

Havucun İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi

Hakan Okyay MENGEŞ¹, Can ERTEKİN²

¹ S.Ü.Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Konya

² A.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Antalya
hmengec@selcuk.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, 3, 6, 9 mm kalınlığında halka şeklinde dilimlenmiş havuçlar, laboratuvar tipi bir kurutucuda 55, 65, 75 °C sıcaklık ve 2.0 ve 3.0 m/s kurutma havası hızlarında kurutulmuştur. Deneysel verilerden hareketle zamanla nem içeriğindeki değişim incelenmiştir. Fick'in II. Yasasının çözümünden her bir kalınlık ve sıcaklık için efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır.

Artan sıcaklık ile hem kuruma hızının hem de efektif difüzyon katsayısının arttığı, havuç dilimlerinin kalınlığının artmasıyla da kuruma hızının ve aktivasyon enerjisinin azaldığı, efektif difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Havuç kurutma, hava sıcaklığı, hava hızı, efektif difüzyon katsayısı, kalınlık, aktivasyon enerjisi.

Investigation of Drying Characteristics for Thin Layer Drying of Carrot

Abstract: In this study, ring shaped and sliced carrots at 3, 6 and 9 mm thickness were dried in laboratory type of drying machine at 55, 65 and 75 °C air temperatures and 2.0 and 3.0 m/s air velocities. By the taking into consideration of experimental datas, it was investigated changing between time and amount of moisture. According to analysis of Ficks' Second Rule, for every a thickness and temperature value was calculated diffusion coefficient and activation energy.

With the increasing of temperature, was determined to increase both air velocity and effective diffusion coefficient. In addition, also increasing thickness of carrot slices was caused by decreasing of drying rate and activation energy and appeared to increase of effective diffusion coefficient.

Key words: Drying of carrot, air temperature, air velocity, effective diffusion coefficient, thickness, activation energy.

GİRİŞ

Tarımsal ürünleri korumanın en eski ve en kolay yolu ürünlerin kurutulmasıdır. Gıda maddelerinin bozulmadan uzun zaman dayandırılmaları öteden beri insanların uğraştıkları bir konu olmuştur. Tarımsal ürünlerin yaş olarak tüketilmelerinin yanı sıra kurutularak değişik amaçlarla kullanımları, saklama koşullarının daha kolay olması ve ekonomik kazanımları nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Bu nedenle tarımsal ürünlerin kurutulması tüm dünyada en yaygın kullanım alanı bulmuş uygulamadır (Yaldız, 2001).

Bu amaca yönelik olarak çalışmada hazır gıda üretiminde kullanılması nedeniyle materyal olarak havuç seçilmiştir. Türkiye'nin 2005 yılı verilerine göre

havuç üretimi 438 bin ton olup, bunun değeri yaklaşık olarak 231 milyon US\$ düzeyindedir (Anonim, 2007).

Ülkemizin iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzenin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında güneşe sererek yapılmaktadır. Bu yolla kurutulmuş ürünlerimizden üzüm, incir ve kayısının ülke ekonomisine katkısı büyük orandadır. Bunun yanında dünya sebze pazarında ticari önemi olan patlıcan, kabak, biber, havuç vb. sebzelerin ülkemiz koşullarında kurutma potansiyeli oldukça fazladır. Ancak ülkemizin dünya kurutulmuş ürün piyasasındaki payını arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda ve kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir. Dünyada ticareti yapılan kurutulmuş

kurutma havası sıcaklığı ise kurutma bölgesinin hemen altına yerleştirilen sıcaklık ölçüm ve kontrol cihazları ile ± 1 °C ve belli t anlarındaki ağırlık kayıpları ise elektronik terazi ile 0.01 gram doğrulukla ölçülmüştür.

