

**SİKLON TİPİ KONVEKTİF BİR KURUTUCUDA PATLICAN DİLİMLERİNİN
KURUMA KİNETİĞİNİN AMPİRİK BAĞINTILARLA AÇIKLANMASI**

Ebru KAVAK AKPINAR, Yaşar BİÇER

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Geliş Tarihi: 11.12.2002

**EXPLANATION WITH EMPIRICAL RELATIONS OF DRYING KINETIC OF EGGPLANTS
SLABS IN A CYCLONE TYPE DRYER**

SUMMARY

In this study, the drying kinetic of eggplant slices- cylindrical shaped in 5x35 mm (height x diameter on an average)- was experimentally investigated using a cyclone type convective dryer. Drying experiments were conducted at three different temperatures of drying air (55, 65 and 75 °C) and in two different velocities (1 and 1.5 m/s). In order to obtain drying data, the changes in the mass of eggplant slices were recorded as well as the drying air properties. The curves of drying rate-drying time and drying rate-moisture content obtained by experiments were modelled by using empirical relations. The effects of drying air temperatures and velocities on the constants of the models were also studied by multiple regression analysis. It was found that the resulting new models could sufficiently describe change of drying rate versus drying time within $R^2=0.9589$ accuracy and drying rate versus moisture content within $R^2=0.9589$ accuracy. The moisture transfer from the eggplant slices occurring during the falling rate period of drying was characterized by determining experimentally the diffusion coefficient into the air. It was found, by multiple regression analysis, that the diffusion coefficients could be expressed within $R^2=0.94678$ accuracy, depending on the drying air temperatures and velocities of the eggplant slices.

ÖZET

Bu çalışmada, siklon tipi konvektif bir kurutucuda 5 mm kalınlığında ve ortalama olarak 35 mm çapında kesilmiş patlıcan dilimlerinin kuruma kinetiği incelenmiştir. Deneyler üç farklı kurutma havası sıcaklığında (55, 65 ve 75 °C) ve iki farklı kurutma havası hızında (1 ve 1.5 m/s) yapılmıştır. Kuruma kinetiğini belirlemek için patlıcanın kütle değişimi bütün kurutma havası şartlarında kaydedilmiştir. Deneysel olarak belirlenen kuruma hızı-kurutma süresi ve kuruma hızı-nem içeriği eğrileri ampirik bağıntılar yardımıyla modellenmiştir. Bu modellerde bulunan katsayılar üzerinde kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkisi çoklu regresyon yöntemiyle araştırılmıştır. Meydana gelen yeni modeller yardımıyla, kuruma hızının-kurutma süresiyle değişimi $R^2=0.9589$, kuruma hızının-nem içeriğiyle değişimi $R^2=0.9896$ doğrulukla ifade edilebilmiştir. Kuruma işleminin azalan hız periyodunda gerçekleştiği patlıcan dilimlerinden havaya olan nem transferi deneysel olarak belirlenen difüzyon katsayısı yardımıyla ifade edilmiştir. Difüzyon katsayısının kuruma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimi lineer bir bağıntıyla $R^2=0.94678$ doğrulukla ifade edilebilmiştir.

1. GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarını sürdürebilmek için öncelikle beslenmede, birçok teknikler geliştirmiştir. Bu tekniklerin en önemlisi ve en eskisi taze gıdaların kurutularak muhafaza edilmesidir. Kurutma, nemli katı maddenin yüzey ve/veya iç kısımlarındaki sıvının sıcak bir hava akımı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlemde ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleşmektedir. Kimya ve gıda sanayiinde pek çok madde katı halinde üretildiğinden proseslerde yer alan son işlemlerden

Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda...

