



Determination of drying and rehydration characteristics of eggplant slices

İbrahim Doymaz*^{ID}, Cansu Aktaş^{ID}

Yıldız Technical University, Department of Chemical Engineering, İstanbul, 34210, Turkey

Highlights:

- Increased air temperature and pretreatment were reduced drying time.
- The increase in drying temperature affected rehydration.
- It was determined that drying temperature and pretreatment affected the color of dried products.

Keywords:

- Activation energy
- Effective diffusion coefficient
- Drying
- Eggplant
- Rehydration

Article Info:

Received: 22.12.2016

Accepted: 18.02.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416386

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: İbrahim Doymaz
e-mail:
doymaz@yildiz.edu.tr
phone: 212 383 4748

Graphical/Tabular Abstract

In this study, drying characteristics of eggplant slices were investigated by using cabinet dryer. The eggplant slices were pretreated with citric acid solution and blanching in the hot water before drying process. Then, the pretreated and untreated samples were dried in the hot air dryer at 40, 50, 60 and 70°C temperatures. The results showed that the increase in air temperature and pretreatment reduced the drying time and increased rehydration capacity. Moreover, it was observed that the drying temperature and pretreatment affected the colour values. Effective diffusion coefficient values ranged from $2,28 \times 10^{-10}$ to $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s, and increased with the increase in air temperature. The values of activation energy were calculated as 26,14-32,69 kJ/mol.

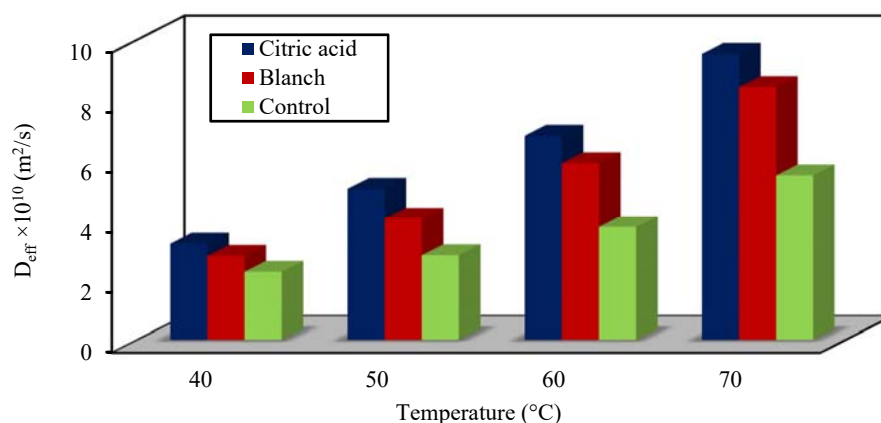


Figure A. Effective Diffusion Coefficients of Eggplant Slices

Purpose: In this study, it was aimed to determine the drying characteristics, effective diffusion coefficient, activation energy and rehydration capacity values of the dried eggplant slices with and without pretreatment at different drying temperatures.

Theory and Methods:

Pretreated (citric acid solution and blanching with hot water) and untreated eggplant samples were dried in a cabinet dryer (APV & PASILAC, UK) at 40, 50, 60 and 70°C air temperatures and constant air velocity of 2 m/s. Moisture content in the samples was maintained at about 10% in the drying process.

Results:

As the drying temperature increased, the drying rate increased and as a result, the drying time decreased. Effective diffusion coefficient values for pretreated eggplant slices are higher than those dried without pretreatment. The increase of the rehydration temperature and the pretreatments applied increased the rehydration capacity. It was observed that the dried samples after pretreatment with citric acid had a clearer color than the other samples.

Conclusion:

It has been determined that pretreatment and drying temperature affect the drying time, drying rate, effective diffusion coefficient, rehydration and product color. It was concluded that citric acid solution treatment was a more effective method for drying of eggplant slices.



Patlıcan dilimlerinin kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerinin belirlenmesi

İbrahim Doymaz*^{ID}, Cansu Aktaş^{ID}

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, 34210, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Hava sıcaklığındaki artışın ve ön işlemin kuruma süresini azaltmıştır
- Kurutma sıcaklığındaki artış rehidrasyona etki etmiştir
- Kurutma sıcaklığı ve ön işlemin kurutulmuş ürünlerin rengine etki ettiği saptanmıştır

Makale Bilgileri

Geliş: 22.12.2016

Kabul:18.02.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416386

Anahtar Kelimeler:

Aktivasyon enerjisi,
efektif nem difüzyon hızı,
kurutma,
patlıcan,
rehidrasyon

ÖZET

Bu çalışmada, patlıcan dilimlerinin kurutma karakteristikleri bir kabin kurutucu kullanılarak araştırılmıştır. Kuruma işleminden önce, patlıcan dilimleri sitrik asit çözeltisi ve sıcak su ile ön işleme tabi tutulmuştur. Ardından, ön işleme tabi tutulmuş ve muamele edilmemiş numuneler, sıcak hava kurutucusunda, 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Sonuçlar hava sıcaklığındaki artışın ve ön işlemin kuruma süresini azalttığını ve rehidrasyon kapasitesini artırdığını göstermiştir. Dahası, kurutma sıcaklığı ve ön işlemin örneklerin renk değerlerini etkilediği görülmüştür. Efektif difüzyon katsayısı değerleri $2,28 \times 10^{-10}$ ila $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değişmekte ve hava sıcaklığında artış ile birlikte artmaktadır. Aktivasyon enerjisinin değerleri 26,14-32,69 kJ/mol olarak hesaplandı.