Effektif difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi

Farklı materyallerin kurutulması sırasında tek boyutlu kütle transferindeki izotropik difüzyon aşağıdaki Fick'in II. Yasası ile ifade edilir;

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{k}{x} \frac{\partial M}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Burada M nem içeriği (k.b.), t süre (s), D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s) ve yassı düz levha için $k=0$,

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

şeklini alır. Uzun kurutma süreleri için eşitliğin sağ tarafındaki sadece ilk terimi gözönüne alınır;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (3)$$

Denge nem içeriği değerinin çok küçük bir değer olması açısından ihmal edilebilir ve birçok araştırmacının kullandığı aşağıdaki forma indirgenebilir (Doymaz ve Pala, 2002; Doymaz ve Pala, 2003; Maskan, 2000);

$$\ln \left(\frac{M}{M_o} \right) = a - bt \quad (4)$$

Zamana karşı $\ln(M/M_o)$ grafiğinin eğimi ($\pi^2 D_{eff}/4L^2$) değerine eşittir ve dilim kalınlığının bilinmesi ile herbir deneme koşulu için efektif difüzyon katsayısı hesaplanabilmektedir (Doymaz ve ark., 2006). Effektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır;

$$D_{eff} = D_o \cdot \exp(-E_A/RT) \quad (5)$$

silindir için $k=1$ ve küre için $k=2$ olarak alınır (Crank, 1975; Chen, 2006; Eframov ve Kudra, 2004; Eframov ve Kudra, 2005; Eframov, 2006). Nem içeriği ifadesi yerine ayrılabilir nem oranının kullanılması durumunda ve nem hareketinin sadece difüzyonla gerçekleştiği, büzülmenin ihmal edildiği, sabit sıcaklık ve difüzyon katsayısı değerlerinde ve uzun kurutma sürelerinde Denklem (1) yassı bir materyal için;

Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_o sonsuz sıcaklıkta diffüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit, E_A aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R universal gaz sabiti (8.314 kJ/kg mol K), T mutlak kurutma havası sıcaklığıdır (K). Sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanır (Doymaz, 2004; 2007a; 2007b). Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma işlemi daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerinde artıştan meydana gelir (Devahastin, 2000).

Deneyel olarak bulunan ve yukarıda belirtilen Denklem 3'te efektif difüzyon katsayısının kullanılması ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri, tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) ve modelin modelleme yeterliliği gibi istatistiksel büyüklükler ile karşılaştırılmışlardır;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{i,tah\ min\ i} - ANO_{i,deneysel})^2}{N}} \quad (6)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{i,deneysel} - ANO_{i,tah\ min\ i})^2}{N - n} \quad (7)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{i,deneysel} - ANO_{i,deneysel,ort})^2 - \sum_{i=1}^N (ANO_{i,tah\ min\ i} - ANO_{i,deneysel})^2}{\sum_{i=1}^N (ANO_{i,deneysel} - ANO_{i,deneysel,ort})^2} \quad (8)$$

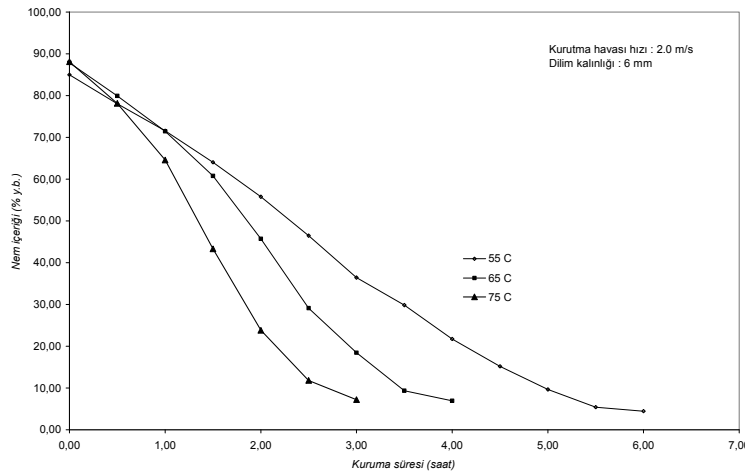
Burada $ANO_{deneysel}$ deneme sonuçlarından elde edilen ayrılabilir nem oranı, $ANO_{tahmini}$ efektif difüzyon katsayısı kullanılarak tahmin edilen ayrılabilir nem oranı, N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı ve $ANO_{deneysel,ort}$ deneme sonuçlarından elde edilen ayrılabilir nem oranı değerinin ortalamasıdır. RMSE ve khi-kare değerlerinin sıfıra, EF değerinin bire yakın olması, deneysel ve tahmini ayrılabilir nem oranı değerlerinin uyumlu olduğunu göstermektedir (Ertekin ve Yıldız, 2004; Mengeş ve Ertekin, 2006).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Hava sıcaklığının etkisi

