





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

DOI: 10.26672/anatolianbryology.740094

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

## Potansiyel Antioksidan Kaynağı Olarak Briyofitler

Hüseyin TÜRKER<sup>1</sup> , Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

Received: 20 May 2020

Revised: 28 June 2019

Accepted: 02 July 2020

### Öz

İnsanlığın varoluşundan bu yana tıbbi ve aromatik bitkiler önemli yere sahip olmuştur. Son yıllarda doğala yönelişle birlikte hastalıklara karşı korunmada ve tedavide sekonder bileşik içerikleri yüksek olan tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımı artmıştır. Hastalıkların temel nedenlerinden biri olan oksidatif stres, serbest radikaller ve antioksidanlar arasındaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır. İstenmeyen bu durum ile mücadele etmede organizmalar endojen ya da ekzojen kaynaklı antioksidanlara ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde dejeneratif hastalıklarla mücadelede etkili olan doğal antioksidanların araştırılması zorunluluk haline gelmiştir. Vasküler bitkilerin doğal antioksidan kaynağı oldukları iyi bilinmesine rağmen diğer bitki grupları özellikle de briyofitler hakkında çok az veri bulunmaktadır. Briyofitler en eski kara bitkileri olarak sekonder metabolitlerce zengin, abiyotik ve biyotik streslere karşı adaptasyon yetenekleri yüksek bitkilerdir. Briyofitlerin zengin antioksidan kaynağı oldukları ve kullanımlarının artması gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Antioksidan, Fitokimyasal, Karayosunu, Reaktif Oksijen Türleri, Sekonder Metabolit,

## Bryophytes as the Potential Source of Antioxidant

### Abstract

Medicinal and aromatic plants have had an important place since the existence of humanity. In recent years, the use of medicinal and aromatic plants with high secondary compound content in the protection and treatment of diseases has increased with the orientation towards nature. Oxidative stress, which is one of the main causes of diseases, is due to the imbalance between free radicals and antioxidants. To combat this unwanted condition, organisms need endogenous or exogenous antioxidants. Today, it has become imperative to investigate natural antioxidants that are effective in combating degenerative diseases. Although it is well known that vascular plants are a natural antioxidant source, there is very little data about other plant groups, especially bryophytes. The bryophytes are the oldest land plants, rich in secondary metabolites, with high adaptability to abiotic and biotic stresses. It is thought that bryophytes are rich sources of antioxidants and their usage should increase.

**Keywords:** Antioxidant, Phytochemical, Moss, Reactive Oxygen Species, Secondary Metabolite.

\* Corresponding author: [bturkyilmaz@ohu.edu.tr](mailto:bturkyilmaz@ohu.edu.tr)

© 2020 All rights reserved / Tüm hakları saklıdır.

To cite this article: Türker H. Türkyılmaz Ünal B. 2020. Bryophytes as the Potential Source of Antioxidant. *Anatolian Bryology*, 6:2, 129-137.



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

## 1. Giriş

Bir veya daha fazla eşleştirilmemiş elektrona sahip olan serbest radikaller çeşitli kimyasal gruplardan oluşabilmektedir ve genellikle yüksek oranda reaktiftirler. Reaktif oksijen türleri (ROS), canlı bir hücrede biyolojik elektron taşıma sistemi (fotosentetik, mitokondriyal, mikrozomal), enzimler ve biyomoleküller (ksantin oksidaz, siklooksijenaz, lipoksijenaz vb.) dahil olmak üzere çeşitli metabolik yollarda kendiliğinden üretilmektedir (Chandna ve ark., 2012).

