

## Kırmızı Şili Biberinin Vakumla Kurutma Karakteristikleri

İlknur ALİBAŞ\*

\* Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa  
e-posta: ialibas@uludag.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 22.03.2011

Accepted (Kabul Tarihi): 17.05.2011

**Özet:** İlk nem içeriği 6.10 - 6.14 kg[H<sub>2</sub>O].kg-1[DM] olan kırmızı şili biberleri (*Capsicum frutescens* L.) nem seviyesi 0.15 - 0.17 kg[H<sub>2</sub>O].kg-1[DM] oluncaya dek vakumla kurutulmuştur. Çalışmada 50 ve 75°C sıcaklık seviyelerinde 0.05, 7 ve 13 kPa vakum uygulaması gerçekleştirilerek altı farklı kurutma deseni oluşturulmuştur. Vakumla kurutma kombinasyonlarındaki enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Enerji tüketim değerleri arasındaki fark %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kurutulmuş ve taze ürün renk parametreleri (L, a, b, C, α°) karşılaştırılmış ve renk parametreleri de %1 düzeyinde önemli olarak saptanmıştır. Yarı deneysel Page eşitliğine göre oluşturulan kurutma modelinden elde edilen tahmin sonuçları ile ölçülen sonuçlar arasındaki regresyon katsayılarını belirlenmiştir. Vakumla kurutma işlemlerinde kurutma süresi, enerji tüketimi ve renk parametreleri açısından en iyi vakum kurutma yöntemi 75°C sıcaklıkta 0.05 kPa vakum uygulaması ile gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji tüketimi, kurutma, renk, şili biberi, vakum.

### Vacuum Drying Characteristics of Red Chili Pepper

**Abstract:** Red hot chili peppers (*Capsicum frutescens* L.) with an initial moisture content of 6.10 - 6.14 kg[H<sub>2</sub>O].kg-1[DM] were dried until the moisture level decreases down to 0.15 - 0.17 kg[H<sub>2</sub>O].kg-1[DM] using vacuum drying. This study was conducted at 50 and 75 °C and 0.05, 7 ve 13 kPa vacuum levels totaling 6 different drying designs. Energy consumption and drying period were significant for each temperature and vacuum combination at 0.01 level. Colour parameters (L, a, b, C, α°) of dried and fresh products were compared and colour parameters significantly differed at p≤ 0.01. Regression coefficients between predicted values, which obtained from drying model based on semi-empirical Page equation, and measured values were determined. The most effective vacuum drying method in terms of drying period, energy consumption and colour parameters was the one conducted at 75°C and 0.05 kPa vacuum.

**Key words:** Energy consumption, drying, colour, chili pepper, vacuum.

### GİRİŞ

Bütün dünyada yaygın olarak yetiştirilen ve kullanılan şili biberi (*Capsicum frutescens* L.) en önemli baharatlardan birisidir. Biber için en önemli kalite parametreleri tat, renk ve acılık oranı (scoville) dır (Schweiggert *et al.*, 2006). Acı ve tatlı baharatlar, pimiento, paprika ve şili gibi biber türlerinin kurutulması ve toz haline getirilmesiyle elde edilirler. Kırmızı renkteki biberlerin kurutma amaçlı kullanımı elde edilen kuru ürünün renk kalitesinin daha iyi olmasını sağlamaktadır (Krajayklang *et al.*, 2000). Biber bünyesinde bol miktarda Vitamin A ve Vitamin C

(askorbik asit) bulundurmaktadır. Ayrıca iyi bir antioksidan maddedir (Doymaz and Pala, 2001).

Kurutma, ürünün içerdiği nemin belli bir sınır değere dek, buharlaştırılarak üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutma yapılarak materyal içerisindeki mikroorganizma, enzim ya da ferment faaliyetleri durdurulduğundan dolayı ürünün bozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmesi sağlanır (Alibas, 2006).

Gıda maddelerinin kurutulmasında en yaygın olarak kullanılan yöntem sıcak havayla kurutma

yöntemidir. Ancak bu yöntemin kurutma süresinin ve enerji tüketiminin yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Maskan, 2001). Sıcak havayla kurutma, kuruma süresinin uzun olması, kuru ürünün tat, renk ve besin içeriğinin kurutma sırasında bozulması, rehidrasyon (yeniden su çekme) yeteneğinin azalması (Bouraout *et al.*, 1994; Yongsawatdigul and Gunesekearan, 1996; Feng and Tang, 1998; Lin *et al.*, 1998; Drouzas *et al.*, 1999; Maskan, 2001; Sharma and Prasad, 2001), materyalin bünyesinde bulunan eriyiklerin homojenliğinin bozulması (Bouraout *et al.*, 1994; Yongsawatdigul and Gunesekearan, 1996; Feng and Tang, 1998; Maskan, 2000; Maskan, 2001) gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi açısından özellikle ısıya duyarlı ürünlerin kurutulmasında son yıllarda vakumla kurutma yöntemi yaygın hale gelmiştir (Methakhup *et al.*, 2005). Vakumla kurutma sırasında vakumlama etkisi arttıkça kuru ürünün kalite özellikleri (tat, aroma, koku ve su çekme kapasitesi) artmaktadır (Droudaz and Schubert, 1996). Vakumla kurutma sıcak havayla kurutmaya göre, kuruma süresinde ve enerji tüketiminde önemli ölçüde azalma sağlamaktadır (Montgomery *et al.*, 1998). Ancak vakumla kurutma yöntemin ilk yatırım masrafları sıcak havayla kurutma yöntemine göre yüksektir (Tsami *et al.*, 1998).

