

Effect of infusion time on the biochemical composition of *Tamarindus indica*

Turkan UZLASIR^{1,2*}, Hatice Kübra ŞAŞMAZ¹, Hasim KELEBEK¹

¹ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, 01250 Adana/ Turkey.

² Gastronomy and Culinary Arts Department, Art and Design Faculty, Alanya University, 07400, Alanya/Turkey

*Corresponding author at: Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, 01250 Adana/Turkey Tel.: +90 5072105451

E-mail: uzlasirturkan@gmail.com; turkan.uzlasir@alanyauniversity.edu.tr

Abstract

Tamarind (*Tamarindus indica* L.), an evergreen tree from the Fabaceae (Leguminosae) family, has garnered attention in both scientific research and traditional medicine due to its rich antioxidant content, natural sugars, organic acids, and phytochemical compounds. Interest in herbal infusions and their applications is growing, especially regarding their bioactive properties and potential health benefits. However, studies on the effects of infusion parameters, such as temperature and duration, on tamarind infusions remain limited in the literature. In this study, we investigated the effect of infusion time (3, 6, and 12 minutes) on the total phenolic content (TPC), antioxidant activity, organic acid profile, and sugar composition of tamarind fruit extract. We evaluated the changes in the antioxidant potential of the samples based on infusion duration using two different methods: DPPH and ABTS, while organic acids were analyzed by HPLC-PDA and sugar composition by HPLC-RID. The highest antioxidant activity, determined by DPPH and ABTS assays, was observed at the 12-minute infusion time, with values of 6780.95 and 7431.33 µmol Trolox/L, respectively. The total phenolic content at this duration was recorded as 2832.02 mg GAE/L. Tamarind infusions contained citric, malic, and tartaric acids as organic acids, along with sucrose, glucose, and fructose as sugars. The highest concentrations of organic acids and sugars were found in the 12-minute infusion. Tartaric acid (51.82 g/L) was identified as the predominant organic acid, while glucose (30.47 g/L) was the most abundant sugar. These findings highlight the potential of tamarind fruit infusions as a promising alternative to conventional herbs. At the same time, their high antioxidant content and beneficial organic acid composition.

Key Words: *Tamarindus indica*, Antioxidants, organic acids, Infusions, Sugar profile

İnfüzyon süresinin *Tamarindus indica*'nın biyokimyasal bileşimi üzerine etkisi

Özet

Fabaceae (Leguminosae) familyasından yaprak dökmeyen bir ağaç olan demirhindi (*Tamarindus indica* L.), zengin antioksidan içeriği, doğal şekerleri, organik asitleri ve fitokimyasal bileşikler nedeniyle hem bilimsel araştırmalarda hem de geleneksel tıpta dikkat çekmiştir. Bitkisel infüzyonlara ve uygulamalarına olan ilgi, özellikle biyoaktif özellikleri ve potansiyel sağlık yararları açısından giderek artmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklık ve süre gibi infüzyon parametrelerinin demirhindi infüzyonları üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar literatürde sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada, infüzyon süresinin (3, 6 ve 12 dakika) demirhindi meyve özütünün toplam fenolik içeriği (TPC), antioksidan aktivitesi, organik asit profili ve şeker bileşimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İnfüzyon süresine bağlı olarak örneklerin antioksidan potansiyelindeki değişiklikleri iki farklı yöntem kullanarak (DPPH ve ABTS) değerlendirilmiştir, organik asitler HPLC-PDA ve şeker bileşimi HPLC-RID ile analiz edilmiştir. DPPH ve ABTS analizleri ile belirlenen en yüksek antioksidan aktivite, sırasıyla 6780,95 ve 7431,33 µmol Trolox/L değerleri ile 12 dakikalık infüzyon süresinde gözlenmiştir. Bu süredeki toplam fenolik içerik 2832,02 mg GAE/L olarak kaydedilmiştir. Demirhindi infüzyonları organik asit olarak sitrik, malik ve tartarik asitler ile şeker olarak sukroz, glukoz ve fruktoz içermektedir. En yüksek organik asit ve şeker konsantrasyonları 12 dakikalık infüzyonda bulunmuştur. Bu süre zarfında toplam fenolik içerik 2832,02 mg GAE/L olarak kaydedilmiştir. Demirhindi infüzyonları organik asit olarak sitrik, malik ve tartarik asitlerin yanı sıra şeker olarak sukroz, glukoz ve fruktoz içermektedir. En yüksek organik asit ve şeker konsantrasyonları 12 dakikalık infüzyonda bulunmuştur. Tartarik asit (51,82 g/L) baskın organik asit olarak belirlenirken, glikoz (30,47 g/L) en bol bulunan şeker olmuştur. Bu bulgular, demirhindi meyvesi infüzyonlarının geleneksel bitkilere umut verici bir alternatif olma potansiyelini vurgulamaktadır. Aynı zamanda, yüksek antioksidan içeriği ve faydalı organik asit bileşimine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: *Tamarindus indica*, Antioksidanlar, organik asitler, İnfüzyonlar, Şeker profili



