

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## RESEARCH ARTICLE

## Fermentasyon Sürecinin Yabani Meyve Sirkelerinin Biyoaktif Kompozisyonuna Etkisi\*

## The Effect of the Fermentation Process on the Bioactive Composition of Wild Fruit Vinegars

Kübra ÖZKAN<sup>1\*</sup>, Esmâ Sevde TAŞLIPINAR<sup>2</sup>, Osman SAĞDIÇ<sup>3</sup>

## Öz

Bu çalışmada, biyoaktif bileşenlerce zengin yaban mersininin (*Vaccinium myrtillus* L.), alıçın (*Crataegus orientalis* Pall. Ex M.Bieb.), Trabzon hurmasının (*Diospyros kaki* L.), muşmulanın (*Mespilus germanica* L.) ve üzümün (*Isabella*, *Vitis labrusca* L. × *Vitis vinifera* L.), sirke üretiminde değerlendirilmesi ve fermentasyon süreci boyunca fizikokimyasal özelliklerin, antioksidan kapasite ve toplam fenolik madde miktarlarında meydana gelen değişimlerin incelenmesi amaçlandı. Ayrıca sirkelerin 2 haftalık dinlendirme aşamasından sonra duyu analizleri gerçekleştirildi. Kontrollü karşılaştırma için yaygın olarak tüketilen üzüm meyvesi referans olarak kullanılmıştır. Çalışmada meyvelerden cibre fermentasyonu ile şarap elde edilmiş ve ardından yüzey kültür yöntemiyle yaklaşık iki ay süren asetik asit fermentasyonu uygulanmıştır. Tüm meyvelerde fermentasyon süresince suda çözünen kuru madde ve buna bağlı °Brix değerlerinde düşüş saptandı. Alkol düzeyi cibre ve şarap fermentasyonunda artarken sirke fermentasyonunda azalmış; pH ve titrasyon asitliğindeki değişimler ise meyve türüne göre farklılık gösterdi. Taze meyve, cibre, şarap ve sirke örneklerinde iki haftalık aralıklarla toplam fenolik madde miktarları, DPPH ve CUPRAC yöntemleri ile antioksidan kapasiteleri belirlendi. Sonuçlar, sirke üretim prosesi boyunca tüm meyvelerde biyoaktif bileşen içeriğinin genel olarak arttığını göstermiştir. En yüksek toplam fenolik madde birikimi ise muşmula ve alıç sirkelerinde sırasıyla 733.24 mg GAE L<sup>-1</sup> ve 683.78 mg GAE L<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Tüm yabani meyve sirkelerinin kontrol grubu üzüm sirkelerinden daha yüksek antioksidan kapasiteye ve fenolik içeriğe sahip olduğu belirlenmiştir. Yaban mersini sirkesi renk açısından yüksek puan alırken aroma ve koku bakımından yalnızca orta düzeyde beğeni toplamıştır; hurma ve muşmula sirkeleri ise tüm özelliklerde daha dengeli, fakat genel olarak orta seviyede kabul görmüştür. Alıç sirkesi koku ve aroma açısından düşük puanlar alsa da, renk ve genel izlenimde tüketici beğenisini kısmen karşılayabilmiştir. Elde edilen bulgular, yabani meyve sirkelerinin fonksiyonel gıda olarak değerlendirilme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermekte ve farklı hammaddelerle sirke üretimine yönelik yeni çalışmalar için önemli bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yabani meyveler, Fermentasyon, Sirke üretimi, Fenolik madde, Antioksidan kapasite

<sup>1\*</sup>Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Kübra Özkan, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

E-mail: [kubraozkan1907@gmail.com](mailto:kubraozkan1907@gmail.com)  ORCID: 0000-0003-0580-5804

<sup>2</sup>Esmâ Sevde Taşlıpınar, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-mail: [esmahaykir@gmail.com](mailto:esmahaykir@gmail.com)  ORCID: 0009-0000-9540-2034

<sup>3</sup>Osman Sağdıç, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-mail: [osagdic@yildiz.edu.tr](mailto:osagdic@yildiz.edu.tr)  ORCID: 0000-0002-2063-1462

**Atıf:** Özkan, K., Taşlıpınar, E. S., Sağdıç, O. (2026). Fermentasyon sürecinin yabani meyve sirkelerinin biyoaktif kompozisyonuna etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(4): 1330-1344.

**Citation:** Özkan, K., Taşlıpınar, E. S., Sağdıç, O. (2026). The effect of the fermentation process on the bioactive composition of wild fruit vinegars. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 23(4): 1330-1344.

\*Bu Çalışma Esmâ Sevde Taşlıpınar'ın Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2026

---

**Abstract**

In this study, wild blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.), hawthorn (*Crataegus orientalis* Pall. Ex M. Bieb.), persimmon (*Diospyros kaki* L.), medlar (*Mespilus germanica* L.), and grape—each rich in bioactive compounds—were evaluated for vinegar production. The aim was to investigate changes in physicochemical properties, antioxidant capacity, and total phenolic content during the fermentation process. Additionally, sensory analyses were performed following a two-week resting period of the vinegars. For a controlled comparison, grape, a commonly consumed fruit, was used as the reference material. In the study, wine was first produced from the fruits by pomace fermentation, followed by surface culture acetic acid fermentation, which lasted approximately two months. A decrease in soluble dry matter and corresponding °Brix values was observed in all fruits during fermentation. Alcohol levels increased during pomace and wine fermentation but decreased during vinegar fermentation. Changes in pH and titratable acidity varied by fruit type. Total phenolic content, along with antioxidant capacity determined by DPPH and CUPRAC methods, was measured at two-week intervals in fresh fruit, pomace, wine, and vinegar samples. Overall, the results revealed that the bioactive compound content generally increased throughout the vinegar production process for all fruits. The highest total phenolic accumulation was observed in medlar and hawthorn vinegars, with 733.24 mg GAE L<sup>-1</sup> and 683.78 mg GAE L<sup>-1</sup>, respectively. All wild fruit vinegars exhibited higher antioxidant capacity and phenolic content compared to the grape vinegar used as the control. Blueberry vinegar received high scores in terms of color but was only moderately appreciated for aroma and flavor, while persimmon and medlar vinegars showed more balanced but overall moderate acceptance across all sensory attributes. Although hawthorn vinegar received low scores for aroma and flavor, it partially met consumer expectations in terms of color and overall impression. The findings highlight the high potential of wild fruit vinegars to be evaluated as functional foods and provide an important scientific basis for future studies on vinegar production using alternative raw materials.

**Keywords:** Wild fruits, Fermentation, Vinegar production, Phenolic compounds, Antioxidant capacity

## 1. Giriş

Meyve tüketiminin, özellikle kanser ve kalp-damar hastalıkları başta olmak üzere birçok kronik rahatsızlığın önlenmesinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Bu koruyucu etkinin temelinde meyvelerin sahip olduğu antioksidatif bileşikler yer almaktadır. Doğal antioksidanlar, vücutta meydana gelen oksidatif stresin etkilerini azaltarak hücrelerin zarar görmesini önlemekte ve serbest radikallerin neden olduğu DNA hasarını engellemektedir. Böylece, düzenli meyve tüketimi hücresel düzeyde oksidatif zararın azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar, kültüre alınmış meyve türlerine kıyasla yabani meyvelerin antioksidan kapasitelerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, yabani meyvelerin doğal yetiştirme ortamlarında çevresel stres koşullarına karşı geliştirdikleri biyokimyasal adaptasyonlarla ilişkilendirilmektedir. Sahip oldukları yüksek antioksidan içeriği ve biyolojik aktif bileşenler nedeniyle, yabani meyve türlerine olan ilgi son yıllarda giderek artmıştır. Bu meyveler hem besin değeri hem de potansiyel sağlık faydaları açısından araştırmalarda önemli bir yer edinmiştir (Çakır ve Karabulut, 2020; Karaman ve ark., 2022; Tüysüz ve ark., 2020).

Yabani meyveler, insan müdahalesi olmaksızın doğada kendiliğinden yetişen ve genellikle zararlı bileşenler içermediği düşünülen bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Bu meyveler, sahip oldukları doğal dayanıklılıkları sayesinde ani iklim değişiklikleri ve farklı çevresel koşullara karşı yüksek direnç gösterebilmektedir. Dolayısıyla hem ekolojik hem de biyolojik açıdan önemli bir yere sahiptirler. Yabani meyveler, insan sağlığı için gerekli birçok vitamin, mineral ve biyolojik olarak aktif bileşik içermeleri nedeniyle dengeli ve sağlıklı beslenmede önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu meyveler üzerine yapılan bilimsel araştırmalar, doğal ürünlerin insan beslenmesindeki değerini ortaya koymuş ve toplumların bu ürünlere olan ilgisini artırmıştır. Artan bu ilgi, yabani meyve ve türlerinin dış pazarlarda ve gıda endüstrisinde kullanım alanlarının genişlemesine katkı sağlamıştır. Günümüzde doğal ve organik gıdalara yönelik talebin artmasıyla birlikte bu tür ürünlere ekonomik açıdan da büyük önem atfedilmektedir (İlhan ve ark., 2019). Türkiye, coğrafi konumu, iklim çeşitliliği ve zengin bitki örtüsü sayesinde çok sayıda yabani meyve türü ve alt türüne ev sahipliği yapan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu biyolojik çeşitlilik, ülkemizi yabani meyveler açısından önemli bir gen merkezi haline getirmektedir. Türkiye’de doğal olarak yetişen ve ekonomik ya da geleneksel kullanımıyla öne çıkan başlıca yabani meyveler arasında alıç, yaban mersini, üzüm, Trabzon hurması, ahlat, kızılçık, muşmula türleri bulunmaktadır. Yapısal özelliklerine göre besinlerde yer alan biyoaktif bileşenler: fenolik bileşikler, karotenoidler, glukozinolatlar, lignanlar, organosülfür bileşikleri ve bitki sterollerini şeklinde sınıflandırılmaktadır. Meyve ve sebzelerde doğal olarak bulunan bu biyoaktif bileşenlerin kanser, kardiyovasküler hastalıklar, obezite ve sindirim sistemi rahatsızlıklarına karşı koruyucu etki gösterdiği bildirilmektedir (Karadağ ve ark., 2022). Özellikle yabani meyveler; makromoleküllerin oksidasyonunu sınırlandırmaları ve oksidatif stresi düşürerek dejeneratif hastalıkların gelişme riskini azaltmaları nedeniyle insan sağlığı açısından yararlı kabul edilen flavonoidler, fenolik bileşikler, karotenoidler ve çeşitli vitaminler gibi pek çok antioksidan bileşeni bünyelerinde barındırmaktadır (Kılıç ve ark., 2023; Murathan ve ark., 2019; Okatan ve ark., 2017; Tüysüz ve ark., 2020; Yıldız ve ark., 2023).

