



PATLICAN KURUTMADA KURUMANIN ÇEŞİTLİ MODELLERLE AÇIKLANMASI¹

Mustafa TUNÇ², Hakan Okyay MENGEŞ^{2,3}

²Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Konya/Türkiye

(Geliş Tarihi: 04.04.2009, Kabul Tarihi: 13.07.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, bir laboratuvar kurutucusunda patlicanın 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 katsayılarla, 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 bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği de (EF) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kuruma havası sıcaklığının (T) ve hızının (V) etkileri 6 mm dilim kalınlığındaki patlican örnekleri için; $a=[0.7889+0.050 \ln(T)]$, $k=\{11.0023+3.1720 \ln(T)\}$, $n=[1.0204 \cdot \exp(1.0580/T)]$, $b=0.0005 \exp(0.0877/V)$; 9 mm dilim kalınlığı için $a=[0.9853+0.0264 \ln(T)]$, $k=-\{0.7517+0.2964 \ln(T)\}$, $n=[0.6899 \cdot \exp(0.3403/T)]$, $b=0.0025 \exp(0.1738/V)$ sabit ve katsayıları ile nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Midilli ve ark. ($MR=a \exp(-kt^n)+b+t$) modeli ile tahmin edilmiştir. Modelleme yeterliliği de 6 mm için 0,998300...0,999123 arasında; 9 mm için 0,998684....0,999188 arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlican, Hava sıcaklığı, Hava hızı, modelleme, modelleme yeterliliği

EXPLAIN OF DRYING PROCESS BY VARIOUS MODELS IN EGGPLANT DRYING

ABSTRACT

In this study, a laboratory dryer is used for eggplant 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. Modelling efficiency (EF) was determined. According to the results, The effects of drying air temperature (T) and velocity (V), could be predicted by the Midilli et al. ($MR=a \exp(-kt^n)+b+t$) with constants and coefficients $a=[0.7889+0.050 \ln(T)]$, $k=\{11.0023+3.1720 \ln(T)\}$, $n=[1.0204 \cdot \exp(1.0580/T)]$, $b=0.0005 \exp(0.0877/V)$ for 6 mm and $a=[0.9853+0.0264 \ln(T)]$, $k=-\{0.7517+0.2964 \ln(T)\}$, $n=[0.6899 \cdot \exp(0.3403/T)]$, $b=0.0025 \exp(0.1738/V)$ for 9 mm. Modeling efficiency (EF) changed between 0,998300...0,999123 for 6 mm and changed between 0,998684....0,999188 for 9 mm.

Key Words: Eggplant, air temperature, air velocity, modeling, modeling efficiency

GİRİŞ

Sebze ve meyvelerin yaş olarak tüketilmesinin yanısıra, kurutularak farklı amaçlar için kullanımı, saklama koşullarının daha kolay olması ve ekonomik kazanç nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkemizde tarımsal ürünlerin önemli bir kısmı saklanmak ve depolanmak durumundadır. Kurutulmuş meyve, sebze ve baharat çeşitleri dış satımımızın büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Yaldız ve Ertekin 2001).

Ülkemiz iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzelerin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında güneşe sererek yapılmaktadır. Ekonomik açıdan ürünlerin bu şekilde kurutulması sonucu kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla karşılaşmaktadır ve kurutma işlemi daha fazla zaman almaktadır. Ayrıca doğal kurutma işlemi sırasında çevresel zararlılara karşı da önlem alınamamaktadır. Bunlar da kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliğine ve artırılmasına bir işaret olmaktadır.

¹Mustafa TUNÇ'un Yüksek Lisans Tezinden Özetlenmiştir.

³Sorumlu Yazar: hmengec@selcuk.edu.tr

Bu çalışmada, patlicanın farklı kurutma koşullarındaki (hava sıcaklığı: 45 °C, 55 °C, 65°C ve 75 °C; hava hızı: 1.5 m/s ve 2.5 m/s; dilim kalınlığı: 6 mm ve 9 mm) kuruma davranışı bir laboratuvar kurutucusunda yapılan denemeler ile incelenmiş ve nem içeriği değişimine farklı hava sıcaklığı ve hava hızı ile kurutma öncesi uygulanan ön işlemin (dilimleme) etkisi farklı matematiksel modeller ile açıklanmaya çalışılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Laboratuvar Kurutucusu ve Kurutma Materyali

