



Güneş altında kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiğinin incelenmesi

Osman İsmail*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34210, Esenler, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Havuç dilimleri ön işlemleri ve doğal olarak güneş altında kurutulmuştur
- Havuç dilimlerinin rehidrasyonunda ön işlemlerin etkili olmadığı görülmüştür
- Rehidrasyonda sıcaklık artışının etkili olduğu saptanmıştır
- Elde edilen veriler yardımıyla, rehidrasyon kinetiği ve difüzyon mekanizması ile ilgili parametreler hesaplanmıştır

Makale Bilgileri

Geliş: 25.02.2015
Kabul: 16.05.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.322157

Anahtar Kelimeler:

Havuç,
ön-işlem,
dehidrasyon,
rehidrasyon,
difüzyon

ÖZET

Bu çalışmada, ön işlemleri ve ön işlemsiz olarak güneş altında kurutulmuş havuç (*Daucus carota L.*) dilimlerinin 25 ve 50°C sıcaklıklardaki rehidrasyon kinetikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla, rehidrasyon kinetiği ve difüzyon mekanizması ile ilgili parametreler hesaplanmıştır. Rehidrasyon denemelerinde doğal olarak kurutulmuş havuç dilimlerinde, en yüksek denge rehidrasyon değerlerine ulaşılmıştır. Doğal olarak kurutulmuş havuç dilimlerinin 50°C sıcaklıktaki deneysel denge rehidrasyon değeri (R_{den}) 5,73 (g_{su}/g_{kuru madde}), teorik denge rehidrasyon değeri (R_{mak}) 5,96 (g_{su}/g_{kuru madde}) ve difüzyon katsayısı değeri de (D) $2,15 \times 10^{-10}$ m²/s olarak hesaplanmıştır. Difüzyon üsteli (n) 0,331 ile 0,367 aralığında bulunmuştur. Bu durumda havuç dilimlerinin rehidrasyonundaki difüzyon türü, doğal Fick difüzyon olarak tespit edilmiştir.

Investigation of rehydration kinetics of open-sun dried carrot slices

H I G H L I G H T S

- The carrot slices pre-treated and naturally dried under the sun
- It has been determined that pre-treatments was not effective in rehydration of carrot slices
- It has been determined that temperature increase was effective in rehydration
- By the obtained data, parameters related to rehydration kinetics and diffusion mechanism were calculated

Article Info

Received: 25.02.2015
Accepted: 16.05.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.322157

Keywords:

Carrot,
pre-treatment,
dehydration,
rehydration,
diffusion

ABSTRACT

In this study, rehydration kinetics at 25 ve 50°C of under open-sun dried carrot (*Daucus carota L.*) slices which are untreated and treated were investigated. By the obtained data, parameters related to rehydration kinetics and diffusion mechanism was calculated. The rehydration experiments, maximum equilibrium rehydration values were achieved with the naturally dried carrot slices. For the naturally dried carrot slices, experimental equilibrium rehydration (R_{eq}), theoretical equilibrium rehydration (R_{max}) and diffusion coefficient (D) at 50°C were calculated as 5.73 (g_{water}/g_{dry matter}), 5.96 (g_{water}/g_{dry matter}) and 2.15×10^{-10} m²/s, respectively. Rehydration exponent value (n), which is also important to identify the dried carrot slices diffusion type, was determined at between 0.331 - 0.367 Because of the exponent value less than 0.50, diffusion process was defined as natural Fickian diffusion.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: / ismail@yildiz.edu.tr / Tel: +90 212 383 47 74

