

## Ozon kullanımının üzüm pekmezinin HMF miktarına etkisi

Gökhan Durmaz <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya  
\*gokhan.durmaz@inonu.edu.tr (Sorumlu Yazar)

### Özet

Bu çalışmada ozon gazı ile muamele edilen üzüm şıralarından elde edilen pekmezlerin HMF düzeyi, pH ve duyuşsal özellikleri incelenmiştir. Ozon jeneratöründen elde edilen yüksek saflıktaki ozon gazı, özel bir aparat kullanılarak 15 brikse ayarlanmış üzüm şırasına farklı sürelerde (0, 10, 20, 30, 40 ve 50 dk) ve sıcaklıklarda (10, 25 ve 35 °C) verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ozon uygulamasının üzüm şırasının pH ve HMF düzeyinde ciddi bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Sıcaklığın HMF ve pH değerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Ozonlanmış üzüm şıralarından elde edilen pekmezler duyuşsal analize tabi tutulmuş ve kısa süre (10-20 dk) ozonlanmış şıradan elde edilen pekmezin, ozonlanmamış pekmeze benzer duyuşsal özellikler gösterdiği, ancak ileri düzey ozonlanmış pekmezde yabancı bir tat oluştuğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, düşük-orta düzeyde ozonlama ile pekmez üretiminde ciddi bir problem olan yüksek HMF düzeyinin, duyuşsal özelliklerde belirgin bir değişiklik olmadan azaltılabileceği görülmüştür. Anahtar kelimeler: Aşılı tüplü asma fidanı, köklendirme ortamı, fidan randımanı.

**Anahtar kelimeler:** Üzüm, Pekmez, HMF, Ozon

### Usage of Ozone for Removal of HMF in Grape Pekmez

### Abstract

In this study, HMF concentration, pH and sensorial properties of pekmez samples obtained from ozone treated grape juice was investigated. High purity ozone produced from a high energy ozone generator was purged into 15 Brix grape juice by using a special apparatus at different temperatures (0, 10, 20, 30, 40 and 50 min) and periods (10, 25 and 35 °C). The results have shown that ozone treatment caused a clear decrease in HMF and pH values. On the other hand, the effect of temperature on HMF and pH was found to be statistically insignificant. Pekmez samples obtained from ozonated grape juices were subjected to sensorial tests and it was observed that mild ozonated (10-20 min) samples had similar sensorial properties with the control sample whereas a foreign taste has appeared in further ozonated samples. In the light of the results, it was elucidated that with a low or mild ozonation, HMF, which is a serious problem for pekmez production, can be mitigated without causing a notable sensorial alteration.

**Keywords:** Grape, Pekmez, HMF, Ozone

### 1. Giriş

Üzüm pekmezi ülkemizde gerek evsel, gerekse de endüstriyel boyutta üretilen önemli bir geleneksel gıdadır. Birçok meyveden elde edilebilen pekmez, ülkemizde en çok üzümünden üretilmektedir. Türk Gıda Kodeksinde üzüm pekmezi; "Fermente olmamış taze üzüm veya kuru üzüm ekstraktının uygun yöntemlerle asitliğinin azaltılıp durultulmasından sonra tekniğine uygun olarak vakum altında veya açıkta koyulaştırılması ile elde edilen kıvamlı ürün" olarak tanımlanmaktadır (Türk Gıda Kodeksi, Tebliğ No: 2017/8). Endüstriyel pekmez üretiminde kuru üzüm kullanımı birçok bakımdan daha avantajlıdır. Yaş üzümün hammadde olarak sadece kısa bir süre temin edilebilir olması ve uzun süre depolanmasının çok yüksek maliyetli olması bunlardan en önemlileridir.