Havucun kuruma karakteristikleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere kuruma süresi kurutma havası sıcaklığından etkilenmekte, hava sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı

hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır (Madamba ve ark. 1996; Ertekin ve ark., 2001). Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etkiyi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlayabiliriz. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir (Ergüneş, 1990). Bunun yanısıra, kuruma hızı yüksek sıcaklıklarda daha yüksek değerlere sahiptir (Şekil 3). Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda maddedeki suyun daha yüksek buhar basıncı göstermesi ve buharlaşma derecesinin artması, yüksek sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızının görülmesine neden olmaktadır (Doymaz, 2004a). Ayrıca Şekil 4'te $\ln(ANO)$ ile süre ilişkisi verilmiş, kuruma olayının azalan hızda kuruma evresinde gerçekleştiği saptanmıştır.



Şekil 2. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutulan havucun nem içeriğindeki değişim

Kurutma havası sıcaklığının kuruma süresi üzerine etkisi ise Şekil 5'te görülmektedir. Havucun % 10 (y.b.) son nem içeriğine kadar kurutulması için gerekli süre (DT), kurutma havası sıcaklığına (T) bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla büyük doğrulukla ($R^2=0.9997$) hesaplanabilir;

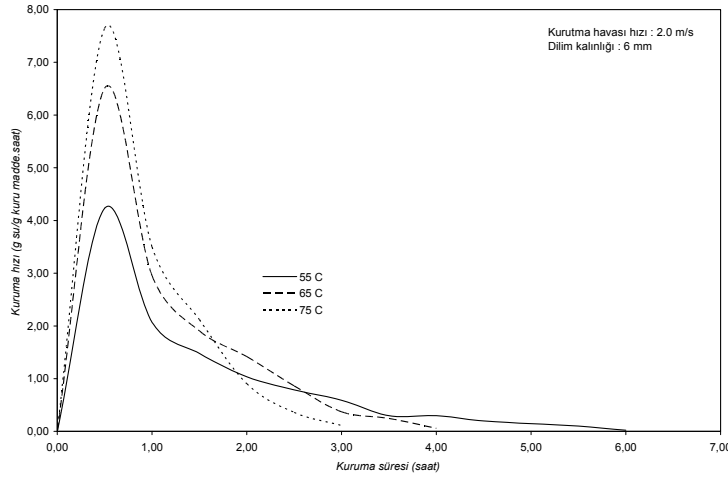
$$DT = a \exp^{bT}$$

$$DT = 33.523 \exp^{-0.0347 T} \quad R^2 = 0.9997$$

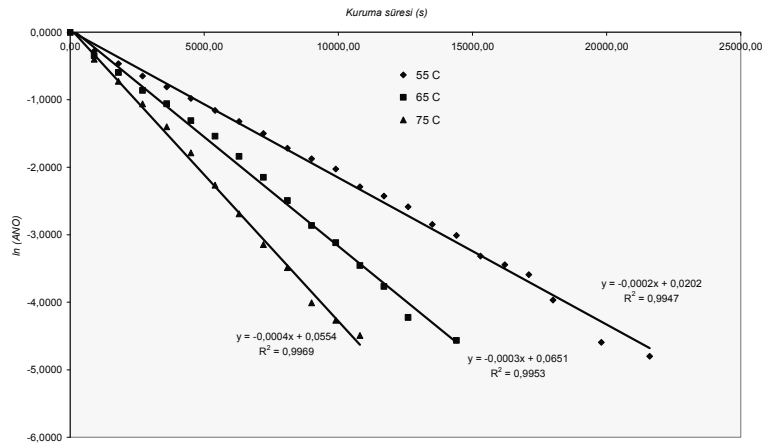
Hava hızının etkisi

Kuruma işlemi sırasında kurutulmakta olan ürünün yakın çevresinde durgun bir su buharı tabakası

oluşmaktadır. Oluşan bu su buharı tabakası çok ince bir yapıya sahip olmasına karşın su ile doymuş bir ortam olduğundan kuruma hızını azaltıcı bir etki yapmaktadır. İşte bu tabakanın uzaklaştırılabilmesi için kurutma havasına bir hareket diğer bir ifade ile bir hız kazandırmak gerekmektedir. Ancak kurutma havası hızının kuruma üzerine etkisi belirli bir hız değerine kadar görülmektedir. Nitekim yapılan araştırmalar 5.0 m/s 'den daha fazla bir hava hızının ürünlerin kuruma hızı üzerine ek bir etki yapmadığını göstermiştir (Yağcıoğlu, 1981).



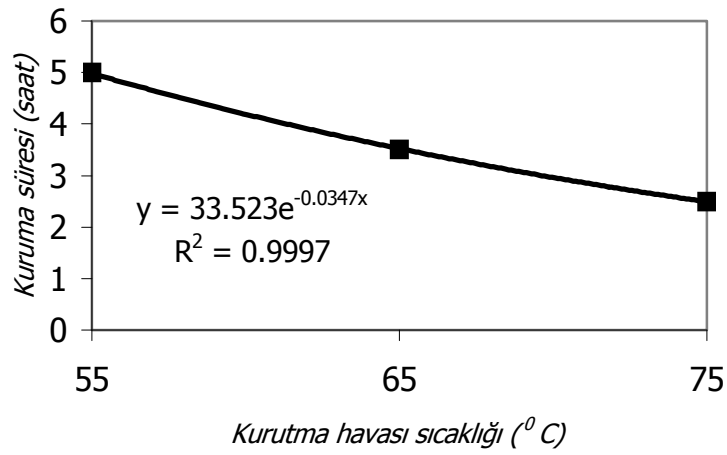
Şekil 3. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutulmuş havucun kuruma hızındaki değişim



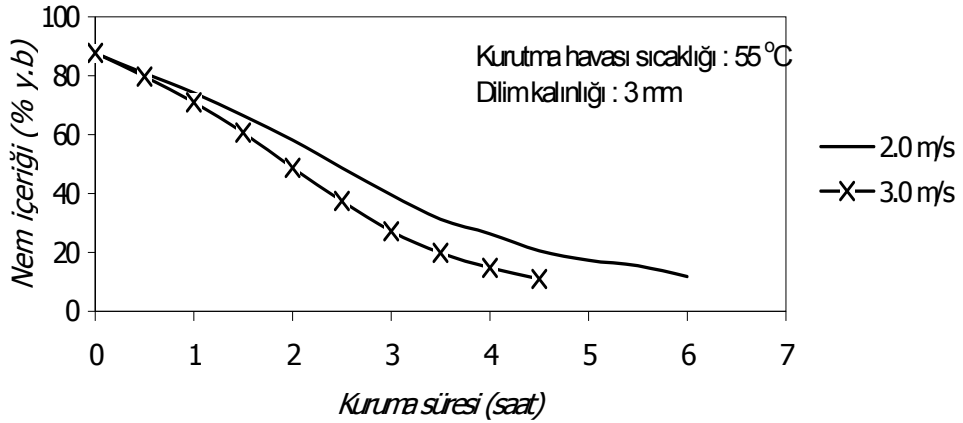
Şekil 4. Ln (ANO) ile süre arasındaki ilişki