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Maydanozgiller (Apiaceae) familyasından olan havuç (*Daucus carota*), koni biçimindeki etli kökü için sebze olarak yetiştirilen iki yıllık otsu bir kültür bitkisidir. En yaygın olan türleri *Daucus sativus* ve *Daucus carota*'dır. Havuç β -karoten içeriği en yüksek olan bir sebzedir. A, C, B₁, B₂, B₆ ve B₁₂ vitaminlerince zengin olan havuç, çiğ ya da pişirilerek tüketilir [1]. Ayrıca havuç, konserve, kurutulmuş, meyve suyu, meşrubat, şekerleme, reçel ve kurutulmuş ürün olarak tüketilir [2]. Dünya'da ve Türkiye'de meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılan en yaygın kurutma yöntemi açık havada güneş ile yapılan kurutmadır. Tropikal ülkelerde güneş altında kurutma yaygın olarak uygulanmaktadır. Çünkü güneş enerjisi tükenmez ve kirletici olmayan yenilenebilir, ucuz ve çevre dostu kaynaktır. Güneş altında kurutmanın tek sorunu diğer kurutma proseslere göre kurutma süresinin yavaş olmasıdır [3]. Bu nedenle, kurutma hızını arttırmak için bazı ön işlemler uygulanmaktadır. Son yıllarda literatürde, sebzelerin kurutulmasında kullanılan ön işlemler arasında, kimyasal bileşenlerin ilavesi, ozmotik ön işlemler ve haşlama en çok karşılaşılan işlemlerdir [4]. Ayrıca sıcaklık, hava akış hızı, kurutma koşullarındaki havanın bağıl nemi [5], kurutulmuş ürünün yoğunluğu [6], kurumuş ürünün gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini, renk görünüm gibi optik özelliklerini; aroma, tat, koku gibi duyu özelliklerini [7] ve su tutma kapasitesi ve hızı gibi rehidrasyon özelliklerini etkiler [8]. Kurumuş ürünün rehidrasyon yeteneği, kurutulmuş bir üründe aranan en önemli nitelikler ve bunun kullanılması sırasında verilen su ile eski haline dönüşebilme düzeyidir. Kurutma koşullarına bağlı olarak kurutulan ürünlerdeki buruşma ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapilar yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir. Kurutmada uygulanan ısı etkisiyle ve kuruma sonucu hücredeki tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak proteinler denatüre olmaktadır. Denatüre olan proteinler artık suyu tekrar absorbe etme ve bağlama yeteneğini büyük ölçüde kaybetmektedir [9]. Aynı nedenlerle nişasta ve gam maddeleri de daha az hidrofilik bir nitelik kazanmaktadır. Aynı zamanda hücre duvarı da eskisi gibi esnek değildir. Ayrıca rehidrasyon suyuna hücre içinden tuz ve şeker geçmesi hücrenin turgor özelliğini kaybetmesine sebep olur [10]. Kurutulmuş bir ürün eğer taze haldeyken içerdiği düzeyde suyu tekrar geri kazanabiliyorsa kaliteli ürün olarak kabul edilmektedir. Bu özellik dondurularak kurutulmuş ürünlerde önemli ölçüde sağlanabilse de, geleneksel kurutma yöntemiyle kurutulanlarda önemli ölçüde kaybedilmiş olur. Rehidrasyon yeteneği sadece parça halinde kurutulan

ürünlerde değil, aynı zamanda sıvı halde kurutulup toz haline getirilen, meyve tozu, domates tozu ve süt tozu gibi ürünler için de geçerlidir [11]. Rehidrasyon yeteneği; kurutma koşulları, ürün cinsi, sıcaklık derecesi, rehidrasyon suyu miktarının kuru ürüne oranı gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Kurutulmuş meyveler çoğunlukla belli düzeyde rehidrasyona tabi tutulduktan sonra değişik şekillerde tüketilmektedir. Rehidrasyon düzeyi, kullanış amaçlarına göre değişmektedir. Orta nemli gıda elde etme de bu amaçlardan birisidir [12]. Kurutulmuş havuç dilimlerinin kurutma kinetiği üzerine literatürde birçok araştırma mevcut olup rehidrasyon kinetiği ile ilgili ise herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada, güneş altında ön işlemler ve ön işlemsiz olarak kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiği üzerine ön işlemlerin ve rehidrasyon sıcaklığının etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Denemelerde kullanılan havuç örnekleri (*Daucus carota L.*) semt pazarından alınmıştır. Seçilmiş olan havuç örnekleri yıkanıp temizlendikten sonra 24 h boyunca + 4 °C buzdolabında saklanmıştır. Kurutmadan önce havucun kuru madde ve nem tayini yapılmıştır. Havuç örneklerinin başlangıç nem miktarları, Memmert marka bir etüvde 105 °C'te tayin edilmiştir [13]. Denemeler üç kez tekrarlanmış olup ortalaması alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda havucun kuru madde içeriği %12,5, başlangıç nem içeriği ise %87,5 olarak bulunmuştur.

2.2. Ön İşlemler (Pre-treatment)

Havuç dilimlerine kurutmadan önce uygulanan ön işlemler Tablo 1'de verilmiştir.

2.3. Kurutma Yöntemi (Drying Process)

Kurutma işlemleri Temmuz ayında Ege bölgesinde sabah 8:30 akşam 8:30 olarak gerçekleştirilmiştir. Buzdolabından alınan havuç örnekleri ortam sıcaklığına gelene kadar yaklaşık 2 h odada bekletilmiş ve ortamla ısı dengeye gelmeleri sağlanmıştır. Havuçlar bir bıçak yardımı ile 6 ± 0,4 mm kalınlığında dilimlendikten sonra ön işleme tabi tutulmuş ve tek tabaka halinde alt ve yan kısımlarında delikler olan tepsilere dizilerek kurutulmuşlardır. Her bir denemede 50 g numune kullanılmıştır. Başlangıç nem içeriği %87,5 olan havuç dilimleri, ortam nemine bağlı olarak, %10