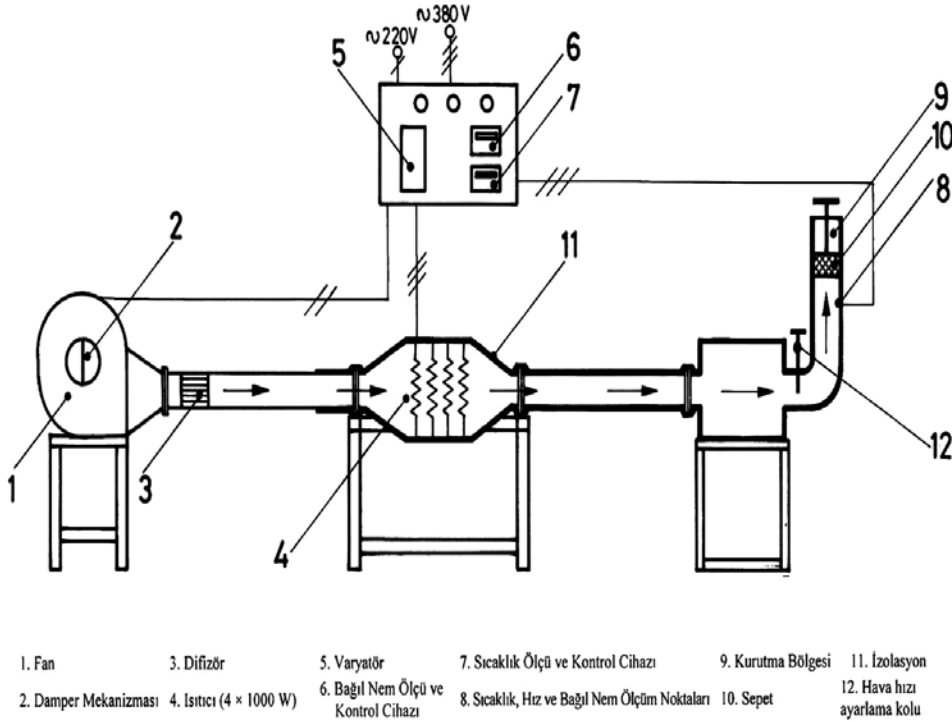
Kurutma çalışmaları Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde imal edilen bir laboratuvar kurutucusu ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de kurutucuya ait şematik resim görülmektedir.

Kurutucu, kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni, elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kurutma havası sıcaklığını sağlayan düzen ile kurutma odası olmak üzere 3

ana ünitelerden oluşmaktadır. Kurutma için gerekli hava 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, böylece 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 sağlanabilmektedir.



Şekil 1. Deneme düzeninin şematik görünüşü.

Denemeler

Denemelerde kullanılan patlıcan örnekleri, kurutma öncesinde 6 ve 9 mm kalınlığında dilimlendikten sonra tek tabaka halinde kurutulmuşlardır. Kurutma havası sıcaklığı olarak 45, 55, 65 ve 75 °C, hava hızı olarak ise 1.5 ve 2.5 m/s seçilmiştir. Hava hızı testoterm marka elektronik hava hızı ölçme cihazı ile ± 0.1 m/s, kurutma havası sıcaklığı kurutma odasının hemen altına yerleştirilen sıcaklık ölçüm ve kontrol cihazları ile ± 1 °C ve belli t anlarındaki ağırlık kayıpları ise elektronik terazi ile 0.01 g doğrulukla ölçülmüştür. Ürünlerin son nem içerikleri, örneklerin kurutma fırınında 105 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmesi ile belirlenmiştir (Yağcıoğlu 1999).

Kurutma eğrilerinin matematiksel modellemesi

Yapılan denemeler sonucunda ürünün nem içeriğinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ür-

nün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M), ürünün ilk nem içeriğine (M₀) oranı olarak sadeleştirilebilen ayrılabilir nem oranı (ANO), 14 farklı model ile açıklanmaya çalışılmıştır (Ertekin ve Yıldız 2001);

$$ANO = \frac{M}{M_0}$$

Tablo 1’de kuruma eğrilerini açıklamada 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 (χ²) değerleri ile elde edilen modelin modelleme yeterliliği (EF) değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir;

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

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

Tahminin standart hatası (RMSE), modelden elde edilen tahmini ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren 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).

