



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

DOI: 10.26672/anatolianbryology.1480997

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



***Polytrichum piliferum* Hedw. Ekstraktlarının Antioksidan Aktivitesi ve Bazı Kimyasal Bileşimleri**

Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ¹ , Mevlüt ALATAŞ¹ *

¹Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Tunceli, TÜRKİYE

Received: 09 May 2024

Revised: 23 May 2024

Accepted: 27 May 2024

Öz

Bu çalışmada, bir yapraklı karayosunu türü olan *Polytrichum piliferum*'un antioksidan, yağ asidi, mineral analizi ve bazı kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, *P. piliferum* ekstraktının antioksidan özellikleri ve toplam fenolik içeriği açısından orta düzeyde bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yağ asidi kompozisyonları açısından oleik ve palmitik asit yüksek bulunmuştur. Yapılan mineral analizleri sonucunda ise yüksek oranda alüminyum (Al), demir (Fe), kalsiyum (Ca) ve potasyum (K) biriktirebildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Antioksidan, yapraklı karayosunu, kimyasal analiz, mineral analizi, *Polytrichum piliferum*

Antioxidant Activity and Some Chemical Composition of *Polytrichum piliferum* Hedw. Extracts

Abstract

In this study, antioxidant, fatty acid, mineral analysis and some chemical properties of *Polytrichum piliferum*, a species of moss, were investigated. As a result of the research, it was determined that *P. piliferum* extract had a moderate effect in terms of antioxidant properties and total phenolic content. Regarding fatty acid compositions, oleic and palmitic acids were found to be high. As a result of mineral analysis, it was found that it could accumulate high levels of aluminum (Al), iron (Fe), calcium (Ca) and potassium (K).

Keywords: Antioxidant, moss, chemical analysis, mineral analysis, *Polytrichum piliferum*

1. Giriş

Briyofit terimi, birbiriyle yakın ilişkili üç grup; ciğerotları, yapraklı karayosunları ve boynuzlu ciğerotları için kullanılır. (Gradstein ve ark., 2001; Crum, 2001; Glime, 2007). 20.000'den fazla türe sahiptir (Glime, 2017). En ilkel bitki gruplarının yaşayan temsilcileri olan briyofitlerin, çöllerden tundralara oldukça geniş bir yaşam aralığı ve substrat tercihleri vardır. Ağaç, kaya, toprak gibi bilindik substratların haricinde; kemik, metal, yün

gibi çiçekli bitkilerin büyüymeyecekleri substratlar üzerinde de bulunabilirler. Yeryüzünde bu kadar geniş bir coğrafyaya yayılmış olmalarına rağmen briyofit kimyası üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Klavina ve ark., 2012). Karayosunlarının sadece %2'sinin ve ciğerotlarının ise %6'sının kimyasal analizinin yapıldığı bildirilmiştir (Klavina, 2018). Bazı araştırmacılara göre bunun nedeni briyofitlerin insan beslenmesine uygun olmamasıdır (Asakawa ve ark., 2013;

* Corresponding author: mevlutalatas@hotmail.com

To cite this article: Çakır Sahilli Y., Alataş M. 2024. Antioxidant Activity and Some Chemical Composition of *Polytrichum piliferum* Hedw. Extracts. *Anatolian Bryology*. 10:1, 58-66.



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

Commisso ve ark., 2021). Buna rağmen briyofitlerin ilk toplumlardan itibaren insan yaşamına katıldıkları bulunmuştur. İlk avcı toplumlarda bazı karayosunlarının kesici aletlerin etrafına sarıldıkları bilinmektedir (Dickson, 1973). Yerli halklar tarafından böcek ısırılmalarından doğan tahrişleri azaltmak için de kullanıldıkları bilinmektedir (Saxane ve Harinder, 2004). Bununla birlikte, son yıllarda briyofitler üzerindeki ikincil metabolit araştırmalarına biraz ilgi gösterilmiştir. Çünkü dünyanın çeşitli yerlerinde özellikle Çin'de çeşitli hastalıklar için tıbbi bitkiler olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Asakawa ve ark., 2013; Vollár ve ark., 2018). Briyofitlerin geleneksel Çin tıbbında kullanımları MÖ 4000'lere kadar dayanmaktadır (Wu, 1982). Bazı araştırmacılar, yaklaşık 3000 briyofit taksonunun tıbbi öneme sahip olduğunu belirtmiştir (Türker ve Ünal, 2020; Manisara ve ark., 2021).

Dünya genelinde, özellikle gelişmiş ülkelerde ve Türkiye'de antioksidan değeri yüksek bitkilere olan ilgi giderek artmaktadır (Okan ve ark., 2019). Briyofitler terpenoidler, flavanoidler ve bibenziller gibi değerli sekonder metabolitler içerir (Marko ve ark., 2001). Bu bileşiklerin ana faydası antioksidan özelliklerine sahip olmalarıdır. İlk bakışta yüksek bitkilere kıyasla briyofitlerin antioksidan özelliklerini hayal etmek zordur, ancak daha derinlemesine incelendiğinde, briyofitlerin sadece antioksidan, antifungal, antimikrobiyal değil, aynı zamanda antiviral, antikarsinojenik, kas gevşetici, anti-obezite aktivite, böcek öldürücü, nörotrofik ve kardiyotonik gibi çok çeşitli biyolojik aktiviteler gösteren benzersiz bileşikler sentezledikleri açıkça görülmektedir (Cianciullo ve ark., 2022). Ayrıca karayosunlarının antioksidan kapasitesinin bazı yüksek bitkilerden daha fazla olduğu bilinmektedir (Türker ve Ünal, 2020). Briyofitlerdeki, yüksek oranda doymamış yağ asitleri de insan vücudunda antioksidan olarak önemli rol oynayabilir (Ichikawa ve ark., 1983; Tedone ve ark., 2011).