Giriş

Demirhindi (*Tamarindus indica* L.- *T. indica*), Fabaceae (Leguminosae) familyasının bir üyesidir ve Dünyada Hindistan, Bangladeş, Sri Lanka, Tayland ve Endonezya gibi Asya ülkeleri ile Afrika ve Amerika olmak üzere 50'den fazla ülkede yetişmektedir (Pal& Mukherjee, 2020). Orta ila büyük boyutlu, yaprak dökmeyen, 24 m yüksekliğe ve 7 m çevreye sahip bir ağaçtır ve meyve yaklaşık %55 pulp, %34 tohum ve %11 kabuk ve tohumu kaplayan lif tabakasından oluşmaktadır (Hemshekhhar ve ark., 2011). Tohumlar çok sert, parlak, kırmızımsı veya morumsu kahverengi, meyvenin içine gömülmüş halde bulunmaktadır ve sert bir zar ve liflerle birbirlerine bağlanmaktadır (Şekil 1). Hindistan yılda yaklaşık 0.3 milyon ton *T. indica* yetiştirmektedir ve bunun yaklaşık %30-34'ünü tohum oluşturmaktadır. Meyve özü (pulp) furan türevleri, karboksilik asit, flobatannin, asetik, sitrik, formik, malik, süksinik asit, flavonoidler, pektin, şeker içermektedir ve pulp dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak tüketilmektedir. (Dhasade ve ark., 2009; Tril ve ark., 2014). Tohumlar, kampesterol, β -amirin, β -sitosterol, yağ asitleri, tanenler, şeker, musilaj ve polisakkaritler, kardiyak glikozitler ve fenolikler içermektedir (Dhasade ve ark., 2009, Yeasmen& Nazrul Islam, 2015; Ganesapillai ve ark., 2017). Kabuk ise tanenler, saponinler, glikozitler, peroksidad ve lipidleri içermektedir (Dhasade ve ark., 2009). Polifenoller, örneğin flavonoidler ve fenolikler, bitkinin hemen hemen her bölümünde bulunmakta ve bu da *T. indica*'yı antioksidan içeriği yüksek bir gıda haline getirmektedir (Ganesapillai ve ark., 2017). Meyvenin besin kompozisyonu incelendiğinde protein ~%7.5, nem ~%15.50, yağ ~%3, karbonhidrat ~%70 ve lif ~%4.5 olarak belirlenmiştir (Sadiq ve ark., 2016). *T. indica*, antidiyabetik, hipolipidemik, hepatoprotektif, antimikrobiyal ve antiproliferatif özellikler gibi bildirilen bazı aktivitelere sahiptir (El-Siddig, 2006). Farooq ve ark. (2022) meyvenin posasının C vitamini ve şeker açısından çok zengin olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle şuruplarda, meyve suyu konsantrelerinde, turşularda ve et soslarında kullanılmaktadır. *T. indica*, başta düşük glisemik indekse sahip fruktoz ve hücresel enerji üretimi için temel kaynak olan glikoz olmak üzere, tatlı ve keskin lezzetine katkıda bulunan doğal şekerler açısından zengindir. Bu şekerler sadece enerji sağlamakla kalmaz, aynı zamanda meyvenin genel lezzetinde ve besin değerinde de rol oynamaktadır. Birçok farklı tarif olmasına rağmen genellikle meyve suyu, infüzyon veya salamura haline getirilmektedir (Katara ve Hakrovorty, 2019).

Meyve, karakteristik ekşi tadından sorumlu olan tartarik asit de dahil olmak üzere çeşitli organik asitler içermektedir. Tartarik asit, özellikle *Aspergillus flavus* gibi türlerle karşı antifungal özellikleriyle dikkat çekmektedir (Kachapulula ve ark., 2019). *T. indica*'da bulunan diğer organik asitler arasında, sindirime ve metabolik süreçlere yardımcı olarak sağlık üzerinde etkili olan sitrik asit ve malik asit içermektedir. *T. indica*, serbest radikallerin nötralize edilmesinde ve oksidatif stresin azaltılmasında önemli bir rol oynayan galik asit, ferulik asit, kafeik asit ve *p*-kumarik asit gibi fenolik asitler, apigenin, luteolin, kersetin, rutin ve naringenin gibi flavonoidler, C vitamini, β -karoten ve lutein gibi karotenoidleri içermektedir. *T. indica*'da tanımlanan diğer temel antioksidan bileşikler ise 2-hidroksi-3',4'-dihidroksiasetofenon, metil 3,4-dihidroksibenzoat ve oligomerik proantosiyaniidinlerdir (OPC'ler) (Waqas ve ark., 2013). Bu bileşikler, DPPH serbest radikal temizleme yöntemi de dahil olmak üzere çeşitli analizlerle belirlenen *T. indica*'nın genel antioksidan aktivitesine katkıda bulunmaktadır (Waqas ve ark., 2013). Ayrıca, mirisetin ve prosiyanidin B2 gibi flavonoidlerin varlığı antioksidan profilini daha da geliştirmektedir (Pratiwi ve ark., 2020).

