

SIKLON TİPİ BİR KURUTUCUDA KABAĞIN KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ebru KAVAK AKPINAR, Yaşar BİÇER

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
23279, Elazığ, TÜRKİYE,
(e-posta: eakpinar@firat.edu.tr, ybicer@firat.edu.tr),*

ÖZET

Bu çalışmada, kabağın kuruma davranışı siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelendi. Deneylerde, 60, 70 ve 80 °C'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken, seçilen kurutma havası hızları 1 ve 1.5 m/s idi. Deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analiz kullanılarak matematiksel olarak modellendi.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, konveksiyonel kurutucu, kabak, matematiksel modelleme, regresyon analizi

INVESTIGATION OF DRYING BEHAVIOUR OF PUMPKIN IN A CYCLONE TYPE DRYER

ABSTRACT

In this study, the drying behaviour of pumpkin was experimentally investigated in a cyclone type dryer. In the experiments, drying air velocities selected were 1 and 1.5 m/s, while three different air inlet temperatures of 60, 70 and 80 °C were used. The curves of drying rate-moisture content obtained from the experimental results were mathematically modelled using non-linear regression analysis.

Key Words: Drying, convection dryer, pumpkin, mathematical modelling, regression analysis

1. GİRİŞ

Fazla miktarda üretilen tarımsal ürünler hemen tüketilemediğinden dolayı dayanma süreleri çok kısa olmaktadır. Bu ürünlerin taze olarak saklanabilmesi bazı özel işlemler sonucunda mümkün olabilmektedir. Tarımsal ürünlerin tüketilme anına kadar geçen süre içerisinde besleyici özelliklerini kaybetmeden ekonomik ömürlerinin uzatılmasına yönelik olan bu işlemlerin başında kurutma gelmektedir. Kurutma, meyve ve sebzelerin su niceliğini azaltarak, su aktivitesini düşürmek ve böylece biyokimyasal, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaları minimize etmek amacıyla ısıtılmış hava ile endüstriyel ölçekte uygulanan bir koruma metodu olarak tanımlanmaktadır (1).

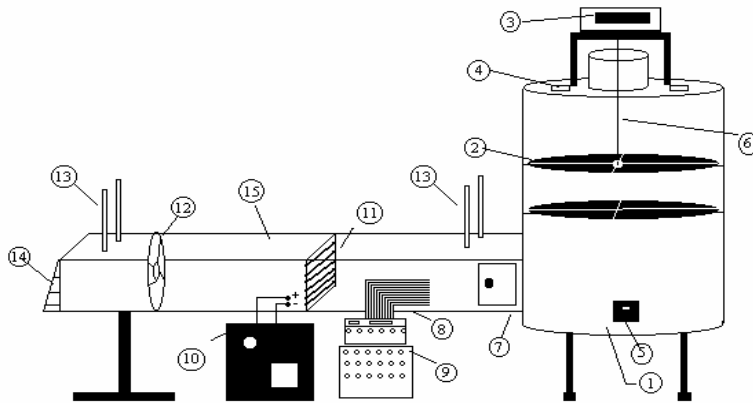
Kurutma prosesinde amaç; gıdaların bozulmasını önlemenin yanı sıra kaliteli ürün elde etmektir. Kaliteli ürün elde edebilmek kontrollü kurutmayı, kontrollü kurutma ise sıcaklık ve nem kontrolünü zorunlu hale getirmektedir. Bu kontrolün yapılabilmesi ise, sıcaklık ve nem dağılımının belirlenmesi ile mümkündür (2). Literatürde kurutma sırasında hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi kurutucu ortam koşulları ile kurutulan materyale ait özelliklerin kuruma davranışına etkilerinin incelendiği ve modellenmenin yapıldığı araştırmalar mevcuttur (3-12). Ancak, kabağın kuruma davranışının incelendiği ve kuruma hızının nem içeriğiyle modellenmesinin yapıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Diamante ve diğ. (6) patatesin, Sarsavadia ve diğ.(7) soğanın, Özdemir ve Devres (8) fındığın, Midilli (9) fıstığının, Yıldız ve Ertekin (10), Doymaz ve Pala (11) üzümün, Panchariya ve diğ. (12) çayın ince sergide kuruma karakteristiğini farklı kurutma havası özelliklerinde incelemişlerdir. Deneysel verilere dayanarak elde ettikleri boyutsuz nem oranının zamanla değişimini çeşitli modellerle açıklamaya çalışmışlardır. Boyutsuz nem oranının zamanla değişimini en iyi şekilde açıklayan modeldeki katsayılara kurutma havası özelliklerinin etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle araştırmışlardır.

