



## Sürekli ve Kesikli Mikrodalga Yöntemleriyle Kurutulan Elmanın Renk Değişim Analizi

Ahmet POLAT<sup>1\*</sup>, Ferhat KURTULMUŞ<sup>1</sup>, Nazmi İZLİ<sup>1</sup>

**Öz:** Bu çalışmada, sürekli ve kesikli mikrodalga ile kurutulan elma örneklerinin renk değişimleri görüntü işleme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Elma örneklerinden kurutma öncesi ve sonrası olmak üzere toplam yüz adet görüntü alınmıştır. Farklı yöntemlerle kurutulan elma örnekleri RGB renk uzayından L\*a\*b\* renk uzayına çevrildikten sonra analiz edilmiştir. Ayrıca örneklere bir halka maskeleme işlemi uygulanmıştır. Halka maskeli ve halka maskesiz yöntem kullanılarak iki farklı veri elde edilmiştir. Toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ), kroma (C), hue açısı ( $\alpha^\circ$ ) ve kahverengilik indeksi (BI) değerleri renk için kinetik parametreleri olarak tanımlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kurutmanın tüm örneklerin renk parametreleri üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Halka maskeleme yöntemindeki L\*, a\* ve b\* değerlerin halka maskesiz yöntemle göre farklı olduğu tespit edilmiştir. Kahverengilik indeksi sonuçları incelendiğinde ise, 200W-KO:3 uygulamasındaki sonucun taze elma ürününe en yakın değer olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sürekli ve kesikli mikrodalga yöntemleri ile elmanın kurutulmasında ürünün renk parametreleri üzerine önemli bir etkisi olduğu ve diğer kurutma yöntemlerine alternatif olabileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elma, görüntü işleme, renk parametreleri.

\* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:**<sup>1\*</sup>Ahmet POLAT, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Bursa, Türkiye, [ahmetpolat@uludag.edu.tr](mailto:ahmetpolat@uludag.edu.tr), **OrcID:** 0000-0003-1673-7165

<sup>1</sup> Ferhat KURTULMUŞ, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Bursa, Türkiye, [ferhatk@uludag.edu.tr](mailto:ferhatk@uludag.edu.tr), **OrcID:** 0000-0002-7862-6906

<sup>1</sup> Nazmi İZLİ, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Bursa, Türkiye, [nizli@uludag.edu.tr](mailto:nizli@uludag.edu.tr), **OrcID:** 0000-0002-2084-4660.

## Color Change Analysis of Dried Apple with Continuous and Pulsed Microwave Method

**Abstract:** In this study, color changes of apple samples dried by continuous and pulsed microwaves were investigated by using the image processing method. A total of one hundred images were taken from apple samples, before and after drying. Apple samples dried with different methods were analyzed after they were converted from RGB color space to L\*a\*b\* color space. Also, a circular masking process was applied to the samples. Two different data were obtained by using circular masking and non-circular-masking methods. The total color change ( $\Delta E$ ), Chroma (C) and hue angle ( $\alpha^\circ$ ) and browning index (BI) are defined as the kinetic parameters for color. When the results were examined, it was seen that drying had an effect on the color parameters of all samples. The L\*, a\* and b\* values of circular masking method were determined differently comparing to the values of the non-circular-masked method. When the browning index results are examined, it is determined that the result in 200W-KO: 3 application is the closest value to the fresh apple product. As a result, it has been observed that the drying of apples with continuous and pulsed microwave methods has an important effect on the color parameters of the product and maybe an alternative to other drying methods.

**Keywords:** Apple, color parameters, image processing.

## Giriş

Kurutma, ürün muhafazası için en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Kurutmanın asıl amacı su aktivitesini azaltarak ürünün raf ömrünü uzatmaktır. Bu işlem sayesinde üründeki enzim aktivitesi azaltılarak kimyasal bozulmanın önüne geçilmekte ve mikrobiyal faaliyetler engellenerek raf ömrü uzun ürünler elde edilmektedir. Bununla birlikte ürün hacmindeki azalma ile taşıma maliyetlerinin azalmasına da katkı sağlamaktadır. Sebze ve meyve kurutma endüstrisinde, genellikle sıcak hava yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemin ürünün kalitesini etkileyecek önemli dezavantajları bulunmaktadır. Fazla kararma, düşük rehidrasyon kapasitesi, uzun kuruma süresine bağlı olarak tekstürde sertlik ve düşük verimlilikte ısı kütle transferi bunların bazılarıdır (Horuz ve ark., 2018). Günümüzde kurutmadaki en önemli amaç az ekonomik girdi ile enerji maliyetlerini düşürmek ve daha kaliteli ürünler ortaya koymaktır. Son yıllarda, mikrodalga ile kurutma, kısa süreli kurutmanın sağladığı düşük enerji tüketimi ve kaliteli ürünlerin çıkışı ile suyun uzaklaştırılma yöntemleri açısından önemli bir duruma gelmiştir. Geleneksel yöntemde sıcaklığın materyale giriş yönü ile nemin çıkış yönü ters doğrultudadır. Bunun sonucunda sıcaklığın iç kısmı girişi zorlaşmakta ve kurutma işlemi uzamaktadır. Mikrodalga kurutmanın en önemli avantajlarından biri de nemin çıkışı ve sıcaklık giriş yönünün aynı doğrultuda olmasıdır. Bundan dolayı kuruma zamanı, su moleküllerinin enerjisi daha hızlı emmesine bağlı olarak azalmaktadır. Bu da ürünlerin, hızlı buharlaşma ve yüksek kuruma oranına sahip olmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte mikrodalga kurutma tekniğinin dezavantajları da bulunmaktadır. Düzensiz ısıtma nedeniyle, mikrodalga alanında değişken ısı dağılımı meydana gelebilmektedir.

Ayrıca aşırı ısınma ve kalite kayıpları gerçekleşebilmektedir. Çünkü sürekli olarak uygulanan mikrodalga enerji, düzensiz sıcaklık ve nem dağılımlarına bağlı olarak kalite kayıpları ile sonuçlanmaktadır. Kesikli mikrodalga yöntemi kullanılarak bu sorunlar çözülebilmektedir (Doymaz ve ark., 2015). Kesikli mikrodalga tekniğinde, kurutma giderlerini arttırmadan enerji verimliliğini ve ürün kalitesini artırılması için önerilen çözümlerden biridir. Mikrodalga ile kurutma işlemi boyunca eşit miktarda uygulanan enerji, ürün yüzeyinde ısıl tahribatlara ve ısıl enerji kayıplarına neden olabilmektedir. Bu durum genellikle kuruma süresinin sonunda gerçekleşmektedir. Çünkü kuruma oranı bu dönemde düşmekte ve buna bağlı olarak da ürün üzerinde uçurulacak kadar nem bulunmamaktadır. Bu da suyun buharlaşması için gerekli olan enerji ile mikrodalga radyasyonu altında kalan su dipolleri tarafından üretilen ısı enerjisi arasında bir dengeye dayandırılmaktadır. Kullanılan kesikli yöntemin stratejisi ısıl işlem zamanı boyunca nemin ürünün merkezinden yüzeyine geçmesi için zaman sağlamaktır. Bundan dolayı bu yöntemle kalite kayıpları ve ısıl zararlar en aza indirilebilmektedir. Bu zamana kadar yaygın olarak yapılan kesikli mikrodalga çalışmalarının ana izlemi ısıl enerji kaynağının periyodik olarak on-off şeklinde çalıştırılmasıdır. Yüksek kesiklilik oranı (yüksek ısıl işlem süresi veya off süresi) daha fazla enerji korunması sağlamakla birlikte kuruma zamanını arttırmaktadır. Artan kuruma zamanı bazı ürünler için uygun olmayabilir. Bundan dolayı enerji korunumunu en iyi şekilde yapabilmek için kesiklilik oranının derecesi tam değerinde seçilmelidir. Başka bir avantajı ise ürün içinde nemin daha düzgün dağılımda olmasıdır. Kurutulmuş ürünlerin aşırı ısınmasından ve bu ısınmanın zararından korunmak, yeterli ısı enerjisi kullanmak , ve bunun sonucunda da kurutma enerjisinin verimliliğinin artması kesikli yöntemin avantajlarıdır (Dehghannya ve ark., 2018).

