



Rumex acetosella L'nin Biyoalınabilir Antioksidan Özelliklerinin Belirlenmesi

Merve SABUNCU¹, Merve KONAK², Yasemin ŞAHAN^{3*}

Öz: Yeşil yapraklı yenilebilir bitkiler, insan beslenmesinde önemli rol oynayan antioksidan bileşikleri yüksek miktarda içerdikleri için, günlük diyetin önemli bileşenleridir. İnsan organizması, reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini yok etmek için doğal olarak antioksidan koruma sistemlerine sahip olsa da, bu savunma sistemi oksidatif stresin önlenmesi için yeterli değildir. Bu nedenle, diyetle alınan antioksidanlar hücrel savunmaları artırabilir ve hücre bileşenlerinin oksidatif hasarları önlemeye yardımcı olabilir. Bitkilerin içerdikleri antioksidan konsantrasyonu, büyüme evresine, bitkinin farklı bölümlerine, iklime ve mevsimlere göre değişmektedir. Bununla birlikte, bu bileşiklerin birikimi yapraklarda çok yüksektir. *Rumex acetosella* L., Polyganaceae familyasına aittir ve Türkiye'de yerel olarak "Kuzu kulağı" olarak bilinmektedir. *Rumex acetosella* L'nin yaprakları, başta salata ve sos şeklinde olmak üzere gıda olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak, *Rumex acetosella* L. Anadolu'da geleneksel tıpta, iltihap kurutucu olarak, ekzama gibi cilt hastalıklarında, karaciğer rahatsızlıklarında ve kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, *Rumex acetosella* L. yapraklarının toplam fenolik içeriğini, antioksidan kapasitesinin ve bunların biyoalınabilirliklerinin araştırılmasıdır.

Biyoalınabilirliğin belirlenmesi için in-vitro olarak sindirim sistemi taklit edilmiş ve örneklerle enzimatik ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Bitkilerin ekstrakte edilebilir toplam fenolik içeriği 3.48-6.47 mg 100 g⁻¹

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ³ Yasemin ŞAHAN, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, yasemins@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0003-3457-251x](https://orcid.org/0000-0003-3457-251x)

¹ Merve SABUNCU, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye, merve-ates@outlook.com, [OrcID 0000-0001-8771-0643](https://orcid.org/0000-0001-8771-0643)

² Merve KONAK, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye, mervekonak@klu.edu.tr, [OrcID 0000-0003-1451-8452](https://orcid.org/0000-0003-1451-8452)

GAE iken, hidrolize edilebilir toplam fenolik içeriği, 9.46-13.64 mg 100 g⁻¹ GAE arasında değişmektedir. ABTS metoduna göre biyoalınabilirlik % 40.02-% 83.28 arasında belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, *Rumex acetosella* L.'nin antioksidan bileşikleri içeren iyi bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan kapasite, biyoalınabilirlik, *Rumex acetosella* L., toplam fenolik madde.

The Bioaccessible Antioxidant Properties of *Rumex acetosella* L.

Abstract: Green leafy edible plants are essential components of daily diet, as they contain high amount of antioxidant compounds, which play important roles in human nutrition. Although human organism have naturally antioxidant protection systems to eliminate the harmful effects of reactive oxygen species, this defense system is not adequate to prevent the oxidative stress. Therefore, dietary antioxidants can increase cellular defenses and help to prevent oxidative damage to cellular components. Antioxidant concentration of plants differs based on growth phase, the different parts of plants, growing condition and agronomic practice. However, the accumulation of these compounds is very high in leaves. *Rumex acetosella* L. belongs to the Polygonaceae family and this plant locally known as “Kuzu kulağı” in Turkey. The leaves of *Rumex acetosella* L. are used as foods, mainly in the forms of salads and sauces. In addition, *Rumex acetosella* L. has been frequently used in traditional medicine as inflammatory desiccants, skin diseases such as eczama, liver disorders and cancer treatment in Anatolia. The aim of this research were to examine antioxidant capacities, total phenolic content and their bioaccessibility of *Rumex acetosella* L. leaves. Also, for the determination of bioaccessibility, samples were processed by an in vitro digestive enzymatic extraction that mimics the conditions in the gastrointestinal tract. The extractable total phenolic content of plants were 3.48-6.47 mg 100 g⁻¹ GAE fw, whereas hydrolysable phenolics were 9.46-13.64 mg 100 g⁻¹ GAE fw. Bioaccessibility of antioxidant capacity for ABTS methods were ranged 40.02 % to 83.28 %. The study showed that *Rumex acetosella* L. have the potential to be good sources of antioxidant compounds.

Keywords: Antioxidant capacity, bioaccessibility, *Rumex acetosella* L., total phenol content.

