



<http://dergipark.org.tr/tr/pub/anatolianbryology>

DOI: 10.26672/anatolianbryology.1633304

Anatolian Bryology
Anadolu Briyoloji
Dergisi
Research Article
e-ISSN:2458-8474
Online



Karşılaştırmalı Bir Fitokimyasal Çalışma

Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ¹ , Mevlüt ALATAŞ² *

^{1,2} Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Tunceli, TÜRKİYE

Received: 04 February 2025

Revised: 27 February 2025

Accepted: 14 May 2025

Öz

Briyofitler, çeşitli terapötik ve nutrasötik uygulamalara sahip geniş bir ikincil metabolit yelpazesi sentezleyen bitkilerdir. Bu çalışmada, *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. (Bryophyta) ve *Barbilophozia barbata* (Schmidel ex Schreb.) Loeske (Marchantiophyta) türlerinin biyoaktif bileşikler ve antioksidan potansiyelleri incelenmiştir. Analizler sonucunda, *B. rutabulum*'un toplam fenolik (TPC), toplam flavonoid (TFC), askorbik asit, ferrik indirgeme antioksidan gücü (FRAP) ve deoksiriboz bozunma aktivitesi (DDA) açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu, *B. barbata*'nın ise karotenoid içeriği ve nitrik oksit süpürme aktivitesi (NOSA) bakımından daha yüksek antioksidan potansiyel gösterdiği belirlenmiştir. Bulgular, bu briyofit türlerinin güçlü antioksidan ajanlar olabileceğini göstermektedir. Özellikle ilaç, kozmetik ve gıda endüstrilerinde bu türlerin biyoaktif bileşiklerinin potansiyel kullanımı daha ayrıntılı araştırmalarla desteklenmelidir.

Anahtar kelimeler: Briyofit, Fitokimya, Antioksidan Aktivite, İkincil Metabolitler, Fenolik Bileşikler

A Comparative Phytochemical Study

Abstract

Bryophytes are plants that synthesize a wide range of secondary metabolites that have various therapeutic and nutraceutical applications. In this study, bioactive compounds and antioxidant potentials of *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. (Bryophyta) and *Barbilophozia barbata* (Schmidel ex Schreb.) Loeske (Marchantiophyta) species were investigated. As a result of the analyses, it was determined that *B. rutabulum* had higher values in terms of total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), ascorbic acid, ferric reducing antioxidant power (FRAP), and deoxyribose degradation activity (DDA), while *B. barbata* showed higher antioxidant potential in terms of carotenoid content and nitric oxide scavenging activity (NOSA). The findings indicate that these bryophyte species may be strong antioxidant agents. The potential use of bioactive compounds of these species, especially in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries, should be supported by further detailed research.

Keywords: Bryophyte, Phytochemistry, Antioxidant Activity, Secondary Metabolites, Phenolic Compounds

* Corresponding author: mevlutalatas@hotmail.com

To cite this article: Çakır Sahilli Y. Alataş M. 2025. A Comparative Phytochemical Study. *Anatolian Bryology*. 11:1, 6-12.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License

1. Giriş

Briyofitler, dünya çapında yaygın olarak dağılmış ancak hala yetersiz araştırılmış bir bitki grubudur. Tür sayılarının yaklaşık 22.000-25.000 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Frahm, 2004; Asakawa ve Ludwiczuk, 2013). Son taksonomik çalışmalarda üç ayrı bölüme ayrılmış (Bryophyta, Marchantiophyta ve Anthocerotophyta) olan briyofitler, çok çeşitli ve homojen olmayan bir bitki grubudur (Glime, 2007; Shaw ve ark., 2011). Briyofitler nadiren insan ilgisinin konusu olmuştur. Bunun başlıca nedeni, düşük kalorifik değerleri ve zayıf organoleptik özellikleri nedeniyle bir gıda kaynağı olarak kullanılmamalarıdır (Klavina ve ark., 2015). Ancak, briyofitler geliştikleri bitki topluluklarına (Wolski ve Kruk, 2020) veya üzerinde büyüdükleri substratlara (Vanderpoorten ve ark., 2004; Fudali ve Wolski, 2015) göre yüksek biyoindikatif değerleri nedeniyle ekolojik araştırmalarda çok sık kullanılmaktadırlar. Ayrıca bazı türleri, bitki ve orman ekosistemleri doğallığının olağanüstü göstergeleri olarak da kabul edilir (Klama ve ark., 1999; Klama, 2002).

