

Türkiye’de Yetişen Hint İncirinin (*Opuntia ficus-indica*) Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi ve Fermente İçecek Üretiminde Değerlendirilmesi

Hayrettin ÖZER ^{1*} 

¹ TÜBİTAK MAM Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): hayrettin.ozer@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, Mersin ve Antalya bölgelerinden toplanan hint incirinin (*Opuntia ficus-indica*) kabuk ve etli kısımlarının antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri araştırılmış, ayrıca meyve ekstraktı su kefir daneleri ile fermente edilerek fonksiyonel bir içecek geliştirilmiştir. Antimikrobiyal aktivite disk difüzyon yöntemiyle, antioksidan kapasite ise DPPH ve ABTS yöntemleriyle belirlenmiştir. Fermente içeceğin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve biyoaktif özellikleri karakterize edilmiştir. Hint inciri ekstraktlarının hem *Escherichia coli* hem de *Staphylococcus aureus* suşlarına karşı anlamlı inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Etli kısım ekstraktının antimikrobiyal aktivitesi kabuk ekstraktına göre daha yüksek bulunmuştur. Antioksidan analizlerde, etli kısım ekstraktının DPPH ve toplam fenolik içerik açısından kabuk ekstraktından istatistiksel olarak daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Fermantasyon sürecinde, laktik asit bakterileri ve maya popülasyonlarında zamanla anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Fermente içecekteki canlı probiyotik hücre sayıları 3. gün sonunda *Lactobacillus* spp. için $6.82 \log \text{ kob ml}^{-1}$, *Lactococcus* spp. için $7.57 \log \text{ kob ml}^{-1}$ ve maya için $7.77 \log \text{ kob ml}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, hint incirinin güçlü antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri, onun fonksiyonel bir gıda bileşeni olarak kullanım potansiyelini desteklemektedir. Su kefir ile fermente edilerek üretilen içecek, yüksek probiyotik canlılığı ile süt içermeyen, katma değerli bir ürün alternatifi sunmaktadır.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi :06.12.2025
Kabul Tarihi :20.01.2026

Anahtar Kelimeler

Hint inciri
antimikrobiyal
fenolik
antioksidan
fermantasyon
fermente içecek

Determination of Antimicrobial and Antioxidant Activity of Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Grown in Turkey and its Evaluation in Fermented Beverage Production

Abstract

In this study, the antimicrobial and antioxidant properties of the peel and pulp of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) from Mersin and Antalya were investigated, and a functional beverage was developed by fermenting the fruit extract with water kefir grains. Antimicrobial activity was determined using the disk diffusion method, while antioxidant capacity was assessed via DPPH and ABTS assays. The physicochemical, microbiological, and bioactive properties of the fermented beverage were characterized. Prickly pear extracts showed significant inhibition against both *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* ($p<0.05$). The antimicrobial activity of the pulp extract was higher than that of the peel. In antioxidant analyses, the pulp extract exhibited statistically higher DPPH and total phenolic content values compared to the peel extract ($p<0.05$). During fermentation, significant increases in lactic acid bacteria and yeast populations were observed. At the end of day 3, viable probiotic counts were $6.82 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ for *Lactobacillus* spp., $7.57 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ for *Lactococcus* spp., and $7.77 \log \text{ cfu ml}^{-1}$ for yeasts. In conclusion, the strong antimicrobial and antioxidant properties of prickly pear support its potential as a functional food ingredient. The water kefir-fermented beverage offers a non-dairy, value-added product with high probiotic viability.

Research Article

Article History

Received :06.12.2025
Accepted :20.01.2026

Keywords

Prickly pear cactus
antimicrobial
phenolic
antioxidant
fermentation
fermented beverage

Atf: Özer, H., 2026. Türkiye’de Yetişen Hint İncirinin (*Opuntia ficus-indica*) Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi ve Fermente İçecek Üretiminde Değerlendirilmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(1): 241-252. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18650861>

Citation: Özer, H., 2026. Determination of Antimicrobial and Antioxidant Activity of Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Grown in Turkey and Its Evaluation in Fermented Beverage Production. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 10(1): 241-252. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18650861>

© Bu çalışma *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi* tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır.

1. Giriş

Bitkisel kaynaklı doğal kimyasallar hastalıkların önlenmesine ve sağlığa olan faydaları bakımından önemli bir role sahiptirler, nutrasötik bileşikler bu kimyasalların başlıcalarını oluşturmaktadır (Narayanankutty, 2022). Sentetik antioksidanların kullanımındaki sağlık endişeleri nedeniyle doğal antioksidanlara olan ilgi küresel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Sentetik antioksidanların alerjen, kanserojen olduğu ve mide bulantısına, DNA ve sperm anormalliklerine neden olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Wojcik ve ark., 2010). Ayrıca yeni nesil antimikrobiyal, antioksidan ve antikanser ilaçlarına yoğun bir talep bulunmaktadır. *Opuntia ficus-indica* (OFI) L. mill. yaygın olarak dikenli armut, Hint inciri, Berberi incir olarak bilinir ve Cactaceae familyasına ait olup çok uzun zamandır insan tüketiminde ve yem olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak bulunan kuraklığa dayanıklı bir bitkidir (Derabli ve ark., 2022). Kırmızı ve sarı renkli OFI Türkiye'de özellikle "Frenk inciri, Hint inciri" gibi isimlerle bilinmektedir. Her yıl milyonlarca kilogram meyve kabuğu atılarak bertaraf ve çevre sorunlarına neden olurken, bu atık ürünlerin doğru şekilde kullanılması da önemli bir yeni tedavi kaynağı olabilir (Stintzing ve ark., 2005). Türkiye'de Batı ve Güney Anadolu' da yetiştirilmekte olup, soğuk algınlığı, mide rahatsızlığı ve kansızlık sorunlarına karşı kullanılmaktadır (Önem ve ark., 2022). FAO, düşük üretim maliyetleri, düşük çevresel etkisi ve kurak topraklarda özel tarımsal işlemlere ihtiyaç duymadan yetiştirilebilmesi nedeniyle bu bitkiyi gelecek için önemli bir kaynak olarak görmektedir. Tüm bu faktörler sayesinde OFI, FAO tarafından kritik çevre koşullarında bile üreticilere gelir garantisi verebilecek doğal bir kaynak olarak tanınmaktadır. OFI farmakolojik özellikleri ve kimyasal yapılarının çeşitliliği nedeniyle önemli bir terapötik ajan kaynağı olmasının yanı sıra, uzun süredir çeşitli ülkelerin geleneksel tıp uygulamalarında kullanılmaktadır (Park ve ark., 2001). Buna ek olarak içeriğindeki suda çözünebilen pigmentler olan kırmızı ve sarı