Kurutma ve depolama sırasında üzüm meyvesinde diğer birçok meyvede olduğu gibi HMF (5-

hidroksimetil furfural) adı verilen bileşik ortaya çıkmaktadır (Palma ve Taylor, 2001). Meyvenin gerek şeker gerekse de organik asitlerce zengin olması HMF oluşumu için uygun bir zemin hazırlamaktadır. Nitekim şekerler HMF'nin öncülü olarak davranmaktadır, organik asitler de ortam pH'sını düşürerek HMF oluşumunu hızlandırmaktadırlar. Ayrıca pekmez işleme sırasında uygulanan ısıl işlemler de HMF oluşumuna katkı sağlamak ve nihai ürün olan pekmezde zaman zaman yüksek düzeylerde HMF oluşabilmektedir (Bozkurt vd., 1999).

HMF potansiyel olarak toksik olduğu düşünülen bir bileşik olduğu için gıdalarda belli bir düzeyin üzerinde bulunması istenmemektedir (Abraham vd., 2011). Türk Gıda kodeksi üzüm pekmezi tebliği, pekmezde bulunabilecek HMF miktarını maksimum 75 mg/kg olarak sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla daha düşük HMF oluşumuna olanak verecek yeni pekmez üretim

süreçleri üzerine araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Ozon (O<sub>3</sub>) oksijenin kararsız bir bileşiği olup yarılanma ömrü oldukça azdır. Bundan dolayı ozon, bulunduğu ortamda hızla moleküler oksijene dönüşmekte ve yakınındaki molekülleri yükseltmektedir. Bu özelliğinden dolayı ozon önemli bir dezenfektandır ve çok düşük derişimlerde bile mikroorganizmaları öldürme yeteneğine sahiptir (Guzel-Seydim vd., 2004). Ozonlama işlemi içme sularının dezenfeksiyonu, meyve-sebzelerin mikroorganizma yükünün azaltılması gibi birçok gıda prosesinde güvenle uygulanan bir yöntemdir (Karaca ve Velioglu, 2007; Aydınoglu vd., 2017). Üzüm suyunda ozon uygulamasının antosiyanin ve renk düzeylerine etkisi çalışılmış ve ozonlama ile her iki parametrede de önemli düzeyde düşüş olduğu görülmüştür (Tiwari vd., 2009). Ancak yaptığımız literatür taraması sonucunda, ozon uygulamasının üzüm suyunda veya herhangi başka bir meyve-sebze suyunda HMF miktarını düşürmek amacıyla yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma, farklı sıcaklık ve sürelerde üzüm şirasına verilecek ozon gazının HMF miktarına etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan HMF (%99) ve asetonitril (%98, HPLC saflıkta) Sigma-Aldrich (ABD) firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer kimyasal ve solventler analitik saflıktadır. Çalışmalarda kullanılan ultra saf su, Millipore Direct-Q (Almanya) sisteminden elde edilmiştir.

### 2.2. Şıra eldesi

Bu amaçla Malatya ilinde endüstriyel boyutta pekmez üretimi yapan Şitoğlu firmasının altyapısı kullanılmıştır. Bu proseste kuru üzümler (yaklaşık 1 ton) çelik kazanlara alınmış ve üzerine yaklaşık iki katı ağırlıkta su eklenmiş ve 3 saat oda sıcaklığında infüzyona bırakılmıştır. Daha sonra karışım Bücher tipi pres makinasından sıkılarak ham şıra elde edilmiştir. Bu şıra, borulu bir ısı değiştiricide 82 °C'de 30 s pastörize edildikten sonra pekmez toprağı kullanılarak pH değeri 5.5'e yükseltilmiştir. Daha sonra jelatin-bentonit uygulamasıyla durultulan şıra, tambur filtreden süzölmüştür. Elde edilen şiranın nihai briks değeri 15'den yüksekse, su ile 15 briks ayarlanmış ve ozonlama işlemine alınmıştır.

