında bulunmuş kurutulmuş gıdalar için belirlenen 10^{-9} – 10^{-10} m^2/s değer aralığında olduğu görülmüştür. Genel olarak ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin aktivasyon enerjisinin daha yüksek olduğu belirlenmiş, en yüksek aktivasyon enerjisinin kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde bulunmuştur (77.94 kJ/mol). Ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin aktivasyon enerjisinin yüksek olması nedeniyle nem hareketi için güçlü bir engel oluşturduğu düşünülmektedir.

Türkiye son yıllarda nar üretim ve ihracatında dünyada önemli sıralarda yer almaktadır. Şanlıurfa'da yetiştirilen Hicaz narının sofralık özellikte olması nedeniyle

tüketimi gün geçtikçe artmakta, buna paralel olarak üretimin artması için nar plantasyonları yapılmaktadır. Nar tanesinin çeşitli kullanım alanları bulunmaktayken kurutulmuş nar tanesi mevsimsel olarak bulunan nar meyvesinin yıl içinde uzun süre tüketimin sağlanmasında en iyi tüketim yöntemlerinden biridir. Dünyada insan sağlığına son yıllarda daha fazla önem verilmekte ve bu doğrultuda gıdaların besleyici özelliklerinin önemi de artmaktadır. Anardana olarak bilinen kurutulmuş nar tanesinin kurutma işlemleri sırasında uygun kurutma koşulları uygulanmadığında kalite özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelebileceği görülmüştür. Bu nedenle nar tanesi kurutulması çalışmalarının vakum kurutucu kullanılarak yapılması önerilmektedir. Sanayi alanında nar tanesi kurutulmasında kurutucu dizayn edilmesi, uygun proses ve kurutma koşullarının belirlenmesinde optimum şartların Page modeline göre oluşturulabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ACAR, J., ALPER, N., ve EVREN, V., 1997. Meyve ve Sebze Teknolojisi Kalite Kontrol Laboratuvar Klavuzu. Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, Ankara, 156s.
- AHMED, M., AKTER, M.S., and EUN, J., 2010. Peeling, Drying Temperatures, and Sulphite-Treatment Affect Physicochemical Properties and Nutritional Quality of Sweet Potato Flour. *Food Chemistry*, 121:112-118.
- AKGÜN, N. A., and DOYMAZ, I., 2005. Modelling of Olive Cake Thin-Layer Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 68:455-461.
- AKPINAR, E. K., BICER, Y., and CETINKAYA, F., 2006. Modelling of Thin Layer Drying of Parsley Leaves in a Convective Dryer and Under Open Sun. *Journal of Food Engineering*, 75:308-315.
- ALTUĞ, T., 1993. Duyusal Test Teknikleri. E. Ü. Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları, No: 28, İzmir, 56s.
- Anonim a, 2007. http://www.batem.gov.tr/haber/haftalar/nar_dunya_tur.pdf
- Anonim b, 2011. <http://www.batem.gov.tr/urunler/meyvelerimiz/nar/nar.htm>
- Anonim c, 2011. Şanlıurfa'da Üretilen Nar Meyvesinin Dış Pazar Araştırması Sonuç Kitapçığı, GAPEKODER
- AOAC Official Method of Analysis 2000 17th Ed., AOAC INTERNATIONAL, GaitHersburg, MR, Method 934.01
- BABALIS, S. J., and BELESSIOTIS, V. G., 2004. Influence of the Drying conditions on the Drying Constants and Moisture Diffusivity During Thin-Layer Drying of Figs. *Journal of Food Engineering*, 65:449-458.
- BCHIR, B., BESBES, S., KAROUI, R., ATTIA, H., PAQUOT, M., and BLECKER, C., 2012. Effect of Air-Drying Conditions on Physico-Chemical Properties- of Osmotically pre-Treated Pomegranate Seeds. *Food Bioprocess Technology*, 5:1840-1852.
- BLOIS, M. S., 1958. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181, 1199-1200.
- CEMEROĞLU, B., ve ARTIK, N., 1990. Isıl İşlem ve Depolama Koşullarının Nar Antosiyaninleri Üzerine Etkisi. *Gıda*, 15(1):13-19.
- CEMEROĞLU, B., VELIOĞLU, S., and ISIK, S., 1994. Degradation Kinetics of Anthocyanins in Sour Cherry Juice and Concentrate. *Journal Of Food Engineering*, 59: 1256-1218.
- CEMEROĞLU, B., YEMENICIOĞLU, A. ve ÖZKAN, M. 2004. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Cilt I, Cemeroğlu, B. (ed.), Bizim Büro Basımevi, Ankara 118s.
- CISSE, M., VAILLANT, F., ACOSTA, O., MAYER, C.D., and DORNIER, M., 2009. Thermal Degradation Kinetics of Anthocyanins from Blood Orange, Blackberry and Roselle Using the Arrhenius, Eyring and Ball Models. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57:6285-6291.
- CORREA, P. C., MARTINS, J. H., and CHRIST, D., 1999. Thin Layer Drying Rate and Loss of Viability Modelling for Raped. *Journal of Agricultural Research*, 74:33-39.
- DANDAMRONGRAK, R., YOUNG, G., and MASON, R., 2002. Evaluation of Various Pre-treatments of Banana and Selection of Suitable Drying Models. *Journal of Food Engineering*, 55:139-146.

- DIAMENTE, L. M., and MUNRO, P. A., 1991. Mathematical Modeling of Hot Air Drying of Sweet Potato Slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 26:99–109.
- DOYMAZ, I., and PALA, M., 2002. Hot Air Drying Characteristics Of Red Pepper. *Journal of Food Engineering*, 55:331–335.
- DOYMAZ, I., 2004. Convective air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 61:359-364.
- DOYMAZ, I., 2004. Pretreatment Effect on Sun Drying of Mulberry Fruits (*Morus Alba* L.). *Journal of Food Engineering*, 65:205–209.
- DOYMAZ, I., 2005. Drying Behavior of Green Beans. *Journal of Food Engineering*, 69:161-165.
- DOYMAZ, I., 2006. Thin-Layer Drying Behaviour of Mint Leaves. *Journal of Food Engineering*, 74:370-375.
- DOYMAZ, I., 2012. Prediction of Drying Characteristics of Pomegranate Arils. *Food Analysis Methods*, 5:841-848
- DROUZAS, A. E., TSAMI, E., and SARAVACOS, G. D. 1999. Microwave / Vacuum Drying of Model Fruit Gels. *Journal of Food Engineering*, 39:117-122.
- DUC, L. A., HAN, J. W., and KEUM, D. H., 2011. Thin Layer Drying Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Stored Products Research*, 47:32-38.
- ERBAY, Z., and İÇIER, F., 2009. A Review of Thin Layer Drying of Foods. Theory, Modeling and Experimental Results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50:441-464.
- ERTEKIN, C., and YALDIZ, O., 2004. Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, 63:349-359.
- EL-GHETANY, H. H., 2006. Experimental Investigation and Empirical Correlations of Thin Layer Drying Characteristics of Seedless Grapes. *Energy Conversion and Management*, 47:1610-1620.
- FERRARI, G., MARESCA, P., and CICCARONE, R., 2010. The Application of High Hydrostatic Pressure for the Stabilization of Functional foods: Pomegranate Juice. *Journal of Food Engineering*, 100:245-253.
- FISCHER, U. A., CARLE, R., and KAMMERER, D. R., 2011. Identification and Quantification of Phenolic Compounds from Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Peel, Mesocarp, Aril and Differently Produced Juices by HPLC-DAD-ESI/MSⁿ. *Food Chemistry*, 127:807-821.
- FORTES, M., OKOS, M.R., and BARRETT, J.R., 1981. Heat and Mass Transfer Analysis of Intra-kernel Wheat Drying and Rewetting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 26:109-125.
- FRIANT, N. R., MARKS, B. P., and BAKKER-ARKEMA, F. W., 2004. Drying Rate of Corn. *Transactions of the ASAE*, 47(5):1605–1610.
- GARZA, S., IBARZ, A., PAGAA, J., and GINER, J., 1999. Non-enzymatic Browning in Peach Puree During Heating. *Food Research International*, 32:335-343.
- GOULA, A. M., and ADAMOPOULOS, K. G., 2006. Retention of Ascorbic Acid During Drying of Tomato Halves and Tomato Pulp. *Drying Technology*, 24:57-64.

