



VİŞNE KURUTMADA KURUMANIN ÇEŞİTLİ MODELLERLE AÇIKLANMASI

Hakan Okyay MENGEŞ¹

Can ERTEKİN²

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Konya/Türkiye

²Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Antalya/Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, bir laboratuvar kurutucusunda vişnenin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Papis, logaritmik, iki terimli, iki terimli ve eksponansiyel, Wang ve Sing, Thompson, difüzyon yaklaşımı, geliştirilmiş Henderson ve Papis, Verma ve ark. ve Midilli ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve ayrıca modelin modelleme yeterliliği de (EF) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve ark. modelinin vişnenin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır. En küçük istatistiksel değerler Midilli ve ark. modeli ile farklı çalışma koşullarına ait özel a, k, n ve b katsayıları ile elde edilmiştir. Modelleme yeterliliği de 0.9970 ile 0.9994 arasında değişmiştir. Ayrıca, Fick'in II. Yasasının çözümünden her bir sıcaklık için difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Artan sıcaklık ile hem difüzyon katsayısının hem de aktivasyon enerjisinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Vişne, Hava Sıcaklığı, Hava Hızı, Modelleme Yeterliliği, Difüzyon Katsayısı, Aktivasyon enerjisi

EXPLAIN OF DRYING PROCESS BY VARIOUS MODELS IN SOUR CHERRY DRYING

ABSTRACT

In this study, a laboratory dryer is used for sour cherry drying process and moisture content at any drying time were compared by Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, two-term, two-term exponential, Wang and Singh, Thompson, diffusion approximation, Modified Henderson and Pabis, Verma et al., Midilli et al. models. The effect of drying air temperature and velocity on the coefficients of the best suited model were determined by multiple regression method. Root mean square error (RMSE) and khi square (χ^2) were used for the determination of the best suitable drying model. In addition to these statistical parameter, the modeling efficiency was also investigated. According to the results, Midilli et al. model is superior to the others for explaining drying behaviour of sour cherry. The lowest RMSE and χ^2 values obtained at specific a, k, n and b coefficients according to the working conditions. Modeling efficiency (EF) changed between 0.99994 and 0.99972. According to analysis of Ficks' Second Rule, for every a temperature value was calculated diffusion coefficient. With the increasing of temperature was determined to increase both diffusion coefficient and activation Energy

Keywords: Sour Cherry, Air Temperature, Air Velocity, Modeling Efficiency, Diffusion Coefficient, Activation Energy

GİRİŞ

Sebze ve meyveler yaş olarak tüketilmelerinin yanısıra, kurutularak farklı amaçlar içinde kullanılmaktadır. Kurutmaya saklama koşulları daha kolay olmakta ve ekonomik kazanç nedeniyle tercih edilip uygulanmaktadır. Tarımsal ürünlerin önemli bir kısmı saklanmak ve depolanmak durumundadır. Kurutulmuş meyve, sebze ve baharat çeşitleri dış satımımızın büyük bir kısmını oluşturmaktadır ve bu ürünlerden elde edilen gelir toplam dış satım gelirimizin %80'ini oluşturmaktadır (Yaldız 2001).

Türkiye'de çok yaygın olarak kullanılan güneş sererek kurutma yöntemi ile hijyenik şartları sağlama olanağı bulunmadığından ürünler kirlenmektedir. Ayrıca kurumanın çok uzun bir süre alması, özellikle meyvelerde solunumun bir süre devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermantasyon belirmesi nedeniyle madde kayıpları oluşmakta, sonucunda da ürünlerin kalitesi bozulmaktadır. Bu nedenle ürünlerin kontrollü şartlar altında kurutulması ihtiyacı ortaya çıkmakta ve kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliği ve sayılarının artırılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