Determination of drying and rehydration characteristics of eggplant slices

H I G H L I G H T S

- Increased air temperature and pretreatment were reduced drying time
- The increase in drying temperature affected rehydration
- It was determined that drying temperature and pretreatment affected the color of dried products

Article Info

Received: 22.12.2016

Accepted: 18.02.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416386

Keywords:

Activation energy,
effective moisture
diffusivity,
eggplant,
drying,
rehydration

ABSTRACT

In this study, drying characteristics of eggplant slices were investigated by using cabinet dryer. The eggplant slices were pretreated with citric acid solution and blanching in the hot water before drying process. Then, the pretreated and untreated samples were dried in the hot air dryer at 40, 50, 60 and 70°C temperatures. The results showed that the increase in air temperature and pretreatment reduced the drying time and increased rehydration capacity. Moreover, it was observed that the drying temperature and pretreatment affected the colour values. Effective diffusion coefficient values ranged from $2,28 \times 10^{-10}$ to $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s, and increased with the increase in air temperature. The values of activation energy were calculated as 26,14-32,69 kJ/mol.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: doymaz@yildiz.edu.tr/ Tel: +90 212 383 4748

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Meyve ve sebzelere üretildikleri mevsim dışında kalan dönemlerde veya hiç üretimi yapılmayan bölge ve ülkelerde tüketilmek veya özel durumlarda kullanılmak amacıyla farklı koruma teknikleri uygulanmaktadır. Kurutma, dondurma, konsantre etme ve sterilizasyon gibi işleme teknikleri sanayide en çok uygulama alanı bulan yöntemlerin başında gelmektedirler. Kurutmadaki temel amaç meyve ve sebzelerin su aktivitesi değerini belli bir değere indirerek raf ömrünün uzatılmasıdır [1]. Kurutma sonunda elde edilen kuru sebze ve meyvelerin tat, görünüş, renk ve besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az değişmeli, ayrıca pişirilmek üzere su ilave edildiğinde taze iken içerdikleri miktara yakın su tutabilmelidir. Kurutmanın temel amacı gıdanın su aktivitesi değerini belli bir değere indirerek depolama sırasında gıdanın bozulmasını önlemek, kalite özelliklerini korumak, ürün hacmini azaltarak taşıma ve depolama esnasında kolaylık sağlamaktır [2, 3].

Meyve ve sebzelerle uygulanan kurutma işlemlerinde kurutma etkinliğinin artırılması amacıyla, kurutma öncesinde bazı önlemler uygulanmaktadır. Özellikle meyve ve sebzelerde dış kısımlarını kaplayan mumsu tabakayı gidererek kuruma hızını artırmak amacıyla, metil ve etil oleat, potasyum ve sodium hidroksit, potasyum metabisülfid, sitrik ve askorbik asit içeren kimyasal çözeltiler [4, 5] ve sıcak suyla haşlama [6, 7] gibi işlemler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Patlıcan (*Solanum melongena* L.) dünyanın tropikal ve ılıman bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilir. Dünyada ve ülkemizde 2012 yılında patlıcan üretimi miktarları sırasıyla 48,5 milyon ton ve 0,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir [8]. Patlıcan üretiminde Çin, Hindistan, İran, Mısır ve Türkiye ilk 5 sırayı almaktadır.

Patlıcan, 10-15°C sıcaklıkta yaklaşık 10 gün olan çok sınırlı bir raf ömrüne sahiptir [9]. Dolayısıyla, soğuk ortamda, modifiye atmosfer altında ve dondurarak muhafaza ile raf ömrünü uzatılabilir [10]. Patlıcanın muhafazası için geniş bir şekilde kullanılan yöntem kurutmadır. Kurutulmuş patlıcan, farklı yemek çeşitleri ve çorbalar için değerli bir maddedir [11]. Patlıcanın değişik sistemler kullanılarak laboratuvar ölçeğinde kurutulmasına ilişkin literatürde birkaç bilimsel çalışma mevcuttur. Bu araştırmalarda konvektif [12-14], vakum [15], mikrodalga-konvektif [16] ve mikrodalga-infrared [11] gibi farklı kurutma sistemleri kullanılarak patlıcan dilimleri kurutulmuştur.