Sirke, dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan sıvı aroma verici ve çeşni maddelerinden biridir. “Sirke, elma, hurma, üzüm, incir gibi karbonhidrat bakımından zengin gıda maddelerinin fermentasyonu sonucu elde edilen doğal bir üründür. Üretim süreci genellikle iki aşamada gerçekleşmektedir: ilk olarak alkolik fermentasyon ile etil alkol oluşmakta, ardından asetik fermentasyon aşamasında bu alkol, *Acetobacter* türü bakteriler aracılığıyla asetik aside dönüştürülmektedir. Bu süreç sonucunda kendine özgü tat, aroma ve asidite özelliklerine sahip doğal bir gıda ürünü olan sirke elde edilmektedir (Bozdemir ve ark., 2021; Kutlu, 2024). Codex Alimentarius Komisyonu’na göre sirke, insan tüketimine uygun olacak şekilde, nişasta veya şeker içeren hammaddelerin yalnızca iki aşamalı fermentasyon süreci alkolik ve ardından asetik asit fermentasyonu sonucunda elde edilen sıvı bir üründür. Bu tanıma göre sirke, hacimce %0.5’ten fazla alkol ve herhangi bir stabilizatör içermemelidir. Ayrıca ürünün litre başına en az 50 g (w/v) asetik asit içermesi gerekmektedir (Codex Alimentarius Commission, 1987). Bu standart hem ürünün güvenliğini hem de kimyasal ve duyuşsal özelliklerinin belirli bir kalite düzeyinde olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Sirkenin sağlık üzerindeki faydalı etkileri, içeriğinde bulunan organik asitler, amino asitler, fenolik bileşikler ve melanoidinler gibi biyoaktif bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu bileşiklerin antimikrobiyal, kardiyovasküler koruyucu, antioksidan, antikarsinogenik, antidiyabetik, antitümör ve antienfeksiyon özelliklere sahip olduğu ve çeşitli sağlık uygulamalarında kullanıldığı bildirilmektedir (Ho ve ark., 2017; Ozturk ve ark., 2015; Samad ve ark., 2016).

Yabani meyveler, zengin fenolik bileşen içerikleri ve yüksek antioksidan aktiviteleri sayesinde insan sağlığı üzerinde önemli yararlar sağlayan doğal kaynaklardır. Bu meyveler genellikle taze olarak veya meyve suyu şeklinde tüketilmekle birlikte, son yıllarda fermente ürünler içerisinde yer alan meyve sirkeleri potansiyel fonksiyonel gıdalar olarak dikkat çekmektedir. Sirke üretim sürecinde gerçekleşen biyokimyasal dönüşümler, meyvelerin biyoaktif bileşen profillerini ve biyoyararlılıklarını değiştirebilmekte; dolayısıyla ürünün besinsel ve fonksiyonel değerini artırabilmektedir.

Literatürde hurma, elma veya üzüm gibi geleneksel meyvelerden üretilen sirkelerin kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, yaban mersini, alıç, Trabzon hurması ve muşmula gibi yabani meyvelerin sirke üretiminde değerlendirilmesine yönelik araştırmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle Karadeniz Bölgesi'ne özgü bu meyveler, yüksek antioksidan potansiyellerine rağmen sirke üretimi açısından yeterince incelenmemiştir.

Bu çalışmanın amacı, üzüm, alıç, yaban mersini, Trabzon hurması ve muşmula meyvelerinin sirke üretiminde değerlendirilmesi ve sirke üretim sürecinde biyoaktif bileşenler ile fizikokimyasal özelliklerde meydana gelen değişimlerin belirlenmesidir. Bu kapsamda, sirke üretim prosesinin yabani meyvelerin antioksidan kapasiteleri ve toplam fenolik bileşenler üzerindeki etkilerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Ayrıca, elde edilen sirkelerde asetik asit bakterilerinin gelişimi, fizikokimyasal parametrelerdeki değişimler ve duyu özelliklerinin değerlendirilmesiyle, ürünlerin tüketici beğenisi ve fonksiyonel gıda potansiyelleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada üzüm, Trabzon hurması, yaban mersini, muşmula ve alıç meyveleri sırasıyla İzmit, Ordu, Artvin, Samsun ve Bolu illerinden temin edilmiştir. Taze meyveler analiz yapıncaya kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

### 2.2. Meyvelerden Sirke Üretimi

Bu çalışmada kullanılan meyveler, öncelikle yüzeyde bulunan yabancı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla bol su ile yıkanmış ve ayıklanmıştır. Temizlenen meyveler, mekanik olarak parçalanarak püre hâline getirilmiştir. Elde edilen meyve püreleri, 1:3 oranında su ile karıştırılarak fermentasyona uygun meyve suları hazırlanmıştır. Fermentasyon öncesinde hazırlanan meyve sularının başlangıç pH değerleri ölçülmüş olup ortalama pH değeri 3.8±0.5 olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan meyve suyuna, fermentasyonu başlatmak amacıyla toplam hacmin %3'ü oranında *Saccharomyces cerevisiae* (kuru ekmek mayası) ilave edilmiştir. Kullanılan starter kültür steril distile suda aktive edilerek standardize edilmiş ve yaklaşık  $10^6$ – $10^7$  CFU/mL başlangıç hücre yoğunluğu sağlanmıştır. Böylece spontan fermentasyon yerine kontrollü starter kültür fermentasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu karışım, kontrollü koşullarda cibre fermentasyonu için 28±2 °C'de fermentasyona bırakılmıştır. Fermentasyon süreci boyunca, haftalık aralıklarla örnekler alınarak alkol miktarı, toplam asitlik, pH ve suda çözünebilir kuru madde analizleri yapılmıştır. Yaklaşık bir haftalık cibre fermentasyonu sonunda posalar ayrılmış ve elde edilen sıvı kısım şarap fermentasyonuna alınmıştır (anaerobik koşullarda, 28±2°C). Alkol oranının %6–8 seviyesine ulaşmasıyla birlikte şarap fermentasyonu sonlandırılmıştır.

Elde edilen şaraba, toplam hacme göre %5 oranında ticari olarak temin edilen Vefa Bozacısı firmasından saf sirke kültürü (*Acetobacter*) eklenmiştir. Kullanılan asetik asit bakterisi kültürü önceden aktive edilerek standardize edilmiş ve kontrollü asetik asit fermentasyonu sağlanmıştır. Bu aşamada başlatılan asetik asit fermentasyonu süresince (aerobik koşullarda, 28±2°C), 15 günde bir alkol, toplam asitlik ve pH değerleri belirlenmiştir. Fermentasyon, asetik asit oranının %5, alkol oranının ise %0.5 seviyesine ulaşmasıyla sonlandırılmıştır.

### 2.3. Bazı Fizikokimyasal Analizler

Bu çalışmada, taze meyve, cibre, şarap ve son olarak sirke fermentasyonu boyunca 15 günde bir olmak üzere analize tabi tutulmuştur. Homojenize edilen örneklerin pH değerleri, oda sıcaklığında tampon çözeltilerle kalibre edilmiş bir pH metre kullanılarak belirlenmiştir (Thermo Scientific Orion Star A111, Indonesia). Titrasyon asitliği, örnekte en yüksek oranda bulunan organik asit türü (asetik asit) üzerinden hesaplanmıştır. Analiz için homojenize edilen sirke örneklerinden 10 mL alınarak 50 mL damıtık su ile seyreltilmiştir. Elde edilen karışım kaba filtre

kâğıdından süzölmüş ve filtrattan 25 mL örneğ alınarak erlene aktarılmıştır. Üzerine birkaç damla fenolftalein indikatörü ilave edilmiştir. Daha sonra örneğ, 0.1 N NaOH çözöltisi ile açık pembe renk oluşuncaya kadar titre edilmiştir (Cemeroğlu, 2013).

Suda çözünür kuru madde miktarı (Brix) oda sıcaklığında el refraktometresi (Schmidt-Haensch, Hr32b, Almanya) kullanılarak ölçölmüştür. Sirke örneğlerinin her biri renk ölçömleri kromametre Konica Minolta Chroma Meter CR-400, Japonya) kullanılarak belirlendi. Ölçüm işlemi yapılmadan önce cihaz beyaz plakaya karşı kalibre edildi. L\* değeri 0 (siyah) ile 100 (beyaz) aralığında açık-koyu spektrumu temsil ederken, a\* değeri yeşil (-a\*) ve kırmızı (+a\*) ile b\* değeri mavi (-b\*) ve sarı (+b\*) arasındaki renkleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Cibre ve şarap örneğlerinin alkol ölçömleri vinometre kullanılarak yapılmıştır.

#### 2.4. Örneğlerin Ekstraksiyonu

Taze meyve örneğleri önce rondoda, ardından blender yardımıyla homojen hâle getirilmiştir. Elde edilen pürelerden 10'ar gram tartılarak, etanol:su (80:20, v/v) çözöltisi ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar, oda sıcaklığında 2.5 saat süreyle manyetik karıştırıcı/çalkalayıcı üzerinde karıştırılarak ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Sirke örneğleri için, 10 mL sirke örneğ alınarak 100 mL %80'lik etanol çözöltisi ile karıştırılmıştır. Karışımlar benzer şekilde oda sıcaklığında 2.5 saat boyunca ekstraksiyona bırakılmıştır. Ekstraksiyon süresinin sonunda elde edilen homojen çözöltüler, kaba filtre kâğıdından süzölmüş ve süzöntüler 25 °C'de 2500 × g (dev/dak) hızda 10 dakika boyunca santriföjlenmiştir (Hettich 320R, Almanya). Santriföj sonrası elde edilen süpernatantlar analiz yapılcaya kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir (Ozkan ve Sagdic, 2025).

