



Modeling of drying and shrinkage behavior of Ahlat with applied various pretreatment

İnci Türk Toğrul¹, Rabia Safiye Çelebi², Hasan Toğrul³

¹Batman University, School of Tourism and Hotel Management, Department of Gastronomy and Culinary Arts, 72100, Batman, Turkey

²Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 03100, Afyonkarahisar, Turkey

³Batman University, Engineering Faculty, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, 72100, Batman, Turkey

Highlights:

- The effect of pretreatment and temperature on Ahlat drying
- Modeling of drying and shrinkage behavior for non-researched Ahlat before
- Calculation of the Diffusion Coefficient for the case where the diameter change is taken into account and not taken

Keywords:

- Ahlat
- Drying
- Pre-treatment
- diffusion coefficient
- modelling

Article Info:

Received: 26.04.2017

Accepted: 05.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416456

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: İnci Türk Toğrul
e-mail: incitgrl@gmail.com
phone: +90 488 217 37 92

Graphical/Tabular Abstract

Model Adı	Model	Model Adı	Model
Newton	$MR=\exp(-k.t)$	Rahman	$D/Do=1-a.(M-Mo)$
Page	$MR=\exp(-k.tn)$	Ratti	$D/Do=a+b.(M/Mo)$
Henderson ve Pabis	$MR=a.\exp(-k.t)$	Mayor ve Sereno	$D/Do= a.\exp(b.M/Mo)$
Logaritmik	$MR=a.\exp(-k.t)+c$	Correa ve ark.	$D/Do=1/(a+b.\ln(M/Mo))$
Midilli	$MR=a.\exp(-k.t)n+c.t$	Hatamipour ve Mowla	$D/Do=a.\ln(M)+b$
		Kilpatrick, Lowe, and Van Ardsel	$D/Do=(M+a)/(Mo+a)$

Table A. Selected drying and shrinkage models

Purpose: In this study, Ahlat (pyrus eleagrifolia) known as wild pear, was dried for four various drying temperatures (45-75°C) in laboratory type dryer with and without pre-treatment.

Theory and Methods:

The pre-treatment solutions such as %65 maltose, sucrose, glucose, maltodekstrin, sorbitol and %55 sucrose-%10 salt %5 Na₂SO₅, %2 EO %5 Na₂SO₅, %5 K₂SO₅ and %2 EO %5K₂SO₅ was used in experiments. Dimensionless moisture content vs. drying time and drying rate vs. moisture content were investigated during drying Ahlat. Exchange of dimensionless moisture content vs time of ahlat was modelled by five model commonly used in literature. Shrinkage during drying Ahlat was investigated six models in literature. Models coefficients were tested in significance level $p<0,05$. The convenience between models and measured values was investigated by determination coefficient (R^2) and reduced chi square (χ^2).

Drying and shrinkage Models given in Table A were used for Ahlat drying.

Results:

Diffusion coefficients, characteristic transport coefficient for falling drying rate period, were determined with and without considering shrinkage for the whole drying temperatures and pre-treatments. There were obtained lower diffusion coefficients and lower activation energy by considering shrinkage.

Conclusion:

It was seen that the logarithmic model for non-pre-treatment, maltose, glucose, sucrose, sucrose-salt, %5 Na₂S₂O₅, %2 EO %5 Na₂S₂O₅ and %5 K₂S₂O₅ pre-treatment and Newton model for sorbitol, maltodekstrin ve %2 EO %5K₂S₂O₅ pre-treatment were convenient for drying Ahlat. It was seen that linear and exponential models were convenient the other models for explaining shrinkage.



Farklı ön işlem uygulanan Ahlatın kuruma ve büzülme davranışının modellenmesi

İnci Türk Toğrul^{1*}, Rabiya Safiye Çelebi², Hasan Toğrul³

¹Batman Üniversitesi, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik YO, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 72100, Batman, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 03100, Afyonkarahisar, Türkiye

³Batman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, 72100, Batman, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Ahlat (yaban armudu)'ın kurumasına ön işlem ve sıcaklığın etkisi
- Üzerinde çalışılmamış Ahlat için kuruma ve büzülme davranışının modellenmesi
- Çap değişiminin dikkate alındığı ve alınmadığı durum için Difüzyon katsayısının hesaplanması

Makale Bilgileri

Geliş: 26.04.2017

Kabul: 05.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416456

Anahtar Kelimeler:

Ahlat,
kurutma,
ön işlem,
difüzyon katsayısı,
modelleme

ÖZET

Bu çalışmada yaban armudu olarak bilinen ahlatlar (*pyrus eleagrifolia*), laboratuvar tipi kurutucuda 4 farklı sıcaklıkta (75°C- 45°C) ön işlemsiz ve 10 ayrı ön işlem uygulanarak kurutuldu. Ön işlem çözeltileri olarak, 65 brixlik maltoz, sakaroz, glikoz, maltodekstrin, sorbitol, %65 sakaroz-%10 tuz, %5 lik Na₂SO₅, %2 EO %5 Na₂SO₅, %5 K₂SO₅ ve %2 EO %5K₂SO₅ çözeltileri kullanıldı. Ahlatların zamanla boyutsuz nem içeriğindeki değişim ve nem içeriği ile kuruma hızındaki değişim incelendi. Azalan kuruma hızı dönemi için karakteristik taşınım katsayısı olan difüzyon katsayısı tüm sıcaklık ve ön işlemler için büzülmenin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için hesaplandı. Büzülmenin dikkate alınmasıyla daha düşük difüzyon katsayıları ve daha düşük aktivasyon enerjisi elde edildi. Ahlatın zamanla boyutsuz nem içeriğindeki değişim literatürde yaygın olarak kullanılan 5 model (Newton, Page, Henderson-Pabis, Logaritmik ve Midilli modelleri) kullanılarak modellendi. Model katsayıları p<0,05 anlamlılık düzeyinde test edildi. Modellerin ölçüm değerleri ile uygunluğu R² ve χ^2 testleriyle incelendi. Ön işlemsiz, maltoz, glikoz, sakaroz, sakaroz-tuz, %5 Na₂S₂O₅, %2 EO %5 Na₂S₂O₅ ve %5 K₂S₂O₅ işlemlerinde *Logaritmik* modelin, sorbitol, maltodekstrin ve %2 EO %5K₂S₂O₅ işlemlerinde *Newton* modellerinin en uygun olduğu görüldü. Ahlatın kuruması sırasında meydana gelen büzülme literatürdeki 6 büzülme modeliyle incelendi. Büzülme açıklama doğrusal ve exponansiyel modellerin diğer modellere göre daha uygun olduğu görüldü.

Modeling of drying and shrinkage behavior of Ahlat with applied various pretreatment

H I G H L I G H T S

- The effect of pretreatment and temperature on Ahlat drying
- Modeling of drying and shrinkage behavior for non-researched Ahlat before
- Calculation of the Diffusion Coefficient for the case where the diameter change is taken into account and not taken

Article Info

Received: 26.04.2017

Accepted: 05.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416456

Keywords:

Ahlat,
drying,
pre-treatment,
diffusion coefficient,
modelling

ABSTRACT

In this study, Ahlat (*pyrus eleagrifolia*) known as wild pear, was dried for four various drying temperatures (45-75°C) in laboratory type dryer with and without pre-treatment. The pre-treatment solutions such as %65 maltose, sucrose, glucose, maltodekstrin, sorbitol and %55 sucrose-%10 salt %5 Na₂SO₅, %2 EO %5 Na₂SO₅, %5 K₂SO₅ and %2 EO %5K₂SO₅ was used in experiments. Dimensionless moisture content vs. drying time and drying rate vs. moisture content were investigated during drying Ahlat. Diffusion coefficients, characteristic transport coefficient for falling drying rate period, were determined with and without considering shrinkage for the whole drying temperatures and pre-treatments. There were obtained lower diffusion coefficients and lower activation energy by considering shrinkage. Exchange of dimensionless moisture content vs time of ahlat was modelled by five model commonly used in literature. Models coefficients were tested in significance level p<0,05. The convenience between models and measured values was investigated by determination coefficient (R²) and reduced chi square (χ^2). It was seen that the logarithmic model for non-pre-treatment, maltose, glucose, sucrose, sucrose-salt, %5 Na₂S₂O₅, %2 EO %5 Na₂S₂O₅ and %5 K₂S₂O₅ pre-treatment and Newton model for sorbitol, maltodekstrin ve %2 EO %5K₂S₂O₅ pre-treatment were convenient for drying Ahlat. Shrinkage during drying Ahlat was investigated six models in literature. It was seen that linear and exponential models were convenient the other models for explaining shrinkage.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: incitürk.togrul@batman.edu.tr / Tel: +90 488 217 3792

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gıdaların kurutularak muhafaza edilmesi yöntemi insanoğlunun kullandığı en eski dayandırma yöntemidir. Gıdalar, ya güneş ısısından faydalanarak veya başka kaynaklardan elde edilen ısı yardımı ile kurutulur. Meyve ve sebzeler veya genel olarak çeşitli ürünler güneşte veya yapay kurutucularda kurutulabilmektedir. Güneş ışınlarına açık olarak kurutmada birçok teknik problem vardır. Bu nedenle daha iyi kalite kontrolü yapmak ve kayıpları azaltmak için yapay kurutma kullanılmalıdır. Kurutma işleminin gerçekleştirildiği kurutucularda herhangi bir ürünün kurutulabilmesi için ön çalışma ve deneyler gereklidir. Kurutma deneyleri, uygun bir kurutucu tipinin seçimi, kurutucu tasarımında yararlı veri ve sonuçların elde edilmesi, çalışma koşullarının üretimin biçim ve kapasitesine olan etkilerinin ve kuruma mekanizmasının saptanması için yapılabilir. Kuruma teknikleri içinde sıcak hava ile konvektif kurutma literatürde çok yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. [1]. Akışkan yataklı kurutucu [2], güneş altında kurutma [3] ve ısı pompalı kurutucu [4] gibi ürüne ve maliyete bağlı farklı tasarımlar geliştirilmiştir. Son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan mikrodalga [5, 6] ve infrared teknolojisi [7-9] kuruma süresinin kısalması ile daha kaliteli ürün elde edilmesini sağlayarak gıda sanayindeki yerini almıştır.