Giriş

Yenilebilir yabani bitkiler, içerdikleri antioksidan ve diğer fitokimyasal maddeleri nedeniyle serbest radikal temizleme özelliğine sahip olup, insan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır (Kaur ve Kapoor, 2001). Antioksidanlar, metabolik faaliyetler sonucunda insan vücudunda oluşan oksidatif stres kaynaklı serbest radikal oluşumu önleyerek ya da oluşmuş mevcut radikalleri süpürerek hücrenin zarar görmesini engellemekte ve koruyucu etki göstermektedir. Bu nedenle antioksidanlar, oksidatif stres kaynaklı birçok hastalığın önlenmesinde

etkili olmaktadır (Konak ve ark., 2017; Valko ve ark., 2007; Dröge, 2002). Bununla birlikte, gıdaların antioksidatif özelliklerini oluşturan mekanizmalar çok faktörlüdür. Özellikle yenilebilir bitkiler, antioksidan kapasiteyi oluşturan çok sayıda biyoaktif bileşen içermekle birlikte, bu bileşiklerin ve çevresindeki matrisin etkisine bağlı olarak bileşiklerin sindirim sistemindeki biyolojik olarak erişilebilirliği ve dolayısıyla organizmadaki kullanılabilirliği çok değişiktir (Oghbaei ve Prakash, 2013). Bu nedenle gıdalardaki, antioksidan kapasiteyi oluşturan biyoaktif bileşen miktarının yüksek olması yanında bu bileşiklerin biyoyararlılığının yüksek olması da çok önemlidir. Ancak, insan veya hayvan sindirimi sırasında meydana gelen karmaşık ve çok aşamalı süreci analiz etmek, in-vivo çalışmalar gerektirdiği için teknik olarak zor, maliyetli ve etik konular nedeniyle oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, insan sindiriminde meydana gelen fizyolojik süreçleri taklit eden in-vitro modeller kullanılmaya başlanmış ve böylece biyoalınabilirlik terimi ortaya çıkmıştır. Biyoalınabilirlik çalışmaları ile gıda bileşenleri hızlı, kolay ve güvenilir olarak taranarak hayvan ve insan modellerine faydalı bir alternatif sunulmaktadır (Minekus ve ark., 2014; Lucas-González ve ark., 2018a; Lucas-González ve ark., 2018b).

Yenilebilir yabancı bitkiler, beslenme ve insan sağlığına olan katkılarından dolayı dünya genelinde önemli bir yere sahiptir ve giderek önemleri artmaktadır. Yenilebilir yabancı bitkilere karşı artan ilginin en önemli nedenleri, sağlık üzerinde olumlu etkileri ve dünya nüfusundaki artış ile ortaya çıkan kıtlık sorunudur (Schunko ve ark., 2015). *Poligonaceae* ailesine ait olan *Rumex* türleri, dünyada yaygın olarak bulunan yaklaşık 200 türden oluşmaktadır. *Rumex acetosella* L. dünyanın her yerinde yetişmekle birlikte Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika da daha sık görülmektedir (Saleh ve ark., 1993; Çakıcıoğlu ve Türkoğlu, 2010). Bahar aylarında çıkan genellikle tek yıllık yabancı otu bir bitki olup, halk arasında “Kuzukulağı” olarak da bilinen *R. acetosella* L.’nin beslenme ve tedavi amacıyla sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Tat olarak ekşi ve aromatik bir lezzeti olan *R. acetosella* L. salata, sos yapımında, bazı bölgelerde ise çorba ve yemeklere katılarak tüketilmektedir (Alfawaz, 2006; Łuczaj ve Szymański, 2007; Pardo-de-Santayana ve ark., 2007; Çakıcıoğlu ve Türkoğlu, 2009; Łuczaj, 2010; Polat ve ark., 2012; Łuczaj ve ark., 2013; Soukand ve ark., 2015).

R. acetosella L. gıda olarak tüketiminin yanında geleneksel tıp alanında da geniş kullanım alanına sahiptir. Bu bitkinin yaprak ve sap kısımları Macaristan’da ve Romanya’da iltihaplı yaralara ve ciltteki döküntülere karşı kullanılmaktadır (Dénes ve ark., 2013). Ülkemizde bazı bölgelerde *R. acetosella* L.’nin ateşi düşürücü, kan temizleyici olarak kullanıldığı, cilt hastalıklarına (sedef, egzama, sivilce vb.) karşı faydalı olduğu, karaciğer rahatsızlıkları ve sarılık gibi hastalıklara iyi geldiği ifade edilmektedir. Ayrıca ağrı kesici ve idrar söktürücü olarak da kullanıldığı rapor edilmiştir (Çakıcıoğlu ve Türkoğlu, 2010; Kaval ve ark., 2014; Zeybek ve Zeybek, 2002).