Bu çalışma siklon tipi bir kurutucuda, değişik kurutma havası şartlarında kurutulan kabak örneklerinin kuruma davranışı incelenmiş ve kuruma hızı ile nem içeriğinin değişimi üssel bir fonksiyonla modellenmiştir. Bu modelin de kullanılabilirliğini araştırmak için korelasyon katsayısı (R), tahminin standart hatası (RMSE), khi-kare (2), modelin modelleme yeterliliği (EF) değerleri belirlenmiştir. Kuruma hızı-nem içeriği değişimi modelindeki katsayılara kurutma havası sıcaklığı ve hızının etkisi çoklu regresyon yöntemiyle araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney setinin şematik resmi Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneylerde siklon tipi bir kurutucu kullanılmış, kabak örneklerinin ısıtılmış hava ile teması, düz akış ortamı yerine dönel akış ortamında gerçekleşmiştir. Dönel akış, havanın kurutma odasının alt kısmından teğetsel olarak girmesi ile sağlanmıştır. Deneylerde kabak örneklerinin kuruma davranışı iki farklı kurutma havası hızı (1 ve 1.5 m/s), üç farklı giriş havası sıcaklığında (60, 70 ve 80 °C) incelenmiştir. Kabak örnekleri 35 mm çapında 5 mm kalınlığında kesilmiş ve kurutma işlemi fileli tepsilerde yapılmıştır. Tepsiler kurutma odasına üç konumda yerleştirilen pabuçlar üzerinde durmaktadır. Tepsiler üzerine çapraz şekilde ince teller atılarak, orta noktalarına bir kanca yerleştirilmiştir. Tartım işlemleri bu kancaya takılan tellerle bağlantılı hale getirilen teraziye sürekli olarak yapılmıştır. Tartım işleminde tepsilerin kurutma odasının cidarına değmemesine ve iyi bir dengeleme yapılmasına özen gösterilmiştir.

Siklon içindeki hava hızlarını ölçmek için 0-15 m/s ve 0-80 °C arasında ölçüm yapabilen, hem sıcaklık hem de hız değerlerini okuyabilen TA-2 AIRFLOW markalı bir termal hız ölçer kullanılmıştır. Sıcaklık tespitinde BS 4937 standardında J- tipi demir(+)



Şekil 1. Siklon tipi kurutucunun şematik gösterimi

- 1- Kurutma odası, 2- Tepsiler, 3- Terazi, 4- Gözetleme camları, 5- İç sıcaklığı gösteren termometre,
- 6- Tartım çubuğu, 7- Kumanda panosu, 8- Termoelemanlar, 9- Dijital termometre ve kanal seçici,
- 10-Varyyak, 11- Isıtıcılar, 12-Fan, 13- Yaş ve kuru termometreler, 14- Klape, 15- Kanal

constantan(-) termo elemanları ve 20 kanallı Elimko 6400 elle kumandalı 0.1 °C hassasiyetli dijital termometre kullanılmıştır. Deneylerde giriş sıcaklığı esas alınmış ve bu sıcaklığın sürekli aynı değerde kalması bir varyaykla sağlanmıştır. Ağırlık tespiti BEL marka 0.01 gram duyarlılık maksimum 2000 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir terazi ile yapılmıştır. Kurutulan ürünün başlangıç ve son nem içerikleri METTLER marka infrared nem tayin cihazıyla belirlenmiştir.

2.1. Ölçülen Değerlerin Hata Analizi

DeneySEL çalışma sonuçlarının belirsizliğini etkileyen hata tiplerinin üç ana grupta toplamak mümkündür (13). Birinci olarak; deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatından kaynaklanan hatalar, ikinci olarak; sebebi genellikle kesin olarak bilinmeyen, aynı büyüklüğün tekrar okunması sırasında ortaya çıkan sabit hatalar, üçüncü olarak; deney ve gereçlerinde rasgele elektronik salınımlardan, sürtünme etkilerinden vs. kaynaklanan rasgele hatalardır. Siklon tipi kurutucuda yapılan kurutma deneylerinde sıcaklığın, zamanın, ağırlık kayıplarının, hızın, havanın neminin, ve örneklerin kuru madde miktarının ölçülmesi sırasında, hem sabit hatalardan, hem imalat hatalarından hem de rasgele hatalardan kaynaklanan hataların etkili olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen değerleri dikkate alarak siklon tipi kurutucuda yapılan kurutma işlemleri için bu değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması gerekir. Ölçülen büyüklüklerin hata değerleri ise, ölçü araçlarının üretici firmaları tarafından önerilen hata değerleri yanında yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve deneysel tecrübelerden teorik olarak belirlenmiştir. Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rasgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı (1) eşitliğindeki gibi yapılabilir. Çizelge 1' de deneylerde yapılan hataların toplam değerleri sayısal olarak verilmiştir.