Vakumla kurutma ile mango (Jaya ve Das, 2004), Hindistan bekaşi üzümü (Methakhup *et al.*, 2005), ısırgan yaprakları (Alibas, 2007), küp şeklinde doğranmış patates (Boundaruk *et al.*, 2007), patlıcan (Wu *et al.*, 2007) gibi bir çok tarımsal ürünün kurutulması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı kırmızı şili biberinin vakumla kurutulması sırasında, kurutma süresi, enerji tüketimi ve renk parametreleri açısından taze ürüne en yakın sonuçları veren vakumla kurutma seviyesini saptamak ve Page eşitliğine göre oluşturulan kurutma modelinden elde edilen tahmin sonuçları ile ölçülen sonuçlar arasındaki regresyon katsayılarını belirlemektir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Yerel bir marketten alınan taze şili (*Capsicum frutescens* L.) biberleri kurutma işlemleri esnasında kütlesi 50 ( $\pm 0.02$ ) g olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma öncesinde şili biberleri 4 ( $\pm 0.5$ )°C sıcaklıktaki kontrollü atmosfer odasında muhafaza edilmişlerdir.

Kurutma öncesinde ürünler boylamasına bir şekilde ikiye bölünerek kurutma kabineye konulmuştur.

Kurutma öncesinde materyaller renk kaybının en aza indirilmesi amacıyla 30 s boyunca 100°C'lik sıcak buhar (Raks Buharım, Manisa, Türkiye) uygulamasına tabi tutulmuşlardır (Alibas, 2006).

### Yöntem

Vakum kurutma işlemleri teknik özellikleri 220 V~, 50 Hz, 3.5 A ve 800 W olan laboratuvar tipi vakum fırını (Nuve EV 0180, Türkiye) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Vakum fırınının en yüksek sıcaklığı 250°C ve ayar hassasiyeti 1°C dir. Kurutucun kurutma alanı ölçüleri 300 x 200 x 250 mm dir. Vakum fırınının üzerinde mmHg cinsinden vakumu ölçen fırının üzerine yerleşik analog bir vakummetre bulunmaktadır. Ayrıca kurutma işlemleri boyunca vakum hattına vakumu kPa cinsinden ölçebilen analog bir vakummetre de bağlanmıştır. Kurutma süresi ölçümleri fırının üzerinde bulunan programlanabilir bir dijital saat yardımıyla her 10 dakikada bir yapılmıştır. Çalışmada 50°C ve 75°C sıcaklık dereceleri ile 0.05, 7 ve 13 kPa vakum seviyeleri kullanılarak altı farklı vakum kurutma kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma şartları 220/240 V~, 50/60 Hz ve 5.1/4.8 A olan laboratuvar tipi yağlı vakum pompası (Carpanelli MMDE80B4, İtalya) kullanılmıştır.

Çalışma 3 tekrürde gerçekleştirilmiştir. Tüm vakum kombinasyonlarına ait kurutma parametreleri 3 tekrürün ortalaması alınarak belirlenmiştir. Kurutma işlemleri boyunca yapılan kütle ölçümleri her 10 dakikada bir yapılmış ve tartım işlemleri hassasiyeti 0.01 g olan dijital bir tartı aleti (Sartorius EX 2000A, Germany) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Alibas, 2007). Enerji tüketim değerleri 0.01 hassasiyetli dijital bir elektrik sayacı (Kaan, Type 101, Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür.

Çalışmada yarı deneysel Page denklemi kullanılarak şili biberinin ince tabaka kurutma modeli tanımlanmıştır (Soysal, 2004; Alibas, 2006).

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-kt^n) \quad (1)$$

Burada;  $MR$ : materyaldeki nem oranı,  $X$ : herhangi bir anda ölçülen nem içeriği ( $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}].\text{kg}^{-1}[\text{DM}]$ ),  $X_0$ : ürünün ilk nem içeriği ( $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}].\text{kg}^{-1}[\text{DM}]$ ),  $X_e$ : denge nem içeriği ( $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}].\text{kg}^{-1}[\text{DM}]$ ),  $k$ : kurutma sabiti ( $\text{min}^{-1}$ ),  $t$ : kurutma süresi (min),  $n$ : boyut sabitidir.  $X_e = 0$  olarak kabul edilmiştir (Drouzas *et al.*, 1999).