Bu bilgiler ışığında, yapılan bu çalışma bir yapraklı karayosunu türü olan *Polytrichum piliferum* Hedw.' in antioksidan, bazı besinsel özellikleri ve kimyasal bileşimi üzerine odaklanmıştır. Literatür incelendiğinde bazı briyofit türlerinin antimikrobiyal, antifungal, antibakteriyel, antioksidan, antiviral ve biyokimyasal özellikleri ile ilgili çeşitli çalışmalar (Altuner ve ark., 2010; Öztöpcü Vatan ve ark., 2011; Elibol ve ark., 2011; Savaroğlu ve ark., 2011a,b; Çolak ve ark., 2011; Ertürk et al., 2015; Glime and Saxena, 1990; Basile ve ark., 1999; Elibol, 2010; Uyar ve ark., 2016; Çakır Sahilli and Alataş, 2021; Demirbağ ve ark., 2022; Yıldırım ve ark., 2024) olmasına rağmen *P. piliferum* 'un kimyasal bileşimi, yağ asidi,

antioksidan özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. Materyaller ve Yöntemler

2.1. Bitki Materyali

Polytrichum piliferum Hedw. Bitkiler aleminin, Bryophyta bölümü, Polytrichopsida sınıfı, Polytrichales ordosunun, Polytrichaceae familyasına ait bir bitkidir. *Polytrichum* cinsinin ülkemizdeki 11 taksonundan biridir (Kürschner ve Frey, 2020). *P. piliferum* 0-1170 metreler arasında, açıkta iyi drene edilmiş fundalıklarda, yol kenarlarında, kumlu veya çakıllı topraklarda, kayalıklarda ve açık ormanlık alanlarda yayılış gösteren, yarı nötral ve kurak ortamları seven bir taksondur (Dierßen, 2001; Smith, 2004).

Dünya üzerinde az çok yaygın olan tür, Henderson (1961) kareleme sistemine göre Türkiye'de A1, A2, A4, B6, B7 ve C11 karelerinde yayılış göstermektedir. Çalışmamızda kullandığımız araştırma materyalleri, Artvin ili, Karçal Dağları'nda bulunan Balcı Köyü girişinden toplanmıştır.

Polytrichum piliferum örnekleri toprak ve diğer kirleticileri uzaklaştırmak için distile su ile dikkatlice yıkandı. Son olarak, örnekler oda sıcaklığında gölgede kurutuldu.

2.2. *Polytrichum piliferum* 'un ekstraksiyon işlemi

Yaklaşık 2,5 g numune 50 mL %99 metanole eklenmiş ve 5 dakika boyunca bir karıştırıcıda homojenize edilmiştir. Karışım Falcon tüpüne aktarılmıştır. Tüm tüpler 24 saat boyunca oda sıcaklığında bir çalkalayıcı ile sürekli karıştırılmıştır. Partiküller daha sonra filtre kağıdı ile süzölmüş ve 40 °C döner buharlaştırıcıda konsantre edilmiştir. Kalıntı, bilinen bir nihai konsantrasyona kadar metanol içinde çözülmüş ve 4 °C de muhafaza edilmiştir.

2.3. Antioksidan aktivite analizi

Tüm antioksidan analizlerinde absorbansları ölçmek için UV-1800 (Shimadzu, Japonya) spektrofotometresi kullanılmıştır.

2.3.1. Toplam antioksidan kapasite (TAC)

Polytrichum piliferum ekstraktlarının toplam antioksidan kapasitesi (TAC), literatürde tarif edilen yöntem kullanılarak fosfomolibden testi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Prieto ve ark., 1999). Bu yöntemde göre, 500 µL ekstrakt üzerine 2500 µL deiyonize su eklenmiştir. Çözelti, kapaklı test tüplerinde 1000 µL fosfomolibden reaktifi (0,6 M sülfürik asit içinde 28 mM monobazik sodyumfosfat ve 4 mM Amonyum heptamolibdat tetrahidrat) ile karıştırılmıştır.

Karışım vortekslendikten sonra kapaklı test tüpündeki numune 95°C 'lik su banyosunda 90 dakika inkübe edilmiştir. Oda sıcaklığında inkübasyondan sonra 695 nm absorbands ölçülmüştür. Askorbik asit standart madde olarak kullanılmıştır.