$$W_x = \left[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2 \right]^{1/2} \quad [1]$$

Çizelge 1. Kurutma deneylerinde yapılan hataların toplam değerleri

Hata oluşturan parametreler	Birim	Toplam hata
Sıcaklık ölçümündeki toplam hata		
Fan girişindeki sıcaklık tespitinde	°C	±0.380-±0.576
Isıtıcı çıkışındaki sıcaklık tespitinde	°C	±0.576
Siklon girişindeki sıcaklık tespitinde	°C	±0.380
Siklon çıkışındaki sıcaklık tespitinde	°C	±0.380
Kurutulan örneklerin merkezinde sıcaklık tespitinde	°C	±0.380
Siklon içerisindeki sıcaklık tespitinde	°C	±0.380
Çevre sıcaklığının tespitinde	°C	±0.380
Zaman ölçümündeki toplam hata		
Ağırlık değerlerinin tespit edilme periyodunda	dakika	±0.1
Sıcaklık değerlerinin tespit edilme periyodunda	dakika	±0.1
Ağırlık kaybının ölçümündeki toplam hata	gram	±0.5
Hız ölçümündeki toplam hata	m/s	±0.14
Havanın bağıl neminin ölçümündeki toplam hata	RH	±0.1
Örneklerin bünyesindeki nem miktarının tespitindeki toplam hata	gram	±0.001
Tablo değerlerinin okunmasındaki toplam hata	%	±0.1-0.2

2.2. Hesaplama Yöntemi

Kabağın kuruma davranışı kuruma zamanına bağlı olarak değişen nem içeriği ve kuruma hızı ile karakterize edilebilmektedir. Kuru baza göre nem içeriği, üründeki su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$M_t = \frac{W_s}{W_k} \quad [2]$$

Kuruma hızı ise aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

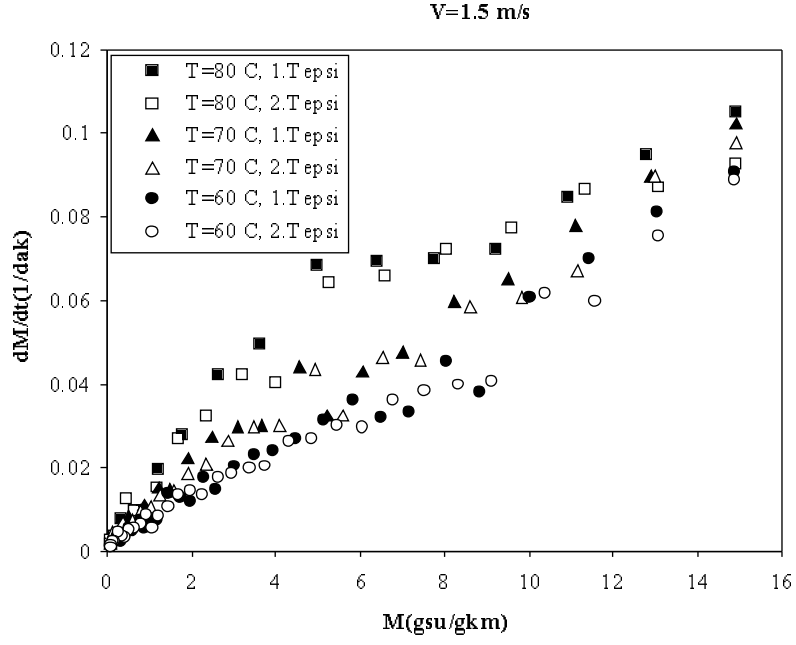
$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad [3]$$

3. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

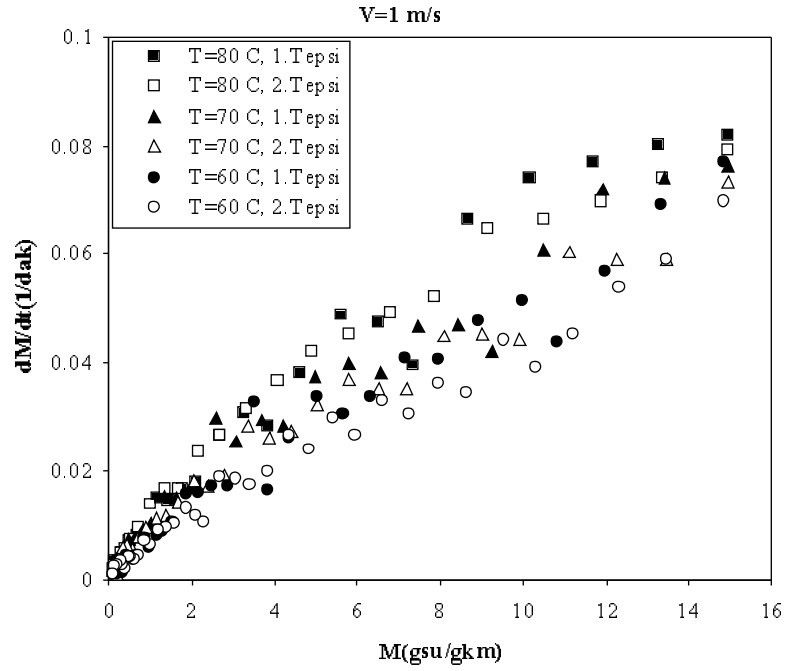
Bu araştırmada kurutulan kabaklara ait başlangıç nem içeriği infrared nem tayin cihazıyla 14.92 gsu/gkatımadde (ortalama değer) tespit edilmiş ve nem içeriğinin sabit kaldığı 0.06 gsu/gkatımadde değerinde kurutma işlemine son verilmiştir. Kuruma hızı Eşitlik (3)'de ifade edildiği gibi nem içeriğindeki değişimin zamana göre türevi alınarak belirlenmiş ve nem içeriğiyle değişimi grafiğe geçirilmiştir (Şekil 2-6). Kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi grafiklerinin bazı kısımlarında, özellikle kuruma işleminin sonlarına doğru birbirinden farklı olmayan kuruma hızlarına rastlanmıştır. Kuruma hızının sabit kaldığı bu bölgelerde kısmen sabit hızla kuruma evresi görülmüştür. Ancak bu bölgelerin genel olarak çok az olmasından dolayı hesaplamalar ve kabuller de kuruma prosesinin azalan kuruma hızı döneminde gerçekleştiği varsayılmıştır. Deney sonuçlarına göre, en yüksek kuruma hızı 80 °C kurutma havası giriş sıcaklığında 1.5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise 60 °C kurutma havası giriş sıcaklığında 1 m/s kurutma havası hızında elde edilmiştir. Sabit kurutma havası hızında yapılan deneylerde kurutma havası sıcaklığı arttıkça nem içeriğinde belirgin bir şekilde hızlı bir azalma görülmekte, ayrıca kuruma hızı da artmaktadır (Şekil 2, 3). Kuruma hızları üzerindeki bu artış, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesinden ve bunun sonucu olarak da havanın daha yüksek bir kurutma potansiyeline ulaşmasından dolayı meydana gelmektedir.

Kurutma havası hızının artması kurutma süresini kısaltmakta, nem içeriği değişimi üzerinde etkili olmaktadır (Şekil 4-6). Kuruma işlemlerinde hava hızının etkisi kurutmanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurutmanın başlarında hava hızı çok etkili ise de kurumanın ileri aşamalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızıyla sınırlandırıldığından, kurutmada hava hızının yüksek olmasının önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