renkli betalainler doğal gıda renklendirici olarak da kullanılmaktadır (Stintzing ve ark., 2005). OFI antioksidan (Bellumori ve ark., 2023; Zeghad ve ark., 2019), antibakteriyel (Ali ve ark., 2022; Rajapandi ve ark., 2022), antikanser (Heikal ve ark., 2021), anti-inflamatuar (Antunes-Ricardo ve ark., 2015) etkilerine ek olarak yara iyileştirme aktiviteleri dahil olmak üzere çok çeşitli farmakolojik aktivitelere sahiptir. Hint inciri ve yan ürünleri (çekirdek, kabuk ve diken)'nin zengin polifenol içeriğine sahip olduğu da bilinmektedir. Özellikle meyve ağırlığının yaklaşık %30'unu oluşturan hint inciri kabuğu polisakkaritler ve fenolik bileşikler açısından zengin olmasına karşın, tarımsal-endüstriyel atık olarak kabul edilmektedir (Bellumori ve ark., 2023). Günümüzde çoğunlukla Hint incirinin meyve kısmı üzerine çalışmalar yoğunlaşırken (Bellumori ve ark., 2023), kabuk (Ali ve ark., 2022; Ferreira ve ark., 2023), çekirdek ve diken (Chahdoura ve ark., 2024; Rouhou ve ark., 2023; Aruwa ve ark., 2019) gibi yenilmeyen kısımlarının etkisi üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Taze olarak yenilen Hint incirinde çekirdek yenilebilir posanın yaklaşık %10-15'ini oluştururken kabuğu ise yaklaşık %45-50'sini oluşturmakta ve genellikle posa çıkarıldıktan sonra atık olarak değerlendirilmektedir (Brahmi ve ark., 2020; Elkady ve ark., 2020). Bu sebeple, her yıl milyonlarca kilogram meyve kabuğu atılarak bertaraf ve çevre sorunlarına neden olmakta, bununla birlikte bu atık ürünlerin değerlendirilmesi önemli bir araştırma kaynağı oluşturmaktadır. Araştırmacılar, OFI'nın yan ürünü olan tohumların, makro ve mikro besin maddeleri, doğal lif kaynağı, linoleik asit gibi yağ asitleri ve tokoferoller açısından zengin olduğunu göstermiş, ayrıca yüksek fenolik içeriği sayesinde antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğunu göstermiştir (Elkady ve ark., 2020). OFI'nın isorhamnetin glikozitlerin, özellikle isorhamnetin-3-O-rutinosid ve isorhamnetin tryglikozidlerin ve fukik asit, pissidik asit ve ökomik asit gibi fenolik asitlerin eşsiz bir kaynağı olduğu bilinmektedir (Benayad ve ark., 2014; Khammassi ve ark., 2023; Cai ve ark., 2020). Fitokimyasal çalışmalar, OFI

çiçeklerinde çeşitli kimyasal bileşenlerin varlığını göstermiştir. Bunlar arasında başlıca fenolik bileşikler olarak izorhamnetin glikozitleri, ardından İtalya ve Tunus'ta yetişen OFI'da metanolik ve sulu ekstraktlarında tanımlanan kersetin ve kaempferol glikozitleri yer almaktadır (Ammar ve ark., 2018). Buna ek olarak, yüksek şeker konsantrasyonu OFI, fermantasyon işlemleri için potansiyel bir substrat olma imkanı da sunmaktadır (Derabli ve ark., 2021). Hint incirinin besinsel önemi göz önünde bulundurularak; şarap, reçel ve jöle gibi katma değerli ürünler üretilmektedir (Arrizon ve ark., 2006). Ancak, hint incirinden fermente içecek üretimi Panda ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada ilk kez gerçekleştirilmiştir. Su kefir ile fermente içecek üretilmesi; istenilen tat ve aromayı elde etmek için kullanılabilecek ürün yelpazesinin geniş olması, sağlığa yararları ve su kefir danelerinin tekrar kullanılabilir olmasından kaynaklı düşük üretim maliyeti ve üretim kolaylığı düşünüldüğünde öne çıkmaktadır. Su kefir mikrobiyotasının laktik asit bakterileri, asetik asit bakterileri ve mayalardan oluştuğu bilinmektedir (Gulitz ve ark., 2011). Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yetiştirilen hint incirinin (*Opuntia ficus-indica*) kabuk ve etli kısımlarının antimikrobiyal ve antioksidan potansiyelini belirlemek, aynı zamanda bu özellikleri su kefir fermentasyonu ile fonksiyonel bir fermente içecek üretimine aktarmak ve ürünün fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve biyoaktif özelliklerini karakterize etmektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan hint incirleri Antalya ve Mersin illerinden toplanmıştır. Çalışmada kullanılan su kefir daneleri Kefir Danem firmasından temin edilmiştir. Su kefirleri %5'lik steril kahverengi şeker çözeltisinde 25°C'de çalkalamalı inkübatörde bekletilmiştir. Fermantasyon için su kefir danelerinin aktif ve canlı tutulabilmesi için her 24 saatte daneler taze kahverengi şeker çözeltisine alınmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasalların tamamı analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich (ABD)

firmasından temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan cihazlar ve markaları: Santrifüj (Hettich Rotina 380, Almanya), inkübatör (Mettler IN75, Almanya), UV-Vis spektrofotometre (Biotek Synergy HT, ABD), renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR-400, Japonya), gaz kromatografisi (Thermo Trace GC, İtalya). Hint incirinin kabuklarının antimikrobiyal etkileri *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) ve *Escherichia coli* (ATCC 25922) bakterilerine karşı incelenmiştir.