2.3.2. Serbest radikal süpürme aktivitesi (DPPH)

DPPH süpürme aktivitesi Brand-Williams ve arkadaşları (1995) tarafından tarif edilen yönteme göre ölçülmüştür. Ekstrakt çözeltisi (her biri 100 µL), metanolde çözülmüş 3000 µL taze hazırlanmış 10 mM DPPH çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım çalkalanmış ve oda sıcaklığında karanlıkta 30 dakika bekletilmiştir. Absorbans, spektrofotometre kullanılarak bir kontrole karşı 517 nm'de okunmuştur. DPPH içermeyen aynı konsantrasyondaki ekstraktlar kör olarak kullanılmıştır. Değerler mg askorbik asit /kg olarak gösterilmiştir.

2.3.3. Ferrik indirgeyici/antioksidan güç (FRAP) analizi

FRAP analizi literatürde tarif edildiği şekilde gerçekleştirilmiştir (Benzie ve Strain, 1996). Bitki ekstraktının FRAP aktivite analizi için, taze FRAP reaktifi 300 mM sodyum asetat tampon çözeltisi (pH: 3.6), 40 mM HCl içinde 10 mM sulu TPTZ çözeltileri ve 10:1:1 oranında 20 mM sulu FeCl₃ çözeltisi eklenerek hazırlanmıştır. Özetle, 2750 µL taze hazırlanmış FRAP reaktifi üzerine 250 µL ekstrakt çözeltisi eklenmiştir. Karışım 37 °C de 15 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans, spektrofotometre kullanılarak 593 nm'de bir kontrole karşı ölçülmüştür. Sonuçlar mg FeSO₄/100 g olarak ifade edilmiştir.

2.3.4. ABTS^{•+} analizi

ABTS^{•+} radikal katyonu stok çözeltisi, 7 mM sulu ABTS ve 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisinden (1/1, v/v) oda sıcaklığında 120 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra, ABTS^{•+} çalışma çözeltisini elde etmek için 734 nm'de ve oda sıcaklığında 0.700 ± 0.020 absorbands değerine kadar metanol içinde seyreltilmiştir. Ekstrakt (150 µL) ve ABTS çözeltisi (2850 µL) karışımı vortekslendi ve spektrofotometre kuvvetlerine aktarıldı. Absorbans 734 nm'de kontrole karşı okunmuştur (Pellegrini ve ark., 2003). Sonuçları mg Trolox/kg olarak ifade etmek için Trolox standart eğrisi kullanılmıştır.

2.3.5. Toplam Fenolik İçerik (TPC)

Bitki ekstraktlarının toplam fenolik içerikleri Folin-Ciocalteu reaktifi ile belirlenmiştir (Kasangana ve ark., 2015). Kuru ekstraktlar (300 µL) metanol ile çözdürülmüş ve 200 µL 2 N Folin-Ciocalteu reaktifleri ve 600 µL %10 Na₂CO₃ ile

birleştirilmiştir. Karışım vortekslendi ve oda sıcaklığında karanlıkta 120 dakika inkübe edildi. Bundan sonra, karışımın absorbandsı spektrofotometre ile 760 nm'de ölçülmüştür. Gallik asit bir kalibrasyon eğrisi hazırlamak için kullanılmış ve sonuçlar gallik asit eşdeğerleri (mg GAE/g kuru ekstrakt) cinsinden ifade edilmiştir.

2.4. Toplam Flavanoid Analizi

Polytrichum piliferum ekstraktının TFC'si Fukumoto ve Mazza (2000) tarafından tarif edilen yönteme göre bazı modifikasyonlarla değerlendirilmiştir. Kısaca, 500 µL ekstrakt 3200 µL metanol (%30 v/v) içinde çözülmüştür. Bir test tüpüne 150 µL 0,5 M NaNO₂ ve 150 µL 0,3 M AlCl₃ ilave edilmiştir. Ayrıca, aynı test tüpüne beş dakika sonra 1 ml 1 M NaOH eklenmiş ve oda sıcaklığında 10 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra, absorbands 506 nm'lik köre karşı ölçülmüştür. Sonuçlar kg başına mg kuersetin eşdeğeri (QE) olarak ifade edilmiştir (mg QE/ g).

2.5. Mineral Analizinin Belirlenmesi

Polytrichum piliferum 'un mineral içeriği MP-AES ile belirlenmiştir. Mineral analizinden önce, bitki örneği uygun çözücü karışımları kullanılarak kapalı mikrodalga çözdürme sisteminde çözdürülmüştür. Bu amaçla 0.500 g bitki materyali teflon kaplara yerleştirilmiş, ardından kaplara 6 mL HNO₃ ve 2 mL H₂O₂ eklenmiştir. Sıcaklık 50 °C'dan başlayarak 200 °C'a kadar kademeli olarak artırılmıştır. Karışım soğumaya bırakılmış ve çözdürülen numuneler 100 mL'lik volumetrik balona aktarılmıştır. İçeriğin hacmi distile su ile 50 mL'ye tamamlanmıştır. Fe, Ca, Zn, Cd, Mg, Cu, Co, Ni, Al, Mn, Pb, Cr, K metal iyonlarının 1000 ppm'lik çözeltilerinden µg/ml'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Mineral tayininden önce numune 0.45 mikron selüloz filtre ile süzümüştür.