Tarımsal ürünlerin kurutulmadan önce bazı ön işlemlere tabi tutulmaları ile renk ve dokusal değişiklikler gibi istenmeyen bazı değişikliklerin azaltılmasına yardımcı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, doku yapısını rahatlatarak kuruma süresini azaltır ve kaliteli bir kurutulmuş ürün elde edilir. Bazı ön işlemlerde potasyum ve sodyum hidroksit, potasyum karbonat, potasyum metabisülfid, metil ve etil ester emülsiyonları, sitrik ve askorbik asitler en sık ve ticari olarak kullanılır [10, 11]. Ürünün kuruduktan sonra en az hasarla eski haline dönebilmesi istendiğinden 'rehidrasyon yeteneği' literatürde incelenen kuru ürün kalite parametreleri arasında yerini almaktadır. [12, 13]

Kuruma kinetikleri incelenen gıdaların kuruma davranışlarını en iyi ifade eden model denklemi araştırılması, ürün hasarı ve aşırı enerji tüketimi gibi işletme problemlerini en aza indirmek için kullanılan önemli bir araçtır. Kurutma sürecini tanımlamak için, teorik, yarı teorik ve ampirik olarak gruplandırılabilen [14-16], difüzyondan ince tabakalı modellere kadar birçok matematiksel model [17, 18] önerilmiştir. Armut kurutma ve kuruma davranışlarının işlem özellikleri ile ilgili bazı çalışmalar yayınlanmıştır. Farklı armut türleri için [19], armut dilimleri için [20-22], osmotik-dehidrasyon ön işlemi uygulandıktan sonra [23, 24], sitrik asit ile muamele ederek [21], kuruma sırasında meydana gelen büzülmeyi dikkate alarak [25, 26] kurutma yapıldığı gibi, güneş enerjili kurutucularda kurutma [25], laboratuvar tipi konvektif kurutucularda kurutma [20, 21] ve kesikli kurutma tekniği kullanılması [27] gibi farklı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmaların bazılarında kuruma sürecini açıklayan tek tabaka kuruma modelleri de

tanımlanmışlardır [28]. Ahlat (yaban Armudu), gülgillerden olup, ormanlarda, tarla kenarlarında ve dağlık arazide kendiliğinden yetişen bir ağaçtır. Dikenli, ufak boyolu bir ağaç türü olup, büyük bir çalı görünümünde; boyu 5-6 metre yüksekliğe kadar uzanabilen, yuvarlak tepeli, sürgünlerin değişiminden oluşmuş dikenli bir ağaç türüdür. Yaprakları gri, yeşil, dar şekilde tüylü bir şekilde dalları dikenlidir. İlkbaharda açan çiçekleri beyaz, meyvesi 3-4 cm çapında, kısa saplı, sulu ve buruk tadı olan bir meyve türünde olan ahlat meyvesi, olgunlaşmadan ince açık yeşil, olgunlaştığında kahverengi bir renk alır. Ahlat (*Pyrus Eleagrifolia*) meyvesinin henüz günümüzde yetiştiriciliği bulunmayıp tamamen doğanın saf ürünüdür. Geçmişten beri Ahlat meyvesi olgun halinde yenilerek, kurutulup yada turşusu yapılarak tüketilmektedir. Ahlatın kurutulmasının yapıldığı yörelerimizde, ahlat, genellikle ilk önce fırınlara verilerek ön kurutmaya tabi tutulur, burada ahlatın suyunun büyük kısmı uçurulur. Daha sonra güneş ışığı altına serilerek kalan su uzaklaştırılır. Daha sonra torbalara ya da çuvalara konularak kışa hazır hale getirilir [29-31]. Doğanın yabani bir ürünü olan Ahlat fazlaca tanınmadığından kurutulması ile ilgili literatürde hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Ahlatın ön işlemleri ve ön işlemsiz olarak laboratuvar tipi kurutucuda kurutulması sırasında kuruma ve büzülme davranışının incelenmesi ve bu davranışları en iyi açıklayabilecek model denklemlerin araştırılması ve kurumayı karakterize eden kütle transfer katsayılarının belirlenmesidir.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Materyal ve Hazırlama Teknikleri (Material and Preparation Techniques)

Bu çalışmada Ankara Elmadağ'ından toplanan ahlatlar kullanıldı. Saplarından ayrılan ahlatlar deneyler süresince nem kaybetmemesi için buzdolabında muhafaza edildi. Kurutma işlemi laboratuvar tipi kurutucuda gerçekleştirildi. Ahlatlar laboratuvar tipi bir kurutucuda 4 farklı sıcaklıkta (75°C, 65°C, 55°C, 45°C) ön işlemsiz ve 10 ayrı ön işlem uygulanarak kurutuldu. Birbirine en yakın boyutlardaki ahlatlar seçildi. Ön işlem uygulanmadan ve 10 ayrı ön işlem uygulanarak tepsilere yerleştirildi. Ön işlemler, 65 brixlik maltoz, sakaroz, glikoz, maltodekstrin, sorbitol ve %55 sakaroz- %10 tuz çözeltilerinde 1 saat bekletilerek, %5 lik Na₂S₂O₅, %2 EO %5 Na₂S₂O₅, %5 K₂S₂O₅ ve %2 EO %5K₂S₂O₅ çözeltilerinde ise 20 dakika bekletilerek uygulandı. Ön işlem çözeltilerinden çıkarılan ahlatların yüzeyleri peçeteye kurutularak tartıldı ve bir kumpas yardımıyla çapları ölçüldü. Tartımdan sonra kurutucuya yerleştirilen ahlatların saatlik olarak ağırlıkları, 2 saatlik periyotta da çapları ölçüldü ve kaydedildi. Bütün sıcaklıklarda ahlatlar sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Başlangıç nem içeriği 75°C 'de sabit tartıma gelen kadar (24 saat) kurutularak belirlendi. Ahlatların başlangıç nem içeriği Tablo 1'de verilmiştir. Deneyler üç paralelli olarak yürütüldü ve ortalaması alınarak kullanıldı. Ölçümlerin

standart sapması Eş. 1'den hesaplandı sonuçlar Tablo 2'de verildi. Tablo 2'den görüldüğü üzere her sıcaklık ve her ön işlem için standart sapma nem içeriği değerleri için 0,55-9,50 aralığında çap ölçümleri için 1,16-7,67 aralığında değişmektedir. Bulunan bu standart hatalar mühendislik uygulamalarında kabul edilebilir sınır olan %10'un altında kaldığından ölçümlerin güvenle kullanılabilceği düşünülmektedir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Burada;

σ : Standart Sapma
 N : Dizinin Eleman Sayısı
 x_i : Dizinin x elemanı.
 \bar{x} : Dizideki Sayıların Aritmetik Ortalaması

2.2. Kuruma Verilerinin ve Çap Değişiminin Matematiksel Modellenmesi

(Mathematical modelling of drying data and diameter change)

Ahlatların zamanla boyutsuz nem içeriğindeki ve çap içeriğindeki değişiminin literatürde yaygın olarak kullanılan Tablo 3'de verilen modellere uygunluğu araştırıldı. Model katsayılarının anlamlılığı t-test ile modellerin ölçüm sonucu ile uyumluluğu ise R^2 ve Eş. 2 ile verilen χ^2 ile incelendi.

Tablo 1. Ahlatların başlangıç nem içeriği, % yaş temel (Initial moisture content of Ahlat, % wet basis)

	M_o		M_o
Önişlemsiz	71,3	%55 Sakkaroz %10 Tuz	70,6
%65 Maltoz	70,7	%5 $Na_2S_2O_5$	68,3
%65 Glikoz	70,6	%2EO %5 $Na_2S_2O_5$	69,4
%65 Sakkaroz	68,8	%5 $K_2S_2O_5$	69,8
%65 Sorbitol	68,3	%2EO %5 $K_2S_2O_5$	69,7
%65 Maltodekstrin	68,6		

Tablo 2. Ölçümlerin Standart sapması (Standard derivation of measurements)

Uygulan an Ön işlem	Nem İçeriği				Çap			
	75°C	65°C	55°C	45°C	75°C	65°C	55°C	45°C
Önişlemsiz	3,9164	8,4248	2,2311	2,9832	5,3783	5,6410	4,4135	4,0723
Maltoz	9,0947	3,2854	6,4219	4,6962	1,7470	5,7468	1,7986	1,6656
Glikoz	9,3620	2,8609	8,8174	6,1736	3,4888	6,3877	4,8186	2,9808
Sakkaroz	2,1323	5,3690	1,3180	4,9887	6,0861	3,3914	7,6756	2,5734
Sorbitol	2,8505	4,3911	2,3741	3,4532	4,4060	2,0477	3,5791	2,4082
Maltodekstrin	1,5033	2,0769	4,6313	8,1847	2,1070	2,2599	3,6217	2,2243
Sakkaroz+Tuz	9,5002	7,5247	2,3033	7,4964	7,0709	6,1250	4,7841	0,7361
%5 $Na_2S_2O_5$	0,5504	3,5608	6,8482	3,6519	2,8070	2,8533	2,8816	1,2062
%2EO %5 $Na_2S_2O_5$	4,1553	4,8009	5,9657	9,1172	1,1667	1,6723	6,0759	4,5103
%5 $K_2S_2O_5$	7,3154	1,8408	7,7224	1,1974	3,0253	2,2796	2,6599	2,0871
%2EO %5 $K_2S_2O_5$	7,0250	6,3585	6,4407	2,4915	3,2603	2,2262	3,8350	6,6331

Tablo 3. Kurutma ve Büzülme modelleri (Drying and Shrinkage Models)