Tablo 1. Ön işlemlerin listesi (List of the pretreatment)

Ön işlemler	Uygulama
Tuzlu su	Havuç dilimleri, oda sıcaklığındaki %10'uk tuzlu su çözeltisine daldırılarak 1 min bekletilmiştir.
Haşlama	Havuç dilimleri, 85 °C sıcak suya daldırılıp 3 min bekletildikten sonra çıkarılıp musluk suyu ile soğutulmuştur.
Doğal	Ön işlem yapılmamıştır.

nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır. Kurutulmuş numuneler, bir sonraki rehidrasyon denemelerinde kullanılmak üzere düşük yoğunluklu polietilen torbalar içine konularak (ağız kapalı) buzdolabında muhafazaya alınmıştır.

2.4. Rehidrasyon Yöntemi (Re-hydration Process)

Yaklaşık 10 g ağırlığında kurutulmuş havuç dilimleri, içerisinde 150 ml saf su bulunan (1:15) 250 ml'lik bir behere konulmuştur. Rehidrasyon denemeleri 25 ve 50°C yapılmıştır. 25°C deneyler normal oda şartlarında, 50°C deneyler ise termostatik kontrollü bir su banyosunda (Raypa, RFG-10, R.Espinar S.L., TERRASSA (Barselona), İspanya) yapılmıştır. Rehidrasyon sırasında buharlaşma ile su kaybını önlemek için beherin ağzı sıkıca kapatılmıştır. Her 30 min beherden alınan havuç dilimlerinin yüzeylerindeki su kurulandıktan sonra elektronik bir terazi ile kütleleri ölçülmüştür (Precisa, model XB220A, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre). Numuneler sabit tartıma gelene kadar denemelere devam edilmiştir. Her deneme, iki kez tekrarlanmış olup ortalamaları alınmıştır.

2.5. Rehidrasyon Kinetiği (Re-hydration Kinetics)

Rehidrasyon denemelerinde, destile suyun bulunduğu kabın içerisine bırakılmış olan gıdanın, rehidrasyon değeri Eş. 1 ile hesaplanmıştır.

$$R = \frac{m_t - m_o}{m_o} \quad (1)$$

Eş. 1'de m_o ; başlangıçtaki kuru havuç dilimlerinin kütlesi, m_t ; t süre sonraki havuç dilimlerinin kütlesidir. Denge

durumuna ulaşıldığında rehidre havuç dilimleri en yüksek rehidrasyon değerine sahiptir. Gıdaların rehidrasyonunda önemli olan bir başka parametre de dengedeki su içeriğidir. Dengede su içeriği (DSİ) Eş. 2 ile hesaplanır:

$$DSİ = \frac{m_d - m_o}{m_d} \quad (2)$$

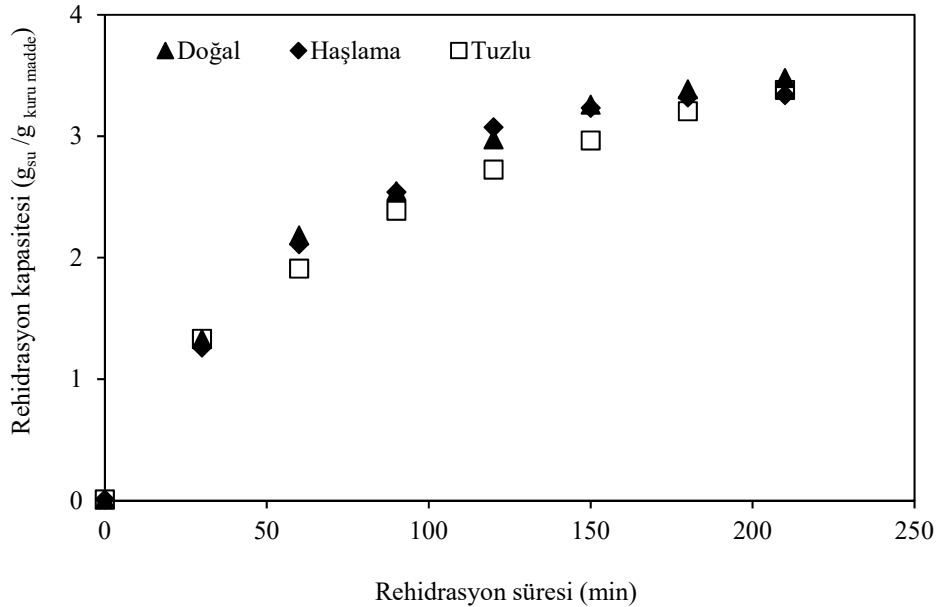
Eşitlikte m_d ; dengedeki havuç dilimlerinin kütlesini (g), m_o ; başlangıçtaki kuru havuç dilimlerinin kütlesini (g) göstermektedir. Rehidrasyon denemeleri sonucu oluşturulan rehidrasyon kinetiği eğrileri ikinci dereceden varsayılır ve Eş. 3 uygulanır.