Bu çalışmada, ülkemizde sıklıkla tüketilen yenilebilir yabancı bitkilerden biri olan *Rumex acetosella* L.’nin farklı lokasyonlardan toplanmış örneklerinin toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi CUPRAC, DPPH ve ABTS yöntemleri kullanılarak belirlenecektir. Ayrıca bu yöntemlere bağlı olarak antioksidanların ve toplam fenolik madde içeriğinin biyoalınabilirlikleri de araştırılacaktır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu çalışmada materyal olarak Marmara bölgesinde 7 farklı lokasyondan, 2016 yılının Nisan ayında toplanan *Rumex acetosella* L. bitkisinin yaprakları kullanılmıştır. Örnekler toplandıktan sonra polietilen torbalarla konularak laboratuvara getirilmiştir. Bitkilerin, sararmış ve zarar görmüş yaprak kısımları ile sapları ayıklanmış ve yıkanmıştır. Daha sonra analiz yapılana kadar -24 °C'de kilitli poşetlerde saklanmıştır. Bitkilerin tür teşhisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yapılmıştır.

Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu

Ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir antioksidan kapasite ve toplam fenol miktarı analizleri için bazı değişiklikler yapılarak Vitali ve ark. (2009) tarafından önerilen yöntem, bazı değişiklikler yapılarak uygulanmıştır. Ekstre edilebilir fenolikler için, örnekler (2.0 g taze ağırlık-fw) ve 20 mL bir HCl_{kons} /metanol /su (1:80:10 v/v) karışımı ile karıştırılmış, ardından laboratuvar tip döner çalkalayıcı (JB50-D, Shanghai, Çin) ile 250 rpm'de 2 saat boyunca 20 °C'de çalkalanmıştır. Elde edilen ekstraktlar 10 dakika boyunca, 4 °C'de 3500 rpm'de santrifüj edilmiştir (Sigma 3K 30, Almanya). Üstteki berrak kısım ayrılarak -16°C'de analiz edilinceye kadar muhafaza edilmiştir.

Hidrolize edilebilir fenoliklerin belirlenmesi için kalıntıların üzerine 20 mL metanol / H₂SO_{4-kons} (10:1) ilave edilmiş ve 85 °C'de çalkalayıcı su banyosunda 20 saat tutulmuştur. Süre sonunda karışım 4 °C'de 10 dakika boyunca 3500 rpm'de santrifüj edilmiş (Sigma 3 K 30, Almanya) ve -16 °C'de analiz edilinceye kadar muhafaza edilmiştir.

Biyoalınabilirlik

Rumex acetosella L.'nin biyoalınabilir toplam fenol içeriği ve antioksidan kapasitenin saptanması için, gastrointestinal sistem koşulları taklit eden bir in vitro enzimatik ekstraksiyon sistemi kullanılmıştır (Bouayed ve ark. 2012). Biyoalınabilirliğin belirlenmesi amacıyla 2 g bitki örneğinin, üzerine 10 mL saf su ve 0.5 mL pepsin ilave edilmiştir. Mide ortamını oluşturmak için pH 2'ye (HCl kullanılarak) getirilmiş ve çalkalamalı su banyosunda 37 °C'de 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra bağırsak ortamı için örneklerin pH'ları 7.2'ye ayarlanmış, 2.5 mL NaCl/KCl ve 2.5 mL bile/pankreatin ilave edilmiştir. Bu ortamda örnekler, çalkalamalı su banyosunda 37 °C de 2.5 saat bekletilmiş, daha sonra 3500 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatant ayrılmıştır. İşlemler her örnek için üçer kez tekrarlanmıştır. Elde edilen tüm ekstraktlar -24 °C'de saklanmıştır.

Toplam Fenol Madde (TFM) ve Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi

Ekstrakte, hidrolize ve biyolojik olarak kullanabilen ekstraktların toplam fenol içeriği Folin-Ciocalteu kolorimetrik metoduna (Apak ve ark. 2008) göre spektrofotometrede (Optizen 3220 UV-Mecasys) 750 nm'de belirlenmiştir. Sonuçlar, 100 g taze ağırlık (fw) başına mg gallik asit eşdeğerleri (GAE) olarak hesaplanmıştır.