- GÖLÜKÇÜ, M., ve TOKGÖZ, H., 2008. Ülkemizde Yetiştirilen Önemli Nar Çeşitlerine Ait Nar (*Punica granatum*) Sularının Bazı Kalite Özellikleri. *Hasad Gıda*, 274:26-31.
- GUNHAN, T., DEMİR, V., HANCIOGLU, E., and HEPBASLI, A., 2005. Mathematical Modelling of Drying of Bay Leaves. *Energy Conversion and Management*, 46:1667-1679.
- HE, L., ZHANG, X., XU, H., XU, C., YUAN, F., KNEZ, Z., NOVAK, Z., and GAO, Y., 2012. Sub Critical Water Extraction Of Phenolic Compounds From Pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioksidant activities with HPLC-ABTS⁺ assay. *Food and Bioproducts*, 90:215-222.
- HENARES, J. A. R., VILLANOVA, B. G., and HERNANDEZ, E. G., 2008. Occurrence of Frosine and Hydroxymethylfurfural as Markers of Thermal Damage in Dehydrated Vegetables. *Eur Food Research Technology*, 228:249-256.
- HENDERSON, S. M., and PABIS, S., 1961. Grain Drying Theory. I. Temperature Effect on Drying Coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, 6:169-174.
- HENDERSON, S. M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 17:1167-1172.
- HII, C. L., LAW, C. L., and Cloke, W., 2009. Modeling Using A New Thin Layer Drying Model and Product Quality of Cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90:191-198.
- HIŞİL, Y., 1993. Enstrümental Gıda Analizleri Laboratuvar Kılavuzu. E. Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 5, 6. Baskı, İzmir, 54s.
- İÇIEK, J., and KRYSIAK, W., 2009. Effect of Air Parameters on The Quality of Dried Potato Cubes. *Drying Technology*, 27:1316-1324.
- INCEDAYI, B., TAMER, C. E., and ÇOPUR, Ö. U., 2010. A Research on the Composition of Pomegranate Molasses. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2):37-47.
- JAISWAL, V., DERMARDEROSIAN, A., and PORTER, J. R., 2010. Anthocyanins and Polyphenol Oxidase From Dried Arils of Pomegranate (*Punica granatum* L.). *Food Chemistry*, 118:11-16.
- JAYASHREE, E., JOHN ZACHARIAH, T., and CHEMPAKAM, B., and ALAGUSELVI, K., 2010. Mathematical Modeling for Drying Kinetics of Black Pepper (*Piper nigrum*) Under Open Sun. *Indian Institute of Spices Research. Indian Institute of Spices Research*,
- KAHTANI, H., 1992. Intercultivar differences in Quality and Postharvest Life of Pomegranate Influenced by Partial Drying. *J amer Soc HORTSCL*, 117:100-104.
- KARABIYIKLI, S., and KIŞLA, D., 2012. Inhibitory effect of Sour Pomegranate Sauces on Some Green Vegetables and Kisir. *International Journal of Food Microbiology*. 155:211-216.
- KELEBEK. H., ve CANBAŞ, A., 2010. Hicaz Narı Şırasının Organik Asit, Şeker ve Fenol Bileşikleri İçeriği ve Antioksidan Kapasitesi, *Gıda* 35(6):439-444

- KINGSLEY, A. R. P., SINGH, D. B., MANIKANTAN, M. R., and JAIN, R. K., 2006. Moisture Dependent Physical Properties of Dried Pomegranate Seeds (Anardana). *Journal of Food Engineering*, 75:492-496.
- KINGSLEY, A. R. P., and SINGH, D. B., 2007. Drying Kinetics of Pomegranate Arils. *Journal of Food Engineering*, 79:741-744.
- KROKIDA, M. K., OREOPOULOU, V., MAROULIS, Z. B., and KOURIS, D. M., 2001. Colour Changes During Deep Fat Frying. *Journal of Food Engineering*, 48:219-225.
- KULKARNI, A. P., ARADHYA, S. M., 2005. Chemical Changes and Antioxidant Activity in Pomegranate Arils During Fruit Development. *Food Chemistry*, 93:319-324.
- LARRAURI, J. A., RUPE'REZ, P., and CALIXTO F. S., 1997. Effect of Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels. *Journal Of Food Engineering*, 45:390-393.
- LEERATANARAK, N., DEVAHASTIN, S., and CHIEWCHAN, N., 2006. Drying Kinetics and Quality of Potato Chips Undergoing Different Drying Techniques. *Journal of Food Engineering*, 77:632-643.
- LEWIS, W. K., 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. *Industrial and Engineering Chemistry*, 13:427-432.
- MADAMBA, P. S., DRISCOLL R. H., and BUCKLE, K. A., 1999. The Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal of Food Engineering*, 29:75-97.
- MARFIL, P. H. M., SANTOS, E. M. and TELIS, V. R. N., 2008. Ascorbic Acid Degradation Kinetics in Tomatoes at Different Drying Conditions. *Food Science and Technology*, 41:1642-1647.
- MASKAN, M., 2001 Kinetics of Colour Changes of Kiwifruit During Hot air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48:169-175.
- MAYOR, L., and SERON, A. M., 2004. Modelling Shrinkage During Convective Drying of Food Materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61:373-386
- MENGES, H. O., and ERTEKIN, C., 2006. Thin Layer Model for Treated and Untreated Stanley Plums. *Energy Conversion and Management*, 47:2337-2348.
- MEYERS, K. J., WATKINS, C. B., PRITTS, M. P., and LIU, R. H., 2003. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:6887-6892.
- MCMINN, W. A. M., 2006. Thin-Layer Modelling of the Convective, Microwave, Microwave-convective and Microwave-vacuum Drying of lactose Powder. *Journal of Food Engineering*, 72:113-123.
- MIDILLI, A., OLGUN, H., and AYHAN, T., 1999. Experimental Data Studies on Mushroom and polen Drying. *International Journal of Energy Research*, 23:1143-1152.
- MIDILLI, A., 2001. Determination of Pistachio Drying Behaviour and Conditions in a Solar Drying System. *International Journal of Energy Research*, 25:715-725.
- MINAEI, S., MOTEVALI, A., NAJAFI, G., and SEYED, S. R. M., 2011. Influence of Drying Methods on Activation energy, Effective Moisture Diffusion and Drying rate of Pomegranate arils. *Australian Journal of Crop Science*, 6:584-591.
- MIRZAEI, E., RAFIEEL, S., KEYHANIL, A., and DJOMEH, Z., 2009. Determining of Moisture diffusivity and Activation Energy in Drying of Apricots. *Res. Agr. Eng.*, 55:114-120.

