

## SOĞAN DİLİMLERİNİN KURUTULMASI ESNASINDA RENK DEĞİŞİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

**Hande Demir\*, Seda Sezer, Özge Süfer**

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Karacaoğlan Yerleşkesi, Osmaniye, Türkiye

Geliş / *Received*: 16.06.2017; Kabul / *Accepted*: 05.11.2017; Online baskı / *Published online*: 21.11.2017

Demir, H, Sezer, S, Süfer, Ö. (2017). Soğan dilimlerinin kurutulması esnasında renk değişimine etki eden faktörlerin yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmesi, *GIDA* (2017) 42 (6): 731-742 doi: 10.15237/gida.GD17059

### ÖZ

Kurutulmuş soğan, gıda sanayiinde özellikle yemekçilik sektörü ile hazır çorba, soslar, salata ve marine edilmiş çeşitli gıdalarda kullanım potansiyeli olan bir gıda maddesidir. Bu nedenle kurutma koşullarını optimum hale getirmek (fiziksel ve kimyasal kayıpları en aza indirerek), ürün kalitesinin artırılabilmesinde önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, konveksiyonel, mikrodalga ve vakumlu fırında kurutulmuş soğan dilimlerinin, tüketici açısından en önemli kalite kriterlerinden biri olan renk üzerine, bazı bağımsız değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, her bir kurutma yöntemi için, yanıt değer olarak kabul edilen toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değeri üzerine, kurutma sıcaklığı/gücü ( $^{\circ}C$  veya  $W$ ), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığının (mm) etkisi tarama ve optimizasyon basamakları ile araştırılmıştır. Konveksiyonel, mikrodalga ve vakum altında kurutma için belirlenen optimum koşullarda soğan dilimlerinin toplam renk değişimi değerleri birbirine yakındır. Yapılan denemeler sonucunda tüm kurutma teknikleri için, soğan dilimlerinin toplam renk değişimini ( $\Delta E$ ) ifade eden birer polinomiyel model önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Soğan, kurutma, renk, optimizasyon

## DETERMINATION OF FACTORS AFFECTING TOTAL COLOR CHANGE OF ONION SLICES DURING DRYING USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

### ABSTRACT

Dried onion is a food material which has potential for using in instant soup, sauce, salad formulations, marinated foods as well as catering sector. Hence, it is important to optimize drying conditions (by reducing physical and chemical losses) for enhancing food quality. In this study, some independent parameters which affect color - one of the significant quality criteria with respect to consumers - of onion slices dried by conventional, microwave and vacuum techniques were investigated. For that purpose, the impacts of drying temperature/power ( $^{\circ}C$  or  $W$ ), saltiness (%) and thickness (mm) on total color change levels ( $\Delta E$ ) of onions as the response values were screened and optimized for each dehydration procedure. The total color change values obtained under the optimum conditions of conventional, microwave and vacuum drying have approximated. As a result of experiments, polynomial equations that defined the  $\Delta E$  of slices was suggested for each technique.

**Keywords:** Onion, drying, color, optimization

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ hande.genckal@gmail.com, ☎ (+90) 328 827 1000/3654 ☎ (+90) 328 827 1046

## GİRİŞ

Soğan (*Allium cepa*) Liliaceae familyasına ait, dünya çapındaki en önemli sebzelerden biri olmakla birlikte, içerdiği sülfürlü bileşiklerden dolayı kendine özgü tadı ve aroması ile bilinen bir bitkidir. Son yıllarda gıda endüstrisinde, kalite özellikleri yüksek olan kurutulmuş soğanlar tercih sebebi olmaktadır (Rao 1995; Sarsavadia vd., 1999). Kurutulmuş soğan; dilimlenmiş, toz haline getirilmiş ve pulcuk şeklinde pazarda yerini almakta ve et ve tavuk ürünleri ile çorbalarda, turşularda ve salata soslarında kullanılmaktadır (Adam vd., 2000; Süfer vd., 2017).

Gıdaları fiziksel olarak korumakta kullanılan en eski yöntem kurutmadır ve bu proseste gıda maddesinin nemi çeşitli yöntemlerle azaltılır (Moses vd., 2014). Taşınımla kurutmada, ısı ve kütle transferi eş zamanlı olarak gerçekleşir ve ortamdaki suyun uzaklaşması difüzyon yardımıyla olur (Sahin ve Dincer, 2005; Demiray ve Tulek, 2014). Ticari ölçekte, taşınımla kurutma soğan kurutmada en çok tercih edilen yöntemdir (Mitra vd., 2012), çünkü ekipman ve kurulum masrafları diğer yöntemlerden oldukça ucuzdur. Ancak buna karşılık, kurutma süresi bu teknikte daha uzundur, işletme ve enerji masrafları oldukça fazladır, aynı zamanda üründe kalite kayıpları da bir hayli çok olabilmektedir. Bu olumsuz yanların bazılarını azaltmak için, besin öğelerinin ve aroma bileşenlerinin gıda içinde tutulmasını sağlamak amacıyla vakum ile kurutmada faydalanılabilmektedir (Pap 1995; Are'valo-Pinedo ve Murr 2006; Mitra vd., 2011b). Mikrodalga kurutmada ise, sıcak hava ve vakum altında kurutmaya kıyasla çok daha yüksek kurutma hızlarına erişilmektedir (Reyes vd., 2007; Süfer vd., 2017).

Gıda işleme süreçlerinde verimin ve tüketici tarafından ürünün kabul edilebilirliğinin yüksek olması amacıyla optimizasyon çalışmaları, gıda mühendisliğinde 2000 yılından itibaren önemli bir yer bulmaktadır. Yanıt yüzey yöntemi olarak isimlendirilen bu istatistiksel teknikte, proses parametrelerine bağımsız değişkenler, yanıtlara (response) ise bağımlı değişkenler denilmektedir. Pastörizasyon, fırında pişirme, ekstrüzyon, püskürtmeli ve akışkan yatak kurutma koşullarının

optimizasyonu bu prosedürün kullanıldığı uygulamalardan sadece bir kaçıdır (Koç ve Ertekin, 2009).