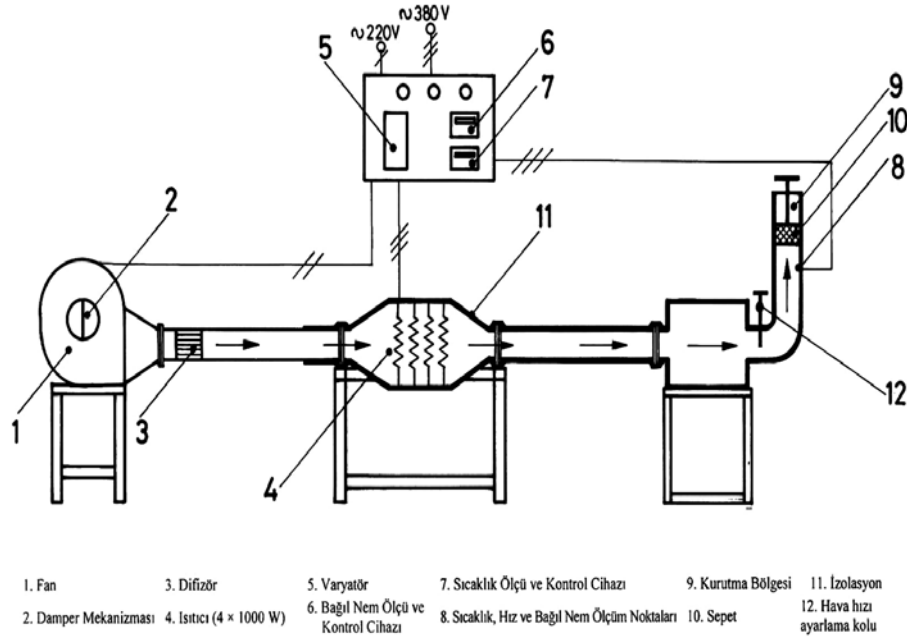
Bu çalışmada, vişnenin farklı kurutma koşullarındaki kuruma davranışı incelenmiştir. Laboratuvar kurutucusunda yapılan denemeler ile vişnenin nem içeriği değişimine farklı kurutma havası sıcaklığı ve hızlarının etkisi farklı modeller ile açıklanmaya çalışılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Laboratuvar Kurutucusu ve Kurutma Materyali

Kurutma çalışmaları Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde imal edilen laboratuvar kurutucusu ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de kurutucunun şematik resmi verilmiştir.

Kurutucu, kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni, elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kurutma havası sıcaklığını sağlayan düzen ve kurutma odası olmak üzere 3 ana üiteden oluşmaktadır. Kurutma için gerekli fan debisi, elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile fan devir sayısının kademesiz olarak ayarlanması ile istenilen değerlerde tutulmuştur.



Hava kanalı içerisinde yer alan ısıtıcılar sayesinde hava istenilen kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılabilir. Isıtıcı bölümünü oluşturan 4x1000 W gücündeki devre elemanları, birbirlerinden bağımsız olarak devreye girebilmektedir. Bu elemanlardan birisinin devresine seri olarak bağlanan direnç, sıcaklık kontrol ünitesi sayesinde, sıcaklık değişimine bağlı olarak devreye girip çıkmakta ve ayarlanan sıcaklığın deneme süresince sabit değerde kalması, sağlanabilmektedir. Deneme düzeninin son kısmını ise, deneme materyali ürünlerin kurutulduğu kurutma odası oluşturmaktadır. Kurutma odasının alt kısmında sıcak havanın giriş yaptığı 3 kanallı bir hava bölmesi yer almakta, böylece aynı anda üç örneğin kurutulması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca kurutma kanallarının alt kısmında bulunan damperler yardımıyla havanın kanallara istenilen hız değerlerinde iletilebilmesi sağlanmaktadır.

Denemeler

Denemelerde kullanılan vişne örnekleri, tüm olarak olarak tek tabaka halinde kurutulmuşlardır (Cemeroğlu ve Acar 1986, Hendley 1996). Kurutma havası sıcaklığı olarak 60, 70 ve 80 °C, hava hızı olarak ise 1.0, 2.0 ve 3.0 m/s seçilmiştir (Piotrowski ve Lenart 1998). Ürünlerin son nem içerikleri, ürünün kurutma fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmesi ile belirlenmiştir (Yağcıoğlu 1999). Ağırlık kayıpları elektronik terazi ile ± 0.01 g doğrulukla ölçülmüştür.

Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi

Yapılan denemeler sonucunda deneme materyalinin nem içeriklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M) ürünün ilk nem içeriğine (M_0) oranı

olarak ifade edilen ayrılabilir nem oranı (ANO) 14 farklı model ile açıklanmaya çalışılmıştır (Ertekin ve Yıldız 2001).

$$ANO = M / M_0$$

Tablo 1’de ayrılabilir nem oranını açıklamak için kullanılan modeller verilmiştir. Deneysel olarak bulunan ve modeller ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak amacıyla tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (χ^2) değerleri ile modelin modelleme yeterliliği (EF) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla kullanılmıştır;

Bu modellerde; ANO_{tahmini} tahmini ayrılabilir nem oranı, ANO_{deneysel} deneysel ayrılabilir nem oranı, N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı ve $ANO_{\text{deneysel,ort}}$ deneysel ayrılabilir nem oranı değerlerinin ortalamasıdır.

Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca khi-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği (EF) değerinin bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin bir göstergesidir (Pangavhane ve ark. 1999, Loague ve Green 1991).

İstatistiksel olarak yapılan değerlendirme sonuçlarına göre en uygun modelde bulunan katsayılara kurutma havası sıcaklık ve hızının etkileri çoklu regresyon yöntemi ile aşağıdaki fonksiyonlar yardımıyla belirlenmiştir (Ertekin ve Yıldız 2001);

Tablo 1. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller

| Model | Model Adı | Kaynak |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $ANO = \exp(-kt)$ | Newton | Ayensu 1997 ve Bengtston ve ark. 1998 |
| $ANO = \exp(-kt^n)$ | Page | Sarsavadia ve ark. 1999, Karathanos ve Belessiotis, 1999 |
| $ANO = \exp[-(kt)^n]$ | Geliştirilmiş Page I | Yaldız ve ark. 2000 |
| $ANO = \exp[-(kt)^n]$ | Geliştirilmiş Page II | Yaldız ve Ertekin 2001 |
| $ANO = a \exp(-kt)$ | Henderson ve Papis | Bengtston ve ark. 1998 |
| $ANO = a \exp(-kt) + c$ | Logaritmik | Ertekin ve yaldız 2001, Yağcıoğlu ve ark. 1999 |
| $ANO = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$ | İki terimli | Madamba ve ark. 1996 |
| $ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$ | İki terimli eksponansiyel | Yaldız ve ark. 2000, Sharaf-Eldeen ve ark. 1980 |
| $ANO = 1 + at + bt^2$ | Wang ve Sing | Wang ve Singh 1978 |
| $t = a \ln(ANO) + b(\ln(ANO))^2$ | Thompson | Paulsen ve Thompson 1973 ve Verma ve ark. 1985 |
| $ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$ | Difüzyon yaklaşım | Kassem 1998 |
| $ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$ | Verma ve ark. | Yaldız ve ark. 2000, Verma ve ark. 1985 |
| $ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$ | Geliştirilmiş Henderson ve Papis | Karathanos ve Belessiotis, 1999, Karathanos 1999 |
| $ANO = a \exp(-kt^n) + bt$ | Midilli ve ark. | Midilli ve ark. 2002 |

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ANO_{tahmini,i} - ANO_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad \chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{deneysel,i} - ANO_{tahmini,i})^2}{N-n}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2 - \sum_{i=1}^n (ANO_{tahmini,i} - ANO_{deneysel,i})^2}{\sum_{i=1}^n (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2}$$

| | |
|--------------------|-----------------|
| $Y = a + bX$ | (Lineer) |
| $Y = a + b \ln(X)$ | (Logaritmik) |
| $Y = aX^b$ | (Üstel) |
| $Y = a \exp(bX)$ | (Eksponansiyel) |
| $Y = a \exp(b/X)$ | (Arrhenius) |

katsayısı hesaplanabilmektedir (Doymaz ve Pala 2003, Doymaz 2004). Difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır;

$$D_{eff} = D_0 \cdot \exp(-E_A/RT)$$

Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısı eşdeğer bir sabit, E_A aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R universal gaz sabiti ($8.314 kJ/kg \text{ mol K}$), T mutlak kurutma havası sıcaklığıdır (K). Sıcaklığın difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanır (Doymaz 2006). Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma prosesinde daha yüksek nem difüzyonu değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerindeki artıştan meydana gelir.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Vişnede, azalan hızda kuruma evresinde meydana gelen kuruma olayını açıklamak üzere kullanılan 14 modele ait istatistiksel veriler incelenmiş ve ayrılabilir nem oranı en düşük hata ile Midilli ve ark. modelinin kullanılması ile sağlanmıştır (Çizelge 2). Bu nedenle vişnenin nem içeriğinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimi incelemek için bu model kullanılmıştır;

$$ANO = M/M_0 = a \exp(-k t^n) + b t$$

Difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi

Nem difüzyonunun açıklanması için genellikle Fick'in II. Yasası kullanılmaktadır;