Gıdaların antioksidan kapasitelerini oluşturan bileşikler çok çeşitli olmakla birlikte, serbest radikal bağlayıcı, indirgeyici ajan ve singlet oksijen tutucu gibi mekanizmalardan bir ya da birkaç tanesi birlikte antioksidan etki gösterebilmektedir (Güleşçi ve Aygül, 2016). Bu nedenle, gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde tek bir test metodunun kullanılması yeterli gelmemekte ve sınırlı bilgi vermektedir. Ayrıca, gıda örneklerinde farklı antioksidan kapasite tayin metotlarına ait verilerin değerlendirilmesi ile hem daha doğru sonuçlara ulaşılabilmekte hem de gıdaya uygun analiz metotları belirlenmektedir (Ardağ, 2008). Bu kapsamda, örneklerin hidrolize, ekstrakte ve biyoalınabilir ekstraktlarının antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi için ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etil benzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu), DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) ve CUPRAC (Kuprik indirgeyici antioksidan kapasite) metotları kullanılmıştır. Analitik prosedürler için Apak ve ark. (2008) ve Boskou ve ark. (2006) analiz yöntemleri modifiye edilerek kullanılmıştır. Sonuçlar, taze ağırlık başına 1 µmol Trolox eşdeğeri (TE) olarak ifade edilmiştir. Analizler üçer tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Veriler Minitab istatistiksel paketi (Minitab 17) uygulanarak değerlendirilmiştir. Sonuçların ortalamaları arasındaki istatistiksel farklılığın belirlenmesinde, LSD (Least Significant Difference) testi $p < 0.05$ düzeyinde uygulanmıştır.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Rumex acetosella L. örneklerinin ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir toplam fenol madde miktarı Çizelge 1'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, örneklerin hidrolize edilebilir toplam fenolik madde içerikleri, ekstrakte edilebilirlerden daha yüksek bulunmuştur. Hidrolize edilebilir toplam fenolik madde içeriği 9.46-13.64 mg g⁻¹ GAE arasında değişirken, ekstrakte edilebilir toplam fenolik madde içeriği 3.48-6.47 mg g⁻¹ GAE olarak saptanmıştır. Toplam fenolik madde içeriği bakımından değerlendirildiğinde genotip 1 (18.97 mg g⁻¹ GAE), genotip 2 (18.15 mg g⁻¹ GAE) ve genotip 3 (17.28 mg g⁻¹ GAE), en yüksek sonuçları verirken, genotip 4 (13.47 mg g⁻¹ GAE) en düşük sonucu vermiştir. Biyoalınabilir toplam fenolik madde miktarının ise 8.10- 9.27 mg g⁻¹ GAE arasında değiştiği belirlenmiştir. Genotipler arasındaki bu değişkenlik, coğrafi farklılıklar, toprak bileşimi ve iklim koşullarındaki farklılıklara bağlı olarak açıklanabilir (Dalar ve Konczak, 2014). Baig ve ark. (2011) *Rumex acetosella* L. bitkisinin yapraklarında, altı farklı çözücü kullanarak toplam fenolik madde miktarını belirlemişlerdir. En iyi sonucu metanol ile ekstrakte edilen örneklerde elde etmişler ve 114.50 µg mL⁻¹ GAE olarak bildirmişlerdir. Ahmed ve ark. (2013) *Rumex acetosella* L. kökleri üzerine yaptığı çalışmada, toplam fenolik madde içeriğini 108.88 µg mg⁻¹ GAE olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, araştırmamızda belirlenen

sonuçlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Bu farklılığın, ekstraksiyon koşulları, uygulanan ön işlemler, bitkinin yetiştiği coğrafi bölge ve iklim koşullarının farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 1. *Rumex acetosella* L. örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri ve biyoalınabilirlikleri

| | Ekstrakte edilebilir TFM (mg g ⁻¹ GAE) | Hidrolize edilebilir TFM (mg g ⁻¹ GAE) | Biyoalınabilir TFM (mg g ⁻¹ GAE) |
|------------------|--|--|--|
| Genotip 1 | 5.95±0.25 ^a | 13.02±1.01 ^a | 8.98±0.19 ^{ab} |
| Genotip 2 | 6.47±0.25 ^a | 11.68±0.39 ^b | 8.80±0.10 ^b |
| Genotip 3 | 3.64±0.23 ^{bc} | 13.64±0.56 ^a | 8.10±0.19 ^d |
| Genotip 4 | 3.48±0.02 ^c | 9.99±0.02 ^{bc} | 8.57±0.03 ^c |
| Genotip 5 | 3.97±0.09 ^{bc} | 9.64±0.04 ^c | 9.27±0.06 ^a |
| Genotip 6 | 4.33±0.33 ^b | 9.46±0.13 ^c | 8.96±0.26 ^{ab} |
| Genotip 7 | 4.17±0.03 ^{bc} | 11.55±0.69 ^b | 9.09±0.11 ^a |

a, b, c, d: Farklı harfler taşıyan aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklılıklar p<0.05 düzeyinde önemlidir.
±: Standart sapma, n=3 tekrür

Antioksidan kapasite birçok farklı mekanizma tarafından oluşturulmaktadır. Bu nedenle gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde, sadece bir mekanizmaya bağlı olarak bir yöntemi kullanmak gerçek antioksidan kapasiteyi yansıtmamaktadır (Karadag ve ark., 2009). Ayrıca antioksidan kapasite analizleri örneğin bileşen içeriğine, analiz prensip ve koşullarına bağlı olarak da farklılık gösterebilmektedir (Sariburun ve ark. 2010). Bu sebepler göz önüne alındığında, antioksidan belirleme metodlarının seçicilik ve uygulanabilirlikleri göz önüne alınarak ABTS, DPPH ve CUPRAC metodları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Örneklerin metotlara bağlı olarak ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. *Rumex acetosella* L. örneklerinin antioksidan kapasiteleri ve biyoalınabilirlikleri