biri kurutma olmaktadır. Kurutmaya ayrıca bazı tarımsal ürünlerin depolanması öncesinde de başvurulmaktadır [1]. Ülkemizde çok sayıda sebze uygun iklimi nedeniyle bol miktarda üretilmektedir. Patlıcan üretimimiz 1999 yılı verilerine göre 976 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Bu ürünün kuru ürün olarak değerlendirilmesi ile elde edilecek gelir miktarında artış sağlama imkanı bulunmaktadır. 1996 yılında Türkiye yaklaşık 30 ton kuru patlıcan ihraç etmiş ve bundan 70000 \$ gelir sağlamıştır. Bu miktarın artırılması uygun kurutma yöntemlerinin kullanımı ile sağlanabilir [2]. Kurutma işlemi üç değişik yöntemle uygulanabilir [3]: 1) Açıkta güneş altında beton, toprak veya bez üzerinde kurutma, 2) Güneş enerjisi (kollektörler) yardımıyla kurutma, 3) Isıtılmış hava ile kurutma Türkiye’ de patlıcanın kurutulması genellikle güneş altında yapılmaktadır. Güneş altında kurutma yönteminde hijyenik koşulları kontrol etme imkanı bulunmamakta, ürünün kalitesi azalmakta ve ayrıca kuruma süresi de uzamaktadır. Güneşte kurutmanın olumsuz yönlerini ortadan kaldırmak ve kaliteli ürün elde edebilmek için bu ürünün kontrollü şartlar altında kurutulması gerekmektedir. Kontrollü şartlar altında kurutma yapılabilmesi ise sıcaklık ve nem dağılımının belirlenmesi ile mümkündür. Literatürde kurutma sırasında hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi kurutucu ortam koşulları ile kurutulan materyale ait özelliklerin kuruma karakteristiğine etkilerinin incelendiği çok sayıda araştırma vardır. Diamante ve Munro [4], Şahbaz ve Kayhan [5] patatesin, Tırıs ve diğerleri [6] sivri biber, fasulye, binya, şeftali gibi çeşitli tarımsal ürünlerin, Üretir [7] elmanın, Sarsılmaz ve diğerleri [8] kayısının, Doymaz ve Pala [9] çekirdeksiz üzümün, Midilli [10] kabuklu ve kabuksuz fındık örneklerinin, kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarda araştırmacılar çeşitli kurutucular kullanmış ve deneysel verilere dayanarak elde ettikleri boyutsuz nem oranının zamanla değişimini literatürde bulunan modellerle açıklamaya çalışmışlardır. Ancak, bu çalışmalar arasında patlıcanın kuruma davranışının incelendiği ve kuruma hızının kuruma süresiyle ve nem içeriğiyle değişiminin modellenmesiyle ilgili olanlara rastlanmamıştır. Bu çalışmada yeni geliştirilen siklon tipi konvektif bir kurutucuda patlıcan dilimlerinin kuruma kinetiği değişik kurutma havası şartlarında incelenmiş ve kuruma hızının kuruma süresiyle ve nem içeriğiyle değişimi ampirik bağıntılarla modellenmiştir. Ayrıca patlıcanın kurumasında nemin uzaklaştırılması olayını açıklayabilmek için difüzyon katsayıları belirlenmiş ve difüzyon katsayısı üzerinde kurutma havası sıcaklığının ve hızının etkisi lineer bir bağıntıyla açıklanmıştır.

2. TEORİ

Patlıcan dilimlerinin kuruma karakteristikleri, kuruma zamanına bağlı olarak değişen nem içeriği ve kuruma hızı ile karakterize edilebilmektedir. Kuru baza göre nem içeriği, ürünün su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$M_t = \frac{W_s}{W_k} \quad (1)$$

Kuruma hızı (2) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir [11].

$$\frac{dM}{dt} = \left(\frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \right) \quad (2)$$

Burada; W_s su ağırlığı (g su), W_k ürünün kuru ağırlığı (g katı madde), dM/dt kuruma hızı (g su/g katı madde.dak), M_t t anındaki nem içeriği (g su/g katı madde), M_{t+dt} t+dt anındaki nem içeriği (g su/g katı madde), dt zaman aralığı (dak) olarak ifade edilmektedir.

Gıda maddelerinde nem taşınımını matematiksel olarak tanımlamak oldukça güçtür [12]. Ancak gıda maddelerinin genelde azalan hız bölgesinde kuruduğu ve katıdaki nem taşınımının Fick’in difüzyon yasası ile açıklanabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [12, 13]. Katıdaki tek boyutlu nem aktarımı, kararsız hal difüzyon eşitliği (Fick’in II Yasası) ile ifade edilebilir. Bu eşitliğin belli başlangıç ve sınır şartları kullanılarak y ekseninde integre edilmesi ve elde edilen serinin sadece ilk teriminin dikkate alınmasıyla azalan hız bölgesinde boyutsuz nem oranının (MR) zamanla (t) değişimini gösteren eşitlik elde edilmiştir [14, 15, 16].