Kurutma işlemlerinde hava hızının etkisi, kurutmanın bulunduğu aşamaya göre değişim göstermektedir. Kurutmanın başlarında hava hızı çok etkiliyse de kurutmanın ileriki safhalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızıyla sınırlandığından, kurutma havası hızının yüksek olmasının önemli bir etkisi bulunmamaktadır (Ergüneş, 1990).

Kurutma havası hızının etkisi sabit 55 °C kuruma havası sıcaklığı ve 3 mm dilim kalınlığında araştırılmıştır (Şekil 6). Bu koşullarda en kısa kuruma süresi 3.0 m/s hava hızında sağlanmıştır. Ürünün nem içeriğini %10 düzeyine inmek için gerekli süre 2.0 m/s hava hızında 4 saat iken, bu değer 3.0 m/s hız kademesinde % 12,5 daha az sürede 3,5 saat olmaktadır.



Şekil 5. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kuruma sürelerinin değişimi

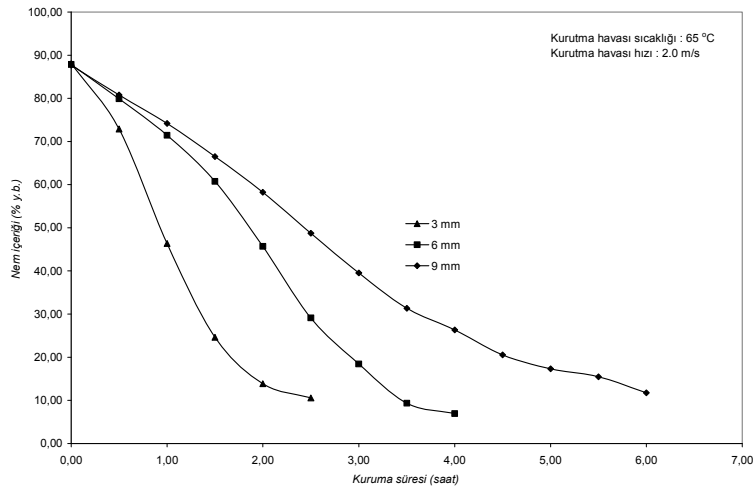


Şekil 6. Farklı kurutma havası hızlarında kurutulan havucun nem içeriği değişimi

Dilim kalınlığının etkisi

Kurutma öncesi uygulanan dilimleme işleminin kuruma hızına etkisi 65 °C sıcaklık ve 2.0 m/s hava hızında araştırılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi dilim kalınlığı azaldıkça kuruma hızı artmaktadır ve bu artış en küçük dilim kalınlığı olan 3 mm kalınlıkta en fazla olmaktadır. Kalınlık azaldıkça, su moleküllerinin yüzeye taşınmak için daha az mesafe kat etmeleri

gerekmekte, bu da kurutmanın hızlı olmasına neden olmaktadır. %10 nem içeriği düzeyine inmek için gerekli kuruma süresi 3 mm kalınlığındaki havuç örneklerinde 2,5 saat iken, bu süre 9 mm kalınlığındaki havuç örneklerinde 2.4 kat artarak 6 saatte gerçekleşmiştir. Bu durum dilim kalınlığının kuruma hızı üzerine olan etkisinin açık bir göstergesidir (Ertekin ve Yıldız, 2004).