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

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

Tablo 1. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO = \exp(-kt)$	Newton	(1,12)
$ANO = \exp(-kt^n)$	Page	(5,18)
$ANO = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	(16)
$ANO = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page II	(17)
$ANO = a \exp(-kt)$	Henderson ve Papis	(2)
$ANO = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	(17,19)
$ANO = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	(8)
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	İki terimli exponansiyel	(13,16,17)
$ANO = 1 + at + bt^2$	Wang ve Sing	(20)
$t = a \ln(ANO) + b(\ln(ANO))^2$	Thompson	(11,14,17)
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Difüzyon yaklaşım	(6,17)
$ANO = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma ve ark.	(15,17)
$ANO = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Papis	(4,5)
$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	(9)

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

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

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6 ve 9 mm kalınlığındaki patlıcan örneklerinde, azalan hızda kuruma evresinde meydana gelen kuruma olayını açıklamak üzere kullanılan 14 modele ait ista-

tistiksel veriler incelenmiş ve ayrılabilir nem oranı en düşük hata ile Midilli ve ark. modelinin kullanılması ile sağlanmıştır (Tablo 2 ve 3). Bu nedenle patlıcanın nem içeriğinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimi incelemek için bu model kullanılmıştır;

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

Tablo 4. ve 5'de 6 mm ve 9 mm ön işlem için ayrı ayrı farklı kurutma havası sıcaklığı ve hızı için en uygun model olan Midilli ve ark. modeline ait a, k, n ve b katsayıları ile bu koşullardaki RMSE, χ^2 ve EF değerleri verilmiştir. Belirtilen katsayıların kullanılması ile uygulanan çalışma koşulları için patlıcanın en uygun ayrılabilir nem oranını (ANO) belirlemek mümkün olmaktadır. Patlıcanın kurutulmasında bu model ile yapılan tahminin standart hatası 6 mm kalınlıktaki örneklerde (RMSE) 0,008731...0,012899 ara-

sında değişmiştir. 9 mm'de ise 0,007328...0,010800 arasında değişmiştir. Bununla birlikte tabloların incelenmesinden de görüleceği üzere khi-kare (χ^2) değerleri de sıfıra oldukça yakın çıkmıştır. Kullanılan modelin modelleme yeterliliği (EF) ise 6 mm ön işlem

için 0,998493...0,999123 arasında değişmiş, 9 mm için ise 0,998684...0,999188 arasında değişmiştir. Görüldüğü gibi oldukça yüksek uyum gösteren istatistiksel veriler ile bu modelin kullanılabilirliği açıktır.