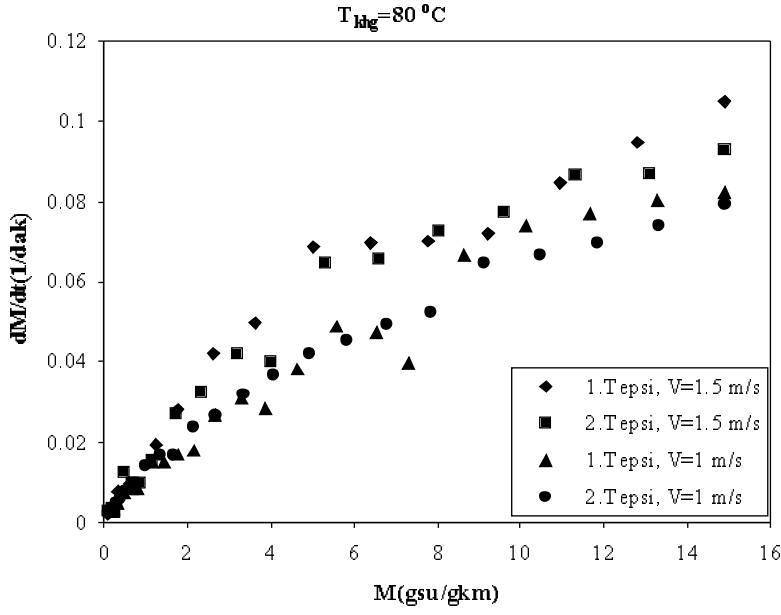
Tepsilerin konumuna göre yapılan karşılaştırmada ise birinci ve ikinci tepsilerdeki nem içeriği değişimlerinin genelde birbirine yakın olduğu, fakat bazı durumlar için farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Grafikler incelendiğinde 1 m/s hava hızında 60 ve 70 °C giriş havası sıcaklığında yapılan kurutmada tepsiler arasındaki farklılıklar gözükmemektedir. Bu farklılığın kurutulan kabakların çekirdekli kısımlarının değişik özellikler göstermesinden ve bu çekirdeklerin nem transferine gösterdiği dirençten kaynaklandığı sanılmaktadır.



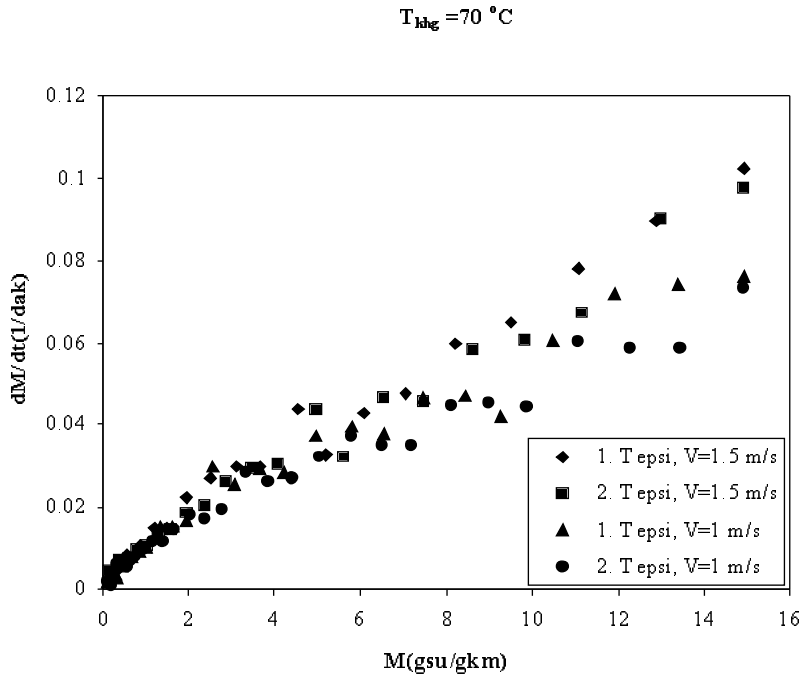
Şekil 2. Kabak örneklerinin kurutulmasında kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ($V=1.5 \text{ m/s}$ ve $T_{kHg}=60, 70, 80 \text{ }^\circ\text{C}$)



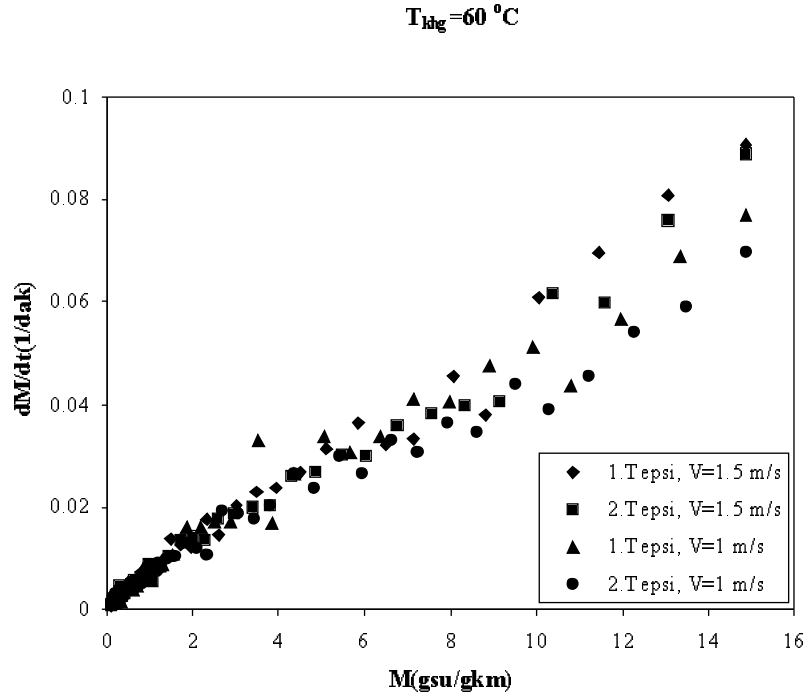
Şekil 3. Kabak örneklerinin kurutulmasında kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ($V=1 \text{ m/s}$ ve $T_{kHg}=60, 70, 80 \text{ }^\circ\text{C}$)