Yapılmış olan bu çalışmayla, kurutulmuş soğanda en önemli duyuşal kriterlerden biri olan renk özelliği için; konvektif, mikrodalga ve vakum altında kurutma ile en düşük toplam renk değişimini veren optimum işlem koşullarının belirlenmesi ve soğan dilimlerinin bu 3 yöntemle kurutulmasının yanıt yüzey metodu kullanılarak renk açısından ilk kez karşılaştırılması hedeflenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Soğan kurutma için gerekli olan soğanlar (*Allium cepa* L.) Osmaniye Sebze ve Meyve Hal'inden 2016 yılı ilkbahar mevsiminde temin edilmiştir. Tedarik edilen soğanlar işlem görene kadar en çok 15 gün +4°C'de muhafaza edilmiştir. Soğan, el ile olarak kabuklarından ayrılmış ve dijital bir kumpas kullanılarak istenilen kalınlıklarda (2, 2.61, 2.87, 2.92, 3, 4, 6, 7 ya da 9 mm) dilimlenmiştir. Ön işleme tabi tutulmayan soğan dilimleri hemen kurutulmuştur. Ön işlem uygulaması için ise, dilimler %8'lik (w/v) NaCl çözeltisinde, oda sıcaklığında, bir petri kabı içerisinde 40 dakika bekletilmiştir. Sonrasında dilimler çözelti içerisinden çıkartılarak tartılmış ve bekletilmeden kurutulmuştur. Tüm deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin başlangıç nem içerikleri (% 88.50±0.5) AOAC (1990) yöntemine göre belirlenmiştir. Kurutma deneylerine ürünün ağırlığında değişim gözlemlenmeyene kadar devam edilmiştir.

### Yöntem

#### Taşınımla Kurutma

Kurutma için, 0-200 g aralığında 0.001 g duyarlılığa sahip dijital analitik bir terazi ile (Radwag, AS/X, Polonya) kombine edilmiş, 2.5 kW gücünde laboratuvar tipi doğal konveksiyonlu bir fırın (JSR, JSON-250, ABD) kullanılmıştır. Süfer vd. (2017)'e göre soğan örnekleri 120×17 mm boyutlarına sahip cam bir petri içerisine konulmuş, petri üç farklı noktasından 4 mm çapındaki bakır tellerle bağlanarak, çengel oluşturacak şekilde dijital terazinin aparatına

iliştirilmiştir. Soğan dilimlerinin ağırlığındaki değişimler, 10 saniyelik zaman aralıklarıyla Pominar, Win 5 yazılımı kullanılarak, bilgisayar yardımıyla kaydedilmiştir. Deneylerden önce, çalışma sıcaklığına erişebilmek için fırın, örneksiz bir şekilde 5-6 dakika çalıştırılmıştır. Çalışma sıcaklıkları 50, 60 ve 70°C ( $\pm 0.3^\circ\text{C}$ )'dir. Kararlı koşullara erişildikten sonra, soğan dilimleri petrilere konulmuş ve kurutma başlatılmıştır. Tüm kurutma deneylerinde hava hızı 1.5 m/s'dir.

### Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma deneylerini gerçekleştirmek için, 49.6×29.4×39.7 cm boyutlarında, 17 L kapasiteye, 1200 W teorik güce ve 6 farklı güç seviyesine sahip mikrodalga fırın (Arçelik, MD 574, Türkiye) kullanılmıştır. Süfer vd. (2017)'e göre soğan dilimi 120×17 mm boyutlara sahip petri içerisine konulmuştur. Petri kabı mikrodalga fırın içerisindeki 245 mm çapa sahip döner tabla üzerine yerleştirilmiştir. Dilim ağırlığı, belirli zaman periyotlarında fırının durdurulması, petri kabının sistem dışına alınıp, tartılmasıyla belirlenmiştir. Her bir tartım yaklaşık 10 s sürmüştür. Çalışılan güç değerleri 80, 240, 400 W olup, veri alma sıklıkları sırasıyla 180, 15, 10 saniyedir. Güç seviyesi arttıkça hedef nem içeriğine ulaşma süresi kısaldığından dolayı, veri alma sıklığı da azalmıştır.

### Vakum Altında Kurutma

Vakum altında kurutma, 0.37 kW ısıtma gücüne, 111 L iç hazneye ve 40 mm çaplı entegre boruya sahip vakum fırını vasıtasıyla (Vacucell-111 standart, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Fırın içerisindeki basınç, 0.37 kW motor gücüne, 2 L/s pompalama ve 1400 rpm dönüş hızına sahip döner vana tipi vakum pompası (Zhejiang Sujing, Wx-2 model, Çin) yardımıyla 100 mbar seviyesine düşürülmüştür. Süfer vd. (2017)'e göre 90 mm çapa sahip alüminyum petri kapları örneklerin kurutulması için kullanılmış ve kurutma verileri manuel olarak kaydedilmiştir. Tartım işlemleri diğer kurutma tekniklerinde olduğu gibi en fazla 10 saniye süre içerisinde tamamlanmıştır.

Vakum fırını yaklaşık 90 dakika boş bir şekilde istenilen sıcaklığa gelene kadar çalıştırılmıştır. Çalışma sıcaklıkları 50, 60 ve 70°C ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ )'dir.

Dilimlerin ağırlıklarındaki değişimler 30 dakikada bir kaydedilmiştir.