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 m$$

Eşitlikte; m nem içeriği (k.b.), t süre (s) ve D_{eff} nem difüzyonudur (m^2/s). Gıda ürünlerinin tek boyutlu oldukları ve ilk nem içeriklerinin ürün içerisinde uniform olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Ayrıca, içsel su hareketinin oluştuğu, kurutma süresince büzülmenin olmadığı ve dış ve iç ısı transferinin etkisinin ihmal edildiği kabul edilmiştir. Bu durumda gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra Fick yasası küresel materyaller için;

$$\frac{M}{M_0} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} t\right)$$

halini alır (Mujumdar 2000). Zamana karşı $\ln(M/M_0)$ grafiğinin eğimi ($\pi^2 D_{eff}/r^2$) değerine eşittir ve yarıçapın bilinmesi ile her bir deneme koşulu için difüzyon

Tablo 3'te farklı kurutma havası sıcaklığı ve hızı için bu modele ait a, k, n ve b katsayıların kullanılması ile elde edilen RMSE, χ^2 ve EF değerleri verilmiştir. Belirtilen çalışma koşullarında bu katsayıların kullanılması ile vişnenin en uygun ayrılabilir nem oranını (ANO) belirlemek mümkün olmaktadır. Vişnenin kurutulmasında bu model ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.007502 ile 0.016531 arasında değişmiştir. Bununla birlikte çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere khi-kare (χ^2) değerleri de sıfıra oldukça yakın çıkmış, modelin modelleme yeterliliği ise

(EF) 0.996996 ile 0.999422 arasında değişmiştir. Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılacak Midilli ve ark. modelinde yer alan a, k, n ve b katsayılarına kurutma havası sıcaklık ve hızının etkileri de çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve en uyumlu sonuçları veren değerler ile bu modelin uygulanması ile elde edilen sonuçlara ait istatistiksel değerler Tablo 4'de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere modelleme yeterliliği (EF) değerleri bir miktar azalmıştır, ancak modelin bu hali bile oldukça yüksek bir uyuma sahiptir.

Tablo 2. Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler.