Renk ölçümleri Minolta CR 300 (Konica-Minolta, Osaka, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılarak üç

tekerrürde gerçekleştirilmiştir. Cihazın kalibrasyonu standart beyaz plaka kullanılarak gerçekleştirildikten sonra renk okumaları alınmıştır.

Cihazın gösterdiği L değeri rengin parlaklığını vermektedir. Bu değer renk beyaz ise 0'ı siyah ise 100'ü göstermektedir. Cihazda okunan a değeri ise rengin kırmızılık ya da yeşillik değerini vermektedir. Renk kırmızılığa kaydığında cihazda pozitif değerler yeşilliğe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır. Bir başka deyişle cihaz tam kırmızıda +50, tam yeşilde ise -50 değerini göstermektedir. Cihazda okunan b değeri ise rengin sarılık ya da mavilik oranını vermektedir. Renk sarılığa kaydığında cihazda pozitif değerler maviliğe kaydığında ise negatif değerler okunmaktadır. Başka bir anlatımla cihaz tam sarı renkte +50, tam mavi renkte ise -50 değerini göstermektedir. Rengin kroması C ile renk açısı ise  $\alpha$  ile gösterilmektedir. C ve  $\alpha$  değerleri L, a ve b değerlerinden yararlanılarak hesaplamalarla aşağıdaki şekilde bulunmuştur (Alibas, 2006) (2) (3).

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(b/a) \quad (3)$$

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Elde edilen verilerin ortalamaları ve diğer istatistik değerleri MINITAB 13 aracılığıyla saptanmış ve sonuçlar LSD testine ( $P < 0.01$ ) göre MSTATC istatistik programı kullanılarak harflendirilmiştir.

Materyaldeki nem oranı (MR) değerleri doğrusal olmayan regresyon analizi yapan NLREG (NLREG 6.3) programına Formül 1 kullanılarak girilmiştir. Böylece ölçülen değerlerden yola çıkılarak istatistik programının tahmin ettiği MR değerleri saptanmıştır. Nonlineer regresyon analizinin sonuçları n ve k katsayıları ile tahminin standart hatasını (SEE) ve regresyon modeli belirtme katsayısını ( $R^2$ ) vermektedir. Tüm istatistik analizlerinin  $R^2$  değerleri 0.99-1.00 arasında bulunmuştur.

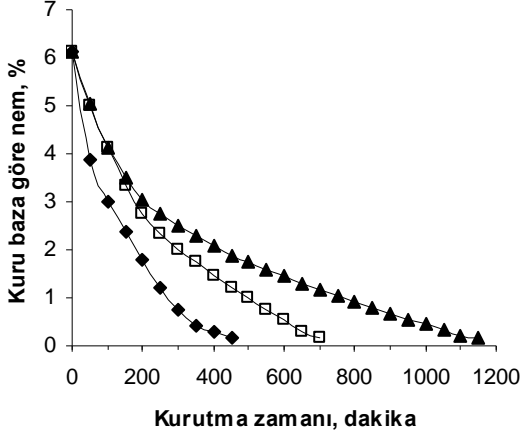
## ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### Kurutma Eğrileri

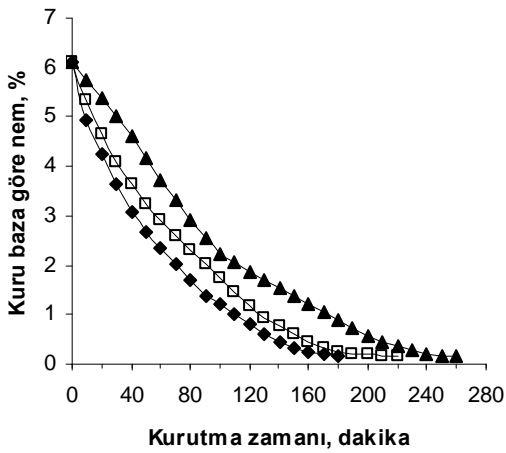
Vakumla kurutma işlemlerinin nem içeriği 6.10 – 6.14  $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}].\text{kg}^{-1}[\text{DM}]$  [85.95 ( $\pm 0.10$ )yb] nem seviyesinden 0.15 – 0.17  $\text{kg}[\text{H}_2\text{O}].\text{kg}^{-1}[\text{DM}]$  [13.23 ( $\pm 0.52$ )yb] oluncaya dek kurutma işlemlerine devam edilmiştir. Şekil 1'de 50°C sıcaklık, Şekil 2'de ise 75°C sıcaklık kullanılarak gerçekleştirilen vakumla kurutma