Fakat sitrik asit çözeltilisinin patlıcan kurutulmasında ön işlem olarak kullanılması üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, ön işlem yapılan ve yapılmayan patlıcan dilimlerinin, farklı sıcaklık değerlerindeki hava ile kurutulması sonucunda kurutma karakteristikleri, efektif difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi ve rehidrasyon kapasitesi değerlerinin saptanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER (MATERIAL AND METHODS)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, bir süpermarketten satın alınan Kemer patlıcanları kullanılmıştır. Örneklerin kurutma öncesi nem miktarları 105°C'de bir etüvde belirlenmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılacak patlıcanların kuru madde içeriği, yapılan kuru madde tayini sonucunda ortalama %6,02 (yaş baz) olarak bulunmuştur. Benzer büyüklükteki patlıcanlar kabukları soyulduktan sonra bir bıçak yardımıyla 0,9 cm kalınlığında ve yaklaşık 4,3 cm çapında dilimlenmiştir. Patlıcan dilimleri üç gruba ayrılmıştır. İlk grup patlıcan örnekleri %0,5 sitrik asit çözeltilisi ile (sitrik asit kodlu), ikinci grup örnekler (haşlama kodlu) ise sıcak su (80°C) ile 1 dakika süre ile muamele edilip kurutmaya alınmıştır. Son olarak da hiçbir ön işlem uygulanmayan patlıcan dilimleri (natürel kodlu) kurutma işlemine alınmıştır.

2.2 Kurutma Deneyleri (Drying Experiments)

Patlıcan dilimlerinin kurutulması, bir kabin kurutucusunda (APV & PASILAC Limited, Carlisle, Cumbria, İngiltere) gerçekleştirildi. Kabin kurutucu daha önce Doymaz [17] tarafından tanımlanmıştır. Her bir kurutma çalışması öncesinde kurutucuda kurutma koşullarının kararlı hale gelmesi için, kurutucu yaklaşık 30 dakika çalıştırılmıştır. Patlıcanlar değişik kurutma sıcaklıklarında (40, 50, 60 ve 70°C) ve sabit hava hızında (2 m/s) kurutulmuşlardır. Kurutma denemeleri sırasında havanın akış hızı Testo 440 Vane Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Tayvan) ile ölçülmüştür. Sistem kararlı duruma eriştikten sonra her kurutma denemesi için, yaklaşık 75 g alınan patlıcan dilimleri, ağırlıkları önceden ölçülen kurutma tepsilerine tek tabaka halinde homojen bir şekilde konularak kurutma işlemi başlamıştır.

Kurutma işlemi sırasında ürünlerdeki ağırlık değişimleri dijital bir terazi (Mettler-Toledo AG, Grefensee, Switzerland, model BB3000) ile her 15 dakikada bir kaydedilmiştir. Kurutma işlemine örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşünceye kadar devam edilmiştir. Kurutma işlemi tamamlanan örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, örnekler polietilen (LDPE) torbalara doldurulmuş ve torbaların ağzı ısısal yöntemle kapatılarak saklanmıştır. Tüm deneyler iki kez tekrar edilmiştir.

2.3. Nem İçeriği ve Kurutma Hızının Hesaplanması (Calculation of Moisture Content and Drying Rate)

Kurutma denemelerinde kullanılan patlıcan dilimlerinin nem içeriği kuru baza göre aşağıda belirtilen eşitliği (Eş. 1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \quad (1)$$

Eşitlikte; M : Nem içeriği (kg su/kg kuru madde), m_w : Su miktarı (kg) ve m_d : Kuru madde miktarıdır (kg). Kurutma hızı ise aşağıdaki (Eş. 2) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada; $\Delta M/\Delta t$: Kurutma hızı (kg su/(kg kuru madde×dakika)), M_t : t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), $M_{t+\Delta t}$: t+ Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde) ve t: Süre (dakika) olarak ifade edilmektedir.

2.4. Efektif Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi (Determination of Effective Diffusion Coefficient and Activation Energy)

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci yasasının çözümüdür [18].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \cdot \nabla M) \quad (3)$$

Eşitlik (Eş. 3) difüzyon katsayısı sabit alınarak kartezyen koordinatlar için çözümlenip uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa, (Eş. 4) eşitliği elde edilir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \quad (4)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right)$$

Burada; MR: Nem oranı, M_0 : Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği nem içeriği (kg su/kg kuru madde), M_e : Kurutma koşullarındaki havanın denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde), D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), L: Dilim yarı kalınlığı (m), t: Kurutma süresi (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma süreleri için, (Eş. 5) eşitliğinin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır [9].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5)$$

Kurutma süresine karşı $\ln(MR)$ grafiğinin eğimi, (Eş. 6) eşitliğindeki K'yı vermektedir.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (6)$$

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi (Eş. 7) eşitliği ile verilen Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır [19].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)}\right) \quad (7)$$

Eşitlikte; D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısı (m^2/s), E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R: Gaz sabiti (8,314 kJ/(mol×K)) ve T: Kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). $1/(T+273,15)$ değerlerine karşı $\ln D_{eff}$ grafiğinden elde edilen doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi değeri hesaplanır.