#### 2.5. Toplam Fenolik Madde Miktarı ve Antioksidan Kapasite Analizleri

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesinde Singleton ve ark. (1999) tarafından geliştirilen modifiye Folin-Ciocalteu yöntemi esas alınarak toplam fenolik madde analizi gerçekleştirilmiştir. Ekstrakte edilen her örneğten 0.5 mL alınarak ayrı tüplere aktarılmıştır. Her bir tüpe 5 mL Folin-Ciocalteu reaktifi ilave edilmiştir. Ardından, her bir tüpe 2 mL %7.5 sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) çözöltisi eklenmiştir. Tüpler, karanlık ortamda oda sıcaklığında 30 dakika boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından, örneğlerin absorbans değeri UV/VIS spektrofotometre cihazı kullanılarak 760 nm dalga boyunda ölçölmüştür. Elde edilen absorbans değeri, standart eğrisi gallik asit (GA) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri (GAE) cinsinden mg GAE L<sup>-1</sup> olarak ifade edilmiştir.

Örneğlerin antioksidan kapasiteleri iki farklı yöntemle belirlenmiştir. CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) yöntemi için her bir örneğten 0,1 mL alınmıştır. Üzerine sırasıyla 1 mL 0.01 M bakır(II) klorür (CuCl<sub>2</sub>), 1 mL 7.5×10<sup>-3</sup> M neokuproin (Sigma-Aldrich, Germany), 1 mL amonyum asetat tampon çözöltisi (1 M) ve 1 mL saf su ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar 25±2°C'de 1 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır (Apak ve ark., 2004).

Antioksidan kapasitenin belirlenmesinde kullanılan bir diğere yöntem DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikal süpürme yöntemi olmuştur. Ekstraksiyon süreçlerinde çözöcö olarak etanol kullanıldığından, DPPH çözöltisi de %80'lik etil alkol su ile hazırlanmıştır. Ekstrakte edilen örneğlerden üç paralel olacak şekilde her bir tüpe 0.1 mL örneğ aktarılmış; kontrol grubunda ise örneğ yerine etanol kullanılmıştır. Tüplere 20 saniyelik aralıklarla 4.9 mL DPPH çözöltisi (0.1 mM) eklenmiş ve karışım vortekslenerek homojen hâle getirilmiştir (Ozkan ve Sagdic, 2025). Ardından numuneler karanlık ortamda, 27 °C sıcaklıkta 20 dakika inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından oluşan renk değışimi, CUPRAC ve DPPH yöntemleri için sırasıyla 450 nm ve 517 nm dalga boylarında UV/VIS spektrofotometre kullanılarak absorbans ölçömleri ile değeriendirilmiştir. Antioksidan kapasite değeri, Trolox (Merck, Germany) standardı ile oluşturulan kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Trolox eşdeğeri (TEAC) cinsinden ve mg TEAC mL<sup>-1</sup> olarak ifade edilmiştir.

#### 2.6. Duyusal Analiz

Sirke örneğlerinin fermentasyonlarına 78. gün sonunda son verilmiş, 2 haftalık dinlendirme aşamasından sonra duyusal analize tabi tutulmuştur. Duyusal analiz 20 panelist tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Duyusal Analiz Laboratuvarı'ndaki bireysel kabinlerde yapılmıştır. Tüm katılımcılar tarafından değeriendirilen gıda formölasyonları için sözlü onayları alınmıştır. Analiz öncesinde panelistlere değeriendirilecek örneğler hakkında genel bilgilendirme yapılmış, değeriendirme prosedürü ve puanlama kriterleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Panelistler yaş aralğı 25-45 arasında değışen kadın ve erkek bireylerden oluşturulmuştur. Numunelerin renk,

aroma, koku, görünüş ve genel beğeni özellikleri, 1 (hiç beğenmedim) ile 9 (çok beğendim) puan aralığındaki bir hedonik skala kullanılarak değerlendirilmiştir.

### 2.7. İstatistiksel Analizler

Her bir örnek üç paralel olarak analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar SPSS 17.0 (USA) yazılımında tek faktörlü ANOVA ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıklar %95 güven düzeyinde Duncan testiyle belirlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Sirke Üretim Prosesi Boyunca Fizikokimyasal Özelliklerindeki Değişimler

Örneklerdeki fizikokimyasal (titrasyon asitliği, Brix, pH ve alkol) değişimler *Tablo 1*'de verilmektedir. Her bir örneğin sirke üretim süreci boyunca bu fizikokimyasal değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p \leq 0.05$ ). Trabzon hurmasının taze meyve aşamasında 17.3 °Brix olan değeri, fermentasyon süreci boyunca suda çözünen kuru maddenin azalmasına bağlı olarak düşmüş ve 60. gün sonunda  $1.7 \pm 0.1$  °Brix'e gerileyerek yaklaşık %90.2 oranında azalma göstermiştir. Alkol ve asetik asit fermentasyonlarının etkisiyle titrasyon asitliği %0.07'den 30. gün sonunda %1.45'e yükselmiş, bu artış yaklaşık 20 kat olarak belirlenmiştir. Buna paralel olarak pH değeri başlangıçta 5.82 iken, 15. gün sirke örneğinde 3.25'e düşerek yaklaşık %44 oranında azalma göstermiştir. Titrasyon asitliği fermentasyon süresince artış göstermiş; ancak fermentasyon süresinin uzamasıyla birlikte 60. gün sonunda  $0.58 \pm 0.09$  seviyesine gerileyerek azalma eğilimi göstermiştir. Alkol miktarı ise cibre ve şarap fermentasyonu aşamalarında artarak %5.0 seviyesine ulaşmış, sirke fermentasyonu sürecinde ise %0.8 düzeyine kadar düşmüş ve son aşamada tespit edilememiştir.

Yaban mersininin taze meyve döneminde 8.5 °Brix olan değeri, fermentasyon ilerledikçe suda çözünen kuru maddenin azalmasına paralel olarak düşmüş ve 60. gün sonunda 0.9 °Brix'e gerileyerek yaklaşık %89.4 oranında azalma göstermiştir. Taze meyvede 2.46 olan pH değeri proses sonunda 2.77'a yükselmiş, hafif bir artış gözlenmiştir. Alkol miktarı cibre fermentasyonunda %1.5, şarap aşamasında ise %6.5 ile en yüksek seviyeye ulaşmış, sirke fermentasyonu sırasında kademeli olarak azalarak 30. gün sonunda %0.5 düzeyine düşmüş ve son aşamada tespit edilememiştir.

Alıç meyvesinin taze döneminde yüksek olan Brix değeri (8.2), fermentasyon süresi boyunca suda çözünen kuru maddenin azalmasıyla (4.6-5.9) birlikte düşmüştür. Fermentasyon süreci boyunca pH değerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Alkol miktarı, cibre ve şarap fermentasyonu aşamalarında artmış, sirke fermentasyonu sırasında azalmıştır. Üzüm meyvesinde de benzer eğilimler gözlenmiştir. Taze meyvede yüksek olan Brix değeri, fermentasyon süresince azalmış; pH değerinde anlamlı bir değişiklik meydana gelmemiştir. Alkol miktarı cibre ve şarap fermentasyonu boyunca artarken, sirke fermentasyonu sürecinde azalma göstermiştir.

Genel olarak, tüm meyvelerde fermentasyon süreci boyunca suda çözünen kuru madde miktarının azaldığı, buna bağlı olarak Brix değerlerinin düştüğü, cibre ve şarap fermentasyon aşamalarında alkol miktarının arttığı, ancak sirke fermentasyonu sırasında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, fermentasyon koşulları meyve türüne bağlı olarak pH ve titrasyon asitliği değerlerinde farklı eğilimler göstermiştir.

Sirkenin çözünür katı fraksiyonu, glikoz, fruktoz ve sükröz gibi serbest şekerlerin yanı sıra organik asitler ve serbest amino asitlerden oluşmaktadır. Sirke üretiminde kullanılan meyve türüne bağlı olarak, ürünlerde farklı düzeylerde serbest şeker içeriği bulunduğu çeşitli araştırmalarda rapor edilmiştir (Ho ve ark., 2017; Kang ve ark., 2020). Ayrıca bu çalışmada yaban mersini meyvesinden yapılan sirke örneğinin pH ve Brix değerleri fermentasyon boyunca diğer sirke örneklerinin pH ve Brix değerlerinden daha düşük bulunmuştur (*Tablo 1*). Dolayısıyla, sirke örneklerinin pH ve Brix değerleri arasında gözlemlenen farklılıkların üretimde kullanılan meyvenin bileşiminden, fermentasyonun etkinliğinden, fermentasyon sırasında oluşan bileşenlerden ve dolayısıyla suda çözünen kuru madde miktarındaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada, 60. depolama gününde sirke örneklerinin alıç sirkesi hariç, pH değerlerinin 2.77 ile 3.56 aralığında değişim gösterdiği, bu sirkelerde düşük pH değerinin (<3.5) istenmeyen aroma maddelerinin oluşumuna neden olan laktik asit bakterisi ve/veya anaerobik basil fermentasyonlarının önlenmesi açısından önemli olduğu bildirilmektedir (Giudici ve ark., 2017). Bizim çalışmamıza benzer sonuçlar Öztürk (2022) tarafından çeşitli meyvelerden yapılan sirke çalışmasındaki pH ve titrasyon asitliği değerleri açısından bulunmuştur. Şengün ve Kılıç (2018)'in yaptığı çalışmada dut sirkесinin pH

değerleri 2.87-3.30 aralığında değişim gösterirken, Karadağ ve ark. (2020) yaptığı bir çalışmada, sirke örneklerinin pH, Brix ve titrasyon asitliği değerlerinin sırasıyla 2.35-2.77, 3.17-4.87 ve %2.19-5.04 aralığında bulunmuştur. Literatürde yer alan benzer çalışmalar arasındaki farklılıkların kullanılan hammadde çeşitliliği, uygulanan üretim yöntemleri, fermentasyon parametreleri ile olgunlaştırma sürelerindeki değişikliklerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Akarca ve ark., 2020).