kombinasyonları verilmiştir. Şekil 1 ve 2'ye göre vakum etkisi arttıkça kurutma süresinde %1 önem seviyesinde azalma meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar farklı araştırmacıların çalışmalarında da saptanmıştır. Per and Rodier (2002) yılında yapmış oldukları çalışmada gözenekli gıdaları 1.1 ve 7 kPa olmak üzere iki farklı vakum seviyesi kullanarak kurutmuşlardır. 1.1 kPa lık vakum düzeyinde yapılan kurutma işleminde kurutma zamanının 7 kPa düzeyinde yapılan kurutma işlemine göre önemli ölçüde azaldığını saptamışlardır. Jaya and Das (2003) mango pulbunu 30 ve 50 mmHg basınç seviyelerinde 65,70 ve 75°C sıcaklıkta kurutmuşlardır. 30 mmHg basınç seviyesinde yapılan kurutma işlemlerinin 50 mmHg seviyesinde yapılan kurutma işlemlerine göre daha kısa olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sıcaklık artışıyla kurutma süresinin azaldığını saptamışlardır. Devahastin et al. (2004), küp şeklinde doğranmış havucu, 7-10 kPa'lık vakum ve 60-80°C'lik sıcaklık değerlerini kullanarak, vakumla kurutma yöntemiyle kurutmaya çalışmıştır. Bu çalışmada en kısa sürede gerçekleştirilen kurutma kombinasyonu 80°C sıcaklık ve 7kPa vakum kombinasyonunda elde edilmiştir. Cui et al. (2004) yaptıkları çalışmada havuç dilimlerini 30, 51 ve 71 mbar olmak üzere üç farklı vakum seviyesi kullanarak kurutmuşlardır. Vakum seviyesinin artırılması ile kuruma zamanında azalma olduğunu saptamışlardır. Ayrıca yüksek vakum seviyelerinde düşük vakum seviyelerine göre daha fazla buharlaşma olduğunu belirlemişlerdir. Methakhup *et al.* (2005) Hindistan Bektaşi üzümünü 7, 10 ve 13 kPa vakum değerlerini, 65 ve 75°C'lik sıcaklıklarla kombine ederek kurutmuşlardır. Basıncın azaltılmasının kurutma zamanını azalttığını saptamıştır. Ayrıca renk ve askorbik asit içeriği açısından taze ürüne en yakın kurutma yöntemini 75°C sıcaklıkta yapılan 7 kPa lık basınç seviyesinde saptamıştır. Alibas (2007) ısırgan yapraklarını 50 ve 75 °C sıcaklıkta 20 ve 50 mmHg basınçlarda kurutmuştur. 20 mmHg lık vakum düzeyinde yapılan kurutma süresinin 50 mmHg ya göre daha kısa olduğunu saptamıştır. Ayrıca sıcaklığın artırılmasının kurutma süresini önemli ölçüde azalttığını belirlemiştir. Benzer şekilde Elustondo *et al.* (2001) çalışmasında, gıda maddelerinin vakum etkisi altında kurutulmasında 10-20 kPa'lık vakum, 60-90°C'lik sıcaklık değerlerinin kombinasyonu kullanılmıştır. Bu çalışmada da en hızlı kurutma süresi

10 kPa vakum ve 90°C sıcaklık kombinasyonunda elde edilmiştir.



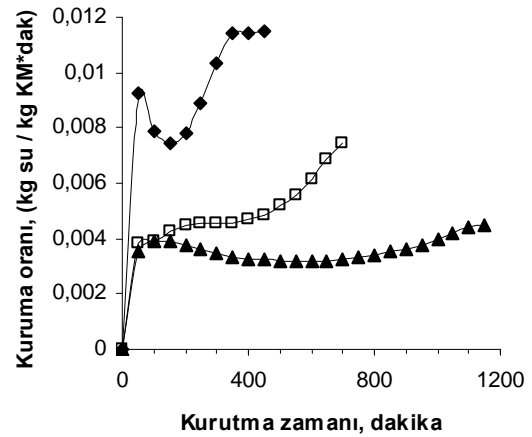
**Şekil 1.** 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilen vakumla kurutma kombinasyonlarına ilişkin zamana bağlı nem içeriği (%k.b.); ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)



**Şekil 2.** 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilen vakumla kurutma kombinasyonlarına ilişkin zamana bağlı nem içeriği (%k.b.); ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)

Aynı vakum düzeyinde sıcaklığın artırılması kurutma süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Basınç 0.05 kPa iken, sıcaklığın 50°C'den 75°C'ye artırılması kurutma süresi 2.5 kat oranında azalmıştır. Benzer sonuçlar farklı araştırmacıların çalışmalarında da saptanmıştır. Kooli *et al.* (2007) kırmızı biberi 32, 42 ve 49°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kurutmuşlar.