Görsellik, tüketicinin herhangi bir ürünü satın almasındaki ilk parametredir. Renk ürünün en önemli görünüş karakteristiklerinden birisi olup, tüketicinin karar mekanizmasını etkilemektedir. Gıda maddesindeki olağandışı bir rengin varlığı o ürünün istenmemesine neden olur. Bundan dolayı, birçok üretici satışlarını artırmak adına rengin tüketiciler üzerindeki psikolojik etkiden faydalanmaktadırlar. Kalite ile ilgili olarak, renk ilk karar verme aşamasında önemli bir kilit noktadır. Kurutulmuş ürünlerin renk değişimleri genellikle renk ölçüm cihazlarındaki  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri veya özel veri edinme ile ölçülebilmektedir. Son yıllarda görüntü işleme sistemleri farklı ürünlerin renk ölçümlerinde önemli bir gelişim kaydetmiştir. Çünkü bu sistemin geleneksel yöntemlere göre önemli avantajları bulunmaktadır. Bunlar ürünün yüzeyindeki her bir pikseli analiz edebilme olasılığı ve ürünün yüzey karakteristiklerini saptama olarak adlandırılabilir.  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinden  $L^*$  değeri parlaklık ifadesini gösterirken değeri 0-100 arasındaki skaladadır.  $a^*$  değeri yeşil ve kırmızı  $b^*$  değeri ise mavi sarı renkleri ifade ederken (-120, +120) arasında değer alır.  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri renklerin yeknesak bir dağılım göstermesi ve insan algısına yakın olması sebebiyle gıda araştırmalarında sıklıkla kullanılır. RGB renk uzayı modelinin aksine,  $L^*a^*b^*$  modeli; renkte tutarlılık sağlayan, dijital kamera, tarayıcı, ekran, yazıcı gibi giriş veya çıkış olmasına bakılmaksızın bağımsız bir yöntemdir. Literatürde renk ölçümüyle ilgili bazı çalışmalar olmasına rağmen, bu işlemi görüntü işleme sistemi temel alan az sayıda çalışma bulunmaktadır (Sharifian ve ark. 2013; Demir ve ark., 2016). Bu çalışmada, kabuğu soyulmuş ve dilim haline getirilmiş ‘Granny Smith’ cinsi elmaların kesikli ve sürekli mikrodalga yöntemleri uygulanarak renk parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Kurutma Ekipmanları ve Kurutma İşlemi

Bu araştırmada kullanılan 'Granny Smith' cinsi taze elma meyvesi yerel bir marketten satın alınmış ve deneyler sürecinde  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Meyvenin mevcut nem içeriğini belirlemek için, taze elma örnekleri bir kurutma fırınında (ED115 Binder, Tuttlingen, Germany)  $105^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 24 saat süreyle bekletilmiştir. Söz konusu meyvenin mevcut nem içeriği  $4.76$  (g su. g kuru madde<sup>-1</sup>) olarak hesaplanmıştır. Deneyde kullanılmak üzere çürük ve ezik olmayan ürünler seçilmiştir (İlhan, 2018). Daha sonra taze elma örnekleri bir dilimleyici (NicerDicer, China) yardımıyla  $5\pm 0.05$  mm kalınlığında dilimlenmiş, kurutma deneyleri ise modifiye edilmiş laboratuvar tipi bir kesikli mikrodalga kurutucu kullanılarak 100, 200 ve 300 W mikrodalga güçlerinde sürekli ve 3 farklı kesiklilik oranında gerçekleştirilmiştir. Kesiklilik oranının belirlenmesinde Eşitlik 1 kullanılmıştır. Bu formülde, kesiklilik oranı (PR), magnetron  $t_{on}$  çalışma süresi ve  $t_{off}$  magnetron çalışmama süresi olarak ifade edilmiştir (Gunasekaran and Yang, 2007).

$$PR = \frac{(t_{on} + t_{off})}{(t_{on})} \quad (1)$$

Sürekli konumda  $PR = 1$  ( $t_{on} = 60$  s ve  $t_{off} = 0$  s) and kesikli konumda  $PR = 2$  ( $t_{on} = 30$  s ve  $t_{off} = 30$  s) ve  $PR = 3$  ( $t_{on} = 20$  s and  $t_{off} = 40$  s)

### Görüntü Yakalama Sistemi

Kurutulmuş elma dilimlerinin benzer koşullarda görüntülerinin alınabilmesi için karanlık laboratuvar koşullarında kontrollü aydınlatmalı bir görüntü alma istasyonu oluşturulmuştur (Şekil 1). Temel olarak görüntü alma istasyonu; bir CMOS fotoğraf makinası (Canon, EOS 650D, Japan), ayarlı bir kamera tutucu, iki adet halojen aydınlatıcı ve bir adet bilgisayardan oluşmaktadır. Kamera tutucu, lens ürün yüzeyine dik bakacak şekilde ayarlanmıştır. Kamera yüksekliği, ürün üst yüzeyi ile lens arası mesafe 255 mm olacak şekilde sabitlenmiştir. Aydınlatma lambaları istenmeyen gölgeler oluşumuna engel olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 1:Karanlık laboratuvar koşullarında kontrollü aydınlatmalı bir görüntü alma istasyonu

Görüntü yakalamada kullanılan kameraya ait pozlama ayarları Çizelge 1’de görülmektedir. Kamera dizüstü bilgisayara USB ara yüzü ile bağlanmış ve görüntüler açık kaynak kodlu digiCamControl 2.0.7 yazılımı yardımı ile jpeg formatında saklanmıştır. Üç farklı mikrodalga güç değeri ve üç farklı on-offkonfigürasyonuna ait eşleşmelerden her biri için yaklaşık 10 örnek olmak üzere toplamda  $3 \times 3 \times 10 = 90$  adet kurutulmuş elma dilimi görüntüsü alınmış ve 10 adet de taze kurutulmamış elma dilimi görüntüsü yakalanmıştır.