Şekil 4. Kabak örneklerinin kurutulmasında kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ($T_{h\ddot{a}g}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve farklı hızlarda)



Şekil 5. Kabak örneklerinin kurutulmasında kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ($T_{h\ddot{a}g}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve farklı hızlarda).



Şekil 6. Kabak örneklerinin kurutulmasında kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ($T_{\text{hkg}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve farklı hızlarda)

4. KURUMA HIZI İLE NEM İÇERİĞİ DEĞİŞİMİ EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bu çalışmada, lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla deney sonuçlarından elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrilerinin matematiksel modellemesi yapılmıştır. Regresyon analizlerinde STATISTICA programı kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı (R) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (2), değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği de (EF) belirlenmiştir (14).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,\text{teorik}} - D_{i,\text{deneysel}})^2}{N}} \quad [4]$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,\text{deneysel}} - D_{i,\text{teorik}})^2}{N - n} \quad [5]$$

$$\text{EF} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,\text{deneysel}} - D_{i,\text{deneyselort}})^2 - \sum_{i=1}^n (D_{i,\text{teorik}} - D_{i,\text{deneysel}})^2}{\sum_{i=1}^n (D_{i,\text{deneysel}} - D_{i,\text{deneyselort}})^2} \quad [6]$$

Teorik değer, istatistiki yöntemlerle bulunan model eğrilerinin sonuçlarını ifade etmektedir. Tahminin standart hatası, teorik değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sifıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme

yeterliliği değerinin bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin göstergesidir.

Kuruma hızı-nem içeriği değişimini açıklayan en iyi model lineer, üssel, arhenius, logaritmik, exponansiyel fonksiyonlar kullanılarak araştırılmıştır. Çizelge 2 'de bu fonksiyonların bütün deneysel verilere uygulanması sonucunda elde edilen istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Kuruma hızı ile nem içeriği değişimi eğrilerinin modellenmesinde en yüksek R, EF ile en düşük RMSE ve khi-kare değerlerini üssel fonksiyon vermiştir.

Çizelge 2. Kuruma hızının nem içeriğine göre modellenmesi ve istatistiksel analiz sonuçları

Fonksiyon	Fonksiyondaki sabitler	R	RMSE	Khi-Kare	EF(R ²)
Lineer $dM/dt = a + bM$	$a=0.004261$ $b=0.005563$	0.94774	0.008149	0.0000668	0.89820
Üssel $dM/dt = aM^b$	$a=0.009787$ $b=0.789504$	0.95097	0.007900	0.0000628	0.90434
Arhenius $dM/dt = a \exp(b/M)$	$a=0.095201$ $b=-4.33743$	0.92065	0.009972	0.0001005	0.84759
Logaritmik $dM/dt = a + b \ln(M)$	$a=0.019565$ $b=0.013794$	0.84734	0.013565	0.0001854	0.71798
Eksponansiyel $dM/dt = a \exp(bM)$	$a=0.013465$ $b=0.133271$	0.89684	0.011299	0.0001284	0.80433

Kabak örneklerinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimini en iyi şekilde ifade eden $\frac{dM}{dt} = a.M^b$ modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3' de verilmiştir. Bu model ile yapılan tahminin standart hatası 0.001933 ile 0.005557 aralığında değişmiştir. Bununla birlikte khi-kare değerleri sıfıra oldukça yakın çıkmıştır. Kullanılan modelin modelleme yeterliliği de 0.97398-0.99421 arasında değişmiştir. İstatistiksel verilerin uyumunun yüksek olmasından dolayı modelin kullanılmasında bir sakınca yoktur.