2.2. Hint inciri ekstraktının hazırlanması

Hint incirinden kabuk ve diken kısımları ayrılmış ve yıkanmıştır. Hint inciri meyvelerinin kabukları küçük parçalar halinde doğandıktan sonra dondurucuda saklanmıştır. Hint incirinin kabuk ve etli kısmının 1 g'ı 5 ml %70'lik etanol çözeltisinde hazırlandıktan sonra su banyosunda 15 dakika işlem uygulanmış ve 4000 rpm'de 10 dakika santrifüj işlemi gerçekleştirildikten sonra sıvı faz toplanmış ve aynı işlem bir kere daha tekrar edilmiştir. Antioksidan ve fenolik aktivite analizleri sıvı örneklerde gerçekleştirilirken, antimikrobiyal aktivite analizi için döner buharlaştırıcıda etanol uzaklaştırılmış ve donduruculu kurutucuda kurutulmuştur. Ekstraktlar kullanılıncaya kadar ışıktan korunmuş ve -20 °C'de saklanmıştır.

2.3. Antibakteriyel aktivite analizi

Hint incirinin kabuk ve etli kısımlarının antibakteriyel aktivitesi kuyucuk difüzyon yöntemi ile 10^6 kob ml^{-1} 'ye ayarlanmış *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) ve *Escherichia coli* (ATCC 25922) bakteri kültürleri Mueller Hinton Agar (MHA) besiyerine 100 μl olarak ekilmiştir (Dikmetas ve ark., 2019). Kuruma işleminden sonra, petri kabının ortasına delme seti ile 8 mm çapında 1 adet kuyucuk açılmış ve 50 mg ml^{-1} 'ye ayarlanmış hint incirinden 80 μl eklenmiş ve 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında antibakteriyel aktiviteye kuyucukların etrafındaki zon ölçülerek karar verilmiştir.

2.4. Antioksidan aktivite

Hint inciri örnekleri ve fermente içeceklerde antioksidan aktivite 2,2-azinobis (3-etilbenzothiazollin-6-sulfonik asit) (ABTS) ve 1,1-difenil-2-pikrihidrazin (DPPH) analizi ile gerçekleştirilmiştir. ABTS çözeltisi ve potasyum persülfat ($K_2S_2O_8$) çözeltisi karıştırılarak hazırlanan ABTS stok çözeltisi 1 gün boyunca karanlık ortamda radikalizasyonunun tamamlanması için bekletilmiştir. ABTS stok çözeltisi'nin 0.05 M KPi (pH=8) tampon çözeltisi yardımıyla absorbansı 0.9 ± 0.2 olana kadar seyreltilmiştir. 100 μ l örnek 1 ml ABTS çözeltisi ile karıştırılmış ve 1 dakika bekletildikten sonra örneklerin ABTS değeri UV-vis spektrofotometre (Biotek, Synergy HT) ile 734 nm'de absorbansı ölçülmüştür (Miller ve Rice-Evans, 1997). 0.1 mM DPPH çözeltisi, %100 etanol çözeltisi içinde çözünerek hazırlanmıştır. 100 μ l ekstrakt 2 ml DPPH çözeltisi ile 10 saniye boyunca vorteks cihazında çalkalanmıştır. Hazırlanan örnekler, 30 dakika boyunca karanlık ortamda bekletildikten sonra, UV-vis spektrofotometre (Biotek, Synergy HT) ile 517 nm'de absorbans değeri ölçülmüştür (Rai ve ark., 2006; Kumaran, 2006). Standart eğriler, Trolox (ABTS, DPPH) ve gallik asit (toplam fenolik)

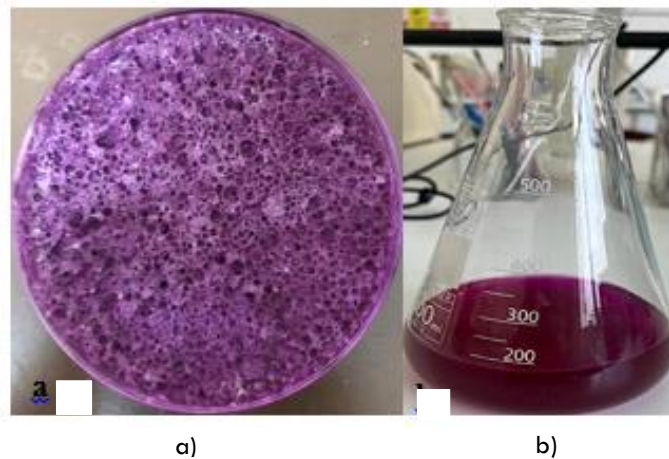
için hazırlanmış olup doğrusal regresyon ($R^2 > 0.99$) ile kalibre edilmiştir.

2.5. Toplam fenolik madde

Elde edilmiş olan 100 μ l meyve ekstraktı ve fermente hint inciri suyu örnekleri, 0.75 ml 0.2 N Folin-Ciocalteu reaktifi (%10) ile karıştırılmıştır. Örnekler, 5 dakika boyunca karanlık ortamda bekletildikten sonra bu karışıma 750 μ l doymuş sodyum karbonat (Na_2CO_3) (%6) çözeltisi ilave edilmiştir. Örnekler vortekslelendikten sonra, 90 dakika boyunca karanlık bir ortamda oda sıcaklığında bekletildikten sonra UV-vis spektrofotometre de (Biotek, Synergy HT) cihazında 765 nm'de absorbans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği, mg gallik asit eşdeğeri GAE g^{-1} kuru ağırlık olarak verilmiştir.