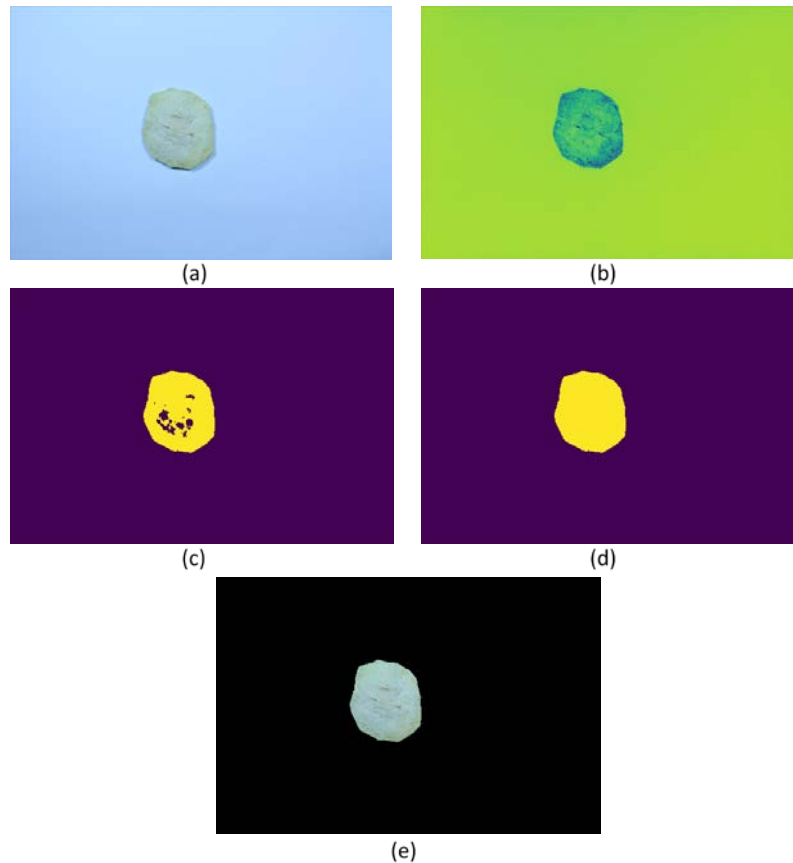
Çizelge 1. Pozlama ayarları

Parametre	Ayar değeri
ISO	800
Enstantane	1/640
Diyafram (F)	5,6
Beyaz dengesi	Fluorescent
Pozlama telafisi	0
Sıkıştırma	Smaller JPEG
Ölçme modu	Evaluatemetring
Çözünürlük	1920*1280

### Görüntü İşleme

Kurutulmuş elma örneklerinin renk analizleri için bir dizi görüntü işleme adımları uygulanmıştır. Çalışmada geliştirilen tüm görüntü işleme algoritmaları, Python2.7 programlama dili ve bilimsel kütüphaneleri kullanılarak

kodlanmıştır (Oliphant 2007; van der Walt ve ark. 2014; Opencv 2018). Elma dilimlerinin ayrı bir bölge olarak segmentasyonu amacıyla arka plandan ayrıştırılması için ilk olarak bir maske oluşturulmuştur. Yalnızca meyve alanı piksellerini içeren bir maske (ikili görüntü) oluşturmak için farklı R, G, B ve hue gibi farklı kanallarda otsu yöntemi dahil birçok eşikleme yöntemi ön çalışmalarla denenmiştir. Sonuç olarak HSV renk uzayında 0 ile 1 arasında kodlanan hue (double) kanalı için  $hue < 0.52$  mantıksal koşulun en iyi maskeyi verdiği görülmüştür. Ayrıca elma dilimlerinin çekirdek bölgesinin kurutmaya bağlı renk değişimlerinden daha fazla etkilenecek sağlıklı olmayan analiz sonuçları doğurması ihtimaline karşı farklı bir maskeleye yöntemi daha denenmiştir. Bu yöntemde halka şeklinde bir maske kullanılarak çekirdek bölgesinin analiz dışı tutulması sağlanmıştır. Elma dilimi kenarları için daha düzgün maske elde edebilmek üzere eşiklemeden önce hue kanalına 13x13 çekirdek matrisli medyan blur filtresi uygulanmıştır. Görüntü ikilileştirme sonrası elma dilimi bölgesi içerisinde istenmeyen deliklerden (izole sıfır piksel bölgeleri) kurtulmak amacıyla delik doldurma işlemi uygulanmıştır. Elma dilimi bölgesi dışında kalan olası gürültü piksellerini yok etmek amacıyla da 800 piksellik bir alan eşiklemesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen elma dilimi maskesi ile RGB görüntüsü maskelenmiş, yalnızca elma dilimi piksellerinden oluşan nihai görüntü elde edilmiştir. Bu görüntü işleme adımları Şekil 2'de görülmektedir.



**Şekil 2:** Orijinal RGB görüntü (a), HSV renk uzayında Hue kanalı (b), eşikleme sonrası ikili görüntü (c), delik doldurma ve gürültü piksellerini yok etme sonrası elde edilen maske (d), maskelenmiş RGB görüntüsü (e).

Çalışmada renk analizleri  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk uzayında incelendiğinden elde edilen RGB görüntüler, Eşitlikler 2, 3, 4 ve 5 ile  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ 'ye dönüştürülmüştür (Sharifian ve ark. 2013).

$$L^* = 1165 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) - 16 \quad (2)$$

$$a^* = 500 \left[ \sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right] \quad (3)$$

$$b^* = 200 \left[ \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right] \quad (4)$$

Eşitliklerde  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  değerleri tristimulus olarak adlandırılan ve insan gözünün renkleri algılama işlemini matematiksel olarak taklit edebilmek amacıyla ortaya konmuş RGB görüntüsünden bir dönüşüm matrisi ile hesaplanabilen büyüklüklerdir.  $X_0$ ,  $Y_0$  ve  $Z_0$  ise standart beyaz bileşenlerini temsil etmektedir. Bu dönüşüm matrisi ise Eşitlik 5'de verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5)$$

Çalışmada  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk bileşenlerine ek olarak renk doygunluğunu ifade eden kroma, kahverengilik indeksi (BI) ve hue açısı da elma dilimleri renk analizlerinde kullanılmış parametrelerdir. Hue açısının 0 ile  $2\pi$  radyan aralığı kırmızıyı,  $\pi \cdot 2^{-1}$  sarıyı,  $\pi$  yeşili ve  $3\pi \cdot 2^{-1}$  maviyi ifade etmektedir. BI ise kahverenginin saflığını temsil etmektedir. Kurutulmamış taze ürünler ile kurutma sonrası elma dilimi renk değişimleri ise toplam renk değişim katsayısı ( $\Delta E$ ) ile ölçülmüştür. Eşitlikler 6, 7, 8 ve 9'da bu renk parametrelerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  bileşenlerine bağlı olarak hesaplandığı formüller görülmektedir (Maskan 2001; Ergüneş ve Tarhan 2006; Sharifian ve ark. 2013).

$$Chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

$$BI = \frac{100(x-0.31)}{0.17}, \quad x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (7)$$

$$Hue = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (8)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (9)$$

Eşitliklerde  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  ve  $b_0^*$ ; kurutulmamış taze elma dilimi örneklerine ait renk değerleridir. Kroma, BI, hue açısı ve  $\Delta E$ ;  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine bağlı olarak hesaplanabilen renk parametreleridir. Maskelenmiş elma dilimi görüntülerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  kanallarından bu bileşenleri temsil edecek skala değerleri elde edebilmek için ise elma piksellerinin ortalaması alınmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere her bir konfigürasyondan 10'ar adet farklı elma dilimi görüntüsü toplanmıştır. Her bir konfigürasyon ise 10 örneğin ortalaması ile temsil edilmiştir. Böylelikle her bir elma dilimi görüntüsünden 6 adet renk parametre değeri hesaplanmış, ayrıca taze örneklerden farklı olarak kurutulmuş örnekler için toplam renk değişim sayısı ( $\Delta E$ ) da hesaplanmıştır.