Model No	Model Adı	Model	Referans	Model Adı	Model	Referans
1	Newton	$MR=\exp(-k.t)$	[32]	Rahman	$D/Do=1-a.(M-Mo)$	[37]
2	Page	$MR=\exp(-k.tn)$	[33]	Ratti	$D/Do=a+b.(M/Mo)$	[38]
3	Henderson ve Pabis	$MR=a.\exp(-k.t)$	[34]	Mayor ve Sereno	$D/Do= a.\exp(b.M/Mo)$	[39]
4	Logaritmik	$MR=a.\exp(-k.t)+c$	[35]	Correa ve ark. Hatamipour ve Mowla	$D/Do=1/(a+b.\ln(M/Mo))$	[40]
5	Midilli	$MR=a.\exp(-k.t)n+c.t$	[36]	Kilpatrick, Lowe, and Van Ardsel	$D/Do=(M+a)/(Mo+a)$	[42]

Burada N gözlem sayısı, n ise denklemdeki sabitlerin sayısıdır.

$$\gamma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{deneysel,i} - x_{tahmini,i})^2}{N-n} \quad (2)$$

2.3. Difüzyon Katsayısı (Diffusion Coefficient)

Etkin difüzyon Katsayısını belirlemek için Fick'in difüzyon modeli kullanıldı. Azalan kuruma hızı döneminde kuruma hızı ise küresel geometri ve uzun kuruma süreleri için Eş. 3 ile verilen Fick'in II. yasasının çözümünden hesaplanır.

$$t = \frac{r^2}{9.87.D} \ln \frac{0.608.(M_o - M_e)}{(M - M_e)} \quad (3)$$

Burada; $\beta=D.t/r^2$; r=yarıçap, m; D=katı içinden nem diffüzyon hızı, m²/s

M: Herhangi bir andaki nem içeriği; M_e: Denge nem içeriği, M_o=Başlangıç nem içeriği (t=0 anındaki)

Difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlayan Eş. 4'de verilen Arrhenius tipi denklemden hareketle kurutma aktivasyon enerjisi (kJ/mol) hesaplanabilmektedir.

$$D = D_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Kuruma Eğrileri (Drying Curves)

Elde edilen ağırlık kaybı değerlerinden başlangıç nem içeriği değerini kullanarak g su /g kuru madde cinsinden kuru temelde nem içeriği değerleri elde edildikten sonra her bir zaman için başlangıç nem içeriğine bölünerek boyutsuz nem içeriği değerleri elde edildi. Her bir ön işlem için tüm kurutma sıcaklıklarında zamanla boyutsuz nem içeriğindeki değişim (M/M_o) grafiğe alındı (Şekil 1).

Beklendiği gibi, sıcaklığın nem oranındaki azalma üzerine güçlü bir etkisi gözlemlendi. Her bir ön işlemde, kuruma süresi, kurutma sıcaklığı arttıkça azaldı. Artan sıcaklık ile toplam kuruma süresinin azalması, sıcaklık arttıkça ürün içindeki buhar basıncının artmasına bağlı olabilir ve bu da nemin ürün yüzeyine daha hızlı göçüyle sonuçlanır. Diğer örneklerde de benzer eğilimler gözlenmiştir. Çeşitli yazarlar, defne yaprağı [4], çekirdeksiz üzüm [9], elma [17], havuç [18] ve armut [20, 21] gibi çeşitli meyve ve sebzeleri kurutmak için daha yüksek sıcaklık kullanıldığında kuruma sürelerinde belirgin azalmalar olduğunu bildirmişlerdir.

Zamanla nem içeriğinin nümerik diferansiyeli alınarak kuruma hızları elde edildi. Şekil 2'de ahlatların nem içeriği ile kuruma hızlarındaki değişim görülmektedir. Nem içeriğindeki azalmaya bağlı olarak kuruma hızı değerlerinde sürekli bir azalma olması, kurumunun sabit hız periyodu gözlenmeden sadece azalan kuruma hızı döneminde

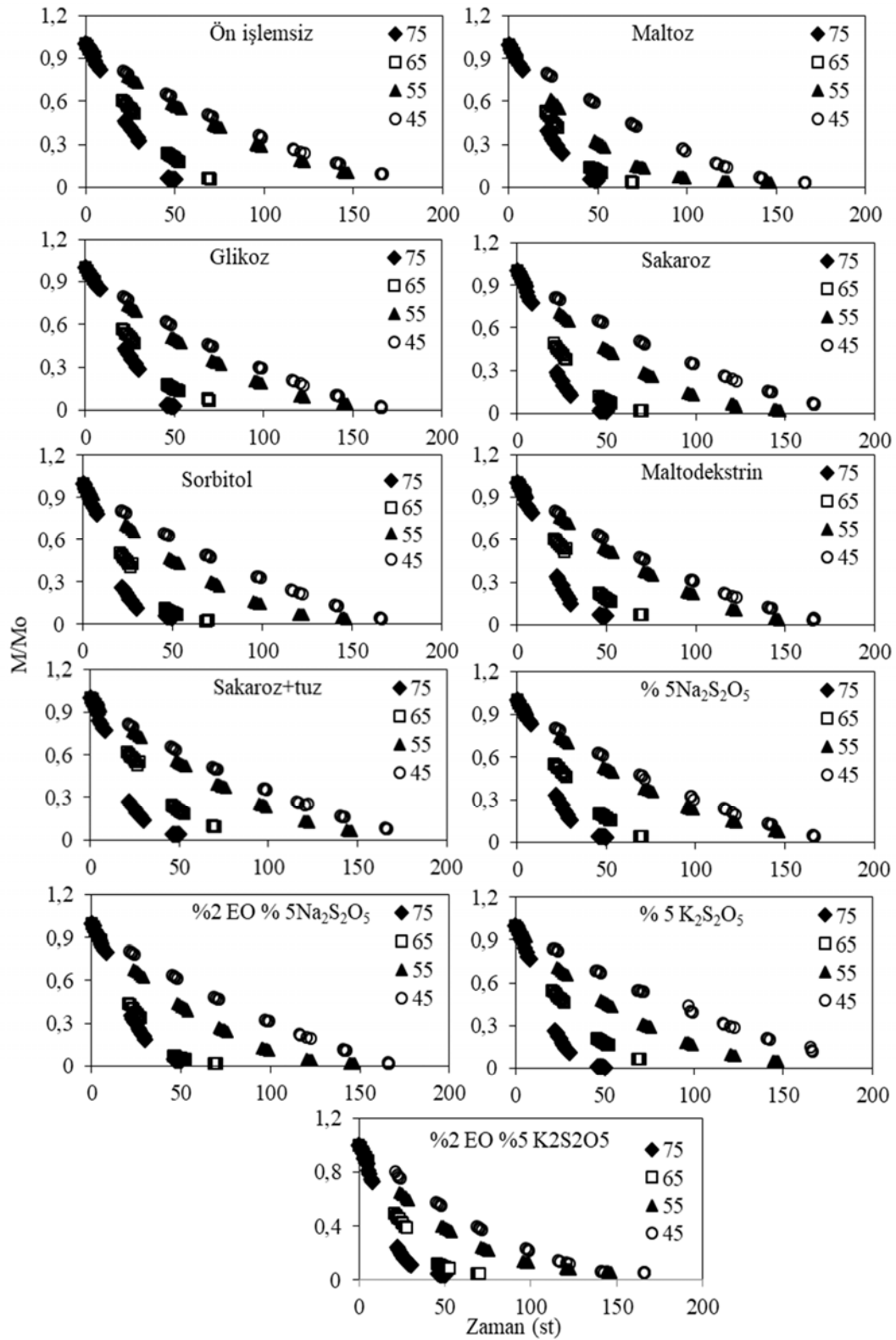
gerçekleştiğini gösterir. Bu sonuç literatür ile de uyumludur [20, 21]. Bu dönemde nem göçü difüzyon mekanizması yoluyla gerçekleşir. Kuruma hızları, kurutma işleminin başlangıcında daha yüksekti ve daha sonra tüm sıcaklıklarda ve tüm ön işlemler için nem oranında azalma ile azaldı. Ayrıca, daha yüksek kuruma havası sıcaklığı, daha yüksek kuruma hızı ve nem içeriğindeki daha hızlı düşüş meydana getirdi ve bu nedenle toplam kuruma süresini azalttı. Benzer sonuçlar literatürde yaygın bir şekilde görülmektedir. [17, 18] Uygulanan ön işlemler arasında mukayese yapabilmek amacıyla 75°C de tüm ön işlemlerin zamanla boyutsuz nemdeki ve nem içeriği ile kuruma hızındaki değişim grafiğe geçirildi. Şekil 3'de zamanla nem içeriğindeki değişim Şekil 4'de ise nem içeriği ile kuruma hızındaki değişim görülmektedir. Uygulanan ön işlemler arasında, her ne kadar diğer ön işlemlere göre daha hızlı kuruma sağlaması ve içerisindeki sülfidin mikrobiyolojik bozunmaya ve böceklenmeye karşı koruyucu etkisinin bulunması bakımından meta bisülfid ve Etiloleat meta bisülfid çözeltilerinin uygun olduğu görülse de, kuruma hızı bakımından ön işlemlerin birbirine çok yakın sonuçlar vermesi nedeniyle, duyu analizi yapılarak şeker çözeltileri ile osmotik-dehidrasyona tabi tutulan ahlatlar için lezzet açısından daha tatminkar sonuçlar elde edilebilir ve tüketiciye bu yönüyle işlenmiş ürün olarak da sunulması tercih edilebilir.

3.2. Ahlatın kuruması sırasında boyut değişimi (Dimension Change during Ahlat drying)

Farklı ön işlem ve sıcaklık uygulamaları uygulanarak yapılan kurutmada büzülme durumunun açıklanabilmesi için boyutsuz nem içeriğine karşı boyutsuz çap grafiğe geçirilmiştir (Şekil 5). Şekil 5'den görüldüğü gibi, farklı sıcaklıklarda %20-%30 arasında değişen büzülme (çap değişimi) meydana gelmektedir. Genel olarak çok belirgin bir fark görülmesi de sıcaklık artışı ile büzülme artmaktadır (bu artış maksimum %10 oranındadır).