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D\pi^2}{4L^2} \cdot t \quad (3)$$

Eşitlik (3) ün solunda yer alan ifade boyutsuz nem oranı olup bu çalışmada MR ile gösterilmektedir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (4)$$

Burada; M_e kurutulan ürünün denge nem içeriği (g su/g kuru madde), M_o ürünün başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde), L katıda difüzyonun olduğu boyutun yarı kalınlığı (m) olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3)' de yer alan D (m^2/s) sıvı difüzyon katsayısı olup eşitliğin çıkarılmasında, katsayının sabit olduğu varsayılmıştır. Ancak sıvı difüzyon katsayısının sıcaklık ve katının nem miktarının fonksiyonu olduğu bilinmektedir [5, 14, 15, 16].

2.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde Statistica programı kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2), değerleriyle de kullanılan modelin uygunluğu saptanmıştır [17].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (KH_{i,a} - KH_{i,d})^2}{N}} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (KH_{i,d} - KH_{i,a})^2}{N - n} \quad (6)$$

Burada KH_a model ile tahmin edilen ampirik kuruma hızı, KH_d deneysel kuruma hızı, N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı olarak ifade edilmektedir.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan kemer cinsi patlıcan hammaddesi Elazığ' da ki bir marketten temin edilmiş ve deneylerde kullanılabildiği kadar buzdolabında (+4 ° C' de) muhafaza edilmiştir.

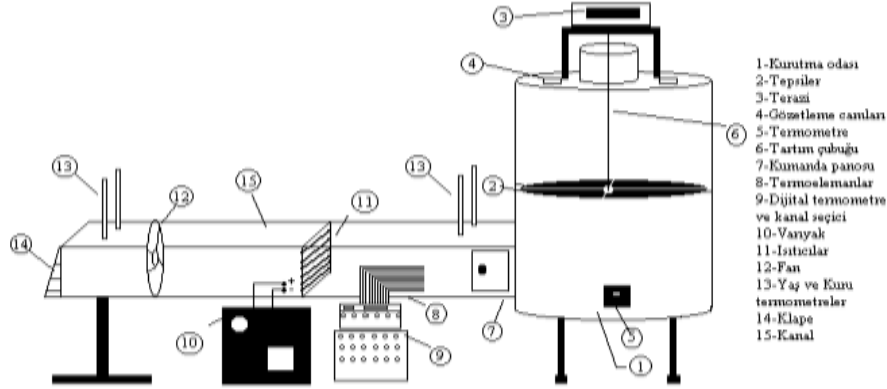
3.2. Deneysel Düzeninin Tanıtılması

Deneysel düzeni üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; hava akımını sağlayan fan, havayı ısıtmak için rezistanslı ısıtıcı ve kontrol panosu, siklon şeklindeki kurutma odası' dır. Kurutma ortamı olarak kullanılan hava aksel bir fan tarafından sağlanmaktadır. Havanın debisi kanallı girişine takılan klape ile ayarlanabilmektedir. Isıtıcı gücü 4000 Watt' dır. Sistemde kullanılan elektrikli ısıtıcıların elektrik akımı bir varyak yardımıyla ayarlanarak istenilen sıcaklıkta hava akışı sağlanabilmektedir. Hava sisteme kurutma odasının alt tarafından teğetsel olarak girmektedir. Böylece kurutma odasına düz bir akış yerine, dönel akış verilmektedir.

Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda...

Kurutma odası silindirik olup; 600 mm çapında, 800 mm yüksekliğindedir. Kurutma odası iç içe geçmiş iki silindir şeklinde yapılmış, arada kalan 30 mm' lik mesafeye polistren köpük sıkılarak yalıtım işlemi yapılmıştır. Kurutma odasının hem alt kısmı hem de üst kısmı kapaklı olarak imal edilmiştir. Bu kapaklar deney setinden kolaylıkla sökülebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Kapaklar da aynı şekilde yalıtılmıştır. Kurutulacak ürünlerin sisteme konulup, alınması üst kapak vasıtasıyla yapılmaktadır. Kurutma işlemi naylon fileden yapılmış dairesel şeklindeki tepsidede gerçekleşmiştir. Tepsi kurutma odasına üç konumda yerleştirilen pabuçlar üzerinde durmaktadır. Tepsi üzerine çapraz şekilde ince teller atılarak, orta noktalarına bir kanca yerleştirilmiştir. Tartım işlemleri bu kancaya takılan telle bağlantılı hale getirilen teraziyle 20 dakika aralıklarla yapılmıştır. Tartım işleminde tepsinin kurutma odasının cidarına değmemesine ve iyi bir dengeleme yapılmasına özen gösterilmiştir. Şekil 1' de deney setinin şematik resmi görülmektedir.