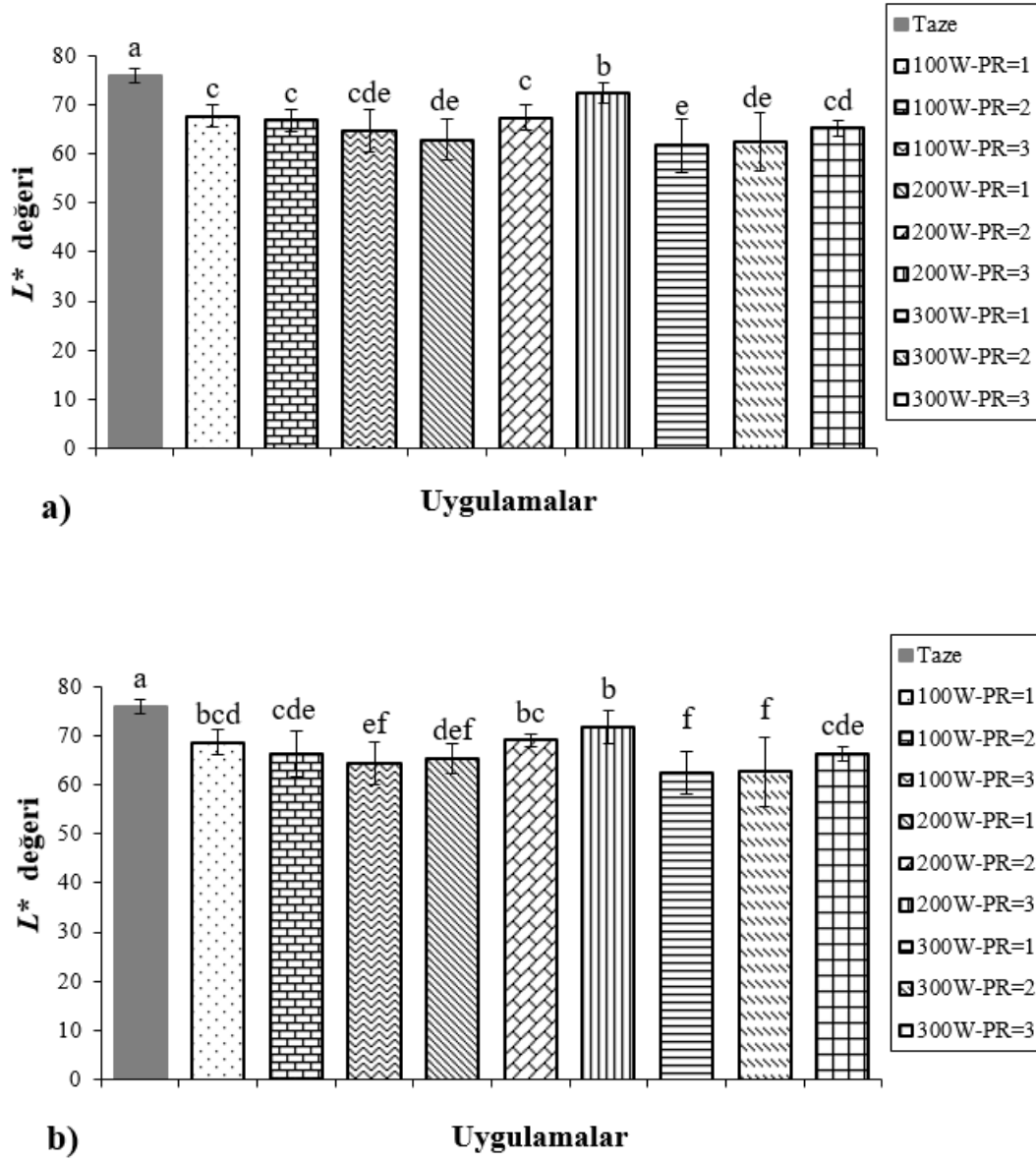
### **İstatistiksel Yöntem**

Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde JMP Statistical Discovery Software 7.0 paket programı (SAS Institute Inc., Cary, ABD) kullanılarak varyans analizi ve asgari önemli farklılık (LSD) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Veriler % 5 önem seviyesinde analiz edilmiştir.

### **Bulgular ve Tartışma**

Farklı yöntemlerle kurutulmuş elma örnekler üzerinde uygulanan halka maskesiz ve halka maskeli görüntü işleme yönteminin  $L^*$  değeri sonuçları sırasıyla Şekil 3a ve b'de gösterilmiştir. Halka maskesiz yöntemde, mikrodalga güç değerinin 200W ve kesiklilik oranının ise 3 olduğu uygulamadaki  $L^*$  değeri (72,33), taze ürüne en yakın değer (75,93) olarak bulunmuştur. 100W-KO=1, 100W-KO=2 ve 200W-KO=2 uygulamalarında  $L^*$  değerleri incelendiğinde istatistiksel bir farklılık görülmemiştir. Halka maskeli yönteminin uygulandığı kurutulmuş ürünlerin  $L^*$  değerleri ile halka maskesiz yöntemle elde edilen  $L^*$  değerleri arasında kesin olarak farklılıklar görülmüştür. Halka maskeli yöntemde, halka maskesiz yöntemde olduğu gibi taze ürüne en yakın  $L^*$  değeri 200W-KO:3 olduğu tespit edilmiştir. Her iki yöntemde de en düşük değer 300W-KO:1 uygulamasında bulunmuştur.