### 2.3. Ozon uygulaması

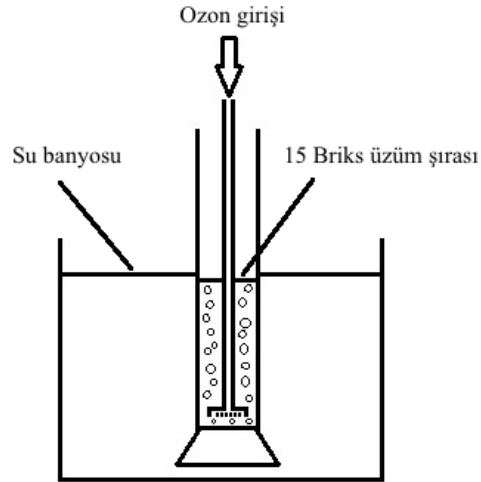
Çalışmada havanın oksijeninden yüksek saflıkta ozon gazı üreten yüksek enerjili bir ozon jeneratörü kullanılmıştır (Kuarklab, Türkiye). Ozon uygulaması 1 L hacimli mezür şeklindeki özel bir cam düzenekte yapılmıştır (Şekil 1). Sisteme verilen ozon gazının derişimi %95 ve debisi 200 ml/dk olarak ayarlanmıştır. Gaz akışı, cam düzeneğin altından delikli bir disk yardımıyla verilererek bir türbülans oluşması ve gazın sıvı ile temasının daha etkin bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Farklı sıcaklıklar (10, 25 ve 35 °C) için cam düzeneğe, istenen sıcaklığa ayarlanmış su banyosuna yerleştirilmiş ve istenen sıcaklığa geldikten sonra ozon jeneratörü çalıştırılarak şiranın içerisine ozon gazı verilmiştir. Başlangıçta ve her 10 dk'da bir örnek alınarak ozonlama işlemi toplam 50 dk sürdürölmüştür. Alınan örnekler hemen analizlenmeyecekse plastik tüpler içinde -20 °C'de kullanılıncaya kadar saklanmıştır.

2.4. Pekmez eldesi

Ozonlanmış ve ozonlanmamış kontrol şirası laboratuvar tipi döner evaporatörde (Buchi, Almanya) 80 °C'de 20 mbar vakum altında 70 Briks kadar konsantrasyon edilerek pekmez örnekleri elde edilmiştir. Pekmez örnekleri cam kavanozlara sıcak olarak doldurularak kullanılıncaya kadar 4 °C'de saklanmıştır.

### 2.5. HMF analizi

Pekmez örnekleri HMF analizi için ultra saf su kullanı-



Şekil 1. Üzüm şirasının ozonlanması için tasarlanmış cam düzeneğin tasarımı.

Figure 1. The glass apparatus designed for ozonation of grape juice

arak 1:50 oranında seyreltilmiş, daha sonra 45 mm filtreden süzölmüştür. Bu analizde HPLC cihazı ve foto diyod array dedektör kullanılmıştır (Shimadzu Prominence, Japonya). Mobil faz olarak %5 asetonitril içeren ultra saf su kullanılmıştır. Çalışmada Phenomenex C18 (250'4.6) kolon kullanılmış, enjeksiyon hacmi 20 µL, akış hızı 1 ml/dk izokratik akış olarak belirlenmiş ve kolon sıcaklığı 30 °C'ye ayarlanmıştır. Pikler 284

nm'de takip edilmiş ve HMF'nin alıkonma süresi ve konsantrasyonu, dış standart olarak analitik saflıktaki HMF kullanılarak belirlenmiştir.

## 2.6. pH analizi

Pekmez örnekleri distile su ile 1:1 oranında seyreltilmiş ve pH ölçümü masa tipi pH'metre (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak yapılmıştır. pH'metrenin kalibrasyonu aynı firma tarafından temin edilen 4, 7 ve 11 pH tamponlar kullanılarak yapılmıştır.

## 2.7. Duyusal analizler

Pekmez örneklerinin; görünüş, renk, kıvam, koku ve tat özellikleri 20-40 yaşlarında sigara içmeyen ve herhangi bir sağlık problemi bulunmayan panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Her bir özellik 10 üzerinden puanlanmış ve panelistlerin tadım aralarında nötrleme amacıyla su ve şekersiz/tuzsuz kraker almaları sağlanmıştır. Toplam sekiz panelistin verdiği puanların ortalamaları sonuç olarak verilmiştir.