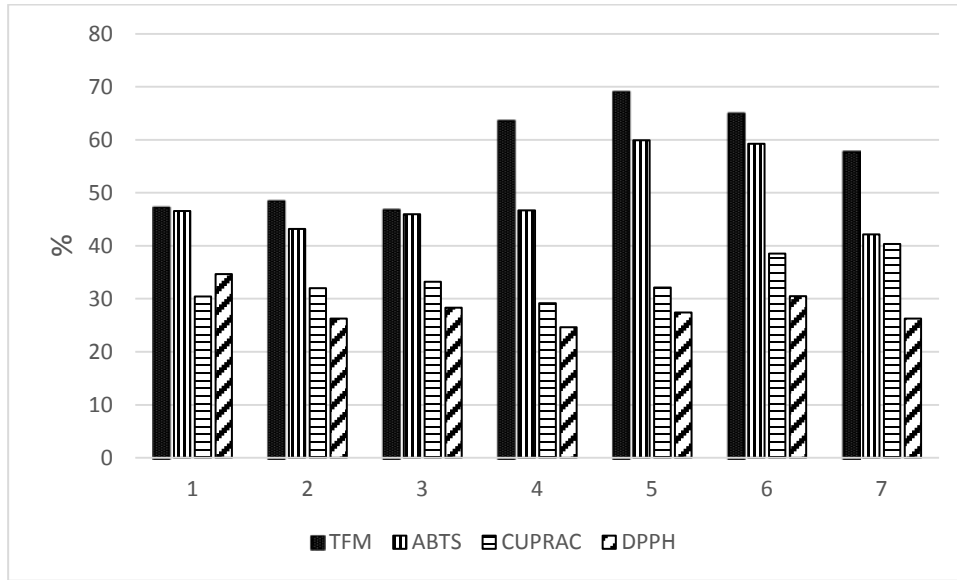
| | Ekstrakte edilebilir Antioksidan Kapasite (µmol TE g ⁻¹) | | | Hidrolize edilebilir Antioksidan Kapasite (µmol TE g ⁻¹) | | | Biyoalınabilir Antioksidan Kapasite (µmol TE g ⁻¹) | | |
|------------------|---|-------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| | ABTS | CUPRAC | DPPH | ABTS | CUPRAC | DPPH | ABTS | CUPRAC | DPPH |
| Genotip 1 | 2.66±0.15 ^a | 3.95±0.03 ^b | 8.47±0.74 ^b | 4.47±0.02 ^a | 10.98±0.64 ^a | 22.94±0.45 ^{de} | 3.32±0.41 ^a | 4.55±0.07 ^b | 10.90±0.84 ^a |
| Genotip 2 | 2.81±0.04 ^a | 4.76±0.05 ^a | 9.49±0.31 ^a | 3.44±0.06 ^b | 10.19±0.27 ^b | 22.43±0.65 ^c | 2.70±0.40 ^b | 4.79±0.03 ^a | 8.38±0.67 ^c |
| Genotip 3 | 1.80±0.02 ^c | 2.58±0.01 ^{de} | 9.07±0.62 ^{ab} | 4.16±0.23 ^a | 10.86±0.73 ^a | 27.31±0.42 ^a | 2.74±0.40 ^b | 4.47±0.06 ^b | 10.31±0.36 ^a |
| Genotip 4 | 2.06±0.08 ^b | 2.23±0.05 ^e | 7.90±0.08 ^c | 3.06±0.06 ^{bc} | 11.34±0.69 ^a | 24.84±0.86 ^c | 2.39±0.24 ^c | 3.96±0.05 ^c | 8.07±0.12 ^d |
| Genotip 5 | 2.04±0.38 ^b | 3.40±0.12 ^c | 6.77±0.61 ^d | 2.70±0.35 ^c | 8.76±0.68 ^c | 24.53±0.88 ^c | 2.84±0.94 ^{ab} | 3.91±0.05 ^c | 8.58±0.13 ^c |
| Genotip 6 | 1.82±0.10 ^c | 2.81±0.65 ^d | 8.25±0.41 ^b | 2.11±0.09 ^d | 7.78±0.41 ^d | 23.41±0.80 ^d | 2.33±0.49 ^c | 4.08±0.14 ^{bc} | 9.64±0.08 ^b |
| Genotip 7 | 1.94±0.03 ^b | 2.90±0.04 ^d | 6.99±0.02 ^d | 2.92±0.03 ^c | 7.36±0.88 ^d | 25.75±0.73 ^b | 2.05±0.10 ^d | 4.14±0.04 ^{bc} | 8.61±0.07 ^c |