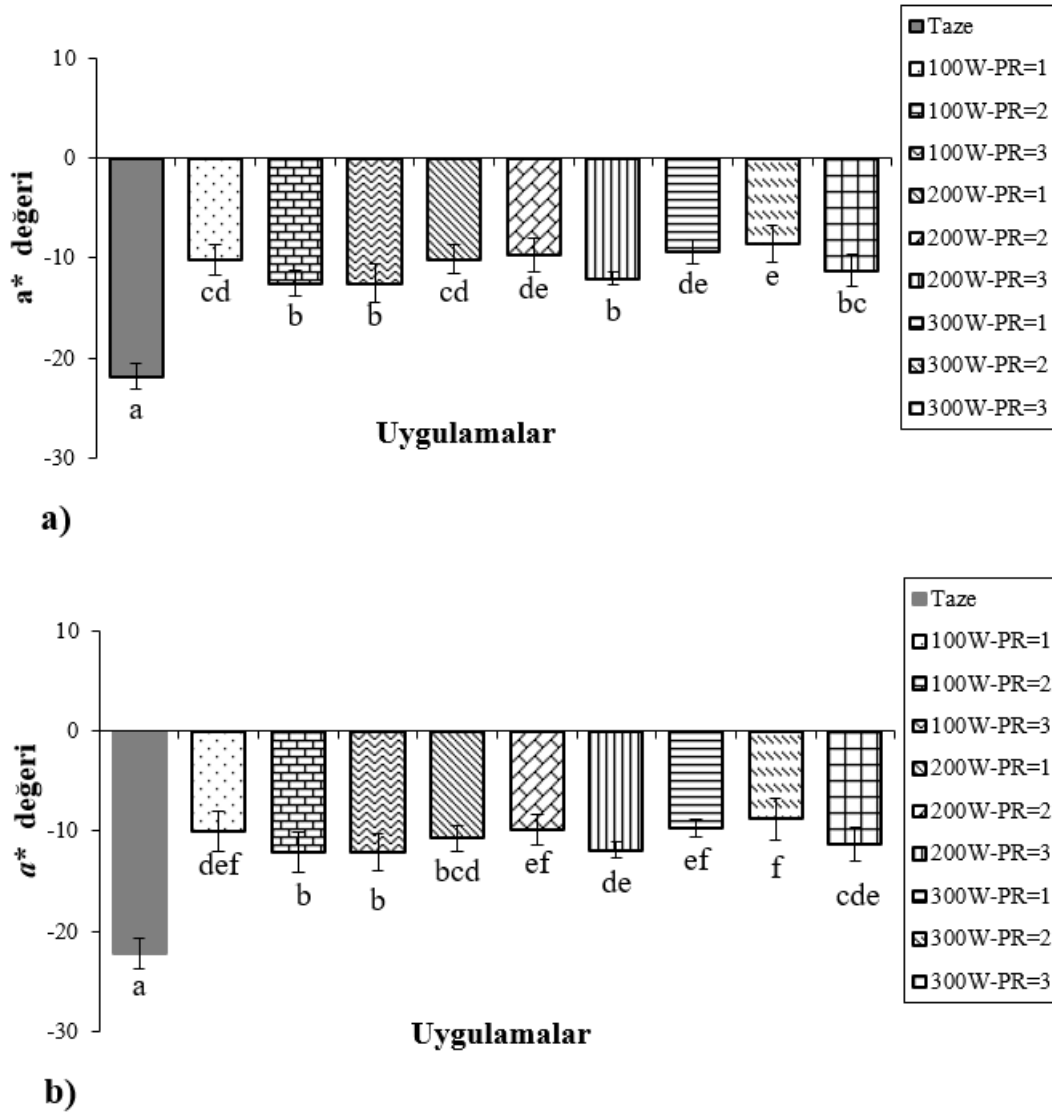




**Şekil 3:** Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen L\* değerleri

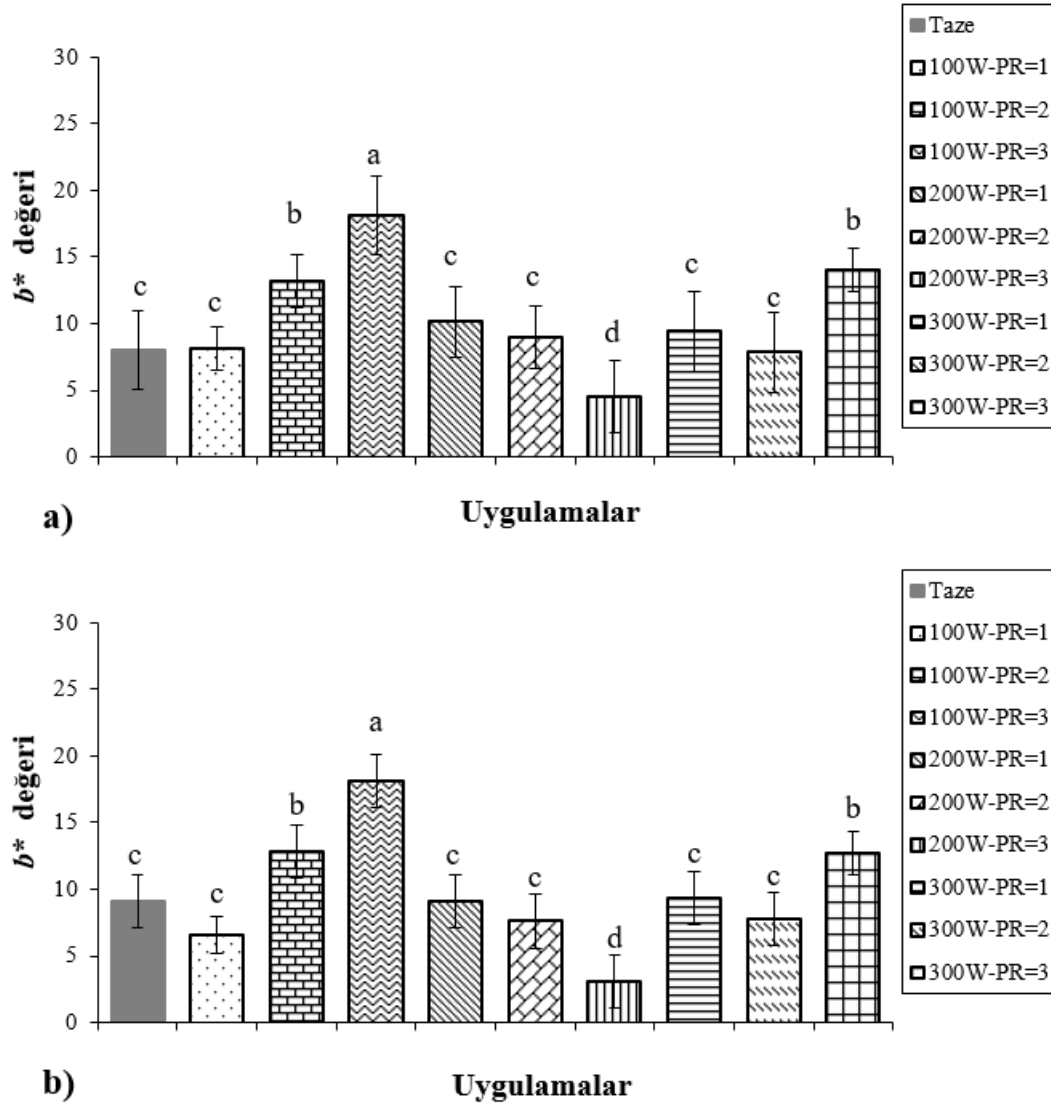
Şekil 4a ve b görsellerinden  $a^*$  değerlerini inceleyecek olursak,  $L^*$  değerlerinde olduğu tüm halka maskeli ve halka maskesiz değerler arası farklılıklar gözlemlenmiştir. Taze ürüne (-21.8175) en yakın değer halka maskesiz yöntemde 100W-KO=3 (-12.4974) uygulaması iken halka maskeli yöntemde taze ürüne (-22.1882) en yakın değer ise 100W-KO=2 (-12,1290) uygulamasıdır. Halka maskesiz yöntemde, 100W-KO:2, 100W-KO:3 ve 200W-KO:3 uygulamalarının ve halka maskesiz yöntemin 100W-KO:2 ve 100W-KO:3 uygulamalarının  $a^*$

değerlerinde istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir. Aynı kesiklilik oranında mikrodalga değeri artıka  $a^*$  değerinde azalma tespit edilmiştir.