2.6. Hint inciri fermentasyonu ve analizleri

100 g hint inciri 1000 ml steril su ile karıştırıldıktan sonra (1:10 w/v) blenderden geçirilmiştir. Elde edilen çözelti mermerşahin bezinden geçirilerek süzölmüş ve partiküller uzaklaştırılmıştır. Sulu ekstrakta 90 °C'de 3 dakika sirkülasyonlu su banyosunda ısıtılma işlemi uygulanmış ve ardından oda koşullarına soğutulmuştur (Alves ve ark., 2021). Homojenize edilmiş hint inciri ve fermente hint inciri içeceği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hint inciri (a) ve fermente hint inciri ekstraktı (b)

Figure 1. Indian prickly pear (a) and fermented Indian prickly pear extract (b)

Hint inciri ekstraktı 50 ml olarak hazırlanmış ve %1'lik su kefir daneleri ile inokülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon işlemi 25 °C'de 1 ve 2 gün sürdürülmüştür. Su kefir daneleri içermeyen ekstraktlar negatif kontrol olarak kullanılmıştır. Her inkübasyon süresi içerisinde fermente örnekler filtreden geçirilmiş ve sonrasında da donduruculu kurutucuda antioksidan ve fenolik analizler için kurutulmuştur. Tüm üretimler ve analizler üç tekrarlı (n=3) olarak gerçekleştirilmiş ve her

bir analiz üç paralelde yapılmıştır. Farklı inkübasyon sürelerinde alınan fermente örneklerde toplam laktobasil, laktokok ve maya sayımı MRS, M17 ve YEPDA besiyerlerinde gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak elde edilen fermente sularda fizyokimyasal analizler (pH, titre edilebilir asitlik (TTA) ve °Brix) ve renk parametreleri olan (L*, a* ve b*) renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, Japonya) ile ölçülmüştür. Renk farkı (ΔE), başlangıç değerleri referans alınarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{[L^* - L^*_0]^2 + [a^* - a^*_0]^2 + [b^* - b^*_0]^2}$$

Meyve sularının etil alkol içeriği, AOAC 983.13 tekniği ile modifiye edilmiş bir yöntem kullanılarak gaz kromatografisi (Thermo Trace GC, Milano, İtalya) ile analiz edilmiştir.

2.7. İstatistiksel analizler

İstatistiksel analizler Minitab (Sürüm 18.0, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler üç tekrarlı (n=3) yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı farkları belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, ardından Tukey'in çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Antibakteriyel aktivite

Tablo 1'de sunulan sonuçlar, hint inciri (*Opuntia ficus-indica*) kabuk ve etli kısım ekstraktlarının, hem Gram-

pozitif *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) hem de Gram-negatif *Escherichia coli* (ATCC 25922) suşlarına karşı anlamlı antibakteriyel aktivite sergilediğini göstermektedir (p<0.05). İstatistiksel analizlere göre, etli kısım ekstraktının her iki bakteri türü üzerinde de kabuk ekstraktından daha yüksek inhibisyon etkisi oluşturduğu belirlenmiştir. Gram-pozitif *S. aureus*'a karşı ölçülen inhibisyon zon çapları, Gram-negatif *E. coli*'ye kıyasla genellikle daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, Gram-negatif bakterilerin kompleks lipopolisakkarit yapısına sahip dış membran bariyerinin, antimikrobiyal bileşiklerin hücre içine girişini kısmen sınırlaması nedeniyle beklenen bir durumdur ve literatürdeki pek çok çalışma ile uyumludur (Narayanankutty, 2022).

Tablo 1. Hint incirinin antibakteriyel etkisi (n=3)

Table 1. Antibacterial effect of prickly pear (n=3)

İnhibisyon çapı (mm)		
Hint inciri	<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)
Kabuk	14.00 ± 1.00 ^b	15.33 ± 0.57 ^b
Etli kısım	15.33 ± 0.77 ^a	17.33 ± 2.51 ^a

^{a, b}: Aynı sütun içinde farklı üst simge taşıyan değerler istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır (p < 0.05).

Elde edilen inhibisyon zon çapları (14.00-17.33 mm), benzer çalışmalarda rapor edilen değerlerle karşılaştırıldığında, kullanılan ekstraksiyon parametrelerinin sonuçlar üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Örneğin, Ali ve ark. (2022), daha

düşük konsantrasyonda (%70-90 etanol ile hazırlanmış 12.5 mg ml⁻¹ ekstrakt) yaklaşık 6 mm'lik inhibisyon bildirirken, Aruwa ve ark. (2019), dondurularak kurutulmuş kabuk örneklerinden elde edilen ekstraktın *S. aureus*'a karşı 15 mm'lik bir zon oluşturduğunu

belirtmiştir. Benzer şekilde, farklı çözenlerle (%80 aseton, etanol ve metanol) hazırlanan etli kısım ekstraktlarının 8.00-10.67 mm aralığında aktivite gösterdiği rapor edilmiştir. Bu çalışmalar, ekstrakt konsantrasyonu, kurutma yöntemi ve özellikle kullanılan çözenin polaritesinin, hint incirinden ekstrakte edilebilen fenolik asitler, flavonoidler (Benayad ve ark., 2014; Khammassi ve ark., 2023) ve diğer antimikrobiyal bileşiklerin verimi ve dolayısıyla biyolojik aktivitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda %70'lik etanol kullanılarak ve belirli bir konsantrasyonda (50 mg mL⁻¹) hazırlanan ekstraktların gösterdiği yüksek aktivite, bu parametrelerin optimize edilmesinin antimikrobiyal potansiyeli artırabileceğine işaret etmektedir.

3.2. Antioksidan aktivite

Hint inciri kabuk ve etli kısım ekstraktlarının antioksidan kapasiteleri (ABTS ve DPPH radikal süpürme aktiviteleri) ve toplam fenolik içerikleri (TPC) Tablo 2' de sunulmuştur. İstatistiksel analizlere göre, etli kısım ekstraktının DPPH aktivitesi ve TPC değeri, kabuk ekstraktına kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). ABTS aktivitesi açısından ise iki ekstrakt arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Bu bulgular, hint

incirinin farklı dokularındaki fenolik bileşik dağılımındaki varyasyonu yansıtmaktadır. Literatürde, etli kısımda daha yüksek TPC bildiren çalışmalar (Valero-Galvan ve ark., 2021; Aruwa ve ark., 2019) olduğu gibi, kabuk kısmının daha zengin olduğunu gösteren raporlar da mevcuttur. Bu tutarsızlıklar, antioksidan aktivite ve fenolik içeriğin; bitkinin genotipi, yetiştiği bölgenin iklim ve toprak koşulları, meyve olgunluk düzeyi, hasat zamanı ve depolama koşulları gibi faktörlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir (Melgar ve ark., 2017; Khammassi ve ark., 2023). Ayrıca, ekstraksiyonda kullanılan çözücünün tipi ve polaritesi, ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi gibi metodolojik parametreler de ekstrakte edilen bileşik spektrumunu ve miktarını doğrudan belirlemektedir (Mannoubi ve ark., 2021). Nitekim, bazı çalışmalarda bizim bulgularımızdan daha yüksek (Abdel-Hameed ve ark., 2014), benzer (García-Cayuela ve ark., 2019) veya daha düşük TPC değerleri rapor edilmiştir (Al Juhaime ve ark., 2020; Fadimu ve ark., 2022). DPPH radikal süpürme aktivitesi açısından ise sonuçlarımız, Valero-Galvan ve ark. (2021), tarafından bildirilen değerlerle paralellik göstermektedir. Bu durum, hint incirinin yüksek ve değişken biyoaktif potansiyelini vurgulamakta olup, onu fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalar için değerli bir kaynak haline getirmektedir.