Tamarindus indica, zengin antioksidan içeriği, doğal şekerleri, organik asitleri ve fitokimyasal bileşenleri sayesinde sağlığa birçok fayda sağlayan bir meyvedir. Geleneksel kullanımının yanı sıra, bu faydalar bilimsel araştırmalarla da desteklenmektedir. *T. indica* infüzyonları, özellikle metabolik ve kardiyovasküler hastalıkların yönetiminde destekleyici bir bileşen olarak değerlendirilen çeşitli sağlık yararlarıyla dikkat çekmektedir. Maekawa ve ark. (2022), *T. indica* yapraklarından elde edilen metanolik ekstraktların biyolojik sistemlerde antioksidan seviyelerini artırdığını ve oksidatif stresle ilişkili durumların yönetiminde potansiyel bir diyet takviyesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, *T. indica* posası infüzyonunun gastrointestinal sağlık üzerindeki etkileri incelenmiş; ülserlere karşı koruyucu etki gösterdiği ve mukozal savunma mekanizmalarını desteklediği rapor edilmiştir (Umar ve ark., 2023). *T. indica*'nın antidiyabetik etkileri de kapsamlı şekilde araştırılmıştır. Meher (2017) ile Purwaningsih ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmalar, *T. indica* tohumları ve yapraklarından elde edilen ekstraktların diyabetik modellerde kan glikoz düzeylerini anlamlı ölçüde düşürebildiğini ve lipid profillerini iyileştirebildiğini göstermiştir. Bu etkilerin, içerdiği flavonoidler ve saponinler gibi biyoaktif bileşiklerin insülin duyarlılığını artırması ve lipid metabolizmasını düzenlemesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Etukudo ve ark. (2024) ise *T. indica*'nın özellikle oksidatif stres ve nörodejenerasyonla ilişkili durumlarda gösterdiği nöroprotektif etkileri vurgulamış; yapısında bulunan flavonoidlerin ve diğer fitokimyasalların, nöronal hücreleri hasardan koruma potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir.

T. indica infüzyonu, meyvenin sıcak suda bekletilerek hazırlanmasıyla elde edilen bir özüt veya çaydır. Infüzyon ile, meyvenin biyoaktif bileşenleri suya geçmekte için sağlık açısından değerli bileşenler içermektedir: Fenolik bileşikler antioksidan ve anti-inflamatuar etkiler göstermekte, flavonoidler hücresel yaşlanmayı yavaşlatmakta ve bağışıklık sistemini güçlendirmekte, organik asitler (tartarik asit, sitrik asit) sindirimi desteklemekte ve bağırsak sağlığına fayda sağlamakta ve mineraller (potasyum, magnezyum, demir) ise kan basıncını düzenlemekte ve kas fonksiyonlarını desteklemektedir (Pratiwi ve ark., 2020; Etukudo ve ark., 2024). Ayrıca *T. indica* meyve özünden



elde edilen antioksidan bakımından zengin ekstraktlar, oksidatif stresle ilgili gen ifadesinin modülasyonu ile ilişkilendirilmiş ve oksidatif hasarla mücadeledeki rollerini daha da desteklemiştir (Razali ve ark., 2010). *T. indica* infüzyonu, antioksidanlar, anti-inflamatuar ajanlar ve diğer biyoaktif bileşiklerden oluşan zengin bileşimi sayesinde sağlığı geliştirmek için umut verici bir yol sunmaktadır. Çeşitli çalışmalardan elde edilen kanıtlar, oksidatif stres, inflamasyon, gastrointestinal sağlık ve metabolik bozuklukların yanı sıra yara iyileşmesi ve enfeksiyon yönetimindeki geleneksel uygulamaların yönetiminde potansiyel kullanımını desteklemektedir.

T. indica infüzyonları ve uygulanan sıcaklık ve süre gibi faktörlerin meyvenin yapısında bulunan ve infüzyon ile suya geçem önemli biyoaktif bileşikler üzerinde etkisi ile ilgili literatürde sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, *T. indica* meyve özünün TPC, antioksidan aktivite, organik asitler ve şeker kompozisyonu üzerine infüzyon süresinin (3, 6, 12 dakika) etkisi incelenmiştir. Örneklerin infüzyon süresine bağlı olarak antioksidan potansiyelinin ne şekilde değiştiği DPPH ve ABTS olmak üzere iki farklı yöntemle belirlenmiştir. Organik asitler HPLC-PDA ile, şeker kompozisyonu ise HPLC-RID kullanılarak değerlendirilmiştir.

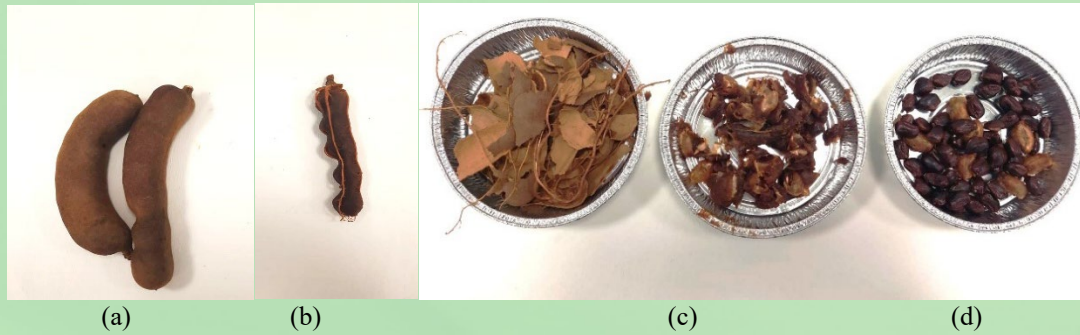
Materyal ve Yöntem

1. Kimyasallar

Organik asitler, şeker standartları, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) ve Trolox Sigma-Aldrich Chemical Company'den ve Folin-Ciocalteu reaktifi Merck'ten satın alınmıştır. HPLC sisteminde referans standartlar olarak organik asitler için sitrik (77-92-9), malik asit (6915-15-7) ve tartarik asit (87-69-4), şeker analizi için sakkaroz (57-50-1), glukoz (50-99-7) ve fruktoz (57-48-7) Merck'ten satın alınmıştır.

