



## The Effects of Microwave and Thermosonication Applications on the Quality in The Pasteurization of Orange Juice

Hamza Bozkır<sup>1,a,\*</sup>, Ahsen Rayman Ergün<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Processing, Pamukova Vocational School, Sakarya University of Applied Sciences, 54900 Pamukova/Sakarya, Turkey

<sup>2</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, 35040 Bornova/Izmir, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 12/08/2020 Accepted : 26/11/2020</p> <p><i>Keywords:</i> Orange juice Pasteurization Thermosonication Microwave Pectin methylesterase enzyme</p>	<p>The aim of the study was pasteurization of orange juices using microwave, thermosonication and traditional methods and comparing the quality properties. In this study thermosonication, microwave (540, 720, 900W), and traditional pasteurization methods were used for pasteurization of orange juice at 85°C. Pectin methylesterase enzyme inactivation and Vitamin C, colour, total phenolic content, total carotenoid content were measured. It was determined that the processing times of orange juices pasteurized by traditional, thermosonication and microwave were 180, 120, and 60-85 s, respectively. The highest pectin methylesterase enzyme inactivation (%95.64) was found after the microwave pasteurization at 900 W. The loss was found in the total phenolic content of orange juice was 6.15% by thermosonication process, whereas this loss was 16.11% by traditional method compared to fresh orange juice. The total colour difference was found the lowest in thermosonication application with a value of 7.98, and the highest vitamin C content (52.52 mg/100 mL) was detected in the microwave pasteurization group of 540 W.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(12): 2612-2618, 2020

## Portakal Suyunun Pastörizasyonunda Mikrodalga ve Termosonikasyon Uygulamalarının Kalite Üzerine Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 12/08/2020 Kabul : 26/11/2020</p> <p><i>Anahtar Kelimeler:</i> Portakal suyu Pastörizasyon Termosonikasyon Mikrodalga Pektin metil esteraz</p>	<p>Bu çalışmanın amacı, mikrodalga, termosonikasyon ve geleneksel olmak üzere üç farklı yöntemle portakal sularının pastörize edilmesi ve kalite özelliklerinin kıyaslanmasıdır. Bu çalışmada termosonikasyon, mikrodalga (540, 720, 900W) ve geleneksel yöntemle aynı sıcaklıkta (85°C) pastörize edilen taze sıkılmış portakal sularında pektin metil esteraz enzim inaktivasyonu incelenmiş ve C vitamini, renk değerleri, toplam fenolik madde ve toplam karotenoid miktarları ölçülmüştür. Geleneksel, termosonikasyon ve mikrodalga ile pastörize edilen portakal sularının işlem süreleri sırasıyla 180, 120 ve 60-85 s olarak tespit edilmiştir. Pektin metil esteraz enziminin aktivasyonu en fazla (%95,64) 900 W gücünde mikrodalga uygulamasında saptanmıştır. Toplam fenolik madde içeriğindeki kayıp taze portakal suyuna kıyasla termosonikasyon işlemi ile %6,15 iken, geleneksel yöntemde bu kayıp %16,11 olarak bulunmuştur. Toplam renk farkı 7,98 değeri ile en düşük termosonikasyon uygulamasında bulunmuş, en yüksek C vitamini içeriği (52,52 mg/100 mL) ise 540 W gücünde mikrodalga uygulaması ile pastörize edilen örneklerde saptanmıştır.</p>

<sup>a</sup> [bozkirhamza@gmail.com](mailto:bozkirhamza@gmail.com)

<sup>id</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8868-697X>

<sup>b</sup> [ahsenrayman@gmail.com](mailto:ahsenrayman@gmail.com)

<sup>id</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0943-1950>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Giriş

Ultras ses işlemi gıda endüstrisinde dondurma, dilimleme, kurutma, çözündürme, renk açma, sterilizasyon, ekstraksiyon gibi birçok işleme uygulanabilmektedir (Ergün ark., 2013). Gıda işleme için ultras ses kullanmanın avantajları daha etkili karıştırma ve mikro karıştırma, daha hızlı enerji ve kütle transferi, azaltılmış termal ve konsantrasyon gradyanları, düşük sıcaklık, seçici ekstraksiyon, azaltılmış ekipman boyutu, ekstraksiyon kontrolüne daha hızlı yanıt, daha kısa süreli işlem, artan üretim ve proses adımlarının ortadan kaldırılması şeklinde sayılabilmektedir (Chemat ark., 2011).