2.5. Rehidrasyon Kapasitesinin Ölçülmesi (Measurement of Rehydration Capacity)

Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon yeteneği, onun suda belirli koşullarda ıslatılması sonucunda kazandığı su miktarı ile ölçülür. Önceden hazırlanarak sabit tartıma getirilmiş beherlere 300 ml saf su ilave edilerek iki farklı sıcaklıkta rehidrasyon işlemine başlanmıştır. Rehidrasyon denemeleri $25^{\circ}C$ ve $50^{\circ}C$ 'de gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan sulara ilk ağırlıkları bilinen kurutulmuş patlıcan dilimlerini atılarak 30 dakika boyunca bekletilmiş, örnekler kurulama kâğıdı ile kurulandıktan sonra Precisa marka (model XB220A, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) bir hassas terazi ile ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu işlem her 30 dakikada bir (toplam bekleme süresi 6 saat olacak şekilde) gerçekleştirilmiş ve elde edilen verilerden yararlanarak rehidrasyon kapasite (RC) değerleri (Eş. 8) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$RC = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (8)$$

Burada W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki kuru madde miktarını (kg) ve rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarını (kg) göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Ön İşlemin ve Kurutma Sıcaklığının Kurutma Süresine Etkisi (Effect of Pre-Treatment and Drying Temperature on Drying Time)

Patlıcanın kurutma karakteristikleri 40 , 50 , 60 ve $70^{\circ}C$ hava sıcaklığında ve 2 m/s hızında incelenmiştir. Taze haldeki patlıcanların ortalama %6,02 kuru madde içerdiği belirlenmiştir. Kurutma işlemine, örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşüncüye kadar devam edilmiştir. Tablo 1'de, değişik sıcaklıklarda kurutulmuş patlıcan dilimlerinin kurutma süreleri gösterilmektedir. Tablo 1'de, $40^{\circ}C$ 'de kurutulan sitrik asit kodlu patlıcan dilimlerinin 240 dakikada, haşlama kodlu patlıcan dilimlerinin 285 dakikada ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin ise 435 dakikada kurdukları görülmektedir. Sitrik asit çözeltisiyle ön işlem görmüş patlıcan dilimlerinin, natürel halde kurutulan dilimlerine göre 40 , 50 , 60 ve $70^{\circ}C$ sıcaklıklarda kurutma sürelerindeki düşüşü sırasıyla %44,82, %39,13, %28,57 ve %50 oranındadır. Aynı dilim kalınlığındaki haşlanmış örneklerin natürel halde kurutulan örneklerle göre aynı sıcaklıklarda kurutma süresindeki düşüşü ise sırasıyla %34,48, %30,43, %21,42 ve %25'dir. Bu sonuçlara göre, kurutma öncesinde yapılan ön işlemin kurutma süresini

önemli bir oranda kısalttığı görülmüştür. Uygulanan ön işlemlerden sitrik asit çözeltisi ile muamelenin, patlıcan dilimlerinin kurutulmasında daha etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 1. Farklı sıcaklıkta kurutulan patlıcan dilimlerinin kurutma süreleri
(Drying times of the eggplant slices dried at different temperatures)

Kurutma sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (dakika)		
	Sitrik asit	Haşlama	Natürel
40	240	285	435
50	210	240	345
60	150	165	210
70	90	135	180

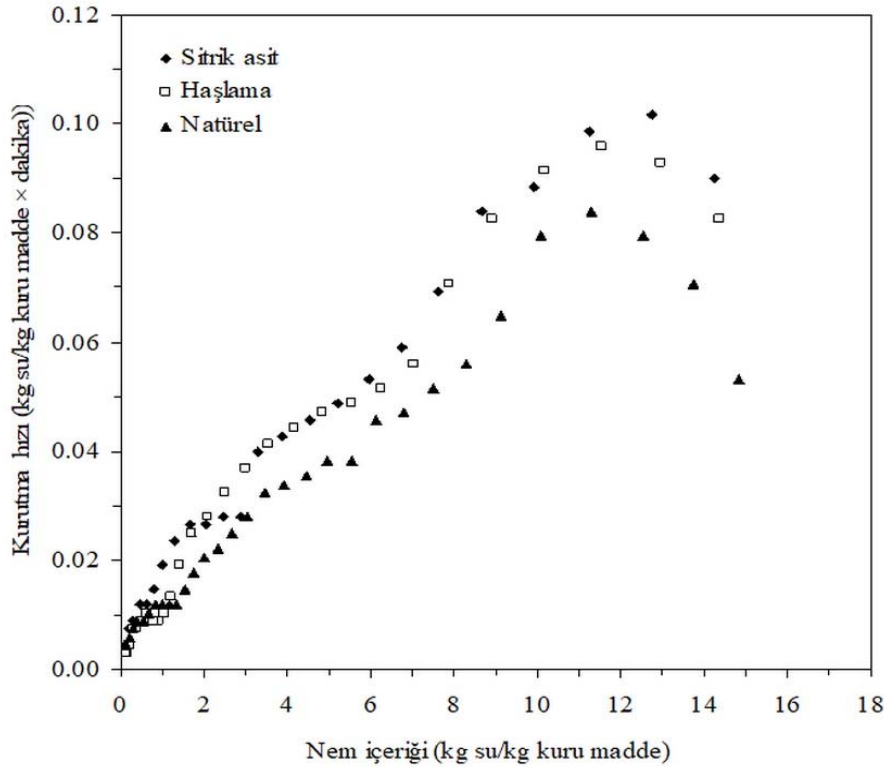
Tablo 1’de gösterildiği gibi, sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin 40 ve 70°C’de kurutma süreleri sırasıyla 240 ve 90, 285 ve 135, 435 ve 180 dakikadır. Kurutma sıcaklığındaki 30°C’lik bir artış ile sitrik asit kodlu örneklerde %62,50, haşlama kodlu örneklerde %52,63 ve natürel kodlu örnekler için %58,62 oranında kurutma süresinden tasarruf sağlamıştır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etki, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlanabilir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok etkin bir rol üstlenmektedir. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının artması ile kurutma süresi

kısalmaktadır. Benzer sonuçlara patlıcan kurutma için literatürde yer alan farklı çalışmalar için de rastlanmıştır [20, 21].