$\frac{dM}{dt} = a.M^b$ modelinde bulunan a ve b katsayıları üzerinde kurutma havası hızı ve kurutma havası giriş sıcaklığının etkisi çoklu regresyon tekniğiyle aşağıdaki fonksiyon yardımıyla araştırılmıştır.

$$Y = c.Vc^1. Tc^2 \quad [7]$$

Kabak örnekleri için kuruma hızının nem içeriği ile değişimi modelinde bulunan a ve b katsayılarının kurutma havası giriş sıcaklığı ve kurutma havası hızına bağlı değişimi,

1. Tepsideki a, b katsayıları

$$a=1.166589.10^{-8}. T3.195186 . V0.684896 \quad R=0.91983$$

$$b=68.92064. T-1.06670 . V0.210031 \quad R=0.86177$$

2. Tepsideki a, b katsayıları

$$a=1.382943.10^{-9}. T3.696882 . V0.429619 \quad R=0.97188$$

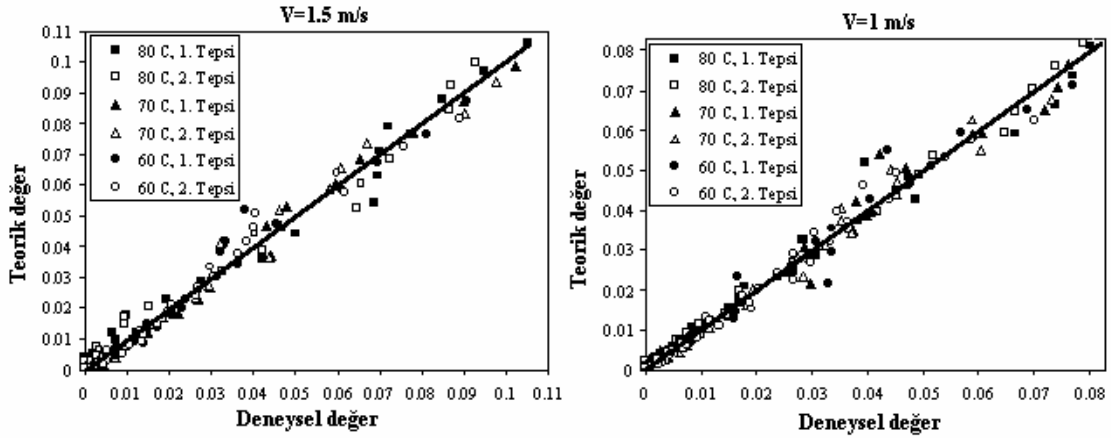
$$b=143.2755. T-1.24849 . V0.308871 \quad R=0.94958$$

şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 3. Kuruma hızı ile nem içeriğindeki değişimi veren model ve istatistiksel değerler

Sıcaklık °C	Hava hızı m/s	1. Tepsi				
		T_{kbg}	V	$a \times 10^3$	b	$dM/dt = aM^b$ RMSE
60	1.5	5.854	1.000390	0.003692	0.000014514	0.97541
70	1.5	10.665	0.823389	0.003380	0.000012512	0.98640
80	1.5	20.101	0.616142	0.005557	0.000034746	0.97469
60	1	7.735	0.823110	0.003363	0.000011977	0.97398
70	1	10.945	0.719902	0.003528	0.000013442	0.97703
80	1	12.040	0.737620	0.004140	0.000018694	0.97637
2. Tepsi						
60	1.5	5.594	0.994649	0.003233	0.000011108	0.97861
70	1.5	9.519	0.844854	0.003704	0.000014969	0.98112
80	1.5	18.906	0.615542	0.004877	0.000026578	0.97746
60	1	6.666	0.827817	0.002547	0.000006857	0.97963
70	1	9.830	0.714224	0.002659	0.000007593	0.98274
80	1	14.086	0.651172	0.001933	0.000004093	0.99421

Farklı kurutma şartları için $\frac{dM}{dt} = a.M^b$ modelinin kullanılmasıyla elde edilen teorik ve yapılan deneyler sonucunda bulunan deneysel kuruma hızı değerleri Şekil 7' de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde teorik değerleri gösteren noktaların deneysel verileri gösteren eğrilere oldukça yakın bulunduğu ve bu noktaların eğrinin üzerinde veya eğrinin çok yakınında olduğu saptanmıştır. Bu da kullanılan modelin kuruma hızı nem içeriği ilişkisini açıklamada kullanılabileceğini ifade etmektedir.