Deneylerde hava hızını ölçmek için 0.4-30 m/s arasında \pm %2 doğrulukla ölçüm yapan probu pervaneli bir hız ölçer (LUTRON, AM-4201) kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri ise ölçüm yapılacak kısımlara yerleştirilen ısı çiftleriyle belirlenmiştir. Isıl çift olarak 0.5 mm çapında J- tipi demir(+) konstantan(-) kullanılmıştır. Isıl çiftlerden okunan sonuçlar 20 kanallı, elle kumandalı, 0.1 °C hassasiyetli dijital termometreye (ELİMKO 6400).

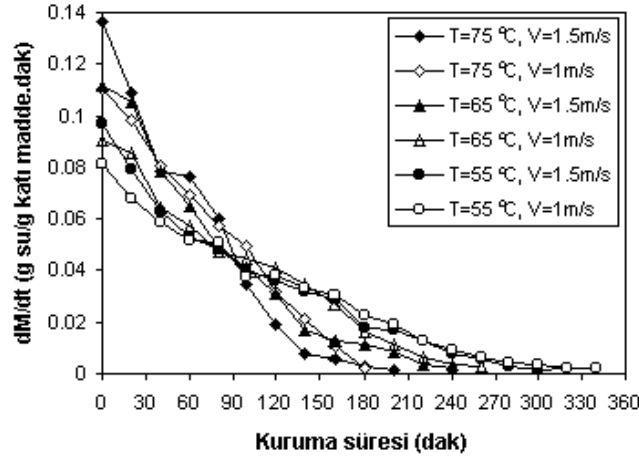


Şekil 1. Siklon tipi kurutucunun şematik gösterimi

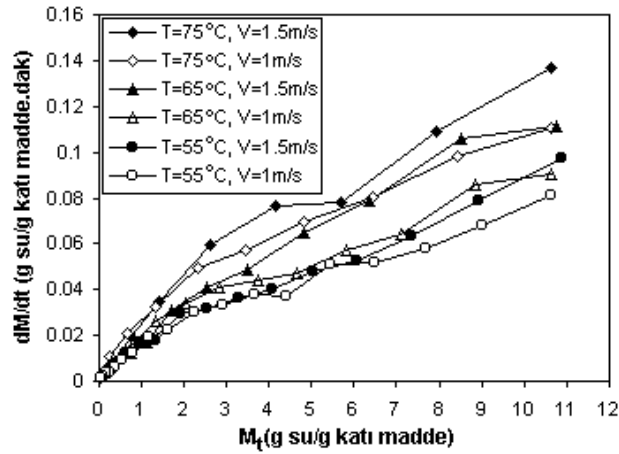
aktarılmıştır. Ağırlık tespiti 0.01 gram duyarlılık, maksimum 3100 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir teraziyle (BEL) yapılmıştır. Kurutulan ürünün başlangıç ve son nem içerikleri infrared nem tayin cihazıyla (METTLER) belirlenmiştir. Tüm deneyler üç defa tekrarlanmıştır.

4. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

Deneylerde dış kabuğu soyulmadan 5 mm kalınlığında, ortalama olarak 35 mm çapında kesilen patlıcan dilimlerinin kuruma kinetiği 55, 65 ve 75 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1, 1.5 m/s hava hareket hızında incelenmiştir. Kurutulan patlıcan dilimlerinin başlangıç nem içeriği infrared nem tayin cihazıyla 10.627 g su/g katı madde (ortalama değer) tespit edilmiştir. Ürün ve kurutucu ortam havası arasında nem transferinin sona erdiği ve dolayısıyla nem içeriğinin sabit kaldığı 0.04 g su/g katı madde değerinde kurutma işlemine son verilmiştir.