Briyofitlerin tıpta kullanımına olan ilgi, yalnızca son birkaç on yıla dayansa da (Asakawa ve ark., 1990; Zinsmeister ve ark., 1991), bu bitkiler çoğunlukla Asya ülkelerinde yüzyıllardır doğal ilaç olarak kullanılmaktadırlar (Bodade ve ark., 2008). I. Dünya Savaşı sırasında yaralıların pansuman ve tedavilerinde cerrahi sargı bezi olarak da kullanılmışlardır (Abay, 2006; Saxena ve Harinder, 2004). Son on yılda, briyofitlerin vasküler bitkilere benzer şekilde yüksek biyolojik aktivite gösteren birçok kimyasal bileşik üretmelerinin keşfi nedeniyle bu bitkilere olan ilgi önemli ölçüde artmıştır (Shaw ve ark., 2011; Asakawa ve ark., 1990; Hanif ve ark., 2014; Kadam ve Akurdi, 2016). Briyofitlerin dokularıyla ilgili çok sayıda çalışma, yapılarında polisiklik aromatik bileşiklerle birlikte hidrokarbonların ve aromatik bileşiklerin (örn. bibenziller) varlığını belgelemiştir. Bunların yanı sıra çalışmalarda, flavonlar (örn. apigenin, luteolin), flavonoller (örn. kaempferol), izoflavonlar ve diğer hidroksi flavonoidler dahil olmak üzere flavonoidler; lipofilik mono-, seski- ve diterpenoidler dahil olmak üzere terpenoidler; glikozitler, üçlü ve tetraoksijenlenmiş kumarinlerin glikozitleri, orobol glikozitler, lipitler, yağ asitleri ve diğer uçucu bileşenler gibi çeşitli organik bileşik grupları da tanımlanmıştır (Ichikawa ve ark., 1983; Aslanbaba ve ark., 2017). Bu tanımlamalarla birlikte, bir dizi briyofit için iyi ifade edilmiş antibakteriyel, antifungal, antiviral aktiviteler gösterilmiştir. Kanseri hücreleri, antiplatelet, antitrombin, vazopressin antagonisti, kardiyotonik, alerjik,

tümör etkili, böcek öldürücü, yumuşakça öldürücü, bitki büyüme düzenleyici, nöroprotektif aktiviteler açısından sitotoksiteleri ve ayrıca bir dizi biyokimyasal olarak önemli enzimi inhibe etme yetenekleri de birçok çalışmada doğrulanmıştır.

Briyofitler ayrıca antioksidan ve UV fotokoruyucu özellikler de sergiler. Flavonoidler ve hidroksisinnamik asitler de dahil olmak üzere fenolik içerik nedeniyle, dokularına nüfuz eden zararlı UV radyasyonunun doğrudan ve dolaylı etkilerini azaltabilirler (Frahm, 2004; Klavina ve ark., 2015; Hanif ve ark., 2014; Kadam ve Akurdi, 2016; Asakawa, 2007; Chobot ve ark., 2008). Briyofitler ve özleri; cilt hastalıkları ve cilt ile ilişkili sorunlar, solunum sistemi ve kardiyovasküler sistem hastalıkları tedavilerinde de uygulanmışlardır. Yine bazı briyofit türleri ayrıca ateş düşürücü ve idrar söktürücü özelliklere sahip olup hepatit, kırıklar, bademcik iltihabı, nevrasteni ve viral hastalıkları tedavi etmek için kullanılmışlardır (Frahm, 2004; Singh ve ark., 2006; Asakawa ve Ludwiczuk, 2013).

Son yıllarda, briyofitlerin biyolojik olarak aktif maddelerin potansiyel kaynağı olarak kullanımı üzerine yürütülen çalışmalar, çoğunlukla ciğerotları olmak üzere, karayosunları ve boynuzlu ciğerotu türleri üzerinde gerçekleştirilmektedir (Asakawa ve Ludwiczuk, 2013). Yapılan son çalışmalarda, briyofitlerden izole edilen birçok bileşik yüksek biyolojik aktivite göstermiştir (Krzaczkowski ve ark., 2009; Cheng ve ark., 2012, Sahilli ve Alataş, 2024). Bununla birlikte, 3.000 briyofitin tıbbi değere sahip olduğu bildirilmesine rağmen, yalnızca birkaçı tıbbi kullanım için geliştirilmiştir (Kandpal ve ark., 2016). Briyofitlerin tıbbi görünürlüğünü artırmak ve içerik zenginliğini ortaya çıkarmak için yapılan bu çalışmada, *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp ve *Barbilophozia barbata* (Schmidel ex Schreb.) Loeske türlerinin, biyoaktif bileşikleri ve antioksidan kapasiteleri araştırılmıştır.