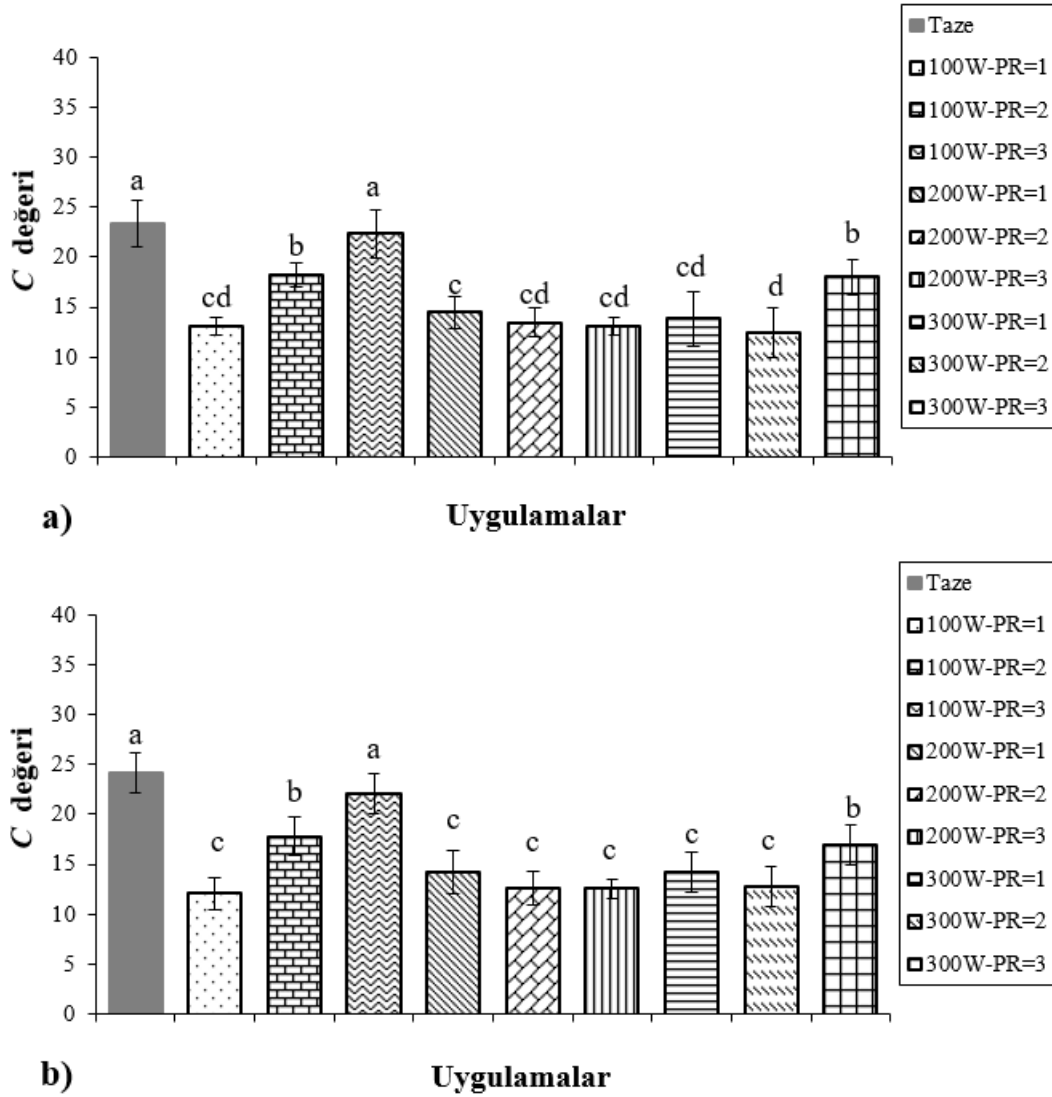
**Şekil 4:** Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen  $a^*$  değerleri

Taze ve kurutulmuş elma örneklerinin  $b^*$  değerleri Şekil. 5a ve b’de gösterilmiştir. En yüksek ve en düşük  $b^*$  değerleri her iki yöntemde de sırasıyla 100W-KO=3 ve 200W-KO=3 uygulamasında elde edilmiştir. Her iki yöntemde de değerler farklı olmasına rağmen istatistiksel açıdan fark yoktur.



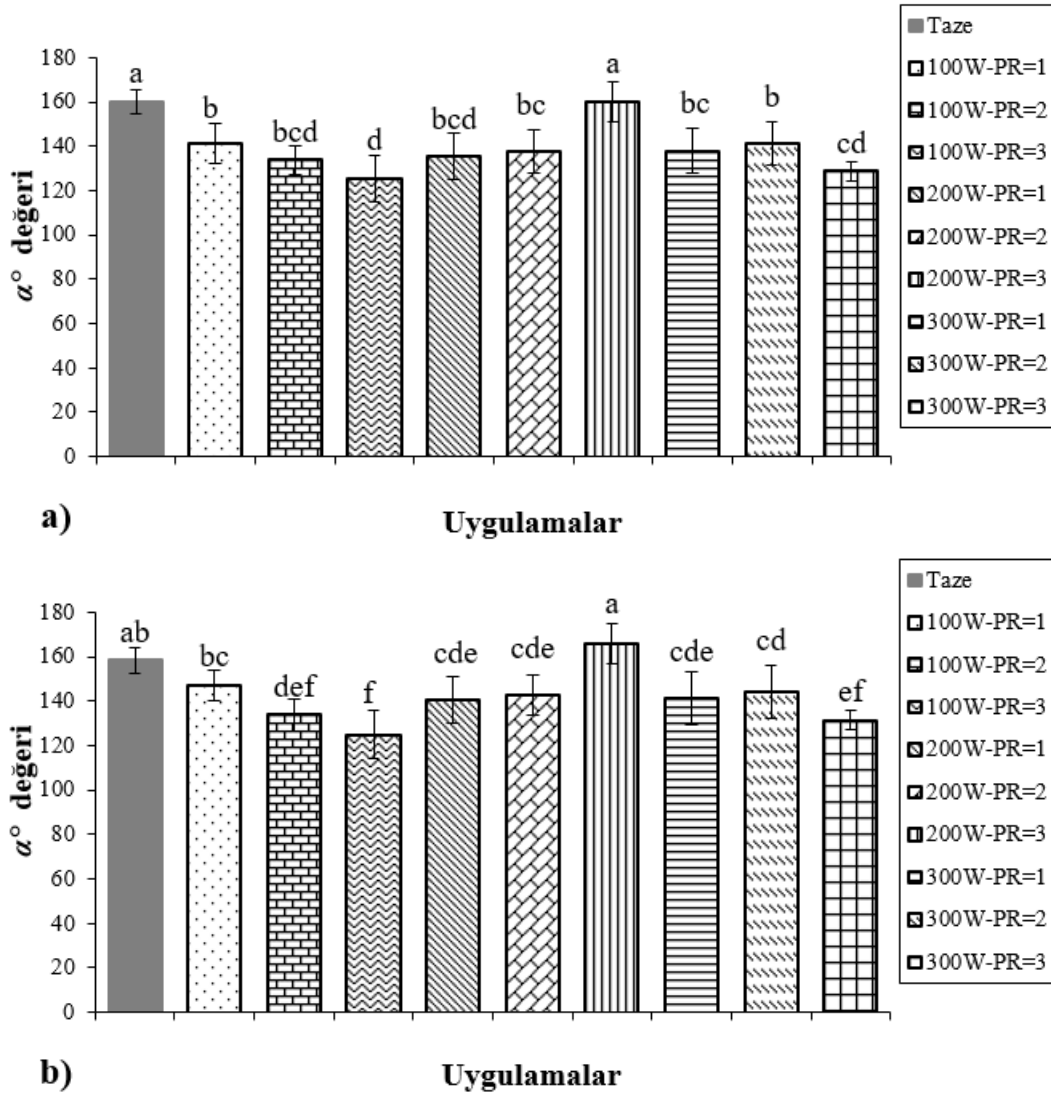
Şekil 5: Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen b\* değerleri

Yapılan hesaplamalara göre her iki yöntemde de 100W-KO:3 uygulamasının C değerinin taze ürüne en yakın değer olduğu Şekil 6a ve b’de tespit edilmiştir. Halka maskesiz yöntemde en düşük değer 300W-KO:2 olduğu gözlemlenmiştir. Halka maskeli yöntemde, 100W-KO:2, 100W-KO:3 ve 300W-KO:3 değerleri dışında uygulanan altı işlemin C değerleri arasında istatistiksel bir farklılık tespit edilememiştir.