Tablo 2. 6 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler

Model	Hız (m/s)	45 °C			55 °C			65 °C			75 °C		
		RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF
Newton	1,5	0,011902	0,000149	0,998112	0,013260	0,000189	0,997980	0,015359	0,000254	0,997157	0,013113	0,000188	0,998022
	2,5	0,012768	0,000174	0,998014	0,011419	0,000143	0,998602	0,021639	0,000535	0,995760	0,020175	0,000475	0,996526
Page	1,5	0,010912	0,000132	0,998413	0,011837	0,000163	0,998390	0,011532	0,000155	0,998397	0,009287	0,000104	0,999007
	2,5	0,012656	0,000183	0,998048	0,009290	0,000105	0,999075	0,014888	0,000296	0,997993	0,011138	0,000174	0,998941
Geliştirilmiş Page I	1,5	0,011902	0,000157	0,998112	0,013260	0,000205	0,997980	0,015359	0,000275	0,997157	0,013113	0,000206	0,997964
	2,5	0,012768	0,000186	0,998014	0,011419	0,000159	0,998602	0,021639	0,000624	0,995760	0,020175	0,000570	0,996526
Geliştirilmiş Page II	1,5	0,010912	0,000132	0,998413	0,011837	0,000163	0,998390	0,011532	0,000155	0,998397	0,009287	0,000104	0,999007
	2,5	0,012656	0,000183	0,998048	0,009290	0,000105	0,999075	0,014888	0,000296	0,997993	0,011138	0,000174	0,998941
Henderson ve Papis	1,5	0,010846	0,000131	0,998432	0,013219	0,000204	0,997992	0,015079	0,000265	0,997259	0,012917	0,000200	0,998080
	2,5	0,012743	0,000186	0,998021	0,011306	0,000156	0,998629	0,021336	0,000607	0,995878	0,019870	0,000553	0,996630
Logaritmik	1,5	0,010569	0,000131	0,998512	0,010668	0,000145	0,998692	0,066863	0,005690	0,946116	0,012976	0,000224	0,998063
	2,5	0,011535	0,000164	0,998379	0,014107	0,000274	0,997866	0,021065	0,000710	0,995982	0,019837	0,000689	0,996641
İki terimli	1,5	0,010846	0,000147	0,998432	0,013219	0,000245	0,997992	0,015079	0,000318	0,997259	0,012917	0,000250	0,998080
	2,5	0,012743	0,000216	0,998021	0,011306	0,000201	0,998629	0,021336	0,000910	0,995878	0,019870	0,000921	0,996630
İki terimli exponansiyel	1,5	0,011879	0,000157	0,998119	0,011049	0,000142	0,998597	0,011161	0,000145	0,998499	0,009066	0,000099	0,999054
	2,5	0,012264	0,000172	0,998167	0,008781	0,000094	0,999173	0,014964	0,000299	0,997972	0,011499	0,000185	0,998871
Wang ve Sing	1,5	0,068553	0,005222	0,937378	0,057622	0,003874	0,961848	0,096324	0,010825	0,888171	0,105896	0,013457	0,870965
	2,5	0,062860	0,004516	0,951851	0,069797	0,005954	0,947767	0,048113	0,003087	0,979038	0,047568	0,003168	0,980687
Thompson	1,5	0,160496	0,028621	0,996155	0,130959	0,020009	0,994166	0,339491	0,134463	0,962697	0,292946	0,102981	0,960470
	2,5	0,195808	0,043818	0,990494	0,154850	0,029307	0,985679	0,105521	0,014846	0,984230	0,092543	0,011990	0,982224
Difüzyon yaklaşım	1,5	0,008874	0,000093	0,998951	0,013260	0,000224	0,997980	0,015359	0,000300	0,997157	0,013113	0,000229	0,998022
	2,5	0,012172	0,000182	0,998195	0,011419	0,000179	0,998602	0,014328	0,000328	0,998141	0,010897	0,000208	0,998986
Verma ve ark.	1,5	0,011902	0,000167	0,998112	0,009320	0,000111	0,999002	0,012714	0,000206	0,998052	0,010393	0,000144	0,998757
	2,5	0,011503	0,000163	0,998388	0,008212	0,000093	0,999277	0,012394	0,000246	0,998609	0,011621	0,000236	0,998847
Geliştirilmiş Henderson Papis	1,5	0,010846	0,000168	0,998432	0,013219	0,000306	0,997992	0,015079	0,000398	0,997259	0,012917	0,000334	0,998080
	2,5	0,012743	0,000260	0,998021	0,011306	0,000281	0,998629	0,021336	0,001821	0,995878	0,019870	0,002764	0,996630
Midilli ve ark.	1,5	0,009144	0,000105	0,998886	0,010199	0,000146	0,998805	0,010873	0,000166	0,998575	0,008731	0,000114	0,999123
	2,5	0,011812	0,000186	0,998300	0,009165	0,000132	0,999099	0,012899	0,000333	0,998493	0,010150	0,000240	0,999121

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilir Midilli ve ark. modelinde yer alan a, k, n ve b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı 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 6 ve 7'de verilmiştir. Tabloların incelenmesinden de görüleceği üzere modelleme yeterliliği (EF) değerleri her iki dilim kalınlığı için bir miktar azalmıştır, ancak modelin bu hali bile oldukça yüksek bir uyuma sahiptir.

Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneyel}$) ile bu değerleri açıklayan Midilli ve ark. modelinden elde edilen ayrılabilir nem oranı ($ANO_{tahmini}$) değerlerinin zamana göre değişimleri her iki dilim kalınlığı için Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Görüldüğü gibi her iki dilim kalınlığı içinde deneysel değerler ile modelden elde edilen tahmini değerler birbirlerine oldukça yakındır. Bu da modelden elde edilen verilerin deneysel veriler yerine kullanılabilirliğinin göstegesidir.