Farklı genotiplere ait *Rumex acetosella* L. yapraklarında, her üç ekstraksiyon metodunda da DPPH yöntemi kullanılarak alınan sonuçlar ABTS ve CUPRAC yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek değer vermiştir. Ekstraksiyon yöntemleri istatistiki olarak değerlendirildiğinde ise *Rumex acetosella* L. örneklerinin hidrolize edilebilir antioksidan kapasitesinin, ekstrakte edilebilir antioksidan kapasiteye göre daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). Hidrolize edilebilir antioksidan kapasite sonuçları metotlar açısından karşılaştırıldığında ise $27.31-22.43 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ile DPPH yöntemi en yüksek sonuçları verirken, bunu $11.34-7.36 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ile CUPRAC ve $4.47-2.11 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ile ABTS yöntemi izlemiştir. ABTS, CUPRAC ve DPPH metotları, elektron transferi reaksiyonuna dayanan analiz yöntemleri olup, aynı reaksiyon mekanizmasına sahiptir ancak bu yöntemlerin redoks potansiyelleri, optimum çalışma pH'ları, farklı reaktif gruplara duyarlılıkları ve solvent bağımlılıkları farklıdır (Apak ve ark. 2013). Bu nedenle, sonuçlar arasındaki farklılıkların nedeninin, genotipik farklılıklar, bitkinin yetiştiği yerin özellikleri (coğrafi farklılıklar, iklim koşulları ve çevresel etkiler), antioksidan kapasiteyi oluşturan fenolik bileşiklerin kimyasal yapısı (aglikonlar veya glikozitler formu), ekstraksiyon koşulları, pH ve sıcaklık gibi birçok faktörle ilişkilendirilebilmektedir (Tagliazucchi ve ark., 2010; Bouayed ve ark., 2011). Baig ve ark. (2011) tarafından *Rumex acetosella* L.'nin metanol ekstraktlarının antioksidan kapasite değerlerinin DPPH yöntemine göre $EC_{50} 200.14 \mu\text{g mL}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Pereira ve ark. (2011) yaygın olarak tüketilen yeşil yapraklı bitkilerle yaptıkları çalışmada, DPPH yöntemini kullanarak *Rumex acetosella* L. yapraklarında antioksidan kapasite değerini $EC_{50} 0.03 \text{ mg mL}^{-1}$ olarak rapor etmişlerdir. Alpınar ve ark. (2009) *Rumex acetosella* L. bitkisinde CUPRAC ve ABTS yöntemlerini kullanarak belirledikleri antioksidan kapasitesi $0.12 \text{ mmol TE g}^{-1}$ ve $0.09 \text{ mmol TE g}^{-1}$ olarak tespit etmişlerdir.

Farklı genotiplere ait *Rumex acetosella* L. örneklerinin biyoalınabilir toplam fenolik madde miktarı, CUPRAC, DPPH ve ABTS yöntemlerine göre antioksidan kapasite sonuçları % olarak Şekil 1'de verilmiştir. Örneklerin biyoalınabilir toplam fenolik madde miktarları %46.87-%69.02 değişmekte olup ortalama %56.87 olarak belirlenmiştir. Biyoalınabilir antioksidan kapasite sonuçları incelendiğinde ise ABTS yönteminin ortalama %49.11 ile en yüksek sonucu verdiği ve bunu %33.70 ile CUPRAC ve %28.30 ile DPPH yönteminin izlediği tespit edilmiştir. Özellikle ekstrakte ve hidrolize edilebilir ekstraktlarda en düşük sonucu veren ABTS metodunun biyoalınabilir ekstraktlarda yüksek çıkması oldukça dikkat çekicidir. Bunun nedeninin, bu yöntemde belirlenen ve antioksidan kapasiteyi oluşturan bileşiklerin miktarlarının düşük olmasına rağmen, biyoalınabilirlik çalışmaları sırasında uygulanan enzimatik ekstraksiyona daha duyarlı olmaları ve böylece daha tespit edilebilir oldukları düşünülmektedir. Sindirim süresince, fenolik bileşikler gıdada bulunan diğer bileşiklerle interaksiyona girebilmekte, degrade veya metabolize olabilmektedir. Ayrıca, mide ve bağırsakta bulunan farklı pH koşullarının neden olduğu kimyasal modifikasyonlara maruz kalabilmekte ve sindirim sisteminde yer alan enzimlerin etkisi ile biyoaktif gruplarda moleküler düzeyde değişiklikler oluşabilmektedir. Bu yapısal değişiklikler, fenolik bileşiklerin alımını etkilemekte ve biyoalınabilirliği değiştirmektedir (Bermúdez-Soto ve ark., 2007; Bouayed ve ark., 2012; Rodríguez-Roque ve ark., 2013).