2.6. Toplam lipid, protein ve kül içeriklerinin belirlenmesi

Lipid içeriği için beş gram öğütülmüş numune, üzerine pamukla çentik atılmış selüloz ekstraksiyon kartuşuna yerleştirilmiştir. Kartuş daha sonra soxhlet haznesine konmuş ve bu 60 °C derecedeki termostatlı su banyosuna yerleştirilmiş ve 100 mL n-Hekzan ve 2-3 kaynar cam refülötör içeren darası alınmış bir distilasyon şişesine takılmıştır. 16 saatlik ekstraksiyondan sonra, çözücünün büyük kısmı rotary-evaporatör ile buharlaştırılmıştır. Kalıntı 103 °C etüve aktarılmıştır. Numune etüvede sabit ağırlığa gelene kadar bekletilmiştir. Toplam yağ içeriği miktarı aşağıdaki formüle göre yüzde olarak hesaplanmıştır.

Toplam Lipid İçeriği (%): $m_1/m \times 100$
m: Gram cinsinden numune kütlesi

m1: Gram cinsinden kuru ekstrakt kütlesi

Protein analizi Kjeldahl yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Kısaca, homojen bitki örnekleri (1 gr) Kjeldahl tüpüne yerleştirilmiş ve üzerine 7 g katalizör ve 20 mL H₂SO₄ ile 3 ila 5 çarpma önleyici cam boncuk eklenmiştir. Ayrıca, bitki numunesi hariç yukarıdaki kimyasalları içeren bir tüp de kör olarak hazırlanmıştır. Tüpler yaş yakma bloğuna yerleştirilmiştir. Yerleştirilen tüpler önce 15 dakika yaklaşık 200-250 °C sıcaklıkta yakıldı. Sonra çözelti açık yeşil olana kadar (bir bitki numunesi için 30-45 dakika) 350-380 °C civarında çalıştırıldı. Tüp çıkarıldı ve örnek soğuyana kadar bekletildi, ardından yaklaşık 150-200 ml distile su eklendi. Yakılmış numuneler distilasyon aparatına aktarıldı. Numuneye 75 mL %40'lık NaOH ilave edildi (patlamaları önlemek için 1-2 adet çinko (Zn) granülü konuldu). 500 mL'lik balon içerisine 50 mL %2'lik borik asit ve 5-6 damla indikatör damlatıldı. Balon kondansatörün altına yerleştirildi, kondansatör ucunun borik asit çözeltisine daldırılması sağlandı. Distilasyon işlemi yaklaşık 150 ml distilat toplanana kadar yaklaşık 10-20 dakika yapılmıştır. Distilasyon işlemi sonunda mavi-mor renkli borik asit çözeltisi yeşile dönmüştür. Numune standart 0.1 N HCl ile titre edilmiştir. (AOAC, 1990). Kül içeriği için, numune porselen krozeeye yaklaşık 2 g tartılmış ve ardından ön yakma numunesi kül fırınında 550 °C derecede tutulmuştur. Kül içeriği miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır.

2.7. Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi

Yağ asidi kompozisyonu Trace 2000 GC serisi gaz kromatograf ve Thermo mass spektrofotometre (GC-MS) ile analiz edilmiştir. SGE BPx70 kolonu (60 m x 0.25 mm, 0,25µm) kullanılmıştır. GC-MS öncesinde yağ asitleri TS EN ISO 12966 metoduna göre metil ester formuna dönüştürülmüştür (TSE, 2014). Numune yaklaşık 100 mg tartılmış, üzerine 5 mL n-hekzan ve 2N KOH ile 100 µL metanol eklenmiştir. Metil esterler, taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılan erimiş silika kolonda (30 mm x 0,25 mm x 0,2 µm) analiz edilmiştir. Sıcaklık 1

dakika süreyle 50 °C başlatılmış, ardından 25 °C/dak hızla 230 °C'a yükseltilmiştir. Son olarak, sıcaklık 7 dakika boyunca 230 °C tutulmuştur. Enjeksiyon hacmi 1 µL ve bölme oranı 1:20, enjeksiyon sıcaklığı 250 °C olarak kullanıldı. Bileşenler, kütle spektrumlarının NITS ve Wiley Library spektral veri bankası ile elde edilen karakteristik özelliklerle karşılaştırılmasıyla tanımlanmıştır.