Tablo 3. 9 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler

Model	Hız (m/s)	45 °C			55 °C			65 °C			75 °C		
		RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF
Newton	1,5	0,018479	0,000352	0,994976	0,017725	0,000326	0,995439	0,010165	0,000108	0,998541	0,013138	0,000185	0,997929
	2,5	0,025613	0,000679	0,990073	0,017924	0,000337	0,995566	0,012878	0,000178	0,997987	0,013987	0,000213	0,997830
Page	1,5	0,015233	0,000246	0,996586	0,013013	0,000183	0,997542	0,010146	0,000113	0,998546	0,012499	0,000180	0,998126
	2,5	0,017477	0,000327	0,995378	0,014293	0,000225	0,997181	0,012642	0,000184	0,998060	0,013824	0,000229	0,997880
Geliştirilmiş Page I	1,5	0,018479	0,000362	0,994976	0,017725	0,000339	0,995439	0,010165	0,000113	0,998541	0,013138	0,000199	0,997929
	2,5	0,025613	0,000703	0,990073	0,017924	0,000353	0,995566	0,012878	0,000191	0,997987	0,013987	0,000235	0,997830
Geliştirilmiş Page II	1,5	0,015233	0,000246	0,996586	0,013013	0,000183	0,997542	0,010146	0,000113	0,998546	0,012499	0,000180	0,998126
	2,5	0,017477	0,000327	0,995378	0,014293	0,000225	0,997181	0,012642	0,000184	0,998060	0,013824	0,000229	0,997880
Henderson ve Papis	1,5	0,014412	0,000220	0,996944	0,013961	0,000210	0,997171	0,010042	0,000110	0,998576	0,013138	0,000199	0,997929
	2,5	0,018788	0,000378	0,994658	0,014987	0,000247	0,996900	0,012472	0,000179	0,998111	0,013963	0,000234	0,997837
Logaritmik	1,5	0,013014	0,000185	0,997508	0,013699	0,000211	0,997276	0,009761	0,000110	0,998655	0,022840	0,000652	0,993743
	2,5	0,018513	0,000381	0,994814	0,014532	0,000245	0,997085	0,010964	0,000150	0,998541	0,037275	0,001853	0,984585
İki terimli	1,5	0,014412	0,000235	0,996944	0,013961	0,000229	0,997171	0,010042	0,000122	0,998576	0,013138	0,000235	0,997929
	2,5	0,018788	0,000407	0,994658	0,014987	0,000275	0,996900	0,012472	0,000212	0,998111	0,013963	0,000292	0,997837
İki terimli exponansiyel	1,5	0,018039	0,000345	0,995212	0,016399	0,000290	0,996096	0,009834	0,000106	0,998634	0,011868	0,000163	0,998310
	2,5	0,012600	0,000170	0,997598	0,017218	0,000326	0,995909	0,012852	0,000191	0,997995	0,013341	0,000214	0,998025
Wang ve Sing	1,5	0,061515	0,004013	0,944325	0,070307	0,005338	0,928246	0,089936	0,008859	0,885789	0,073147	0,006174	0,935820
	2,5	0,066935	0,004800	0,932204	0,066495	0,004864	0,938976	0,066628	0,005122	0,946102	0,057910	0,004024	0,962794
Thompson	1,5	0,119994	0,015271	0,999356	0,124636	0,016777	0,998796	0,346796	0,131721	0,987114	0,184362	0,039218	0,990394
	2,5	0,132853	0,018911	0,998898	0,106068	0,012375	0,998628	0,110441	0,014074	0,996486	0,120707	0,017484	0,992774
Difüzyon yaklaşım	1,5	0,011356	0,000141	0,998103	0,009051	0,000092	0,998811	0,009822	0,000111	0,998638	0,011664	0,000170	0,998368
	2,5	0,011819	0,000155	0,997886	0,010419	0,000126	0,998502	0,011343	0,000161	0,998438	0,013987	0,000261	0,997830
Verma ve ark.	1,5	0,018479	0,000373	0,994976	0,017725	0,000353	0,995439	0,009304	0,000100	0,998778	0,013064	0,000213	0,997953
	2,5	0,025613	0,000729	0,990073	0,017924	0,000372	0,995566	0,011858	0,000176	0,998293	0,011714	0,000183	0,998478
Geliştirilmiş Henderson Papis	1,5	0,014412	0,000251	0,996944	0,013961	0,000251	0,997171	0,010042	0,000136	0,998576	0,013138	0,000288	0,997929
	2,5	0,018788	0,000441	0,994658	0,014987	0,000309	0,996900	0,012472	0,000259	0,998111	0,013963	0,000390	0,997837
Midilli ve ark.	1,5	0,007731	0,000067	0,999121	0,007650	0,000069	0,999151	0,009593	0,000111	0,998701	0,010473	0,000150	0,998684
	2,5	0,007328	0,000062	0,999188	0,008348	0,000085	0,999038	0,009010	0,000111	0,999014	0,010800	0,000175	0,998706

Tablo 4. 6 mm Kalınlıkta 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
$ANO = a \exp(-k t^n) + b t$								
45	1,5	0,992272	0,973891	0,948893	-0,002707	0,009144	0,000105	0,998886
	2,5	0,994339	1,355679	1,023283	-0,003939	0,011812	0,000186	0,998300
55	1,5	0,995430	2,037778	1,115660	0,002209	0,010199	0,000146	0,998805
	2,5	0,997451	2,633216	1,109322	0,002134	0,009165	0,000132	0,999099
65	1,5	0,994556	1,212542	0,995806	-0,002873	0,010873	0,000166	0,998575
	2,5	0,997306	2,0559	1,052782	-0,000950	0,012899	0,000333	0,998493
75	1,5	0,997845	2,611745	1,101081	-0,007994	0,008731	0,000114	0,999123
	2,5	0,998681	3,217632	1,138076	-0,004168	0,010150	0,000240	0,999121

Tablo 5. 9 mm Kalınlıkta Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.