Sonikasyon işlemi tek başına veya ısı uygulaması ile kombine olarak uygulanmakta ve patojen mikroorganizmalar üzerine etkili olduğu bilinmektedir (Salleh-Mack ve Roberts, 2007). Isı ile birlikte kullanıldığı zaman termosonikasyon olarak adlandırılmakta bu durumda enzimler üzerine de inaktive edici özellik göstermektedir (Baltacıoğlu ark., 2017; Aguilar ark., 2017). Sonikasyon işleminin oluşturduğu kaviteasyonun hidrojen bağlarını kırdığı, proteinlerin ve enzimlerin polipeptid zincirlerinde Wan der vaals etkileşimleri ile ikincil ve üçüncül yapılarda değişikliklere sebep olduğu böylelikle enzimlerin biyolojik aktivitelerinin kaybolduğu açıklanmıştır (Terefe ark., 2009; Adiamo ark., 2018). Ayrıca termosonikasyon işleminin sağlığa yararlı bileşenler üzerine de etkisinin olduğu saptanmıştır. Örneğin havuç sularında toplam karotenoid, likopen, lutein gibi fonksiyonel bileşiklerde termosonikasyon işlemi ile artış olduğu saptanmıştır (Martinez-Flores ark., 2015). Termosonikasyon işleminin geleneksel ısı işleme kıyasla daha düşük sıcaklıkta daha kısa sürede istenilen inaktivasyonu sağladığı (Abdullah ve Chin 2014), özellikle de C vitamini gibi ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasında etkili olduğu vurgulanmıştır (Abid ark., 2014). Karpuz (Rawson et al., 2011) ve elma (Abid et al., 2014) gibi C vitamini içeriği yüksek olan meyve sularında termosonikasyon ile vitamin kaybının azaldığı belirtilmiştir. Askorbik asidin ısı işlemi ile diğer faktörlere (enzim, metal katalizörlerin varlığı, oksijen pH, ortamdaki şeker ve tuz konsantrasyonu, askorbik asidin dehidroaskorbik aside oranı) kıyasla daha çabuk okside olarak kayıplara uğradığı bilinmektedir. Askorbik asit kaybı sonucunda da meyve sularının özellikle depolama sırasında esmerleşme reaksiyonlarının arttığı belirtilmektedir (Khalil, 2017). Benzer şekilde pektin metil esteraz (PME) enziminin de inaktive edilmemesi durumunda esmerleşme reaksiyonlarına neden olarak renk ve aroma degradasyonu gibi kalite kayıplarına neden olmaktadır. PME, portakal sularında bulanıklık stabilitesine etki eden bir enzim olup, bulanıklık da portakal sularının renk, aroma gibi birçok kalite özelliğinde etkili bir faktördür. Geleneksel ısı işlemler portakal suyunun renk, aroma, biyoaktif bileşen ve besin değerlerinde kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle enzimin inaktivasyonu ısı işlemlerde hedef alınmakta ve pastörizasyon koşullarının belirlenmesinde etkili olmaktadır (Avcam ark., 2016). Domates suyunun 60°C ve 65°C’ de termosonikasyonu ile PME inaktivasyonu sırasıyla %98,5 ve 98,9 olarak bulunmuştur (Wu ark., 2008). Yapılan diğer çalışmalarda da yine domates (Terefe ark., 2009), havuç (Jabbar ark., 2015), üzüm (Aadil ark.,

2015) ve portakal (Koshani ark., 2015) sularında PME inaktivasyonunda bu işlemin etkili olduğu vurgulanmıştır (Anaya-Esparza ark., 2017). Ayrıca mikrodalga tekniğinin de daha kısa sürede enzimi inaktive ettiği bilinmektedir. Portakal sularının pastörizasyonunda Nikdel ark., (2003) mikrodalga ısıtma uygulamasının PME ve mikrobiyal inaktivasyonda geleneksel pastörizasyon yönteminden daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Tajchakavit ve Ramaswamy (1997) mikrodalga ısıtma uygulamasının portakal sularında PME enziminin desimal azalma süresini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 700 W gücünde çalışan ev tipi bir mikrodalga fırını sürekli hale getirerek kullanmışlardır. PME enziminin mikrodalga uygulanmış portakal sularındaki desimal azalma süreleri 38 s (55°C), 12 s (60°C), 4 s (65°C) ve 1,3 s (70°C) olarak bulunmuştur. Geleneksel pastörizasyon işleminde ise PME enziminin desimal azalma süreleri 150 s (60°C) ve 37 s (70°C) olarak belirlenmiş, mikrodalga ısıtma uygulamasının PME inaktivasyonunda daha etkin bir yöntem olduğunu ifade edilmiştir. Mikrodalgada volumetrik ısıtmanın sebebiyle işlem kısa sürmekte böylece enzim daha kısa sürede istenilen inaktivasyon seviyesine ulaşmakta ayrıca fenolik ve flavonoid maddelerde belirgin artışlar sağlanmaktadır (Gerard ve Roberts, 2004).

Bu yöntemlerin bahsedilen avantajlar ile meyve sularında ısı işlem amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır. Askorbik asit, flavanoid, karotenoid ve limonoid gibi birçok biyoaktif bileşenlerce zengin olan portakal suyu tüm dünyada en çok tüketilen meyve suları arasında yer almaktadır (Wahia et al., 2020). Bu çalışmada ise, mikrodalga (3 farklı güç), termosonikasyon ve geleneksel olmak üzere üç farklı yöntemle aynı sıcaklıkta (85°C) pastörize edilen portakal sularında pektin metil esteraz enzim inaktivasyonu irdelenmiş ayrıca kalite özelliklerinden toplam fenolik madde, karotenoid madde, C vitamini içeriklerinin ve renk değerlerinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Literatürde bu üç metodun kıyaslanması üzerine yapılan çalışma bulunmaması ile çalışma özgün değer taşımaktadır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Materyal olarak kullanılan “Valencia” portakal çeşidi Salihli/Manisa bölgesinde faaliyet gösteren Zumdieck Konserve ve Dondurulmuş Gıda Ltd. Şirketinden temin edilmiştir. Analitik saflıkta askorbik asit, gallik asit, Folin-Ciocaltue, NaHCO<sub>3</sub>, okzalik asit, boya çözültüsü (2,6-dichloroindophenol) ve Na tuzu (Merck, Almanya), pektin (Sigma P9135, Almanya) ve NaCl (Riedel de Haen, 13743, Almanya) kullanılmıştır.