**Tablo 1. Fermentasyon boyunca sirke örneklerindeki fizikokimyasal değişimler**

*Table 1. Physicochemical Changes in Vinegar Samples During Fermentation*

|                        | <b>Titrasyon asitliği<br/>(%, asetik asit)</b> | <b>Brix</b>           | <b>pH</b>               | <b>Alkol % (v/v)</b>  |
|------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Trabzon hurması</b> |                                                |                       |                         |                       |
| meyve suyu             | 0.07±0.00 <sup>g</sup>                         | 17.3±0.7 <sup>a</sup> | 5.82±0.16 <sup>a</sup>  | -                     |
| cibre                  | 0.19±0.02 <sup>f</sup>                         | 4.1±0.4 <sup>b</sup>  | 3.75±0.13 <sup>b</sup>  | 3.0±0.1 <sup>b</sup>  |
| şarap                  | 0.29±0.05 <sup>c</sup>                         | 3.0±0.2 <sup>c</sup>  | 3.60±0.14 <sup>b</sup>  | 5.0±0.3 <sup>a</sup>  |
| 15. gün sirke          | 1.34±0.16 <sup>b</sup>                         | 2.2±0.1 <sup>d</sup>  | 3.25±0.12 <sup>c</sup>  | 1.0±0.0 <sup>c</sup>  |
| 30. gün sirke          | 1.45±0.20 <sup>a</sup>                         | 2.1±0.1 <sup>d</sup>  | 3.30±0.17 <sup>c</sup>  | 0.8±0.0 <sup>d</sup>  |
| 45. gün sirke          | 1.25±0.13 <sup>c</sup>                         | 1.9±0.2 <sup>de</sup> | 3.61±0.13 <sup>b</sup>  | -                     |
| 60. gün sirke          | 0.58±0.09 <sup>d</sup>                         | 1.7±0.1 <sup>e</sup>  | 3.56±0.10 <sup>bc</sup> | -                     |
| <b>Yaban Mersini</b>   |                                                |                       |                         |                       |
| meyve suyu             | 0.43±0.06 <sup>d</sup>                         | 8.5±0.3 <sup>a</sup>  | 2.46±0.12 <sup>d</sup>  | -                     |
| cibre                  | 0.66±0.08 <sup>c</sup>                         | 1.3±0.1 <sup>c</sup>  | 2.51±0.14 <sup>c</sup>  | 1.5±0.1 <sup>b</sup>  |
| şarap                  | 0.63±0.04 <sup>c</sup>                         | 1.0±0.1 <sup>cd</sup> | 2.55±0.14 <sup>c</sup>  | 6.5±0.4 <sup>a</sup>  |
| 15. gün sirke          | 1.08±0.10 <sup>b</sup>                         | 1.8±0.2 <sup>b</sup>  | 2.62±0.16 <sup>b</sup>  | 1.0±0.2 <sup>bc</sup> |
| 30. gün sirke          | 1.20±0.12 <sup>a</sup>                         | 1.8±0.2 <sup>b</sup>  | 2.68±0.23 <sup>b</sup>  | 0.5±0.0 <sup>c</sup>  |
| 45. gün sirke          | 1.03±0.11 <sup>b</sup>                         | 1.3±0.3 <sup>c</sup>  | 2.84±0.20 <sup>a</sup>  | -                     |
| 60. gün sirke          | 0.30±0.05 <sup>e</sup>                         | 0.9±0.0 <sup>d</sup>  | 2.77±0.19 <sup>ab</sup> | -                     |
| <b>Muşmala</b>         |                                                |                       |                         |                       |
| meyve suyu             | 0.29±0.07 <sup>cd</sup>                        | 6.1±0.4 <sup>a</sup>  | 3.55±0.30 <sup>b</sup>  | -                     |
| cibre                  | 0.31±0.09 <sup>c</sup>                         | 4.0±0.3 <sup>b</sup>  | 3.44±0.42 <sup>c</sup>  | 3.0±0.4 <sup>d</sup>  |
| şarap                  | 0.43±0.03 <sup>b</sup>                         | 3.9±0.6 <sup>bc</sup> | 3.37±0.21 <sup>d</sup>  | 11.0±0.2 <sup>a</sup> |
| 15. gün sirke          | 1.02±0.09 <sup>a</sup>                         | 3.0±0.2 <sup>c</sup>  | 3.25±0.22 <sup>e</sup>  | 9.0±0.2 <sup>b</sup>  |
| 30. gün sirke          | 0.18±0.03 <sup>e</sup>                         | 2.2±0.4 <sup>d</sup>  | 3.55±0.15 <sup>b</sup>  | 6.0±0.3 <sup>c</sup>  |
| 45. gün sirke          | 0.24±0.05 <sup>d</sup>                         | 2.1±0.2 <sup>d</sup>  | 3.80±0.30 <sup>a</sup>  | 2.8±0.1 <sup>d</sup>  |
| 60. gün sirke          | 0.13±0.02 <sup>e</sup>                         | 2.8±0.5 <sup>cd</sup> | 3.50±0.31 <sup>bc</sup> | -                     |
| <b>Aliç</b>            |                                                |                       |                         |                       |
| meyve suyu             | 0.48±0.03 <sup>c</sup>                         | 8.2±0.4 <sup>a</sup>  | 3.81±0.12 <sup>c</sup>  | -                     |
| cibre                  | 0.41±0.05 <sup>c</sup>                         | 5.9±0.1 <sup>b</sup>  | 3.57±0.14 <sup>c</sup>  | 5.0±0.1 <sup>c</sup>  |
| şarap                  | 0.64±0.06 <sup>d</sup>                         | 5.9±0.3 <sup>b</sup>  | 3.60±0.10 <sup>d</sup>  | 9.0±0.2 <sup>a</sup>  |
| 15. gün sirke          | 0.98±0.07 <sup>a</sup>                         | 4.9±0.1 <sup>c</sup>  | 3.85±0.20 <sup>c</sup>  | 8.0±0.4 <sup>b</sup>  |
| 30. gün sirke          | 0.66±0.03 <sup>d</sup>                         | 4.6±0.2 <sup>c</sup>  | 4.04±0.23 <sup>b</sup>  | 4.0±0.2 <sup>d</sup>  |
| 45. gün sirke          | 0.88±0.08 <sup>b</sup>                         | 5.1±0.2 <sup>bc</sup> | 4.21±0.25 <sup>a</sup>  | -                     |
| 60. gün sirke          | 0.76±0.07 <sup>c</sup>                         | 5.9±0.3 <sup>b</sup>  | 3.97±0.16 <sup>bc</sup> | -                     |
| <b>Üzüm</b>            |                                                |                       |                         |                       |
| meyve suyu             | 0.27±0.02 <sup>d</sup>                         | 15.9±0.4 <sup>a</sup> | 3.47±0.14 <sup>a</sup>  | -                     |
| cibre                  | 0.30±0.03 <sup>d</sup>                         | 2.5±0.1 <sup>b</sup>  | 3.11±0.10 <sup>e</sup>  | 4.0±0.1 <sup>b</sup>  |
| şarap                  | 0.15±0.02 <sup>e</sup>                         | 2.5±0.1 <sup>b</sup>  | 3.42±0.12 <sup>a</sup>  | 5.0±0.2 <sup>a</sup>  |
| 15. gün sirke          | 1.37±0.07 <sup>b</sup>                         | 2.1±0.0 <sup>bc</sup> | 3.32±0.09 <sup>bc</sup> | 3.0±0.1 <sup>c</sup>  |
| 30. gün sirke          | 2.18±0.08 <sup>a</sup>                         | 2.1±0.0 <sup>bc</sup> | 3.18±0.16 <sup>d</sup>  | 2.5±0.1 <sup>d</sup>  |
| 45. gün sirke          | 2.06±0.09 <sup>a</sup>                         | 2.0±0.1 <sup>c</sup>  | 3.39±0.08 <sup>b</sup>  | -                     |
| 60. gün sirke          | 0.73±0.02 <sup>c</sup>                         | 1.8±0.0 <sup>d</sup>  | 3.27±0.11 <sup>c</sup>  | -                     |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler p≤0.05 seviyesinde fermentasyon boyunca her bir örneğin kendi içerisinde anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

### 3.2. Renk Değerleri

Tüketici tercihleri açısından sirkenin en önemli kalite özelliklerinden biri rengidir. Bu nedenle, tüketicinin dikkatini çekebilecek nitelikte renge sahip sirke üretimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada incelenen sirke örneklerinin renk karakteristikleri Tablo 2’de sunulmaktadır. Örneklerin fermentasyon boyunca kendi içerisindeki L\*, a\* ve b\* değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p≤0.05). Trabzon hurması şarap ve sirke

üretim süreçlerinde renk değerleri incelendiğinde, cibre fermentasyonu ile meyve pigmentlerinin ürüne aktarılması sonucu alkol fermentasyonu süresince L\* (parlaklık) değerlerinde artış gözlenmiştir. Buna karşın, asetik asit fermentasyonu aşamasında L değerlerinde belirgin dalgalanmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, meyve rengini temsil eden a\* ve b\* parametrelerinin fermentasyon aşamalarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Yaban mersini sirkesi üretim aşamalarında ölçülen renk değerlerine göre, cibre fermentasyonu sırasında meyve renginin şaraba maksimum düzeyde aktarılmasının hedeflenmesine rağmen, taze meyve ile karşılaştırıldığında alkol fermentasyonu boyunca parlaklık değerlerinde belirgin bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Asetik asit fermentasyonu süresince de parlaklıkta düşüşler görülmekle birlikte, nihai sirke ürününde parlaklık değerlerinin yeniden artış gösterdiği tespit edilmiştir. Muşmula meyvesinin renk değerlerinde ise taze meyve haline göre cibre ve şarap fermentasyon boyunca arttığı belirlendi. Üzüm meyvesinin renk değerlerinde ise fermentasyon boyunca L\* değerlerinin arttığı saptandı. Bu çalışmanın bulguları, üretimde farklı hammaddelerin kullanılmasının sirkelerin renk karakteristiklerinde önemli farklılıklara neden olduğunu göstermektedir.