2. İnfüzyonların hazırlanması

Demirhindi (*T. indica*) Adana'da yerel bir marketten satın alınmıştır. İnfüzyon çaylarda yaygın olarak kullanılan sıcaklık 85°C ile 100°C, infüzyon süresi ise 3-15 dakika arasındadır ve bu sıcaklık ve süreler daha önceki çalışmalarımızda da kullanılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir (Kelebek, 2016; Uzlasir ve ark., 2020). Ayrıca, mevcut literatürden elde edilen koşullar da benzer sıcaklık ve süreler kullanılmıştır (Ariffin ve ark., 2011; Gan ve Ting, 2017; Pan ve ark., 2018; Xiao ve ark., 2017). *T. indica*'ların kabuk, meyve ve çekirdekleri ayrılmış ve infüzyonların hazırlanmasında meyve kısmı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. *T. indica* meyve bölümleri (a: tüm meyve, b: kabuk, c: meyve özü (pulp) ve d: tohum)

Beş gram *T. indica* meyve özü tartılarak 250 mL'lik bir behere aktarılmış ve üzerine 100 °C'de 100 mL sıcak su eklenerek 3, 6 ve 12 dakika süreyle demlenmiştir. Elde edilen örnekler, 4 °C'de 15 dakika boyunca 6.500 rpm'de santrifüj edilmiş ve yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) analizi öncesinde 0,45 µm'lik membran filtre (Millipore) ile süzülümüştür. İnfüzyon işlemleri ve analizler, üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

3. Antioksidan aktivite (AA) ve toplam fenolik madde (TFM) analizleri

3.1 Antioksidan aktivite (DPPH ve ABTS yöntemleri kullanılarak) analizleri

DPPH analizi, Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından tanımlanan yöntemle çeşitli modifikasyonlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Kısaca, her bir ekstraktan 200 µL alınarak 3,9 mL DPPH çözeltisi ile karıştırılmış ve karışım karanlık ortamda, oda sıcaklığında 1 saat süreyle inkübe edilmiştir. Ardından, absorbans değerleri UV-görünür spektrofotometre (Cary 60, Agilent, Malezya) kullanılarak 517 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Antioksidan aktivite, bir kalibrasyon eğrisi yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar µmol Trolox/L cinsinden ifade edilmiştir. ABTS radikal süpürme aktivitesi analizi, Re ve ark. (1999) tarafından belirtilen yöntemle göre modifiye edilmiş otomatik ağartma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnhibisyon yüzdesi hesaplanmış ve sonuçlar µmol Trolox / L olarak ifade edilmiştir.

3.3 Toplam fenolik madde (TFM) analizi

TFM analizleri daha önce Singleton ve ark. (1999) tarafından belirtilen Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak tespit edilmiştir. Kısaca, 200 µl infüzyon 0,5 ml Folin-Ciocalteu reaktifi ile 3 dakika boyunca karıştırılmış, ardından 2



ml %20 (w/v) sodyum karbonat eklenmiştir. Karışım daha sonra 765 nm'de absorbans ölçülmeden önce 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. TFM miktarı, mg gallik asit eşdeğerleri (GAE) /L olarak ifade edilmiştir.

4. Organik asit ve şeker analizi

İnfüzyonlar, organik asit ve şeker profillerini tespit etmek ve miktarlarını belirlemek için PDA ve RID dedektörlü HPLC'ye (Shimadzu Prominence-i LC-2030C) enjekte edilmiştir. Analizlerde taşıyıcı faz olarak 0,5 mL/dak akış hızında H₂SO₄ (5 mM) taşıyıcı faz olarak ve formik asit çözeltisi (%0,1) kullanılırken, şeker profili için BIORAD Aminex HPX-87H (300 × 7,8 mm, Bio-Rad; Hercules, CA, ABD) kolon olarak kullanılmıştır (Flores, Hellín ve Fenoll, 2012). Bileşiklerin miktarlarını belirlemek için her bir standart madde için beş farklı konsantrasyonda hazırlanmış ve bileşikler kalibrasyon eğrilerinden ölçülmüştür.

5. İstatistiksel analiz

Bu çalışmada, istatistiksel veri analizi XLStat deneme yazılımı (Addinsoft) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin içerik seviyelerindeki farklılıklar Duncan testi ile hesaplanmıştır. *P*-değerleri 0.05'ten küçük olan ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

1. Antioksidan aktivite (AA) ve Toplam Fenolik madde miktarı (TPC)

Antioksidanlar, reaktif oksijen türlerinin (ROS) neden olduğu hücresel hasarı önleyen veya azaltan bileşiklerdir. *T. indica* infüzyonlarında ölçülen başlıca antioksidan bileşikler; fenolik bileşikler, flavonoidler ve bazı organik asitlerdir. Tablo 1'de, *T. indica* (demirhindi) meyves infüzyonlarının 3, 6 ve 12 dakikalık sürelerle hazırlanması sonucunda oluşan antioksidan aktivite (AA) ve toplam Fenolik madde miktarlarındaki (TPC) değişimleri verilmiştir.