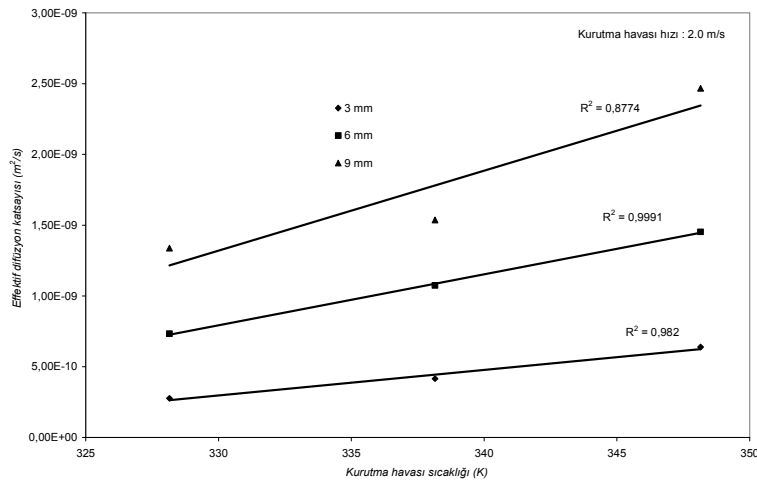
Şekil 7. Dilim kalınlığının kuruma üzerine etkisi

Sıcaklık ve dilim kalınlığının efektif difüzyon katsayısına etkisi

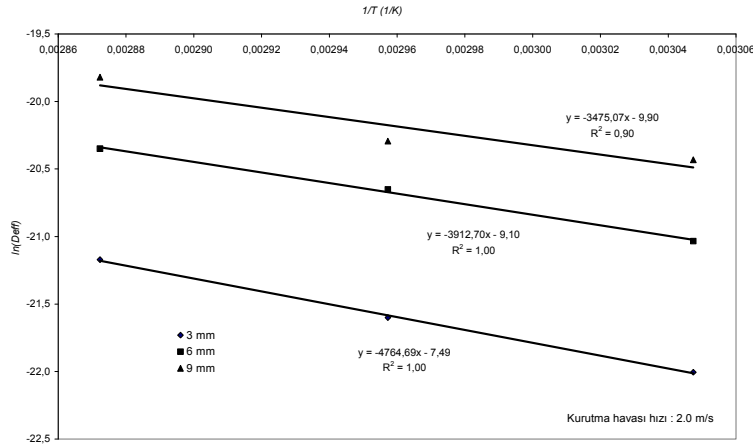
Havuç örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı, hızı ve dilim kalınlığı için ayrı efektif difüzyon katsayısı hesaplanmıştır. Efectif difüzyon katsayısı değeri 2.774×10^{-10} ile 2.679×10^{-09} m^2/s arasında değişmektedir. Efectif difüzyon katsayısının kurutma havası sıcaklığı ve dilim kalınlığı ile değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığının artmasıyla birlikte efektif difüzyon katsayısı değerleri artmaktadır. Bu durum, yüksek

sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin daha kolay buharlaşması ve kuruma hızının artmasıyla açıklanabilir. Ancak efektif difüzyon katsayısı kalınlığın artmasıyla sürekli olarak artmaktadır ve bu artış yüksek sıcaklık değerlerinde daha fazla olmaktadır. Bu değişimi aktivasyon enerjisi ile açıklamak mümkündür. Efectif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel ifade ile verilmektedir (Maskan ve ark., 2002; Doymaz, 2007a ve 2007b; Doymaz ve ark., 2004) (Şekil 9).



Şekil 8. Farklı kurutma havası sıcaklığı ve dilim kalınlıklarında efektif difüzyon katsayısının değişimi