### Renk Analizi

Soğan dilimlerinin L\*, a\* ve b\* renk değerleri, Konica Minolta CR 400 model portatif renk ölçüm cihazı ile CIELab skalasına göre ölçülmüştür. Dilimin 3 farklı noktasından ölçüm alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir örnek için üç paralel olacak şekilde ölçüm alınmıştır. Örneklerin toplam renk değeri farklılığı ( $\Delta E$ ), Denklem 1 yardımıyla hesaplanmış ve referans olarak ( $L_{ref}$ ,  $a_{ref}$ ,  $b_{ref}$ ) yaş soğan dilimlerinden alınan renk ölçümleri kabul edilmiştir.

$$\Delta E = \sqrt{[(L - L_{ref})^2 + (a - a_{ref})^2 + (b - b_{ref})^2]} \quad (1)$$

### Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz

Her bir kurutma yöntemi için, yanıt değer olarak kabul edilen toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değeri üzerine, kurutma sıcaklığı/gücü ( $^\circ\text{C}$  veya W), tuzluluk (%) ve dilim kalınlığının (mm) etkisi tarama ve optimizasyon basamakları ile incelenmiştir. Güvenlik seviyesi P-değeri 0.05 olarak alınmıştır. Tarama basamağında 2 tekerrürlü  $2^3$  tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmış olup, her bir kurutma yöntemi için incelenen faktörler ve seviyeleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Tarama aşamasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda tasarlanan optimizasyon aşamasında her bir yöntem için toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) üzerine etki eden çeşitli faktörlerin ve seviyelerinin optimum noktalarının belirlenmesi için yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composit design, FCCD) deney tasarımı kullanılmıştır. Güvenlik seviyesi P-değeri yine 0.05 olarak alınmıştır. Optimizasyon denemelerinde incelenen faktörler ve seviyeleri de Çizelge 2-a, 2-b ve 2-c'de özetlenmiştir.

Deney tasarımı kapsamında elde edilen yanıt değerleri ikinci-dereceden polinomiyel bir modele uydurulmuştur. Denklem 2'de verilmiş olan model eşitliği, bağımsız değişkenlerin lineer, kuadratik ve/veya etkileşim etkilerini tahmin etmek için kullanılmıştır (Selvamuthukumaran ve

Khanum, 2014). Modeldeki kayda değer terimler, elde edilen varyans analizi (ANOVA) çizelgeleri yardımı ile belirlenmiştir. Deney tasarımı, varyans

analizi ve grafik çizimleri için Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, 2005) yazılımı kullanılmıştır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3 \quad (2)$$

Bu denklemde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}, \beta_{12}, \beta_{23}, \beta_{13}$  ve  $X_1, X_2, X_3$  sırasıyla regresyon katsayılarını ve bağımsız değişkenleri temsil etmektedir.

Çizelge 1. Kurutma koşullarının taranması için incelenen faktörler ve seviyeleri  
Table 1. Factors and their levels of drying conditions for screening

Faktör Factor	Simge Term	Gerçek Seviyeler Actual Levels					
		Taşınım ile kurutma Convective drying		Mikrodalga kurutma Microwave drying		Vakumla kurutma Vacuum drying	
		(-1)	(+1)	(-1)	(+1)	(-1)	(+1)
Tuzluluk (%) Saltness (%)	X <sub>1</sub>	0	8	0	8	0	8
Sıcaklık (°C) ya da Güç (W) Temperature (°C) or Power (W)	X <sub>2</sub>	50	70	80	400	50	70
Kalınlık (mm) Thickness (mm)	X <sub>3</sub>	3	7	3	7	3	7

Çizelge 2. Optimizasyon denemelerinde incelenen faktörler ve seviyeleri (yüzey merkezli kompozit tasarım) a) taşınım ile kurutma, b) mikrodalga kurutma, c) vakumla kurutma

Table 2. Factors and their levels for optimization experiments (face centered composite design) a) convective drying, b) microwave drying, c) vacuum drying

[a] Faktör Factor	Simge Term	Gerçek Seviyeler Actual Levels		
		(-1)	(0)	(+1)
Tuzluluk (%) Saltness (%)	X <sub>1</sub>	0	6	12
Sıcaklık (°C) Temperature (°C)	X <sub>2</sub>	40	50	60
Kalınlık (mm) Thickness (mm)	X <sub>3</sub>	2	4	6

[b] Faktör Factor	Simge Term	Gerçek Seviyeler Actual Levels		
		(-1)	(0)	(+1)
Tuzluluk (%) Saltness (%)	X <sub>1</sub>	0	6	12
Kalınlık (mm) Thickness (mm)	X <sub>2</sub>	2	4	6

[c] Faktör Factor	Simge Term	Gerçek Seviyeler Actual Levels		
		(-1)	(0)	(+1)
Sıcaklık (°C) Temperature (°C)	X <sub>1</sub>	50	70	90
Kalınlık (mm) Thickness (mm)	X <sub>2</sub>	3	6	9

Doğrulama aşamasında ise bağımsız değişkenler “aralık içinde” (in range), toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) ise “minimize” olarak tercih edilmiştir. Seçilen deneylerin istenilirlik (desirability) fonksiyonları 1.000’dir.

### SONUÇ VE TARTIŞMA

Kurutulmakta olan ve kurutulmuş ürünlerin renkleri  $L^*$ ; parlaklık,  $a^*$ ; kırmızılık-yeşillik,  $b^*$ ; sarılık-mavilik değerlerinin ölçülmesi ile takip edilir. Meyve ve sebzelerin kurutulması işleminde renk değişikliği genellikle enzimatik ya da enzimatik olmayan yolla esmerleşme reaksiyonları sonucunda gerçekleşir.  $a^*$ -değerinin artışı daha kırmızı bir renk anlamına gelir ki bu da esmerleşme reaksiyonlarının göstergesi olarak kabul edilir. Mikrodalga kurutma kırmızılık ( $a^*$ ) değerinde ufak bir artışa sebep olur, bu da konveksiyonel kurutulmuş ürünlere göre ürünün daha az esmerleşmiş olduğu anlamına gelir (Vadiwambal ve Jayas, 2007).