### Üretim Yöntemleri

#### Portakal suyu üretimi

Portakal suyu üretimi amacıyla; yıkama ve kabuk soyuma ön işlemlerinden geçirilen portakallar 3 gruba ayrılmıştır. Çalışmada ekstraksiyon işlemi Moulinex (JU5000), meyve ekstraktörü (800 W) ile yürütülmüştür. Portakal suyunun pulp oranlarının %10’un altına düşürülmesi amacıyla 1x1 mm boyutlarındaki eleklerden geçirilerek pulp oranları ayarlanmıştır. Daha sonra taze

sıkılmış portakal suları üç gruba ayrılarak ısıtma işlemi (mikrodalga, termosonikasyon ve pastörizasyon) uygulamaları yapılmıştır.

#### *Mikrodalga pastörizasyon sistemi*

Mikrodalga pastörizasyonu işlemi ARÇELİK MD 595 (2450 Mhz ve 540-900 Watt) markalı cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırının ısıtma ünitesinde 3 m uzunluğunda silikon hortum bulunmaktadır. Portakal suyunun akışı peristaltik pompa (Watson-Marlow 505) ile yapılmıştır. Ön denemeler sonucu belirlenen 40 mL/dak debi ile portakal suyu pastörize edilmiştir. Portakal sularının mikrodalga pastörizasyon işleminde sisteme giriş ve çıkışında bulunan ısıtma eşleri yardımıyla sıcaklıkları ölçülmüştür. Mikrodalga sisteminde 540W-85 s, 720 W-74 s ve 900 W-60 s koşullarında çalışılmıştır. Sistemden çıkış sıcaklıkları 85°C olarak belirlenmiştir.

#### *Termosonikasyon pastörizasyon sistemi*

Termosonikasyon (TS) pastörizasyon işlemi CleanEx-N 401 (35 kHz ve 240 Watt) markalı ultrasonik su banyosu içinde spiral cam tüp (holder) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Meyve suyunun akış kontrolü peristaltik pompa (Watson-Marlow 505) ile yapılmıştır. Ön denemeler sonucu belirlenen 40 mL/dak debi ile portakal suyu pastörize edilmiştir. Portakal sularının termosonikasyon işleminde sisteme giriş ve çıkışında bulunan ısıtma eşleri yardımıyla sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu sistemde ise 120 s süre ile 85°C’de işlem gerçekleştirilmiştir.

#### *Geleneksel pastörizasyon sistemi*

Geleneksel pastörizasyon (PAS) işleminde CleanEx-N 401 (35 kHz ve 240 Watt) markalı ultrasonik su banyosunun ultrasesi çalıştırılmadan sadece su banyosu olarak kullanılmıştır. Su banyosu içine spiral cam tüp (holder) bulunmaktadır. Meyve suyunun akış kontrolü peristaltik pompa (Watson-Marlow 505) ile yapılmıştır. Diğer işlemler ile aynı debide (40 mL/dak) portakal suyu pastörize edilmiştir. Yine sisteme giriş ve çıkışında bulunan ısıtma eşleri yardımıyla örneklerin sıcaklıkları ölçülmüştür. Pastörizasyon işlemi 85°C’de 180 s sürede tamamlanmıştır.

### **Analiz Yöntemleri**

#### *Pektinmetil esteraz (PME) aktivitesi*

PME aktivitesi titrimetrik yöntemle 30°C sabit sıcaklıkta örnekler 0,1 N NaOH ile pH değerini 7,5’te sabit tutularak 0,01 N NaOH sarfiyatı hesaplanarak ölçülmüştür. Titrasyon süresine karşılık yapılan 0,01 N NaOH sarfiyat grafiğinde eğrinin başlangıcındaki doğrusal bölgenin eğimi (E) kullanılarak PME aktivitesi formül 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Yemenicioğlu ve Cemeroğlu, 1998).

$$\text{PME Aktivitesi } (\mu\text{mol/dak./mL}) = \frac{N \times F \times E \times 1000}{m} \quad (1)$$

N : Titrasyonda kullanılan NaOH çözeltisinin normalitesi  
F : Titrasyonda kullanılan NaOH çözeltisinin faktörü  
E : Titrasyon grafiğinin doğrusal kısmının eğimi  
m : örnek miktarı, mL

#### *Toplam fenolik madde*

Franke ve arkadaşlarının (2004) tanımladığı spektrofotometrik yöntemle uygun şekilde Varian Cary 50 Scan (Avustralya) model spektrofotometre kullanılarak yürütülmüştür. 1 mL örnek üzerine 5 mL folin (%10’luk;

v/v) ve 15 ml NaHCO<sub>3</sub> (%20’lik; w/v) ilave edilmiş ve 100 mL’ye tamamlandıktan sonra süzölmüş ardından 2 saat karanlık ortamda bekletilmiştir. 760 nm’de absorbans değerleri kaydedilerek standart grafikten absorbansa karşılık gelen konsantrasyon değeri seyreltmeler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

#### *Toplam karotenoid madde*

Portakal sularının toplam karotenoid içeriği spektrofotometrik yöntemle Varian Cary 50 Scan (Avustralya) spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Lee and Castle, 2001). Bu amaçla 15 mL portakal suyu 30 mL ekstraksiyon solventi (hegzan/aseton/etanol; 50/25/25 v/v) ile homojenize edilmiş ve ardından santrifüj (4000 rpm, 5°C, 10 dak) edilmiştir. Sonrasında üst faz alınarak 450 nm’de absorbans değerleri belirlenmiş ve molar absorpsiyon katsayısı (E<sup>%1</sup>; E<sub>1cm</sub> = 2505) dikkate alınarak karotenoid içeriği ppm β-karoten cinsinden hesaplanmıştır (Formül 2).

$$c = \frac{a \cdot E \cdot b}{1000} \quad (2)$$

c : Birim konsantrasyon (w/v)  
a : Absorbans değeri  
E : Molar absorpsiyon katsayısı, 2505  
b : Birim ışık yolu uzunluğu, 1cm

#### *C vitamini*

Hışıl (2004)’te portakal suları için verilen spektrofotometrik yöntemle göre Varian Cary 50 Scan (Avustralya) model spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 10 ml portakal suyu ve 90 ml stabilizan çözeltisiyle karıştırılarak süzölmüştür. 2 ayrı deney tüpünde 1’er mL örnek ve 9 ml saf su ve 9 ml boya çözeltisi ile karıştırılmıştır. Örneğe ait absorbans değerine karşı standart grafikten konsantrasyon belirlenmiş ve bulunan konsantrasyon 10 ile çarpılarak 100 mL meyve suyundaki askorbik asit miktarı belirlenmiştir.