**Tablo 2. Fermentasyon boyunca sirke örneklerindeki renk değişimleri**

*Table 2. Color changes in vinegar samples during fermentation*

|                        | L*                         | a*                        | b*                        |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Trabzon hurması</b> |                            |                           |                           |
| meyve suyu             | 16.52 ±1.15 <sup>c</sup>   | 7.99±0.28 <sup>a</sup>    | 9.63 ±0.36 <sup>a</sup>   |
| cibre                  | 26.40 ±1.17 <sup>b</sup>   | 1.29 ±0.10 <sup>b</sup>   | -5.1 ±0.16 <sup>g</sup>   |
| şarap                  | 38.82±1.87 <sup>a</sup>    | -1.56 ±0.07 <sup>f</sup>  | 0.38 ±0.03 <sup>c</sup>   |
| 15. gün sirke          | 16.44 ±1.23 <sup>c</sup>   | -0.40±0.03 <sup>e</sup>   | -2.92 ±0.04 <sup>f</sup>  |
| 30. gün sirke          | 11.61 ±0.80 <sup>e</sup>   | -0.32±0.05 <sup>d</sup>   | 0.07 ±0.00 <sup>d</sup>   |
| 45. gün sirke          | 13.02±1.05 <sup>d</sup>    | 0.02 ±0.00 <sup>c</sup>   | -0.45 ±0.02 <sup>e</sup>  |
| 60. gün sirke          | 17.23 ±1.34 <sup>c</sup>   | -0.41 ±0.02 <sup>c</sup>  | 1.54 ±0.03 <sup>b</sup>   |
| <b>Yaban Mersini</b>   |                            |                           |                           |
| meyve suyu             | 12.62 ±0.96 <sup>b</sup>   | 14.21 ±1.02 <sup>b</sup>  | 1.43 ±0.10 <sup>d</sup>   |
| cibre                  | 4.17 ±0.12 <sup>d</sup>    | 13.49 ±0.99 <sup>bc</sup> | 2.78 ±0.23 <sup>b</sup>   |
| şarap                  | 3.77 ±0.14 <sup>e</sup>    | 12.51 ±0.98 <sup>c</sup>  | 2.49 ±0.20 <sup>b</sup>   |
| 15. gün sirke          | 6.26 ±0.24 <sup>c</sup>    | 18.42 ±1.12 <sup>a</sup>  | 3.51 ±0.13 <sup>a</sup>   |
| 30. gün sirke          | 3.49 ±0.17 <sup>ef</sup>   | 9.56 ±0.32 <sup>d</sup>   | 1.76 ±0.12 <sup>e</sup>   |
| 45. gün sirke          | 3.25 ±0.15 <sup>f</sup>    | 8.49 ±0.28 <sup>e</sup>   | 1.64 ±0.11 <sup>cd</sup>  |
| 60. gün sirke          | 15.41± 1.07 <sup>a</sup>   | 19.52 ±1.05 <sup>a</sup>  | 2.75± 0.09 <sup>b</sup>   |
| <b>Muşmula</b>         |                            |                           |                           |
| meyve suyu             | 28.84 ±1.12 <sup>c</sup>   | 12.41 ±0.94 <sup>b</sup>  | 22.37 ±1.04 <sup>b</sup>  |
| cibre                  | 35.98 ±1.18 <sup>b</sup>   | 16.52 ±0.99 <sup>a</sup>  | 29.59 ±1.13 <sup>a</sup>  |
| şarap                  | 36.08 ±1.14 <sup>ab</sup>  | 15.86 ±1.01 <sup>a</sup>  | 29.12± 1.09 <sup>a</sup>  |
| 15. gün sirke          | 25.56 ±1.04 <sup>d</sup>   | -0.49 ±0.02 <sup>f</sup>  | 6.10± 0.15 <sup>e</sup>   |
| 30. gün sirke          | 35.48 ±1.35 <sup>b</sup>   | 2.94 ±0.23 <sup>d</sup>   | 14.79± 0.98 <sup>d</sup>  |
| 45. gün sirke          | 37.26 ±1.32 <sup>a</sup>   | 8.96 ±0.12 <sup>c</sup>   | 19.81 ± 1.02 <sup>c</sup> |
| 60. gün sirke          | 37.51 ±1.04 <sup>a</sup>   | 1.27 ±0.04 <sup>e</sup>   | 12.50± 0.99 <sup>d</sup>  |
| <b>Aluç</b>            |                            |                           |                           |
| meyve suyu             | 31.34 ± 1.04 <sup>b</sup>  | 13.63 ±0.27 <sup>a</sup>  | 17.80±0.30 <sup>c</sup>   |
| cibre                  | 13.62 ± 0.32 <sup>d</sup>  | -1.03 ±0.03 <sup>g</sup>  | 10.20± 0.46 <sup>f</sup>  |
| şarap                  | 31.39 ± 1.07 <sup>b</sup>  | -0.98 ±0.03 <sup>f</sup>  | 15.64 ±0.72 <sup>d</sup>  |
| 15. gün sirke          | 33.91 ± 1.14 <sup>a</sup>  | -0.26 ±0.01 <sup>e</sup>  | 13.31± 0.53 <sup>e</sup>  |
| 30. gün sirke          | 27.44 ± 1.00 <sup>c</sup>  | 1.78 ±0.07 <sup>d</sup>   | 17.24 ±0.24 <sup>c</sup>  |
| 45. gün sirke          | 25.51 ± 1.12 <sup>c</sup>  | 4.48 ±0.17 <sup>c</sup>   | 19.44 ±0.21 <sup>b</sup>  |
| 60. gün sirke          | 32.59 ± 1.09 <sup>ab</sup> | 8.53 ±0.38 <sup>b</sup>   | 23.55 ±0.12 <sup>a</sup>  |
| <b>Üzüm</b>            |                            |                           |                           |
| meyve suyu             | 13.69 ± 0.12 <sup>c</sup>  | 0.67 ± 0.04 <sup>e</sup>  | 2.17 ± 0.05 <sup>b</sup>  |
| cibre                  | 17.81 ± 0.10 <sup>d</sup>  | 1.23 ± 0.09 <sup>d</sup>  | -1.79 ± 0.04 <sup>g</sup> |
| şarap                  | 18.05± 0.23 <sup>cd</sup>  | 2.05 ±0.08 <sup>b</sup>   | 0.07 ±0.00 <sup>f</sup>   |
| 15. gün sirke          | 17.15 ± 0.12 <sup>d</sup>  | 1.82 ± 0.03 <sup>c</sup>  | 0.92 ± 0.07 <sup>d</sup>  |
| 30. gün sirke          | 22.18 ± 0.53 <sup>b</sup>  | 1.96 ± 0.12 <sup>bc</sup> | 0.38 ± 0.03 <sup>e</sup>  |
| 45. gün sirke          | 19.55 ± 0.32 <sup>c</sup>  | -0.39± 0.03 <sup>f</sup>  | 1.27 ± 0.09 <sup>c</sup>  |
| 60. gün sirke          | 35.53 ± 0.37 <sup>a</sup>  | 6.52 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 4.85 ± 0.20 <sup>a</sup>  |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler p≤0.05 seviyesinde fermentasyon boyunca her bir örneğin kendi içerisinde anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

En yüksek kırmızılık ( $a^*$ , pozitif değer) değeri yaban mersininden üretilen sirkede belirlenmiş olup en yüksek yeşillik değeri ( $a^*$ , negatif değer) ise Trabzon hurmasından üretilen sirkede tespit edilmiştir. Trabzon hurmasından üretilen sirke hariç, diğer tüm sirke örneklerinin sarı rengi ifade eden pozitif  $b^*$  değerlerine sahip olduğu belirlendi. Bizim çalışmamıza benzer sonuçları, Karadağ ve ark. (2020) ve Öztürk (2022)'nin yaptıkları çalışmalarda bildirmişlerdir.

### 3.3. Sirke Üretim Sürecinin Meyvelerin Biyoaktif Bileşenlerine Etkisi

Taze meyve, cibre şarap ve belirli aralıklarla analiz edilen (15., 30., 45. ve 60. gün) sirke örneklerinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasiteleri (DPPH ve CUPRAC yöntemleriyle) *Tablo 3, 4, 5 ve 6*'da gösterildi. Taze meyvelerdeki biyoaktif bileşenler bakımından, Trabzon hurması en yüksek toplam fenolik madde miktarına ve antioksidan kapasitesine (DPPH yöntemiyle) sahipken, üzüm ve muşmula meyveleri en düşük fenolik madde miktarına sahip olduğu saptandı (*Tablo 3*) ve istatistiksel olarak önemli bulundu ( $p \leq 0.05$ ). Taze meyvelerle kıyaslandığında, cibre fermentasyonu sonrası meyvelerin biyoaktivite değerlerinde artış saptandı ve en yüksek fenolik madde miktarlarının alıçta (453.45 mg GAE L<sup>-1</sup>) ve Trabzon hurmasında (408.32 mg GAE L<sup>-1</sup>) olduğu belirlendi (*Tablo 4*) ve istatistiksel olarak önemli bulundu ( $p < 0.05$ ). Alkol fermentasyonu sonrası meyvelerin toplam fenolik madde miktarları 123.33 ile 623.33 mg GAE L<sup>-1</sup> aralığında saptandı. Sirke fermentasyonu boyunca örneklerdeki biyoaktif bileşenlerin değişimleri *Tablo 6*'da verildi. Genel olarak depolama boyunca, en yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite (DPPH ve CUPRAC yöntemleri) miktarları sırasıyla alıç ve muşmula sirke örneklerinde, en düşük değer ise sirke örneklerinde saptandı. Sirke fermentasyonun 45. gününde alıç, muşmula ve üzüm fenolik madde miktarları en yüksek değerlere sahipken, yaban mersini ve Trabzon hurması sirke fermentasyonunun 60. gününde fenolik madde miktarları bakımından en yüksek değerlere sahipti.

**Tablo 3. Taze meyvelerin biyoaktivite değerleri**

*Table 3. Bioactive values of fresh fruits*

| Taze Meyve      | Toplam Fenolik Madde (mg GAE L <sup>-1</sup> ) | DPPH (mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) | CUPRAC (mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Muşmula         | 52.87±0.99 <sup>d</sup>                        | 0.02±0.00 <sup>d</sup>           | 0.50±0.09 <sup>c</sup>             |
| Üzüm            | 51.07±1.40 <sup>d</sup>                        | 0.04±0.00 <sup>d</sup>           | 1.76±0.16 <sup>a</sup>             |
| Yaban Mersini   | 165.58±1.94 <sup>b</sup>                       | 0.20±0.04 <sup>c</sup>           | 0.80±0.02 <sup>b</sup>             |
| Alıç            | 94.2±2.97 <sup>c</sup>                         | 0.32±0.05 <sup>b</sup>           | 0.75±0.03 <sup>bc</sup>            |
| Trabzon Hurması | 316.34±8.50 <sup>a</sup>                       | 0.51±0.09 <sup>a</sup>           | 0.75±0.07 <sup>bc</sup>            |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler  $p \leq 0.05$  seviyesinde taze meyveler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

Sirkede doğal olarak asetik ve laktik asit bakterilerinin polifenolik bileşikler sentezlemesi ya da metabolize etmesi durumu söz konusudur. Dolayısıyla, fermente bir ürün olan sirkenin asetik asit bakterilerini fazla sayıda içermesi bakımından sirkede doğal olarak mevcut olan fenolik madde miktarlarında artış saptanmaktadır (Budak, 2021; Yin ve ark., 2024). Ayrıca, sirke biyoaktif bileşenler bakımından oldukça zengin bir üründür. Çeşitli sirke türlerinde özellikle fenolik bileşikler, melanoidinler, fruktooligosakkaritler, mineraller, vitaminler ve alfa-glukanlar gibi çok sayıda fonksiyonel bileşen bulunmaktadır (Şengün ve Kılıç, 2019).