- MOHAMMADI, A., RAFIEE, S., DJOMEH, Z. E., and KEYHANI, A., 2008. Kinetic Models for Colour Changes in Kiwifruit Slices During Hot Air Drying. *Journal of Food Engineering*, 4:376-383.
- MOHAPATRA, D., and RAO, P. S., 2005. A Thin Layer Drying Model of Parboiled Wheat. *Journal of Food Engineering*, 66:513-518.
- MOREIRA, R., FIGUEIRED, A., and SERONO, A., 2000. Shrinkage of Apple Disks During by Warm Air Convection and Freeze Drying. *Drying Technology*, 18:279-294
- MOTEVALLI, A., MINAEI, S., and KHOSHTAGAZA, M. H., 2011. Evaluation of Energy Consumption in Different Drying Methods. *Energy Conversion and Management*, 52:1192-1199
- MOTEVALLI, A., ABBSZADEH, A., MINAEI, S., KHOSHTAGHAZA, M. H., and GHOBADIAN, 2012. Effective moisture Diffusivity, Activation Energy and Energy Consumption in Thin-layer Drying of Jujube (*Zizyphus jujube* Mill). *Journal Agriculture Science Technology*, 14:523-532.
- MUNDADA, M., HATHAN, B. S., and SWATI, M., 2010. Convective Dehydration Kinetics of Osmotically Pretreated Pomegranate Arils. *Biosystems Engineering*, 107:307-316.
- NEGI, P. S., ROY, S. K., 2000. Effect of Blanching and Drying Methods on β -Carotene, Ascorbic Acid and Chlorophyll Retention of Leafy Vegetables. *Lebensm Wissu- Technology*, 33:295-298.
- OPARA, L. V., AL-ANI, M. R., and AL-SHUAIBI, Y. S., 2009. Physico-chemical Properties, Vitamin C Content, and Antimicrobial Properties of Pomegranate Fruit (*Punica granatum* L.). *Food Bioprocess Technology* 2:315-321.
- ORAK, H. H., AKTAS, T, YAGAR, H, ISBILIR, S. S., EKINCI, N., and SAHIN, F. H., 2011. Antioxidant Activity Some Nutritional and Colour Properties Of Vacuum Dried Strawberry Tree (*Arbutus Polonorum* L.) Fruit. *Acta Scientiarum Polonorum Technology Alimentearus*, 10:327-38.
- OVERHULTS, D. D., WHITE, G.M., HAMILTON, M. E., and ROSS, I. J., 1973. Drying Soybeans with Heated Air. *Transactions of the ASAE* 16:195-200.
- OZDEMIR, M., and DEVRES, Y. O., 1999. The Thin Layer Characteristics of Hazelnuts During Roasting. *Journal of Food Engineering*, 42:225-233.
- PAGE, G., 1949. Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers: M.s.c Thesis. Lafayette, IN: Purdue Universty.
- PANCHARIYA, P. C., POPOVIC, D., and SHARMA, A. L., 2002. Thin-Layer Modelling of Black Tea Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 47:2337-2348.
- PANGANHAVNE, D. R., SAWHNEY, R. L., and SARSAVADIA, P. N. 1999. Effect of various Dipping Pretreatment on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes. *Journal of Food Engineering*, 39:211-216.
- PARASHAR, A., GUPTA, S. K., and KUMAR, A., 2009. Studies on Separation Techniques of Pomegranate Seeds and Their Effect On Quality of *Anardana*. *African Journal of Biochemistry Research*, 3(10):340-343.
- PAULSEN, M. R., and THOMPSON T. L., 1973. Drying Endysus of Grain Sorghum. *Transactions of the ASAE*, 16:537-540.
- PATEL, C., DADHANIYA, P., HINGORANI, L., and SONI, M. G., 2008. Safety Assesment of Pomegranate Fruit Extract: Acute and Subhronic Toxicity Studies. *Food and Chemical Toxicology*, 46:2728-2735.

- PEARSON, D., 1976. Chemical Analysis of Foods. 7th Edn., Church Hill Livingstone, London, UK, 72-73, 138-143, 488-496.
- PELEG, M., NORMAND, M. D., and CORRADINI, M. G., 2010. The Arrhenius Equation Revisited. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52:830-851.
- PIGA, A., CARO, A., and CORDA, G., 2003. From Plums to Prunes: Influence of Drying Parameters Polyphenols and Antioksidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:3675-3681.
- PRABHANJAN, D. G., RAMASWAMY, H. S., and RAGHAVAN, G. S. V., 1995. Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 25:283-293.
- RAYNAL, J., MOUTOUNET, M., and SOUQUET, J. M., 1989. Intervention of Phenolic Compounds in Plum Technology Changes During Drying. *Journal of Food Engineering*, 37:1046-1050.
- SALDAMLI, I., 2007. Gıda Kimyası Kitabı. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 573s.
- SARSAVADIA, P. N., SAWHNEY, R. L., PANGAVHANE, D. R., and SINGH, S. P., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. *Journal of Food Engineering*, 40:219-226.
- SINGH, H., and SODHI, N. S., 2000. Dehydration Kinetics Of Onions. *Journal of Food Science and Technology*, 37(5):520-522.
- SHARMA, G. P., PRASAD, S., and DATTA, A. K., 2003. Drying Kinetics Of Garlic Cloves Under Convective Drying Conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 40(1):45-51.
- SHARMA, G. P., and PRASAD, S., 2004. Effective Moisture of Garlic Cloves Undergoing. *Journal Of Food Engineering*, 65:609-617.
- SHARMA, S. R., ARORA, S., and CHAND, T., 2011. Air Drying Kinetics of Pomegranate Seeds. *International Journal of Food Engineering*, 7(2):7.
- SRIKIATDEN, J., and ROBERTS, J. S., 2006. Measuring Moisture Diffusivity of Potato and Carrot (core and cortex). *Journal of Food Engineering*, 74:143-152.
- THAKUR, N. S., BHAT, M. M., RANA, N., and JOSHI, V. K., 2010. Standardization of Pre-treatments for the Preparation of Dried Arils from Wild Pomegranate. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 620-625.
- THOMPSON, T. L., PEART, R. M. and FOSTER, G. H., 1968. Mathematical Simulation of Corn Drying-A New Model. *Transactions of ASAE*, 11 (4):582-586.
- TOĞRUL, I. T. and PEHLIVAN, D., 2002. Mathematical Modeling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers. *Journal of Food Engineering*, 55:209-216.
- TOĞRUL, I. T., and PEHLIVAN, D., 2004. Modelling of Thin Layer Drying Kinetics of Some Fruits Under Open-Air Sun Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 65:413-425.
- TOĞRUL, I. T., 2010. Modelling of Heat and Moisture Transport During Drying Black Grapes. *International Journal of Food Science and Technology*, 45:1146-1152.
- VARDIN, H., ve ABBASOĞLU, M. 2004. Nar Ekşisi ve Narın Diğer Değerlendirme Olanakları, Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 23-24 Eylül Van
- VELİOĞLU, S., KARADENİZ, F., ve AYDAR, G., 1992. Meyve Suyunda Fiziksel ve Kimyasal Analizler. Meyve Suyu Endüstrisinde Kalite Kontrol Semineri

- Kitabı. Gıda Araş.Fonu,Yayın no1. Ank.Üniv. Ziraat Fak. Gıda Bil. ve Tekn. Böl. Ankara, 129-140.
- VERBEYST, L., OEY, I., PLANCKEN, L. V., HENDRICKX, M., and LOEY, A.V., 2010. Kinetic Study on the Thermal and Pressure Degradation of Anthocyanins in Strawberries. *Food Chemistry*, 123:269-274.
- VERBEYST, L., CROMBRUGGEN, K. V., PLANCKEN, L. V., HENDRICKX, M., and LOEY, A.V., 2011. Anthocyanin Degradation Kinetics During Thermal and High Pressure Treatments of Raspberries. *Journal of Food Engineering*, 105:513-521.
- VICHAPONG, J., SOOKSERM, M., SRIJESDARUK, V., SWATSITANG, P., and SRIJARANAI, S., 2010. High Performance Liquid Chromatographic Analysis of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activities in Rice Varieties. *Food Science and Technology*, 43:1325-1330.
- WANG, C. Y., and SINGH, R. P., 1978. A single Layer Drying Equation for Rough Rice. ASAE No:3001.
- WANG, J., 2002. A Single-Layer Model for Far-Infrared Radiation Drying of Onion Slices. *Drying Technology*, 20:1941-1953.
- WANG, Z., SUN, J., LIAO, X., CHEN, F., ZHAO, G., WU, J., and HU, X., 2007. Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace. *Food Research International*, 40:39-46.
- WROLSTAD, R. E., 1976. Color and Pigment Analyses in Fruit Products. Station Bulletin 624, Agric. Exp. Stn., Oregon State University, Corvallis.
- YAGCIOGLU, A., DEGIRMENCIOĞLU, A., and ÇAGATAY, F., 1999. Drying Characteristics Of Laurel Leaves Under Different Drying Conditions. In *Proceedings of the Seventh International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, Adana, Turkey.
- YALDIZ, O., ERTEKIN, C., and UZUN, H. I., 2001. Mathematical Modeling of Thin Layer Solar Drying Of Sultana Grapes. *Energy*, 26 (5):457-465.
- ZANONI, B., PERI, C., NANI, R and LAVELLIA, V., 1998. Oxidative Heat Damage of Tomato Halves as Affected by Drying,. *Food Research International*, 5:395-401.
- ZHANG, Y., HAN, B., and EZEJI, T. C., 2012. Biotransformation of Furfural 5-Hydroxymethyl Furfural (HMF) by *Clostridium acetobutylicum* ATCC824 During Butanol Fermentation. *New Biotechnology*, 29:345-351.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Tarsus'ta doğdu. 2010 yılında Harran Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı.