2. Materyaller ve Metodlar

2.1. Bitki materyali ve ekstraksiyon işlemi

Araştırma materyalleri, Henderson (1961) kareleme sistemine göre Türkiye’de A4-A5 kareleri içerisinde bulunan Karçal Dağları (Artvin)’ndan toplanmıştır. Özellikle nemli ve gölgeli ormanlık alanlar ile nehir kenarlarındaki; kütükler, toprak ve kayalar üzerinde yayılış gösteren (Smith, 1996; Smith, 2004) bu türlerden; *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. çürüyen ağaç kütüğü üzeri (1. lokalite), *Barbilophozia barbata* (Schmidel ex Schreb.) Loeske. ise kaya (2. lokalite) üzerinden alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Lokalite bilgileri

Lokalite No	Yükseklik (m)	Tarih	GPS Kaydı	Lokalite
1	1550	29.05.2022	(37T) 0744667D, 4579143K	Çermik Balcı Yaylası Arası
2	846	27.05.2022	(37T) 0735981D, 4569823K	Bakırköy

Ekstraksiyon işlemi için iyice yıkanan örnekler, kurutulup ve ince toz haline getirilmiştir. Her bir örnek (1 g) havan ve havaneli kullanılarak % 95 metanol ile homojenize edilmiş ve 48 saat boyunca orbital çalkalayıcıda tutulmuştur. Daha sonra, her bir ekstrakt 10000 rpm'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Bu işlemi takiben her bir örneğin süpernatantı toplanmış ve daha sonra kullanılmak üzere 4 °C'de saklanmıştır.

2.2. Toplam fenolik içerik

Toplam fenolik içerik (TPC) Vats (2016) tarafından tarif edildiği şekilde değerlendirilmiştir. Metanolik ekstrakt (0,125 ml) aynı miktarda Folin-Ciocalteu reaktifi ile karıştırılmıştır. Daha sonra sodyum karbonat (%7) eklenmiş ve reaksiyon karışımı distile su ile seyreltilmiştir. Test tüpleri daha sonra 90 dakika inkübe edilmiş ve absorbans 760 nm'de kaydedilmiştir. Sonuç, mg Gallik asit eşdeğeri GAE/g numunenin kuru ağırlığı olarak ifade edilmiştir.

2.3. Toplam flavonoid içeriği

Toplam flavonoid içeriği (TFC) alüminyum klorür yöntemine göre belirlenmiştir (Vats, 2016). Bitki ekstraktına sırayla etanol (%95), alüminyum klorür (%10), potasyum asetat (1 M) ve damıtılmış su eklenmiştir. Reaksiyon karışımı oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiş ve 415 nm'de absorbans alınmıştır. Sonuç, Quercetin eşdeğerleri olarak mg QE/g numunenin kuru ağırlığı cinsinden ifade edilmiştir.

2.4. Askorbik asit içeriği

Kurutulmuş ve ince toz haline getirilmiş örnekler 10 ml ekstraksiyon çözeltisinde (1,39 N asetik asit içinde %3 metafosforik asit) 5 dakika boyunca maserasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra, çözelti santrifüjlenmiş ve her bir tüpteki süpernatantlar, belirgin bir pembe renk 5 dakikadan daha uzun süre devam edene kadar indofenol çözeltisine karşı ayrı ayrı titre edilmiş ve kör ile karşılaştırılmıştır. Askorbik asit içeriği AOAC yönteminde tarif edildiği şekilde hesaplanmıştır (AOAC, 1990).

2.5. Karotenoid içeriği

Metanolik bitki ekstraktı bir ayırma hunisinde petrol ile karıştırılmıştır. Eter tabakası toplandı ve vakumda buharlaştırıldı. Kalıntı etanolde çözöldü ve % 60 sulu KOH ile karıştırıldı ve bir gece bekletildi. Ayrıca, eşit miktarda su ilave edildi ve petrol eteri ile iki kez bölündü. Faz toplandı ve

buharlaştırıldı. Kalıntı 450 nm'de spektrofotometrik tahmin için etanol içinde çözöldü. Karotenoid içeriği de de Carvalho ve ark. (2012) tarafından önerildiği şekilde hesaplanmıştır.

2.6. Ferrik indirgeyici/antioksidan güç deneyi

Ferrik indirgeyici/antioksidan güç (FRAP) testi Vats ve Gupta'nın (2017) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Frap reaktifi 20 ml asetat tamponu (300 mM; pH3.6), 2,5 ml TPTZ (40 mM HCl içinde 10 mM 2, 4, 6-tripiridilstriazin) ve 2,5 ml FeCl₃.6H₂O karıştırılarak hazırlanmıştır. Ayrıca, 50 µl ekstrakt 1,5 ml FRAP reaktifi ile karıştırıldı. Absorbans 5 dakika sonra 593 nm'de ölçöldü. Kalibrasyon için bilinen Fe (II) konsantrasyonunun sulu çözeltisi kullanılmıştır.

2.7. Nitrik oksit süpürme (temizleme) deneyi

Nitrik oksit temizleme deneyi (NOSA) Badami ve ark. (2003) tarafından önerildiği şekilde belirlenmiştir. Sodyum nitroprussid (10 mM) 0,5 ml fosfat tampon salin (1 M; pH 7,4) içinde 0,5 ml ekstrakt ile karıştırılmıştır. Karışım 25 °C'de 150 dakika boyunca inkübe edildi. Reaksiyon karışımına (0,5 ml) sülfanilik asit reaktifi (1 ml) ve ardından %0,1 naftil etilendiamin dihidroklorür (1 ml) eklenmiş ve oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans 540 nm'de ölçölmüştür. Nitrik oksit radikal süpürme aktivitesi hesaplanmış ve IC50 (µg/ml) olarak ifade edilmiştir.