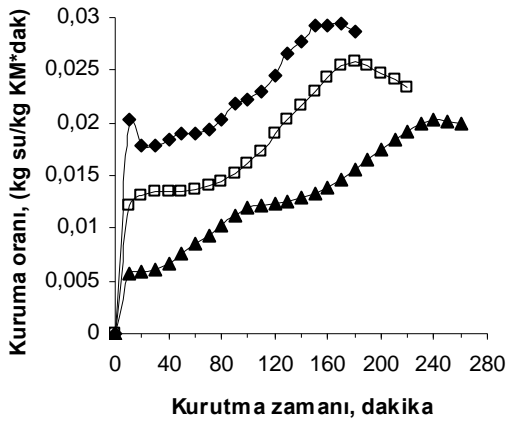
Sıcaklığın artmasıyla kuruma süresinin azaldığını saptamışlardır. Vega *et al.* (2007) kırmızı biberi 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıkta kurutmuşlar, sıcaklık artışının kurutma süresini azalttığını belirlemişlerdir. Vengaiyah and Pandey (2007) tatlı biberi 40, 45, 50, 55, 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarda kurutmuş, sıcaklık arttıkça kurutma süresinde önemli ölçüde bir azalma olduğunu saptamıştır. Krokida *et al.* (2003) yeşil, sarı ve kırmızı biberi 65, 75 ve 85°C sıcaklıklarda kurutmuş ve sıcaklık artışının kurutma süresini azaltıcı rol oynadığını tespit etmiştir. Akpınar *et al.* (2003) kırmızı biberi 55, 60 ve 70°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta kurutmuş, sıcaklık artışının kurutma süresini azaltıcı olduğunu saptamıştır. Doymaz ve Pala (2002) kırmızı biberi 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutmuş, kurutma sıcaklığının artırılmasının kurutma süresini azalttığını belirlemiştir.



**Şekil 3.** 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilen vakum kurutma kombinasyonlarına ilişkin zamana bağlı kuruma oranı eğrileri; ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)

Çalışmada kullanılan sıcaklık-vakum kombinasyonları içinde en hızlı sürede kurutma işlemi 75°C sıcaklık ve 0.05 kPa vakum kombinasyonunda gerçekleştirilmiştir. Bu seviyede yapılan kurutma işleminin süresi kombinasyonlar içinde en uzun sürede kurutmanın sağlandığı 50°C sıcaklık ve 13 kPa vakum kombinasyonuna göre 6.38 kat daha hızlıdır. Kuruma oranı değerleri 50 ve 75°C sıcaklık seviyelerinde 0.05 kPa değerinde en yüksek, 13 kPa değerinde ise en

düşük düzeyde bulunmuştur. Şekil 3'de 50°C'de, Şekil 4'de ise 75°C'de gerçekleştirilen vakumla kurutma kombinasyonlarına ait kuruma oranları verilmiştir. Benzer şekilde, Methakhup *et al.* (2005), Hindistan bektaşı üzümünü 65 ile 75 °C'lik sıcaklık ve 7, 10 ve 13 kPa'lık basınç değerlerini kullanarak kurutmaya çalışmışlardır. Çalışmada en yüksek kurutma hızı 13 kPa vakum değeri ile 75°C sıcaklık kombinasyonunda elde edilmiştir.



**Şekil 4. 75°C sıcaklıkta gerçekleştirilen vakum kurutma kombinasyonlarına ilişkin zamana bağlı kuruma oranı eğrileri; ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)**

#### Enerji Tüketimi

Vakumla kurutma kombinasyonlarında ölçülen enerji tüketimi değerleri ile kurutma süreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 1'e göre en yüksek enerji tüketimi en düşük sıcaklık ve en düşük vakum uygulaması olan 50°C sıcaklık ve 13 kPa vakum kombinasyonunda 3.54 kWh değeri ile elde edilmiştir. En düşük enerji tüketimi ise benzer şekilde en yüksek sıcaklık ve en yüksek vakum uygulaması olan 75°C sıcaklık ve 0.05 kPa vakum kombinasyonunda 0.64 kWh değeri ile elde edilmiştir. Benzer olarak Methakhup *et al.* (2005), Hindistan bektaşı üzümünü 65 ile 75 °C'lik sıcaklık ve 7, 10 ve 13 kPa'lık basınç değerlerini kullanarak kurutmaya çalışmış ve kurutma sırasında oluşan enerji tüketimi koşulları açısından en uygun çalışma koşullarını 75°C'lik sıcaklık ve 7 kPa'lık basınç değeri olarak belirlemiştir. Alibas (2007) çalışmasında ise ısırgan yapraklarını 50 ve 75 °C sıcaklık ve 20 ve 50 mmHg vakum kombinasyonunda

kurutmuş ve en düşük enerji tüketimini 75°C sıcaklık ve 20 mmHg vakum, en yüksek enerji tüketimini ise 50°C sıcaklık ve 50 mmHg vakum kombinasyonunda elde etmiştir.