Çalışmamızda, taze meyve, cibre ve alkol fermentasyonu aşamalarıyla karşılaştırıldığında tüm sirke örneklerinde depolama süresi boyunca biyoaktif bileşen düzeylerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Trabzon hurmasında toplam fenolik madde içeriğinin taze meyvede düşük olduğu, alkol fermentasyonu sırasında daha da azaldığı, ancak asetik asit fermentasyonu ile tekrar yükselerek 60. günde en yüksek seviyeye ulaştığı saptanmıştır. Yaban mersininde fenolik madde miktarının cibre fermentasyonu ile artış gösterdiği, alkol fermentasyonunda azaldığı ve asetik asit fermentasyonu sürecinde yeniden yükselişe geçtiği görülmüştür. Muşmula örneğinde fenolik bileşik içeriğinin hem alkol hem de asetik asit fermentasyonu boyunca sürekli artış eğiliminde olduğu ve asetik asit fermentasyonu sonunda en yüksek değerine ulaştığı belirlenmiştir. Muşmula örneklerinde antioksidan kapasitenin alkol fermentasyonu sırasında arttığı, asetik asit fermentasyonu ile hafif bir düşüş gözlemlense de taze meyveye göre hâlâ daha yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Alıç meyvesinde toplam fenolik madde içeriklerinin alkol ve asetik asit fermentasyonu süresince artış gösterdiği, en yüksek seviyenin 45. günde elde edildiği ve daha sonra hafif bir azalma yaşandığı belirlenmiştir. Üzüm örneklerinde ise fenolik madde miktarının hem alkol hem de asetik asit fermentasyonu sürecinde artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Ancak 30. günden sonra fenolik seviyelerde bir düşüş gözlemlense de bu değerler taze meyveye kıyasla hâlâ yüksek bulunmuştur.

Antioksidan kapasite açısından yapılan ölçümler, kullanılan yöntemlere göre farklılık göstermiştir. DPPH yöntemine göre antioksidan kapasite alkol fermentasyonu ile artmış, ardından azalma eğilimi göstermiştir. CUPRAC yöntemine göre ise alkol fermentasyonu antioksidan kapasiteyi düşürürken, asetik asit fermentasyonu ile kısmen artış gözlenmiştir; ancak 15. günden sonra tekrar azalma kaydedilmiştir (Tablo 3, 4, 5 ve 6).

**Tablo 4. Cibre fermentasyonu sonrası meyvelerin biyoaktivite değerleri**

*Table 4. Bioactive values in fruits after cider fermentation*

| Cibre           | Toplam Fenolik Madde<br>(mg GAE L <sup>-1</sup> ) | DPPH<br>(mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) | CUPRAC<br>(mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Muşmula         | 202.58±6.41 <sup>b</sup>                          | 0.53±0.03 <sup>b</sup>              | 1.66±0.02 <sup>c</sup>                |
| Üzüm            | 96.91±2.36 <sup>c</sup>                           | 0.14±0.05 <sup>c</sup>              | 1.76±0.16 <sup>c</sup>                |
| Yaban Mersini   | 221.23±10.21 <sup>b</sup>                         | 0.49±0.11 <sup>c</sup>              | 2.21±0.09 <sup>b</sup>                |
| Alıç            | 453.45±12.52 <sup>a</sup>                         | 0.70±0.09 <sup>a</sup>              | 4.53±0.17 <sup>a</sup>                |
| Trabzon Hurması | 408.32±19.11 <sup>a</sup>                         | 0.35±0.04 <sup>d</sup>              | 0.93±0.01 <sup>d</sup>                |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler p≤0.05 seviyesinde cibre fermentasyonu sonrası meyveler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

Örneklerin antioksidan kapasitelerinin değerlendirilmesinde en az iki analizin uygulanması gerektiği düşünülmektedir, çünkü her yöntemin antioksidan etki göstermek için farklı bir reaksiyon mekanizması vardır (Özkan ve ark., 2021). Bu nedenle, çalışmamızda iki farklı yöntem (DPPH ve CUPRAC) kullanılmıştır. Bu çalışmada fenolik madde miktarı yüksek olan örneklerin genel olarak DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasitelerinin de yüksek olduğu, ancak CUPRAC yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite miktarlarında ise değişkenlik gösterdiği saptandı. Ayrıca çalışmamızda, tüm örneklerin CUPRAC değerlerinin DPPH yöntemiyle elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu saptandı. Cu<sup>2+</sup> iyonu serbest radikallerin oluşumunda rol oynar ve bakır iyonunun indirgenmesi antioksidan potansiyeli ölçen DPPH yönteminden farklı bir mekanizmayı yansıtmaktadır. Bu durum, CUPRAC testinin reaktifinin hem sulu hem de organik çözücülerde çözünür olmasından kaynaklanmakta ve böylece ekstraktların hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidan kapasitesinin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Buna karşın, DPPH testi yalnızca organik çözücüde çözünebilir bir radikal kullandığı için daha çok hidrofobik sistemlerde uygulanabilmektedir (Capanoglu ve ark., 2018).

Çalışmada elde edilen antioksidan kapasite verileri incelendiğinde, DPPH ve CUPRAC analiz sonuçları arasında bazı örneklerde (özellikle alıç ve yaban mersini) farklı eğilimler gözlenmiştir. Toplam fenolik madde (TFM) miktarındaki artışa rağmen antioksidan kapasite artış hızlarının farklılık göstermesi, analiz yöntemlerinin kimyasal mekanizmaları ve meyvelerin spesifik fenolik kompozisyonları ile açıklanmaktadır (Hafzan ve ark., 2017). Bazı örneklerde gözlenen ters eğilimler, polifenollerin yapısal modifikasyonları ile doğrudan ilgilidir. Fermentasyon mikrobiyotası tarafından gerçekleştirilen biyotransformasyon reaksiyonları, moleküllerdeki hidroksil gruplarının (-OH) sayısını ve pozisyonunu değiştirebilmektedir. Literatürde de vurgulandığı üzere, antioksidan kapasite sadece toplam miktara değil, fenolik bileşiklerin spesifik yapısına ve sinerjik etkileşimlerine bağlıdır.

**Tablo 5. Alkol fermentasyonu sonrası meyvelerin biyoaktivite değerleri**

*Table 5. Bioactive values in fruits after alcohol fermentation*

| Şarap           | Toplam Fenolik Madde<br>(mg GAE L <sup>-1</sup> ) | DPPH<br>(mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) | CUPRAC<br>(mg TEAC mL <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Muşmula         | 229.94±1.85 <sup>b</sup>                          | 0.05±0.00 <sup>c</sup>              | 3.05±0.04 <sup>b</sup>                |
| Üzüm            | 123.33±8.09 <sup>d</sup>                          | 0.34±0.06 <sup>b</sup>              | 1.76±0.12 <sup>d</sup>                |
| Yaban Mersini   | 167.18±6.44 <sup>c</sup>                          | 0.60±0.01 <sup>ab</sup>             | 2.67±0.10 <sup>c</sup>                |
| Alıç            | 623.33±3.20 <sup>a</sup>                          | 1.24±0.06 <sup>a</sup>              | 7.10±0.11 <sup>a</sup>                |
| Trabzon Hurması | 144.65±4.51 <sup>cd</sup>                         | 0.65±0.04 <sup>ab</sup>             | 1.67±0.13 <sup>d</sup>                |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler p≤0.05 seviyesinde alkol fermentasyonu sonrası meyveler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

Türkiye’de hem geleneksel hem de ticari olarak üretilen çeşitli sirkelerde (geleneksel üzüm, elma, nar, elma-limon, enginar ve alıç sirkeleri ile endüstriyel üzüm, elma, limon, vişne ve nar sirkeleri) yapılan analizler sonucunda, en yüksek toplam fenolik madde (2228.79 mg GAE L<sup>-1</sup>) ve antiradikal aktivite (DPPH %89.53) değerlerinin geleneksel üzüm sirkelerinde elde edildiği belirlenmiştir (Ozturk ve ark., 2015). Bu durum, kullanılan hammadde çeşitliliği, uygulanan üretim yöntemleri, fermentasyon parametreleri ile olgunlaştırma sürelerindeki

değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Liu ve ark. (2019)'nın yaptığı bir çalışmada, meyve sirkelerinin toplam fenolik madde değerleri 29.64 ile 3216.60 mg GAE L<sup>-1</sup> arasında değiştiğini, Ren ve ark. (2017)'nin yaptığı bir çalışmada, meyve sirkelerinin toplam fenolik madde miktarları 274.08 ile 754.50 mg GAE L<sup>-1</sup> arasında değiştiğini bildirildi. Ubeda ve ark. (2011)'in Trabzon hurması üzerine yürütülen bir araştırmada, toplam fenolik madde içeriğinin Trabzon hurması püresinde 277–424.1 µmol GAE kg<sup>-1</sup>, Trabzon hurması şarabında 245–320.6 µmol GAE kg<sup>-1</sup> ve Trabzon hurması sirkesinde 268–397.5 µmol GAE kg<sup>-1</sup> aralığında olduğu belirlenmiştir. Ünal (2007) tarafından Dimrit üzüm sirkesi üzerine gerçekleştirilen çalışmada ise Dimrit üzümünden elde edilen şıranın, şarabın ve sirkenin toplam fenol miktarları sırasıyla 505.81 mg L<sup>-1</sup>, 334.68 mg L<sup>-1</sup> ve 494.18 mg L<sup>-1</sup> olarak rapor edilmiştir. Bu değerler arasındaki farklılıkların meyvelerin yetiştirildiği bölgeler, depolama koşulları ve kullanılan sirke üretim yöntemlerindeki değişikliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Bizim çalışmamızda, fermentasyon süreci boyunca (15, 30, 45 ve 60. günlerde) biyoaktif bileşenlerdeki değişimler incelendiğinde, muşmula, alıç ve üzüm sirkelerinin 45. Gününde bir kırılma noktası (optimum nokta) olduğu saptanmıştır. Fermentasyonun 60. gün sonrası fenolik madde miktarlarındaki azalış, ortamdaki fermente edilebilir şekerlerin tükenmesi sonucu asetik asit bakterilerinin oksidasyon evresine geçerek mevcut asetik asidi ve bazı organik bileşikler karbon kaynağı olarak kullanmaya başlamasıyla ilgili olabilir.