3.2. Kurutma Hızı (Drying Rate)

Eşitlik (Eş. 2) kullanılarak patlıcan dilimlerine ait kurutma hızları hesaplanmıştır. Örnek olarak 40°C’de kurutulan örneklerin kurutma hızının nem içeriği ile değişimi Şekil 1’de gösterilmektedir. Eğriler dikkatli bir şekilde incelenirse, kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve bu eğrilerde sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Bu bulgu diğer sıcaklıklarda kurutulan örneklerde de saptanmıştır. Bunun sonucu olarak kurutma işleminin katı içinden nem difüzyonu ile gerçekleştiğini göstermektedir. Elde edilen bilgiler, daha önce yapılan değişik sebze türlerinin kurutma çalışmalarıyla da uyum göstermiştir [16, 22].

Kurutma havası sıcaklığı arttıkça kurutma hızı da artmaktadır. Bunun sonucu olarak, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kurutma hızının görülmesine neden olmaktadır [23, 24]. Bununla birlikte, ön işleme tabi tutulan örneklerin kurutma hızları, natürel kodlu ürünlere göre daha yüksektir. Karşılaştırılan bu durum, Doymaz [7], Doymaz ve Göl [12], Ertekin vd. [13] çalışmalarıyla uyum göstermektedir. Ön işlem uygulanmış patlıcan dilimlerinden sitrik asit kodlu



Şekil 1. Patlıcan dilimlerinin 40°C’deki kurutma hızının nem içeriği ile değişimi
(Exchange of drying rate with moisture content of eggplant slices at 40°C)

olanın da en yüksek kurutma hızına sahip olduğu belirlenmiştir.

3.3. Efektif Difüzyon Katsayısı (Effective Diffusion Coefficient)

Ön işlem gören ve natürel olarak kurutulan patlıcan dilimlerinin (6) eşitliği kullanılarak her bir kurutma havası sıcaklığı için efektif difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri $2,28 \times 10^{-10}$ ile $9,52 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değişmektedir. Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte kurutulmuş patlıcan dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kurutma hızının artmasıyla açıklanabilir. Dikkat edilecek diğer bir nokta ise, ön işlem uygulanarak kurutulan patlıcan dilimlerinde efektif difüzyon katsayısı değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulanlara göre daha büyük olmasıdır. Bu durum, ön işlem çözümleri daha önce belirtildiği gibi kuruma hızını artışına paralel olarak nem difüzyon hızı da artmasından kaynaklanmaktadır [5, 23]. Elde edilen efektif difüzyon katsayısı değerleri, sitrik asit kodlu örneklerde $3,22 \times 10^{-10} - 9,52 \times 10^{-10}$ m²/s, haşlama kodlu örneklerde $2,82 \times 10^{-10} - 8,42 \times 10^{-10}$ m²/s ve natürel kodlu örneklerde ise $2,28 \times 10^{-10} - 5,52 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değişmektedir. Efektif Difüzyon katsayısı değerlerinin, literatürde gıda ürünleri için belirlenen $10^{-12} - 10^{-8}$ m²/s aralığında olduğu tespit edilmiştir [25]. Tablo 2'de patlıcan dilimleri için literatürde yer alan bazı çalışmalardan elde edilen difüzyon katsayıları görülmektedir ve bu çalışmadan elde edilen difüzyon katsayıları ile genelde uyum göstermektedir. Sonuçlar arasındaki farklılıklar, maddenin bileşim yapısı, şekli ve

başlangıçtaki nem içeriğinin yanı sıra kurutma sıcaklığı, ön işlemler ve kurutma ekipmanlarına bağlanabilir.

Tablo 2. Patlıcana ait efektif difüzyon katsayısı değerleri (Effective diffusivity coefficient values of eggplant)

T (°C)	D_{eff} (m ² /s)	Kaynak
40-70	$2,28-9,52 \times 10^{-10}$	Bu çalışma
60-80	$1,01 - 4,06 \times 10^{-9}$	[21]
70-90	$1,13 - 5,65 \times 10^{-10}$	[26]
50-80	$0,93 - 8,84 \times 10^{-10}$	[12]
30-50	$1,65 - 3,41 \times 10^{-9}$	[15]