Çizelge 3’te tarama deneyleri için yapılmış ve her bir kurutma yöntemi için geçerli olan deney tasarımı ve renk analizleri sonucunda elde edilen  $\Delta E$  değerleri (responses) verilmiştir. Bu çizelgedeki değerlere bakıldığında genel olarak taşınım ile kurutma işlemi için oldukça yüksek  $\Delta E$  değerleri (15.3-24.3) elde edildiği açıkça görülmektedir. ANOVA tablosu incelendiğinde ise taşınım ile kurutma işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörün kalınlık ve diğer üç etkileşim terimleri olduğu ( $X_1X_2$ ,  $X_2X_3$ ,  $X_1X_3$ ) belirlenmiştir. Tarama sonuçları daha detaylı incelendiğinde, kalınlığın düşük olduğu seviyede toplam renk değişimi düşük olmuştur. Bu nedenle optimizasyon aşamasında kalınlık; 2 ila 6 mm seviyesine düşürülmüştür. Tuzluluk-sıcaklık ve tuzluluk-kalınlık grafiklerine bakıldığında ise düşük  $\Delta E$  seviyesinin yüksek tuzluluk (%8) seviyesinde elde edildiği görülmüş, bu nedenle optimizasyon aşamasında tuzluluk seviyesi genişletilerek, %12 seviyesine çıkarılmıştır (ANOVA tablosu ve etkileşim grafikleri gösterilmemiştir).  $\Delta E$  değeri,  $L^*$  (parlaklık) değeri ile yakından ilişkilidir ve NaCl moleküllerinin parlaklık değerleri oldukça yüksek ve de soğan dilimlerinin işlem görmeden önceki  $L^*$  değerine çok yakındır. Aynı zamanda, NaCl

inorganik bir molekül olduğundan, ısı etkisi ile kararmamakta, yanmamakta ve kül olmamaktadır. Ortamda tuzun varlığı, dejenerasyon etkisi olan ısının soğan diliminin hücrelerinden önce, NaCl molekülüne çarpmasını sağlamış ve bu moleküller de oksidasyon reaksiyonları sonucu oluşabilecek karartıcı etkiyi çoğunlukla elimine etmiştir. Kurutma sırasında tuz, kristal şeklinde ürün yüzeyinde birikmiş olduğundan, kararmanın büyük oranda önüne geçerek soğanın ilk rengine yakın kalmasına olanak sağlamış ve bu nedenle orjinal renkten uzaklaşmanın bir ölçüsü olarak kabul edilebilecek  $\Delta E$  seviyesinin düşük olmasına sebebiyet vermiştir (Tan vd., 2001).

Tarama aşamasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda minimum  $\Delta E$  değerini veren optimum koşulların belirlenmesi amacıyla yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composit design, FCCD) kullanılmış olup, kurutma süresi 20 saat olarak sabit tutulmuştur. Optimizasyon basamağı sonucunda elde edilen ANOVA tablosuna göre, soğan dilimlerinin taşınım ile kurutulması işlemi üzerine etkili olan faktörler; sıcaklık ve tuzluluk faktörünün kuadratik formu olup, modele dâhil edilen terimler ile oluşturulan modelin denklemi Denklem 3’te verilmiştir. İlgili modele ait regresyon katsayısı 0.89 olarak belirlenmiştir. Düşük toplam renk değişimi elde edilen seviyelerdeki deneysel toplam renk değişimi değeri, tarama aşamasında elde edilen (%0, 70°C, 3 mm koşullarında) değerler ile karşılaştırıldığında yapılan optimizasyon işlemi ile toplam renk değişiminde yaklaşık %75’lik bir iyileşme sağlandığı söylenebilir (ANOVA tablosu gösterilmemiştir). Ayrıca, taşınım ile kurutmaya ait yanıt yüzey grafiğine Şekil 1-a’da yer verilmiştir. Şekil 1a’ya bakıldığında  $\Delta E$  değerleri, tuzluluk oranı %0 – 6 arasında iken düşüş göstermiştir.  $\Delta E$  değerlerinin, tuzluluk oranı %0 – 6 arasında iken düşüş göstermesi tarama aşaması ile uyumludur. Fakat, Şekil 1a’ya göre tuzluluk %6 – 12 arasında olduğunda,  $\Delta E$  artmıştır. Karathanos, vd. (1990) ile Rahman ve Mujumdar (2007) bu durumun sebebinin; gıda sistemlerindeki şeker ve tuz moleküllerinin, hücre çeperlerini tıkayarak, suyun uzaklaşmasını engellemesi, hareket eden tuz moleküllerinin doku (yüzey) sertleşmesine yol açması ile açıklamışlardır.

Çizelge 3. Kurutma denemeleri için geçerli olan deney tasarımı ve renk analizi sonuçları  
 Table 3. Design of experiments for drying trials and responses of color analysis

Deney no Trial no	Tuzluluk Saltness (%)	Sıcaklık/Güç Temperature/ Power (°C/W)	Kalınlık Thickness (mm)	ΔE (taşınımla kurutma) Convective drying	ΔE (mikrodalga kurutma) Microwave drying	ΔE (vakumla kurutma) Vacuum drying
1	0	70/400	3	15.9	50.8	21.3
2	8	70/400	3	16.6	4.1	17.9
3	0	70/400	3	15.4	48.7	20.4
4	8	50/80	3	16.5	4.0	21.0
5	0	50/80	7	21.7	45.8	21.5
6	8	70/400	3	16.3	8.6	20.7
7	0	50/80	3	20.6	32.5	24.7
8	0	70/400	7	21.4	61.6	14.6
9	8	50/80	7	17.4	3.8	21.4
10	8	70/400	7	29.1	16.1	23.1
11	0	50/80	3	23.0	37.5	23.6
12	0	50/80	7	20.0	41.8	19.8
13	8	50/80	7	18.9	4.2	19.6
14	8	50/80	3	15.3	1.2	20.9
15	8	70/400	7	24.3	12.2	23.7
16	0	70/400	7	20.8	52.0	14.5

$$\Delta E = 7.09 - 2.32 * X_1 + 7.93 * X_2 + 2.55 * X_3 - 2.26 * X_1 X_3 + 2.14 * X_2 X_3 + 6.05 * X_1^2 + 3.38 * X_2^2 + 0.82 * X_3^2 \quad (3)$$

Taşınımla kurutma için doğrulama deneyleri kapsamında elde edilen sonuçlar (Çizelge 4), modelin tahmin ettiği sonuçlara oldukça uzak kalmıştır. Deneysel sonuçların tahmini sonuçlardan yüksek olmasının nedeninin; özellikle b\* değerlerinin sarılık (+b) yönünde tarama ve optimizasyon aşamalarına göre oldukça yüksek çıkması olduğu düşünülmektedir. Bu durumun soğanların satın alınan partiler arasında değişiklik göstermesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Cabezas-Serranoa vd., 2009). Bunun yanı sıra yine Çizelge 4'te verilmiş olan ve 11.3-12.8 aralığında olan deneysel verilere bakıldığında söz konusu sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu, hatta bazı bulgulardan daha düşük olduğu söylenebilir. Kumar vd. (2005) 60°C 2 m/s hızla sıcak hava üfleyen bir sistemde 340 dakika boyunca kuruttukları soğan dilimlerindeki (2 mm) toplam renk değişimini 26.6 olarak elde etmişlerdir. Grewal vd. (2015) ise

50°C'de konveksiyonel olarak kuruttukları soğan dilimlerinde (3 mm) toplam renk değişimini 17.9 olarak tespit etmişlerdir. Sahoo vd. (2015) sıcak hava ile 60°C'de kurutma uyguladıkları işlem görmüş (%5 tuz çözeltisi) ve görmemiş soğan dilimlerinde sırasıyla 12.8 ve 13.5 toplam renk değişimi gözlemlemişlerdir.