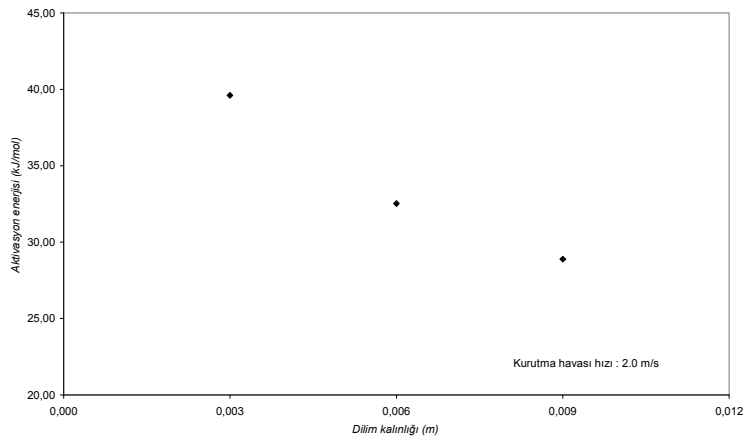


Şekil 9. Effektiv difüzyon katsayısına sıcaklığın etkisi

Aktivasyon enerjisi farklı deneme koşullarında sıcaklığa bağlı olarak 28.89 ile 39.61 kJ/mol arasında değişmiştir. Bu değer 50 ile 70 °C kurutma sıcaklığında küp şeklindeki havuçların kurutulması işleminde 28.36 kJ/mol olarak hesaplanmıştır (Doymaz, 2004a). Şekil 9'da görüldüğü gibi aktivasyon enerjisi örnek kalınlığındaki artışla azalmaktadır. Örnek kalınlığının artmasıyla kuruma hızı azalmasına rağmen, su moleküllerinin ortalama enerjileri artacağından aktivasyon enerjisi azalır ve buharlaşma için gerekli enerji engelini geçen su molekülleri daha fazla olacağından difüzyon katsayıları artar (Şekil 10). Aktivasyon enerjisi aynı zamanda difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlılığında gösterir. Aktivasyon enerjisi değerinin büyük olması, difüzyon katsayısının sıcaklığa daha duyarlı olduğunu gösterir. İnce dilim

kalınlıklarında daha yüksek aktivasyon enerjisi değerine sahip olmaları, sıcaklığa karşı daha hassas olmalarından kaynaklanmaktadır (Togrul ve ark., 2005; Maskan ve ark., 2002).

Elde edilen effektiv difüzyon katsayısı değerlerinin Denklem 3'te yerine konulması ile hesaplanan ayrılabilir nem oranı (ANO_{tahmini}) ile deneysel olarak bulunan ayrılabilir nem oranı (ANO_{deneysel}) değerleri arasındaki uyum incelenmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Sonuçlara göre RMSE 0.041797 ile 0.095161, khi-kare 0.001823 ile 0.010349 ve EF 0.924208 ile 0.977710 arasında değişmiştir. Görüldüğü gibi çok küçük hatalarla ayrılabilir nem oranı değerinin tahmin edilmesi de mümkündür.



Şekil 10. Dilim kalınlığına göre aktivasyon enerjisinin değişimi

Tablo 1. Ayrılabilir nem oranının tahminindeki istatistiksel sonuçlar

Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	Dilim kalınlığı (mm)	RMSE	Khi-kare	EF
55	2	3	0.057123	0.003496	0.956649
65	2	3	0.060104	0.003941	0.960657
75	2	3	0.068780	0.005322	0.955972
55	3	3	0.059777	0.003898	0.960706
65	3	3	0.060858	0.004074	0.959874
75	3	3	0.075340	0.006622	0.958386
55	2	6	0.050795	0.002697	0.968324
65	2	6	0.062645	0.004186	0.949842
75	2	6	0.069597	0.005247	0.947928
55	3	6	0.059014	0.003687	0.955447
65	3	6	0.052985	0.003023	0.965252
75	3	6	0.095161	0.010349	0.924208
55	2	9	0.045145	0.002123	0.974655
65	2	9	0.041797	0.001823	0.976941
75	2	9	0.053714	0.003078	0.962249
55	3	9	0.042320	0.001866	0.977710
65	3	9	0.046919	0.002324	0.970109
75	3	9	0.053824	0.003090	0.961825

SONUÇ

Artan kurutma havası sıcaklığı ve hızının, hem kuruma hızını hem de efektif difüzyon katsayısını

arttırdığı, havuç dilimlerinin kalınlığının artmasıyla da kuruma hızının azaldığı ve efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin arttığı görülmüştür.