3. Sonuçlar

3.1. Antioksidan kapasite

Doğal ürünlerde antioksidan kapasiteyi ölçmek için birçok yöntem vardır. Antioksidan aktivitenin belirlenmesinde tek bir yöntem genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bu kapasite farklı mekanizmalara ait çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilir. Bu çalışmada, *P. piliferum* 'un antioksidan kapasitesini araştırmak için FRAP, DPPH, ABTS ve TAC yöntemleri kullanılmıştır. Seçilen bitkinin antioksidan aktivitesi Tablo 1'de verilmiştir. DPPH radikal süpürme aktivitesi testi, mor renkli çözeltinin dekolorizasyon derecesine dayanmaktadır. *P. piliferum* 'un DPPH değerleri 290.24 mg AA/kg, DPPH % inhibisyon oranı %59.11 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada numunenin FRAP değeri 4684,0 mg FeSO₄/kg olarak bulunmuştur. Trolox eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) olarak bilinen ABTS [2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)] testinin yüksek değerde olması, numunenin antioksidan potansiyelinin daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmamızda *P. piliferum* 'un ABTS değeri 3198.82 mg Trolox/kg, ABTS % inhibisyonu %24,10 olarak bulunmuştur. Toplam antioksidan madde miktarı (TAK) 645,95 mg AA/kg olarak belirlenmiştir. TPC genellikle antioksidan testi olarak kullanılmıştır. Tablo 1'e göre ekstraktın TPC değeri 440,87 mg GAE/kg, TFC değeri ise 336,12 mg GU/kg olarak bulunmuştur. Tüm antioksidan analiz sonuçları incelendiğinde, *P. piliferum* ekstraktının orta derecede potansiyel bir antioksidan kaynağı olduğu söylenebilir.

Table 1. *Polytrichum piliferum* 'un antioksidan aktivitesi

| Örnek | TPC | | DPPH | | FRAP |
|------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------------------|------|
| | mg GAE/kg | mg AA/kg | % inhisyon | mg FeSO ₄ /kg | |
| <i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. | 440.87±1.56 | 290.24±8.12 | 59.11±2.08 | 4684.0±4.26 | |
| | TAK | | ABTS | | TFC |
| | mg AA/kg mg | Trolox/ kg | % inhibisyon | mg GU/k | |
| | 645.95±3.97 | 3198.82±7.23 | 22.56±0.74 | 336.12±6.88 | |

3.2. Mineral içeriği

Bitkinin mineral içeriği gıda ve diyet açısından önemlidir. *P. piliferum* ekstraktının mineral bileşimi Tablo 2'de gösterilmiştir. *P. piliferum*'un mineral elementleri değişen oranlarda bulunmuştur. Sonuçlara göre, Kalsiyum (Ca) iyonu çok yüksek (138024,56 mg/kg), Krom (Cr) iyonu (8,96 mg/kg) diğer elementlere kıyasla çok düşük bulunmuştur. Ni, Co ve Cd iyonları miktar belirleme sınırının (LOQ) altında tespit edilmiştir. *P. piliferum* ekstraktında ikinci en bol bulunan iyon potasyum (93261.40 mg/kg) olarak belirlenmiştir. *P. piliferum* ekstraktının yüksek mineral içeriğine sahip olduğu açıktır.

3.3. Protein, kül ve toplam lipid içerikleri

P. piliferum'un protein, kül ve toplam lipid içerikleri Tablo 3'te verilmiştir. Protein, kül ve toplam lipid içerikleri sırasıyla %12,38, %35,84 ve %1,87 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, *P.*

piliferum yüksek düzeyde kül, orta düzeyde protein ve düşük düzeyde lipide sahiptir.

3.4. Yağ asidi bileşimi

P. piliferum 'un ekstraktının yağ asidi bileşimi Tablo 4'te sunulmuştur. Analiz sonucunda 7 yağ asidi bileşimi tespit edilmiştir. Oleik asit başlıca yağ asidi olarak belirlenmiştir (%44,06). Palmitik asit bu örnekte ikinci en yüksek yağ asidi olarak tespit edilmiştir (%39,89)

Doymuş yağ asitleri toplam yağ asitlerinin %49,89'unu oluştururken, ana asitler palmitik (%39,89) ve stearik asit (%7,08) olmuştur. *P. piliferum* 'da toplam tekli doymamış yağ asidi doymuş yağ asitlerine çok yakın değerlerde tespit edilmiş, ancak çoklu doymamış yağ asidi doymuş asitlerden daha düşük bulunmuştur.

Tablo 2. *Polytrichum piliferum* 'un mineral içeriği

| Örnek | Ca | Fe | Zn | Cd | Mg | Cu | Co | Ni |
|---------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------------|----------------|-----|-----|
| <i>P. piliferum</i> Hedw. | 138024.56 ±61.12 | 7628 ±42.73 | 1125.93 ±10.98 | LOQ | 560.88 ±19.02 | 18.25 ±1.53 | LOQ | LOQ |
| | Al | Mn | Pb | Cr | K | | | |
| | 2184.68 ±54.87 | 982.16 ±17.23 | 356.62 ±81.32 | 8.96 ±0.54 | 93261.40 ±251.94 | | | |

Tablo 3. *Polytrichum piliferum*'un toplam protein ve kül içeriği

| Örnek | Total Protein (%) | Kül İçeriği (%) | Total Lipid İçeriği (%) |
|---------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|
| <i>P. piliferum</i> Hedw. | 12.38±0.22 | 35.84±2.16 | 1.87±0.04 |

Tablo 4. *Polytrichum piliferum*'un yağ asidi bileşimi

| Yağ Asidi | Alan % oranı |
|----------------------------|--------------|
| Kaprilik asit (C8:0) | 0.78± 0.02 |
| Miristik asit (C14:0) | 1.25±0.5 |
| Palmitik asit (C16:0) | 39.89± 1.98 |
| Stearik asit (C18:0) | 7.08±0.04 |
| Araşidik asit (C20:0) | 0.89± 0.05 |
| ∑ Doymuş yağ asidi | 49.89 |
| Oleik asit (C18:1) | 44.06± 7.02 |
| ∑ Tekli doymamış yağ asidi | 44.06 |
| Linoleik asit (C18:2) | 6.05±0.29 |
| ∑ Çoklu doymamış yağ asidi | 6.05 |

4. Tartışma ve Sonuç

Literatür incelendiğinde, briyofitlerin kimyası ile ilgili çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmektedir (Sabovljevic ve ark., 2012). *P. piliferum* 'un antioksidan ve bazı kimyasal bileşikleri ile ilgili olarak da literatür verisine rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu bölümde farklı briyofit türlerinin benzer analizleri değerlendirilmiştir.