#### *Renk tayini*

Renk özelliklerinin incelenmesinde Hunter Lab CX1633 (VA, A.B.D.) renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Aydınlık değeri olan L\*; “0” siyahtan “100” beyaza kadar değişir. “a\*” değeri, “-a\*” ile yeşil, “+a\*” ile kırmızılığı gösterir. “b\*” değeri ise “-b\*” ile mavi, “+b\*” ile sarılığı göstermektedir. Bu değerler kullanılarak toplam renk farkı (ΔE), kroma değeri (ΔC) ve Hue açısı değerleri kontrol grubu referans kabul edilerek formül 3, 4 ve 5’e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (3)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

#### *İstatistiksel Değerlendirme*

Yüzde 95 güven aralığında Varyans analizinden (ANOVA) yararlanılarak SPSS istatistiksel paket programı ile (SPSS 20.0 for Windows Version; SPSSInc., Chicago, III) istatistiksel analiz yapılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### *Pektin Metil Esterazın İnaktivasyonu*

Portakal sularında PME enziminin mikroorganizmalardan daha yüksek bir dirence sahip olması nedeniyle bu enzimin inaktivasyon derecesi ısıl işlemlerde önem taşımaktadır. Pastörize edilen portakal suyu örneklerine ait PME enzim aktiviteleri ve aktivasyonda ısıl işlem sonrası azalmalar % olarak Çizelge 1'de gösterilmiştir. Hammaddede PME miktarı  $2,435 \pm 0,04$   $\mu\text{mol/dak/mL}$  olarak ölçülmüştür. Geleneksel pastörizasyon, termosonikasyon ve farklı güçlerde mikrodalga yöntemi ile pastörize edilen portakal sularının PME aktivitesindeki azalmalar %95,37-95,74 arasında değişmektedir. Geleneksel pastörizatör sistemi ile pastörize edilen portakal sularının işlem süresi 180 s olarak tespit edilirken termosonikasyon yöntemi ile 120 s sürdüğü bulunmuştur. Farklı güçlerde mikrodalga pastörizatör ile pastörize edilen örneklerde ise işlem süresi 60-85 s olarak bulunmuştur. Hammaddeye kıyasla enzimde en fazla azalma saptanan örnekler 900 W gücünde MD pastörize edilen örneklerdir. Bu sonuç da işlem süresinin kısalarak ürünün daha kısa süreli ısıl işleme maruz bırakılması ile sadece enzim inaktivasyonu açısından değil kalite özelliklerinin de daha iyi korunabileceği sonucunu doğurmaktadır. Yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanılmıştır. Örneğin Rayman ve Baysal (2011) havuç suyuna ısıl uygulamalar sonrasında MD grubunda %100, geleneksel ısıtma grubunda %75,97 PME inaktivasyonunun sağlandığını belirtmiştir. Domates sularında termosonikasyonun  $50^\circ\text{C}$ 'de PME inaktivasyonu için geleneksel ısıl uygulamaya karşın belirgin bir şekilde etkili olduğu ifade edilerek, bu azalma  $60^\circ\text{C}$ 'de ısıl işleme göre 6 kat daha hızlı bir inaktivasyon sağlamıştır. Bu sonuç ultrasesin PME inaktivasyonu üzerine ısıyla birlikte sinerjistik bir etki oluşturduğu kanıtlar niteliktedir (Terefe ark., 2009). Domates sularında yapılan bir başka çalışmada ise 60, 65 ve  $70^\circ\text{C}$ 'de sırasıyla 41,8, 11,7, 4,3 dak sürelerde %90 PME inaktivasyonu sağlanmıştır (Wu ark., 2008).

Agcam ark. (2016) portakal sularında en yüksek inaktivasyon seviyesinin  $85^\circ\text{C}$  de sıcaklık ve ultrases (termosonikasyon) destekli uygulamadan elde edildiğini bildirmiştir. Başka bir çalışmada Dündar ark. (2019) çilek nektarı üretiminde termosonikasyon işleminde artan sıcaklık ile ( $25-75^\circ\text{C}$ ) polifenol oksidaz enzim inaktivasyonun %36,2' den %88,6'ya arttığını bildirmiştir. Konsantre portakal sularının pastörizasyonunda ( $100^\circ\text{C}$ , 7 dak) PME tamamen inaktive olmakta hatta 240 gün depolama sonunda da hiç enzim aktivitesi bulunmamaktadır (Esteve ark., 2005). Paralel sonuçlar bulgulayan Brugos ark. (2018) portakal suyunda mikrodalga ile pastörizasyonun  $60^\circ\text{C}$ 'de %90 PME enzim inaktivasyonu ve  $70^\circ\text{C}$  ise 5 saniye süre ile %94

inaktivasyon derecesine sahip olmasını geleneksel ısıl işleme kıyasla çok üstün bulmuştur. Literatürde farklı içecekler için de benzer sonuçlara rastlanılmıştır. Örneğin, demirhindi suyu ve yeşil içecek karışımı (ananas, guava ve limon suyu) mikrodalga ile pastörize edilmiş ( $90^\circ\text{C}$ , 12s) PME enzimi %100 inaktive olduğu belirtilmiştir (González-Monroy ark., 2018).