Tablo 1. *T. indica* infüzyonlarının biyokimyasal kompozisyonu

<i>T. indica</i> infüzyonları			
Süre	3 dakika	6 dakika	12 dakika
Antioksidan Aktivite			
DPPH (μmol Trolox/L)	2592,38±38,79 ^a	2872,38±48,68 ^b	6780,95±78,68 ^c
ABTS (μmol Trolox/L)	2978,67±19,22 ^a	3432,00±43,41 ^b	7431,33±68,71 ^c
TFM (mg GAE/L)	1777,37±4,24 ^a	2131,36±121,01 ^b	2832,02±6,39 ^c
Şeker Profili			
Sakkaroz (mg/L)	20,33±0,00 ^c	1,13±0,0 ^a	1,41±0,0 ^b
Glikoz (mg/L)	21,45±0,00 ^a	26,18±1,2 ^b	30,47±0,0 ^c
Fruktoz (mg/L)	11,88±0,00 ^a	14,30±0,4 ^b	16,90±0,0 ^c
Toplam şeker(mg/L)	34,35±0,00 ^a	41,61±1,6 ^b	48,78±0,1 ^c
Organik Asit Profili			
Sitrik Asit (mg/L)	1,07±0,00 ^a	1,30±0,02 ^b	1,55±0,06 ^c
Tartarik Asit (mg/L)	36,11±0,09 ^a	43,24±0,15 ^b	51,82±0,23 ^c
Malik Asit(mg/L)	4,86±0,00 ^a	6,03±0,04 ^b	7,24±0,06 ^c
Toplam organik asit (mg/L)	42,03±0,09 ^a	50,56±0,21 ^b	60,61±0,34 ^c

± standard deviation

^{a-c}: Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir (p<0,05).

3 dakikalık infüzyonda 2592,38 μmol Trolox/L olan DPPH radikal süpürme kapasitesi, 6. dakikada hafif artış göstererek 2872,38 μmol Trolox/L'ye yükselmiş, ancak 12. dakikada 6780,95 μmol Trolox/L ile belirgin şekilde artmıştır (p<0,05). Bu durum, infüzyon süresi uzadıkça fenolik bileşiklerin suya daha fazla ekstrakte olduğunu göstermektedir. Literatürde, *T. indica* özlerinin DPPH serbest radikali üzerinde önemli antioksidan etki gösterdiği bildirilmiştir (Sudjaroen et al., 2005). Benzer şekilde, infüzyon süresi arttıkça antioksidan aktivite artışı *Hibiscus sabdariffa* (karkade) gibi bitkilerde de gözlemlenmiştir (Tsai ve ark., 2002).

ABTS yöntemi ile belirlenen radikal süpürme kapasitesi ise 3 dakikada 2978,67 μmol Trolox/L iken 6 dakikada 3432,00 μmol Trolox/L ve 12 dakikada 7431,33 μmol Trolox/L'ye yükselmiştir (p<0,05). Bu sonuç, ABTS analizinin daha polar fenolik bileşikler ölçmede etkili olduğunu ve infüzyon süresinin bu bileşiklerin çözünürlüğünü artırdığını göstermektedir (Re ve ark., 1999). Yüksek ABTS ve DPPH aktiviteleri, demirhindi infüzyonunun inflamasyonu azaltıcı ve yaşlanma karşıtı etkiler potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

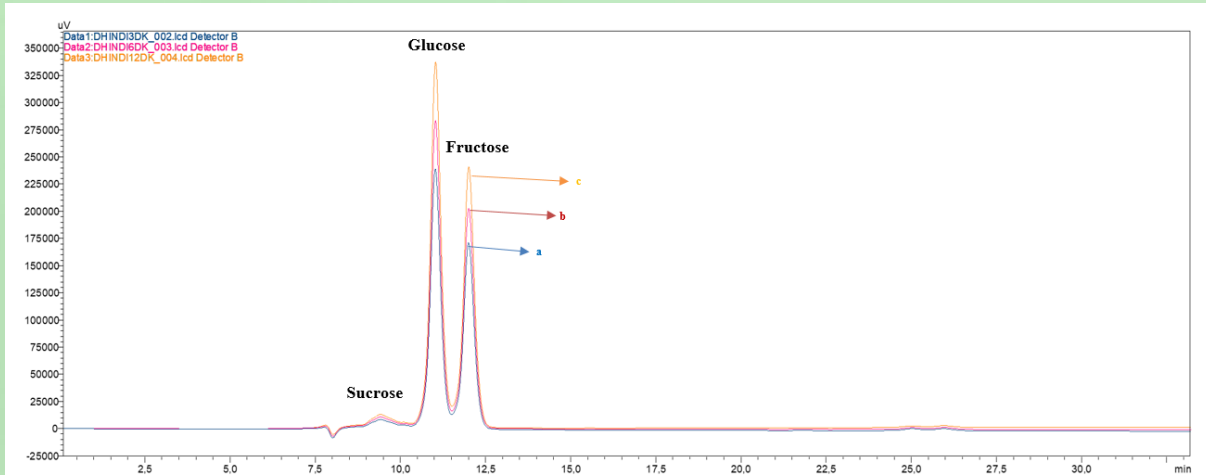
Toplam fenolik madde (TPC) miktarı incelendiğinde ise 3 dakikada 1777,37 mg GAE/L olan TPC, 6. dakikada 2131,36mg GAE/L'ye, 12. dakikada ise 2832,02 mg GAE/L'ye yükselmiştir (p<0,05). Fenolik bileşikler suda çözünürlük özelliği taşıdığından, uzun süreli infüzyonlar ekstraksiyon verimliliğini artırmaktadır (Duenas ve ark., 2005). Yüksek TPC değeri, DPPH ve ABTS sonuçları ile paralellik göstermektedir. Fenolik bileşikler serbest



radikalleri etkisiz hale getirerek DNA, lipitler ve proteinlerin oksidatif hasara uğramasını önlemektedir (Scalbert ve ark., 2005). Kronik hastalıkların (kanser, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, Alzheimer) gelişimini azaltıcı etkileri ise bilimsel olarak gösterilmiştir (Manach ve ark., 2004). *T. indica* meyvesi, gallik asit ve ferulik asit gibi güçlü antioksidan fenoller içermektedir (Sudjaroen ve ark., 2005).