3.3. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi (Diffusion Coefficient and Activation energy)

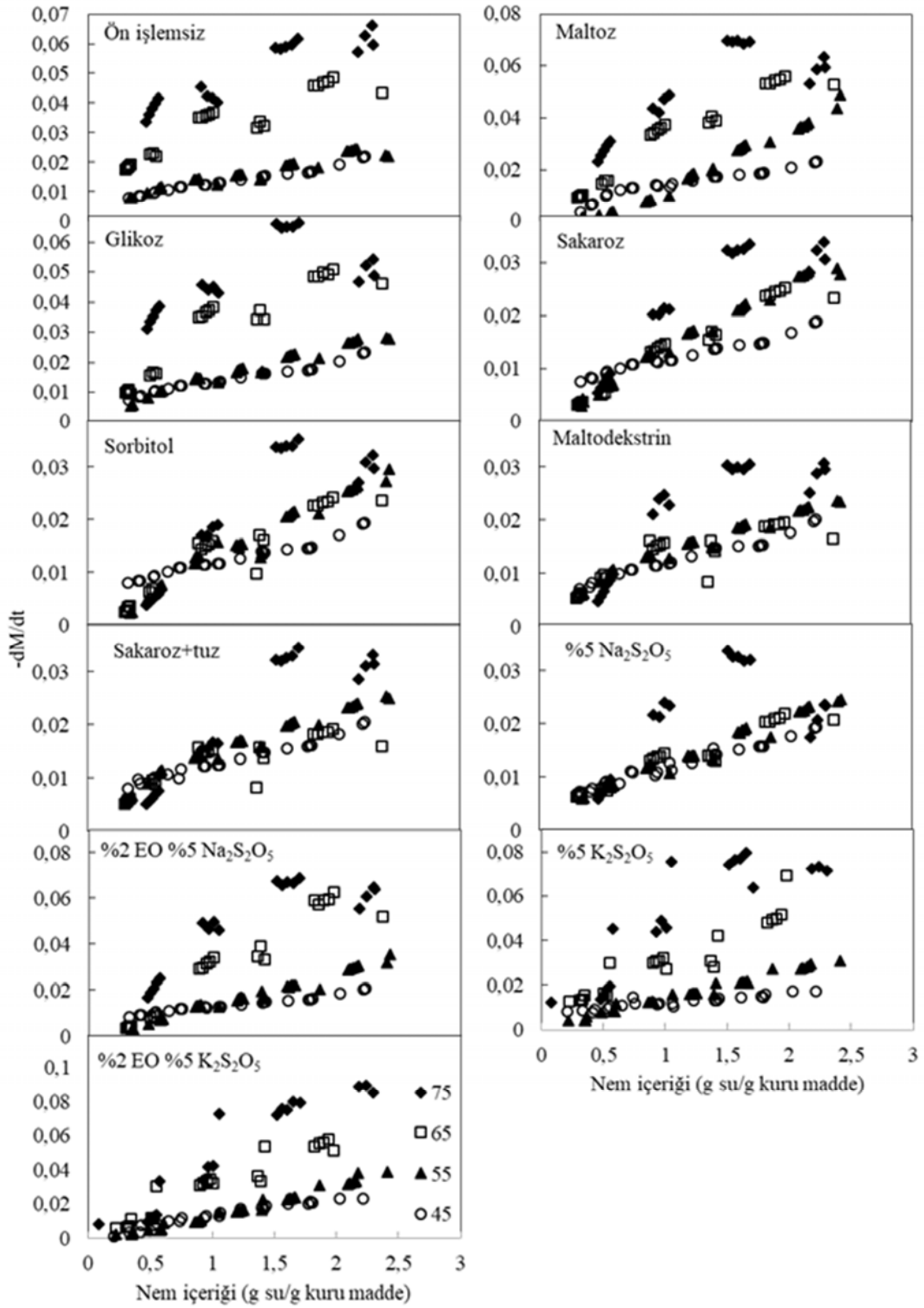
Ahlatların kuruması azalan kuruma hızı döneminde gerçekleştiğinden bu dönemde nemin hareketi katı içi difüzyon ile sağlanır. Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transfer direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değerine çok yakındır. Şekil 2'den tüm sıcaklıklarda ve tüm ön işlemlerde ahlatın azalan kuruma hızı döneminde kuruduğu gözlemlendi. Bu kuruma dönemine ait karakteristik taşınım katsayısı olan difüzyon katsayıları, tüm sıcaklık ve tüm ön işlemler için, çaptaki değişimin dikkate alınması ve alınmaması durumları için hesaplandı. Çap değişiminin dikkate alınmadığı yöntemde difüzyon katsayısı deneysel veriden eğim metodu ile hesaplanmıştır. Çap değişiminin dikkate alındığı yöntemde ise, her bir zamandaki ölçülen nem içeriği ve çapın, seriye açılım denkleminde değişken



Şekil 1. Farklı ön işlem uygulanan ahlatların boyutsuz nem içeriğinin zamanla değişimi
(Dimensionless moisture content vs. drying time for Ahlat applied various pre-treatments)

olarak kullanılmasıyla sabit bir difüzyon katsayısı hesaplanmıştır.

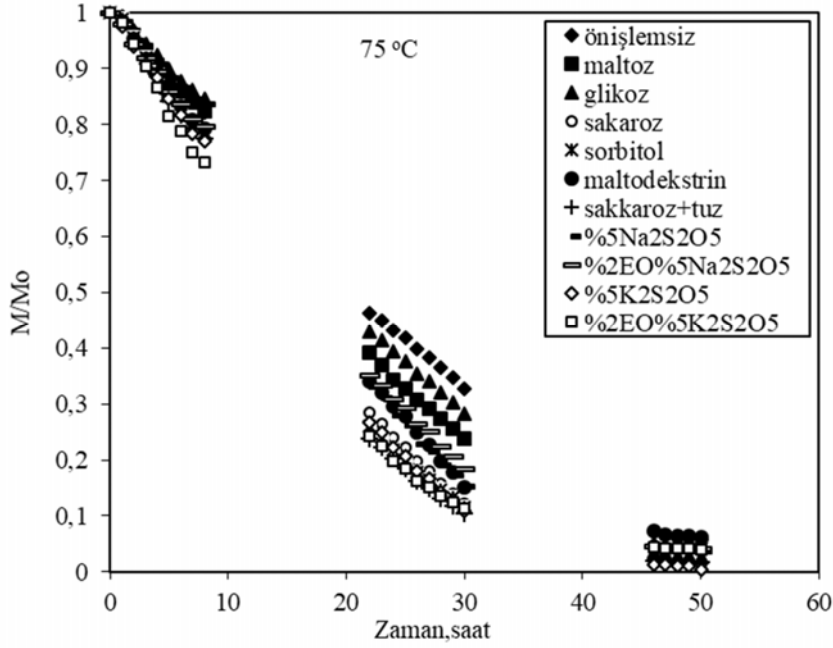
Büzülmeli ve büzülmesiz durum için Difüzyon katsayılarının sıcaklıkla değişiminden (Eş. 4) kuruma



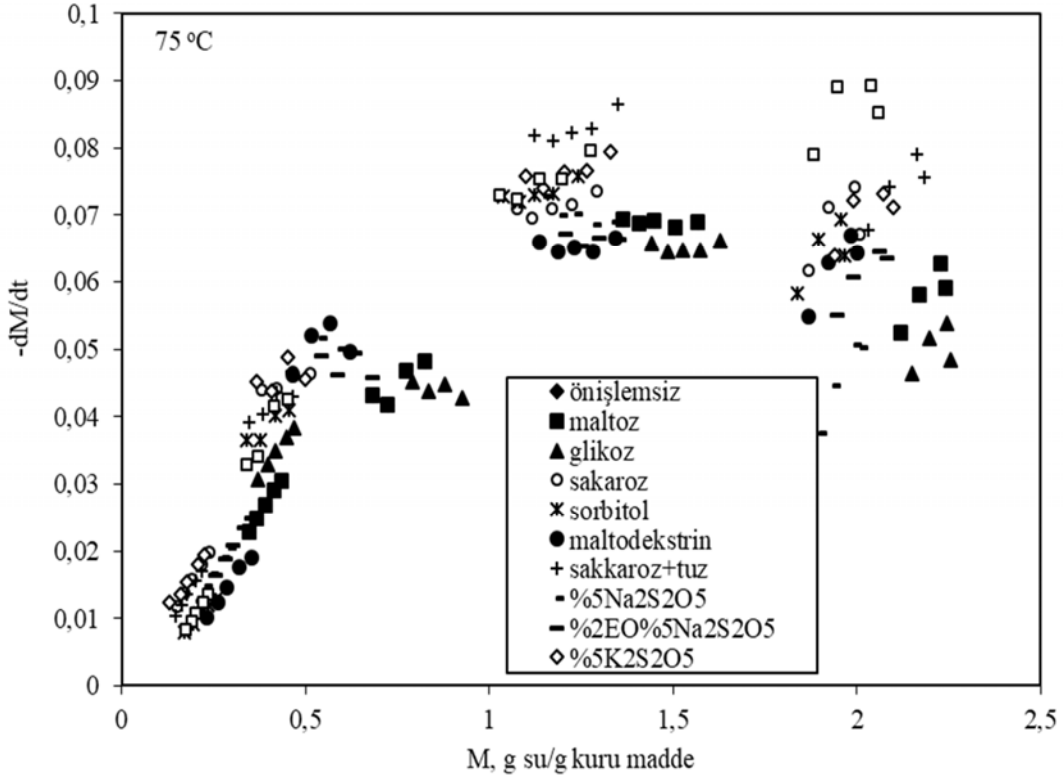
Şekil 2. Ahlatların kuruma hızının nem içeriği ile değişimi (Drying rate vs moisture content for Ahlat)

aktivasyon enerjileri belirlendi. Farklı şekilde kurutulan Ahlatların difüzyon katsayıları ve kuruma aktivasyon

enerjileri Tablo 4'de verilmiştir. Difüzyon katsayıları, büzülmenin dikkate alınmadığı durumda $5,0473 \times 10^{-11}$ –