| Model | Hız m/s | 60 °C | | | 70 °C | | | 80 °C | | |
|----------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | RMSE | χ^2 | EF | RMSE | χ^2 | EF | RMSE | χ^2 | EF |
| Newton | 1 | 0.025062 | 0.000655 | 0.993531 | 0.039721 | 0.001665 | 0.981736 | 0.024694 | 0.000670 | 0.993738 |
| | 2 | 0.032032 | 0.001065 | 0.989366 | 0.036027 | 0.001384 | 0.986881 | 0.032640 | 0.001216 | 0.990411 |
| | 3 | 0.027262 | 0.000774 | 0.991830 | 0.049287 | 0.002650 | 0.976399 | 0.040578 | 0.001921 | 0.986033 |
| Page | 1 | 0.011819 | 0.000149 | 0.998578 | 0.024143 | 0.000652 | 0.993253 | 0.013856 | 0.000235 | 0.998029 |
| | 2 | 0.021520 | 0.000361 | 0.995201 | 0.013339 | 0.000203 | 0.998202 | 0.012179 | 0.000198 | 0.998665 |
| | 3 | 0.024708 | 0.000664 | 0.993289 | 0.018265 | 0.000400 | 0.996759 | 0.009769 | 0.000134 | 0.999191 |
| Geliştirilmiş Page I | 1 | 0.025199 | 0.000677 | 0.993536 | 0.031354 | 0.001099 | 0.988621 | 0.024537 | 0.000736 | 0.993818 |
| | 2 | 0.032014 | 0.000446 | 0.989379 | 0.042666 | 0.002080 | 0.981601 | 0.032640 | 0.001421 | 0.990418 |
| | 3 | 0.027258 | 0.000808 | 0.991833 | 0.050558 | 0.003067 | 0.975167 | 0.040577 | 0.002305 | 0.986034 |
| Geliştirilmiş Page II | 1 | 0.011821 | 0.000149 | 0.998577 | 0.037578 | 0.001578 | 0.983653 | 0.014155 | 0.000244 | 0.997942 |
| | 2 | 0.021538 | 0.000501 | 0.995192 | 0.013366 | 0.000204 | 0.998194 | 0.012178 | 0.000197 | 0.998665 |
| | 3 | 0.024716 | 0.000664 | 0.993284 | 0.017913 | 0.000385 | 0.996882 | 0.009769 | 0.000133 | 0.999190 |
| Henderson ve Papis | 1 | 0.021813 | 0.000508 | 0.995156 | 0.027993 | 0.000876 | 0.990929 | 0.022986 | 0.000646 | 0.994575 |
| | 2 | 0.030490 | 0.001004 | 0.990366 | 0.037551 | 0.001612 | 0.985748 | 0.030982 | 0.001280 | 0.991361 |
| | 3 | 0.027258 | 0.000808 | 0.991833 | 0.045438 | 0.002478 | 0.979942 | 0.038451 | 0.002070 | 0.987460 |
| Logaritmik | 1 | 0.013679 | 0.000207 | 0.998095 | 0.027890 | 0.000924 | 0.990996 | 0.022476 | 0.000695 | 0.994813 |
| | 2 | 0.012959 | 0.000189 | 0.998260 | 0.021535 | 0.000571 | 0.995313 | 0.019061 | 0.000581 | 0.996730 |
| | 3 | 0.015939 | 0.000289 | 0.997207 | 0.017956 | 0.000430 | 0.996868 | 0.021609 | 0.000817 | 0.996039 |
| İki terimli | 1 | 0.022682 | 0.000588 | 0.994762 | 0.027993 | 0.000993 | 0.990929 | 0.022986 | 0.000830 | 0.994575 |
| | 2 | 0.030490 | 0.001091 | 0.990366 | 0.037551 | 0.001880 | 0.985748 | 0.030982 | 0.001920 | 0.991361 |
| | 3 | 0.027258 | 0.000885 | 0.991833 | 0.045438 | 0.003097 | 0.979942 | 0.038451 | 0.003450 | 0.987460 |
| İki terimli exponansiyel | 1 | 0.025796 | 0.000710 | 0.993226 | 0.023635 | 0.000624 | 0.993534 | 0.013145 | 0.000211 | 0.998226 |
| | 2 | 0.032422 | 0.001135 | 0.989107 | 0.042666 | 0.002080 | 0.981601 | 0.013351 | 0.000238 | 0.998396 |
| | 3 | 0.027318 | 0.000811 | 0.991797 | 0.050558 | 0.003067 | 0.975167 | 0.012939 | 0.000234 | 0.998580 |
| Wang ve Sing | 1 | 0.010560 | 0.000119 | 0.998865 | 0.026229 | 0.000769 | 0.992037 | 0.039665 | 0.001923 | 0.983845 |
| | 2 | 0.016280 | 0.000286 | 0.997253 | 0.005788 | 0.000038 | 0.999662 | 0.014925 | 0.000297 | 0.997995 |
| | 3 | 0.028435 | 0.000879 | 0.991112 | 0.007027 | 0.000059 | 0.999520 | 0.006817 | 0.000065 | 0.999606 |
| Thompson | 1 | 1.150909 | 1.412898 | 0.994985 | 1.123169 | 1.409920 | 0.957950 | 0.426537 | 0.222364 | 0.980981 |
| | 2 | 0.638342 | 0.188831 | 0.997621 | 0.517112 | 0.305605 | 0.987416 | 0.196081 | 0.051264 | 0.992677 |
| | 3 | 0.826457 | 0.742425 | 0.995099 | 0.320404 | 0.123191 | 0.991385 | 0.165292 | 0.038250 | 0.993170 |
| Difüzyon yaklaşım | 1 | 0.009640 | 0.000103 | 0.999054 | 0.021708 | 0.000560 | 0.994545 | 0.024537 | 0.000828 | 0.993818 |
| | 2 | 0.019056 | 0.000408 | 0.996237 | 0.013861 | 0.000237 | 0.998058 | 0.032640 | 0.001705 | 0.990412 |
| | 3 | 0.022564 | 0.000579 | 0.994404 | 0.019948 | 0.000531 | 0.996134 | 0.040577 | 0.002881 | 0.986034 |
| Verma ve ark. | 1 | 0.009643 | 0.000106 | 0.999053 | 0.031354 | 0.001245 | 0.988621 | 0.021837 | 0.000749 | 0.995103 |
| | 2 | 0.032014 | 0.001203 | 0.989379 | 0.020837 | 0.000579 | 0.995612 | 0.016951 | 0.000575 | 0.997414 |
| | 3 | 0.027258 | 0.000885 | 0.991833 | 0.017467 | 0.000458 | 0.997036 | 0.019827 | 0.000917 | 0.996666 |
| Geliştirilmiş Henderson ve Papis | 1 | 0.021813 | 0.000586 | 0.995156 | 0.027993 | 0.001145 | 0.990929 | 0.022986 | 0.001162 | 0.994575 |
| | 2 | 0.030490 | 0.001195 | 0.990366 | 0.037551 | 0.002256 | 0.985748 | 0.030982 | 0.003840 | 0.991361 |
| | 3 | 0.027258 | 0.000978 | 0.991833 | 0.045438 | 0.004129 | 0.979942 | 0.038451 | 0.010349 | 0.987460 |
| Midilli ve ark. | 1 | 0.009877 | 0.000112 | 0.999007 | 0.008475 | 0.000091 | 0.999169 | 0.007502 | 0.000088 | 0.999422 |
| | 2 | 0.012940 | 0.000196 | 0.998265 | 0.011164 | 0.000166 | 0.998740 | 0.011518 | 0.000265 | 0.998806 |
| | 3 | 0.016531 | 0.000325 | 0.996996 | 0.011691 | 0.000205 | 0.998672 | 0.008782 | 0.000180 | 0.999346 |

Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneysel}$) ile bu değerleri aşıklayan Midilli ve ark. Modeli ile tahmini ayrılabilir nem oranı ($ANO_{tahmini}$) değerlerinin zamana göre değişimleri ise

Şekil 2'de görülmektedir. Görüldüğü gibi deneysel değerler ile modelden elde edilen tahmini değerler birbirlerine oldukça yakındır. Ayrıca farklı koşullarda elde edilen deneysel ve tahmini değerlerin dağılımı da

Şekil 3'te görülmektedir. Bu değerler düz çizginin neysel verileri açıklayabildiğinin göstergesidir. etrafında dağılım göstermiştir ve bu da modelin de-

Tablo 3. Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.

| Kurutma havası sıcaklığı (°C) | Kurutma havası hızı (m/s) | a | k | n | b | RMSE | χ^2 | EF |
|-------------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| $ANO = a \exp(-k t^n) + b t$ | | | | | | | | |
| 60 | 1.0 | 0.978202 | 0.030267 | 1.169429 | -0.000114 | 0.009877 | 0.000112 | 0.999007 |
| | 2.0 | 0.974499 | 0.041421 | 1.092753 | -0.001666 | 0.012940 | 0.000196 | 0.998265 |
| | 3.0 | 0.970545 | 0.060941 | 1.015057 | -0.001922 | 0.016531 | 0.000325 | 0.996996 |
| 70 | 1.0 | 0.987008 | 0.110897 | 1.339469 | 0.003597 | 0.008476 | 0.000091 | 0.999169 |
| | 2.0 | 0.985083 | 0.116698 | 1.287258 | -0.001073 | 0.011164 | 0.000166 | 0.998740 |
| | 3.0 | 0.991165 | 0.139489 | 1.243919 | -0.005210 | 0.011691 | 0.000205 | 0.998672 |
| 80 | 1.0 | 0.996845 | 0.332436 | 1.246840 | -0.002716 | 0.007502 | 0.000088 | 0.999422 |
| | 2.0 | 0.996428 | 0.364882 | 1.209798 | -0.001570 | 0.011518 | 0.000265 | 0.998806 |
| | 3.0 | 0.997776 | 0.375171 | 1.278869 | -0.002150 | 0.008782 | 0.000180 | 0.999346 |