2.8. Deoksiriboz bozunma aktivitesi

Deoksiriboz parçalanma aktivitesi (DDA) Halliwell ve ark. (1987) tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. 100 µL 2-deoksi-2-riboz (28 mM), 200 µl EDTA (1,04 mM) ve FeCl₃ (200 µM) çözeltisi (1:1 v/v) ve 100 µl H₂O₂ (1 mM) ve 100 µl askorbik asit (1 mM), test numunesinin çeşitli konsantrasyonlarının potasyum fosfat tamponundaki (50 mM; pH=7,4) 500 µL çözeltisi ile karıştırılmıştır. Reaksiyon karışımı 1 saat boyunca 37 °C'de tutulmuştur. Ayrıca, 1 ml TBA (%1) ve 1 ml TCA (%2,8) test tüplerine eklenmiş ve 20 dakika boyunca 100 °C'de inkübe edilmiştir. Son olarak absorbans, deoksiriboz ve tampon içeren bir köre karşı 532 nm'de ölçölmüştür. Sonuçlar IC50 (µg/ml) olarak ifade edilmiştir.

2.9. İstatistiksel analiz

Bu çalışmada her bir ölçüm, üç bağımsız tekrar halinde gerçekleştirilmiş olup, veriler ortalama ± standart sapma (SD) şeklinde sunulmuştur. İstatistiksel analizler, veriler arasındaki farkların

anamlılığını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, varyans homojenliği varsayımı altında gruplar arası farklılıkların değerlendirilmesi için tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Anamlı fark saptanan parametreler için ikili karşılaştırmalar bağımsız örneklem t-testi ile yapılmıştır. Tüm analizler IBM SPSS Statistics 21.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. TPC ve TFC

Fenolik bileşiklerin antioksidan potansiyeli nörodejeneratif, peptik ülser, diyabet, inflamasyon, kanser, kardiyak bozukluklar ve yaşlanma gibi çok çeşitli hastalıklara karşı iyi bir şekilde araştırılmıştır. Fenoliklerin insan sağlığı üzerindeki çeşitli etkileri temel olarak serbest radikalleri temizleme, redoks aktif metal iyonlarını şelatlama, gen ekspresyonunu düzenleme ve sinyal iletim yollarını modüle etme yeteneklerine bağlanmaktadır (Soobrattee ve ark., 2005). Mevcut araştırmada, *B. rutabulum*'un TCP değeri 14.02 mg GAE/g kuru ağırlık ve *B. barbata*'nın ise 10.96 mg GAE/g kuru ağırlık olarak gözlenmiştir (Tablo 2). Chobot ve arkadaşları (2006) *Dicranum scoparium* Hedw.'da oldukça düşük bir TCP seviyesi (%3,8) bildirmiştir. Ayrıca, test edilen diğer karayosunları, mevcut çalışmadaki bitkilere kıyasla daha az TPC içeriğine sahipti. *Ptychostomum capillare* (Hedw.) Holyoak & N. Pedersen bitkisinde TCP 23.26 mg/g olarak bulunmuştur (Onbasli ve Yuvali, 2021). *B. rutabulum*, *B. barbata* TFC değerleri ise sırasıyla 0.92-0.46 mg QE/g KA aralığında bulunmuştur (Tablo 2). Bazı raporlar karayosunlarında mevcut çalışmaya kıyasla daha yüksek (Wang ve ark., 2017) ve diğerleri daha düşük TFC (Karim ve ark., 2014) bildirilmiştir.

Tablo 2. *B. rutabulum*, *B. barbata* türlerindeki çeşitli fitometabolitlerin miktarları (a TPC ve TFC değerleri mg/g $\pm$ SD cinsinden ortalama değer, b Askorbik asit ve karotenoid içeriği değerleri ise ortalama değer $\mu\text{g/g} \pm$ SD olarak verilmiştir)

Briyofitler	TPC ^a	TFC ^a	Askorbik asit ^b	Karotenoid ^b
<i>B. rutabulum</i>	14.02 $\pm$ 0.51	0.92 $\pm$ 0.07	16.02 $\pm$ 0.22	2.86 $\pm$ 0.26
<i>B. barbata</i>	10.96 $\pm$ 0.32	0.46 $\pm$ 0.02	11 $\pm$ 0.42	6.34 $\pm$ 0.05

3.3. Antioksidan testleri

B. rutabulum'da FRAP değeri 680 μM , *B. barbata*'da 236 μM gözlenmiştir (Tablo 3). Manoj ve Murugan (2012) *Psychotria beddomei* Deb & M.G.Gangop. ekstraktının FRAP değerini 496,8 $\pm$ 0,26 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ kuru ağırlık olarak bildirmiştir. Beş karayosununun FRAP değeri (*Sphagnum cuspidatum* subsp. *subrecurvum* (Warnst.) A. Eddy, *Sphagnum cuspidatum* Müll. Hal., *Sphagnum junghuhnianum* Dozy & Molk., *Pogonatum cirratum* subsp. *fuscatum* (Mitt.)