Gökbulut ve arkadaşlarının (2012) çalışmasında, *Marchantia polymorpha* L.'nin metanol ve etil asetat ekstraktlarının DPPH (metanol için 0.4495 mg/mL ve etil asetat için 0.2756 mg/mL) ve ABTS (metanol için 0.2441 mg/mL ve etil asetat için 0.2126 mg/mL) analizlerinde orta düzeyde antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Gökbulut ve ark., 2012). Hanif ve diğerleri, (2014) iki briyofitin (*Funaria hygrometrica* Hedw. ve *Polytrichum commune* Hedw.) doğal antioksidan kaynağı olarak değerlendirilmesini incelemiştir. Çalışmada, *F. hygrometrica* ve *P. commune*'nin DPPH analizlerinin sırasıyla %94,7 ve %94,4 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, *F. hygrometrica* ve *P. commune*'un ABTS analizinde sırasıyla 71.06 ve 97.5 mM Trolox bulunduğunu bildirmişlerdir (Hanif ve ark., 2014). Dört briyofit türünün (*Plasteurhynchium striatum* (Spruce) M. Fleisch, *Palamocladium euchloron* (Bruch ex Müll. Hal.) Wijk & Margad., *Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce ve *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R.S. Chopra) toplam fenol, antibakteriyel ve antioksidan aktivitesi üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, toplam fenolik içerik değerlerini 0.027 ile 0.00055 mg GAE/g arasında, DPPH değerlerini ise %65,11 ile %51,94 arasında belirlemiştir (Öztürk ve ark., 2021). Bu çalışma ile karşılaştırıldığında, antioksidan ve TPC değerimiz genel olarak daha yüksek bulunmuştur.

Ana elementlerin kaynağı doğal süreçlerle ilişkiliyken, birçok eser elementin varlığı çevre kirliliğine bağlı olabilir. Metaller arasında Pd ve Cd doğrudan çevre kirliliği ile ilişkilidir. Bu çalışmada, Pd ve Cd düşük konsantrasyonda bulunurken, ana elementler ve temel iz element konsantrasyonu en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Klavina ve diğerlerine (2012) göre bu, briyofitlerin toplandığı bölgelerde eser elementlerle bağlantılı kirliliğin düşük olduğu anlamına gelmektedir (Klavina ve ark., 2012).

Briyofitlerdeki tüm metabolitler arasında lipitler en önemli metabolitlerden biridir. Bu metabolitler enerji depolama, membran oluşumu, hücre sinyalizasyonu, işlevsellik ve çevresel adaptasyon gibi önemli rol oynar (Christie ve ark., 2012). Genel olarak, briyofitlerin toplam lipit içeriği kuru ağırlığın %1 ila 9,1'i arasında değişir. Bu değerler

bölgeye ve büyüme koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Dembitsky, 1993). Yapılan çalışmada *P. piliferum* 'un toplam yağ içeriği literatürle benzerlik göstermektedir. Sağlıklı yaşayan briyofitlerden elde edilen yağ asidi normalde dokuda birikmez (Lu ve ark., 2019). Literatüre göre, palmitik asit (16:0) ve stearik asit (18:0) briyofitlerde en bol bulunan yağ asidi iken, laurik asit (12:0) ve miristik asit (14:0) de sınırlı miktarda bulunur. Ayrıca, pentadekanoik asit (15:0) ve margarik asit (17:0) bazı briyofitlerde eser miktarda bulunur. Özellikle, oleik asit (18:1), linoleik asit ve α -linoleik asit gibi tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri tüm briyofit türlerindeki yağ asitleri arasında başlıca bileşiklerdir (Prins, 1982). Yağ asitleri ile ilgili literatür bu çalışma ile büyük ölçüde paralellik göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada *P. piliferum* 'un fitokimyasal profili, antioksidan, yağ asidi ve mineral profili değerlendirilmiştir. Bulgularımız, *P. piliferum* 'un orta düzeyde antioksidan aktivite, toplam fenolik ve flavonoid içeriği gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, *P. piliferum* potansiyel bir antioksidan kaynağı olarak düşünülebilir. *P. piliferum* ekstraktı üzerinde yağ asitleri için yapılan GC-MS analizi sonucunda, bulgularımız baskın bileşiklerin oleik asit ve palmitik asit olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, mineral analiz sonuçları *P. piliferum* 'un Fe, Ca, Al ve K gibi bazı elementleri büyük miktarlarda biriktirebildiğini göstermiştir. Çevresel açıdan bakıldığında, bu bitki kirlilik göstergesi olarak kullanılabilir. Numunenin kül içeriği, toplam protein ve lipid içeriği ortalama aralıkta belirlenmiştir. Beslenme açısından, *P. piliferum* 'un uygun olmadığı söylenebilir. Son olarak, fitokimyasal ve antioksidan aktiviteler gösterilmiştir ve bu ilgili veriler gelecekte yeni çalışmalarını teşvik edebilir.