**Çizelge 1. Enerji tüketimi ve kurutma süreleri**

Kurutma Yöntemi	Enerji Tüketimi (kWh)**	Kurutma süresi (dak)**
50 °C– 0.05 kPa	1.41 <sup>d</sup> (±0.0231)	450.00 <sup>d</sup> (±5.77)
50 °C– 7 kPa	2.13 <sup>e</sup> (±0.0115)	700.00 <sup>e</sup> (±5.77)
50 °C– 13 kPa	3.54 <sup>f</sup> (±0.0346)	1150.00 <sup>f</sup> (11.50)
75 °C– 0.05 kPa	0.64 <sup>a</sup> (±0.0173)	180.00 <sup>a</sup> (±5.77)
75 °C– 7 kPa	0.74 <sup>b</sup> (±0.0115)	220.00 <sup>b</sup> (±8.66)
75 °C– 13 kPa	0.90 <sup>c</sup> (±0.0231)	260.00 <sup>c</sup> (±8.66)

\*\* P≤0.01 Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark dikkate alınmıştır.

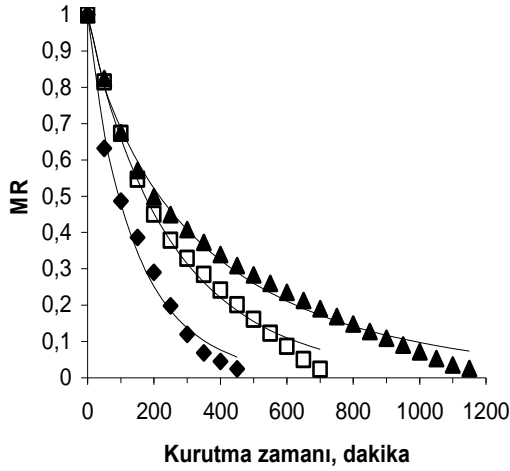
#### Kurutma Verilerinin Modellenmesi

DeneySEL olarak elde edilen verilerden yola çıkılarak hesaplanan  $MR$  (materyaldeki nem oranı) değeri ile Page eşitliği aracılığıyla oluşturulan istatistiksel modelden elde edilen  $MR_t$  (materyalin model aracılığıyla tahmin edilen nemi) değerleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Tahmin modeli ile bulunan " $k$ " ve " $n$ " değerleri, tahminin standart hatası ( $SEE$ ) ve regresyon modeli belirtme katsayısı ( $R^2$ ) Çizelge 2'de verilmiştir. Tüm vakumla kurutma işlemlerinden elde edilen  $R^2$  değerleri içinde en yüksek değer 75°C sıcaklık ve 13 kPa vakum kombinasyonunda 0.9980 değeri ile elde edilmiştir. Regresyon modeli belirtme katsayısı ( $R^2$ ) en düşük olan kurutma kombinasyonu ise 50°C sıcaklık ve 0.05 kPa vakum seviyesinde 0.9902 değeri ile elde edilmiştir.

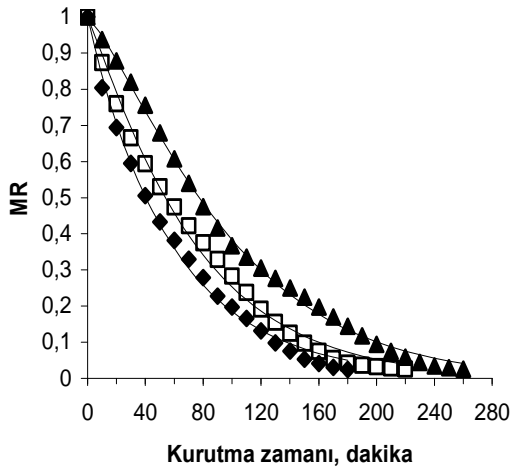
**Çizelge2. Page eşitliğine ilişkin model katsayıları ve istatistiksel hata parametreleri.  $k$ : kurutma sabiti ( $\text{min}^{-1}$ ),  $t$ : kurutma süresi (min),  $n$ : boyut sabiti,  $SH$ ; tahminin standart hatası,  $R^2$ ; regresyon belirtme katsayısı.**

Kurutma Yöntemi	$k$ (öd)	$n$ **	$SH(\square)^{(\text{öd})}$	$R^2(\text{öd})$
50 °C– 0.05 kPa	0.01153	0.9028	0.03091	0.9902
50 °C– 7 kPa	0.00573	0.9306	0.02260	0.9940
50 °C– 13 kPa	0.00971	0.7935	0.02284	0.9920
75 °C– 0.05 kPa	0.01849	0.9801	0.01953	0.9954
75 °C– 7 kPa	0.00862	1.1010	0.02298	0.9940
75 °C– 13 kPa	0.00293	1.2571	0.02226	0.9980

\*\* P≤0.01 önemli, öd önemli değil  
Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark dikkate alınmıştır.