Tablo 2. Hint incirinin toplam antioksidan ve fenolik aktivitesi (n=3)

Table 2. Total antioxidant and phenolic activity of prickly pear (n=3)

Antioksidan aktivite			
Hint inciri	ABTS (mg Trolox 100 g ⁻¹ örnek)	DPPH (mg Trolox 100 g ⁻¹ örnek)	Toplam fenolik aktivite (mg GAE 100 g ⁻¹ örnek)
Kabuk	639.6 ± 39.1 ^a	1028.3 ± 58.7 ^b	294.2 ± 13.2 ^b
Etli kısım	517.7 ± 27.4 ^a	1263.5 ± 82.7 ^a	337.1 ± 43.4 ^a

^{a, b}: Aynı sütun içinde farklı üst simge taşıyan değerler istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır ($p < 0.05$). Aynı sütun içinde aynı üst simgeyi taşıyan değerler arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$).

3.3. Fermente hint inciri ekstraktı

Tablo 3' te görüldüğü üzere hint inciri sulu ekstraktının su kefir daneleri ile fermentasyonu sonucunda, laktik asit bakterileri popülasyonlarında zamana bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı artışlar gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). Maya sayısında ise fermentasyonun ilk gününden ikinci gününe

anlamlı bir artış belirlenmiş ($p < 0.05$), ancak ikinci ve üçüncü gün değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Bu bulgu, mayaların fermentasyonun erken fazında hızlı çoğaldığını, ilerleyen aşamada ise popülasyonun stabilizasyon veya sınırlı değişim eğilimi gösterdiğini

düşündürmektedir. Fermentasyonun 2. gününde *Lactobacillus* spp. sayısı 6.82 ± 0.07 log kob ml⁻¹, *Lactococcus* spp. sayısı 7.57 ± 0.20 log kob ml⁻¹ ve maya sayısı ise 7.77 ± 0.87 log kob ml⁻¹ değerlerine ulaşmıştır. Bu yüksek ve canlı probiyotik hücre yoğunlukları, üretilen içeceğin fonksiyonel bir probiyotik ürün olarak potansiyelini ortaya koymaktadır. Su kefir starter kültürünün mikrobiyal kompozisyonu ve başlangıç yükü, fermentasyon verimini doğrudan

etkilemektedir. Örneğin, farklı bir su kefir kültüründe Gökırmaklı ve Güzel-Seydim (2022), farklı oranlarda mikrobiyal yük bildirmiştir. Benzer şekilde, bitkisel bazlı alternatif ortamlarda yapılan fermentasyon çalışmalarında da yüksek canlılıkta probiyotik hücreler elde edilebileceği rapor edilmiştir (Cui ve ark., 2016). Bu bulgular, hint inciri ekstraktının, su kefir mikrobiyotası için uygun bir büyüme ve metabolik aktivite ortamı sağladığını göstermektedir.

Tablo 3. Hint inciri mikrobiyal gelişme (n=3)

Table 3. Microbial growth in prickly pear (n=3)

log (kob ml ⁻¹)	<i>Lactobacillus</i> spp.	<i>Lactococcus</i> spp.	Maya
0. Gün	4.28 ± 0.27^c	4.44 ± 0.37^c	4.85 ± 0.23^b
1. Gün	5.86 ± 0.22^b	6.38 ± 0.06^b	7.10 ± 0.43^a
2. Gün	6.82 ± 0.07^a	7.57 ± 0.20^a	7.77 ± 0.87^a

^{a, b, c}: Aynı sütun içinde farklı üst simge taşıyan değerler istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır ($p < 0.05$). Aynı sütun içinde aynı üst simgeyi taşıyan değerler arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$).

Fermentasyon süresince fizikokimyasal parametrelerde meydana gelen değişimler Tablo 4'te özetlenmiştir. Mikrobiyal metabolizmanın bir sonucu olarak, fermentasyonun ilk gününde pH değerinde başlangıca kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gözlemlenmiştir (3.98'den 3.78'e; $p < 0.05$). İkinci gün pH değeri kısmen artış göstermiş olmakla birlikte, başlangıç değeri ile istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p > 0.05$). Titrasyon asitliğinde (TTA) ise 1.10 ± 0.06 g L⁻¹'den 1.54 ± 0.18 g L⁻¹'e (sitrik asit eşdeğeri) önemli bir artış gözlenmiştir ($p < 0.05$). Bu asitleşme eğilimi, laktik asit bakterilerinin gelişiminin bir göstergesi olup, benzer bitkisel matrikslerde yapılan fermentasyon çalışmalarıyla uyumludur (Randazzo ve ark., 2016; Alves ve ark., 2021). Asitlik artışı, ürünün mikrobiyal stabilitesi ve raf ömrü açısından olumlu bir parametredir. Toplam çözünür katı madde (°Brix) içeriğinde ise fermentasyon süresi boyunca istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Renk parametreleri

üzerinde fermentasyonun belirgin bir etkisi olmuştur. İstatistiksel analizlere göre, fermentasyonun 2. gününde parlaklık (L) değerinde önemli bir artış gözlenirken ($p < 0.05$), kırmızılık (a) ve sarılık (b*) değerlerinde de anlamlı yükselişler kaydedilmiştir ($p < 0.05$). Bu değişimler, toplam renk farkı (ΔE) değerinde fermentasyonun 2. gününde belirgin bir artışa yol açmıştır ($p < 0.05$). Fermentasyon sırasında renk parametrelerinde meydana gelen bu değişimler, mikrobiyal ve enzimatik aktivitelere bağlı olarak betalain pigmentlerinde meydana gelen modifikasyonlar veya yeni renkli bileşiklerin oluşumu ile ilişkilendirilebilir (Stintzing ve ark., 2005). Literatürde, benzer bitkisel fermente ürünlerde de fermentasyon sonrasında parlaklık artışı bildirilmiştir (Corona ve ark., 2016; Alves ve ark., 2021). Renkteki bu dinamik değişim, ürünün görsel kalitesi ve tüketici kabulü açısından değerlendirilmesi gereken bir parametredir.