Çizelge 3'te verilmekte olan mikrodalga uygulaması ile kurutulmuş dilimlerin ΔE değerlerine bakıldığında (1.2 – 61.6), bu çıktıkların oldukça geniş bir aralıkta olduğu söylenebilir. Tarama deneyleri sonucunda elde edilen ANOVA tablosu incelendiğinde (bu tablo gösterilmemiştir) toplam renk değişimi üzerine etki eden önemli faktörlerin tuzluluk, mikrodalga gücü ve kalınlık olduğu belirlenmiştir. Yüksek tuzluluk seviyesinde toplam renk değişimi düşük elde edildiğinden, optimizasyon aşamasında tuzluluk seviyesi %12'ye kadar genişletilmiştir. Ayrıca, mikrodalga seviyesinin düşük olduğu 80 W güçte toplam renk

değişimi değerleri düşüktür. Kullanılmakta olan mikrodalga fırında en düşük güç seviyesi 80 W olup, daha düşük bir güç seviyesini incelemek mümkün değildir. Bu durum nedeniyle optimizasyon aşamasında mikrodalga gücü bir bağımsız değişken olarak incelenmemiş ve 80

W'ta sabitlenmiştir. Kalınlık faktörünün düşük olduğu seviyede toplam renk değerinin düşük elde edilmesi de optimizasyonda kalınlık seviyesinin taşınımıyla kurutmada olduğu gibi 2-6 mm aralığına kaydırılmasına sebep olmuştur.

Çizelge 4. Taşınımıyla kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları  
Table 4. The conditions and results of validation experiments for convective drying

Deney no <i>Trial no</i>	Tuzluluk <i>Saltness</i> (%)	Sıcaklık <i>Temperature</i> (°C)	Kalınlık <i>Thickness</i> (mm)	ΔE		
				Tahmini <i>Predicted</i>	DeneySEL <i>Experimental</i>	Hata <i>Error (%)</i>
1	6.46	42.12	2.61	2.5	12.6	80.1
2	6.49	40.72	2.87	2.5	11.3	77.9
3	5.56	40.08	2.92	2.5	12.8	80.5

Mikrodalga kurutmanın optimizasyon basamağında elde edilmiş olan ΔE değerleri ise 9.7 ile 23.8 aralığındadır (bu değerlerin gösterildiği tablo verilmemiştir). Optimizasyon sonucunda elde edilen ANOVA tablosu incelendiğinde ise (bu tablo gösterilmemiştir) soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörler; dilim kalınlığı ve bu faktörün kuadratik formudur. İncelenen aralıklarda toplam renk değişimini ifade eden model denklik ise denklem 4'te verilmektedir. Söz konusu model denklik ile oluşturulmuş model grafiği; düşük toplam renk değişimi değerlerinin 2 mm dilim kalınlığı ve % 3

ila 7 tuzluluk oranlarında elde edildiğini açığa çıkartmaktadır (bu grafik gösterilmemiştir). Bu seviyelerde deneysel olarak elde edilen ΔE değerleri 9.7 ve 13.5 olup, bu değerler tarama aşamasında ölçülen en düşük değerler olan 4.0 ve 1.2 (%8 tuzluluk, 80 W, 3 mm) değerlerinden oldukça yüksektir. Optimizasyon aşamasında ΔE değeri beklenildiği şekilde düşük elde edilmemiştir. Bunun sebebinin ise kullanılan soğan partileri arasındaki renk farkı olduğu düşünülmektedir (Cabezas-Serranoa vd., 2009). Bu kurutma çeşidine ait yanıt yüzey grafiğine de Şekil 1-b'de yer verilmiştir.

$$\Delta E = 18.94 + 0.40 * X_1 + 3.50 * X_2 - 1.52 * X_1 X_2 + 2.08 * X_1^2 - 3.87 * X_2^2 \quad (4)$$

Denklem 4'te verilmiş olan model denkleminin doğrulanması amacıyla DesignExpert yazılımının önerdiği 3 adet deney gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir. Buna göre elde edilen deney sonuçları ile modelin tahmin ettiği değerler arasındaki farkı ifade eden hata yüzdelere bakıldığında söz konusu modelin incelenen seviye aralığında mikrodalga ile kurutma işleminde gerçekleşen toplam renk değişimini tahmin etme gücünün özellikle 2 mm dilim kalınlığına sahip olan soğan dilimleri için yüksek olduğu söylenebilir. İlgili modele ait regresyon katsayısı 0.79 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5'e göre, soğan dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması işleminde optimum koşullar; 80 W mikrodalga gücü, %3.2 tuzluluk ve 2 mm dilim

kalınlığı şeklinde belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada; Sahoo vd. (2015) mikrodalga ile 240 W güçte kurutma uyguladıkları işlem görmüş (%5 tuz çözeltisi) ve görmemiş soğan dilimlerinde sırasıyla 13.7 ve 16.0 ΔE değeri gözlemlemişlerdir. Bu durumda bu çalışma kapsamında toplam renk değişimi bakımından Sahoo vd. (2015) ile uyumlu bir sonuç elde edilmiş olup, bu renk değişimi Sahoo vd. (2015)'e göre daha düşük bir güç seviyesi olan 80 W'ta elde edilmiştir. Roknul vd. (2014) ise kuşkonmaz marulu dilimleri üzerinde yaptıkları çalışmada sıcak hava destekli mikrodalga kurutma uygulaması (1200 W) sonrasında dilimlerdeki toplam renk değişimini 11.3 olarak belirlemişlerdir.