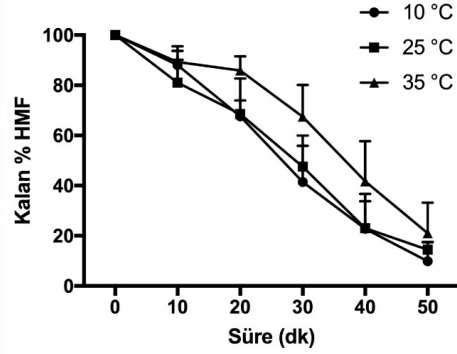
## 2.8. İstatistiksel analizler

Tüm çalışmalar en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ortalama sonuçlar verilmiştir. Ortalamalar birbiri ile GraphPad Prism 7.0 paket programında tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey testi kullanılarak karşılaştırılmıştır (P<0.05).

## 3. Bulgular ve tartışma

Ozonlama işleminin içme suyu hariç diğer gıda maddelerinde uygulanması ile ilgili Türkiye'de herhangi bir yasal mevzuat bulunmamakla birlikte, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ozonun gıdalara direkt olarak katılmasına izin vermiştir (Rawson vd., 2011). Ayrıca ozonun gıdalarda herhangi bir kalıntı bırakmadığı bundan dolayı da ozonlama işleminin güvenli bir yöntem olduğu bilinmektedir (Wang vd., 2016). Bu çalışmada, ozonlama işleminin en yaygın uygulama amacı olan dezenfeksiyondan farklı bir amaçla kullanılması üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, pekmeze işlenecek sıraya ozon gazı verilmesi yoluyla hammaddeden gelen HMF miktarının azaltılmasına çalışılmıştır. Özellikle erik ve üzüm gibi yüksek asitli meyvelerin kurutulması sırasında ciddi miktarlarda HMF oluşabildiği bilinmektedir (Murkovic ve Pichler, 2006). Kuru üzümde pekmez üretimi sırasında hammaddede bulunan HMF'nin nihai üründe bulunacak HMF miktarına ciddi bir katkısı olmaktadır.

Yaptığımız çalışmalarda 4 farklı hammaddeden işletme koşullarında soğuk maserasyon yoluyla elde edilen üzüm şıraları 15 brikse ayarlanmış ve yapılan HMF analizinde örneklerin 8-21 mg/L arasında değişen oranlarda HMF içerdiği görülmüştür. Ozonlama işlemi ile bu HMF miktarında istatistiksel olarak anlamlı düzeylerde düşüş gözlenmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, 50 dk'lık ozonlama işlemiyle başlangıç HMF düzeyinin

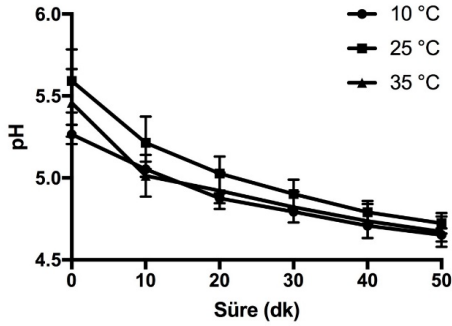


**Şekil 2.** Farklı sıcaklık ve sürelerde ozon gazı verilen üzüm şıralarında HMF konsantrasyonunun değişimi. **Figure 2.** The changes in HMF concentration of grape juices treated with ozone at different temperatures and durations.

%10'una kadar düşürülebilmştir. Üzüm suyunda veya herhangi bir meyve suyunda HMF'nin ozon kullanılarak azaltılması konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma bu alanda bir ilk olması sebebiyle büyük önem taşımaktadır.