Oksidasyon işlemi substratların ışığa ve ısıya maruz kaldığı oksijen bakımından zengin herhangi bir ortamda meydana gelebilmektedir. Bu işlemlerin tümüne yüksek oranda reaktif oksijen radikalleri aracılık etmektedir. Oksijen, metabolik faaliyetler için gerekli enerji üretimi sırasında serbest oksijen radikalının üretilmesiyle sonuçlanan substrat oksidasyonunda rol oynamaktadır. Süperoksit radikalleri, hidrojen peroksit ve serbest hidroksil radikalleri gibi çeşitli ROS'lar yüksek derecede toksik, mutajenik ve reaktif özelliklere sahip oldukları için hücrelere zarar verebilmektedir. ROS'lar ve antioksidanlar arasında ciddi bir dengesizlik durumu söz konusu olduğunda oksidatif stres oluşabilmektedir (Erşahin ve ark., 2013). Bu dengesizliğin üstesinden gelmek için canlıların endojen ya da ekzojen kaynaklı antioksidanlara ihtiyacı vardır (Gahtori ve Chaturvedi, 2019).

Bitkiler kısıtlı hareket kabiliyetlerinden dolayı biyotik (böcek zararı, bakteri ve mantarlar) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, su basması, aşırı soğuk ve sıcaklıklar, radyasyon ve toksik metaller) streslere daha fazla maruz kaldıkları için, hücresel iç dengenin (homeostasi) bozulmasını takiben daha fazla ROS üretiminin meydana geldiği ifade edilmiştir (Srivastava ve Dubey 2011).

Briyofitler, yapraklı karayosunları (Bryophyta), ciğerotları (Marchantiophyta) ve boynuzlu ciğerotlarını (Anthocerotophyta) kapsayan ve bitki biyoçeşitliliğinin ikinci büyük grubunu oluşturan en eski kara bitkileridir (Erdağ ve Kürschner, 2017). Dünya genelinde takson sayısı yaklaşık 20000-25000 (~ 12700-13373 yapraklı karayosunu, ~7266-9000 ciğerotu, ~221-225 boynuzlu ciğerotu) arasında olup bunların yaklaşık 1000 kadar üyesi ülkemizde temsil edilmektedir (Christenhusz ve Byng, 2016; Erdağ ve Kürschner, 2017; Ezer, 2017). Briyofitlerin yaklaşık 3000 taksonunun tıbbi açıdan öneme sahip oldukları belirtilmiştir (Saroya, 2011).

Briyofitlerin, böcek/hayvan predasyonu, UV radyasyon, aşırı sıcaklık ve mikrobiyal ayrışma gibi birçok stresle mücadele etmek için çeşitli sekonder metabolitler ürettiği bilinmektedir (Xie ve Lou, 2009). Bu bitkilerin birçok türü çeşitli biyolojik aktiviteler göstermekte, sekonder bileşikler bakımından sıra dışı bir rezervuara sahip olmalarından dolayı antikanser, antitümör, antifungal, antibakteriyel ve antioksidan özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Bhattarai ve ark., 2009; Gaurav ve ark., 2018; Provenzano ve ark., 2019). Karayosunlarının antioksidan kapasitesinin bazı yüksek yapılı bitkilerden daha fazla olduğu bilinmektedir (Aslanbaba ve ark., 2017).

Briyofitlerin yüksek seviyedeki antioksidan içerikleri gelecekte tıp, kozmetik ve gıda sektörlerinde doğal bir kaynak olarak kullanılabilir. Bu derlemede ilkel yapılarına rağmen çevresel streslere karşı kendilerini iyi derecede koruyabilen briyofitlerin antioksidan kaynağı olma potansiyelleri irdelenecektir.

## 2. Reaktif Oksijen Türleri

Serbest radikaller canlılarda oksijen (reaktif oksijen türleri-ROS) ve azottan (reaktif azot türleri-RNS) çeşitli endojen sistemler aracılığıyla ya da farklı stres koşullarına maruz kalma yoluyla üretilirler (Rasheed ve Azzez, 2019).