Şekil 2. Patlıcan dilimlerinin kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi



Şekil 3. Patlıcan dilimlerinin kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi

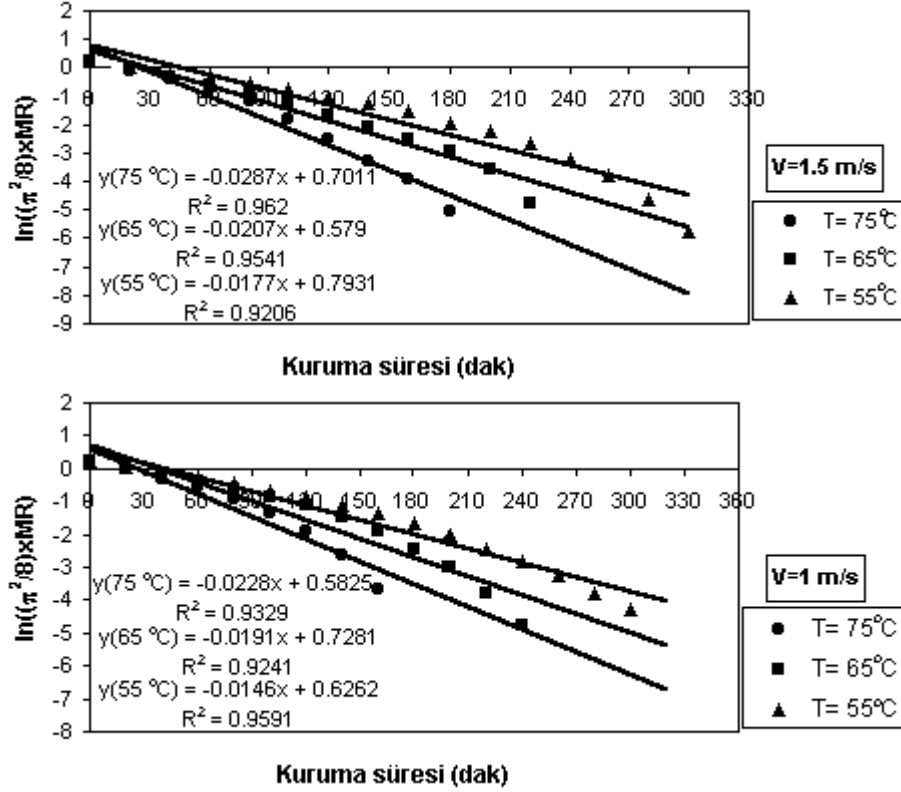
Bu değer denge nemi olarak daha sonraki hesaplamalarda kullanılmıştır. Şekil 2' de kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi, Şekil 3' de ise kuruma hızının kuru baza göre nem içeriğiyle değişimi verilmiştir. Kuruma olayı azalan kuruma hızı periyodunda gerçekleşmiş, deneysel verilerde sabit kuruma hızı periyodu gözlenmemiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça nem içeriğinde ve kuruma süresinde belirgin bir şekilde hızlı bir azalma görülmüş, ayrıca kuruma hızı da artmıştır (Şekil 2, 3).

Difüzyon katsayısı değerleri (3) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. $\ln \frac{\pi^2 (M_t - M_e)}{8(M_o - M_e)}$

ifadesine karşı kuruma süresi grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğimi $(\pi^2 D / 4L^2)$ ifadesini verir. Buradan katıda difüzyonun olduğu boyutun yarı kalınlığı (L) bilindiğine göre

Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda...

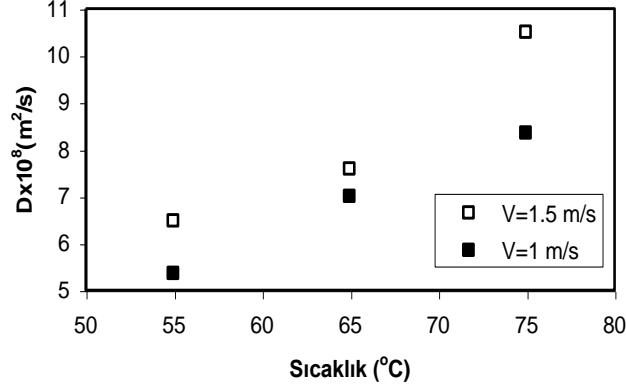
difüzyon katsayısı m^2/s olarak hesaplanır. Hesaplamalarda nem difüzyonunun sadece y eksenine doğrultusunda olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4' de her bir hız değeri için $\ln((\pi^2/8) \times MR)$ ifadesinin kuruma süresiyle değişimi ve bu değişimden elde edilen eğim değerleri verilmektedir. Patlıcan dilimlerinin difüzyon katsayısı 5.33×10^{-8} - 10.47×10^{-8} değerleri arasında değişmiştir. Difüzyon katsayısının sıcaklık ve hız arttıkça arttığı gerçeğinin kanıtlandığı görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 4. $\ln((\pi^2/8) \times MR)$ ifadesinin kuruma süresiyle değişimi

5. KURUMA EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bu çalışmada, lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla deney sonuçlarından elde edilen kuruma hızı-kuruma süresi, kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrilerinin ve difüzyon katsayısı değerlerinin matematiksel modellemesi yapılmıştır. Kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi aşağıdaki gibi 2. dereceden bir polinomla açıklanmıştır.