EK 1-1. Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	k	K ₀	K ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9874	-0.003933	0.032829	5.67259x10⁻⁵		8.906			1.8328		
	M.Page	0.9874	-0.003933	0.032835	5.67444x10 ⁻⁵		0.0062			1.8328		
	Newton	0.8855	-0.02128	0.09968	0.000497							
	Logaritmik	0.9672	-0.00521	0.050908	0.000144	5.2354	0.008					-4.1649
	Henderson & Pabis	0.9277	-0.00259	0.07317	0.00028	1.1394	0.5697					
	Two Term	0.9277	-0.00259	0.07318	0.000315	0.5697		0.0064	0.0064			0.5697
65°C Ön İşlemsiz	Wang & Singh	0.9580	-0.01279	0.060169	0.000191	-	-					
	Page	0.9958	-0.000331	0.031526	2.42418x10⁻⁵	0.0033	2.1862					
	M.Page	0.9958	-0.0033	0.03155	2.4279x10 ⁻⁵		4.6835			2.088		
	Newton	0.8724	-0.020	0.1011	0.0002		0.0007			2.088		
	Logaritmik model	0.832	-0.03225	0.0551	6.7862x10 ⁻⁵	4.238	0.006					-4.128
	Henderson & Pabis	0.9065	0.0013	0.078142	0.0001	1.1083	0.0081					
55°C Ön İşlemsiz	Two Term	0.9065	0.001318	0.0781	0.000156	0.5541		0.0081	0.0081		0.5541	
	Wang & Singh	0.9848	-0.01206	0.05996	8.7706x10 ⁻⁵	-	-					
	Page	0.9913	0.0004	0.0205	6.16x10⁻⁶	0.0029	1.8450					
	M.Page	0.9913	0.006718	0.020486	6.3594x10 ⁻⁶		3.1455			1.8925		
	Newton	0.8697	-0.01953	0.079485	9.43x10 ⁻⁵		0.0012			1.8915		
	Logaritmik model	0.9112	-0,0245	0,004083	0,00247	6.2415	0.0009					-5.3541
55°C Ön İşlemsiz	Henderson & Pabis	0.9109	0.000912	0.06474	0.000064	1.0921	0.0011					
	Two Term	0.9109	0.000971	0.06474	6.55x10 ⁻⁵	0.5460		0.0011	0.0011		0.5460	
	Wang & Singh	0.9997	0.000533	0.04611	3.2209x10 ⁻⁷	-	-					
						0.0004	5.3855					

EK 1-2. Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	k	K ₀	K ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemlili	Page	0.9813	-0.00845	0.04374	0.000157		0.0012			1.4622		
	M.Page	0.9813	-0.0087	0.04367	0.00014		1.4622			1.4622		
	Newton	0.9421	-0.01638	0.077109	0.000396		0.0095					
	Logaritmik model	0.9685	-0.00601	0.005396	0.000224	1.3636	0.007					-0.2942
	Henderson & Pabis	0.9613	-0.004	0.08545	0.000244	1.0963	0.0107					
	Two Term	0.9613	-0.004	0.08545	0.000285	0.5481		0.0107	0.0107		0.5481	
	Wang & Singh	0.9629	-0.01605	0.061603	0.000271	-	1.4384					
65°C Ön İşlemlili	Page	0.9958	0.002775	0.0184	2.6745x10⁻⁵		4.6835			2.0880		
	M.Page	0.9958	0.002775	0.01846	2.6745x10 ⁻⁵		0.0084			2.0880		
	Newton	0.8724	-0.0222	0.10368	0.00077		0.0069					
	Logaritmik model	0.8627	-0.02864	0.1233	3.2886	3.0031						-0.3458
	Henderson & Pabis	0.9521	-0.028	0.08426	0.0005	1.1083	0.081					
	Two Term	0.9065	0.00284	0.08426	0.00065	0.5541		0.0081	0.0081		0.5541	
	Wang & Singh	0.9848				-	-					
55°C Ön İşlemlili	Page	0.9962	0.0019	0.01814	0.6457x10⁻⁵		6.098			1.9130		
	M.Page	0.9962	0.001759	0.18263	1.67x10 ⁻⁵		0.0063			1.9130		
	Newton	0.8938	-0.1937	0.095187	0.000431		0.0054					
	Logaritmik model	0.8992	0.0025	0.01935	0.00037	1.275	0.6891					-2.014
	Henderson & Pabis	0.9251	-0.00083	0.076474	0.00092	1.1103	0.0063					
	Two Term	0.9251	-0.00083	0.076474	0.001462	0.5552		0.0063	0.0063			0.5552
	Wang & Singh	0.9836	-0.00692	0.0374	7.0028x10 ⁻⁵	-	-					
					0.0027	0.5438						

EK 1-3. Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c		
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9538	0.0056	0.02354	0.00055		0.0011			1.3264				
	M.Page	0.9538	0.0056	0.02324	0.00055		0.0058			1.3264				
	Newton	0.9320	0.01944	0.136902	0.009371		0.0057							
	Logaritmik model	0.9128	0.02234	0.009371	0.000789	3.2819	0.1975						-0.8987	
	Henderson & Pabis	0.9461	-0.0141	-0.01414	0.015227	1.0979	0.0064							
	Two Term	0.9461	-0.01414	0.123396	0.015227	0.549		0.0064	0.0064			0.549		
65°C Ön İşlemsiz	Wang & Singh	0.9513	-0.00197	0.00779	6.0731x10 ⁻⁵	-	0.0050	7.4550						
	Page	0.9969	0.002666	0.01791	4.9254x10⁻⁵			1.0990			2.1495			
	M.Page	0.9969	0.002666	0.01791	4.9254x10⁻⁵			0.0049			2.1494			
	Newton	0.8628	-0.02176	0.115745	0.001914			0.0042						
	Logaritmik model	0.9312	-0.0845	0,09881	0,002887	5.4318	1.1259							-3.4825
	Henderson & Pabis	0.8988	-0.00746	0.090312	0.001359	1.1243	0.005							
55°C Ön İşlemsiz	Two Term	0.8988	-0.0075	0.0903	0.0020	0.5621		0.050	0.0050			0.5621		
	Wang & Singh	0.9859	-0.00667	0.036264	0.000219	-	-							
	Page	0.9966	0.027	0.0163	2.0394x10⁻⁵	0.0017	5.9256				2.041			
	M.Page	0.9966	0.002364	0.0054226	0.000267			0.003			2.0409			
	Newton	0.8710	-0.0208	0.104497	0.00091			0.0026						
	Logaritmik model	0.8912	0.3127	0,132867	0,00036	2.3824	0.0581							1.2557
55°C Ön İşlemsiz	Henderson & Pabis	0.9108	-0.00451	0.079673	0.000577	1.13	0.0031							
	Two Term	0.9108	-0.00451	0.079673	0.0007	0.565		0.0031	0.0031			0.565		
	Wang & Singh	0.9864	-0.006121	0.0337	0.0001031	-	-							
						0.0011	2.1606							

EK 1-4. Kurutma işlemi sırasında ağırlık değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c	
75°C Ön İşlemlili	Page	0.9956	0.005564	0.023524	0.000553		3.536			1.6244			
	M.Page	0.9956	0.005564	0.023524	0.000553		0.0134			1.6244			
	Newton	0.8550	-0.01944	0.136902	0.00937		0.0114						
	Logaritmik model	0.9608	-0.02234	0.0061559	0.003789	4316.5471	2.0953 x10 ⁻⁵						-4315.4831
	Henderson & Pabis	0.87	-0.01414	0.123396	0.015227	1.069	0.0125						
	Two Term	0.87	-0.01414	0.123396	0.015227	0.5345		0.0125	0.0125			0.0761	0.5345
65°C Ön İşlemlili	Page	0.9970	0.004773	0.017767	0.000158		-						
	M.Page	0.9970	0.004773	0.017767	0.000158		0.8565 x10 ⁻⁵			2.0016			
	Newton	0.8930	0.01685	0.10602	0.01124		0.0001			2.0016			
	Logaritmik model	0.9820	-0.0128	0.0351	0.001233	4377.5371	0.0102						-4376.4858
	Henderson & Pabis	0.9095	-0.0107	0.090595	0.004104	1.0722	0.0088						
	Two Term	0.9095	-0.0107	0.090595	0.004104	0.5361		0.0097	0.0097			0.5361	
55°C Ön İşlemlili	Page	0.9973	0.000463	0.01548	5.99x10⁻⁵		2.5608 x10 ⁻⁵						
	M.Page	0.9973	0.000463	0.01548	5.99x10⁻⁵		0.002			1.7237			
	Newton	0.9236	-0.0153	0.08569	0.001469		0.0074			1.7237			
	Logaritmik model	0.9883	-0.00654	0.030534	0.000315	1327.3318	0.0066				3.5636x10 ⁻⁶		-1326.2992
	Henderson & Pabis	0.9411	-0.00827	0.0677	0.001147	1.0802	0.0074						
	Two Term	0.9411	-0.00827	0.0677	0.001147	0.5401		0.0074	0.0074			0.5401	
	Wang & Singh		-0.00657	0.034735	0.000302								