2. Şeker profili

T. indica infüzyonlarında doğal olarak bulunan şekerler sakkaroz, glikoz ve fruktoz, enerji sağlamada temel rol oynasa da, sağlık üzerine etkileri tüketim düzeyine göre değişiklik göstermektedir. Tablo 1’de, *T. indica* (demirhindi) meyves infüzyonlarının 3, 6 ve 12 dakikalık sürelerle hazırlanması sonucunda şeker profilinde meydana gelen değişimler, Şekil 1’de ise HPLC-RID ile belirlenen şeker kromatogramı verilmiştir. Sakkaroz miktarı 3 dakikada 20,33 mg/L iken 6 ve 12 dakikada sırasıyla 1,13 ve 1,41 mg/L olarak önemli ölçüde azalmıştır. Bu azalma, sakkarozun parçalanarak glikoz ve fruktoza dönüşmesi ile açıklanabilir. Glikoz miktarı ise 3 dakikada 21,45 mg/L, 6 dakikada 26,18 mg/L ve 12 dakikada 30,47 mg/L’ye çıkmıştır. Fruktoz değeri de benzer bir artış göstermiştir. Toplam şeker içeriği ise 3 dakikada 34,35 mg/L, 6 dakikada 41,61 mg/L ve 12 dakikada 48,78 mg/L olarak artış göstermiştir. ($p < 0,05$). Bu sonuçlar, invertaz enzim aktivitesinin etkisini düşündürmektedir. Demirhindi meyvesinde bulunan doğal enzimlerin, sakkarozu parçalayarak glikoz ve fruktoz üretmesi mümkündür. Bu dönüşüm, infüzyon sırasında sıcaklığın etkisiyle hücre duvarlarının geçirgenliği artmakta ve çözünür şekerler kolaylıkla ortama geçmesi ile açıklanmaktadır (Morton, 1987). Aynı zamanda bu dönüşüm hızlı enerji kaynağı sağlarken infüzyonun tatlılık seviyesini artırmaktadır. Glikoz ve fruktoz hızla emilerek kan şekeri seviyesini yükseltmektedir ve aşırı fruktoz tüketimi karaciğer yağlanması ve insülin direnci ile ilişkilendirilmektedir (Tappy ve Lê, 2010). Ancak doğal meyve kaynaklı fruktoz, lif ve fenoliklerle birlikte tüketildiğinde zararlı etkisi azalmaktadır. Mahmood ve ark. (2014,) *T. indica* meyvesinin düşük kalorili içeceklerde doğal tatlandırıcı olarak kullanılabileceği bildirmiştir.



Şekil 1. HPLC-RID ile belirlenen şeker kromatogramı (a: 3 dakikalık infüzyon süresi ile hazırlanan ekstrakt, b: 6 dakikalık infüzyon süresi ile hazırlanan ekstrakt ve c: 12 dakikalık infüzyon süresi ile hazırlanan ekstrakt)

3. Organik asit profili

Organik asitler, sadece tat profiline katkı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sağlık üzerinde çeşitli etkiler göstermektedir. *T. indica* meyve infüzyonlarının 3, 6 ve 12 dakikalık sürelerle hazırlanması sonucunda organik asit profilinde meydana gelen değişimler Tablo 1’de verilmiştir. *T. indica* infüzyonlarında belirlenen başlıca organik asitler arasında sitrik asit, tartarik asit ve malik asit yer almakta olup, bu bileşiklerin toplam konsantrasyonları infüzyon süresi arttıkça anlamlı biçimde yükselmiştir ($p < 0,05$). Bu artış, sıcaklığın ve ekstraksiyon süresinin, meyve matrisindeki organik asitlerin çözünürlüğü ve salınımı üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır. Infüzyonun 3. dakikasında toplam organik asit içeriği 42,03 mg/L iken, bu değer 6. dakikada 50,56 mg/L’ye, 12. dakikada ise 60,61 mg/L’ye ulaşmıştır. Özellikle tartarik asit, 36,11 mg/L’den 51,82 mg/L’ye kadar artarak en baskın asit bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, *T. indica* meyvesinin doğal olarak zengin olduğu tartarik asidin, sıcak su infüzyonları yoluyla etkili bir şekilde ekstrakte edilebildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, malik asit miktarı da infüzyon süresiyle birlikte artış göstermiş (4,86 mg/L → 7,24 mg/L), bu da malik asidin sıcaklığa duyarlı fakat çözünürlüğü yüksek bir organik asit olduğunu işaret etmektedir. Sitrik asit ise en düşük konsantrasyon düzeyine sahip olmasına rağmen zamanla anlamlı bir artış göstermiştir (1,07 mg/L → 1,55 mg/L). Bu artış, sitrik asidin bitkisel dokulardan geç difüze olması ve daha uzun süreli ekstraksiyon süreçlerinde açığa çıkmasıyla açıklanabilir. Literatürdeki benzer çalışmalar da infüzyon süresinin organik asitlerin ekstraksiyon verimliliği üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Mahmood ve ark., 2014; Tsai ve ark., 2002). Bu bağlamda, *T. indica* infüzyonlarının işlenme parametreleri (özellikle süre ve sıcaklık), ürünün



organoleptik özelliklerinin yanı sıra fonksiyonel içeriğini de doğrudan etkilemektedir. Organik asitlerdeki bu artışlar, yalnızca tat profiline katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sindirim fonksiyonları, mineral biyoyararlanımı ve mikrobiyal stabilite açısından da önemli sağlık katkıları sunmaktadır.