3.4. Aktivasyon Enerjisi (Activation Energy)

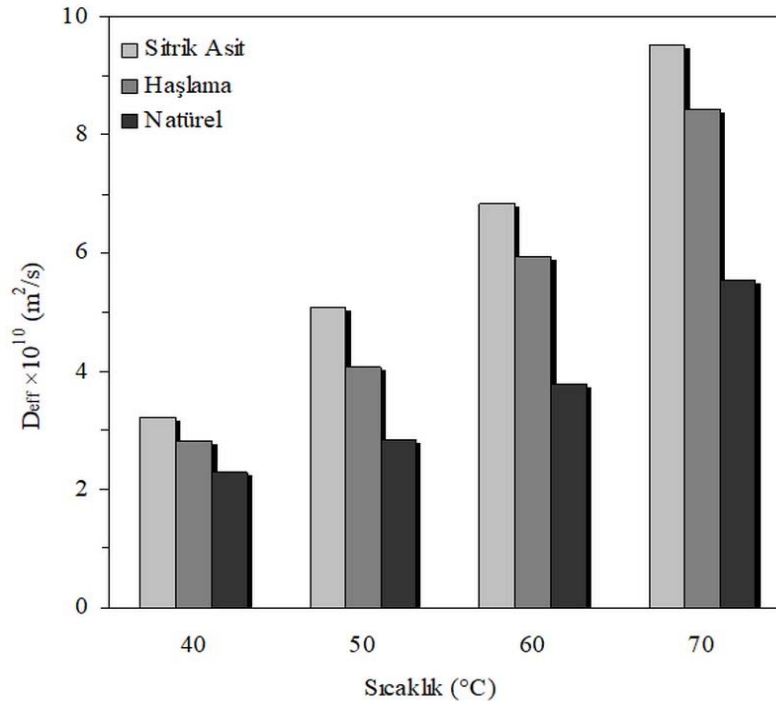
Aktivasyon enerji değerleri, $\ln(D_{eff})$ ile $1/(T+273,15)$ arasında çizilen grafikteki (Şekil 3) doğrulardan yararlanarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki eşitliklerde (Eş. 9, Eş. 10 ve Eş. 11), ön işlem uygulanarak (sitrik asit ve haşlama) ve ön işlem uygulanmadan (natürel) kurutulan patlıcan dilimleri için difüzyon katsayısı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.

Sitrik asit kodlu örneklerde:

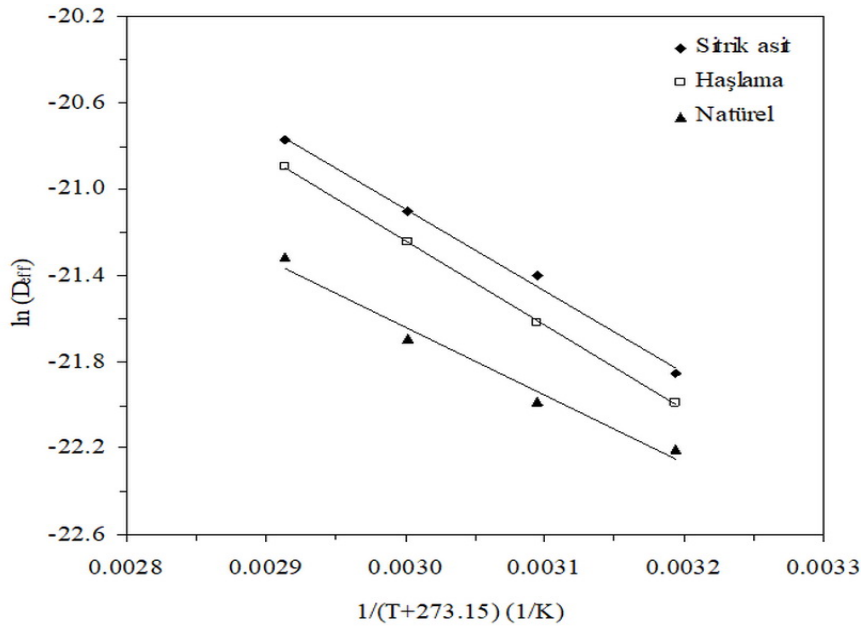
$$D_{eff} = 6,49 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3815}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2 = 0,994) \quad (9)$$

Haşlama kodlu örneklerde:

$$D_{eff} = 7,94 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{3932}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2 = 0,999) \quad (10)$$



Şekil 2. Patlıcan dilimlerin efektif difüzyon katsayıları (Effective diffusion coefficients of eggplant slices)



Şekil 3. Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi (Effect of temperature on effective diffusion coefficient)

Natürel kodlu örneklerde:

$$D_{eff} = 5,03 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3145}{(T+273,15)}\right) \quad (R^2 = 0,978) \quad (11)$$

Yukarıda gösterilen eşitliklerinden yararlanarak sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimlerinin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 31,71, 32,69 ve 26,14 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu çalışmada hesaplanan aktivasyon enerji değerleri daha önce yapılan ve literatürde yer alan veriler [15, 21] ile uyum göstermektedir.