EK 2-1. Kurutma işlemi sırasında % antosiyanin değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9961	-0.00088	0.01638	4.47x10⁻⁵		0.0632			0.6016		
	M.Page	-	-	-	-		-			-		
	Newton	0.9138	-0.01842	0.00689	0.000678		0.0096					
	Logaritmik model	0.9952	0.001306	0.017751	6.3x10 ⁻⁵	0.7821	0.0182					0.2074
	Henderson & Pabis	0.9349	0.00895	0.05591	0.00052	0.9069	0.0085					
	Two Term	0.9973	0.000118	0.009796	2.39x10 ⁻⁵	0.5527		0.0283	0.0035			0.4466
	Wang & Singh	0.9328	0.0011	0.05568	0.00062	-0.0089	2.4242x10 ⁻⁵					
65°C Ön İşlemsiz	Page	0.9979	-0.00014	0.01075	1.93x10⁻⁵		0.0240			0.7216		
	M.Page	0.9979	0.00014	0.01075	1.93x10⁻⁵		0.0057			0.7216		
	Newton	0.9585	0.007837	0.0474	0.00032		0.0061					
	Logaritmik model	0.9957	-0.00178	0.01437	4.13x10 ⁻⁵	0.7410	0.0106					0.2446
	Henderson & Pabis	0.9731	0.00501	0.03121	0.00016	1.0722	0.0097					
	Two Term	0.9973	-0.00045	0.012099	3.66x10 ⁻⁵	0.30558		0.0237	0.6902			0.0037
	Wang & Singh	0.9809	-0.00784	0.03219	0.000207	-0.0064	1.03x10 ⁻⁵					
55°C Ön İşlemsiz	Page	0.9882	0.001434	0.01525	3.87x10⁻⁵		0.0002			1.4342		
	M.Page	0.9882	0.001434	0.01525	3.87x10⁻⁵		0.0026			1.4342		
	Newton	0.9482	-0.00825	0.03186	0.001469		0.0018					
	Logaritmik model	0.9785	-0.00251	0.01928	4.13x10 ⁻⁵	16.3418					1.013x10 ⁻⁶	-1633.1693
	Henderson & Pabis	0.9614	-0.00354	0.02532	0.000107	1.0303	0.0074					
	Two Term	0.9614	-0.00354	0.02532	0.00016	0.5152		0.0020	0.0020			0.5152
	Wang & Singh	0.9864	-0.00027	0.01635	7.43x10 ⁻⁵							

EK 2-2. Kurutma işlemi sırasında % antosiyanin değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemlili	Page	0.9992	0.00118	0.0081	1.1x10⁻⁵		0.0141			0.9112		
	M.Page	0.9992	0.00118	0.0081	1.1x 10⁻⁵		0.0001			0.0176		
	Newton	0.9966	0.00166	0.01712	4.18x10 ⁻⁵		0.0092					
	Logaritmik model	0.9982	0.00179	0.0115	2.67x10 ⁻⁵	0.9516	0.0098					0.0341
	Henderson & Pabis	0.9976	0.00139	0.0121	2.47x10 ⁻⁵	0.9782	0.0090					
	Two Term	0.9976	0.00139	0.01217	3.7x10 ⁻⁵	0.4891		0.0090	0.0090			0.4891
	Wang & Singh	0.9871	0.00829	0.0332	0.00022	-0.0077	1.7469x10 ⁻⁵					
65°C Ön İşlemlili	Page	0.9987	0.00074	0.00951	1.5x10⁻⁵		0.0058			1.0052		
	M.Page	-	-	-	-							
	Newton	0.9987	0,0006	0.0095	1.29x10 ⁻⁵		0.006					
	Logaritmik model	0.9988	0.00062	0.0089	1.59x10 ⁻⁵	1.0250	0.0056					-0.0302
	Henderson & Pabis	0.9987	0.0005	0.00945	1.49x10 ⁻⁵	0.9980	0.0059					
	Two Term	0.9987	0.0005	0.00945	2.24x10 ⁻⁵	0.5361		0.0097	0.0097			0.5361
	Wang & Singh	0.9981	-0.0844	0.0888	0.001577	-0.0024	1.6x10 ⁻⁵					
55°C Ön İşlemlili	Page	0.9929	0.0027	0.01877	5.87x10⁻⁵		0.0025			1.0951		
	M.Page	0.9929	0.0027	0.01877	5.87x10⁻⁵		0.0042			1.0951		
	Newton	0.9899	-0.0056	0.0224	7.13x10 ⁻⁵		0.0040					
	Logaritmik model	0.9928	-0.00321	0.01658	5.5x10 ⁻⁵	1.0218	0.0042					0.0029
	Henderson & Pabis	0.9928	-0.00321	0.01661	7.86x10 ⁻⁵	1.0244	0.0042					
	Two Term	0.9928	-0.00321	0.00166	6.9x10 ⁻⁵	0.5122		0.0042	0.0042			0.5122
	Wang & Singh	0.992	-0.00483	0.01982	7.86x10 ⁻⁵							

EK 2-3. Kurutma işlemi sırasında % antosiyanin değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c	
75°C Ön İşlemlili	Page	0.9992	0.00112	0.0057	5.52x10⁻⁵		0.0141			0.9112			
	M.Page	0.9992	0.00112	0.0057	5.52x10⁻⁵		0,0093			0.9112			
	Newton	0.9966	0.00359	0.0115	1.88x10 ⁻⁵		0,0092						
	Logaritmik model	0.9982	-0.00094	0.0065	1.08x10 ⁻⁵	0.9516	0.0098						0.0341
	Henderson & Pabis Two Term	0.9976	-0.0017	0.0073	8.89x10 ⁻⁶	0.9782	0.0090						
	Wang & Singh	0.9871	-0.0014	0.074	1.1x10 ⁻⁵	-0.0077	1.7469x10 ⁻⁵						
65°C Ön İşlemlili	Page	0.9987	0.00074	0.00951	1.5x10⁻⁵		0.0058			1.0052			
	M.Page	-	-	-	-								
	Newton	0.9987	0,0049	0.0095	1.28x10 ⁻⁵		0.0060						
	Logaritmik model	0.9988	0.00049	0.0095	1.78x10 ⁻⁵	1.0250	0.0056						-0.0302
	Henderson & Pabis Two Term	0.9987	0.0023	0.0114	2.17x10 ⁻⁵	0.9980	0.0059						
	Wang & Singh	0.9987	0.0005	0.00945	2.23x10 ⁻⁵	0.4990		0.0059	0.0059			0.4990	
55°C Ön İşlemlili	Page	0.9994	0.00111	0.0081	1.1x10⁻⁵		0.0016			1.1039			
	M.Page	0.9994	0.00111	0.0081	1.1x10⁻⁵		0.0029			1.1039			
	Newton	0.9954	0.00166	0.0171	4.18x10 ⁻⁵		0.0027						
	Logaritmik model	0.9982	0.00179	0.0116	2.67x10 ⁻⁵	1.3969	0.0018						-0.3902
	Henderson & Pabis Two Term	0.9971	0.00139	0.0122	2.47x10 ⁻⁵	1.0140	0.0028						
	Wang & Singh	0.9981	0.00829	0.0332	0.00022	-0.0024	1.6009x10 ⁻⁶						