Tartışma

Bu çalışma, *T. indica* meyvesinden hazırlanan infüzyonların farklı sürelerde ekstraksiyonu sonucunda meydana gelen biyokimyasal değişimleri kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, infüzyon süresi ile toplam antioksidan kapasite, toplam fenolik madde içeriği, organik asit profili ve şeker düzeyleri arasında anlamlı korelasyonlar olduğunu göstermektedir. Antioksidan aktivitenin, özellikle 12 dakikalık infüzyon süresinde maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir; bu durum, fenolik bileşikler ve flavonoidlerin sıcaklıkla çözünürlüğündeki artışla ilişkilendirilmiştir. Organik asit profili açısından en belirgin artış tartarik asitte gözlenmiştir; malik ve sitrik asit düzeyleri de infüzyon süresine paralel olarak artmıştır. Bu bulgular, *T. indica*'nın karakteristik ekşi tadını belirleyen asidik bileşenlerin sıcak suda çözünürlüğünün süreye bağlı olarak arttığını göstermektedir. Organik asitlerin bu yoğunluğu yalnızca duyuşal kaliteyi artırmakla kalmamakta, aynı zamanda sindirimi destekleyici ve mikrobiyal kontrol sağlayıcı etkiler açısından da önem arz etmektedir.

Şeker profili açısından değerlendirildiğinde, özellikle glukoz ve fruktoz düzeylerinin infüzyon süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durum, sıcaklığın meyve dokularının parçalanmasını teşvik etmesi sonucu serbest şekerlerin çözünebilir hale gelmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, şekerlerin biyoerişilebilirliğini artıran bu durumun, fonksiyonel içecek formülasyonlarında dikkatle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmalıdır.

Genel olarak bu çalışma, *T. indica* infüzyonlarının biyolojik açıdan aktif bileşenlerinin maksimum ekstraksiyonu için infüzyon süresinin kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, fonksiyonel içeceklerin geliştirilmesinde *T. indica*'nın potansiyel bir doğal antioksidan ve sağlık destekleyici bileşen kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, infüzyon süresinin optimize edilmesi, hem besin bileşenlerinin korunumu hem de fonksiyonel etkilerin maksimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Sadiq, S., Duruminiya, N. I., Balogun, J. B., kwada, D., and Izuagie T. (2016). Nutritional and Anti-nutritional Value of Tamarind Fruit (*Tamarindus indica*). Int. J. App. Res. Tech., 5,(3), 50-56.
- El-Siddig, K.(2006). Tamarind: *Tamarindus Indica* L. 1, (Crops for the Future).
- Dhasade, V. V. Nirmal, S. A., Dighe, N. S., Pattan. S. R. (2009). An overview of *Tamarindus indica* Linn.: chemistry and pharmacological profile. Pharmacologyonline. 3, 809–20.
- Tril, J. U., Fernández-López, J. Á. P., Álvarez, M., Viuda-Martos. (2014). Chemical. physicochemical, technological, antibacterial, and antioxidant properties of rich-fibre powder extract obtained from tamarind (*Tamarindus indica* L.). Ind Crops Prod., 55, 155–62. Doi: 10.1016/j.indcrop.2014.01.047
- Yeasmen, N., Nazrul Islam, M. (2015). Ethanol as a solvent and hot extraction technique preserved the antioxidant properties of tamarind (*Tamarindus indica*) seed. J Adv Vet Anim Res. 2, 332–7. Doi: 10.5455/javar.2015.b103
- Ganesapillai, M. Venugopal, A. Simha, P. (2017). Preliminary isolation, recovery and characterization of polyphenols from waste *Tamarindus indica* L. Mater Today Proc. 4, 10658–61. Doi:10.1016/j.matpr.2017.06.438
- Pal, D. & Mukherjee, S. (2020). Tamarind (*Tamarindus indica*) Seeds in Health and Nutrition. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention, 171–182. doi:10.1016/b978-0-12-818553-7.00014-0
- Hemshekhar, M. Kemparaju, K., Girish, K. S.(2011). Tamarind (*Tamarindus indica*) seeds: an overview on remedial qualities. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. 1107-1114 (Elsevier).
- Farooq, S., Munir, R., Imtiaz, K., Sehar, S., Khurshid, A., Yunus, N., Kanwal, A., Majeed, Y., Gillani, S. F. A., Fang, N., (2022). Phytochemical investigation and antioxidant activities of tamarind (*Tamarindus indica* L.), Not Bot Horti Agrobo 50(4),12892. doi:10.15835/nbha50412892
- Waqas, M., Us-Saqib, N., Ur-Rashid, S., Shah, A., Akhtar, N., & Murtaza, G. (2013). Screening of various botanical extracts for 3antioxidant activity using DPPH free radical method, African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 10, 6, 452. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v10i6.9
- Pratiwi, I., Normasari, R., & Prasetyo, R. (2020). The effectiveness of *Tamarindus indica* extract in total osteoblast cells of male Wistar rats' femur bone induced by aluminium, Journal of Agromedicine and Medical Sciences, 6, 2, 110. https://doi.org/10.19184/ams.v6i2.17813
- Kachapulula, P., Bandyopadhyay, R. & Cotty, P. (2019). Aflatoxin contamination of non-cultivated fruits in Zambia", Frontiers in Microbiology, 10. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01840
- Maekawa, S., Sato, K., Kokubun, T., Himori, N., Yabana, T., Ohno-Oishiet, M. (2022). A plant-derived antioxidant supplement prevents the loss of retinal ganglion cells in the retinas of NMDA-injured mice", Clinical Ophthalmology, 16, 823-832. https://doi.org/10.2147/oph.s354958
- Umar, S., Isyaku, M., Mwabaleke, J. & E. E.M. (2023). Protective effect of methanolic extract of *Tamarindus indica* leaves in ethanol-induced esophageal ulcer in adult Wistar rats. KIU Journal of Health Sciences, 51-57, 2023. https://doi.org/10.59568/kjhs-2023-3-2-06
- Meher, B. (2017). Evaluation of pharmacological potential of tamarindus indica in streptozotocin induced diabetic rats", Current Research in Pharmaceutical Sciences, 7, 2, 50-57, 2017. https://doi.org/10.24092/crps.2017.070203
- Purwaningsih, N., Widyastuti, R., Maulidiyanti, E., Saputro, T., V. Rohmayani, & A. Ainutajriani, (2023). Potential of seed powder (*Tamarindus indica* l.) on cholesterol levels, Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology), 6, 1, 15-18. https://doi.org/10.21070/medicra.v6i1.1713