$$\frac{dR}{dt} = k_R (R_{mak} - R)^2 \quad (3)$$

Eşitlikte dR/dt ; rehidrasyon hızını [$g_{su}/(g_{kuru\ madde} \times min)$], R_{mak} ; havuç dilimlerinin denge anındaki (t_{den}) rehidrasyon değerini ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$), R ; t anındaki rehidrasyon değerini ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) ve k_R ; rehidrasyon hız sabitini [$g_{kuru\ madde}/(g_{su} \times min)$] göstermektedir. Eşitliğin $t = 0$ için $R = 0$ ve $t = t_{den}$ için $R = R_{mak}$ sınır koşullarında matematiksel düzenlenmesi sonucu;

$$\frac{t}{R} = A + Bt \quad (4)$$

Eş. 4 elde edilir. Eşitlikte $A(=1/R_{mak}^2 k_R)$ başlangıç rehidrasyon hızının ($1/r$) tersi, $B(=1/R_{mak})$ ise maksimum rehidrasyon değerinin tersidir. Rehidrasyon mekanizması, Eş. 5 kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Havuç dilimlerinin 25°C rehidrasyon eğrileri (Rehydration curves of the carrot slices at 25°C)

$$F = \frac{m_t}{m_d} = k t^n \quad (5)$$

Eşitlikte m_t ; havuç dilimlerinin herhangi bir t süre sonraki kütlesi (g), m_d ; havuç dilimlerinin denge halindeki kütlesi, n ; difüzyon üsteli, k ; difüzyon sabitidir. F ; havuç dilimlerinin t anındaki rehidrasyon miktarının, dengedeki rehidrasyon miktarına oranıdır ve rehidrasyon kesri olarak tanımlanır. Difüzyon üsteli n , rehidrasyonun henüz dengeye ulaşmadığı bölgede ve su kütlesinin %60 bölümünün ($F < 0,60$) gıdaya girmesi için geçen zaman aralığında $\ln F - \ln t$ grafiğinden elde edilecek doğrunun eğiminden bulunabilmektedir [14]. Silindirik şekilli bir gıda için difüzyon katsayısı (D , m^2/s) Eş. 6 ile hesaplanır.

$$D = \pi r^2 \left(\frac{k}{4} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Burada r ; havuç diliminin yarıçapını (m) göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

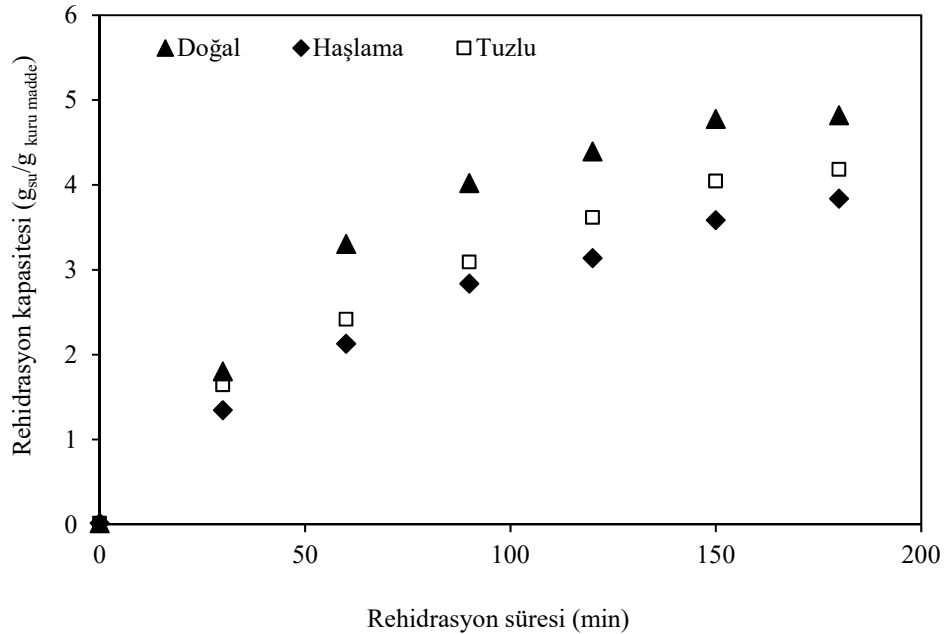
3.1. Rehidrasyon Eğrileri (Rehydration Curves)