3.5. Rehidrasyon Kapasitesi (Rehydration Capacity)

Rehidrasyon işlemi değişik faktörler (örneğin, ön işlemler, kurutma yöntemi ve işlemi, fiziksel yapı ve kimyasal bileşim) tarafından etkilenen karmaşık bir işlemdir [20]. Patlıcan dilimlerinin rehidrasyon kapasitelerini bulmak için 25°C ve 50°C rehidrasyon sıcaklıklarında deneyler yapılmış ve elde edilen veriler (8) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Tablo 3'de görüldüğü üzere, 25°C rehidrasyon sıcaklığında 40, 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuş sitrik asit kodlu örneklerin rehidrasyon kapasiteleri sırasıyla 7,75, 8,57, 9,14 ve 7,54 kg su/kg kuru madde hesaplanmıştır. 50°C'de rehidrasyon denemelerinde, 40, 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuş sitrik asit kodlu patlıcan örneklerinin rehidrasyon kapasiteleri 8,51, 9,57, 9,58 ve 8,50 kg su/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Rehidrasyon sıcaklığı arttıkça patlıcan örneklerinin suyu bünyelerine alma kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir. Haşlama ve natürel kodlu patlıcan dilimleri incelendiğinde de aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Benzer sonuçlar Singh vd. [27] ve Cunningham vd. [28] tarafından da bulunmuştur. Ayrıca, kurutma

işlemden önce uygulanan ön işlemlerin rehidrasyon kapasitelerine etki ettiği görülmüştür. Tablo 3'den de anlaşılacağı üzere, sitrik asit, haşlama ve natürel kodlu kurutulmuş örnekler arasında rehidrasyon kapasitesi en fazla haşlama kodlu olan patlıcan örneğinde, en az ise natürel kodlu olan patlıcan örneklerinde görülmüştür.

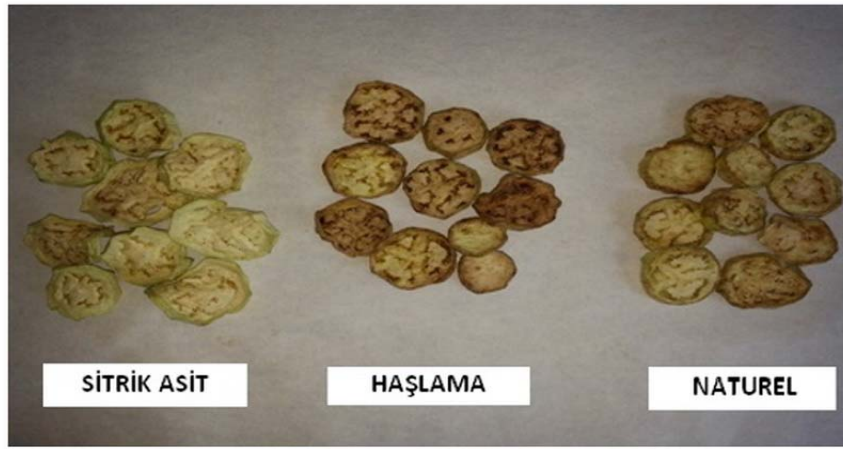
Tablo 3'de görüldüğü gibi, en yüksek rehidrasyon kapasitesi 60°C'de kurutulan patlıcan örneklerinde gerçekleşmiştir. Daha yüksek sıcaklıkta örneğin 70°C'de kurutulan örneklerin pişmesine veya pişme olmasa da gıda yüzeyi sertleşerek yüzeyde bir kabuk oluşur. Bunun sonucu olarak gıdanın lif yapısı ve yüzey formundaki değişim meydana gelir. Sonuç olarak bu durumda suyun gıdadan uzaklaştırılmasını zorlaştırarak rehidrasyon kapasitesini düşürdüğü sonucuna varılabilir.

3.6. Renk ve Görünüm (Colour and Appearance)

Renk bir gıdanın tüketici tarafından tercihinde rol oynayan en önemli özelliklerinden birisi olup, gıdalardaki birçok bozulma reaksiyonu da renk değişimleri ile kendini göstermektedir. Bir gıdanın ilk kalite kontrolü rengine bakılarak yapılır. Eğer renk tüketicide olumlu bir etki bırakmazsa gıdanın tadı, aroması, besin öğeleri miktarı vb. özellikleri ne kadar iyi olursa olsun o gıda olumsuz puan alır. Şekil 4'de, 70°C'de kurutulmuş patlıcan dilimlerinin renk ve görünümü verilmiştir. Dikkatli bir şekilde incelendiğinde, sitrik asit ile muamele edildikten sonra kurutulan patlıcan dilimleri natürel kodlu patlıcan dilimlerine göre açık renktedir. Sıcak su ile muamele edilip kurutulan haşlama kodlu patlıcan dilimlerinde ise sıcaklık etkisiyle polifenoloksidaz enzimi aktifleştirdiğinden en çok karar buraya gözlenmektedir [29].

Tablo 3. Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş patlıcanların rehidrasyon kapasiteleri (kg su/kg kuru madde)
(The rehydration capacities of dried eggplants at different temperatures (kg moisture/kg dry matter))

Rehidrasyon sıcaklığı: 25°C				
Kurutma sıcaklığı (°C)	40	50	60	70
Sitrik asit	7,75	8,57	9,14	7,54
Haşlama	8,88	9,25	9,92	9,48
Natürel	7,03	7,77	7,83	6,86
Rehidrasyon sıcaklığı: 50°C				
Kurutma sıcaklığı (°C)	40	50	60	70
Sitrik asit	8,51	9,57	9,58	8,50
Haşlama	9,03	13,07	13,76	10,37
Natürel	7,07	7,89	8,15	7,21

**Şekil 4.** 70°C’de kurutulmuş patlıcan dilimlerinin renk ve görünüşleri (Color and appearance of dried eggplant slices at 70°C)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda yapılan kurutma işleminde hava sıcaklığı ve ön işlemlerin patlıcanın kurutma karakteristikleri, rehidrasyon kapasitesi, renk ve görünüm üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma hızının arttığı ve bunun sonucu olarak da kurutma süresinin düştüğü gözlemlenmiştir. Ön işlemlerin kurutma süresi üzerinde olumlu bir etkisi olduğu saptanmıştır. En iyi sonuç sitrik asit çözeltisi ile sağlanmıştır. Kurutma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Ön işlem uygulanarak kurutulan patlıcanlarda efektif difüzyon katsayısı değerlerinin, ön işlem uygulanmadan kurutulanlara göre daha büyüktür.