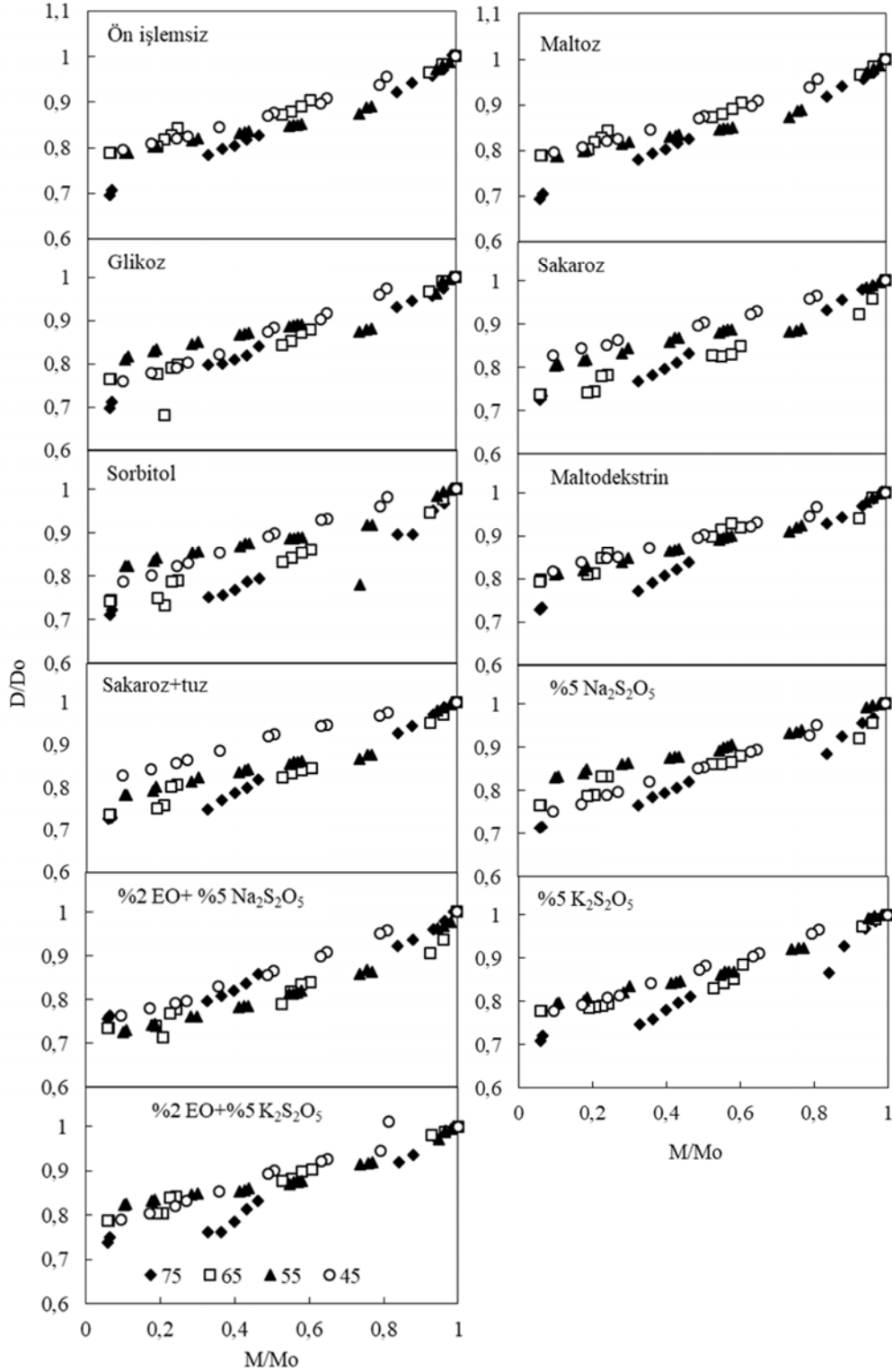
Şekil 3. Farklı ön işlem uygulanan Ahlatların boyutsuz nem içeriğinin zamanla değişimi (Dimensionless moisture content vs time for Ahlat applied various pre-treatment)



Şekil 4. Farklı ön işlem gören Ahlatların kuruma hızları (Drying rates of Ahlat applied various pre-treatment)

$4,33 \times 10^{-10}$ m²/s aralığında büzülmenin dikkate alındığı durumda ise $1,37 \times 10^{-11}$ – $1,33 \times 10^{-10}$ m²/s aralığında olduğu görüldü. Sıcaklık arttıkça madde içindeki suyun da sıcaklığının artması ve buna bağlı olarak buharlaşma derecesinin artması nedeniyle sıcaklık arttıkça difüzyon

katsayısı da artmaktadır. Genel olarak büzülme dikkate alındığında daha düşük difüzyon katsayıları elde edilmiştir. Literatürde Ahlat ile ilgili bir çalışma olmamasına rağmen armut ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Güneş enerjisi ile 4 farklı tip armut kurutmada difüzyon katsayılarının



Şekil 5. Nem içeriği ile boyutsuz çaptaki değişim (Dimensionless diameter vs moisture ratio)

$7,843 \times 10^{-10}$ - $8,440 \times 10^{-10}$ m^2/s arasında değiştiği [21], 55-75°C sıcaklık aralığında konvektif kurutucuda kurutulan armut dilimleri için $Deff$ $0,85 \times 10^{-10}$ - $2,18 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında değiştiği [22], armut dilimleri için $5,564 \times 10^{-9}$ -

$1,37 \times 10^{-8}$ m^2/s [24] ve 5 mm kalınlığında kesilen armut dilimlerinin sıcak suda haşlanması ve sitrik asit çözeltisi ile ön işlem uygulandıktan sonra 50-71°C ve 2 m/s hava hızı ortamında kurutulması işleminde difüzyon katsayısının

Tablo 4. Farklı sıcaklık ve ön işlem uygulamasıyla kurutulan Ahlatların difüzyon katsayıları ve kuruma aktivasyon enerjileri (Diffusion coefficients of Ahlat dried with different temperature and pretreatment application and activation energy of drying)

Uygulanan Ön işlemler	$D_{eff} \times 10^{10} (m^2/s)$ -Büzülmesiz					EA (kJ/mol)	$D_{eff} \times 10^{10} (m^2/s)$ -büzülmeli					EA (kJ/mol)
	75	65	55	45			75	65	55	45		
Önişlemsiz	4,290	2,424	1,326	0,659	57,34	0,823	0,567	0,222	0,180	50,54		
Maltoz	3,246	1,917	0,899	0,608	53,14	0,783	0,551	0,341	0,195	42,86		
Glikoz	3,407	1,781	1,015	0,664	50,18	0,852	0,533	0,302	0,205	44,54		
Sakkaroz	4,186	1,729	0,895	0,581	60,32	1,025	0,736	0,328	0,160	58,97		
Sorbitol	3,773	2,070	1,018	0,610	56,78	1,147	0,638	0,328	0,197	54,77		
Maltodekstrin	2,735	1,690	0,763	0,612	48,51	0,844	0,534	0,208	0,206	47,40		
Sakkaroz+Tuz	4,330	1,658	0,941	0,520	63,54	1,160	0,441	0,225	0,157	61,01		
$Na_2S_2O_5$	2,839	1,747	0,681	0,559	53,38	0,900	0,631	0,227	0,187	52,68		
EO+ $Na_2S_2O_5$	3,473	1,687	0,792	0,521	59,19	1,052	0,716	0,270	0,177	58,14		
$K_2S_2O_5$	4,120	1,746	0,844	0,505	64,47	1,006	0,555	0,273	0,137	61,62		
EO+ $K_2S_2O_5$	3,678	2,116	0,853	0,708	53,66	1,329	0,796	0,347	0,253	53,39		

$8,56 \times 10^{-11}$ - $2,25 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında olduğu D_{eff} 'in değerlerinin artan sıcaklıkla arttığı bulunmuştur [23]. Şeker Çözeltileri ile ozmotik dehidrasyona tabi tutularak kurutulan armutlar incelendiğinde; konvektif tepsili kurutucuda doğal kurutulan armutların difüzyon katsayılarının $1,59 \times 10^{-10}$ - $7,64 \times 10^{-10}$ m^2/s , ozmotik dehidre ön işlemi ile muamele edilen armutların difüzyon katsayılarının $1,87 \times 10^{-10}$ - $8,12 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında olduğu [25], taze ve 50 Brixlik sakkaroz çözeltisinde farklı süreler bekleterek osmotik dehidrasyona uğratan armutların 45- 65°C hava sıcaklıkları ve 2,2 m/s hava hızında kurutulması sırasında difüzyon katsayıları $6,5 \times 10^{-12}$ - $5,8 \times 10^{-10}$ m^2/s aralığında olduğu bulunmuştur. [26] Büzülmelerin dikkate alındığı çalışmalar incelendiğinde; 3 farklı güneş enerjili sistemde armut kurutulduğu ve 3 farklı model ile kütle transferinin incelendiği çalışmada Fick difüzyon modeline göre büzülmenin dikkate alınmadığı durumda difüzyon katsayılarının $1,4218 \times 10^{-9}$ - $2,7439 \times 10^{-9}$ aralığında büzülmenin dikkate alındığı durumda ise $1,8560 \times 10^{-10}$ - $3,7794 \times 10^{-10}$ aralığında olduğu ve büzülmenin dikkate alınması ile daha düşük difüzyon katsayılarının elde edildiği bulunmuştur. [27] Rocha cinsi armutların 40 ve 50°C de kademeli kurutulması işleminde büzülmeyi dikkate alarak hesaplanan difüzyon katsayıları 40°C için $2,5 \times 10^{-9}$ m^2/s - $6,0 \times 10^{-11}$ m^2/s , 50°C için $2,4 \times 10^{-9}$ m^2/s - $1,9 \times 10^{-10}$ aralığında değiştiği bulunmuştur. [28] Gerek ön işlem bazında gerekse büzülmenin hesaba katılması yönüyle sonuçlar literatürde armut kurutma ile ilgili çalışmaların bulguları ile paralellik göstermektedir. Aktivasyon enerjilerinin ise büzülmesiz durumda 48,51-64,47 kJ/mol büzülmeli durumda ise 42,86-61,62 kJ/mol aralığında olduğu bulundu. Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, su moleküllerinin buharlaşabilmek için geçmeleri gereken enerji engeli olarak ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma prosesinde daha yüksek nem difüzyon hızı verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir. Tüm işlemlerde büzülmesiz durumdaki aktivasyon enerjileri büzülmeli