Biyoalınabilirlik açısından genotipler arasındaki farklılıklar incelendiğinde hem toplam fenol içeriği hem de antioksidan kapasite açısından en yüksek biyoalınabilirlik değerine genotip 5 ve 6'nın sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1). Literatürde, yenilebilir bitkilerin antioksidatif özelliklerinin biyoalınabilirliği ile ilgili

sınırlı sayıda biyoalınabilirlik çalışmasına rastlanmakla birlikte *Rumex acetosella* L. ile yapılan bir biyoalınabilirlik çalışmasına rastlanılmamıştır. Sahan ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç farklı hindiba örneğinde biyoalınabilirlik, toplam fenolik madde için % 41.82-61.48, ABTS yöntemine göre % 77.60-85.88 CUPRAC yöntemine göre % 62.12-73.49 ve DPPH yöntemine göre % 64.66-76.21 olarak rapor etmişlerdir. Konak ve ark. (2017) ülkemizde yetişen yabancı yenilebilir bir bitki olan *Gundelia tournefortii* L.'nin toplam fenolik madde biyoalınabilirlik değerini % 59 olarak belirtmiştir. Ayrıca antioksidan kapasite yöntemlerini biyoalınabilirlik açısından karşılaştırdıklarında ise ortalama % 84.5 biyoalınabilirlik sonucu ile ABTS metodu en iyi metod olarak belirlenirken, bunu CUPRAC ve DPPH metodlarının izlediği ifade edilmiştir. Bizim çalışmamızda da antioksidan kapasite yöntemleri benzer şekilde sıralanmıştır.



Şekil 1. *Rumex acetosella* L. örneklerinin TFM ve antioksidan kapasitelerinin % biyoalınabilirlikleri

Sonuç

Ülkemizde hem ticari olarak yetiştiriciliği yapılan hem de doğadan doğal olarak toplanarak tüketilen bitkilerden biri olan *Rumex acetosella* L.'nin ortalama fenolik madde içeriğine ve antioksidan kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte sahip olduğu bu antioksidatif özelliklerin biyoalınabilirlikleri oldukça yüksektir. Bu nedenle özellikle kış ve bahar aylarında genellikle salata şeklinde tüketilen bu bitkinin kullanımının teşvik edilmesi ve günlük diyetlerimizde sıklıkla yer alması önerilmektedir.

Kaynakça

- Alfawaz, M.A. 2006. Chemical composition of hummayd (*Rumex vesicarius*) grown in Saudi Arabia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 552-555.
- Ahmed, D., Mughal, Q.M., Younas, S. and Ikram, M. 2013. Study of phenolic content and urease and alpha-amylase inhibitory activities of methanolic extract of *Rumex acetosella* roots and its sub-fractions in different solvents. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 26(3): 553-559.
- Alpınar, K., Özyürek, M., Kolak, U., Güçlü, K., Aras, Ç., Altun, M., Çelik, S.E, Berker, I.K., Bektaşoğlu B. and Apak R. 2009. Antioxidant capacities of some food plants wildy grown in Ayvalik of Turkey. *Food Science and Technology Research*, 15(1): 59-64.
- Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K.M., Özyürek, M., and Güçlü, K. 2013. Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/ activity (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 85(5): 957-998.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. and Çelik, S.E. 2008. Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 160: 413-419.
- Ardağ, A. 2008. Antioksidan Kapasite Tayin Yöntemlerinin Analitik Açıdan Karşılaştırılması. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. 54 s.
- Baig, H., Ahmed, D., Zara, S., Aujla, M.I. and Asghar, M.N. 2011. In vitro evaluation of antioxidant properties of different solvent extracts of *Rumex acetosella* leaves. *Oriental Journal of Chemistry*, 27(4): 1509-1516.
- Bermúdez-Soto, M.A., Tomás-Barberán, F.A., and García-Conesa, M.T. 2007. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion. *Food Chemistry*, 102: 865-874.
- Boskou, G., Salta, F.N., Chrysostomou, S., Mylona, A., Chiou, A. and Andrikopoulos, N.K. 2006. Antioxidant capacity and phenolic profile of table olives from the Greek market. *Food Chemistry*, 94: 558-564.
- Bouayed, J., Deußer, H., Hoffmann, L. and Bohn, T. 2012. Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following in vitro digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*, 131: 1466-1472.
- Bouayed, J., Hoffmann, L. and Bohn, T. 2011. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128: 14-21.
- Çakılcıoğlu, U. and Türkoğlu, I. 2009. Ethnobotanical features of Citli Lowland (Elazığ) and its vicinity. *Ecological Life Sciences*, 4 (2): 81-85.
- Cakilcioglu, U. and Turkoglu, I. 2010. An ethnobotanical survey of medicinal plants in Sivrice (Elazığ-Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 132: 165-175.
- Cakilcioglu, U., Sengun, M.T. and Turkoglu, I. 2010. An ethnobotanical survey of medicinal plants of Yazikonak and Yurtbasi Districts of Elazığ Province, Turkey. *Journal of Medicinal Plant Research*, 4: 567-572.