Gıdalarda HMF'nin ortaya çıkışı, ya Maillard ya da karamelizasyon reaksiyonları yoluyla olmaktadır. Her iki reaksiyonun yavaşlatılması dolayısıyla da HMF gibi bileşiklerin miktarının azaltılması için genellikle şeker bileşiminin veya proses sıcaklığının değiştirilmesi yoluna gidilmektedir (Capuano ve Fogliano, 2011). Ancak pekmez gibi gıdalarda bileşimi değiştirmek mümkün değildir. Bu noktada kuru üzüm yerine yaş üzüm kullanılması bir çözüm gibi görünse de, endüstriyel pekmez üretiminde yaş üzümün kullanımı oldukça sınırlıdır. Üretim tekniği olarak da yüksek sıcaklıkta vakum altında evaporasyon yerine dondurarak konsantrasyon, süblimasyonla konsantrasyon veya membran filtrasyon gibi tekniklerin kullanılabilmesi mümkündür ancak bu metotlar ciddi bir işletme yatırımı gerektirmektedir. Ayrıca bu yöntemlerle pekmezde istenen konsantrasyon olan 70 brikse ulaşmak her zaman mümkün değildir ve ek olarak evaporasyonun uygulanması gerekebilmektedir (Jiao vd., 2004). Meyve sularında HMF'yi azaltmanın bir diğer yolu da adsorbsiyon tekniğini kullanmaktır. Reçineler gibi seçici olarak bazı bileşiklere bağlayan materyaller kullanılarak HMF miktarının azaltılabilmesi mümkündür (Carabasa vd., 1998). Yukarıda sıralanan stratejilerin yanında ozonlama işleminin de HMF düşürmede alternatif bir teknik olarak kullanılabilmesi mümkün görünmektedir.

Ozonlama sonucu HMF'nin ne tür bir kimyasal değişim gösterdiği konusunda net bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak oksidasyon sonucu HMF'nin 2,5-furandikarboksilik aside dönüştüğü bilinmektedir (Xu vd., 2017). Daha ileri düzeyde oksidasyonla 2,5-furandikarboksilik asidin de furoik aside dönüştüğü rapor edilmiştir (Koopman vd., 2010). Ozon kuvvetli

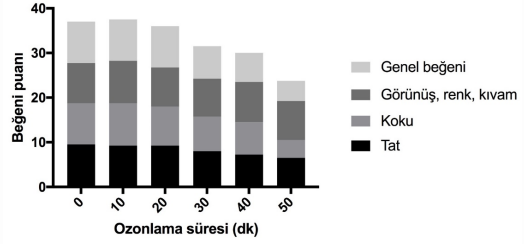


**Şekil 3.** Farklı sıcaklık ve sürelerde ozon gazıyla muamele edilen üzüm şıralarında pH'da gerçekleşen % azalma değerleri.

**Figure 3.** Percent desending in pH of of grape juices treated with ozone at different temperatures and durations.

okside edici bir molekül olduğu için böyle bir reaksiyonun gerçekleşmiş olması muhtemeldir. Ozonlama süresi boyunca pH'da gerçekleşen düşüş de bu teoriyi güçlendirmektedir (Şekil 3). Pekmez üretiminde kullanılan üzüm şırasının pH'sı 3.5-4.0 civarlarındadır ancak tatlı pekmez üretiminde çeşitli yöntemlerle pH yükseltilecek 5.0-6.0 arasında bir noktaya ayarlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan üzüm şırası pH dengelenmesinden sonra alındığı için başlangıç pH'sı 5.5 civarındadır. 50 dk'lık ozonlama işlemi ile bu değer 4.7 civarlarına kadar düşmüştür (Şekil 3).