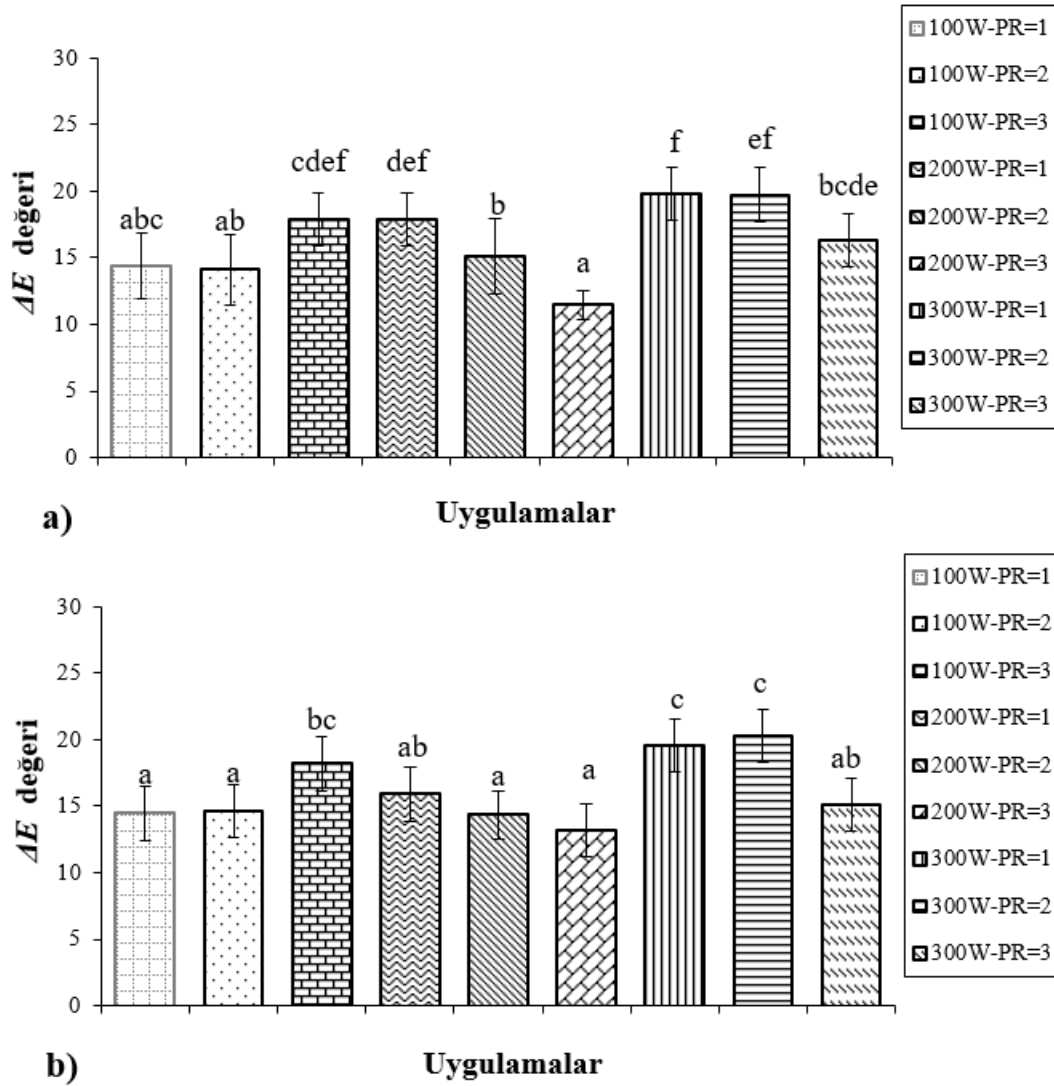
**Şekil 6:** Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen C değerleri

Şekil 7a ve b incelendiğinde, Hue açısının ( $\alpha^\circ$ ) hesaplamalarına göre, her iki yöntemde de açı değerleri farklı olmasına rağmen, taze ürüne en yakın değerin 200W-KO=3 olduğu, en uzak değerin 100W-KO=3 olduğu bulunmuştur.



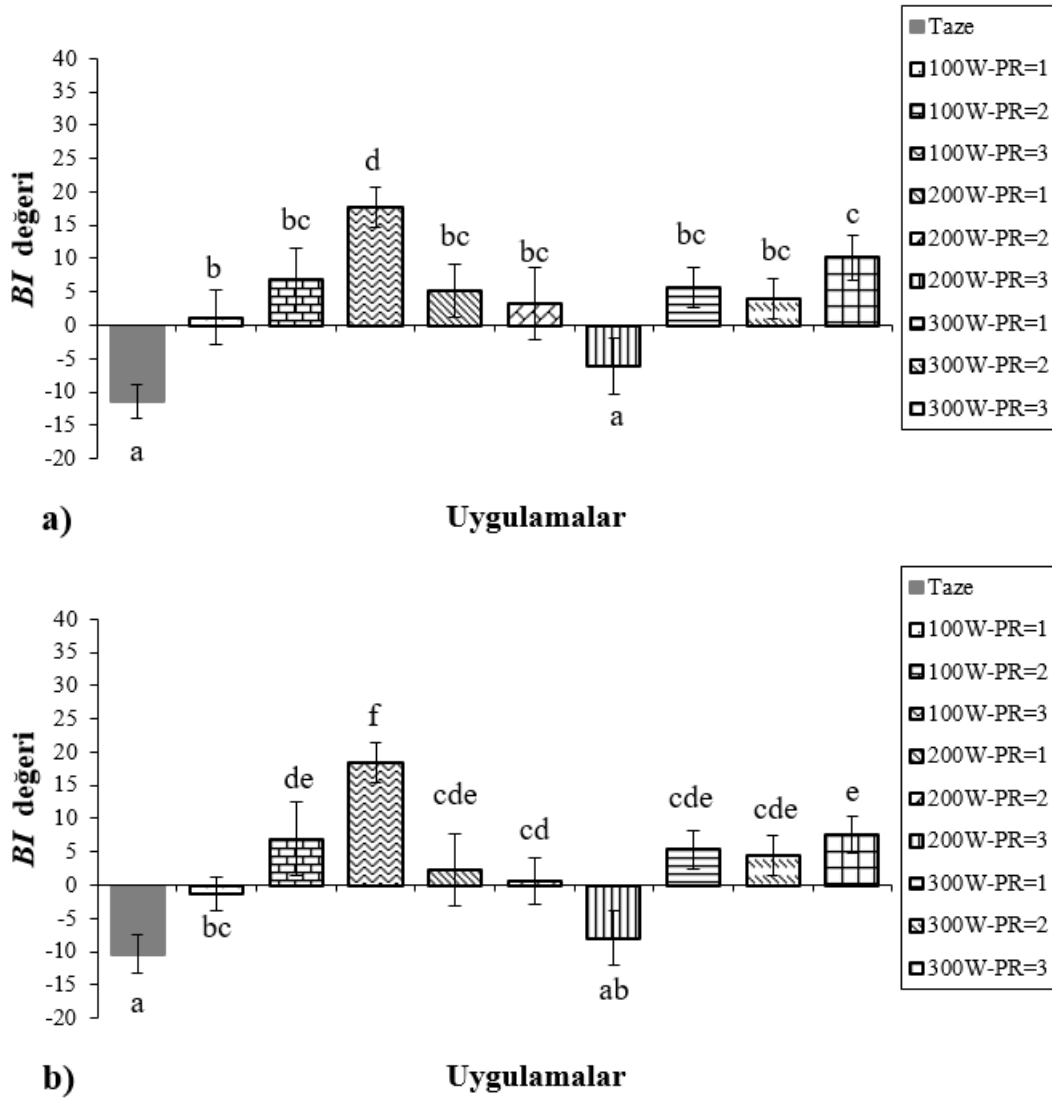
Şekil 7: Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen  $\alpha^\circ$  değerleri