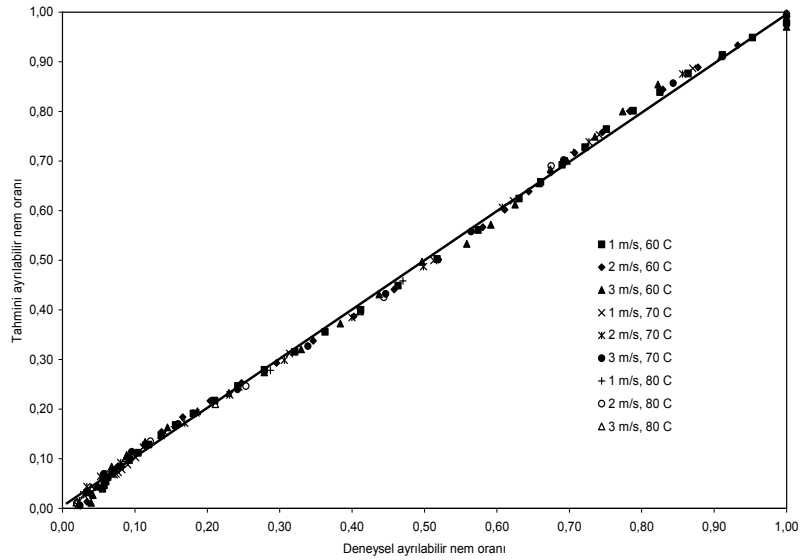
Tablo 4. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklık (T) ve Hızının (V) Model Katsayılarına Etkisi

| $ANO = (0,8974 + 0,0248 \cdot \ln T) \cdot \exp[(4,3333 + 1,0707 \ln T) \cdot t^{1,0224 \cdot \exp(-0,3467/T)}] - [0,0219 \exp(-4,5695/V) \cdot t]$ | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Kurutma havası sıcaklığı (°C) | Kurutma havası hızı (m/s) | RMSE | χ^2 | EF |
| 60 | 1.0 | 0.021995 | 0.000553 | 0.995075 |
| | 2.0 | 0.015103 | 0.000106 | 0.997636 |
| | 3.0 | 0.041987 | 0.002099 | 0.980623 |
| 70 | 1.0 | 0.054790 | 0.003803 | 0.965251 |
| | 2.0 | 0.049313 | 0.003242 | 0.975421 |
| | 3.0 | 0.035107 | 0.001849 | 0.988026 |
| 80 | 1.0 | 0.038655 | 0.002348 | 0.984657 |
| | 2.0 | 0.063269 | 0.008006 | 0.963973 |
| | 3.0 | 0.080844 | 0.015250 | 0.944563 |

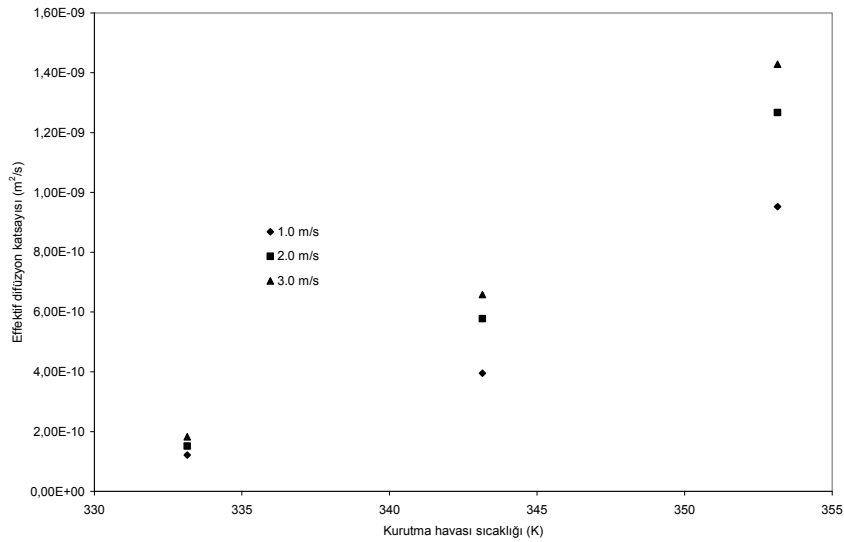
Şekil 2. Farklı deneme koşullarında elde edilen ve model ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranının zamana göre değişimi.

Vişne örneklerinde her bir kurutma havası sıcaklığı ve hızı için ayrı efektif difüzyon katsayısı hesaplanmıştır. Efektif difüzyon katsayısı değerleri 1.216×10^{-10} ile $1.429 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir. Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden de 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. Efektif difüzyon katsayıları literatür değerlerine yakın olarak belirlenmiştir (Doymaz 2007). Yapılan hesaplamalara göre aktivasyon enerjisi de 100.78 ile 103.94 kJ/mol değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 3. Deneysel ve tahmini ayrılabilir nem oranı değerleri



Şekil 4. Farklı hava hızlarında kurutma havası sıcaklığının difüzyon katsayısının değişimine etkisi.