Çizelge 5. Mikrodalga kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları  
 Table 5. The conditions and results of validation experiments for microwave drying

Deney no <i>Trial no</i>	Tuzluluk <i>Saltness</i> (%)	Kalınlık <i>Thickness</i> (mm)	ΔE		
			Tahmini <i>Predicted</i>	DeneySEL <i>Experimental</i>	Hata <i>Error (%)</i>
1	3.23	2.00	11.13	12.2	-0.39
2	4.42	2.00	11.23	10.6	-6.31
3	7.61	6.00	18.41	23.4	21.18

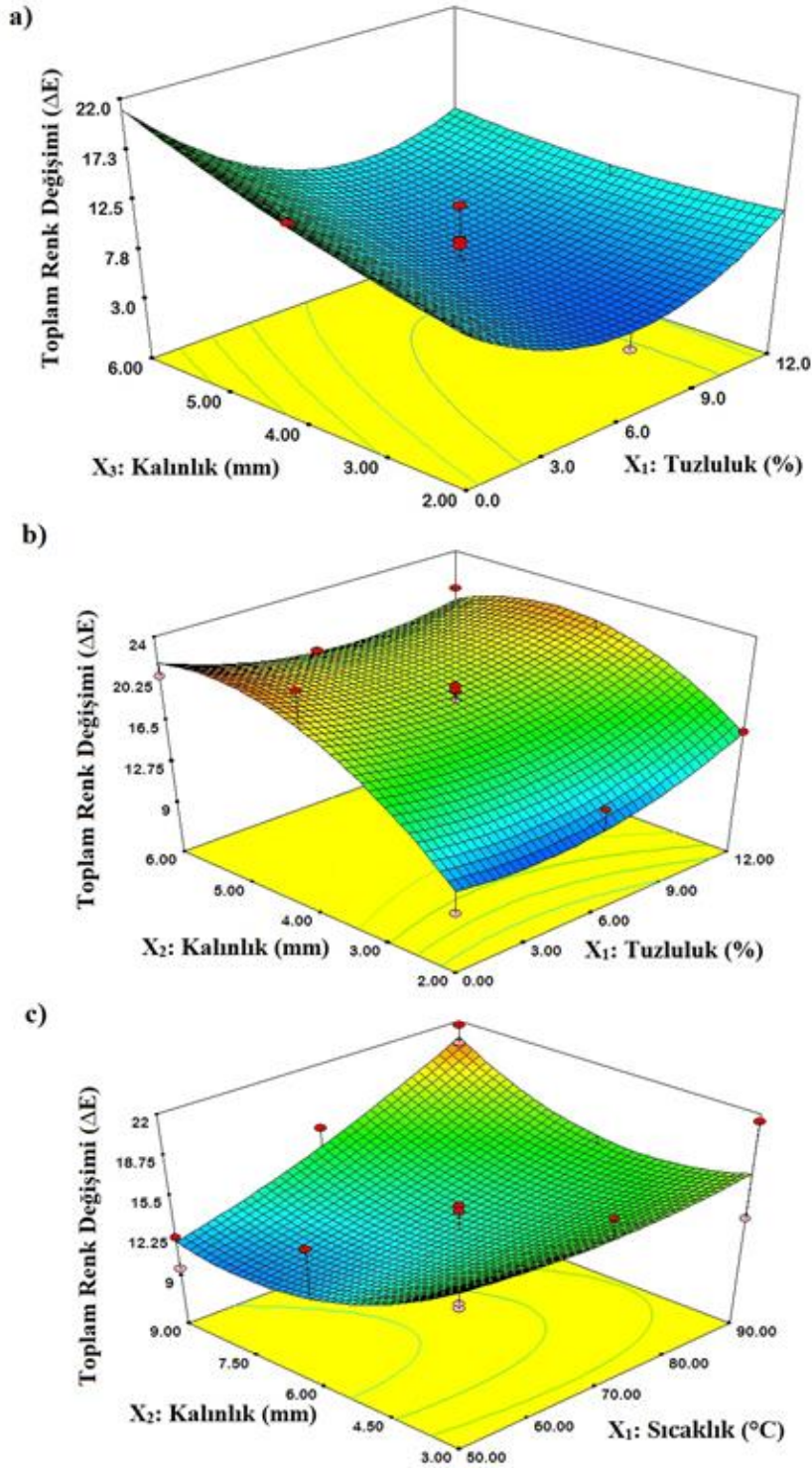
Çizelge 3 vakum altında kurutma deneyleri kapsamında incelendiğinde, bu kurutma çeşidi için toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin 14.5 ile 23.7 arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen ANOVA tablosuna göre (bu tablo gösterilmemiştir) toplam renk değişimi üzerine etki eden önemli faktörlerin; sıcaklık ve kalınlık terimlerinin yanı sıra tuzluluk-sıcaklık, tuzluluk-kalınlık, tuzluluk-sıcaklık-kalınlık etkileşim terimlerinin olduğu belirlenmiştir. Tarama aşamasında düşük renk değişiminin %0 tuzluluk, 70°C ve 7 mm kalınlık seviyelerinde (ΔE: 14.5 ve 14.6) elde edildiği tespit edilmiştir. Deney tasarımı kullanımında, tarama aşamasında, ilgilenilen bölgenin mümkün olduğu kadar geniş tutulması, dolayısıyla incelenen faktör sayısının fazla olması önemlidir. Bunun yanında, değişkenlerin hangisinin daha önemli olduğu ya da hangi seviyelerde iyi sonuç elde edildiği öğrenildikçe, ilgilenilen bölge daraltılmalıdır (Montgomery 2001). Bundan hareketle; incelenen üç bağımlı değişkenden, tuzluluk faktörünün, %0 tuzluluk seviyesinde, %8 seviyesine oranla, çok daha düşük ΔE değerleri vermesi nedeniyle, optimizasyon aşamasında yeniden bağımlı değişken olarak incelenmesine gerek olmadığına ve %0'da sabit tutulması ile minimum ΔE değeri elde edilebileceğine karar verilmiştir. Bunun yanında, tarama aşamasında 70°C'de elde edilen düşük ΔE değerleri nedeniyle, optimizasyon

aşamasında 70°C'nin üzerine çıkılması gerektiği düşünülmüş ve sıcaklık seviyesi 90°C'ye kadar genişletilmiştir. Benzer şekilde tarama aşamasında 7 mm kalınlık seviyesinde düşük ΔE elde edilmesi nedeniyle optimizasyon aşamasında 9 mm kalınlığın incelenmesine karar verilmiştir.