3.2. Askorbik asit ve karotenoid içerikleri

Askorbik asit içeriği *B. rutabulum* 'da 16.02 $\mu\text{g/g}$, *B. barbata* 'da ise 11 $\mu\text{g/g}$ gözlenmiştir (Tablo 2). Onbasli ve Yuvali (2021) *P. capillare*'de 1.87 $\mu\text{g/ml}$ askorbik asit bildirmiştir. *Ptychostomum moravicum* (Podp.) Ros & Mazimpaka yosununda askorbik asit içeriği mg ekstrakt başına 84,56 μg olarak değerlendirilmiştir (Pejin ve ark., 2013). Askorbik asit temel bir vitamindir ve bu nedenle dışarıdan takviyesi kaçınılmaz hale gelir. Aynı zamanda birçok enzim için kofaktör görevi görür ve kolajen sentezinde, karaciğerdeki detoksifikasyon sürecinde önemli bir rol oynar ve bağışıklık sistemini tetikler. Serbest radikalleri nötralize etmede etkilidir ve E vitaminini yeniden üretir, böylece singlet (tekli) oksijen ve peroksil radikalini temizler (Percival, 1998). Dahası, askorbik asit diferansiyel gen ifadesini etkileyerek DNA ve proteinlerin oksidasyon aracılı hasarını önlemeye yardımcı olur (Granger ve Eck). COVID-19'un yönetiminde C vitamininin olası kullanımı da bildirilmiştir (Quiles ve ark., 2020).

Karotenoid içeriği *B. rutabulum* ve *B. barbata* 'da sırasıyla 2.86 ve 6.34 $\mu\text{g/g}$ KA olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). *Fontinalis antipyretica* Hedw. bitkisinde karotenoid içeriği 2,2 mg/g olarak bulunmuştur (de Carvalho ve ark., 2019). Karotenoidlerin A vitamininden daha iyi antioksidanlar olduğu bildirilmiştir. Kardiyovasküler ve nörolojik bozukluklar, kanser ve gözle ilgili bozukluklar gibi hastalıkların önlenmesinde oldukça etkilidirler (Rao ve Rao, 2007). Tekli oksijenin en etkili temizleyicilerinden biri olan karotenoidler, DNA, protein ve lipitleri reaktif oksijen türlerinin olumsuz etkilerinden korur (Edge ve ark., 1997; Vats ve Gupta, 2017).

Hyvönen ve *Pogonatum cirratum* subsp. *macrophyllum* (Dozy & Molk.) Hyvönen 5.63-13.74 mM aralığında bulunmuştur (Karim ve ark., 2014). FRAP değerleri, ekstrakttaki biyoaktiflerin ferrik iyonları etkili bir şekilde azalttığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu bileşikler serbest radikallerin kararlı ürünlere dönüştürülmesine yardımcı olacak ve aynı zamanda serbest radikaller tarafından başlatılan zincirleme reaksiyonları engelleyecek potansiyel antioksidanlar olarak hizmet edebilir (Mitra, 2020).

Tablo 3. *B. rutabulum* ve *B. barbata* türlerinin antioksidan potansiyelleri (Değerler ortalama $\pm$ SD olarak verilmiştir).

Briyofitler	NOSA ($\mu\text{g/ml}$)	DDA ($\mu\text{g/ml}$)	FRAP (μM)
<i>B. rutabulum</i>	276 $\pm$ 5.51	1306 $\pm$ 3.12	680 $\pm$ 15.35
<i>B. barbata</i>	988 $\pm$ 5.21	1082 $\pm$ 2.74	236 $\pm$ 18.34

B. rutabulum 'da NOSA IC50: 276 $\mu\text{g/ml}$ ve *B. barbata* 'da IC50: 988 $\mu\text{g/ml}$ (Tablo 3) gözlenmiştir. NOSA'da nitrit iyonları nitrik oksitin oksijen ile reaksiyonu sonucu oluşur (Badami ve ark., 2003). NO önemli bir sinyal molekülüdür, ancak aşırı üretimi inflamasyon ve kanser gibi hastalıkların oluşumunda rol oynar (Ricciardolo ve ark., 2004). Ayrıca, NO'nun süperoksit anyonu ile reaksiyonu peroksinitrit üretir ve bu da doku sistemleri üzerinde kötü etkiye sahiptir (Halliwell, 1997). *B. rutabulum* 'da DDA antioksidan potansiyel IC50: sırasıyla 1306 $\mu\text{g/ml}$ ve *B. barbata* 'da IC50: sırasıyla 1082 $\mu\text{g/m}$ (Tablo 3) olarak gözlenmiştir. *B. rutabulum* daha az antioksidan potansiyel göstermiştir. Hidroksil radikalleri belirli proteinlerdeki disülfid bağlarını azaltarak genel yapılarını olumsuz yönde etkiler. Bu durum kanser, nörolojik hastalıklar gibi çeşitli hastalıkların patojenitesini etkiler (Lipinski, 2011). Askorbik asidin hidroksil radikallerini inhibe ettiği bildirilmiştir (Noda ve ark., 1997).