Deklarasyon

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

- Altuner E.M. Çetin B. Çökmüş C. 2010. Antimicrobial Activity of Extracts of *Tortella tortulosa* (Hedw.) Limpr. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty. 10: 111-116.
- AOAC Official Method of Analysis. 1990. Proximate analysis and calculations total nitrogen or crude protein. Method 990.03, (21.edition). Gaithersburg, MD, USD.
- Asakawa Y. Ludwiczuk A. Nagashima F. 2013. Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry*. 91: 52-80.
- Basile A. Giardano S. Lopez-Sa'ez J.A. Cobiánchini C.R. 1999. Antibacterial lactivity of pure flavonoids isolated from mosses. *Phytochemistry*. 52: 1479-1482.
- Benzin İ.F.F. Strain J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239:1, 70-76.
- Christie W.W. Han X. 2012. Lipids their structures and occurrence. In *Lipid Analysis*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 3-19.
- Cianciullo P. Maresca V. Sorbo S. Basile A. 2022. Antioxidant and antibacterial properties of extracts and bioactive compounds in bryophytes. *Applied Science*. 12:160, 1-14.
- Commisso M. Guarino F. Marchi L. Muto A. Piro A. Degola F. 2021. Bryo-activities: a review on how bryophytes are contributing to the arsenal of natural bioactive compounds against fungi. *Plant*. 10:203, 1-27.
- Crum H.A. 2001. Structural Diversity of Bryophytes. The University of Michigan Herbarium, Ann Arbor, MI, 379 pp.
- Çakır Sahilli Y. Alataş M. 2021. Investigation of the antioxidant properties of *Pterigynandrum filiforme* Hedw. *International Journal of Biosciences*. 19:5, 42-47.
- Çolak E. Kara R. Ezer T. Yuvalı Çelik G. Elibol B. 2011. Investigation of antimicrobialactivity of some Turkish pleurocarpic mosses. *African Journal of Biotechnology*. 10: 12905-12908.
- Dembitsky V.M. 1993. Lipids of bryophytes. *Progress in Lipid Research*. 32: 281-356.
- Demirbağ M. Yıldırım M. Batan N. Yılmaz Ö. Emre İ. Alataş M. 2022. The Biochemical Properties of Some Species of Dicranum Hedw. *Anatolian Bryology*. 8:2, 140-148.
- Dickson JH. 1973. Bryophytes of the Pleistocene. *The British Record and Its Chorological and Ecological Implications*. Cambridge University Press. pp. 192-195.
- Dierßen K. 2001. Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes. Band 56. *Bryophytorum Bibliotheca*. Stuttgart.
- Elibol B. Ezer T. Kara R. Celik G.Y. Colak E. 2011. Antifungal and antibacterial effects of some acrocarpic mosses. *African Journal of Biotechnology*. 10: 986-989.
- Elibol B. 2010. Determination of Antifungal and Antibacterial Effects of Some Acrocarpic Mosses. Ömer Halisdemir University, Institute of Science.
- Ertürk Ö. Şahin H. Ertürk E.Y. Hotaman H.E. Koz B. Özdemir Ö. 2015. The antimicrobial and antioxidant activities of extract obtained from some moss species in Turkey. *From Botanical to Medical Research*. 61: 52-65.
- Fukumoto L.R. Mazza G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenoliccompounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 48: 3597-3604.
- Glime J.M. Saxena D.K. 1990. *Uses of Bryophytes Today and Tomorrow*. Printers and Publishers. New Delhi.
- Glime JM. 2007. Michigan Technological University (MTU), Botanical Society of America (BSA) and International Association of Bryologists (IAB). *Bryophyte Ecology*. EPublishing: Michiganian.
- Glime J.M. 2017. *Bryophyte Ecology . Chapter 1 Introduction Volume 1: Physiological Ecology*. International Association of Bryologists. Michigan Technological University. pp. 1-10.
- Gökbulut A. Satılmış B. Batçioğlu K. Çetin B. Şarer E. 2022. Antioxidant activity and luteolin content of *Marchantia polymorpha* L. *Turkish Journal of Biology*. 36:4, 381-385.
- Gradstein S.R. Griffin D. Morales M.I. Nadkarni N.M. 2001. Diversity and habitat differentiation of mosses and liverworts in the cloud forest of Monteverde. *Caldasia*, 23: 203-212.
- 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 Journal of Chemistry*. 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 scoporium* and *Dicranum japonicum*. Tetrahedron Letter. 24: 3337-3340.
- Kasangana P.B. Haddad P.S Stevanovic T. 2015. Study of polyphenol content and antioxidant capacity of *Myrianthus arboreus* (cecropiaceae) root bark extracts. Antioxidants (Basel). 4:2, 410–426.
- Kürschner H. Frey W. 2020. Liverworts, mosses and hornworts of Southwest Asia (Marchantiophyta, Anthocerotophyta, Bryophyta). Nova Hedwigia. 149: 1-267.