durumdaki aktivasyon enerjilerine göre daha yüksektir. 55-75°C sıcaklık aralığında kurutulan armut dilimleri için aktivasyon enerjisi 44,78 kJ/mol [20] olarak bulunurken, 5 mm kalınlığında kesilen armut dilimlerinin sıcak suda haşlanması ve sitrik asit çözeltisi ile ön işlem uygulandıktan sonra 50-71°C ve 2 m/s hava hızı ortamında kurutulması işleminde aktivasyon enerjisini 34,95-41,00 kJ/mol aralığında bulunmuştur [21]. Taze ve 50 Brixlik sakkaroz çözeltisinde farklı süreler bekleterek osmotik dehidrasyona uğratan armutların 45- 65°C hava sıcaklıkları ve 2,2 m/s hava hızında kurutulması sırasında aktivasyon enerjisi ise 43 and 38 kJ/mol aralığında olduğu bulunmuştur [24]. Sonuçlar arasındaki farklılıklar, armudun türü, dilim kalınlığı, kompozisyonu ve doku özelliklerinin etkisi ile açıklanabilir. Aktivasyon enerjisinin değerleri, gıda maddeleri için genel olarak 12,7-110 kJ/mol aralığında yer alır [43].

3.4. Kurutma ve Büzülme Modelleme Sonuçları (Drying and Shrinkage Modeling Results)

Ahlatların zamanla boyutsuz nem içeriğindeki değişimini ifade edebilmek için Newton, Page, Henderson-Pabis, Logaritmik ve Midilli modelleri denendi. Modelleme, Statistica for Windows programı kullanılarak yapıldı. Model katsayıları $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde test edildi. Modellerin ölçüm değerleri ile uygunluğu R^2 ve χ^2 testleriyle incelendi. Modelleme sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Genel olarak Page ve Midilli modelleri yüksek R^2 göstermelerine rağmen katsayıların güven aralığı $p > 0,05$ 'den büyük çıktığı için elimine edildi. Modelleme sonuçlar değerlendirildiğinde; ön işlemsiz, maltoz, glikoz, sakkaroz, sakkaroz-tuz, %5 $Na_2S_2O_5$, %2 EO %5 $Na_2S_2O_5$ ve %5 $K_2S_2O_5$ işlemlerinde *Logaritmik*, sorbitol, maltodekstrin ve %2 EO %5 $K_2S_2O_5$ *Newton* modellerinin en uygun olduğu görülmüştür. Uygulanan ön işlemler ve sıcaklıklar için Logaritmik ve Newton modellerinin katsayıları Tablo 6'de verilmiştir. Literatürde armut kurutmanın modellemesi ile ilgili yapılan yayımlar incelendiğinde Wang ve Sing, Midilli [20, 21] ile Henderson Pabis, Logaritmik ve Vega Lemus

Tablo 5. Ahlatın Kurutma Modellemesinin Sonuçları (*p > 0,05) (Results of drying modelling of Ahlat)

		Ön işlemsiz					Maltoz				
Sıcaklık		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
75	R ²	0,987	*0,996	0,985	0,999	*0,999	0,988	*0,999	0,985	0,994	*0,993
	χ ² x10 ³	2,300	0,396	1,572	0,086	0,097	3,101	0,082	1,866	0,712	0,784
65	R ²	0,986	0,999	0,983	0,998	*0,998	0,989	*0,999	0,987	0,996	*0,995
	χ ² x10 ³	2,354	0,163	1,942	0,169	0,202	2,177	0,151	1,814	0,504	0,585
55	R ²	0,993	*0,998	0,992	1,000	*0,999	0,996	*0,999	0,995	0,996	0,996
	χ ² x10 ³	0,946	0,201	0,771	0,018	0,021	0,617	0,167	0,548	0,654	0,463
45	R ²	0,991	0,996	0,989	1,000	*0,999	0,983	*0,994	0,979	0,998	0,998
	χ ² x10 ³	1,095	0,305	0,897	0,016	0,015	2,748	0,552	2,224	0,165	0,200
		Glikoz					Sakaroz				
75	R ²	0,983	*0,998	0,979	0,996	*0,995	0,986	*0,999	0,982	0,990	*0,989
	χ ² x10 ³	3,821	0,244	2,469	0,478	0,520	4,602	0,120	2,840	1,413	1,597
65	R ²	0,987	*0,998	0,985	0,994	*0,993	0,991	*0,999	0,989	0,997	*0,996
	χ ² x10 ³	2,205	0,223	1,845	0,719	0,797	1,954	0,122	1,591	0,396	0,476
55	R ²	0,992	*0,998	0,990	0,999	*0,999	0,993	*0,998	0,991	0,999	*0,998
	χ ² x10 ³	1,385	0,227	1,138	0,095	0,083	1,407	0,216	1,148	0,206	0,174
45	R ²	0,984	*0,993	0,981	1,000	*0,999	0,986	*0,994	0,983	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	2,226	0,670	1,873	0,025	0,027	1,741	0,467	1,420	0,014	0,014
		Sorbitol					Maltodekstrin				
75	R ²	0,982	*0,999	0,979	*0,984	*0,983	0,987	*0,998	0,985	*0,990	*0,989
	χ ² x10 ³	5,399	0,238	3,344	2,348	2,570	3,393	0,218	2,090	1,311	1,434
65	R ²	0,986	*0,998	0,984	0,994	*0,993	0,985	*0,999	0,982	0,996	*0,995
	χ ² x10 ³	2,578	0,278	2,231	0,697	0,806	2,588	0,083	2,079	0,461	0,522
55	R ²	0,994	*0,998	0,992	0,999	*0,998	0,987	*0,996	0,985	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	1,110	0,209	0,950	0,239	0,192	2,022	0,393	1,720	0,070	0,063
45	R ²	0,984	*0,992	0,980	1,000	*0,039	0,985	*0,993	0,981	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	2,174	0,650	1,812	0,021	178,49	2,162	0,605	1,791	0,018	0,019
		Sakaroz -Tuz					Na ₂ S ₂ O ₅				
75	R ²	0,986	*0,999	0,984	0,991	*0,988	0,978	*0,999	0,974	0,987	*0,983
	χ ² x10 ³	3,988	0,135	2,445	1,288	1,695	5,750	0,230	3,798	1,931	2,421
65	R ²	0,988	*0,999	0,986	0,996	*0,995	0,991	0,998	0,989	0,999	*0,999
	χ ² x10 ³	2,029	0,078	1,593	0,435	0,486	1,645	0,186	1,386	0,101	0,128
55	R ²	0,990	*0,998	0,988	1,000	*0,999	0,995	*0,999	0,994	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	1,515	0,254	1,268	0,066	0,058	0,719	0,138	0,601	0,024	0,022
45	R ²	0,988	0,995	0,986	1,000	*0,999	0,987	*0,995	0,984	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	1,423	0,423	1,168	0,024	0,020	1,787	0,445	1,440	0,032	0,033
		%2 EO- %5 Na ₂ S ₂ O ₅					K ₂ S ₂ O ₅				
75	R ²	0,988	*0,999	0,985	0,993	*0,992	0,984	*0,999	0,980	0,991	*0,988
	χ ² x10 ³	3,082	0,117	1,965	0,896	0,997	4,775	0,157	3,151	1,318	1,791
65	R ²	0,991	*0,998	0,989	0,995	*0,994	0,994	*0,999	0,993	0,999	*0,999
	χ ² x10 ³	1,825	0,301	1,560	0,632	0,733	0,997	0,082	0,798	0,129	0,154
55	R ²	0,993	*0,997	0,992	0,999	*0,999	0,996	*0,999	0,995	1,000	*0,999
	χ ² x10 ³	1,160	0,354	1,051	0,165	0,141	0,712	0,139	0,603	0,068	0,061
45	R ²	0,981	*0,991	0,977	1,000	*0,999	0,989	*0,995	0,987	0,998	*0,998
	χ ² x10 ³	2,632	0,802	2,203	0,020	0,018	1,182	0,375	0,952	0,140	0,141
		%2 EO- %5 K ₂ S ₂ O ₅									
75	R ²	0,989	*0,999	0,986	*0,991	*0,989					
	χ ² x10 ³	3,534	0,000	0,002	0,001	0,002					
65	R ²	0,992	*0,999	0,990	0,995	*0,995					
	χ ² x10 ³	1,612	0,173	1,312	0,551	0,626					
55	R ²	0,999	*0,999	0,999	0,999	*0,999					
	χ ² x10 ³	0,148	0,041	0,128	0,135	0,097					
45	R ²	0,990	*0,998	0,986	0,996	*0,996					
	χ ² x10 ³	1,911	0,153	1,422	0,336	0,396					

[28] modellerinin çalışılan şartları en iyi ifade eden denklemler olduğu görülmektedir. Kuruma sırasında ahlatın çapında meydana gelen değişim, Tablo 3'de verilen modeller yardımıyla incelendi. Modellerin istatistiksel analiz

sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. En yüksek R² ve en düşük χ² gösteren modeller, uygulanan ön işlem ve kurutma sıcaklığında en uygun model olarak seçildi.