Mevcut araştırmada kullanılan metanolik ekstraktın flavonoidler, askorbat, pigmentler ve fenolik asitler gibi içerdiği bilinmektedir (Vats, 2016). Bu düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar serbest radikallerin potansiyel temizleyicileridir, reaktif oksijen türlerinin (ROS) olumsuz etkisini nötralize eder ve dolaylı olarak metalleri şelatlayarak oksidatif stresi önler. Ayrıca, enzimatik antioksidanların aksine, küçük boyutlu olan düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar, hedeflerinin yakınında olmak için hücre zarından geçebilir. Flavonoidlerin antioksidan potansiyeli temel olarak serbest radikalleri stabilize etmeye yardımcı olan aromatik hidroksil grubu ve C-H bağından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, flavonoidler geçiş metal iyonlarını şelatlayabilir ve lipoksigenaz reaksiyonunun ilerlemesini engelleyebilir (Ross ve Kasum, 2002). Karotenoidler bir dizi konjuge çift bağa sahip bir polien omurgasına sahiptir. Bu karakteristik özellik, tekli moleküler oksijen ve peroksil radikallerini temizlemede yardımcı olan antioksidan potansiyeli kazandırır (Young ve Lowe, 2018). Askorbik asit, lipid radikaline bir elektron vererek hidrojen peroksit kaynaklı lipid peroksidasyonunu önler. Ayrıca, hücre membranlarında E vitamininin yenilenmesine yardımcı olur ve oksidan kaynaklı sitotoksisiteyi önler (Yen ve ark., 2002).

Sonuç olarak, TCP, TFC, Askorbik asit, FRAP ve DDA antioksidan potansiyel açısından *B. rutabulum*'un Karotenoid ve NOSA antioksidan potansiyel açısından ise *B. barbata*'nın yüksek miktarda olduğu görülmüştür. Biyoaktif bileşiklerin miktarı ve antioksidan kapasite değerleri, bu çalışmada kullanılan briyofitlerin antioksidan ajan olarak önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Ancak elde edilen bu sonuçlar, özellikle ilaç, kozmetik ve gıda endüstrilerinde kullanılabilecek biyoaktif bileşiklerin daha fazla araştırılması gerektiğini de vurgulamaktadır.

Deklarasyon

Yazar katkıları: Fikir/Kavram, MA, YÇS; Tasarım ve dizayn, YÇS, MA; Denetleme danışmanlık, MA, YÇS; Kaynaklar, YÇS, MA; Malzemeler, MA, YÇS; Ver toplama ve/veya işleme, MA, YÇS; Analiz ve/veya yorum, YÇS, MA; Literatür taraması, YÇS, MA; Yazım aşaması, YÇS, MA; Eleştirel inceleme, MA, YÇS.

Çıkar çatışması: Yazarların bu yazının içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir rekabet çıkarı yoktur.

Finansman: Yazarlar, bu yazının hazırlanması sırasında herhangi bir fon, hibe veya başka bir destek alınmadığını beyan ederler.

Etik onay: Bu araştırma, insan veya hayvan deneklerini içermemektedir ve bu nedenle etik onay gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- Abay G. 2006. Bryofitlerin Kullanım Alanları, Ekolojik ve Ekonomik Önemi. I. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu. Trabzon OGM.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 15., Association of Official Analytical Chemists. Washington DC.
- Asakawa Y. Tori M. Masuya T. Frahm J.P. 1990. Ent-sesquiterpenoids and cyclic bis(bibenzyls) from the german liverwort *Marchantia polymorpha*. *Phytochemistry*. 29:5, 1577-1584.
- Asakawa Y. 2007. Biologically active compounds from bryophytes. *Pure and Applied Chemistry*. 79:4, 557-580.