- Dalar, A. and Konczak, I. 2014. *Cichorium intybus* from Eastern Anatolia: Phenolic composition antioxidant and enzyme inhibitory activities. *Industrial Crops and Products*, 60: 79-85.
- Dénes, A., Papp, N., Babai, D., Czúcz, B. and Molnár, Z. 2013. Edible wild plants and their use based on ethnographic and ethnobotanical researches among Hungarian in the Carpathian Basin. *Dunántúli Dolgozatok (A) Természettudományi Sorozat*. 13: 35-76.
- Dröge, W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82(1): 47-95.
- Gescher, K., Hensel, A., Hafezi, W., Derksen, A. and Kühn, J. 2011. Oligomeric proanthocyanidins from *Rumex acetosa* L. inhibit the attachment of herpes simplex virus type-1. *Antiviral Research*, 89: 9-18.
- Güleşçi, N. and Aygül, İ. 2016. Beslenmede yer alan antioksidan ve fenolik madde içerikli çerezler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(1): 109-129.
- Karadag, A., Beraat, Ö. and Samim, S. 2009. Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2(1): 41-60.
- Kaur, C. and Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(7): 703-725.
- Kaval, I., Behcet, L. and Cakilcioglu, U. 2014. Ethnobotanical study on medicinal plants in Gecitli and its surrounding (Hakkari-Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 15: 171-184.
- Konak, M., Ateş, M. and Şahan, Y., 2017. Yenilebilir yabancı bir bitki *Gundelia tournefortii*'nin antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 31(2): 101-108.
- Łuczaj, L. and Szymański, W.M. 2007. Wild vascular plants gathered for consumption in the Polish countryside: a review. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3: 1-22.
- Łuczaj, L. 2010. Changes in the utilization of wild green vegetables in Poland since the 19th century: A comparison of four ethnobotanical surveys. *Journal of Ethnopharmacology*, 128: 395-404.
- Łuczaj, L., Köhler, P., Piroznikow, E., Graniszewska, M., Pieroni, A. and Gervasi, T. 2013. Wild edible plants of Belarus: from Rostafinski's questionnaire of 1883 to the present. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9: 1-17.
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J.A. and Fernández-López, J. 2018a. In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International*, 107: 423-436.
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Perez-Álvarez, J.A. and Fernández-López, J. 2018b. Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from persimmon fruit (*Diospyros kaki*) co-products during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 256: 252-258.
- Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carriere, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., Marze, S., McClements, D.J., Menard, O., Recio, I., Santos, C.N., Singh, R.P.,

- Vegarud, G.E., Wickham, M.S.J., Weitschies, W. and Brodkorb, A. 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food Functional*, 5: 1113-1124.
- Oghbaei, M. and Prakashn, J. 2013. Effects of processing and digestive enzymes on retention, bioaccessibility and antioxidant activity of bioactive components in food mixes based on legumes and green leaves. *Food Bioscience*, 4: 21-30.
- Pardo-de-Santayana, M., Tardío, J., Blanco, E., Carvalho, A.M., Lastra, J.J., San Miguel, E. and Morales, R. 2007. Tradition knowledge of wild edible plants used in the northwest of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal): a comparative study. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3 (27): 1-11.
- Pereira, C., Barros, L., Carvalho, A.M. and Ferreira, I.C. 2011. Nutritional composition and bioactive properties of commonly consumed wild greens: Potential sources for new trends in modern diets. *Food Research International*, 44(9): 2634-2640.
- Polat, R., Cakilcioglu, U., Ertug, F. and Satil, F. 2012. An evaluation of ethnobotanical studies in Eastern Anatolia. *Biological Diversity and Conservation*, 5: 23-40.
- Rodríguez-Roque, M.J., Rojas-Graü, M.A., Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O. 2013. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 136: 206-212.
- Sahan, Y., Gurbuz, O., Guldaz, M., Degirmencioglu, N. and Begenirbas, A. 2017. Phenolics, antioxidant capacity and bioaccessibility of chicory varieties (*Cichorium* spp.) grown in Turkey. *Food Chemistry*, 217: 483-489.
- Saleh, N.A.M., El-Hadidi, M.N. and Arafa, R.F.M. 1993. Flavonoids and anthraquinones of some Egyptian *Rumex* species (*Polygonaceae*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 21: 301-303.
- Sarıburun, E., Sahin, S., Demir, C., Türkben, C. and Uylaser, V. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of raspberry and blackberry cultivars. *Journal of Food Science*, 75: 328-335.
- Schunco, C., Grasser, S. and Vogl, C.R. 2015. Explaining the resurgent popularity of the wild: motivations for wild plant gathering in the Biosphere Reserve Grosses Walsertal, Austria. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11 (55): 1-14.
- Soukand, R., Pieroni, A., Biro, M., Denes, A., Dogan, Y., Hajdari, A., **Kalle**, R., Reade, B., Mustafa, B., Nedelcheva, A., Quave, C.L. and Luczaj, L. 2015. *An ethnobotanical perspective on traditional fermented plant foods and beverages in Eastern Europe*. *Journal of Ethnopharmacology*, 170: 284-296.
- Tagliacucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D. and Conte, A. 2010. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120: 599-606.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T., Mazur, M. and Telser, J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1): 44-84.
- Vitali, D., Dragojević, I.V. and Šebečić, B. 2009. Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114(4): 1462-1469.
- Zeybek, U. and Zeybek, N. 2002. *Farmasötik Botanik* (3. baskı), Ege Üniv. Eczacılık Fak. Yayınları, No:3, İzmir