**Şekil 5.** 50°C'de gerçekleştirilen vakum kurutma kombinasyonlarına ilişkin nem oranı eğrileri. [Deneysel olarak elde edilen verilerden yola çıkılarak hesaplanan *MR* (materyaldeki nem oranı) değeri ile Page eşitliği aracılığıyla oluşturulan istatistiksel modelden elde edilen *MR<sub>t</sub>* (materyalin model aracılığıyla tahmin edilen nemi) değerleri]; ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)



**Şekil 6.** 75°C'de gerçekleştirilen vakum kurutma kombinasyonlarına ilişkin nem oranı eğrileri. [Deneysel olarak elde edilen verilerden yola çıkılarak hesaplanan *MR* (materyaldeki nem oranı) değeri ile Page eşitliği aracılığıyla oluşturulan istatistiksel modelden elde edilen *MR<sub>t</sub>* (materyalin model aracılığıyla tahmin edilen nemi) değerleri]; ♦; 0.05 kPa, □; 7 kPa, ▲; 13 kPa (m = 50 g)

### Renk Parametreleri

Taze ürün ile vakum kombinasyonlarında kurutulmuş şili biberlerinin L, a, b, C ve a° renk değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'e göre taze ürüne en yakın renk değerleri 75°C sıcaklık ve 0.05 kPa vakum kombinasyonunda elde edilmiştir. En kötü

renk değerleri ise en düşük sıcaklık uygulaması ile en düşük vakum uygulaması olan 50°C sıcaklık ve 13 kPa vakum kombinasyonunda bulunmuştur. Buna göre sıcaklık seviyesinin ve vakumlama etkisinin artırılması sonucunda taze ürüne en yakın renk değerleri ölçülmüştür. Benzer olarak Methakhup *et al.* (2005), Hindistan bektası üzümünü 65 ile 75 °C'lik sıcaklık ve 7, 10 ve 13 kPa'lık vakum değerlerini kullanarak kurutmaya çalışmış ve kuru ürünlerdeki renk değişimi açısından en uygun yöntemi 75°C'lik sıcaklık ve 7 kPa'lık vakum değeri olarak belirlemiştir. Alibas (2007) ise ısırgan yapraklarını 50 ve 75 °C sıcaklık ve 20 ve 50 mmHg vakum kombinasyonunda kurutmuş ve en iyi renk değerlerine 75°C sıcaklık ve 20 mmHg vakum, en kötü renk değerine ise 50°C sıcaklık ve 50 mmHg vakum kombinasyonunda ulaşmıştır.

**Çizelge 3.** yöntemlerinin ürün renk parametreleri üzerine etkisi; L, parlaklık (+100) / koyuluk (+0) koordinatları; a, kırmızılık (+50) / yeşillik (-50) koordinatları; b, sarılık (+50) / mavilik (-50) koordinatları; C, kroma, a°: renk tonu açısı

	Renk **				
	L	a	b	C	a°
Taze Ürün	40.63 <sup>a</sup> (±0.633)	41.54 <sup>a</sup> (±0.706)	27.78 <sup>a</sup> (±0.372)	49.98 <sup>a</sup> (±0.772)	33.78 <sup>a</sup> (±0.23)
50 °C 0.05 kPa	29.52 <sup>d</sup> (±0.381)	32.41 <sup>d</sup> (±0.299)	20.23 <sup>c</sup> (±0.139)	38.21 <sup>d</sup> (±0.243)	31.98 <sup>b</sup> (±0.33)
50 °C 7 kPa	27.37 <sup>e</sup> (±0.351)	31.54 <sup>de</sup> (±0.211)	19.64 <sup>cd</sup> (±0.304)	37.16 <sup>de</sup> (±0.113)	31.92 <sup>b</sup> (±0.54)
50 °C 13 kPa	26.42 <sup>e</sup> (±0.299)	30.48 <sup>e</sup> (±0.196)	18.86 <sup>d</sup> (±0.109)	35.84 <sup>e</sup> (±0.217)	31.74 <sup>b</sup> (±0.09)
75 °C 0.05 kPa	37.58 <sup>b</sup> (±0.251)	39.09 <sup>b</sup> (±0.050)	27.18 <sup>a</sup> (±0.107)	47.61 <sup>b</sup> (±0.102)	34.81 <sup>a</sup> (±0.07)
75 °C 7 kPa	35.36 <sup>c</sup> (±0.553)	37.03 <sup>c</sup> (±0.053)	23.53 <sup>b</sup> (±0.341)	43.87 <sup>c</sup> (±0.228)	32.43 <sup>b</sup> (±0.34)
75 °C 13 kPa	34.33 <sup>c</sup> (±0.348)	36.48 <sup>c</sup> (±0.250)	22.69 <sup>b</sup> (±0.273)	42.96 <sup>c</sup> (±0.355)	31.87 <sup>b</sup> (±0.14)

\*\* P<0.01 Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark dikkate alınmıştır.