Doğal ve ön işlem uygulamalı olarak üç farklı şekilde kurutulmuş olan havuç dilimleri saf su kullanılarak rehidre edilmiştir. Rehidrasyon süresince periyodik yapılan kütle ölçüm verileri Eş. 1 [15] yerine konularak havuç dilimlerinin zamana karşı nem içeriği değişimi ($g_{su}/g_{kuru\ maddesi}$) olarak hesaplanmıştır. Kurutulmuş havuç dilimlerinin 25 ve 50 °C rehidrasyon eğrileri Şekil 1-2 verilmiştir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi güneş altında farklı şekillerde kurutulmuş

olan havuç dilimlerinin rehidrasyonu denemelerinde; hiperbolik eğrilerin oluştuğu, sıcaklık artışının etkili olduğu, ön işlemin ise etkili olmadığı tespit edilmiştir. Her iki şekilde de başlangıçta yüksek olan rehidrasyon hızı, 3 h sonra azalmaya başlayıp sabit bir değere doğru gitmektedir. Bu bulgu, daha önce rehidrasyon konusunda çalışan diğer araştırmacıların çalışmaları ile uyum göstermektedir [6], [16]. En yüksek rehidrasyon kapasitesi değeri doğal olarak kurutulmuş havuç dilimlerinde, en düşük rehidrasyon kapasitesi değeri de haşlama ön işlemlili havuç dilimlerinde elde edilmiştir. Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneği fiziksel bir olaya da, bunun kurutma sırasında azalması, materyaldeki kimyasal, fiziko-kimyasal ve fiziksel değişimlerle ilgilidir. Kurutma koşullarına bağlı olarak buruşma ve parçalanma sonucu, hücreler ve dokunun kapılar yapısının bozulması, rehidrasyonu olumsuz yönde etkileyen fiziksel faktörlerdir. Buna karşın rehidrasyon yeteneği daha çok, kimyasal ve fizikokimyasal nedenlerle etkilenmektedir. Kurutmada uygulanan ısı, ön işlem etkisiyle ve kuruma sonucu hücredeki tuzların konsantrasyonuna bağlı olarak proteinler denatüre olmaktadır. Denatüre olan proteinler suyu tekrar absorbe ederken su bağlama yeteneğini büyük ölçüde kaybetmektedir. Aynı nedenlerle nişasta ve gıda maddeleri de daha az hidrofilik bir nitelik kazanmaktadır. Bir başka etki de hücre duvarının kurutma öncesindeki gibi esnek olmamasıdır [17].

3.2. Denge Rehidrasyon Değeri (Equilibrium Rehydration Values)

Kurutulmuş havuç dilimleri su ortamına konulduktan sonra, suyun yapıya girmesi ile rehidrasyon başlar. Belirli bir süre sonra suyun gıdaya girme hızı ile gıdadan salınım hızı birbirine eşit olur. Bu durum; maksimum rehidrasyon değerine ulaşıldığı denge durumudur. Denge rehidrasyon değerleri Tablo 2 sunulmuştur. Tablo 2 görüldüğü gibi her



Şekil 2. Havuç dilimlerinin 50°C rehidrasyon eğrileri (Rehydration curves of the carrot slices at 50°C)

üç örnek için rehidrasyon sıcaklığı arttıkça denge rehidrasyon değerleri (R_{den}) de artmıştır. Doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinin denge rehidrasyon değerleri, ön işleme kurutulan havuç dilimlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Örneğin 25°C sıcaklıktaki rehidrasyon denemelerinde denge rehidrasyon değeri, sırasıyla doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinde 3,68 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$), tuzlu suya daldırılarak kurutulan havuç dilimlerinde 3,58 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) ve haşlanarak kurutulan havuç dilimlerinde ise 3,55 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) olarak bulunmuştur. 50°C sıcaklıktaki rehidrasyon denemelerinde ise tüm örneklerin denge rehidrasyon değerleri artmış olup sırasıyla 5,73, 5,14 ve 5,06 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) olarak bulunmuştur.

3.3. Denge Su İçeriği (Equilibrium Water Content)

Denge su içeriği (DSI) kurutulmuş ürünler için hesaplanan önemli bir parametredir ve değerinin 0,60 büyük olması istenmektedir [18]. Eş. 2 kullanılarak hesaplanan denge su

içeriği (DSI) değerleri Tablo 3 görülmektedir. Tablo 3 görüldüğü gibi her üç örnek için rehidrasyon sıcaklığı arttıkça denge su içeriği (DSI) değerleri de artmıştır. Doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinde, dengede su içeriği değeri her iki rehidrasyon sıcaklık denemesinde de diğerlerine göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Her iki rehidrasyon sıcaklığı denemesinde, denge su içeriği değerleri büyükten küçüğe doğru doğal, tuzlu, haşlama olarak sıralanmıştır.