Şekil 5. Sabit hava hızında hava sıcaklığının difüzyon katsayısı ile değişimi

$$\frac{dM}{dt} = a + b.t + c.t^2 \quad (7)$$

Kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ise

$$\frac{dM}{dt} = a.M_t^b \quad (8)$$

eşitliğiyle ifade edilmiştir. Burada a, b ve c modellerde bulunan katsayılardır.

Tablo 1 ve 2' de bu modellerin kuruma eğrilerine (Şekil 2, 3) uygulanması sonucunda elde edilen istatistiksel analiz sonuçları verilmektedir. Kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi eğrilerine uygulanan (7) numaralı modelin regresyon katsayısı 0.98408-0.99710, tahminin standart hatası değerleri 0.001882-0.005339, khi-kare değerleri 7.36×10^{-6} - 3.92×10^{-5} aralığında değişmiştir. Kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi eğrilerine uygulanan (8) numaralı modelin ise regresyon katsayısı 0.98746-0.99697, tahminin standart hatası değerleri 0.001922-0.004771, khi-kare değerleri 9.64×10^{-6} - 2.78×10^{-5} aralığında değişmiştir. İstatistiksel verilerin uyumunun yüksek olmasından dolayı bu modellerin kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Modellerde bulunan katsayılara kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızının etkisi çoklu regresyon tekniğiyle aşağıdaki fonksiyon yardımıyla araştırılmıştır.

$$Y = d + d_1.T + d_2.V \quad (9)$$

Burada; Y modellerde bulunan katsayıları (a, b, c) ifade etmektedir. d, d₁, d₂ ise katsayıdır.

(7) numaralı modelin kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi eğrilerine uygulanması sonucunda bulunan a, b ve c katsayılarının kurutma havası sıcaklığı ve hızına bağlı değişimi ve regresyon katsayıları aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$a = -0.079726931 + 0.00200038.T + 0.04214949.V \quad (R^2 = 0.97305)$$

$$b = 0.00201793 - 0.0000271.T - 0.0008017.V \quad (R^2 = 0.90849)$$

$$c = -0.0000062020 + 0.0000006014.T + 0.0000029045.V \quad (R^2 = 0.78265)$$

Bu katsayıların değerleri kabul edilen modelde yerine yazılıp, bütün deneysel verileri kapsayan yeni bir regresyon analizi yapılmıştır. Böylelikle kuruma hızı-kurutma süresi değişimini açıklayan yeni bir model elde edilmiştir. Meydana gelen bu yeni model patlıcanın kuruma hızı-kurutma süresi değişimini $R^2 = 0.9589$, $RMSE = 0.006815$, $\chi^2 = 4.82 \times 10^{-5}$ doğrulukla açıklayabilmektedir.

(8) numaralı modelin kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi eğrilerine uygulanması sonucunda bulunan a ve b katsayıları üzerinde kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkisi ve regresyon katsayıları

$$a = -0.017332 + 0.000602.T - 0.001205.V \quad (R^2 = 0.97151)$$

$$b = 0.732899 - 0.004397.T + 0.196370.V \quad (R^2 = 0.96702)$$

Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda...

şeklinde elde edilmiştir. Bu değerler modelde yerine yazıldığında meydana gelen yeni model kuruma hızı-nem içeriği değişimini $R^2=0.9896$, $RMSE=0.003392$, $\chi^2=1.19 \times 10^{-5}$ doğruluğunda ifade edebilmektedir.