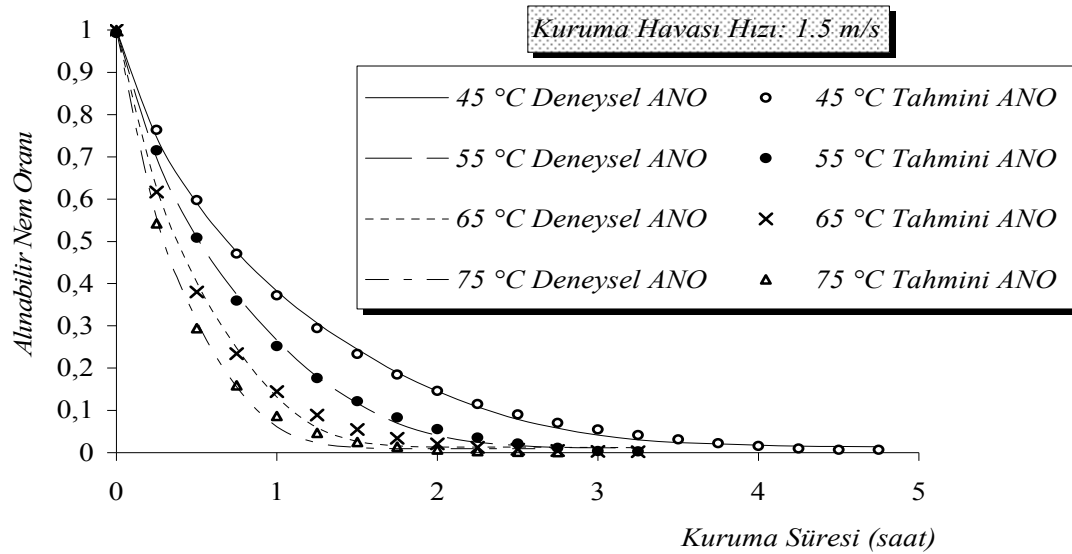
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	a	k	n	b	RMSE	χ^2	EF
$ANO = a \exp(-k t^n) + b t$								
45	1,5	0,980650	0,480940	0,896809	-0,004272	0,007731	0,000067	0,999121
	2,5	0,992643	0,703065	0,870422	-0,004877	0,007328	0,000062	0,999188
55	1,5	0,990396	1,057085	1,007732	-0,000767	0,007650	0,000069	0,999151
	2,5	0,994149	1,455734	1,013459	-0,003343	0,008348	0,000085	0,999038
65	1,5	0,994531	0,581204	0,787992	-0,008849	0,009593	0,000111	0,998701
	2,5	0,993510	0,814017	0,869024	-0,006938	0,009010	0,000111	0,999014
75	1,5	0,995229	1,274572	0,945106	-0,005891	0,010473	0,000150	0,998684
	2,5	0,996100	1,527169	0,971726	-0,008079	0,010800	0,000175	0,998706

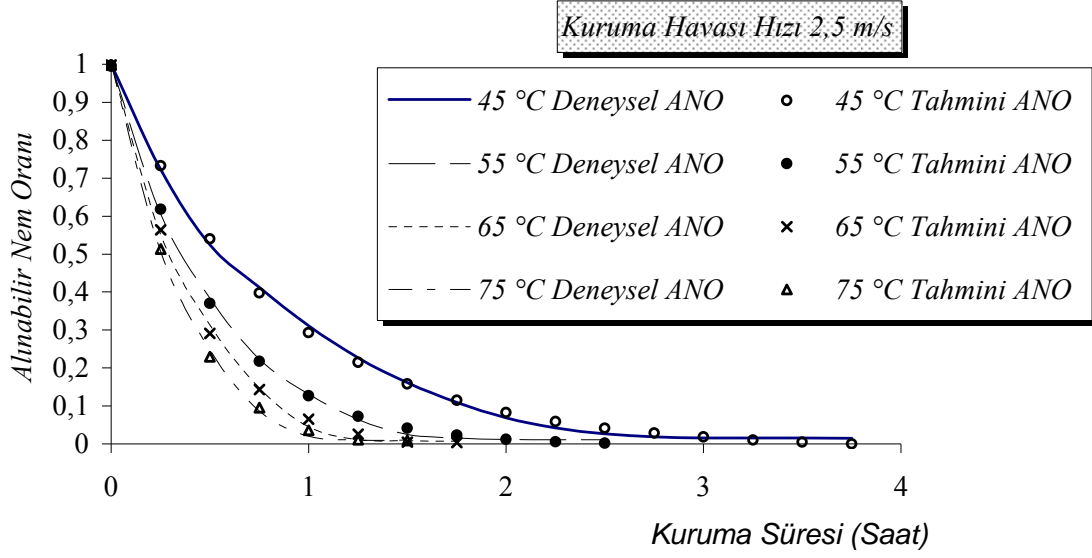
Tablo 6. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayı-lara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm ön İşlem için)