EK 2-4. Kurutma işlemi sırasında % antosiyanin değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c	
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9961	-0.00088	0.0163	4.47x10⁻⁵		0.0632			0.6016			
	M.Page	0.9961	-0.00088	0.0163	4.47x10⁻⁵		0.0101			0.6016			
	Newton	0.9138	-0.00147	0.0766	0.00084		0.0096						
	Logaritmik model	0.9952	-0.0013	0.0177	6.3x10 ⁻⁵	0.7821	0.0182						0.2074
	Henderson & Pabis	0.9349	-0.00096	0.0578	0.00056	0.9069	0.0085						
	Two Term	0.9986	0.00012	0.0097	2.39x10 ⁻⁵	0.5527		0.0283	0.4466			0.0035	
	Wang & Singh	0.9328	0.0162	0.0677	0.00091	-0,0089	2.4242x10 ⁻⁵						
65°C Ön İşlemsiz	Page	0.9979	0.000137	0.0107	1.92x10⁻⁵		0.0240			0.7216			
	M.Page	0.9979	0.000137	0.0107	1.92x10⁻⁵		0.0057			0.7216			
	Newton	0.9585	0.0078	0.047	0.00032		0.0088						
	Logaritmik model	0.9957	0.00177	0.0143	4.13x10 ⁻⁵	0.7410	0.0106						0.2446
	Henderson & Pabis	0.9731	0.005	0.031	0.00016	0.9378	0.0056						
	Two Term	0.9973	0.00045	0.012	3.66x10 ⁻⁵	0.3058		0.0237	0.0037			0.6902	
	Wang & Singh	0.9809	0.0078	0.0322	0.000207	-0.0064	1.488x10 ⁻⁵						
55°C Ön İşlemsiz	Page	0.9882	0.00143	0.0153	3.88x10⁻⁵		0.002			1.4342			
	M.Page	0.9882	0.00143	0.0153	3.88x10⁻⁵		0.0026			1.4342			
	Newton	0.9482	-0.0825	0.0318	0.00014		0.0018						
	Logaritmik model	0.9785	0.0025	0.0253	0.00016	1.0319	1.1694						-1633.16
	Henderson & Pabis	0.9614	0.00354	0.0253	0.000107	1.0303	0.0020						
	Two Term	0.9614	0.00354	0.0253	0.00016	0.5152		0.0020	0.0020			0.5152	
	Wang & Singh	0.9864	-0.00028	0.01635	5.3x10 ⁻⁵								

EK.2-5. Kurutma işlemi sırasında % toplam fenolik madde miktarı değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9987	0.000026	0.0083	1.15x10⁻⁵		0.0374			1.6408		
	M.Page	0.9987	0.000026	0.0083	1.15x10⁻⁵		0.0059			1.6408		
	Newton	0.9261	0.0107	0.0623	0.00055		0.0064					
	Logaritmik model	0.9872	0.003	0.0244	0.00012	0.7086	0.0122					0.2668
	Henderson & Pabis Two Term	0.9544	0.0076	0.038	0.00025	0.9138	0.0056					
	Wang & Singh	0.9505	0.0126	0.051	0.00052	-0,0067	1.61x10 ⁻⁵					
65°C Ön İşlemsiz	Page	0.9953	0.0012	0.0132	2.99x10⁻⁵		0.0079			0.8603		
	M.Page	0.9953	0.0012	0.0132	2.99x10⁻⁵		0.0036			0.8603		
	Newton	0.9871	0.00632	0.0221	6.99x10 ⁻⁵		0.0039					
	Logaritmik model	0.9932	0.0026	0.01413	4.01x 10 ⁻⁵	0.8506	0.0046					0.1283
	Henderson & Pabis Two Term	0.9924	0.0034	0.0135	3.04x10 ⁻⁵	0.9710	0.0037	0.0037	0.0037			0.4855
	Wang & Singh	0.9877	0.00524	0.0215	9.31x10 ⁻⁵	-0.0039	6.3293x10 ⁻⁵					
55°C Ön İşlemsiz	Page	0.9869	0.00072	0.0089	2.99x10⁻⁵		8.8788			1.4478		
	M.Page	0.9869	0.00072	0.0089	2.99x10⁻⁵		0.0016			1.4478		
	Newton	0.9455	-0.0053	0.018	4.66x10 ⁻⁵		0.0009					
	Logaritmik model	0.9713	-0.0018	0.0119	2.87x10 ⁻⁵	1105.5720	8.4x10 ⁻⁷					-1104.5571
	Henderson & Pabis Two Term	0.9613	-0.0021	0.0138	3.21x10 ⁻⁵	1.0177	0.0010					
	Wang & Singh	0.9613	-0.0021	0.0138	4.56x10 ⁻⁵	0.5088		0.0010	0.0010			0.5088
							-					
							1.795x10 ⁻⁶					

EK.2-6 Kurutma işlemi sırasında % toplam fenolik madde miktarı değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Kabin Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c
75°C Ön İşlemler	Page	0.99	-0.00171	0.024	9.81x10⁻⁵		0.0196			0.7683		
	M.Page	0.99	-0.00171	0.024	9.81x10⁻⁵		0.006			1.7683		
	Newton	0.9642	0.0038	0.045	0.0003		0.0063					
	Logaritmik model	0.9975	-0.0006	0.012	2.92x10 ⁻⁵	0.7650	0.0111					0.2401
	Henderson & Pabis	0.9711	0.002	0.038	0.00025	0.9550	0,0059					
	Two Term	0.9975	-0.0006	0.012	3.65x10 ⁻⁵	0.2401		8.78x10 ⁻²	0.0111			0.7650
65°C Ön İşlemler	Wang & Singh	0.9947	0.00325	0.017	6.23x10 ⁻⁵	0.9947	1.58x10 ⁻⁵					
	Page	0.9859	-0.0024	0.0251	0.000106		0.007			0.8997		
	M.Page	0.9859	-0.0024	0.0251	0.000106		0.004			0.897		
	Newton	0.9816	0.00078	0.0288	0.00012		0.0042					
	Logaritmik model	0.9923	-0.0024	0.0173	6.03x 10 ⁻⁵	0.7549	0.0072					0.2646
	Henderson & Pabis	0.9820	4.44x10 ⁻⁵	0.028	0.00013	0.9914	0.0041					
55°C Ön İşlemler	Two Term	0.9820	4.44x10 ⁻⁵	0.028	0.0002	0.4957		0.0041	0.0041		0.4957	
	Wang & Singh	0.9936	-0.0025	0.017	5.79x10 ⁻⁵	-0.0045	8.6203x10 ⁻⁶					
	Page	0.9844	0.002	0.0235	9.22x10⁻⁵		0.0005			1.3185		
	M.Page	0.9844	0.002	0.0235	9.22x10⁻⁵		0.0033			1.3185		
	Newton	0.9590	-0.0105	0.03818	0.0002		0.0066					
	Logaritmik model	0.9785	-0.003	0.0261	0.00014	2.8734				0.0009		-1.8478
55°C Ön İşlemler	Henderson & Pabis	0.9724	-0.005	0.0274	0.00013	1.0802	0.0074					
	Two Term	0.9724	-0.0049	0.027	0.00018	0.5214		0.0030	0.0030		0.5214	
	Wang & Singh	0.9748	-0.0051	0.0299	0.00017	-0.0021	2.0809x10 ⁻⁶					