Taşınım ve mikrodalga ile kurutmada olduğu gibi, vakum altında kurutmada da optimizasyon aşamasında yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım (face-centred central composite design, FCCD) kullanılmış olup, kurutma süresi 5 saat, tuzluluk seviyesi ise %0 olarak sabit tutulmuştur. Bu basamakta elde edilmiş olan toplam renk değişimi değerleri 9.5 ile 21.7 arasındadır (bu değerlerin gösterildiği tablo verilmemiştir). Bu basamağın ANOVA tablosuna göre ise (bu tablo gösterilmemiştir) soğan dilimlerinin vakum ile kurutulması işleminde toplam renk değişimi üzerine etki eden en önemli faktörlerin sıcaklık ve sıcaklık ile kalınlığın etkileşimi olduğu görülmüştür. Denklem 5 ile ifade edilen modelin grafiğine göre (bu grafik gösterilmemiştir) düşük ΔE değerlerinin 5 ile 9 mm kalınlık ve 50 ile 55°C sıcaklık aralığında yaklaşık 11.3 olarak tahminlendiği söylenebilmektedir. Vakum altında kurutmaya ait yanıt yüzey grafiğine ise Şekil 1-c'de yer verilmiştir.

$$\Delta E = 13.40 + 2.21 * X_1 - 0.57 * X_2 - 2.24 * X_1 X_2 + 0.78 * X_1^2 + 2.72 * X_2^2 \quad (5)$$





Şekil 1. Farklı kurutma teknikleri için oluşturulmuş yanıt yüzey grafikleri a) Taşınımla kurutma, b) Mikrodalga kurutma, c) Vakumla kurutma  
Figure 1. Response surfaces for different drying methods a) Convictional drying, b) Microwave drying, c) Vacuum drying

İlgili modele ait regresyon katsayısı 0.63 olarak belirlenmiştir. Buna göre; vakum ile soğan dilimi kurutma işleminde, sıcaklık ve dilim kalınlığı faktörleri ile oluşturulan model,  $\Delta E$  değerindeki varyasyonun %63'ünü açıklayabilmektedir. Modele ait  $P$ -değerinin önemli bulunması ( $P$ : 0.03) modelde yer verilen faktörlerin yanıt üzerinde etkili olduğuna işaret eder, fakat  $R^2$  değerinin düşük çıkması elde edilen yanıt değerlerinin regresyon çizgisinden uzakta kaldığını gösterir. Mitra vd. (2011a) soğan dilimlerinin vakumla kurutulması üzerine yaptıkları bir çalışmada, soğan dilimlerinde renk gelişiminin enzimatik olmayan esmerleşmeye bağlı olduğu bildirilmiştir. Bilindiği gibi enzimatik olmayan esmerleşme tepkimeleri amino asitler ile indirgen şekerler arasında gerçekleşmektedir (Burdurlu ve Karadeniz, 2002). Çalışma esnasında kullanılan soğanlar arasındaki olası indirgen şeker içeriği farklılıklarının, kurutma esnasında soğan diliminde oluşan renk gelişimi konusunda varyasyon yarattığı öngörülmektedir. Bu durumda, vakumla kurutma esnasında elde edilen

$\Delta E$  değerlerinde varyasyonun yüksek olması,  $R^2$ 'nin düşük çıkmasına sebep olmuştur. Model denkleminin doğrulanması amacıyla Design Expert yazılımının önerdiği 3 adet deneyin sonuçları Çizelge 6'da özetlemiştir. Çizelgeye bakıldığında deneysel sonuçların modelin tahmin ettiği sonuçlara en çok %10.6 ve en az %31.9 oranında yaklaştığı görülmektedir. Buna göre; dilim kalınlığı arttıkça, elde edilen modelin deneysel sonuçları tahmin etme gücü azalmıştır. Şu halde soğan dilimlerinin vakumla kurutulmasında optimum koşullar; 50°C sıcaklık, %0 tuzluluk ve 5.65 mm dilim kalınlığı şeklinde tespit edilmiştir. Bu seviyelerde yapılan vakumla kurutma işlemi sonrasında soğan dilimlerinin toplam renk değişimi 14.2 olarak elde edilmiştir. Vakum altında soğan dilimi kurutan çalışmalarda toplam renk değişimi inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bunun yanında, elma dilimlerini vakum altında (0.98 bar) kurutan Çelen (2010) incelediği en düşük sıcaklık olan 70°C'de 5 mm'lik elma dilimlerindeki toplam renk değişimini 40.5 olarak hesaplamıştır.

Çizelge 6. Vakumla kurutma için doğrulama deney koşulları ve sonuçları  
Table 6. The conditions and results of validation experiments for vacuum drying

Deney no <i>Trial no</i>	Sıcaklık <i>Temperature (°C)</i>	Kalınlık <i>Thickness (mm)</i>	$\Delta E$		
			Tahmini <i>Predicted</i>	Deneysel <i>Experimental</i>	Hata <i>Error (%)</i>
1	50	5.65	12.72	14.2	10.6
2	50	5.70	12.75	18.7	31.9
3	50	6.11	11.23	16.2	30.5