LİTERATÜR LİSTESİ

Anonim, 2007. FAO Statistical Database. Web page.

Chen X.D., 2006. Moisture diffusivity in food and biological materials. 15th International Drying Symposium (IDS 2006). Farkas I (ed.) Vol.A: 18-28. Budapest, Hungary.

Crank J (1975). The Mathematics of Diffusion, 2nd ed., Oxford Univ. Press. Oxford.

Devahastin, S.; 2000. Mujumdar's practical guide to industrial drying. Exergex Corporation, Canada.

Doymaz, İ.; Gorel, O.; Akgün, N.A.; 2004. Drying characteristics of the solid by-product of olive oil extraction. Biosystems Engineering, 88, 213-214.

Doymaz, İ., 2004. Effect of dipping treatment on air drying of plums. Journal of Food Engineering, 64, 465-470.

Doymaz, İ.; 2004a. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, 61, 359-364.

Doymaz, İ., Tuğrul, N., Pala, M.; 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. Journal of Food Engineering, 77, 559-565.

Doymaz, İ.; Pala, M.; 2002. Hot air drying characteristics of red pepper. Journal of Food Engineering, 55, 331-335.

Doymaz, İ.; Pala, M.; 2003. The thin layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering, 60, 125-130.

Doymaz, İ.; 2007a. The kinetics of forced convective air drying of pumpkin slices. Journal of Food Engineering, 79, 243-248.

Doymaz, İ.; 2007b. Air drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 78, 1291-1297.

Efremov, G.; Kudra, T.; 2004. Calculation of the effective diffusion coefficients by applying a quasi-stationary equation for drying kinetics. Drying Technology, 22, 2273-2279.

Efremov, G.; Kudra, T.; 2005. Model-based estimate for time-dependent apparent diffusivity. Drying Technology, 23, 2513-2522.

Efremov, G.; 2006. Calculation of the effective diffusion coefficients with applying of Fick's equation solution and modified quasi-stationary method. 15th

- International Drying Symposium (IDS 2006), Farkas I. (ed.) Vol.A, 429-433, Budapest, Hungary.
- Ergüneş, G., 1990. Çekirdeksiz Üzümün Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir.
- Ertekin, C., Yıldız, O., Mühlbauer, W.; 2001. İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kuruma Davranışının Modellenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, pp. 405-411, 13-15 Eylül, Şanlıurfa.
- Ertekin, C.; Yıldız, O.; 2004. Drying Of Eggplant And Selection Of A Suitable Thin Layer Drying Model. Journal Of Food Engineering, 63, 349-359.
- Mengeş, H.O.; Ertekin, C.; 2006. Thin Layer Drying Model For Treated And Untreated Stanley Plums. Energy Conversion and Management, 47, 2337-2348.
- Işık, E., Alibaş, İ.; 2000. Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemler ve Kurutma Sistemi. U.Ü. Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Notu, No:3, Bursa.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A.; 1996. The Thin-Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. Journal of Food Engineering, 29, 75-97.
- Maskan, A., Kaya, S., Maskan, M.; 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). Journal of Food Engineering, 54, 81-88.
- Maskan, M.; 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44, 71-78.
- Toğrul, H.; Toğrul, İ.T.; İrpir, A.; 2005. İnfrared kurutucuda muzun kuruma kinetiğinin incelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, Antalya.
- Yağcıoğlu, A.; 1981. Tavuk Gübresinin Değişik Hava Koşullarında Kuruma Özelliklerinin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, Bornova-İzmir.
- Yağcıoğlu, A.; 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. EÜZF Yayınları, No: 536, Bornova, İzmir.
- Yıldız, O.; 2001. Havuç ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havaşı Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, pp. 412-417, 13-15 Eylül, Şanlıurfa.