3.4. Rehidrasyon Kinetiğinin Hesaplanması (Calculation of Rehydration Kinetics)

Bir gıdanın rehidrasyon davranışının karakterizasyonunda, rehidrasyon kinetiğinin incelenmesi, difüzyon türü ve mekanizmasının belirlenmesinde önemlidir. Bu nedenle rehidrasyon eğrilerinin oluşturulması gerekir. Rehidrasyon eğrileri, su içine konulan kuru gıdanın kütledeki ya da hacmindeki değişikliklerin zamanla değişiminin izlenmesi

Tablo 2. Kurutulmuş havuç dilimlerinin deneysel denge rehidrasyon değerleri (R_{den}) (Experimental equilibrium rehydration values (R_{eq}) of dried carrot slices)

Rehidrasyon sıcaklığı (°C)	Denge rehidrasyon değerleri (R_{den})		
	Doğal	Tuzlu	Haşlama
25	3,68	3,58	3,55
50	5,3	5,14	5,06

Tablo 3. Havuç dilimlerinin denge su içeriği (DSI) değerleri (Equilibrium water content values (EWC) of carrot slices)

Rehidrasyon sıcaklığı (°C)	Denge su içeriği (DSI)		
	Doğal	Tuzlu	Haşlama
25	0,778	0,765	0,752
50	0,839	0,816	0,807

Tablo 4. Kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiği ile ilgili parametre değerleri (Rehydration kinetics parameters values related to dried carrot slices)

Sabitler	Rehidrasyon sıcaklığı (°C)	Doğal	Tuzlu	Haşlama
$(dR/dt)_0$	25	0,064	0,056	0,053
	50	0,112	0,077	0,075
$k_R \times 10^3$	25	2,82	2,62	2,59
	50	2,43	2,33	2,26
R_{max}	25	4,78	4,63	4,57
	50	5,96	5,75	5,66

Tablo 5. Rehidrasyon parametre değerleri (Rehydration parameter values)

Parametreler	Rehidrasyon sıcaklığı (°C)	Doğal	Tuzlu	Haşlama
n	25	0,331	0,345	0,364
	50	0,332	0,348	0,367
$k \times 10^2$	25	13,8	12,3	10,3
	50	12,2	11,1	9,9
R^2	25	0,984	0,998	0,981
	50	0,996	0,985	0,991

Tablo 6. Difüzyon katsayıları (Diffusion coefficient)

Difüzyon katsayısı	Rehidrasyon sıcaklığı (°C)	Doğal	Tuzlu	Haşlama
$D \times 10^{10}$ (m ² /s)	25	1,97	1,62	1,49
	50	2,15	1,89	1,77

ile oluşturulur. Rehidrasyon denemeleri sonucu oluşturulan rehidrasyon kinetiği eğrileri ikinci dereceden varsayılır. Eş. 3 [19] verilen bağıntı değerlendirilerek, elde edilen Eş. 4 kullanılarak rehidrasyon kinetiğinin matematiksel analizi yapılabilir. Bu bağıntı ile bulunan sonuçlar değerlendirilerek kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon karakterizasyonunun temelleri daha iyi ortaya konulabilir. Kurutulmuş havuç dilimlerinin sudaki rehidrasyon hızını belirleyen rehidrasyon hız sabiti k_R , başlangıç rehidrasyon hızı r_o ($(dR/dt)_o$) ve teorik denge rehidrasyon değeri R_{mak} , çizilen rehidrasyon hızı eğrilerinden elde edilen doğruların eğim ve kesim noktaları değerleri, Eş. 4 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 4 sunulmuştur. Tablo 4 incelendiğinde 25 ve 50 °C sıcaklıktaki rehidrasyon denemelerinde, doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinin başlangıç rehidrasyon hızı, haşlanarak ve tuzlu suya daldırılarak kurutulan havuç dilimlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Tüm denemeler baz alındığında teorik denge rehidrasyon değerleri (R_{mak}) 4,57 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) ile 5,96 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) arasında değişmektedir. Denge rehidrasyon değerleri incelendiğinde, rehidrasyon sıcaklığının artmasıyla denge rehidrasyon değerleri artmış olup, maksimum rehidrasyon değeri doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinde 5,96 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) olarak elde edilmiştir. Rehidrasyon hız sabiti değerleri, tüm rehidrasyon denemeleri için 2,26-2,82 ($g_{kuru\ madde}/(g_{su}\cdot\min)$) arasında bulunmuştur. Rehidrasyon hız sabitinin, denge rehidrasyon değeri ile ters orantılı olduğu Tablo 4 görülmektedir. Rehidrasyon sıcaklığı arttıkça, reaksiyon hız sabiti değeri düşerken, teorik denge rehidrasyon değeri artmaktadır. Doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinin, 25 ve 50 °C sıcaklıklardaki rehidrasyon denemelerinde, rehidrasyon hız sabiti değerleri sırasıyla 2,82 ve 2,43 ($g_{kuru\ madde}/(g_{su}\cdot\min)$) elde edilmiş olup denge rehidrasyon değerleri de 4,78 ve 5,96 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) olarak hesaplanmıştır.