**Tablo 6. Sirke fermentasyonu boyunca sirke örneklerindeki biyoaktif bileşenlerin değişimleri**

*Table 6. Bioactive compound changes in vinegar samples during fermentation*

|                 | <b>Toplam Fenolik Madde<br/>(mg GAE L<sup>-1</sup>)</b> | <b>DPPH<br/>(mg TEAC mL<sup>-1</sup>)</b> | <b>CUPRAC<br/>(mg TEAC mL<sup>-1</sup>)</b> |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>15. gün</b>  |                                                         |                                           |                                             |
| Muşmula         | 443.75±22.72 <sup>b</sup>                               | 0.34±0.08 <sup>b</sup>                    | 3.12±0.01 <sup>b</sup>                      |
| Üzüm            | 98.71±9.70 <sup>d</sup>                                 | 0.04±0.01 <sup>c</sup>                    | 2.12±0.14 <sup>d</sup>                      |
| Yaban mersini   | 255.77±10.83 <sup>c</sup>                               | 0.25±0.04 <sup>b</sup>                    | 2.66±0.02 <sup>c</sup>                      |
| Alıç            | 702.61±26.80 <sup>a</sup>                               | 1.61±0.30 <sup>a</sup>                    | 4.87±0.20 <sup>a</sup>                      |
| Trabzon hurması | 150.06±2.24 <sup>c</sup>                                | 0.35±0.11 <sup>b</sup>                    | 2.54±0.05 <sup>cd</sup>                     |
| <b>30. gün</b>  |                                                         |                                           |                                             |
| Muşmula         | 464.77±58.27 <sup>b</sup>                               | 0.23±0.06 <sup>b</sup>                    | 4.05±0.04 <sup>b</sup>                      |
| Üzüm            | 231.44±12.37 <sup>c</sup>                               | 0.02±0.00 <sup>c</sup>                    | 2.01±0.31 <sup>cd</sup>                     |
| Yaban mersini   | 226.34±4.18 <sup>c</sup>                                | 0.18±0.01 <sup>b</sup>                    | 2.38±0.74 <sup>c</sup>                      |
| Alıç            | 912.22±19.30 <sup>a</sup>                               | 1.77±0.08 <sup>a</sup>                    | 5.8±0.04 <sup>a</sup>                       |
| Trabzon hurması | 277.39±21.50 <sup>c</sup>                               | 0.25±0.13 <sup>b</sup>                    | 1.69±0.12 <sup>d</sup>                      |
| <b>45. gün</b>  |                                                         |                                           |                                             |
| Muşmula         | 738.65±46.84 <sup>b</sup>                               | 0.14±0.04 <sup>b</sup>                    | 2.25±0.05 <sup>b</sup>                      |
| Üzüm            | 133.24±3.60 <sup>c</sup>                                | 0.15±0.05 <sup>b</sup>                    | 1.17±0.05 <sup>d</sup>                      |
| Yaban mersini   | 210.72±0.99 <sup>d</sup>                                | 0.15±0.05 <sup>b</sup>                    | 1.27±0.05 <sup>c</sup>                      |
| Alıç            | 961.62±31.90 <sup>a</sup>                               | 0.40±0.07 <sup>a</sup>                    | 2.93±0.06 <sup>a</sup>                      |
| Trabzon hurması | 356.67±1.80 <sup>c</sup>                                | 0.44±0.08 <sup>a</sup>                    | 1.23±0.08 <sup>c</sup>                      |
| <b>60. gün</b>  |                                                         |                                           |                                             |
| Muşmula         | 733.24±10.37 <sup>a</sup>                               | 0.24±0.01 <sup>a</sup>                    | 2.60±0.01 <sup>b</sup>                      |
| Üzüm            | 89.40±2.58 <sup>d</sup>                                 | 0.09±0.00 <sup>c</sup>                    | 0.63±0.07 <sup>d</sup>                      |
| Yaban mersini   | 267.78±11.49 <sup>c</sup>                               | 0.10 ±0.00 <sup>b</sup>                   | 1.13±0.07 <sup>bc</sup>                     |
| Alıç            | 683.78±12.70 <sup>a</sup>                               | 0.23±0.07 <sup>a</sup>                    | 3.41±0.09 <sup>a</sup>                      |
| Trabzon hurması | 408.32±29.12 <sup>b</sup>                               | 0.11±0.02 <sup>b</sup>                    | 0.93±0.01 <sup>c</sup>                      |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütundaki belirtilen farklı harfler p≤0.05 seviyesinde sirke fermentasyonu boyunca örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir.

Sirke üretim sürecinde cibre fermentasyonu, fenolik bileşenlerin sıraya geçişini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, oluşan alkolün yanı sıra cibre fermentasyon yöntemi ve süresi, sirke üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Şarap örneklerinde toplam fenolik madde içeriğinin artış göstermesi ise, fermentasyon sırasında üzümde şekerle bağlı olarak bulunan fenolik bileşenlerin serbest hale gelmesi ve bu bileşenlerin alkolde daha iyi çözünerek şaraba geçmesinden kaynaklanmaktadır (Güven, 1994; Uruk, 2017). Ancak çalışmamız, fenolik madde içeriğinin yalnızca alkol fermentasyonu sırasında değil, aynı zamanda asetik asit fermentasyonu boyunca da üzüm hariç artış gösterdiğini, dolayısıyla cibre fermentasyonunun sirke üretim sürecinde fenolik bileşenler üzerinde tek başına belirleyici bir etkisi olmadığını göstermektedir.

### 3.4. Sirke Örneklerinde Duyusal Analiz Sonuçları

Duyusal analiz sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 1’de verilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre sirke örnekleri arasında en yüksek genel beğeni skorunu üzüm sirkesi elde etmiştir. Özellikle fenolik içeriklerin burukluk üzerindeki etkisi, uçucu bileşiklerin koku/aroma skorlarına yansımaları ve asitliğin genel kabul edilebilirlik üzerindeki rolü önemlidir. Renk, aroma ve koku gibi önemli duyusal parametrelerde üzüm sirkesi diğer örneklerden daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Yaban mersini sirkesi ise renk bakımından oldukça yüksek puan almasına rağmen aroma ve koku açısından orta düzeyde beğeni kazanmıştır. Trabzon hurması ve muşmula sirkelerinde gözlenen orta seviyedeki duyusal kabul, bu meyvelerin yüksek fenolik içeriklerinden (özellikle taninler) kaynaklanan karakteristik burukluk hissinin damak tadı üzerindeki dengeleyici etkisine bağlanabilir. Alıç sirkesinde ise düşük koku ve aroma skorlarına rağmen renk ve genel izlenim parametrelerinin kabul görmesi, görsel kalitenin tüketici tercihindeki önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, tüketici kabulünün özellikle aroma ve koku bileşenleriyle yüksek korelasyon gösterdiği, 45. günde maksimuma ulaşan biyoaktif ve uçucu profilin sirkelerin duyusal kalitesini şekillendiren temel faktör olduğu ve üzüm sirkesinin bu parametreler bazında en ideal kimyasal-duyusal dengeyi sunduğu değerlendirilmektedir.

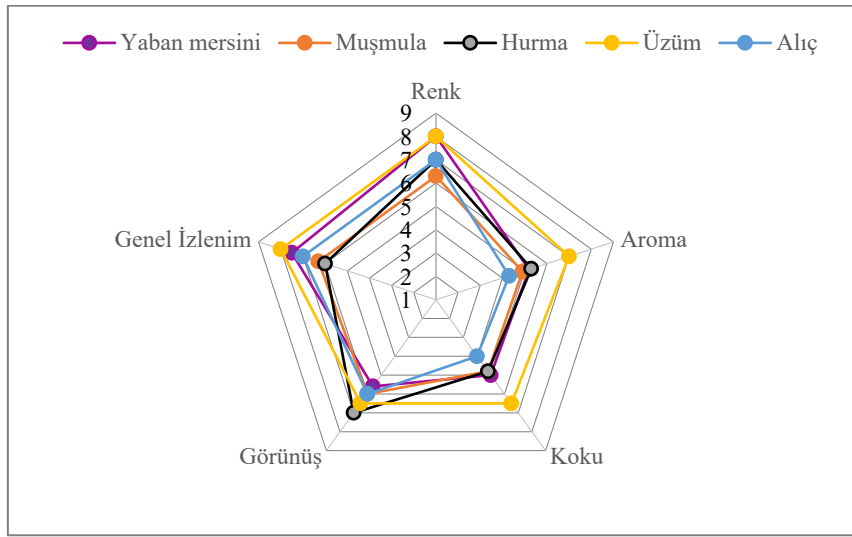


Figure 1. Sensory analysis results of vinegars

Şekil 1. Sirkelerin duyusal analiz sonuçları

### 4. Sonuç

Bu çalışmada, biyoaktif bileşenlerce zengin yabani meyvelerden (yaban mersini, Trabzon hurması, muşmula, alıç ve üzüm) yüzey kültür yöntemi ile sirke üretimi gerçekleştirilmiş; üretim süreci boyunca antioksidan kapasite, serbest radikal süpürme aktivitesi, toplam fenolik madde içeriği ve fizikokimyasal özelliklerdeki değişimler değerlendirilmiştir. Titrasyon asitliği verilerine göre, 30. günde üzüm sirkesi %2.18 (asetik asit eşdeğeri) ile en yüksek asitliğe ulaşırken, yabani meyvelerin asitlik değerleri daha düşük seyretmiştir. Elde edilen bulgular, yabani meyve sirkelerinin biyoaktif özellikler bakımından geleneksel olarak tüketilen üzüm sirkesinden belirgin şekilde daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle alıç ve muşmula numuneleri en yüksek toplam fenolik madde miktarına (sırasıyla 961.62 ve 738.65 mg/GAE L<sup>-1</sup>) sahipti. Yabani meyve sirkeleri, geleneksel üzüm sirkesine oranla toplam fenolik içerik bakımından 2 ile 7 kat arasında daha zengin bir profil sergilemiştir. Analiz yöntemleri arasındaki farklılıkların çözücü polaritesi ve reaksiyon mekanizmalarından kaynaklandığı belirlenmiş; bu durum DPPH ve CUPRAC sonuçlarının karşılaştırılmasında varyasyon oluşturmuştur. Duyusal analizlerde ise yaban mersini sirkesi genel izlenim ve renk bakımından daha çok beğenilirken, aroma ve koku yönünden tüketici alışkanlıkları doğrultusunda üzüm sirkesi tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan geleneksel yüzey kültür yöntemi, fermentasyonun doğal mikroflora ile ilerlemesi nedeniyle süreç kontrolünün sınırlı olması ve endüstriyel olarak yaygın olarak kullanılan derin kültür metoduna göre daha uzun süre gerektirmesi bakımından dezavantaj oluşturmaktadır. Bununla birlikte, doğal fermentasyonun sağladığı yüksek biyoaktif bileşen korunumu, bu yöntemin fonksiyonel ürün geliştirme açısından önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, yabani meyve sirkeleri yüksek antioksidan