Ürünlerin toplam renk değişimleri ( $\Delta E$ ) Şekil 8a ve b'de gösterilmiştir. Halka maskesiz yöntemde taze ürüne en yakın değer 200W-KO:3 (11.47) en uzak değer ise 300W-KO:1 uygulamasının değeri (19.79) olduğu hesaplanmıştır. Halka maskeli yöntemde, 100W-KO:1, 100W-KO:2, 200W-KO:2 ve 200W-KO:3 uygulamalarının  $\Delta E$  değerlerinin istatistiki açıdan taze ürüne en yakın değerler olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 8:** Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen  $\Delta E$  değerleri

Şekil 9a ve b'de kahverengileşme indeksi değerleri (BI) verilmiştir. En yüksek kahverengileşme oranının 100W-KO:3 (17.59) olduğu bulunmuştur. En düşük değer 200W-KO:3 (-6.17) uygulamasında görülmüştür. Bu değer taze ürüne en yakın değer olarak da gözlenmiştir.



**Şekil 9:** Taze ve farklı mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş elma örneklerinin halka maskesiz (a) ve halka maskeli (b) görüntü işleme tekniği ile elde edilen BI değerleri

Aghilinategh ve ark. (2015) sıcak hava, mikrodalga ve kesikli mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak elma (Reddelicious) üzerinde renk değişimlerini incelemiştir. Bu deneyinde taze elma ürünlerine 200, 400 ve 600W mikrodalga değerleri 2, 4 ve 6 kesiklilik oranını uygulamıştır. Düşük mikrodalga güçlerinde ve düşük kesiklilik oranında diğer örneklere göre daha az renk değişimine neden olduğunu gözlemlemiştir. Bu sonuçlar yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermiştir. Zhao ve ark. (2016) tatlı patatesin kesikli ve sürekli mikrodalga yöntemi ile kurutulması çalışmasında, ürünün  $\Delta E$  değerlerini kesikli yöntemde (700W,  $t_{on} = 5$  s ve  $t_{off} = 30$  s) sürekli yöntemde göre daha yüksek bulmuşlardır. Bu çalışmada 200W ile kurutma koşullarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Taskin ve ark (2019) yaptıkları çalışmada 'Deveci' armut örneklerini kesikli ve

sürekli mikrodalga kurutmuşlardır. Kurutmanın etkisi ile armut örneklerinin  $L^*$  değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar yapılan çalışma ile benzerlik göstermiştir. Mikrodalga yöntemi kullanılan bir başka çalışmada patates örnekleri bantlı sistemde kurutulmuş ve yapılan bu çalışmanın sonuçlarına paralel olarak  $a^*$  değerlerinde taze ürüne göre artış gözlemiştir (Çelen et al., 2015)

## Sonuç

Elma örneklerinin 100W-KO:1, 100W-KO:2, 100W-KO:3, 200W-KO:1, 200W-KO:2, 200W-KO:3, 300W-KO:1, 300W-KO:2 ve 300W-KO:3 mikrodalga kurutma uygulamalarının sonucunda taze ürüne en yakın  $C$  değerinin 100W-KO:3 uygulamasına ait değer olduğu bulunmuştur. Sürekli uygulanan mikrodalga güçlerinde (KO:1), artan mikrodalga değerlerinin  $L^*$  değerlerinin azaldığı görülmüştür. Hesaplamalar sonucunda, toplam renk değişimi en düşük değeri 200W-KO:3 uygulamasında tespit edilmiştir. Bu sonuç yapılan uygulamalar arasında taze ürüne en yakın renk değişim değerini göstermektedir. Taze ürüne en uzak değer ise 300W-KO:1 uygulamasında görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre kurutma sırasında elmadaki renk değişimlerinin görüntü işleme yöntemi ile izlenebilmesi mikrodalga kurutma süreci ve kurutulan elmanın kalitesinin korunması için uygun olduğu düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda görüntü işleme yöntemi ile renk analizinin ticari olarak çoğunlukla kurutulan farklı ürünlerde kullanılmasının araştırılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Aghilinategh, N., Rafiee, S., Gholikhani, A., Hosseinpur, S., Omid, M., Mohtasebi, S.S. and Maleki, N. 2015. A comparative study of dried apple using hot air, intermittent and continuous microwave: evaluation of kinetic parameters and physicochemical quality attributes. *Food Science and Nutrition*, 3(6): 519-526.
- Çelen, İ. H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N. and Önler, E. 2015. Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 5(4): 57-69.
- Dehghannya, J., Hosseinlar, S.H. and Heshmati, M.K. 2018. Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45: 132-151.
- Demir, B., Çetin, N. and Kuş, Z. A. 2016. Görüntü işleme tekniği ile yabancı ot renk özelliklerinin belirlenmesi. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 31(2): 59-64.
- Doymaz, I., Kipçak, A.S. and Piskin, S. 2015. Microwave drying of green bean slices: drying kinetics and physical quality. *Czech Journal of Food Science*, 33(4): 367-376.
- Ergüneş, G. and Tarhan, S. 2006. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering*, 76:446-452.



- Gunasekaran, S. and Yang, H. W. 2007. Optimization of pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering*, 78(4): 1457-1462.
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H. and Maskan, M. 2018. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. *Heat and Mass Transfer*, 54(2): 425-436.
- İlhan, K. 2018. Narın hasat sonrası hastalıklarına sisleme şeklinde bazı dezenfektanların ve fumispore opp uygulamalarının etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1): 113-126.
- Maskan, M. 2001 Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48:169-75.
- Oliphant, T. E. (2007). Python for scientific computing. *Computing in Science and Engineering*, 9(3): 10-20.
- OpenCV (2018). Open source computer vision. Available at: [www.opencv.org](http://www.opencv.org) (Erişim tarihi: 20.08.2018)
- Sharifian, F., Modarres-Motlagh, A., Komarizade, M.H. and Nikbakht, A.M. 2013. Colour change analysis of fig fruit during microwave drying. *International Journal of Food Engineering*, 9(1): 107-114.
- Taskin, O., Polat, A., Izli, N. and Asik, B. B. 2019. Intermittent microwave-vacuum drying effects on pears. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(1): 101-108.
- Van der Walt, S., Schönberger, J.L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J.D., Yager, N., Gouillart, E. and Yu, T. 2014. *Scikit-image: image processing in Python*. *PeerJ*, 2: e453.1-18.
- Zhao, D., Wang, Y., Zhu, Y. and Ni, Y. 2016. Effect of carbonic maceration pre-treatment on the drying behavior and physicochemical compositions of sweet potato dried with intermittent or continuous microwave. *Drying Technology*, 34(13): 1604-1612.