Bu çalışmada 3 farklı sıcaklık (10, 25 ve 35 °C) uygulanmış ve HMF ve pH değişimi incelenmiştir. Gazların sıvılar içindeki çözünürlüğü sıcaklığa oldukça bağlıdır. Dolayısıyla düşük sıcaklıklarda ozonun suda çözünürlüğünün daha fazla olması ve HMF molekülleriyle temasının daha fazla olması beklenmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 10 ve 25 °C sıcaklıklarda HMF miktarındaki azalma neredeyse aynı düzeylerde gerçekleşmiştir. 35 °C'de ise nispeten HMF azalışı daha yavaş gerçekleşmiştir. Ancak bu farkın istatistiksel olarak önemsiz düzeyde olduğu belirlenmiştir. Aradaki bu farkın sebebinin, yüksek sıcaklıkta ozonun su içerisinde çözünür halde kalma süresinin kısalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, buğday tanelerinin ozonlanmış su ile yıkanması konusunda yapılmış bir çalışmada 25, 15 ve 7 °C sıcaklıklarda yapılan çalışmalarda düşen sıcaklığa karşı ozonun sudan uzaklaşma süresinin uzadığı belirlenmiştir (Dhillon vd., 2009). Ancak pH analiz sonuçlarında aynı paralelde sonuçlar elde edilmemiş ve 25 C'de muamele edilmiş örneklerin pH'sı nispeten yüksek ölçülmüştür. Farklı sıcaklıklarda muamele edilen örneklerin aynı sürelerde elde edilen sonuçları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, 35 °C'de çalışılan örnekte oluşan organik asitlerin sıcaklığın etkisiyle uçmuş olmasından dolayı pH'ya katkılarının olmadığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.** Farklı düzeyde ozon uygulanmış üzüm şıralarından elde edilen pekmez örneklerinde yapılan duysal değerlendirme paneli sonuçları.

**Figure 4.** Sensorial evaluation panel results of pekmez samples obtained from grape juices treated with ozone at different levels.

25°C'de ozon uygulanmış şıralardan elde edilen pekmezler duysal analiz panelistlerine tattırılmıştır. Panelistlerin verdiği puanların ortalamaları Şekil 4'de görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, 10 ve 20 dk ozon uygulaması ile duysal özelliklerde algılanabilir bir değişim gözlenmemiştir. Ancak daha uzun sürelerde ozon uygulaması ile tat, koku ve genel beğeni skorlarında istatistiksel olarak önemli düzeyde düşüşler gerçekleşmiştir (P<0.05). Uzun süre ozon gazına maruziyetin gıdalarda çeşitli olumsuz tat ve kokulara neden olduğu başka araştırmacılar tarafından da ifade edilmiştir (Khadre vd., 2001). Özellikle yağlı gıdalarda ozonun uzun temas sürelerinde lipid oksidasyonunu tetiklemesinden kaynaklanan bozulmalar söz konusu iken (Enferadi Kerenkan vd., 2016), meyve/sebzelerde ve bunların sularında ne tür bileşimsel değişimlerin gerçekleştiği konusunda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak özellikle fenolik bileşikler (Tzortzakos vd., 2007) ve karotenoidler (Henry vd., 2000) gibi okside olabilen moleküllerin ozonlama sırasında okside olmaları mümkündür. Görünüş, renk ve kıvam özellikleri toplam olarak puanlanmıştır ve panelistlerin bazılarının not olarak düştüğü renkte hafif açılma dışında toplam skor ozonlama süresinden önemli düzeyde etkilenmemiştir. Renkte görülen hafif değişimin antosiyaninler gibi renk maddelerinin ozon ile muamele sırasında renklerini kaybetmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Tiwari vd., 2009). Uzun süreli ozonlama işlemi sonucu duysal test puanlarında görülen azalmanın, tüm bu faktörlerin bir araya gelmesi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın bulguları, ozonlama işleminin mikroorganizma yükünün azaltılması yanında HMF azaltılması amacıyla da kullanılabileceğini göstermiştir. Ozonlamanın süresi uzadıkça HMF miktarı azalmaktadır ve kısa süreli ozonlama ile pekmezin duysal özelliklerinde belirgin bir değişim gerçekleşmemektedir. Dolayısıyla pekmez ve benzeri ürünlerde ozonlama uygulaması ürünün mikroorganizma yükünün azaltılması için kullanılırken ek bir kazanım olarak HMF miktarının

azaltılması için de endüstriyel boyutta uygulanabilecek bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. İleriki çalışmalarda, ozonlama işleminin üzüm pekmezi ve diğer pekmezlerin bileşimsel özelliklerine etkisinin çalışılması tamamlayıcı nitelikte olacaktır.