EK.2-7. Kurutma işleminde % toplam fenolik madde miktarı değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c	
75°C Ön İşlemsiz	Page	0.9762	-0.00109	0.0257	0.0001		0.0290			0.5852			
	M.Page	-	-	-	-								
	Newton	-	-	-	-								
	Logaritmik model	0.9938	-0.00005	0.0218	3.37x10 ⁻⁵	0.5116	0.0131					0.4929	
	Henderson & Pabis	0.9025	0.008	0.044	0.0003	0.9256	0.0030						
	Two Term	0.9938	-0.00059	0.012	4.21x10 ⁻⁵	0.4929		1.4036	1.4036			0.0131	0,5345
	Wang & Singh	0.9826	0.0034	0.0219	9.64x10 ⁻⁵	-0,0049	1.23x10 ⁻⁵						
65°C Ön İşlemsiz	Page	0.9958	-0.0003	0.0088	1.28x10⁻⁵		0.0135			0.6728			
	M.Page												
	Newton	0.93	0.0112	0.0359	0.00018		0.0025						
	Logaritmik model	0.9978	0.005	0.0061	0.001233	0.4597	0.0084					0.5358	
	Henderson & Pabis	0.9599	-0.0107	0.090595	0.004104	0.9541	0.0022						
	Two Term	0.9599	-0.0107	0.090595	0.004104	0.4770		0.0022	0.0022			0.4770	
	Wang & Singh	0.9922	-0.00218	0.015532	0.000121	-0.0033	7.0326x10 ⁻⁶						
55°C Ön İşlemsiz	Page	0.9972	3.43x10⁻⁵	0.00607	6.15x10⁻⁶		0.0049			0.8126			
	M.Page	0.9972	3.43x10⁻⁵	0.00607	6.15x10⁻⁶		0.0015			0.8126			
	Newton	0.9802	0.0055	0.0162	3.78x10 ⁻⁵		0.0019						
	Logaritmik model	0.9964	0.00066	0.0066	8.71x10 ⁻⁶	0.5178	0.0044					0.4768	
	Henderson & Pabis	0.9889	0.0024	0.0097	1.59x10 ⁻⁵	0.9795	0.0018						
	Two Term	0.9889	0.0024	0.0097	2.38x10 ⁻⁵	0.4898		0.0018	0.0018			0.4898	
	Wang & Singh	0.9951	0.0015	0.008	1.29x10 ⁻⁵	-0.0033	7.0326x10 ⁻⁶						

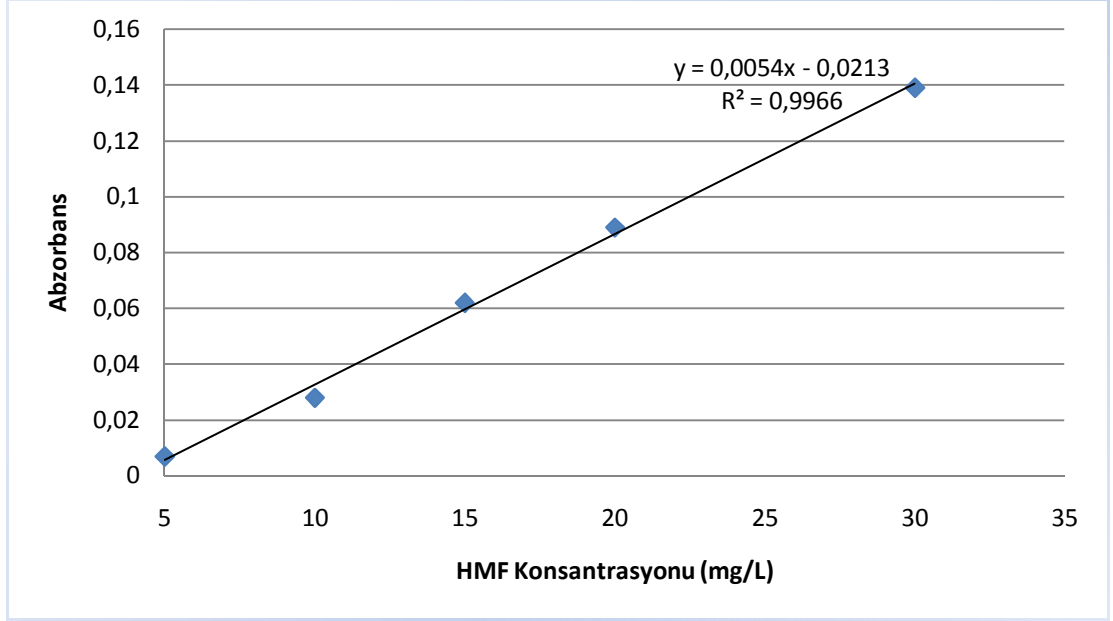
EK.2-8. Kurutma işlemi sırasında % toplam fenolik madde miktarı değişim verileri kullanılarak hesaplanan modelleme değerleri

Vakum Kurutucu	Modelleme	R ²	MBE	RMSE	X ²	a	b	k ₀	k ₁	n	d	c	
75°C Ön İşlemlili	Page	0.9970	-0.0007	0.0103	1.79x10⁻⁵		0.0142			0.7475			
	M.Page	0.9970	-0.0007	0.0103	1.79x10⁻⁵		0.0004			0.7475			
	Newton	0.9931	0.0085	0.0364	0.00019		0.0040						
	Logaritmik model	0.9608	0.00027	0.0063	7.96x10 ⁻⁵	0.6395	0.0085						0.3582
	Henderson & Pabis	0.9759	0.0045	0.0249	0.000103	0.9557	0,0037						
	Two Term	0.9759	0.0045	0.0249	0.00016	0.4778		0.0007	0.0007			0.4778	
	Wang & Singh	0.9928	0.0032	0.016	5.21x10 ⁻⁵	-0,0046	9.6632 x 10 ⁻⁵						
65°C Ön İşlemlili	Page	0.9947	-0.00054	0.0108	1.93x10⁻⁵		0.0104			0.7386			
	M.Page												
	Newton	0.9570	0.0087	0.0307	0.00013		0.0027						
	Logaritmik model	0.9983	0.00015	0.0061	7.48x10 ⁻⁵	0.5225	0.0074						0.4762
	Henderson & Pabis	0.9728	0.0042	0.021	7.18x10 ⁻⁵	0.9634	0.0025						
	Two Term	0.9728	0.0041	0.0207	0.000108	0.4817		0.0037	0.0037			0.4778	
	Wang & Singh	0.9973	0.0015	0.0077	1.2x10 ⁻⁵	-0.0034	6.7914 x10 ⁻⁵						
55°C Ön İşlemlili	Page	0.9891	-0.00085	0.011	2.04x10⁻⁵		0.0066			0.7288			
	M.Page	0.9891	-0.00085	0.011	2.04x10⁻⁵		0.0010			0.7288			
	Newton	0.9557	0.0054	0.022	7.1x10 ⁻⁵		0.0016						
	Logaritmik model	0.9954	-0.00052	0.00701	9.83x10 ⁻⁵	0.3673	0.0069						0.6364
	Henderson & Pabis	0.9660	0.0027	0.017	5.36x10 ⁻⁵	1.0802	0.0074						
	Two Term	-	-	-	-								
	Wang & Singh	0.9939	4.51x10 ⁻⁵	0.0082	1.36x10 ⁻⁵	-0.0022	3.9432 x10 ⁻⁶						

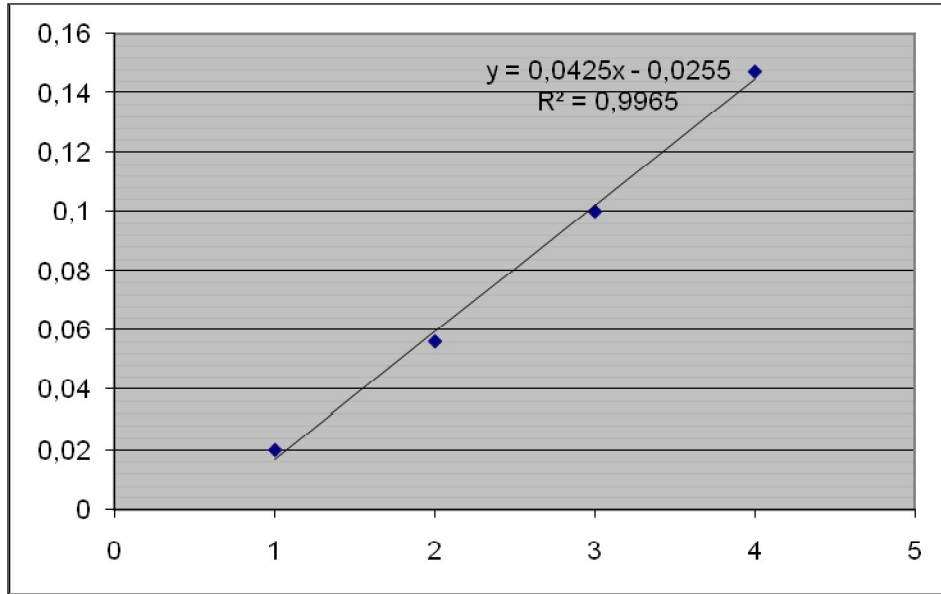
EK 3. Kurutma işlemleri sonunda nar tanelerinde antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarı (mg/kg)