- Lu Y. Eiriksson F.F. Thorsteinsdóttir M. Simonsen H.T. 2019. Valuable fatty acids in bryophytes-production, biosynthesis, analysis and application. Plants (Basel). 19:8, 11-524.
- Manisara M.M. Bakar M.F.A. Akim A.M. Linatoc A.C. Bakar F.I.A Ranneh Y.K.H. 2021. Secondary metabolites, antioxidant, and antiproliferative activities of *Dioscorea bulbifera* leaf collected from endau rompin, Johor, Malaysia. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. Special Issue, 1-10.
- Marko S. Aneta B. Dragoljub G. 2001. Bryophytes as a potential source of medicinal compounds. Pregledni Clanak. 21: 17-29.
- Okan O.T. Serencam H. Baltaş N. Can Z. 2019. Some edible forest fruits their in vitro antioxidant activities, phenolic compounds and some enzyme inhibition effects. Fresenius Environmental Bulletin. 28:8, 6090-6098.
- Öztopçu Vatan P. Savaroğlu F. Filik İşcen C. Kabadere S. İlhan S. Uyar R. 2011. Antimicrobial and Antiproliferative Activities of *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. Extracts. Fresenius Environmental Bulletin. 20: 461-466.
- Öztürk Ş. Hazer Y. Kaşkatepe B. Ören M. 2021. Determination of total phenol contents, antibacterial and antioxidant activity of some mosses species. Karaelmas Science and Engineering Journal. 12:1, 86-92.
- Pellegrini N. Rio D.D. Colombi B. Bianchi M. Brighenti F. 2003. Application of the 2,2,-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation assay to a flow injection system for the evaluation of antioxidant activity of some pure compounds and beverages. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 51:1, 260-264.
- Prieto P. Pineda M. Aguilar M. 1999. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of Vitamin E1. Analytical Biochemistry. 269: 337–341.
- Prins H.H.T. 1982. Why are mosses eaten in cold environments only. Oikos. 38:3, 374-380.
- Sabovljević A. Vujičić M. Skorić M. Ljubičić J.B. Sabovljević M. 2012. Axenically culturing the bryophytes: establishment and propagation of the pleurocarpous moss *Thamnobryum alopecurum* newland ex gangulee (Bryophyta, Neckerales) in in vitro conditions. Pakistan Journal of Botany. 44:1, 339-344.
- Savaroğlu F. Filik İşcen C. İlhan S. 2011a. An Evaluation of the Antimicrobial Activity of Some Turkish Mosses. Journal of Medicinal Plants. 5: 3286-3292.
- Savaroğlu F. Filik İşcen C. Öztopçu Vatan P. Kabadere S. İlhan S Uyar R. 2011b. Determination of Antimicrobial And Antiproliferative Activities of the Aquatic Moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. Turkish Journal of Biology. 35: 361-369.
- Saxena DK, Harinder. 2004. Uses of bryophytes. Resonance., 9:6, 56-65
- Smith A.J.E. 2004. The Moss Flora of Britain and Ireland. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Tedone L. Komala I. Ludwiczuk A. Nagashima F. Ito T. Mondero L. Asakawa Y. 2011. Volatile components of selected Japanese and Indonesian liverworts. 55th Symposium on the Chemistry of Terpenes; Essential Oils and Aromatics. Tsukuba, Japan, p. 272–274.
- TS EN ISO12966-1. 2014. Animal and vegetable fats and oils - Gas chromatography of fatty acid methyl esters - Part 1: Guidelines on modern gas chromatography of fatty acid methyl esters.
- Türker H. Ünal B.T. 2020. Bryophytes as the potential source of antioxidant. Anatolian Bryology. 6:2, 129-137.
- Uyar G. Hacıoğlu Dođru N. Ören M. Çavuş A. 2016. Determining Antibacterial Activity of Some Mosses (*Cinclidotus riparius* Hostex Brid.) Arn., *Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske, *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Gangulee, *Leucobryum juniperoideum* (Brid.) Müll. Hal., *Cirriphyllum crassinervium* (Taylor) Loeske & M.Fleisch.). Anatolian Bryology. 2: 1-8.
- Vollár M. Gyovai A. Szűcs P. Zupkó I. Marschall M. Löffler B. C. Bérđi P. Vecsernyés A. Csorba A. Busa E.L. Urbán E. Csupo D. 2018. Antiproliferative and antimicrobial activities of selected bryophytes. Molecules. 23:1520, 1-15.
- Williams-Brand 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.

Wu, P.C. 1982. Some uses of mosses in China. Bryol. Times. 13, 5.

Yıldırım Akatın M. Ayaz F.A. Boyracı G.M. Er Kemal M. Batan N. Çolak N. 2024. An evaluation of the antioxidant potential and in vitro enzyme inhibition profile of selected bryophytes from Northeast Anatolia (Türkiye). Journal of Biomolecular Structure and Dynamics Doi. 10.1080/07391102.2024.2313155.