Tablo 4. Fermente hint incirindeki fizikokimyasal analizler (n=3)**Table 4.** Physicochemical analyses of fermented prickly pear (n=3)

Gün	pH	EtOH (g l ⁻¹)	TSS (°Brix)	TTA (g l ⁻¹ sitrik asit)
0	3.98 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^c	0.1 ± 0.0 ^a	1.10 ± 0.06 ^c
1	3.78 ± 0.00 ^b	0.13 ± 0.01 ^b	0.1 ± 0.0 ^a	1.40 ± 0.00 ^b
2	3.83 ± 0.05 ^{ab}	2.19 ± 0.20 ^a	0.1 ± 0.0 ^a	1.54 ± 0.18 ^a
Renk				
	L*	a*	b*	ΔE
0	31.41 ± 1.61 ^b	7.84 ± 2.47 ^c	0.25 ± 0.21 ^c	1.00 ± 0.24 ^b
1	28.09 ± 1.85 ^b	10.16 ± 1.85 ^b	2.58 ± 0.96 ^b	1.00 ± 0.07 ^b
2	56.02 ± 2.39 ^a	13.14 ± 2.26 ^a	6.78 ± 0.81 ^a	5.99 ± 0.03 ^a

^{a, b, c}: Aynı sütun içinde farklı üst simge (büyük harf) taşıyan değerler istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır (p < 0.05). Aynı sütun içinde aynı üst simgeyi taşıyan değerler arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (p > 0.05). EtOH: Etanol konsantrasyonu (g l⁻¹)

Fermentasyon işleminin hint inciri sulu ekstraktının biyoaktif profili üzerindeki etkisi Tablo 5'te sunulmuştur. Fermentasyona uğramamış kontrol örneğinde (Hİ) DPPH antioksidan aktivitesi 24. saatte başlangıç değerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde artmış (p<0.05), ancak 48. saat değeri başlangıç ile istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (p>0.05). Benzer şekilde, Hİ örneğinde toplam fenolik içerik (TPC) 24. ve 48. saatlerde başlangıca kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuş (p<0.05) ve bu iki zaman noktası arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (p>0.05). Fermente örnekte (HİS) ise hem DPPH aktivitesinde hem de TPC değerlerinde 24. saatten itibaren başlangıç değerine göre istatistiksel olarak anlamlı artışlar gözlemlenmiştir (p<0.05). 48. saat değerleri 24. saat ile istatistiksel olarak benzer

bulunmuştur (p>0.05). Fermentasyon süresinin uzamasıyla gözlenen bu stabilizasyon eğilimi, su kefir mikroorganizmalarının fenolik bileşikler enzimatik olarak dönüştürmesi ve ilerleyen aşamada bazı bileşikler metabolik süreçlerde kullanmaya başlaması ile ilişkili olabilir (Othman ve ark., 2009; Vicenssuto ve de Castro, 2020; Rodríguez-Mínguez ve ark., 2024). Bu durum, mikrobiyal fermentasyonun fenolik profil ve antioksidan kapasite üzerindeki etkisinin fermentasyon süresine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Panda ve ark. (2017), tarafından farklı bir bakteriyel suş (*Lactobacillus fermentum*) kullanılarak yapılan çalışmada TPC'de belirgin bir değişim gözlemlenmemesi, kullanılan mikrobiyal suşun fenolik dönüşüm sürecinde belirleyici rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 5. Fermente hint inciri sulu ekstraktında toplam antioksidan ve fenolik aktivite (n=3)**Table 5.** Total antioxidant and phenolic activity in fermented prickly pear aqueous extract (n=3)

Fermentasyon süresi (saat)	DPPH (mg Trolox 100 g ⁻¹ örnek)		Toplam fenolik aktivite (mg GAE 100 g ⁻¹ örnek)	
	Hİ	HİS	Hİ	HİS
0	407.64 ± 22.25 ^b	383.78 ± 34.44 ^b	190.43 ± 10.56 ^b	184.44 ± 11.69 ^b
24	454.45 ± 6.89 ^a	442.35 ± 11.24 ^a	232.99 ± 32.72 ^a	418.63 ± 17.29 ^a
48	409.47 ± 24.93 ^b	451.77 ± 27.92 ^a	231.35 ± 17.07 ^a	427.56 ± 39.70 ^a

^{a, b}: Aynı sütun içinde farklı üst simge taşıyan değerler istatistiksel olarak anlamlı derecede farklıdır (p<0.05). Aynı sütun içinde aynı üst simgeyi taşıyan değerler arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (p>0.05). Hİ: Hint inciri sulu ekstraktı, HİS: Fermente hint inciri sulu ekstraktı

4. Sonuçlar

Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye'de yaygın olarak yetişen hint incirinin (*Opuntia ficus-indica*) kabuk ve özellikle etli kısımlarının,

istatistiksel olarak anlamlı düzeyde antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Meyve ekstraktları, hem Gram-pozitif