- Asakawa Y. Ludwiczuk A. 2013. Bryophytes: liverworts, mosses, and hornworts: extraction and isolation procedures. Metabolomics tools for natural product discovery: Methods and protocols. Humana Press, New York.
- Aslanbaba B. Yılmaz S. Yayıntaş Ö.T. Özyurt D. Öztürk B.D. 2017. Total phenol content and antioxidant activity of mosses from Yenice forest (Ida Mountain). Journal of Scientific Perspectives. 1:1, 1-2.
- Bodade R.G. Borkar P.S. Arfeen S. Khobragade C.N. 2008. In vitro screening of bryophytes for antimicrobial activity. Journal of Medicinal Plants. 7: 23-28.
- Badami S. Moorkoth S. Rai S.R. Kannan E. Bhojraj S. 2003. Antioxidant activity of *Caesalpinia sappan* heartwood. Biol Pharm Bull. 26:11, 1534-1537.
- Cheng X. Xiao Y. Wang X. Wang P. Li H. Yan H. Liu Q. 2012. Anti-tumor and pro-apoptotic activity of ethanolic extract and its various fractions from *Polytrichum commune* L. ex Hedw in L1210 cells. Journal of ethnopharmacology. 143:1, 49-56.
- Chobot V. Kubicová L. Nabbout S. Jahodář L. Hadacek F. 2008. Evaluation of antioxidant activity of some common mosses. Z Naturforsch C J Biosci. 63:7-8, 476-82.
- Chobot V. Kubicová L. Nabbout S. Jahodář L. Vytlačilová J. 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of five moss species. Fitoterapia. 77:7-8, 598-600.
- de Carvalho L.M.J. Gomes P.B. de Oliveira Godoy R.L. Pacheco S. do Monte P.H.F. de Carvalho J.L.V. Nutti M.R. Neves A.C.L. Vieira A.C.R.A. Ramos S.R.R. 2012. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): a preliminary study. Food Res Int. 47:2, 337-340.
- de Carvalho R.C. Branquinho C. Da Silva J.M. 2019. Desiccation rate affects chlorophyll and carotenoid content and the recovery of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* (Fontinalaceae). Hattoria. 10, 53-60.
- Edge R. McGarvey D.J. Truscott TG. 1997. The carotenoids as anti-oxidants-a review. J Photochem Photobiol B. 41:3, 189-200.
- Frahm J.P. 2004. Recent Developments of Commercial Products from Bryophytes. The Bryologist, 107:3, 277-283.
- Fudali E. Wolski G.J. 2015. Ecological diversity of bryophytes on tree trunks in protected forests (a case study from Central Poland). Herzogia. 28:1, 87-103.
- Glime J.M. 2007. *Bryophyte Ecology*. Volume 1. Physiological Ecology. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton.
- Granger M. Eck P. 2018. Dietary vitamin C in human health. Adv Food Nutr Res. 83: 281-310.
- Halliwell B. 1997. Antioxidants and human disease: a general introduction. Nutr Rev. 55: 44-49.
- Halliwell B. Gutteridge J.M.C. Aruoma OI. 1987. Thedeoxyribose methods: a simple "test-tube" assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals. Anal Biochem. 165:1, 215-215.
- Hanif U. Ali H.A. Shahwar D. Farid S. Ishtiaq S. 2014. Evaluation of two bryophytes (*Funaria hygrometrica* and *Polytrichum commune*) as a source of natural antioxidant. Asian J Chem. 26:14, 4339-4343.
- Henderson D.M. 1961. Contribution to the Bryophyte Flora of Turkey: IV. Notes from Royal Botanic Garden Edinburgh. 23: 263-278.
- Ichikawa T. Namikawa M. Yamada K. Sakai K. Kondo K. 1983. Novel cyclopentenonyl fatty acids from mosses, *Dicranum scoparium* and *Dicranum japonicum*. Tetrahedron Letter. 24: 3337-3340.
- Kadam P.S. Akurdi P. 2016. Antimicrobial activity and polyphenol content of some bryophytes from Lonavala. Asian Journal of Multidisciplinary Studies. 4:3, 103-5.
- Kandpal V.I. Chaturvedi P.R. Negi K.A. Gupta S.H. Sharma A.N. 2016. Evaluation of antibiotic and biochemical potential of bryophytes from kumaun hills and tarai belt of himalayas. Int J Pharm Pharm. 8:6, 65-9.
- Karim F.A. Suleiman M. Rahmat A.S. Bakar M.A. 2014. Phytochemicals, antioxidant and antiproliferative properties of five moss species from Sabah, Malaysia. Int J Pharm Pharm Sci. 6:2, 92-297.
- Klama H. Żarnowiec J. Jędrzejko K. 1999. Mszaki naziemne w strukturze zbiorowisk roślinnych rezerwatów przyrody Makroregionu Południowego Polski (Terricolous bryophytes in a structure of vascular plant communities of nature reserves in the Southern Macroregion of Poland). Politechnika Łódzka Filia w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała.
- Klama H. 2002. Distribution patterns of liverworts (Marchantiopsida) in natural forest communities (Białowieża primeval forest, NE Poland). University of Bielsko-Biała.
- Klavina L. Springe G. Nikolajeva V. Martsinkevich I. Nakurte I. Dzabijeva D. Steinberga I. 2015. Chemical composition analysis, antimicrobial activity, and cytotoxicity screening of moss extracts