### *Portakal Suyunun Kalite Özellikleri*

Mikrodalga, termosonikasyon ve konvansiyonel yöntemler ile pastörize edilen portakal sularına ait kalite özelliklerinden toplam fenolik madde ve toplam karotenoid içeriği, C vitamini ve renk değerleri değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Toplam fenolik madde (TFM) üzerine pastörizasyon işlemlerin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $P < 0,05$ ). Taze portakal suyunun fenolik madde içeriği  $698,51 \pm 3,78$  olarak bulunmuştur. Geleneksel pastörizatör sistemi ile portakal sularının toplam fenolik madde içeriği taze portakal suyuna kıyasla daha fazla azalmıştır.

En yüksek toplam fenolik madde içeriğinin termosonikasyon uygulaması grubunda olduğu belirlenmiştir. Bu sonucun işlem süresinin kısaltması üzerine ısıya duyarlı bu bileşenlerin diğer uygulamalara kıyasla daha az kayba neden olması şeklinde açıklanabilmektedir. Portakal sularında termosonikasyon ( $30$  dak,  $45,6^\circ\text{C}$ ) üzerine yapılan başka bir çalışmada fenolik madde içeriğinin kontrol örneğine kıyasla %37 oranında artış saptanmıştır. Bu sonucu kavıtasyonun etkisi ile hücre zarının zarar görmesi üzerine hücreye bağlı fenolik maddelerin ayrılması olarak açıklamışlardır (Guerrouj ark., 2016). Çilek nektarı üretiminde ılımlı termosonikasyon işlemi ( $50^\circ\text{C}$ ) sonucunda toplam fenolik madde ve toplam monomerik antosiyonin içeriğinde artışlar bulunduğunu bildirmiştir (Dündar ark., 2019). Elma suyu ile çalışılan başka bir çalışmada mikrodalga ile konvansiyonel üretimi kalite özellikleri açısından kıyaslamışlardır (Siguemoto et al. 2019). Taze meyve suyu özelliklerinde daha kısa süren ısıl işlem ile üretim yapılmasının mümkün olduğunu savunmuşlardır. Elma suyunun pastörizasyonda hedef sıcaklığa geleneksel ısıl işleme kıyasla çok hızlı bir şekilde yükseldiği ve böylelikle elma suyunda aroma profilinin daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Fenolik bileşiklerin her iki yöntemde de arttığı saptanmıştır (Siguemoto ark., 2019).

Toplam karotenoid içeriğinin (TKM), geleneksel pastörizatör sistem ile pastörize edilen portakal sularının hammaddeye kıyasla %12,19 azaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga 540 W uygulaması ile taze portakal suyuna kıyasla %8,75 azaldığı saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. İşlemler sonrası PME enzim aktiviteleri ve PME aktivitesindeki azalma

Table 1. PME enzyme activities and Reduction of PME activity after the processes

	Uygulama süresi (s)	PME aktiviteleri ( $\mu\text{mol/dak/ml}$ )	PME aktivitesindeki azalma (%) <sup>*</sup>
PAS	180	$0,1128 \pm 0,03$	95,37
TS	120	$0,1123 \pm 0,01$	95,39
540 W	85	$0,1117 \pm 0,02$	95,41
720 W	74	$0,1086 \pm 0,01$	95,08
900 W	60	$0,1038 \pm 0,01$	95,74

Çizelge 2. Pastörize portakal sularının kalite özellikleri  
Table 2. Quality characteristics of pasteurized orange juices

	Hammadde	PAS	TS	540 W	720 W	900 W
TFM (mg/L)	698,51±3,78	585,99±2,81 <sup>c</sup>	655,54±1,55 <sup>a</sup>	635,13±1,93 <sup>b</sup>	602,18±2,32 <sup>c</sup>	591,56±1,25 <sup>d</sup>
TKM (mg/L)	12,80±0,20	11,24±0,10 <sup>c</sup>	11,48±0,05 <sup>b</sup>	11,68±0,06 <sup>a</sup>	10,02±0,10 <sup>d</sup>	9,69±0,12 <sup>e</sup>
C Vitamini (mg/100 mL)	58,15±0,36	48,46±0,30 <sup>c</sup>	50,91±0,29 <sup>b</sup>	52,52±0,28 <sup>a</sup>	46,85±0,40 <sup>d</sup>	39,13±0,47 <sup>e</sup>
<i>L</i> *	56,95±0,09	63,17±0,13 <sup>a</sup>	60,58±0,08 <sup>d</sup>	61,97±0,01 <sup>b</sup>	62,03±0,02 <sup>b</sup>	61,82±0,09 <sup>c</sup>
<i>a</i> *	10,17±0,01	11,00±0,03 <sup>a</sup>	10,29±0,02 <sup>b</sup>	10,05±0,02 <sup>c</sup>	9,98±0,03 <sup>d</sup>	9,91±0,02 <sup>e</sup>
<i>b</i> *	55,71±0,06	64,69±0,61 <sup>a</sup>	62,81±0,23 <sup>c</sup>	64,73±0,44 <sup>a</sup>	64,19±0,19 <sup>ab</sup>	63,52±0,22 <sup>b</sup>
ΔE		10,96±0,57 <sup>a</sup>	7,98±0,18 <sup>d</sup>	10,33±0,38 <sup>b</sup>	9,89±0,15 <sup>b</sup>	9,21±0,23 <sup>c</sup>
ΔC		9,02±0,61 <sup>a</sup>	7,11±0,23 <sup>c</sup>	9,03±0,44 <sup>a</sup>	8,49±0,19 <sup>ab</sup>	7,82±0,22 <sup>b</sup>
Hue°	79,65±0,02	80,35±0,08 <sup>c</sup>	80,69±0,05 <sup>b</sup>	81,18±0,07 <sup>a</sup>	81,16±0,05 <sup>a</sup>	81,13±0,04 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>Aynı satırdaki farklı harflerle işaretlenen gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir (P<0,05)