### Teşekkür

Bu çalışmaya örnek temini ve analizler konusunda destek veren Şitoğlu firmasına ve çalışmayı Ar-Ge İnnovasyon Projeleri kapsamında maddi olarak destekleyen KOSGEB'e teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

Abraham K, Gürtler R, Berg K, Gerhard H, Alfonso L, Klaus EA, 2011. Toxicology and risk assessment of 5-Hydroxymethylfurfural in food. *Molecular Nutrition & Food Research* 55: 667–678.

Aydınöglü DB, Koyuncu MA, Erbaş D, 2017. Ozon Uygulanmış Nar Tanelerinin Soğukta Depolanması. *Meyve Bilimi* 4: 26–32

Bozkurt H, Göğüş F, Eren S, 1999. Nonenzymic browning reactions in boiled grape juice and its models during storage. *Food Chemistry* 64:89–93.

Capuano E, Fogliano V, 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT - Food Science and Technology* 44: 793–810.

Carabasa M, Ibarz A, Garza S, Barbosa-Cánovas GV, 1998. Removal of dark compounds from clarified fruit juices by adsorption processes. *Journal of Food Engineering* 37: 25–41.

Dhilon B, Wiesenborn D, Wolf-Hall C, Manthey F, 2009. Development and Evaluation of an Ozonated Water System for Antimicrobial Treatment of Durum Wheat. *Journal of Food Science* 74: 396–403.

Enferadi Kerenkan A, Béland F, Do T-O, 2016. Chemically catalyzed oxidative cleavage of unsaturated fatty acids and their derivatives into valuable products for industrial applications: a review and perspective. *Catalysis Science & Technology* 6: 971–987.

Guzel-Seydim ZB, Greene AK, Seydim AC (2004) Use of ozone in the food industry. *LWT - Food Science and Technology* 37: 453–460.

Henry LK, Puspitasari-Nienaber NL, Jarén-Galán M, van Breemen RB, Catignani GL, & Schwartz SJ, 2000. Effects of Ozone and Oxygen on the Degradation of Carotenoids in an Aqueous Model System. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 5008–5013.

Jiao B, Cassano A, Drioli E, 2004. Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal of Food Engineering* 63: 303–

324.

Karaca H, Velioglu YS, 2007. Ozone Applications in Fruit and Vegetable Processing. *Food Reviews International* 23: 91–106.

Khadre MA, Yousef AE, Kim J-G, 2001. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science* 66: 1242–1252.

Koopman F, Wierckx N, de Winde JH, Ruijsenaars HJ, 2010. Identification and characterization of the furfural and 5-(hydroxymethyl)furfural degradation pathways of *Cupriavidus basilensis* HMF14. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 4919–24.

Murkovic M, Pichler N, 2006. Analysis of 5-hydroxymethylfurfural in coffee, dried fruits and urine. *Molecular Nutrition & Food Research* 50: 842–846.

Palma M, Taylor LT, 2001. Supercritical fluid extraction of 5-hydroxymethyl-2-furfaldehyde from raisins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(2): 628–632.

Rawson A, Patras A, Tiwari BK, Noci F, Koutchma T, & Brunton N, 2011. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International* 44: 1875–1887.

Tiwari BK, O'Donnell CP, Patras A, Brunton N, & Cullen PJ, 2009. Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. *Food and Chemical Toxicology* 47: 2824–2829.

Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği, 30 Haziran 2017, Tebliğ No: 2017/8, Resmi Gazete 30110.

Tzortzakis N, Borland A, Singleton I, Barnes J, 2007. Impact of atmospheric ozone-enrichment on quality-related attributes of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 45: 317–325.

Wang L, Luo Y, Luo X, Wang R, Li Y, Li Y, Shao H, Chen Z, 2016. Effect of deoxynivalenol detoxification by ozone treatment in wheat grains. *Food Control* 66: 137–144.

Xu S, Zhou P, Zhang Z, Yang C, Zhang B, Deng K, Bottle S, Zhu H, 2017. Selective Oxidation of 5-Hydroxymethylfurfural to 2,5-Furandicarboxylic Acid Using O<sub>2</sub> and a Photocatalyst of Co-thioporphyrazine Bonded to g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Journal of the American Chemical Society* 139: 14775–14782.