Tablo 1. Kuruma hızı ile kuruma süresindeki değişimi veren model ve istatistiksel değerler

T (°C)	V (m/s)	$\frac{dM}{dt} = a + b.t + c.t^2$					
		A	b	c	RMSE	χ^2	R ²
75	1.5	0.13541642	-0.001318	0.000003192	0.005339	3.92×10^{-5}	0.98577
65	1.5	0.11616490	-0.000979	0.000002131	0.003273	1.39×10^{-5}	0.99205
55	1.5	0.08898535	-0.000547	0.000000869	0.003487	1.48×10^{-5}	0.98408
75	1	0.11059661	-0.000714	0.000000597	0.001882	5.06×10^{-6}	0.99710
65	1	0.08973348	-0.000528	0.000000724	0.003367	1.44×10^{-5}	0.98549
55	1	0.07701234	-0.000399	0.000000514	0.002477	7.36×10^{-6}	0.98928

Tablo 2. Kuruma hızı ile nem içeriğindeki değişimi veren model ve istatistiksel değerler

T (°C)	V (m/s)	$\frac{dM}{dt} = a.M_t^b$				
		a	b	RMSE	χ^2	R ²
75	1.5	0.026325	0.691320	0.004771	2.78×10^{-5}	0.98863
65	1.5	0.019302	0.760419	0.003101	1.14×10^{-5}	0.99287
55	1.5	0.014421	0.773207	0.002916	9.64×10^{-6}	0.98887
75	1	0.027477	0.590815	0.001922	4.62×10^{-6}	0.99697
65	1	0.019094	0.654768	0.003131	1.14×10^{-5}	0.98746
55	1	0.015285	0.684808	0.002321	6.06×10^{-6}	0.99060

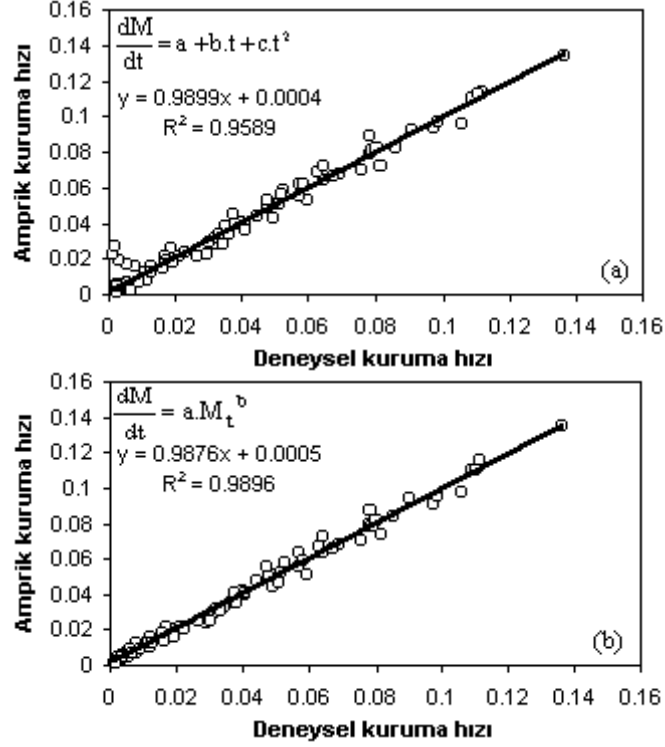
Farklı kurutma şartları için meydana gelen yeni modellerin kullanılmasıyla elde edilen ampirik ve yapılan deneyler sonucunda bulunan deneysel kuruma hızı değerleri Şekil 6' da görülmektedir. Şekiller incelendiğinde ampirik değerleri gösteren noktaların deneysel verileri gösteren eğrilere oldukça yakın bulunduğu ve bu noktaların eğrinin üzerinde veya eğrinin çok yakınında olduğu saptanmıştır. Bu da kullanılan modellerin patlıcanın kuruma hızının kuruma süresiyle ve kuruma hızının nem içeriğiyle değişimini açıklamada kullanılabileceğini ifade etmektedir. Difüzyon katsayısının kurutma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimini açıklayabilmek için regresyon analizi yardımıyla aşağıdaki model geliştirilmiştir.

$$D = -7.09514 \times 10^{-8} + 1.75259 \times 10^{-9} \cdot T + 2.579973 \times 10^{-8} \cdot V \quad (R^2 = 0.94678)$$

Çoklu lineer regresyon analizi sonuçlarına göre bu model difüzyon katsayılarını $R^2=0.94678$ bir doğrulukla hesaplayabilmektedir.