ANO=[0.7889+0.050ln(T)][exp{(11.0023+3.1720ln(T))t ^[1.0204.exp(1.0580/T)] }]+[0.0005exp(0.0877/V)]t				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,026596	0,000884	0,990574
	2.5	0,031400	0,001315	0,987986
55	1.5	0,046408	0,003015	0,975252
	2.5	0,040236	0,002544	0,982642
65	1.5	0,027193	0,001035	0,991087
	2.5	0,036972	0,002734	0,987622
75	1.5	0,016113	0,000389	0,997013
	2.5	0,031149	0,002264	0,991718

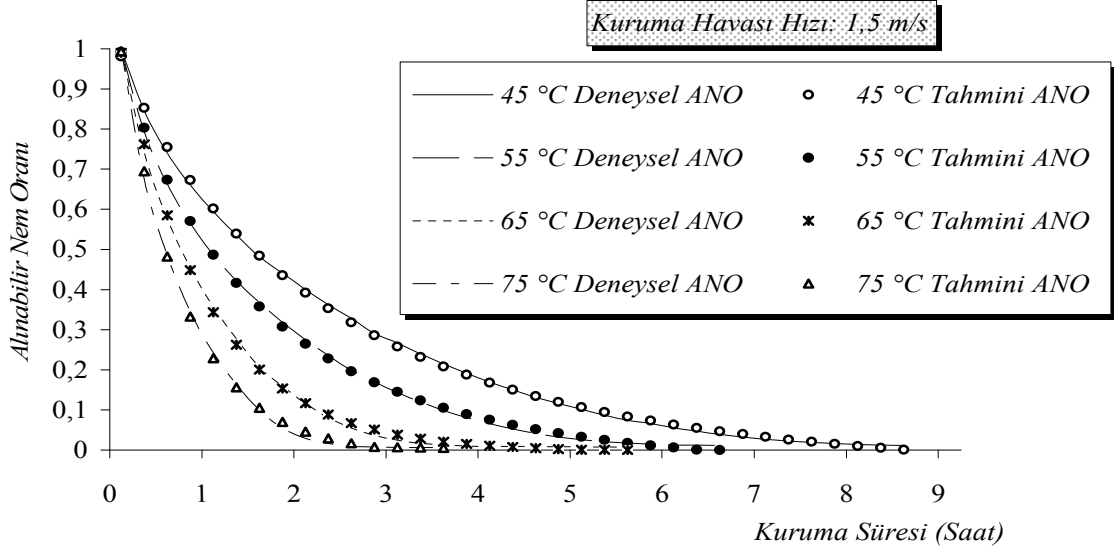
Tablo 7. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayı-lara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm Ön İşlem için)