3.5. Suyun Difüzyonu (Diffusion of Water)

Kurutulmuş havuç dilimlerinin su alma davranışlarının ve difüzyon türünün açıklanmasında kullanılan en temel yasalar Fick yasalarıdır. Rehidrasyon özelliği gösteren kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiği Eş. 5 [20] verilen temel bağıntı ile incelenmektedir. Bu amaçla kurutulmuş havuç dilimlerindeki su difüzyonunun incelenmesi için Eş. 5 verilen bağıntının logaritmik formu kullanılarak $\ln F - \ln t$ grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerin çiziminden elde edilen doğruların eğiminden difüzyon üsteli n ve kesim noktasından ise difüzyon sabiti k değerleri hesaplanarak Tablo 5 sunulmuştur. Difüzyon üsteli (n), difüzyonun veya suyun transfer mekanizması türünün belirlenmesi için kullanılan önemli bir parametredir. Fick'in üç temel difüzyon türünün haricinde literatürde de mevcut olan difüzyon üsteli $n < 0,50$ olması durumunda suyun transfer mekanizmasının doğal difüzyon olarak ifade edildiği görülmektedir [19]. Kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyonunda difüzyon üsteli değerleri 0,331 ile 0,367 arasında bulunmuştur. Bu değerlerden hareketle difüzyonun doğal Fick difüzyon sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Difüzyon sabiti (k) ve korelasyon katsayısı (R) tüm deneysel koşullar için sırasıyla 0,099–0,138 ve 0,981–0,998 aralığında değişmiştir.

3.6. Difüzyon Katsayısının Hesaplanması (Calculation of Diffusion Coefficient)

Kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon karakterizasyonları yapılırken hesaplanması gereken önemli parametrelerden birisi de difüzyon katsayısıdır (D). Kurutulmuş havuç dilimlerinin ölçülmüş olan yarı çap uzunlukları ile Tablo 5 verilen k ve n değerleri Eş. 6 [21]: yerine konularak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan difüzyon katsayısı değerleri Tablo 6 verilmiştir. Tablo 6 görüldüğü gibi havuç dilimlerinin rehidrasyonunda önemli olan difüzyon katsayısı değerlerinin sıcaklık artışı ile arttığı saptanmıştır. Doğal olarak güneş altında kurutulan havuç dilimlerinin rehidrasyonundaki difüzyon hızı her iki deney sıcaklığında da yüksek olup bu değerler sırasıyla $1,97 \times 10^{-10}$ ile $2,15 \times 10^{-10}$ (m^2/s) olarak bulunmuştur. Literatür çalışmalarında gıda maddeleri için bu değerlerin genel aralığı 10^{-9} – 10^{-12} m^2/s 'dir [22, 23].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, ön işlemlenmiş ve doğal olarak güneş altında kurutulmuş olan havuç dilimlerinin 25 ve 50°C rehidrasyon karakterizasyonları incelenmiştir. Ön işlemlenmiş ve doğal olarak güneş altında kurutulmuş havuç dilimlerinin her iki rehidrasyon sıcaklığı denemelerinde ise en iyi sonuçlar doğal olarak kurutulmuş havuç dilimlerinde elde edilmiştir. Kurutulmuş havuç dilimlerinin 50°C rehidrasyon denemelerinde son nem içeriği haşlama, tuzlu ve doğal için sırasıyla 5,06, 5,14 ve 5,73 ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$) olarak bulunmuştur. Denge su içeriği değeri 0,60 sınır değer olarak kabul edilir. Havuç dilimlerinin rehidrasyonu denemeleri sonucu yapılan hesaplamalarda dengede su içeriği değerleri tüm koşullar için 0,752–0,839 arası bulunmuştur. Teorik denge rehidrasyon değerlerinin, deneysel denge rehidrasyon değerleri ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Bir başka ifadeyle teorik denge rehidrasyon değerleri, deneysel denge rehidrasyon değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Havuç dilimlerinin rehidrasyonunda sıcaklık artışının etkili olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısı değeri de artmıştır. En yüksek difüzyon katsayısı değeri doğal olarak kurutulan havuç dilimlerinin rehidrasyonunda elde edilmiştir. Bu değerler 25 ve 50°C sıcaklıklar için sırasıyla $1,97 \times 10^{-10}$ m^2/s ve $2,15 \times 10^{-10}$ m^2/s olarak bulunmuştur. Sonuç olarak: rehidrasyon denemeleri sonucu elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar neticesinde hesaplanan (rehidrasyon içeriği, denge rehidrasyon, teorik denge rehidrasyon, dengede su içeriği ve difüzyon katsayısı) değerleri, her üç koşul için kıyaslandığında en iyi sonuç doğal olarak kurutulmuş havuç dilimlerinde elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kumar N., Sarkar B.C., Sharma H.K., Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace, Journal of Food Science and Technology, 17 (1), 33-41, 2012.
2. Doymaz I., Determination of Infrared Drying Characteristics and Modelling of Drying Behaviour of