6. SONUÇ

Deney sonuçlarına göre siklon tipi kurutucuda kurutulan patlıcan örneklerinin kuruma olayı azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında ve farklı hava akış hızlarında kurutulan dilimlerin kuruma hızında, hava sıcaklığının etkisinin hava hızından daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Kuruma hızının kuruma süresiyle değişimi eğrileri ikinci dereceden bir polinom, kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi eğrileri üssel bir eşitlikle modellenmiştir. Bu modellerde bulunan katsayılar üzerinde kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkileri çoklu regresyon yöntemiyle araştırılmıştır. Meydana gelen modellerin deney sonuçlarına uygulanması



Şekil 6. (a)-Deneysel ve (7) numaralı modelle bulunan ampirik kuruma hız değerleri, (b)- Deneysel ve (8) numaralı modelle bulunan ampirik kuruma hız değerleri

sonucunda yapılan istatistiksel analizde regresyon katsayılarının yüksek, tahminin standart hatası, khi-kare değerlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Patlıcan dilimlerinden havaya olan nem transferi deneysel olarak belirlenen difüzyon katsayısı yardımıyla ifade edilmiştir. Patlıcan dilimlerinin difüzyon katsayısı 5.33×10^{-8} - 10.47×10^{-8} değerleri arasında değişmiştir. Difüzyon katsayısının kurutma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimi çoklu regresyon yardımıyla lineer bir bağımlılıkla modellenmiştir.

REFERANSLAR

- [1] Balkan F., "Kurutucularda Geri Döngülü Hava Kullanımının Enerji Tasarrufuna Katkısı", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 15, 2, 13-19, 1992.
- [2] DİE, 2003. <http://www.die.gov.tr/>
- [3] Doymaz I., Pala M., "Daldırma çözeltisi kullanımının biber kuruma süresine etkisinin incelenmesi", Y.T.Ü. Dergisi, 4, 44-50, 2001.
- [4] Diamante L. M., Munro P. A., "Mathematical Modeling of Hot Air Drying of Sweet Potato Slices" International Journal of Food Science and Technology, 26, 99-109, 1991.
- [5] Şahbaz F., Kayhan I., "Hava Akış Hızı ve Sıcaklığının Patatesin Kuruma Hızına Etkisi", Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 18, 163-168, 1994.
- [6] Tırıs M., Tırıs Ç., Edin M., "İki Ayrı Tip Güneşli Kurutucuda Çeşitli Meyve Ve Sebzelerin Kuruma Eğrilerinin İncelenmesi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 17, 3, 27-32, 1994.

Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda...

- [7] Üretir G., “Modeling Computer Controlled Apple Drying Processes”, Yüksek lisans Tezi, ODTÜ, 1995.
- [8] Sarsılmaz C., Yıldız C., Pehlivan D., “Drying of Apricots in a Rotary Column Cylindrical Dryer (RCCD) Supported with a Solar Energy”, Renewable Energy, 21, 117-127, 2000.
- [9] Doymaz I., Pala M., “The Effects of Dipping Pretreatments on Air-Drying Rates of the Seedless Grapes”, Journal of Food Engineering, 52, 413-417, 2002.
- [10] Midilli A., “Determination of Pistachio Drying Behavior and Conditions in a Solar Drying System”, International Journal of Energy Research, 25, 715-725, 2001.
- [11] Kavak Akpınar E., Biçer Y., “Siklon Tipi Bir Kurutucuda Elmanın Kuruma Karakteristiklerine Etki Eden Faktörler”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 22, 1, 8-17, 2002.
- [12] Bruin S., Luyben K., “Drying of Food Materials: Advances in Drying”, Vol. 1, Mujumdar A.S., (Ed.), McGraw-Hill Book Company, US, 1980, 155-215.
- [13] Mulet A., Berna A., Borrás M., et al., “Effect of Air Flow Rate on Carrot Drying” Drying Technology, 5(2), 245-258, 1987.
- [14] Crank J., “The Mathematics of Diffusion”, Clarendon press, Oxford, 1975, 1-61.
- [15] Devahastin S., “Mujumdar’s Practical Guide to Industrial Drying”. Exerges Corporation, Montreal, 2000, 12-19.
- [16] Khraisheh M.A.M, Cooper T.J.R., Magee T.R.A., “Transport Mechanisms of Moisture During Air Drying Processes” Trans IChemE, 75, C, 34-40, March 1997.
- [17] Guarte R.C., “Modeling the Drying Behavior of Copra and Development of a Natural Convection Dryer for Production of High Quality Copra in the Philippines”, Ph.D. Dissertation, 287, Hohenheim University, Stuttgart, Germany, 1996.