Kurutma yöntemi	Antosiyanin (mg/kg)	Toplam fenolik madde (mg/kg)
Kontrol ön işlemsiz	963.83	9246.81
Kontrol ön işlemliler	946.69	8630.81
Kabin kurutucu		
75°C ön işlemsiz	179.1±25.04	2347.16±92.41
65°C ön işlemsiz	215.98±6.34	2626.2±16.74
55°C ön işlemsiz	303.67±27.71	3187.31±105.16
75°C ön işlemliler	111.73±9.64	3699.19±175.62
65°C ön işlemliler	186.39±4.9	4078.98±152.3
55°C ön işlemliler	263.531±66.89	4202.56±37.91
Vakum kurutucu		
75°C ön işlemsiz	323.17±58.86	4909.54±74.95
65°C ön işlemsiz	379.91±31.59	5187.33±13.6
55°C ön işlemsiz	531.38±59.41	5804.2±21.03
75°C ön işlemliler	212.49±35.25	5334.02±51.13
65°C ön işlemliler	263.91±41.55	5957.1±46.84
55°C ön işlemliler	417.48±0.48	6506.12±67.45

EK 4. Hidroksimetilfurfural (HMF) standart eğrisi



Ek 5. Askorbik asit standart eğrisi



Ek.6.Kurutma işlemleri sonunda HMF miktarları

Kurutma yöntemi	HMF (mg/kg)
Kabin kurutucu	
75°C ön işlemsiz	16.72±2.252
65°C ön işlemsiz	11.72±1.397
55°C ön işlemsiz	8.94±1.279
75°C ön işlemliler	10.56±1.902
65°C ön işlemliler	9.33±1.113
55°C ön işlemliler	7.46±0.358
Vakum kurutucu	
75°C ön işlemsiz	11.54±0.576
65°C ön işlemsiz	9.13±0.593
55°C ön işlemsiz	7.46±0.957
75°C ön işlemliler	9.13±1.584
65°C ön işlemliler	7.46±1.24
55°C ön işlemliler	5.43±0.472

Ek 7. Duyusal analiz formu

KURUTULMUŞ NAR TANESİ DUYUSAL ANALİZ FORMU

Panelistin Adı Soyadı : _____

Tarih : _____

1. RENK

SİYAH KOYU KAHVE AÇIK KAHVE AÇIK KIRMIZI KOYU KIRMIZI

2. SERTLİK

1 2 3 4 5

5. Çok Sert

1. Yumuşak

3. TAT-AROMA

1 2 3 4 5

5. Çok İyi

4. İyi

3. Orta

2. Kötü

1. Çok Kötü

4. GENEL KABUL EDİLEBİLİRLİK

1 2 3 4 5 6 7 8 9

9. Çok fazla beğendim

4. Çok az beğenmedim

8. Çok beğendim

3. Biraz beğenmedim

7. Az beğendim

2. Beğenmedim

6. Çok az beğendim

1. Hiç beğenmedim

5. Ne beğendim, ne beğenmedim

ÖZET

Bu çalışmada Hicaz çeşidi (*Punica granatum L.*) nar tanelerinde kurutma işlemi sırasında ağırlık ve kalite özelliklerinde değişimler incelenmiş ve zamana bağlı olarak kinetik araştırılması yapılmıştır. Araştırmada farklı kurutma şartları ve metodlarının kurutulmuş nar tanelerinde toplam fenolik madde miktarına, toplam antosiyanin miktarına, antioksidan kapasitesine, HMF miktarına, renk değerlerine, esmerleşme indeksine, büzülme etkisine ve ürünün su aktivitesine etkileri incelenmiş ve optimum koşullar belirlenmiştir. Ayrıca son üründe efektif nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre;

- Kurutma süresi göz önünde bulundurulduğunda optimum kurutma koşullarının vakum kurutucuda 75°C'de yapılan ve ön işlem uygulanan nar tanelerinde gerçekleştiği ve nem oranı değişimleri için en uygun modellerin Page ve Modifiye Page modeli olduğu belirlenmiştir.
- Açık havada yapılan kurutma işleminin uzun sürelerde gerçekleştiği saptanmıştır.
- Kurutma öncesinde ön işlem uygulamanın kurutma süresi üzerine olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.
- Antosiyanin miktarı ve antioksidan kapasitesindeki değişim incelendiğinde optimum kurutma koşullarının vakum kurutucuda 55°C'de yapılan ve ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde gerçekleştiği saptanmıştır.
- Toplam fenolik madde miktarını en iyi düzeyde koruyan kurutma koşullarının vakum kurutucuda 55°C yapılan ön işlem uygulanan nar tanelerinde gerçekleştiği saptanmıştır.
- Toplam fenolik madde ve antosiyanin miktarı değişimlerinde en uygun modellemelerin Page ve Modifiye Page modellerinin olduğu ortaya konulmuştur.
- Kurutma işleminde tüm kurutma yöntem ve şartlarında elde edilen son üründe a* renk değerinin arttığı L* ve b* renk değerlerinin ise azaldığı saptanmıştır. Esmerleşme indeksinin ise vakum kurutucu 55°C'de yapılan ön işlem uygulanan nar tanelerinde en düşük miktarda olduğu belirlenmiştir.

- En fazla HMF oluşumunun kabin kurutucuda 75°C’de yapılan ön işlem uygulanmayan örneklerde olduğu saptanmıştır.
- En yüksek askorbik asit miktarı vakum kurutucuda 55°C’de yapılan kurutmada ön işlem uygulanmayan nar tanelerinde görülmüştür.
- Ön işlem uygulamanın ilk üründe su aktivitesini düşürdüğü belirlenmiştir. En düşük su aktivitesi kabin kurutucuda 75°C yapılan ön işlem uygulanan nar tanelerinde belirlenmiştir.
- Efektif nem difüzyonu 5.57×10^{-10} - 5.57×10^{-9} m² /s değerleri arasında, aktivasyon enerjisi ise 24.26 – 77.94 kJ/mol arasında belirlenmiştir.
- Uygulanan ön işlemlerin, farklı sıcaklıkların ve farklı kurutma yöntemlerinin nar tanesinin büzülme oranı üzerine etkisi olmadığı saptanmıştır.
- Duyusal değerlendirmeler sonucunda kabin kurutucuda ön işlem uygulanmayan nar tanelerinin en çok beğenildiği belirlenmiştir.

SUMMARY

In this study, the kinetic changes on weight and quality parameters of Hicaz type pomegranate arils during drying were handled. In the study, the effects of drying conditions and methods on total phenolic compound content, total anthocyanin content, antioxidant capacity, HMF content, color index, browning index, shrinkage effect and water activity of pomegranate arils were investigated and optimum conditions were determined. Besides, effective moisture diffusivity and activation energy values were calculated. According to the results;

- Drying of pomegranate seeds under vacuum drying at 75°C seemed as the most optimum drying condition when considering drying time. Page and Modified Page models were the most relevant models.
- Drying of samples completed in the long time periods in open air drying.
- Positive effects of pretreatment prior to drying on the drying time was observed.
- Vacuum drying at 55°C was the optimum drying condition when considering anthocyanin content and antioxidant capacity.
- Vacuum drying at 55°C was the most convenient drying condition for conserving total phenolic compound in untreated samples.
- Page Model and Modified Page Model were determined as the most relevant models for depicting the total phenolic content and anthocyanin content degradation.
- In all drying conditions and methods, it is resulted that a^* value increased and L^* and b^* values decreased. Browning index value was the lowest in pretreated samples dried at 55°C under vacuum.
- The highest HMF content was observed in the untreated samples dried in cabinet dryer at 75°C
- The highest ascorbic acid content was observed in the untreated samples dried in the vacuum drier at 55°C.
- Pretreatment was caused to a decrease in the water activity. The lowest a_w was determined at pretreated samples dried at 75°C in the cabinet drier.

- Effective moisture diffusivity was determined between 5.57×10^{-10} - 5.57×10^{-9} m^2/h range; activation energy ranged between 24.26 – 77.94 kJ/mol.
- It is resulted that pretreatment, various temperatures and different drying methods have no effects on shrinkage properties of pomegranate arils.
- Pretreated-cabinet dried pomegranate arils were the most admitted (approved) product in the sensory analysis evaluation.