### SONUÇ

Çalışmada 50 ve 75°C sıcaklık ve 0.05, 7 ve 13 kPa vakum kombinasyonlarında kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma süresi, enerji tüketimi ve renk parametreleri açısından en iyi sonuçlar en yüksek sıcaklık derecesi olan 75°C sıcaklık ve en yüksek vakum seviyesi olan 0.05 kPa vakum değerinin kombinasyonunda elde edilirken, en kötü sonuçlar ise en düşük sıcaklık seviyesi olan 50°C sıcaklık ile en düşük vakum seviyesi olan 13 kPa vakum kombinasyonunda elde edilmiştir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Alibas, I., 2006. Characteristics of Chard Leaves during Microwave, Convective, and Combined Microwave-Convective Drying. *Drying Technology* 24 (11): 1425-1435.
- Alibas, I., 2007. Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves during Microwave, Vacuum and Convective Drying. *Biosystems Engineering* 96 (4): 495-502.
- Bourarout, M., R. Richard, T. Durance, 1994. Microwave and Convective Drying of Potato Slices. *Journal of Food Process Engineering* 17: 353-363.
- Bondaruk J., M. Markowski, W. Błaszczak, 2007. Effect of Drying Conditions on the Quality of Vacuum-Microwave Dried Potato Cubes. *Journal of Food Engineering* 81 (2): 306-312.
- Devahastin, S., P. Suvarnakuta, S. Soponronnarit, A. S. Mujumdar, 2004. A Comparative Study of Low-pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of a Heat-sensitive Material. *Drying Technology* 22: 1845-1867.
- Doymaz, I., M. Pala, 2002. Hot Air Drying Characteristics of Red Pepper. *Journal of Food Engineering* 55: 331-335.
- Drouzas, A. E., H. Schubert, 1996. Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits. *Journal of Food Engineering* 28 (2): 203-209.
- Drouzas, A. E., E. Tsami, G. D. Saravacos, 1999. Microwave/vacuum Drying of Model Fruit Gels. *Journal of Food Engineering* 39 (2): 117-122.
- Elustondo D. M., M. P. Elustondo, M. Urbicain, 2002. Drying with Superheated Steam: Maximum Drying Rate as a Linear Function of Pressure. *Chemical Engineering Journal* 86, (1-2): 69-74.
- Feng, H., J. Tang, 1998. Microwave Finish Drying of Diced Apple Slices in a Spouted Bed. *Journal of Food Science* 63: 679-683.
- Jaya, S., H. Das, 2004. Effect of Maltodextrin, Glycerol Monostearate and Tricalcium Phosphate on Vacuum Dried Mango Powder Properties. *Journal of Food Engineering* 63 (2): 125-134.
- Krajayklang, M., A. Klieber, P.R. Dry, 2000. Colour at Harvest and Postharvest Behaviour Influence Paprika and Chilli Spice Quality. *Postharvest Biology and Technology* 20:269-278.
- Lin, T. M., T. D. Durance, C. H. Scaman, 1998. Characterization of Vacuum Microwave Air and Freeze Dried Carrot Slices. *Food Research International* 4: 111-117.
- Maskan, M., 2000. Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering* 44 (2):71-78.
- Maskan, M., 2001. Kinetics of Colour Change of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering* 48 (2): 169-175.
- Methakhup, S., N. Chiewchan, S. Devahastin, 2005. Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Kinetics and Quality of Indian Gooseberry Flake. *LWT - Food Science and Technology* 38 (6): 579-587.
- Montgomery, S. W., V. W. Goldschmidt, M. A. Franchek, 1998. Vacuum Assisted Drying of Hydrophilic Plates: Static Drying Experiments. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 41 (4-5): 735-744.
- Schweiggert, U., A. Schieber, R. Carle, 2006. Effects of Blanching and Storage on Capsaicinoid Stability and Peroxidase Activity of Hot Chili Peppers (*Capsicum frutescens* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 7:217-224.
- Sharma, G. P., S. Prasad, 2001. Drying of Garlic (*Allium sativum*) Cloves by Microwave-hot Air Combination. *Journal of Food Engineering* 50 (2): 99-105.
- Soysal, Y., 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering* 89, 167-173.
- Tsami, E., M. K. Krokida, A. E. Drouzas, 1998. Effect of Drying Method on the Sorption Characteristics of Model Fruit Powders. *Journal of Food Engineering* 38 (4): 381-392.
- Wu, L., T. Orikasa, Y. Ogawa, A. Tagawa, 2007. Vacuum Drying Characteristics of Eggplants. *Journal of Food Engineering* 83 (3): 422-429.
- Yongsawatdigul, J., S. Gunasekaran, 1996. Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part II, Quality Evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation* 20: 145-156.