Tablo 6. Logaritmik ve Newton Modelinin sabitleri (Coefficients of Logarithmic and Newton models)

T (oC)	Sabit	Ön işlemsiz	Maltoz	Glikoz	Sakaroz	Sakaroz-tuz	Na ₂ S ₂ O ₅	%2EO %5 Na ₂ S ₂ O ₅	%5 K ₂ S ₂ O ₅
75	a	1,8575	1,4055	1,8035	1,2907	1,2332	1,3593	1,3169	1,2878
	k	0,0155	0,0274	0,0178	0,0399	0,0429	0,0337	0,0327	0,0407
	c	-0,8382	-0,3651	-0,7679	-0,2360	-0,1789	-0,3020	-0,2778	-0,2368
65	a	1,4107	1,2089	1,2305	1,1732	1,3174	1,2566	1,1294	1,1751
	k	0,0167	0,0263	0,0232	0,0304	0,0184	0,0217	0,0359	0,0244
	c	-0,3972	-0,1884	-0,2104	-0,1499	-0,2966	-0,2463	-0,1081	-0,1625
55	a	1,3077	1,0466	1,2387	1,1803	1,3373	1,1942	1,1512	1,1405
	k	0,0080	0,0223	0,0108	0,0134	0,0085	0,0104	0,0142	0,0130
	c	-0,3045	-0,0333	-0,2300	-0,1669	-0,3328	-0,1915	-0,1495	-0,1358
45	a	1,3769	1,4108	1,4486	1,5202	1,4832	1,4150	1,6148	1,5229
	k	0,0064	0,0075	0,0068	0,0057	0,0057	0,0068	0,0056	0,0050
	c	-0,3826	-0,4042	-0,4543	-0,5255	-0,4900	-0,4163	-0,6219	-0,5268
		%2 EO %5 K ₂ S ₂ O ₅	sorbitol	maltodekstrin					
75	k	0,0594	0,0559	0,0494					
65	k	0,0385	0,0387	0,0294					
55	k	0,0194	0,0171	0,0143					
45	k	0,0142	0,0115	0,0119					

Tablo 7. Ahlatın Büzülmesine ait Modelleme Sonuçları (Results of modelling for shrinkage of Ahlat)

Sıcaklıklar		Ön işlemsiz						Maltoz					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
75	R ²	0,992	0,992	0,991	0,920	0,849	0,992	0,958	0,958	0,959	0,884	0,826	0,958
	χ ² x10 ³	0,185	0,088	0,093	0,943	1,626	0,185	0,795	0,368	0,356	1,102	1,518	0,795
65	R ²	0,983	0,983	0,986	0,876	0,829	0,983	0,945	0,945	0,946	0,884	0,847	0,945
	χ ² x10 ³	0,135	0,084	0,071	0,617	0,844	0,135	0,468	0,453	0,444	0,961	1,270	0,468
55	R ²	0,906	0,906	0,922	0,756	0,704	0,906	0,983	0,983	0,988	0,857	0,808	0,983
	χ ² x10 ³	0,821	0,420	0,346	1,090	1,316	0,821	0,115	0,114	0,086	0,984	1,313	0,115
45	R ²	0,991	0,991	0,995	0,901	0,859	0,991	0,992	0,992	0,996	0,849	0,792	0,992
	χ ² x10 ³	0,055	0,034	0,018	0,373	0,533	0,055	0,059	0,042	0,020	0,843	1,157	0,059
		Glikoz						Sakaroz					
75	R ²	0,988	0,988	0,985	0,907	0,837	0,988	0,993	0,993	0,990	0,911	0,840	0,993
	χ ² x10 ³	0,182	0,119	0,158	1,042	1,674	0,182	0,078	0,078	0,107	1,039	1,705	0,078
65	R ²	0,985	0,985	0,991	0,892	0,850	0,985	0,968	0,968	0,970	0,825	0,769	0,968
	χ ² x10 ³	0,130	0,098	0,063	0,729	1,010	0,130	0,458	0,229	0,211	1,243	1,635	0,458
55	R ²	0,944	0,944	0,949	0,801	0,765	0,944	0,910	0,910	0,916	0,749	0,711	0,910
	χ ² x10 ³	0,296	0,175	0,158	0,624	0,733	0,296	0,431	0,335	0,313	0,936	1,073	0,431
45	R ²	0,990	0,990	0,985	0,864	0,789	0,990	0,993	0,993	0,996	0,878	0,839	0,993
	χ ² x10 ³	0,112	0,061	0,090	0,830	1,270	0,112	0,026	0,019	0,012	0,327	0,431	0,026
		sorbitol						maltodekstrin					
75	R ²	0,970	0,970	0,973	0,779	0,687	0,908	0,985	0,985	0,982	0,975	0,946	0,985
	χ ² x10 ³	0,579	0,326	0,297	2,637	3,402	1,252	0,161	0,147	0,175	0,270	0,531	0,161
65	R ²	0,982	0,982	0,984	0,846	0,791	0,982	0,946	0,946	0,940	0,927	0,904	0,946
	χ ² x10 ³	0,201	0,134	0,119	1,133	1,531	0,201	0,275	0,247	0,271	0,331	0,438	0,275
55	R ²	0,963	0,963	0,969	0,808	0,774	0,963	0,973	0,973	0,977	0,814	0,769	0,973
	χ ² x10 ³	0,152	0,116	0,099	0,602	0,707	0,152	0,170	0,099	0,082	0,674	0,833	0,001
45	R ²	0,992	0,992	0,986	0,905	0,850	0,992	0,993	0,993	0,993	0,867	0,823	0,993
	χ ² x10 ³	0,083	0,040	0,065	0,453	0,714	0,083	0,022	0,019	0,019	0,383	0,508	0,022
		Sakaroz-tuz						Na ₂ S ₂ O ₅					
75	R ²	0,988	0,988	0,986	0,933	0,874	0,988	0,954	0,954	0,954	0,917	0,871	0,954
	χ ² x10 ³	0,137	0,134	0,155	0,829	1,428	0,137	0,679	0,460	0,465	0,911	1,302	0,679
65	R ²	0,939	0,939	0,949	0,858	0,815	0,939	0,938	0,938	0,939	0,852	0,811	0,938
	χ ² x10 ³	0,731	0,440	0,371	1,027	1,333	0,731	0,564	0,296	0,294	0,712	0,906	0,564
55	R ²	0,895	0,895	0,908	0,741	0,694	0,895	0,984	0,984	0,989	0,860	0,822	0,984

45	$\chi^2 \times 10^3$	0,774	0,488	0,426	1,210	1,425	0,774	0,058	0,049	0,035	0,432	0,550	0,058
	R ²	0,988	0,988	0,982	0,949	0,918	0,988	0,995	0,995	0,996	0,890	0,828	0,995
	$\chi^2 \times 10^3$	0,062	0,036	0,052	0,151	0,239	0,062	0,043	0,028	0,020	0,605	0,937	0,043
		%2 EO %5 Na ₂ S ₂ O ₅					%5 K ₂ S ₂ O ₅						
75	R ²	0,979	0,979	0,978	0,915	0,866	0,979	0,987	0,987	0,986	0,883	0,802	0,987
	$\chi^2 \times 10^3$	0,219	0,158	0,164	0,693	1,007	0,219	0,161	0,147	0,160	1,497	2,316	0,161
65	R ²	0,948	0,948	0,951	0,823	0,784	0,948	0,968	0,968	0,977	0,820	0,759	0,968
	$\chi^2 \times 10^3$	0,718	0,346	0,328	1,185	1,439	0,718	0,242	0,207	0,147	1,169	1,554	0,242
55	R ²	0,975	0,975	0,985	0,759	0,689	0,975	0,985	0,985	0,990	0,840	0,790	0,985
	$\chi^2 \times 10^3$	0,346	0,178	0,109	1,755	2,253	0,346	0,073	0,072	0,047	0,766	1,000	0,073
45	R ²	0,994	0,994	0,995	0,820	0,741	0,994	0,994	0,994	0,996	0,947	0,910	0,994
	$\chi^2 \times 10^3$	0,035	0,035	0,025	1,013	1,447	0,035	0,028	0,028	0,021	0,258	0,435	0,028
		%2 EO %5 K ₂ S ₂ O ₅											
75	R ²	0,980	0,980	0,978	0,948	0,908	0,980						
	$\chi^2 \times 10^3$	0,208	0,207	0,226	0,584	0,944	0,208						
65	R ²	0,973	0,973	0,968	0,922	0,892	0,973						
	$\chi^2 \times 10^3$	0,147	0,145	0,168	0,413	0,568	0,147						
55	R ²	0,984	0,984	0,988	0,851	0,815	0,984						
	$\chi^2 \times 10^3$	0,065	0,052	0,038	0,486	0,600	0,065						
45	R ²	0,969	0,969	0,960	0,973	0,954	0,969						
	$\chi^2 \times 10^3$	0,157	0,132	0,170	0,113	0,195	0,157						

Tablo 8. En uygun büzülme modellerinin katsayıları (Coefficients of best convenient of shrinkage models)

T(°C)	Sabitler	Ön işlemsiz	Maltöz	Gliköz	Sakaröz	sorbitol	maltodekstrin
75	a	0,6911	0,7207	0,7061	0,7372	0,7224	0,7275
	b	0,3577	0,2970	0,2817	0,2622	0,3026	0,2665
65	a	0,7760	0,7395	0,7492	0,7368	0,7454	0,7904
	b	0,2431	0,2987	0,2822	0,2786	0,2818	0,1994
55	a	0,7488	0,7561	0,8109	0,8070	0,8207	0,7998
	b	0,2562	0,2826	0,1911	0,1980	0,1884	0,2106
45	a	0,7704	0,7506	0,7518	0,8135	0,7733	0,8122
	b	0,2558	0,2850	0,2632	0,2042	0,2402	0,1843
		sakaröz+tuz	%5 Na ₂ S ₂ O ₅	%2 EO %5 Na ₂ S ₂ O ₅	%5 K ₂ S ₂ O ₅	%2 EO %5 K ₂ S ₂ O ₅	
75	a	0,7338	0,7208	0,7550	0,7220	0,7520	
	b	0,2635	0,2558	0,2324	0,2721	0,2499	
65	a	0,7163	0,7679	0,7378	0,7489	0,7976	
	b	0,3061	0,2342	0,2675	0,2823	0,2054	
55	a	0,7616	0,8151	0,7232	0,7852	0,8169	
	b	0,2449	0,2012	0,3047	0,2432	0,1973	
45	a	0,8139	0,7417	0,7511	0,7417	0,7989	
	b	0,1966	0,2971	0,2930	0,3043	0,2120	