Mikroalg gücü değeri arttıkça toplam karotenoid içeriğinde azalmanın da paralel bir şekilde arttığı görülmektedir. Termosonikasyon işlemi uygulanan örneklerde ise kayıp hammaddeye kıyasla %10 değerindedir. Karotenoid maddeleri yine sonikasyon işleminin koruduğu açığa çıkmaktadır. Literatür bu çalışmayı destekler niteliktedir. Örneğin havuç sularında MD pastörizasyon uygulaması ile toplam karotenoid madde kaybının (%15,36) geleneksel pastörizasyona kıyasla azaldığı (%49,42) bulunmuş, bunun da sebebinin mikrodalganın ısıtma işlevinin yanı sıra fonksiyonel maddelerin ürüne geçişini de sağlaması ile açıklamışlardır (Canumir ark., 2002; Gerard ve Roberts 2004). Aynı şekilde Chandrasekaran ark. (2013), derleme çalışmasında mikrodalga ile besin öğelerinin daha iyi korunduğunu öne çıkarmıştır. Benzer şekilde Lee ve Coates (2003), 6,25 ppm toplam karotenoid içeriğinin portakal sularında 90°C'de 30 s ısıtma işlemi sonrasında 5,70 ppm değerine düştüğünü bildirmişlerdir. Portakal suyu ile yapılan başka bir çalışmada 10 dak, 43,4°C sıcaklık ile en yüksek karotenoid madde ( $\alpha$  karoten,  $\beta$  karoten ve lutein) içeriği elde edilmiştir (Guerrouj ark., 2016). Altın çilek meyvesinin püre olarak termosonikasyon işlemi (72°C) ile pastörizasyonu sonucunda toplam karotenoid içeriğinde %15 artış saptanmıştır. Bu artış ultasonikasyona bağlı hücre duvarı ve kromoplastlarda deformasyona bağlı olarak karotenoidleri açığa çıkması olarak açıklanmıştır. Termal pastörizasyonda ise (74°C, 10 dak) %11,5 azalma olduğu saptanmıştır (Etzbach ark., 2019).

Portakal sularında önemli bir besin içeriği olan C vitamini işlemler sonrası kaybı beklenen bir sonuç olmakla beraber en az kaybın MD 540 W uygulamasında olduğu saptanmıştır. Demirdöven ve Baysal (2015), portakal sularında ısıtma işlemler sonrası en yüksek C vitamini kaybını geleneksel pastörizasyon grubunda bulunduğunu elektriksel işlemler ve MD ısıtma sonrasında ise %3 artış saptadığını vurgulamıştır. Ultrases veya termosonikasyon işlemi sonrasında askorbik asit kaybının bulunduğu birçok çalışma tarafından ifade edilmiştir. Taze sıkılmış meyve sularında oksijenin hücreye bağlı olduğu ancak sonikasyon sonrası bu gazın organellerin yapısal bozulması ile dışarı çıktığı ve askorbik asidin aerobik oksidasyon sonucu kayıp olduğu rapor edilmiştir. Artan sonikasyon sıcaklığı ile paralel olarak kayıp oranı da artmaktadır (Aguilar ark., 2017). Bu çalışmaların aksine kontrol örneğine kıyasla 10, 20 ve 30 dak süre ile 43,4°C'de uygulanan ılımlı sonikasyon işleminin C vitamini içeriğinde kontrol örneğine kıyasla askorbik asit

içeriğini arttırdığı saptanmıştır. Bunu da sonikasyon sonrası çözünen oksijenin elimine edilmesi ile açıklamışlardır (Guerrouj ark., 2016). Dündar ark. (2019) çilek nektarı üretiminde termosonikasyon işleminin optimizasyonu üzerine çalışmış ve askorbik asit içeriğinin arttığını saptamıştır. Termosonikasyon sonrası askorbik asit değeri 74,51±4,24 değerinden 161,74±6,48mg/L değerine yükselmiştir.