Şekil 7. Deneysel ve teorik kuruma hızı değerleri

5. SONUÇ

Çalışma sonuçlarına göre siklon tipi kurutucuda, dönel akış ortamında kurutulan ürünlerde kuruma hızının yüksek olduğu görülmüştür. Kabak örnekle rinin kuruma hızına, kurutma havası özelliklerinin önemli etkisi olmuştur. Farklı giriş sıcaklıklarında, farklı hava akış hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızında, hava hızından ziyade hava sıcaklığının etkisinin daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Kuruma hızı nem içeriği değişimi eğrileri üssel bir eşitlikle modellenmiştir. modelinin deney sonuçlarına uygulanması sonucunda yapılan istatistiksel analizde korelasyon katsayısı, modelin modelleme yeterliliği değerlerinin yüksek, tahminin standart hatası, khi-kare değerlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Teorik değerleri gösteren noktaların deneysel verilere oldukça yakın bulunduğu saptanmıştır. Kullanılan modelin kabak örneklerinin kuruma hızı nem içeriği ilişkisini açıklamada kullanılabileceği belirlenmiştir.

6. SEMBOLLER

a, b, c, c ₁ , c ₂	: Katsayı
D _{deneysel}	: Deneysel kuruma hızı
D _{deneysel ort}	: Ortalama deneysel kuruma hızı
D _{teorik}	: Teorik kuruma hızı
EF	: Modelin modelleme yeterliliği
n	: Kullanılan modeldeki katsayı sayısı
N	: Deneysel veri sayısı
dM/d _t	: Kuruma hızı (gsu/gkatı madde.dak)
M _t	: t anındaki nem içeriği (gsu/gkatı madde)
M _t +d _t	: t+dt anındaki nem içeriği (gsu/gkatı madde)
R	: Regresyon katsayısı
RMSE	: Tahminin standart hatası
t, d _t	: Zaman (dak)
T _{khg}	: Kurutma havası giriş sıcaklığı (°C)
V	: Hız (m/s)
W _s	: Su ağırlığı (gsu)
W _k	: Ürünün kuru ağırlığı (gkatı madde)
X ²	: Khi-kare
W _x	: Toplam hata
x	: Hata oluşturan parametre

KAYNAKLAR

1. Cemeroglu, B., Acar, J., "Meyve ve sebze işleme teknolojisi", *Gıda Teknolojisi Derneği*, 6: 9, Ankara (1986).
2. Kılınç, A., Kunduz, M., Aksoy, B., "Isparta halısının kurutma eğrilerinin deneysel çalışmalarla elde edilmesi" *Termodinamik*, (5): 64 (1999).
3. Puiggali, J.R., Batsale, J.C., Nadeau, J.P., "The development and use of an education to describe the kinetics of air drying of hazelnuts" *Lebensm.-Wiss. u. - Technology*, (20): 174 (1987).
4. Mulet, A., Berna, A., Rosello, C., Pinaga, F., "Drying carrots. II: evaluation of drying models" *Drying Technology*, 7(4): 641 (1989).
5. Üretir, G., "Modeling computer controlled apple drying processes", Yüksek lisans tezi, *ODTÜ*, Ankara, (1995).
6. Diamante, L.M. and Munro, P.A., "Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices" *International Journal of Food Science and Technology*, (26): 99 (1991).
7. Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P., "Drying behavior of brined onion slices" *Journal of Food Engineering*, (40): 219 (1999).
8. Özdemir, M., and Devres, Y.O., "The thin layer-drying characteristic of hazelnuts during roasting" *Journal of Food Engineering*, (42): 225 (1999).
9. Midilli, A., "Determination of pistachio drying behavior and conditions in a solar drying system" *International Journal of Energy Research*, (25): 715 (2001).
10. Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., "Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes" *Energy*, (26): 457 (2001).

11. Doymaz, İ. and Pala, M., "The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes" ***Journal of Food Engineering***, (52): 413 (2002).
12. Panchariya, P.C., Popovic, D., Sharma A.L., "Thin-layer modeling of black tea drying process" ***Journal of Food Engineering***, (52): 349 (2002).
13. Holman, J.P., "Experimental methods for engineers", ***McGraw-Hill Book Company***, New York (1966).
14. 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", Doktora tezi, 287, ***Hohenheim University***, Stuttgart, Germany (1996).

Geliş Tarihi:03.06.2002

Kabul Tarihi:14.01.2003