- Etukudo, E.M., Mwabaleke, J.A., Makeri, D., Archibong, V.B., Ifie, J., Usman, I.M. (2024). A review on the neuroprotective potential of tamarindus indica: evidence from preclinical studies done between 2016 to 2023, *KIU Journal of Health Sciences*, 4, 1, 119-131. <https://doi.org/10.59568/kjhs-2024-4-1-12>
- Uzlasir, T., Kadiroglu, P., Selli, S. & Kelebek, H. (2020). LC-DAD-ESI-MS/MS characterization of elderberry flower (*Sambucus nigra*) phenolic compounds in ethanol, methanol, and aqueous extracts. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14478. doi:10.1111/jfpp.14478
- Kelebek, H. (2016). LC-DAD-ESI-MS/MS Characterization of phenolic constituents in Turkish black tea: Effect of infusion time and temperature. *Food Chemistry*, 204, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.132>
- Ariffin, F., Chew, S. H., Bhupinder, K., Karim, A. A., & Huda, N. (2011). Antioxidant capacity and phenolic composition of fermented *Centella asiatica* herbal teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(15), 2731–2739. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4454>
- Gan, P. T., & Ting, A. S. Y. (2017). Our tea-drinking habits: Effects of brewing cycles and infusion time on total phenol content and antioxidants of common teas. *Journal of Culinary Science & Technology*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1409673>
- Pan, J., Jiang, Y., Lv, Y., Li, M., Zhang, S., Liu, J., ... Zhang, H. (2018). Comparison of the main compounds in Fuding white tea infusions from various tea types. *Food Science and Biotechnology*, 27, 1311–1318. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0384-3>
- Xiao, J.-J., Li, Y., Fang, Q.-K., Shi, Y.-H., Liao, M., Wu, X.-W., & Cao, H.-Q. (2017). Factors affecting transfer of pyrethroid residues from herbal teas to infusion and the influence of the physicochemical properties of pesticides. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1157. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101157>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 270–276. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9)
- Ali, H. M., Al-Khalifah, N. S., Al-Rashed, S., Al-Masaud, M., & Ghramh, H. A. (2022). Phytochemical profiling, antioxidant, antimicrobial, and anticancer potential of *Tamarindus indica* leaf extracts. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2742–2750. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.075>
- Ullah, H., Khan, M. A., Ali, H., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2022). *Tamarindus indica* L.: A phytochemical and pharmacological overview. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 871636. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.871636>
- Niranjan, A., & Prakash, D. (2021). Chemical composition and biological activities of *Tamarindus indica* L. (Tamarind). *Journal of Food Biochemistry*, 45(8), e13818. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13818>
- Mahmood, A., Ahmad, M., & Masud, T. (2014). Physicochemical and antioxidant properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) pulp and seeds. *International Food Research Journal*, 21(2), 605–612.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Russell, I. J., Michalek, J. E., Flechas, J. D., & Abraham, G. E. (1995). Treatment of fibromyalgia syndrome with Super Malic: A randomized, double blind, placebo-controlled, crossover pilot study. *The Journal of Rheumatology*, 22(5), 953–958.
- Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: Antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 215–217. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
- Silva, F. A., Borges, F., Guimarães, C., Lima, J. L. F. C., Matos, C., & Reis, S. (2007). Phenolic acids and derivatives: Studies on the relationship among structure, radical scavenging activity, and physicochemical parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7596–7602. <https://doi.org/10.1021/jf071532b>
- Sudjaroen, Y., Haubner, R., Würtele, G., Hull, W. E., Erben, G., & Bartsch, H. (2005). Isolation and structure elucidation of phenolic antioxidants from tamarind (*Tamarindus indica* L.) seeds and pericarp. *Food and Chemical Toxicology*, 43(11), 1673–1682. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.05.006>
- Tappy, L., & Lê, K.-A. (2010). Metabolic effects of fructose and the worldwide increase in obesity. *Physiological Reviews*, 90(1), 23–46. <https://doi.org/10.1152/physrev.00019.2009>
- Tsai, P.-J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B., & Jordan, B. R. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Research International*, 35(4), 351–356. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00129-1)
- Williamson, G. (2013). Possible effects of dietary polyphenols on sugar absorption and digestion. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(1), 48–57. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200511>