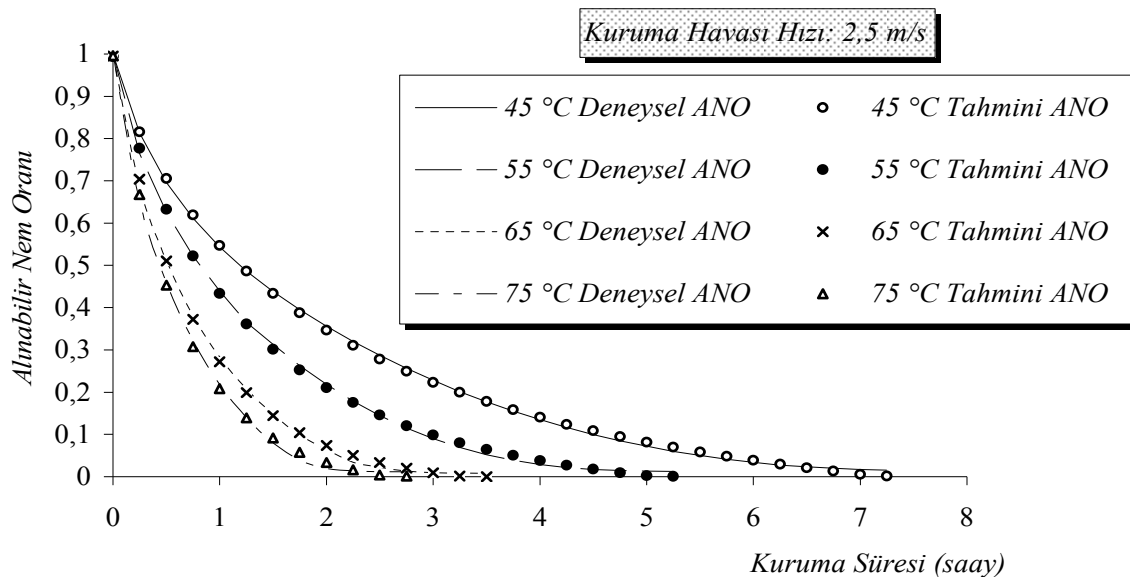
ANO=[0.9853+0.0264ln(T)][exp{-(0.7517+0.2964ln(T))t ^[0.6899.exp(0.3403/T)] }]+[0.0025exp(0.1738/V)]t				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,012265	0,000155	0,997787
	2.5	0,026331	0,000717	0,989509
55	1.5	0,045534	0,002153	0,969902
	2.5	0,011978	0,000150	0,998020
65	1.5	0,019812	0,000410	0,994457
	2.5	0,036694	0,001443	0,983653
75	1.5	0,022800	0,000557	0,993764
	2.5	0,035434	0,001370	0,986070





Şekil 2. 6 mm dilim kalınlığındaki patlıcan örnekleri için farklı deneme koşullarında elde edilen ayrılabilir nem oranı ve model ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.





Şekil3. 9 mm dilim kalınlığındaki patlıcan örnekleri için farklı deneme koşullarında elde edilen ayrılabilir nem oranı ve model ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.

SONUÇ

Çalışma sonuçlarına göre kurutma hava sıcaklığı, hızı ve kurutma öncesi uygulanan ön işlemin patlıcanın kuruması üzerine önemli bir etkisi vardır. Ürünün nem içeriğindeki değişimin belirlenmesinde kullanılacak olan Midilli ve ark. modeli yüksek bir modelleme yeterliliğine sahiptir, dolayısıyla bu model ile deneysel değerlere çok yakın sonuçların elde edilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- Ayensu, A., 1997. Dehydration of Food Crops Using a Solar Dryer With Convective Heat Flow. *Solar Energy*,59(4-6):121-126
- Bengtston, G.;M.S., Rahman; R.Stanley and C.O., Perera., 1998.Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings.New Zeland Inst.of Food Science and Technology and The Nutrition Society of New Zeland Conference, Nelson.
- Ertekin,C., Yıldız,O.,2001.Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması.Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı;399-403.Şanlıurfa.
- Karathanos, V.T., 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*,39:337-344.
- 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
- Kassem, A.S., 1998.Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat.13th Int. Int. Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Morocco.
- 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.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., 1996. Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal Food Engineering*, 29:75-97.
- Midilli,A., Küçük,H., Yapar,Z., 2002.A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technology*,20(7),1503-1513.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, B.L., Sarsavadia, P.N., 1999. Effect of Various Dipping Pretreatments on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes. *Journal Food Engineering*, 39:211-216
- Paulsen, M.R., Thompson, T.L, 1973. Drying Endusus of Grain Sorghum. *Transaction of the ASAE*, 16:537-540.
- 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
- Sharaf-Eldeen, Y.I, Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y., 1980. A Model for Ear Corn Drying *Transaction of the ASAE*, 23:1261-1271.
- 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. Transaction of the ASAE; 28:296-301.
- Yaldız, O., C. Ertekin, H.İ. Uzun. 2000. Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisi ile Kurutulmasının Matematiksel Modellenmesi Üzerinde Bir Araştırma. 19. Ulusal Tarımsal Mekani-zasyon Kongresi Bildiri Kitabı, 345-350, Erzurum.
- Yaldız, O., C. Ertekin, 2001. Thin Layer solar Drying of Some Different Vegetables. Dry. Tech., Vol.19, No.3, pp.583-596.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekni-ği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir.
- 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.
- 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.