SONUÇ

Çalışma sonuçlarına göre kurutma havası sıcaklığı ve hızının vişnenin kuruması üzerine önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ürünün nem içeriğindeki değişimin açıklanması için Midilli ve ark. modelinin yüksek bir modelleme yeterliliğine sahiptir, dolayısıyla bu model ile deneysel değerlere çok yakın sonuçların elde edilmesi mümkündür. Ayrıca, artan kurutma havası

sıcaklığının efektif difüzyon katsayısını arttırdığı görülmüş, bu değer 1.216×10^{-10} ile $1.429 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi de 100.78 ile 103.94 kJ/mol değerlerinde arasında hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Yaldız, O., C., Ertekin, 2001. Thin Layer solar Drying of Some Different Vegetables. Dry. Tech., Vol.19, No.3, pp.583-56.

- Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:6, Ankara.
- Hendley, A.J., 1996. Drying Foods. www.che.nmsu.edu
- Piotrowski, D., Lenart, A., 1998. The Influence of Constant and Variable Conditions on the Drying Kinetics of Apples. *Drying Technology*, 16(3-5), 761-778
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir.
- Ertekin, C.; Yıldız, O. 2001. Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı; 399-403. Şanlıurfa.
- Ayenu, A., 1997. Dehydration of Food Crops Using a Solar Dryer With Convective Heat Flow. *Solar Energy*, 59(4-6):121-126
- Bengtson, G.; M.S., Rahman; R. Stanley and C.O., Perera., 1998. Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings. New Zealand Inst. of Food Science and Technology and The Nutrition Society of New Zealand Conference, Nelson.
- Sarsavadia, P.; R. Sawhney; D.R. Pangavhane S.P.; Singh, I., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. *Journal Food Engineering*, Vol:40, pp.219-226
- Pangavhane, D.R., Sawhney, P.N., Sarsavadia, P.N., 1999. Effect of Various Dipping Pretreatments on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes. *Journal Food Engineering*, 39:211-216
- Karathanos, V.T.; V.G. Belessiotis, 1999. Application of a Thin Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-Dried Fruits. *Journal of Agricultural Engineering, Res.*, 74:355-361
- Yıldız, O., C. Ertekin, H.İ. Uzun. 2000. Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisi ile Kurutulmasının Matematiksel Modellenmesi Üzerinde Bir Araştırma. 19. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı, 345-350, Erzurum.
- Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A., Çağatay, F., 1999. Drying Characteristics of Laurel Leaves Under Different Drying Conditions. 7th Int. Congress on Agricultural Mechanization and Energy, pp.565-569, Adana.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., 1996. Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal Food Engineering*, 29:75-97.
- Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y., 1980. A Model for Ear Corn Drying. *Transactions of the ASAE*, 23:1261-1271.
- Wang, C.Y., Singh, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. Paper no:78-3001. Am. Soc. Agr. Eng.: St. Joseph, MI.
- Paulsen, M.R., Thompson, T.L., 1973. Drying End Use of Grain Sorghum. *Transactions of the ASAE*, 16:537-540.
- Thompson, T.L., Peart, R.M., Foster, G.H., 1968. Mathematical Simulation of Corn Drying a New Model. *Transactions of the ASAE*, 11:582-586.
- Verma, L.R., Bucklin, J.B., Endan, F.T., Wratten, 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions of the ASAE*, 28:296-301.
- Kassem, A.S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. 13th Int. Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Morocco.
- Karathanos, V.T., 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal Food Engineering*, 39:337-344.
- Midilli, A., Küçük, H., Yapar, Z., 2002. A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
- Loague, K., Green, R.E., 1991. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models. Overview and Application. *J. Contam. Hydrol.*, Vol. 7, pp.51-73.
- Mujumdar, A.S., 2000. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*. Science Publishers, Inc., USA and UK
- Doymaz, İ.; Pala, M.; 2003. The thin layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60, 125-130.
- Doymaz, İ.; 2004. Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61, 341-346.
- Doymaz, İ.; 2006. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.
- Doymaz, İ.; 2007. Influence of pre-treatment solution on the drying of sour cherry. *Journal of Food Engineering*, 78, 591-596.