Rehidrasyon sıcaklığının artışı ve uygulanan ön işlemler rehidrasyon kapasitesini artırmıştır. Sitrik asit ile muamele edildikten sonra kurutulan örneklerin renginin diğer örneklerle göre daha açık olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. 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.

2. Karacaoğlu C., Gürsoy O., Yılmaz Y., Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon (emdirme) tekniği ile muamele işleminin kivi dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine etkisi, Akademik Gıda, 14 (3), 256-266, 2016.
3. 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.
4. Tarhan S., Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures, Journal of Food Engineering, 79, 255-260, 2007.
5. Hastürk Şahin F., Ülger P., Aktaş T., Orak H.H., Farklı ön işlemlerin ve vakum kurutma yönteminin domatesin kuruma karakteristikleri ve kalite kriterleri üzerine etkisi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9, 15-25, 2012.
6. Doymaz I., An experimental study on drying of green apples, Drying Technology, 27, 478-485, 2009.
7. Doymaz I., Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures, Journal of Processing and Preservation, 35, 280-289, 2011.

8. FAO, FAO Statistical Yearbook, Available on: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>, 2013.
9. Brasiello A., Adiletta G., Russo P., Crescitelli S., Albanese D., Di Matteo M., Mathematical modeling of eggplant drying: Shrinkage effect, *Journal of Food Engineering*, 114, 99-105, 2013.
10. Adiletta G., Iannone G., Russo P., Patimo G., De Pasquale S., Di Matteo M., Moisture migration by magnetic resonance imaging during eggplant drying: A preliminary study, *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2602-2609, 2014.
11. Aydođdu A., Sumnu G., Sahin S., Effects of microwave-infrared combination drying on quality of eggplants, *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1198-1210, 2015.
12. Doymaz İ., Göl E., Convective drying characteristics of eggplant slices, *Journal of Food Process Engineering*, 34, 1234-1252, 2011.
13. Ertekin C., Yaldiz O., Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model, *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359, 2004.
14. Akpınar E., Biçer Y., Modelling of the drying of eggplants in thin-layers, *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 273-281, 2005.
15. Wu L., Orikasa T., Ogawa Y., Tagawa A., Vacuum drying characteristic of eggplant, *Journal of Food Engineering*, 83, 422-429, 2007.
16. Chayjan R.A., Kaveh M., Drying characteristics of eggplant (*Solanum melongena* L.) slices under microwave-convective drying, *Research in Agricultural Engineering*, 62, 170-178, 2016.
17. Doymaz I., Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots, *Biosystems Engineering*, 89, 281-287, 2004.
18. Madhiyanon T., Phila A., Soponronnarit S., Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut, *Applied Thermal Engineering*, 29, 2849-2854, 2009.
19. Sobukola O.P., Dairo O.U., Odunewu A.V., Convective hot air drying of blanched yam slices, *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1233-1238, 2008.
20. Russo P., Adiletta G., Di Matteo M., The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant, *Food and Bioprocess Processing*, 91, 249-256, 2012.
21. Kutlu N., İşçi A., Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi, *Akademik Gıda*, 14, 21-27, 2016.
22. 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.
23. Mengeş H.O., Ertekin C., Vişne kurutmada kurumunun çeşitli modellerle açıklanması, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (42), 4-10, 2007.
24. Kamer M.S., Şahin H.E., Sönmez K., İmal M., Kaya A., Kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışının deneysel incelenmesi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 1-8, 2016.
25. Zogzas N.P., Maroulis Z.B., Marinou-Kouris D., Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs, *Drying Technology*, 14, 2225-2253, 1996.
26. Aversa M., Curcio S., Calabro V., Iorio G., Measurement of the water-diffusion coefficient. apparent density changes and shrinkage during the drying of eggplant (*Solanum Melongena*), *International Journal of Food Properties*, 14, 523-537, 2011.
27. Singh S., Raina C.S., Bawa A.S., Saxena D.C., Effect of pretreatments on drying and rehydration kinetics and color of sweet potato slices, *Drying Technology*, 24, 1487-1494, 2006.
28. Cunningham S.E., Mcminn W.A.M., Magee T.R.A., Richardson P.S., Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders, *Food and Bioprocess Processing*, 86, 15-24, 2008.
29. Yemenciođlu A., Cemeriođlu B., Enzimlerin aktivasyon ve rejenerasyonunun gıdaların kalitesi üzerindeki etkisi, *Gıda*, 23, 415-423, 1998.