(*Staphylococcus aureus*) hem de Gram-negatif (*Escherichia coli*) patojenlere karşı etkili inhibisyon göstermiş, aynı zamanda yüksek fenolik içerik ve radikal süpürme kapasitesi sergilemiştir. Bu bulgular, hint incirini doğal koruyucu ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Hint inciri sulu ekstraktının su kefir daneleri ile fermentasyonu, yüksek canlılıkta probiyotik mikroorganizma popülasyonlarının (*Lactobacillus* spp., *Lactococcus* spp. ve maya) gelişimini desteklemiş ve fizikokimyasal açıdan uygun bir fermente içecek üretilmesini sağlamıştır. Fermentasyon sürecinde gözlemlenen pH düşüşü, asitlik artışı ve renk parametrelerindeki değişimler, mikrobiyal aktivitenin karakteristik göstergeleri olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, fermentasyonun toplam fenolik içeriği artırdığı tespit edilerek, bu işlemin biyoaktif bileşiklerin biyoyararlılığını artırıcı (biyo-transformasyon) bir rol oynayabileceği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, süt ürünü içermeyen, vegan dostu, yüksek probiyotik canlılığına ve antioksidan kapasitesine sahip yeni nesil bir fonksiyonel içeceğin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, özellikle süt intoleransı olan bireyler ve vegan tüketiciler için değerli bir seçenek oluşturmaktadır. Aynı zamanda, çalışma tarımsal atık konumundaki hint inciri kabukları gibi yan ürünlerin değerlendirilmesi ve döngüsel ekonomiye katkı sağlanması açısından da önemli bir çerçeve sunmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda, fermentasyon koşullarının (sıcaklık, süre, starter kültür oranı) optimize edilmesi, ürünün duyu özelliklerinin iyileştirilmesi, raf ömrünün belirlenmesi ve biyoaktif bileşenlerin in vivo biyoyararlanımı ile sağlık üzerine etkilerinin araştırılması, bu ürünün ticarileşme potansiyelini güçlendirecektir.

Finansman

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma insan veya hayvan denekleri içermediğinden etik kurul onayı gerekmemektedir.

Kaynaklar

- Abdel-Hameed, E.S.S., Nagaty, M.A., Salman, M.S., Bazaid, S.A., 2014. Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food Chemistry*, 160: 31-38.
- Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Uslu, N., Ahmed, I.A.M., Babiker, E.E., Özcan, M.M., Fadimu, G.J., 2020. The effect of harvest times on bioactive properties and fatty acid compositions of prickly pear (*Opuntia ficus-barbarica* A. Berger) fruits. *Food Chemistry*, 303: 125387.
- Ali, S.K., Mahmoud, S.M., El-Masry, S.S., Alkhalifah, D.H.M., Hozzein, W.N., Aboel-Ainin, M.A., 2022. Phytochemical screening and characterization of the antioxidant, anti-proliferative and antibacterial effects of different extracts of *Opuntia ficus-indica* peel. *Journal of King Saud University-Science*, 34(7): 102216.
- Alves, V., Scapini, T., Camargo, A.F., Bonatto, C., Stefanski, F.S., de Jesus, E.P., Treichel, H., 2021. Development of fermented beverage with water kefir in water-soluble coconut extract (*Cocos nucifera* L.) with inulin addition. *LWT*, 145: 111364.
- Ammar, I., Salem, M.B., Harrabi, B., Mzid, M., Bardaa, S., Sahnoun, Z., Ennouri, M., 2018. Anti-inflammatory activity and phenolic composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) flowers. *Industrial Crops and Products*, 112: 313-319.
- Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J.A., López-Pacheco, F., Alvarez, M.M., Serna-Saldívar, S.O., 2015. In vivo anti-inflammatory effects of isorhamnetin glycosides isolated from *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill cladodes. *Industrial Crops and Products*, 76: 803-808.

- Arrizon, J., Calderón, C., Sandoval, G., 2006. Effect of different fermentation conditions on the kinetic parameters and production of volatile compounds during the elaboration of a prickly pear distilled beverage. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33(11): 921-928.
- Aruwa, C. E., Amoo, S., Kudanga, T., 2019. Phenolic compound profile and biological activities of Southern African *Opuntia ficus-indica* fruit pulp and peels. *LWT*, 111: 337-344.
- Bellumori, M., Innocenti, M., Andrenelli, L., Melani, F., Cecchi, L., Pandino, G., Mulinacci, N., 2023. Composition of discarded Sicilian fruits of *Opuntia ficus indica* L.: Phenolic content, mineral profile and antioxidant activity in peel, seeds and whole fruit. *Food Chemistry*, 428: 136756.
- Benayad, Z., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Gomez-Cordoves, C., Es-Safi, N.E., 2014. Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan *Opuntia ficus-indica* flowers obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 62: 412-420.
- Brahmi, F., Haddad, S., Bouamara, K., Yalaoui-Guellal, D., Prost-Camus, E., De Barros, J.P.P., Lizard, G., 2020. Comparison of chemical composition and biological activities of Algerian seed oils of *Pistacia lentiscus* L., *Opuntia ficus indica* (L.) mill. and *Argania spinosa* L. Skeels. *Industrial Crops and Products*, 151: 112456.
- Cai, Y., Sounderrajan, A., Serventi, L., 2020. Water kefir: A review of its microbiological profile, antioxidant potential and sensory quality. *Acta Scientifci Nutritional Health*, 4(6): 10-17.
- Corona, O., Randazzo, W., Miceli, A., Guarcello, R., Francesca, N., Erten, H., Settanni, L., 2016. Characterization of kefir-like beverages produced from vegetable juices. *LWT-Food Science and Technology*, 66: 572-581.
- Chahdoura, H., Mzoughi, Z., Ellouze, I., Mekinić, I.G., Čmiková, N., El Bok, S., Majdoub, H., Hsouna, A.B., Saad, R.B., Mnif, W., Mosbah, H., M'hadheb, M.B., Garzoli, S., Kácániová, M., 2024. *Opuntia* species: A comprehensive review of chemical composition and bio-pharmacological potential with contemporary applications. *South African Journal of Botany*, 174: 645-677.
- Cui, H.Y., Zhou, H., Lin, L., Zhao, C.T., Zhang, X.J., Xiao, Z.H., Li, C.Z., 2016. Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil and its application in milk. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(2).
- Derabli, B., Nancib, A., Nancib, N., Aníbal, J., Raposo, S., Rodrigues, B., Boudrant, J., 2022. *Opuntia ficus indica* waste as a cost effective carbon source for lactic acid production by *Lactobacillus plantarum*. *Food Chemistry*, 370: 131005.
- Dikmetas, D.N., Konusur, G., Mutlu-İngök, A., Gülsünoğlu, Z., Karbancıoğlu-Güler, F., 2019. Portakal (*Citrus sinensis*) kabuğundan elde edilen hidrosol/esansiyel yağların antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1): 274-283.
- Elkady, W.M., Bishr, M.M., Abdel-Aziz, M.M., Salama, O.M., 2020. Identification and isolation of anti-pneumonia bioactive compounds from *Opuntia ficus-indica* fruit waste peels. *Food & Function*, 11(6): 5275-5283.
- Fadimu, G.J., Le, T.T., Gill, H., Farahnaky, A., Olatunde, O.O., Truong, T., 2022. Enhancing the biological activities of food protein-derived peptides using non-thermal technologies: A review. *Foods*, 11(13): 1823.
- Ferreira, R.M., Queffelec, J., Flórez-Fernández, N., Saraiva, J.A., Torres, M.D., Cardoso, S.M., Domínguez, H., 2023. Production of betalain-rich *Opuntia ficus-indica* peel flour microparticles using spray-dryer: A holist approach. *LWT*, 186: 115241.