- (moss phytochemistry). *Molecules*. 20: 17221- 17243.
- Krzaczkowski L. Wright M. Rebérioux D. Massiot G. Etiévant C. Gairin J.E. 2009. Pharmacological screening of bryophyte extracts that inhibit growth and induce abnormal phenotypes in human HeLa cancer cells. *Fundamental & clinical pharmacology*. 23:4, 473-482.
- Lipinski B. 2011. Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. *Oxid Med Cell Longev*. 2011, 809696.
- Manoj G.S. Murugan K. 2012. Phenolic profiles, antimicrobial and antioxidant potentiality of methanolic extract of a liverwort, *Plagiochila beddomei* Steph. *Ind J Nat Prod Resour*. 3:2, 173-183.
- Mitra A.K. 2020. Antioxidants: a masterpiece of mother nature to prevent illness. *J Chem Rev*. 2:4, 243-256.
- Noda Y. Anzai K. Mori A. Kohno M. Shinmei M. Packer L. 1997. Hydroxyl and superoxide anion radical scavenging activities of natural source antioxidants using the computerized JES-FR30 ESR spectrometer system. *TBMB*. 42:1, 35-44.
- Onbasli D. Yuvali G. 2021. In vitro medicinal potentials of *Bryum capillare*, a moss sample, from Turkey. *Saudi J Biol Sci*. 28:1, 478-483.
- Pejin B. Bogdanovic-Pristov J. Pejin I. Sabovljevic M. 2013. Potential antioxidant activity of the moss *Bryum moravicum*. *Nat Prod Res*. 27:10, 900-902.
- Percival M. 1998. Antioxidants. *Clin Nutr Insights*. 1098, 54-58.
- Quiles J.L. Rivas-García L. Varela-López A. Llopis J. Battino M. Sánchez-González C. 2020. Do nutrients and other bioactive molecules from foods have anything to say in the treatment against COVID-19? *Environ Res*. 191: 110053.
- Rao A.V. Rao L.G. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacol Res*. 55:3, 207-216.
- Ricciardolo F.L. Sterk P.J. Gaston B. Folkerts G. 2004. Nitric oxide in health and disease of the respiratory system. *Physiol Rev*. 84:3, 731-765.
- Ross J.A. Kasum C.M. 2002. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annu Rev Nutr*. 22, 19-34.
- Sahilli Y.Ç. Alataş M. 2024. *Mnium hornum* Hedw. ve *Mnium lycopodioides* Schwägr. Türlerinin Biyoaktif Bileşikleri ve Antioksidan Kapasiteleri. *Anatolian Bryology*. 10:2, 152-157.
- Saxena K. Harinder S. 2004. Uses of Bryophytes. *Resonance*. 9:6, 56-65.
- Singh M. Govindarajan R. Nath V. Rawat A.K. Mehrotra S. 2006. Antimicrobial, wound healing and antioxidant activity of *Plagiochasma appendiculatum* Lehm. et Lind. *Journal of Ethnopharmacology*. 107:1, 67-72.
- Shaw A.J. Szövényi P. Shaw B. 2011. Bryophyte diversity and evolution: windows into the early evolution of land plants. *American journal of botany*. 98:3, 352-69.
- Smith A.J.E. 1996. The Liverworts of Britain and Ireland. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Smith A.J.E. 2004. The Moss Flora of Britain and Ireland. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Soobrattee M.A. Neergheen V.S. Luximon-Ramma A. Aruoma O.I. Bahorun T. 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutat Res*. 579:1-2, 200-213.
- Vanderpoorten A. Engels P. Sotiaux A. 2004. Trends in diversity and abundance of obligate epiphytic bryophytes in a highly managed landscape. *Ecography*. 27:5, 567-76.
- Vats S. 2016. Effect of initial temperature treatment on phytochemicals and antioxidant activity of *Azadirachta indica* A. Juss. *Appl Biochem Biotechnol*. 178:3, 504-512.
- Vats S. Gupta T. 2017. Evaluation of bioactive compounds and antioxidant potential of hydroethanolic extract of *Moringa oleifera* Lam. from Rajasthan, India. *Physiol Mol Biol Plants*. 23:1, 239-248.
- Wang X. Cao J. Dai X. Xiao J. Wu Y. Wang Q. 2017. Total flavonoid concentrations of bryophytes from Tianmu Mountain, Zhejiang Province (China): phylogeny and ecological factors. *PloS One*. 12:3, e0173003.
- Wolski G.J. Kruk A. 2020. Determination of plant communities based on bryophytes: The combined use of Kohonen artificial neural network and indicator species analysis. *Ecological Indicators*. 113:106160.
- Yen G.C. Duh P.D. Tsai H.L. 2002. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. *Food Chem*. 79:3, 307-313.
- Young A. Lowe G.L. 2018. Carotenoids-antioxidant properties. *Antioxidants (Basel)*. 7:2, 28-31.
- Zinsmeister H.D. Becker H. Eicher T. 1991. Bryophytes, a source of biologically active, naturally occurring material?. *Angewandte Chemie International Edition in English*. 30:2, 130-47.