Kullanılan kurutma yöntemlerinin maliyetlerine bakıldığında; işlem sıcaklığı, süresi ve kurutucudaki hava hızı, kurutucunun gücü, örnek kalınlığı, örneğin başlangıç ve sonuç nem içeriği, ön işlemlerin varlığı vb. gibi faktörlere göre oldukça değişkenlik göstermekte olduğu bildirilmiştir (Wilcke, 2004). Hedef nem içeriğine ulaşma süreleri ve kullanılan kurutucuların (teorik) güçleri göz önüne alınıp, yatırım maliyetleri hariç tutulduğunda, taşınımla kurutmanın en pahalı yöntem, mikrodalga ile kurutmanın ise en ucuz yöntem olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, soğan dilimlerinin kurutulması için incelenmiş ve işlem koşulları optimize edilmiş olan 3 kurutma yöntemi birbiri ile karşılaştırıldığında, toplam renk değişiminin en düşük düzeyde elde edildiği kurutma yönteminin taşınımla kurutma (%6 tuzluluk, 40 °C, 2 mm dilim kalınlığı) olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra 3 kurutma yönteminin de optimum noktalarında elde edilen toplam renk değişimi değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. Renk değişimi kalite özelliği açısından değerlendirilen soğan dilimlerinin kurutulması işlemi için maliyetin en düşük olduğu kurutma yöntemi olarak tercih edilebilecektir. Endüstriyel boyutta

soğan dilimlerinin incelenen yöntemlerden herhangi biri ile kurutulabilmesi amacıyla gerekli olan cihaz tasarımının yapılması için bu çalışmayla elde edilen verilerin temel oluşturduğuna inanılmaktadır. Bu çalışmanın devamında soğan dilimleri, renk değişimi dışında diğer kalite özellikleri açısından da incelenmeli ve en uygun kurutma yöntemleri belirlenmelidir.

### Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: OKÜ-BAP-2015-PT3-017) desteklenmiştir.

### KAYNAKLAR

- Adam, E., Mühlbauer, W., Esper, A., Wolf, W., Spiess, W. (2000). Quality changes of onion as affected by the drying process, *Nahrung*, 44(1): 32-37.
- AOAC (1990). Official method of analysis. Association of official analytical chemists (No. 934.06), Arlington, VA.
- Are'valo-Pinedo, A., Murr, F.E.X. (2006). Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): modeling with shrinkage. *J Food Eng*, 76: 562-567.
- Burdurlu, H.S., Karadeniz, F. (2002). Gıdalarda Maillard reaksiyonu. *GIDA*, 27(2): 77-83.
- Cabezas-Serrano, A.B., Amodiob, M.L., Cornacchiab, R., Rinaldib, R., Colelli, G. (2009). Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biol Technol*, 53: 138-144.
- Çelen, S. (2010). Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Edirne, Türkiye, 152 s.
- Demiray, E., Tulek, Y. (2014). Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) slices in a convective hot air dryer. *Heat Mass Transf*, 50(6): 779-786.
- Grewal, M.K., Jha, S.N., Patil, R.T., Dhatt, A.S., Kaur, A., Jaiswal, P. (2015). A less energy intensive process for dehydrating onion. *J Food Sci Technol*, 52(2): 1131-1137.
- Karathanos, V.T., Villalobos, G., Saravacos, G.D. (1990). Correlation of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data. *J Food Sci*, 55: 218-223.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2009). Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *GIDA*, 35(1): 63-70.
- Kumar, D.G.P., Hebbar, H.U., Sukumar, D., Ramesh, M.N. (2005). Infrared and hot air drying of onions. *J Food Process Preserv*, 29(2): 132-150.
- Mitra, J., Shrivastava, S.L., Srinivasa Rao, P. (2011a). Process optimization of vacuum drying of onion slices. *Czech J Food Sci*, 29(6): 586-594.
- Mitra, J., Shrivastava, S.L., Srinivasa Rao, P. (2011b). Vacuum dehydration kinetics of onion slices. *Food Bioprod Process*, 89(1): 1-9.
- Mitra, J., Shrivastava, S.L., Rao, P.S. (2012). Onion dehydration: A review. *J Food Sci Technol*, 49(3): 267-277.
- Montgomery D., (2001). *Design and Analysis of Experiments*. (5. baskı) John Wiley & Sons. New York, 15 p.
- Moses, J.A., Norton, T., Alagusundaram, K., Tiwari, B.K. (2014). Novel drying techniques for the food industry. *Food Eng Rev*, 6(3): 43-55.
- Pap, L. (1995). Production of pure vegetable juice powders of full biological value. *Fruit Process*, 3: 55-60.
- Rahman, S.M.A., Mujumdar, A.S. (2007). Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and color in vacuum contact drying. *J Food Process Preserv*, 31(6): 671-687.
- Rao, V.K.R. (1995). Onion exports. *Food Dig*, 18(2): 75.
- Reyes, A., Cerón, S., Zúniga, R., Moyano, P. (2007). A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices. *Biosyst Eng*, 98: 310-318.
- Roknul, A.S.M., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Wang, Y. (2014). A comparative study of four drying methods on drying time and quality characteristics of stem lettuce slices (*Lactuca sativa* L.). *Drying Technol*, 32: 657-666.

- Sahin, A.Z., Dincer, I. (2005). Prediction of drying times for irregular shaped multi-dimensional objects. *J Food Eng*, 71: 119-126.
- Sahoo, N.R., Bal, L.M., Pal, U.S., Sahoo, D. (2015). Impact of pretreatment and drying methods on quality attributes of onion shreds. *Food Technol Biotechnol*, 53(1): 57-65.
- Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P. (1999). Drying behaviour of brined onion slices. *J Food Eng*, 40: 219-226.
- Selvamuthukumar, M., Khanum, F. (2014). Effect of modified atmosphere packaging on physicochemical, sensory and microbiological properties of spray-dried sea buckthorn fruit juice powder. *J Food Qual*, 37: 149-156.
- Süfer, Ö., Sezer, S., Demir, H. (2017). Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices. *J Food Process Preserv*, (article in press) DOI: 10.1111/jfpp.13239.
- Tan, M., Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Chou, S.K. (2001). Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation of drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. *Drying Technol*, 19(9): 2193-2207.
- Vadivambal, R., Jayas, D.S. (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. *Biosyst Eng*, 98: 1-16.
- Wilcke, B. (2004). Energy costs for corn drying and cooling. *University of Minnesota, Biosystems & Agricultural Engineering, Lecturer Notes*. P102-2004-09. Internet adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/95c8/b161ea0b9c75decec398b5ad4df387ea5e3b.pdf> Erişim Tarihi: 17.10.2017