aktiviteleri ve fenolik içerikleri ile fonksiyonel gıda olarak değerlendirilebilecek niteliktedir. Bu bulgular, alternatif hammaddeler kullanılarak yeni sirke çeşitlerinin geliştirilmesi ve ürün çeşitliliğinin artırılmasına yönelik ilerideki araştırmalar için yol gösterici niteliktedir. Ayrıca, tüketici bilinirliğinin artırılması ve sirkenin farklı fonksiyonel ürün formlarında kullanılması sektör açısından önem taşımaktadır.

#### **Etik Kurul Onayı**

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

**Planlama:** Özkan, K., Taşlıpınar, E.S., Sağdıç, O.; Materyal ve Metot: Taşlıpınar, E.S., Sağdıç, O.; Veri toplama ve İşleme: Taşlıpınar, E.S.; İstatistik Analiz: Özkan, K., Taşlıpınar, E.S., Literatür Tarama: Taşlıpınar, E.S., Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Özkan, K., Taşlıpınar, E.S., Sağdıç, O.

## Kaynakça

- Akarca, G., Tomar, O., Çağlar, A. and İstek, Ö. (2020). Physicochemical and sensory quality properties of vinegar produced by traditional method from Persian mazafati date (*Phoenix dactylifera* L.). *European Journal of Science and Technology*, 19: 429-434.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. and Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26): 7970-7981.
- Bozdemir, M., Kamer, D. D. A., Akgül, G. ve Gümüş, T. (2021). Farklı hammaddelerden üretilen sirkelerin bazı fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1): 32-44.
- Budak, H. N. (2021). Alteration of antioxidant activity and total phenolic content during the eight-week fermentation of apple cider vinegar. *Horticultural Studies*, 38(1): 39-45.
- Çakır, Ö. and Akbulut, K. (2020). Comparison of two wild grown berberis varieties based on biochemical characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44: 11.
- Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Ozkan, G. and Apak, R. (2018). Evaluation of Antioxidant Activity/Capacity Measurement Methods for Food Products. In: Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications. Ed(s): Apak, R., Capanoglu, E. and Shahidi, F., John Wiley & Sons Ltd, pp. 273-286, Chicester, U. K.
- Cemeroğlu, B. (2013). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bizim Grup Basımevi, Ankara, Türkiye.
- Codex Alimentarius Commission. (1987). Draft European Regional Standard For Vinegar, World Health Organization, Switzerland.
- Giudici, P., De Vero, L. and Gullo, M. (2017). Vinegars. In: Acetic Acid Bacteria: Fundamentals and Food Applications, Ed(s): Sengun, I. Y. CRC Press, 261 287p. Taylor & Francis Group.
- Güven, S. (1994). Bazı Meyvelerden Çeşitli Tipte Şarap Üretimi Üzerine Araştırmalar. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, TAGEM-GY-04-E-2, 21: 22.
- Hafzan, Y., Saw, J. W. and Fadilah, I. (2017). Physicochemical properties, total phenolic content, and antioxidant capacity of homemade and commercial date (*Phoenix dactylifera* L.) vinegar. *International Food Research Journal*, 24(6): 2557-2562.
- Ho, C. W., Lazim, A. M., Fazry, S., Zaki, U. K. H. H. and Lim, S. J. (2017). Varieties, production, composition, and health benefits of vinegars: A review. *Food Chemistry*, 221: 1621-1630.
- İlhan, E. P., Çakır, Ö., Dertli, E. ve Şahin, E. (2019). Yabani Meyvelerin Antioksidan Potansiyeli. *Mas International Conference on Mathematics-Engineering-Natural&Medical Sciences-V*, 2-5 Mayıs, P.918-9127, Erzurum, Türkiye.
- Kang, M., Ha, J.H., and Lee, Y. (2020). Physicochemical properties, antioxidant activities and sensory characteristics of commercial grape vinegars during long-term storage. *Food Science and Technology* (Campinas), 40(4): 909-916.
- Karadağ, A., Bozkurt, F., Bekiroğlu, H. and Sagdic, O. (2020). Use of principal component analysis and cluster analysis for differentiation of traditionally-manufactured vinegars based on phenolic and volatile profiles, and antioxidant activity. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(4): 347-360.
- Karadağ, G., Karaman, A. D. ve Ögüt, S. (2022). Meyve ve sebzelerde bulunan biyoaktif bileşenlerin sağlık üzerine etkileri. *Toros University Journal of Food, Nutrition and Gastronomy*, 1(1): 77-90.
- Karaman, H. T., Küskü, D. Y., Söylemezoğlu, G. ve Çelik, H. (2022). *Vitis labrusca* L. genotiplerinin fenolik bileşik ve antioksidan kapasite içerikleri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2): 318-331.
- Kılıç, C. N., Yıldırım, A. ve Çelik, C. (2023). Taze ve kurutulmuş bazı Trabzon hurması (*Diospyros kaki* L.) çeşitlerinin biyokimyasal içerikleri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(2): 207-216.
- Kutlu, G. (2024). Mutfakta sıfır atık yaklaşımıyla sirke ve turşu üretimi üzerine bir derleme. *Gastro-World*, 4: 10-25.
- Liu, Q., Tang, G. Y., Zhao, C. N., Gan, R. Y. and Li, H. B. (2019). Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars. *Antioxidants*, 8(4): 78.
- Murathan, Z. T., Erbil, N., Düzgüner, V. ve Arslan, M. (2019). Şakok armudunun (*Pyrus elaeagnifolia pallas*) antioksidan, antimikrobiyal ve mutajenik özelliklerinin incelenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1): 447-456.
- Okatan, V., Gündoğdu, M. ve Çolak, A. M. (2017). Uşak'ta yetişen farklı alıç (*Crataegus* spp.) genotipi meyvelerinin bazı kimyasal ve pomolojik karakterlerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3): 39-44.
- Ozkan, K. and Sagdic, O. (2025). The effect of fermentation process on bioactive properties of some vegetables. *Latin American Applied Research an International Journal*, 55(4): 497-503.
- Özkan, K., Karadağ, A. and Sağdıç, O. (2021). Determination of the in vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of Juniper berry (*Juniperus drupacea* Labill.) pekmez. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(3): 290-300.
- Öztürk, H. İ. (2022). Kardinal üzümü, Napolyon kirazı, mürdüm eriği, kivi ve şeftali meyvelerinden doğal fermentasyonla sirke üretim potansiyeli: Fizikokimyasal ve duyuşal özellikler. *Akademik Gıda*, 20(1): 54-62.

- Ozturk, I., Caliskan, O., Tornuk, F. and Sagdic, O. (2015). Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional homemade Turkish vinegars. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*, 63: 144-151.
- Ren, M. M., Wang, X. Y., Tian, C. R., Li, X. J., Zhang, B. S., Song, X. Z. and Zhang, J. (2017). Characterization of organic acids and phenolic compounds of cereal vinegars and fruit vinegars in China. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41: e12937.
- Samad, A., Azlan, A. and Ismail, A. (2016). Therapeutic effects of vinegar: a review. *Current Opinion in Food Science*, 8: 56-61.
- Şengün, İ. Y. ve Kılıç, G. (2018). Dut sirkесinin mikrobiyolojik, fiziksel, kimyasal, antiradikal ve antimikrobiyal özellikleri. *Akademik Gıda*, 16(2): 168-175.
- Şengün, İ. Y. ve Kılıç, G. (2019). Farklı sirke çeşitlerinin mikroflorası, biyoaktif bileşenleri ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 17(1): 89-101.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. In: *Methods in Enzymology*, Eds: Packer, L., Academic Press, U. S. A.
- Tüysüz, B., Çakır, Ö. ve Dertli, E. (2020). Bazı yabani meyve türlerinin antioksidan kapasitesi, toplam fenolik madde içeriği ve fenolik asit profilinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21: 191-197.
- Ubeda, C., Hidalgo, C., Torija, M. J., Mas, A., Troncoso, A. M. and Morales, M. L., (2011). Evaluation of antioxidant activity and total phenols index in persimmon vinegars produced by different processes. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7): 1591-1596.
- Ünal, E. (2007). *Dimrit üzümünden değişik yöntemlerle sirke üretimi üzerinde bir araştırma*. (Yüksek Lisans Tezi) Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Uruk, T. (2017). *Yaban mersini şarabı yapımı ve antioksidan aktivitesinin incelemesi*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yıldız, E., Sinir, G. Ö., Aykas, D. P. ve Gürbüz, O. (2023). Kombü çayı üretiminde muşmula (*Mespilus Germanica* L.) kullanımının antioksidan kapasite ve biyoerişilebilirlik üzerine etkisinin araştırılması. *Gıda*, 48(5): 1021-1035.
- Yin, R., Jiang, J., Ma, X., Xie, Y., Cui, M., Chen, Y., Li, Y., Hu, Y., Cheng, W. and Gao, F. (2024). Dynamic changes of physicochemical parameters, antioxidant activity, organic acids, polyphenols, and volatile components in prune vinegar during fermentation. *Food Bioscience*, 59: 104042.