- Carrot Pomace, *Journal of Agricultural Sciences*, 19 (1), 44-53, 2013.
3. Sahdev R.K., Open Sun and Greenhouse Drying of Agricultural and Food Products: A Review, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3 (3), 1053-1066, 2014.
 4. Osidacz R.C., Ambrosio-Ugri C.B., Physicochemical quality of eggplant dehydrated with varied pretreatments, *Acta Sci. Technol.*, 35 (1), 175-179, 2013.
 5. Aktaşı 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.
 6. Maldonado S., Arnau E., Bertuzzi M.A., Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes, *J. Food Eng.*, 96 (3), 333-341, 2010.
 7. Garba U., Kaur S., Effect of Drying and Pretreatment on Anthocyanins, Flavenoids and Ascorbic Acid Content of Black Carrot (*Daucus Carrota L.*), *J. Global Biosci.*, 3 (4), 772-777, 2014.
 8. Doymaz I., İsmail O., Modeling of Rehydration Kinetics of Green Bell Peppers, *J. Food Process. Pres.*, 37, 907-913, 2012.
 9. Odjo S., Malumba P., Beckers Y., Béra F., Impact of drying and heat treatment on the feeding value of corn. A review, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 19 (3), 301-312, 2015.
 10. Noshad M., Mohebbi M., Shahidi F., Mortazavi S.A., Kinetic Modeling of Rehydration in Air-Dried Quinces Pretreated with Osmotic Dehydration and Ultrasonic, *J. Food Process. Pres.*, 36 (5), 383-392, 2012.
 11. Phisut N., Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product, *Int. Food Res. J.*, 19 (4), 1297-1306, 2012.
 12. Okpala L.C., Ekechi C.A., Rehydration characteristics of dehydrated West African pepper (*Piper guineense*) leaves, *Food Sci. Nutr.*, 2 (46), 664-668, 2014.
 13. AOAC., Official methods of analysis of AOAC International, 17th Editör: Revision I, Gaithersburg, M.D., USA, 2002.
 14. Peppas N.A., Bures P., Leobandung W., Ichikawa H., Hydrogels in pharmaceutical formulations, *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 50 (1), 27-46, 2000.
 15. Marek M., Magdalena Z., Kinetics of water absorption and soluble-solid loss of hot-air-dried carrots during rehydration, *Int. J. Food Sci. Tech.*, 46 (6), 1122-1128, 2011.
 16. Turhan M., Sayar S., Gunasekaran, S., Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking, *J. Food Eng.*, 53 (2), 153-159, 2002.
 17. Demirbüker D., Arcan I., Tokatli F., Yemenicioglu A., The effects of hot rehydration in the presence of hydrogen peroxide on microbial quality, texture, color and antioxidant activity of cold stored intermediate moisture sun-dried figs, *J. Food Sci.*, 70 (3), 153-159, 2005.
 18. Apar D.K., Demirhan E., Ozbek B., Dadali G., Rehydration kinetics of microwave-dried okras as affected by drying conditions, *J. Food Process. Pres.*, 33 (5), 618-634, 2009.
 19. Doymaz I., İsmail O., Modeling of Rehydration Kinetics of Green Bell Peppers, *J. Food Process. Pres.*, 37 (5), 907-913, 2013.
 20. Peppas N.A., Gurny R., Doelker E., Buri P., Modeling of drug diffusion through swellable systems, *J. Membrane Sci.*, 7 (3), 241-253, 1980.
 21. Peppas N.A., Brannon-Peppas L., Water diffusion and sorption in amorphous macromolecular systems and foods, *J. Food Eng.*, 22 (1-4), 189-210, 1994.
 22. Bello M., Tolaba M.P., Suarez C., Factors affecting water uptake of rice grain during soaking, *LWT-Food Sci. Technol.*, 37 (8), 811-816, 2004.
 23. Calzetta Resio A.N., Aguerre R.J., Suarez C., Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking, *J. Food Eng.*, 60 (4), 391-396, 2003.