Model katsayılarına uygulanan t-test sonucunda incelenen tüm modellerin kurutma sırasında ahlatta meydana gelen büzülme açıklama istatistiksel olarak anlamlı olduğu görüldü ($p < 0,05$). Sıcaklık ve ön işlemlere bağlı olarak ahlattın kuruması sırasında boyutsuz nem ile boyutsuz çap arasındaki değişimin en iyi doğrusal (model 2) ve eksponansiyel (model 3) modellerle açıklanabileceği görüldü. Ahlattın kurumasında uygulanan ön işlem ve kurutma sıcaklıklarında büzülme açıklayan 2. ve 3. modelin sabitleri Tablo 8’de verilmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Laboratuvar tipi kurutucu kullanılarak farklı ön işlemler uygulanan ahlattın farklı sıcaklıklarda kurutulduğu bu

araştırmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir: Kurutma sıcaklığı arttıkça ahlattların nem içeriğindeki azalma daha hızlı olmaktadır. Ahlattların kurutulması sırasında sabit hız periyodu gözlenmemiş, tüm kuruma olayının azalan kuruma hızı periyodunda, katı içi difüzyon kontrolünde gerçekleştiği görülmüştür. Sıcaklık artışı katı içi difüzyonunu artırarak daha yüksek kuruma hızlarının elde edilmesine neden olmuştur. Kurutma sırasında sıcaklığın yüksek olması büzülme artırmıştır. Yüksek sıcaklıklarda nem daha hızlı uzaklaştığından önce madde yüzeyinde daha sonra madde içinde dengelenemeyen kuvvetlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu kuvvet dengesizliği belirgin bir büzülme olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurutma sırasında sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısı da artmıştır. Sıcaklık arttıkça su moleküllerinin de kinetik enerjisi artacağından buldukları

konumdan yüzeye transfer olabilmek için daha fazla enerjiye sahip olurlar ve daha hızlı hareket edebilirler. Bu da difüzyon katsayısının artmasına neden olur.

Ahlatın yapısı gereği uygulanan ön işlemler arasında çok büyük farklılıklar görülmesi de, bisülfite ve EO bisülfite çözeltileri ile yapılan ön işlemler kuruma hızını diğerlerine göre biraz daha artırmıştır. Bunlar bir bakıma kükürtleme amaçlı yapıldıklarından üründe gerek renk değişimi gerekse mikrobiyolojik ve böceklenmeye karşı koruyucu etkiye de bulunmaktadır. Ancak şeker çözeltilerine daldırdıktan sonra kurutulan ahlatlar da damak lezzet anlamında öne çıkıp alternatif ürün olarak da düşünülebilirler.

Modelleme çalışmalarında, kurutma modeli için Logaritmik ve Newton modelleri, büzülme modeli için ise 2 ve 3 nolu modellerin ahlatın kurutulmasında en uygun modeller olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Toğrul İ.T., Pehlivan D., Modelling of drying kinetics of single apricot, *Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32, 2003.
2. Parlak N., Investigation of drying kinetics of ginger in a fluidized bed dryer, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (2), 261-269, 2014.
3. Toğrul İ.T., Pehlivan D., Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *Journal of Food Engineering*, 65, 413-425, 2004.
4. Aktaş M., Gönen E., Bay leaves drying in a humidity controlled heat pump dryer, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (2), 433-441, 2014.
5. Özbek B., Dadalı G., Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment, *Journal of Food Engineering*, 83, 541-549, 2007.
6. Cao X., Zhang M., Fang Z, Mujumdar A.S., Jiang H., Qian H., Ai H., Drying kinetics and product quality of green soybean under different microwave drying methods, *Drying Technology*, 35 (2), 240-248, 2017.
7. Ertekin C., Heybeli N., Thin-layer infrared drying of mint leaves, *Journal of food processing and preservation*, 38 (4), 1480–1490, 2014.
8. Aktaş M., İlbaş M., Yalçın A., Şahin M., Experimental investigation of drying behaviours in an infrared radiation dryer, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (4), 767-775, 2013.
9. Çağlar A., Toğrul İ.T., Toğrul H., Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying, *Food and Bioproducts Processing*, 87, 292-300, 2009.
10. Aydın E., Göçmen D., The influences of drying method and metabisulfite pre-treatment on the color, functional properties and phenolic acids contents and bioaccessibility of pumpkin flour, *LWT - Food Science and Technology*, 60 (1), 385-392, 2015.
11. Lik Hii C., Ogugo J.F., Effect of pre-treatment on the drying kinetics and product quality of star fruit slices, *Journal of Engineering Science and Technology*, 9 (1), 123 - 135, 2014.
12. İsmail O., Investigation of rehydration kinetics of open-sun dried carrot slices, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32 (2), 355-361, 2017
13. Doymaz İ., Aktaş C., Determination of drying and rehydration characteristics of eggplant slices, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* (2018), <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416386>
14. Ertekin C., Firat M.Z., A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (4), 1024-1035, 2017.
15. Adak N., Heybeli N., Ertekin C., Infrared drying of strawberry, *Food Chemistry*, 219, 109-116, 2017.
16. Kumar C., Joardder M.U.H., Farrell T.W., Millar G.J., Karim M.A., Mathematical model for intermittent microwave convective drying of food materials, *Drying Technology*, 34 (8) 962-973, 2016.
17. Toğrul H., Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices, *Journal of Food Engineering*, 71, 311-323, 2005.
18. Toğrul H., Suitable drying model for infrared drying of carrot, *Journal of Food Engineering*, 77, 610-619, 2006.
19. Guiné R.P.F., Ferreira D.M.S., Barroca, M.J., Gonçalves, F.M., Study of the drying kinetics of solar-dried pears, *Biosystems Engineering*, 98 (4), 422-429, 2007.
20. Doymaz I., İsmail O., Experimental characterization and modelling of drying of pear slices, *Food Science and Biotechnology*, 21 (5) , 1377–1381, 2012.
21. Doymaz I., Experimental study on drying of pear slices in a convective dryer, *International Journal of food science and technology*, 48 (9) 1909–1915, 2013.
22. Park K.J., Yado M.K.M., Brod F.P.R., Estudo de secagem de pêra Bartlett (Pyrus sp.) em fatias. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 21, 288–292, 2001.
23. Park K.J., Bin A., Brod A.P.R., Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 56 (1), 97-103, 2003.
24. González-Martínez C., Cháfer M., Xue K., Chiralt A., Effect of the Osmotic Pre-Treatment on the Convective Air Drying Kinetics of Pear Var. Blanquilla, *International Journal of Food Properties*, 9 (3), 541-549, 2006.
25. Guiné R.P.F., Barroca M.J., Silva V., Mass Transfer Properties of Pears for Different Drying Methods, *International Journal of Food Properties* , 16 (2), 251-262, 2013.
26. Silva V., Costa J.J., Figueiredo A. R., Nunes J., Nunes C., Ribeiro T. I.B., Per B., Study of three-stage intermittent drying of pears considering shrinkage and

- variable diffusion coefficient, *Journal of Food Engineering*, 180, 77-86, 2016.
27. Silva V., Figueiredo A.R., Costa J.J., Guiné R.P.F., Experimental and mathematical study of the discontinuous drying kinetics of pears, *Journal of Food Engineering*, 134, 30–36, 2014.
 28. Guiné R.P.F. , Analysis of the drying kinetics of S. Bartolomeu pears for different drying systems, *EJournal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9 (11), 1772-1783, 2010.
 29. Bitki Center. Ahlat (Yaban Amudu) Faydaları. <http://www.bitkicenter.com/ahlat-yaban-armudu-faydaları/>. Şubat 17, 2015. Erişim tarihi Temmuz 9, 2017.
 30. Tarım Bilgi Paylaşım Forumu. Ahlat Yetiştiriciliği-Pyrus elaeagrifolia. <http://www.ziraatciyiz.biz/ahlat-yetistiriciligi-pyrus-elaegrifolia-t1006.html>. Yayın tarihi Ekim 23,2007. Erişim tarihi Temmuz 9, 2017.
 31. <http://www.ziraatciyiz.biz/ahlat-yetistiriciligi-pyrus-elaegrifolia-t1006.html?s=16d6a783c3d1fbad745bf29e4a79e516&t=1006>
 32. Özdemir R.S., Ahlatın Kuruma Kinetiklerine sıcaklık ve Ön işlemin Etkisinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Bitirme ödevi, 2009.
 33. Liu Q., Bakker-Arkema F.W., Stochastic modelling of grain drying, Part 2: Model development, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 275–280, 1997.
 34. Zhang Q., Litchfield J.B., An optimisation of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer, *Drying Technology*, 9, 383–395, 1991.
 35. Toğrul İ.T., Pehlivan D., Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *Journal of Food Engineering*, 65, 413-425, 2004.
 36. Toğrul İ.T., Modeling of heat and moisture transport during drying black grapes, *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1146–1152, 2010.
 37. Midilli A., Küçük H., Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy, *Energy Conv. Man.*, 44 (7), 1111-1122, 2003.
 38. Rahman S., *Food properties handbook*, Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 1995.
 39. Ratti, C., Shrinkage during drying of foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, 23, 91-105, 1994.
 40. Mayor L., Sereno A.M., Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review, *Journal of Food Engineering*, 61, 373-386, 2004.
 41. Corrêa P.C., Ribeiro D.M., Resende O., Afonso Júnior P.C., Goneli, A.L.D., Mathematical modeling for representation of coffee berry volumetric shrinkage. In: *International Drying Symposium*, 14., São Paulo. Proceedings, 2004.
 42. Hatamipour M.S., Mowla D., Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed, *Journal of Food Engineering*, 247-252, 2002.
 43. Kilpatrick P.W., Lowe E., Van Ardsel W. B., *Tunnel dehydrators for fruit and vegetables*, Advances in food research, 6, Editör: E. M. Mrak, G. F. Stewart, Academic Press, New York, 313–372, 1955.
 44. Zogzas N.P., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D., *Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs*, *Drying Technology An International Journal*, 14 (10), 2225-2253, 1996.