- García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., Guajardo-Flores, D., Welti-Chanes, J., Cano, M.P., 2019. Characterization and quantification of individual betalain and phenolic compounds in Mexican and Spanish prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) tissues: A comparative study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76: 1-13.
- Gökırmaklı, Ç., Güzel-Seydim, Z.B., 2022. Water kefir grains vs. milk kefir grains: Physical, microbial and chemical comparison. *Journal of Applied Microbiology*, 132(6): 4349-4358.
- Gulitz, A., Stadie, J., Wenning, M., Ehrmann, M.A., Vogel, R.F., 2011. The microbial diversity of water kefir. *International Journal of Food Microbiology*, 151(3): 284-288.
- Heikal, A., Abd El-Sadek, M.E., Salama, A., Taha, H.S., 2021. Comparative study between in vivo-and in vitro-derived extracts of cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) against prostate and mammary cancer cell lines. *Heliyon*, 7(9).
- Khammassi, M., Amato, G., Caputo, L., Nazzaro, F., Fratianni, F., Kouki, H., Amri, İ., Hamrouni, L., De Feo, V., 2023. Fatty Acid Profiles and Biological Activities of the Vegetable Oils of *Argania spinosa*, *Pinus halepensis* and *Pistacia atlantica* Grown in Tunisia: A Preliminary Study. *Molecules*, 29(1): 160.
- Kumaran, A., 2006. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *coleus aromaticus*. *Food Chemistry*, 97(1): 109-114.
- Melgar, B., Dias, M. I., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Ferreira, I., 2017. By-product recovery of *Opuntia* spp. peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. *Industrial Crops and Products*, 107: 353-359.
- Miller, N. J., Rice-Evans, C. A., 1997. Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS•+ radical cation assay. *Free Radical Research*, 26(3): 195-199.
- Narayanankutty, A., 2022. Pharmacological potentials and nutritional values of tropical and subtropical fruits of India: Emphasis on their anticancer bioactive components. *Recent Patents on Anti-Cancer Drug Discovery*, 17(2): 124-135.
- Önem, E., Kendir, G., Akkoç, S., Erzurumlu, Y., Muhammed, M.T., Özyayın, A.G., 2022. Biochemical contents and antiquorum sensing, antiproliferative activities of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. peel extract. *South African Journal of Botany*, 150: 296-304.
- Othman, N.B., Roblain, D., Chammen, N., Thonart, P., Hamdi, M., 2009. Antioxidant phenolic compounds loss during the fermentation of Chétoui olives. *Food Chemistry*, 116(3): 662-669.
- Panda, S.K., Behera, S.K., Qaku, X.W., Sekar, S., Ndinteh, D.T., Nanjundaswamy, H.M., Kayitesi, E., 2017. Quality enhancement of prickly pears (*Opuntia* sp.) juice through probiotic fermentation using *Lactobacillus fermentum*-ATCC 9338. *LWT*, 75: 453-459.
- Park, M.S., Kang, C.K., Lee, P.Y., 2001. Reproductive cycle and biochemical composition of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Schrenck) in a southern coastal bay of Korea. *Journal of Shellfish Research*, 20 (1): 177-184.
- Rai, S., Wahile, A., Mukherjee, K., Saha, B.P., Mukherjee, P.K., 2006. Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* (sacred lotus) seeds. *Journal of Ethnopharmacology*, 104(3): 322-327.

- Rajapandi, S., Pandeewaran, M., Kousalya, G.N., 2022. Novel green synthesis of N-doped carbon dots from fruits of *Opuntia ficus Indica* as an effective catalyst for the photocatalytic degradation of methyl orange dye and antibacterial studies. *Inorganic Chemistry Communications*, 146: 110041.
- Randazzo, W., Corona, O., Guarcello, R., Francesca, N., Germanà, M.A., Erten, H., Settanni, L., 2016. Development of new non-dairy beverages from Mediterranean fruit juices fermented with water kefir microorganisms. *Food Microbiology*, 54: 40-51.
- Rouhou, M.C., Douiri, S., Abdelmoumen, S., Ghorbal, A., Lung, A., Raynaud, C., Ghorbel, D., 2023. Green solid-liquid extraction of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladode dietary fibers. I-optimization, pilot-scale production, and characterization. *Analytical Biochemistry*, 670: 115139.
- Stintzing, F.C., Herbach, K.M., Mosshammer, M.R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Felker, P., 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2): 442-451.
- Vicenssuto, G.M., de Castro, R.J.S., 2020. Development of a novel probiotic milk product with enhanced antioxidant properties using mango peel as a fermentation substrate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24: 101564.
- Rodríguez-Mínguez, E., Ríos, M.G., Sánchez, C., Picon, A., 2024. Mangosteen extracts: Effects on intestinal bacteria, and application to functional fermented milk products. *Food Research International*, 191: 114720.
- Valero-Galván, J., González-Fernández, R., Sigala-Hernández, A., Nunez-Gastelum, J. A., Ruiz-May, E., Rodrigo-García, J., Larque-Saavedra, A., del Rocío Martínez-Ruiz, N., 2021. Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., and *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelmann.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). *Food Research International*, 140: 109909.
- Wojcik, M., Burzynska-Pedziwiatr, I., Wozniak, L.A., 2010. A review of natural and synthetic antioxidants important for health and longevity. *Current Medicinal Chemistry*, 17(28): 3262-3288.
- Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhiri, A., Vander Heyden, Y., Demeyer, K., 2019. Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Algeria. *Heliyon*, 5(4).