Renk değerlerine ait sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Aydınlik değerleri ısıtma işlemler sonrasında artış göstermiştir. Kırmızılık (*a*\*) değerinin geleneksel pastörizasyon sonrası arttığı MD işlemi sonrasında ise azaldığı belirlenmiştir. Sarılık değerleri arasında termosonikasyon hariç diğer işlemlerin etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Toplam renk farkı *L*\*, *a*\* ve *b*\* değerlerine bağlı olarak saptanmış ve en az değişimi termosonikasyon sonrası bulunmuştur. Geleneksel pastörizasyon yöntemi ile pastörize edilen örneklerin kroma değerleri ile 540 W ve 720 W MD gücü uygulaması sonrasında bulunan kroma değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak termosonikasyon işlemi sonrasında bu değer geleneksel pastörizasyona kıyasla anlamlı bulunmuştur (P<0,05). Portakal sularında önem taşıyan Hue açısı esmerleşme göstergesi olup MD işleminde gücün artması bu değerde istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Aghajanzadeh ve Ziaifar, (2018), çalışmasında rengin askorbik asit degradasyonuna bağlı olarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucunda ısıya duyarlı bu vitaminin kaybı ile bozulduğunu bu nedenle fizikokimyasal özelliklerin gıdanın kabul edilebilirliğini azalttığını vurgulamışlardır. Genellikle konvansiyonel ısıtma işlemi uzun ısıtma süresi ile vitamin içeriği, renk ve reolojik özellikler gibi kalite parametrelerinde kayba yol açmaktadır (Ling ark., 2015). Bu nedenle de son yıllarda araştırmacılar kaliteyi arttırmaya yönelik yeni kombine tekniklerin uygulamasına yönelmişlerdir. Sürekli mikrodalga sistem ile pastörize edilen paketli asitlendirilmiş brokolide yeşil rengin hammaddeye oranla arttığı, ayrıca kırmızı biberlerde aynı işlemin renkte işlem öncesine kıyasla önemli bir fark oluşturmadığı ifade edilmiştir (Koskiniemi ark., 2013). Altın çilek püresinde termosonikasyon işlemi ile pastörizasyon sonucunda renk değerlerinin korunduğu örnekte işlem sonrası kararmaya neden olabilecek renk değişimlerine rastlanılmadığı da bildirilmiştir (Etzbach ark., 2019). Havuçların mikrodalga ile pastörize edildiği bir çalışmada ise benzer şekilde toplam renk farkının geleneksel işleme kıyasla daha düşük

olarak saptandığı ve bu sonucun da mikrodalga ile daha kısa süreli işlem sonucu mümkün olduğu rapor edilmiştir (Peng ark., 2017). Demir hindi suyu ve yeşil içecek karışımı (ananas, guava ve limon suyu) mikrodalga ile pastörize (90°C, 12s) edilmiştir. Yeşil içecek karışımında mikrodalga sonrası parlaklık ve yeşil renkte belirgin artışlar saptanmıştır. Demir hindi suyunda ise işlemler sonrası istatistiksel olarak anlamlı bir renk farkı saptanmamıştır. Yazarlar mikrodalga ile pembe, sarı ve kahverengi renlerdeki içeceklerde mikrodalga rengi koruduğu hatta iyileştirdiğini vurgulamışlardır (González-Monroy ark., 2018).

## Sonuç

Bu çalışma portakal sularında geleneksel ısı işlem ile pastörizasyona alternatif olarak mikrodalga ve termosonikasyon uygulamalarının da kullanılabileceğini göstermektedir. Geleneksel pastörizasyona kıyasla daha kısa sürelerde PME enzim inaktivasyonuna (%95) ulaşılmıştır. Toplam fenolik ve karotenoid madde içeriklerinin hammaddeye kıyasla en fazla termosonikasyon işlemi ile korunduğu saptanmıştır. C vitamini içeriği ise mikrodalga 540 W güç uygulaması en yüksek bulunmuştur. Sarılık değerinde mikrodalga gücünün istatistiksel olarak önemli bir fark yaratmadığı sonucuna varılmıştır. Depolama süresince etkilerin incelendiği ileriki çalışmaların literatür için yararlı olacağı öngörülmektedir.

## Kaynaklar

- Aadil RM, Zeng XA, Han Z, Sun DW. 2013. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141: 3201-3206.
- Abdullah N, Chin NL. 2014. Application of thermosonication treatment in processing and production of high quality and safe-to-drink fruit juices. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2: 320-327.
- Abid M, Jabbar S, Hu B, Hashim MM, Wu T, Lei S, Khan MA, Zeng X. 2014. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3): 984-990.
- Adiamo OQ, Ghafoor K, Al-Juhaimi, F, Babiker EE, Mohamed Ahmed, I.A. 2018. Thermosonication process for optimal functional properties in carrot juice containing orange peel and pulp extracts. *Food Chemistry*, 245: 79-88.
- Ağcam E, Polat S, Akyıldız A, Fenercioglu H. 2016. Inactivation kinetics of pectin methyl esterase under thermosonication and thermal pasteurisation process conditions in orange juice. *Akademik Gıda*, 14(2): 85-91.
- Aghajanzadeh S, Ziaifar AM. 2018. A review of pectin methyl esterase inactivation in citrus juice during pasteurization. *Trends Food Science Technology*, 71: 1-12.
- Aguilar K, Garvín A, Ibarz A, Augusto PED. 2017. Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37: 375-381.
- Anaya-Esparza LM, Velázquez-Estrada RM, Roig AX, García-Galindo HS, Sayago-Ayerdi SG, Montalvo-González E. 2017. Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. *Trends Food Science Technology*, 61: 26-37.
- Baltacıoğlu H, Bayındırlı A, Severcan F. 2017. Secondary structure and conformational change of mushroom polyphenol oxidase during thermosonication treatment by using FTIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 214: 507-514.
- Brugos AFO, Gut JAW, Tadini CC. 2018. Inactivation kinetics of pectin methyl esterase in the microwave-assisted pasteurization of orange juice. *LWT-Food Science Technology*, 97: 603-609.
- Canumir JA, Celis JE, de Brujin J, Vidal LV. 2002. Pasteurisation of apple juice by using microwaves. *LWT-Food Science Technology*, 35:389-92.
- Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. 2013. Microwave food processing-A review. *Food Research International*, 52, (1), 243-261.
- Chemat F, Muhammed ZH, Khan K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4): 813-835.
- Demirdöven A, Baysal T. 2015. Effects of Electrical Pre-Treatment and Alternative Heat Treatment Applications on Orange Juice Production and Storage. *Food Bioprod Process*, 94: 443-452.
- Dündar B, Ağcam E, Akyıldız A. 2018. Optimization of Thermosonication Conditions for Cloudy Strawberry Nectar with Using of Critical Quality Parameters. *Food Chemistry*, 276: 494-502.
- Ergün AR, Baysal T, Bozkır H. 2013. Ultrases yöntemiyle karotenoidlerin ekstraksiyonu. *GIDA*, 38 (4): 239-246.
- Esteve M, Frigola A, Rodrigo C, Rodrigo D. 2005. Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. *Food and Chemical Toxicology*, 43: 1413-1422.
- Etzbach L, Pfeiffer A, Schieber A, Weber F. 2019. Effects of thermal pasteurization and ultrasound treatment on the peroxidase activity, carotenoid composition, and physicochemical properties of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) puree. *LWT-Food Science Technology*, 100: 69-74.
- Franke SIR, Chless K, Silveria JD, Robensam G. 2004. Study of antioksidant and mutajenic activity of different orange juice. *Food Chemistry*, 88: 45-55.
- Gerard KA, Roberts JS. 2004. Microwave heating of apple mash to improve juice yield and quality. *LWT-Food Science Technology*, 37(5): 551-557.
- González-Monroy AD, Rodríguez-Hernández G, Ozuna C, Sosa-Morales ME. 2018. Microwave-assisted pasteurization of beverages (tamarind and green) and their quality during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49: 51-57.
- Guerrouj K, Sánchez-Rubio M, Taboada-Rodríguez A, Cava-Roda RM, Marín-Iniesta F. 2016. Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. *Food and Bioprocesses*, 99: 20-28.
- Hışıl Y. 2004. Enstrümental Gıda Analizleri Laboratuar Deneyleri, Ege Üni. Müh. Fak. Ders Kitapları Yayın No: 45: İzmir. 205-235.
- Khalil TA. 2017. Nonenzymatic browning kinetic reaction and ascorbic acid degradation of heat-treated orange juice during storage. *Mesopotamia Journal of Agriculture*. 45(1): 319-328.
- Koskineemi CB, Truong VD, McFeeters RF, Simunovic J. 2013. Quality evaluation of packaged acidified vegetables subjected to continuous microwave pasteurization. *LWT-Food Sci Technol*, 54(1): 157-164.
- Lee HS, Coates GA. 2003. Effect of thermal pasteurization on valencia orange juice color and pigments. *LWT- Food Science Technology*, 36: 153-156.
- Lee HS, Castle WS. 2001. Seasonal changes of carotenoid pigments and color in hamlin, early gold and bundd blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 877-882.
- Ling B, Tang J, Kong F, Mitcham E, Wang S. 2015. Kinetics of food quality changes during thermal processing: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 8: 343-358.

- Martinez-Flores HE, Garnica-Romo MG, Bermúdez-Aguirre D, Pokhrel PR, Barbosa-Cánovas GV. 2015. Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage. *Food Chemistry*, 172: 650–656.
- Nikdel S, Chen CS, Parish ME, MacKellar DG, Friedrich LM. 1993. Pasteurization of citrus juice with microwave energy in a continuous-flow unit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11): 2116-2119.
- Peng J, Tang J, Luan D, Liu F, Tang Z, Li F, Zhang W. 2017. Microwave pasteurization of pre-packaged carrots. *Journal of Food Engineering*, 202: 56-64.
- Koshani R, Ziaee E, Niakousari M, Golmakani MT. 2015. Optimization of thermal and thermosonication treatments on pectin methyl esterase inactivation of sour orange (*Citrus aurantium*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 567–573.
- Rawson A, Tiwari BK, Patras A, Brunton N, Brennan C, Cullen PJ, O'Donnell C. 2011. Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice. *Food Research International*, 44(5): 1168–1173.
- Rayman A, Baysal T. 2011. Yield and Quality Effects of Electroporation and Microwave Applications on Carrot Juice Production and Storage. *Journal of Food Science*, 76 (4): 598-605.
- Jabbar S, Abid M, Hu B, Hashim MM, Lei S, Wu T, Zeng X. 2015. Exploring the potential of thermosonication in carrot juice processing. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 7002–7013.
- Salleh-Sack SZ, Roberts JS. 2007. Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14,3: 323-32.
- Siguemoto ÉS, Purgatto E, Hassimotto NMA, Gut JAW. 2019. Comparative evaluation of flavour and nutritional quality after conventional and microwave-assisted pasteurization of cloudy apple juice. *LWT- Food Science Technology*, 111: 853-860.
- Tajchakavit S, Ramaswamy HS. 1997. Thermal vs microwave inactivation kinetics of pectin methylesterase in orange juice under batch mode heating conditions. *LWT- Food Science Technology*, 30(1): 85-93.
- Terefe NS, Gamage M, Vilku K, Simons L, Mawson R, Versteeg C. 2009. The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. *Food Chemistry*, 117(1): 20–27.
- Wahia H, Zhou C, Mustapha AT, Amanor-Atiemoh R, Mo L, Fakayode OA, Ma H. 2020. Storage effects on the quality quartet of orange juice submitted to moderate thermosonication: Predictive modeling and odor fingerprinting approach. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64: 104982.
- Wu J, Gamage TV, Vilku KS, Simons LK, Mawson R. 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2): 186–195.
- Yemenicioğlu A, Cemeroğlu B. 1998. Isı uygulamasında indikatör olarak kullanılan bazı enzimlerin aktivitelerinin belirlenmesi. II. Meyve suyu ve pulpu üretiminde kullanılan indikatör enzimler. *Gıda Teknolojisi*, 3(9): 76-80.