Reaktif oksijen türleri (ROS) terimi genel olarak bütün oksijen merkezli radikalleri belirtmekle birlikte, tekli (singlet) oksijen, süperoksit, hidrojen peroksit, hidroksil, hipokloröz asit, hidroperoksit gibi kimyasal olarak reaktif fonksiyonel grupları içeren bileşikleri ifade etmede kullanılmaktadır (Giri ve ark., 1999).

Ultraviyole ışık, iyonlaştırıcı radyasyonlar, kirleticiler, toksinler ve patojenler gibi streslerden ya da antioksidan yetersizliğinden kaynaklı ROS üretimi sonucunda oksidatif stres ortaya çıkabilmektedir. Yüksek seviyede ROS oluşumu ve düşük seviyede antioksidan hücrede serbest radikal moleküllerin birikimiyle oksidatif stresi teşvik etmektedir (O'Brien ve ark., 2012).

Aşırı ROS üretiminin ve uzaklaştırılmamasının çeşitli metabolik faaliyetlerin aksamasına ve biyolojik makromoleküllerin hasar görmesine neden olduğu ifade edilmiştir (Chopra ve Wallace, 1998; Habtemariam, 2019). Hücre oksidatif stres durumunda olduğunda lipid peroksidasyonu, proteinlerin oksidasyonu, DNA hasarı, enzim inhibisyonu ve programlanmış hücre ölümünün aktivasyonu ile apoptozis meydana gelebilmektedir (Mishra ve Dubey,

2011). Kısacası oksidatif stres çok sayıda hastalığın gelişmesine aracılık etmektedir (Habtemariam, 2019).

Bitkilerde çoklu redoks ve/veya ROS sinyallerinin düzenlenmesi metabolik yollarda yüksek derecede koordinasyon ve denge gerektirmektedir (Nobushiro ve ark., 2012). ROS'un zararlı etkilerinin giderilmesi antioksidan savunma sistemi ile sağlanmaktadır (Sharma ve ark., 2012; Kataria ve ark., 2019).

### 3. Antioksidanlar

Antioksidan savunma sistemi enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlardan meydana gelmektedir. Enzimatik antioksidan savunma sistemi süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), guaiacol peroksidaz (GPX) ve glutatyon redüktaz (GR) iken, askorbat (ASA), glutatyon (GSH), karotenoidler, tokoferoller, polifenoller, antioksidan kofaktörler, organosülfür bileşikler, vitaminler ve mineraller hücre içerisinde potansiyel nonenzimatik antioksidanlar olarak görev yapmaktadırlar (Gahtori ve Chaturvedi, 2019).

Hurnell (2003) ise besin maddelerindeki enzimatik olmayan antioksidanların, antioksidan mineraller, antioksidan vitaminler ve çeşitli fitokimyasallar olduğunu bildirmiştir. Antioksidan mineraller, antioksidan enzimlerin kofaktörü olan selenyum, bakır, demir vb. minerallerdir. Antioksidan vitaminlere C vitamini, E vitamini ve B vitamini örnek olarak gösterilebilir. Vitamin ve mineral olmayan fenolik bileşikler fitokimyasallar olarak ifade edilmektedir. Flavanoidler, kateşinler ve karotenoidler bu grupta yer almaktadır.

Antioksidanların, aerobik solunum sırasında üretilen ROS'a karşı vücut savunma sisteminde çok önemli role sahip oldukları düşünülmektedir. ROS ve antioksidan savunma sistemi arasındaki dengesizlik oksidasyon yükünü artırarak karbonhidratlar, proteinler ve yağlar gibi makromoleküllerin hasarlanmasına, dolayısıyla vücutta çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasına neden olur (Rasheed ve Azeez, 2019). Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar bu hasarlanmaların ortadan kaldırılması ya da en azından hafifletilmesini sağlar. Antioksidanların çeşitli hastalıklar ve özellikle kansere karşı alternatif, tamamlayıcı ve doğal bir ilaç olarak kullanılması dünyanın bazı bölgelerinde oldukça yaygındır (Savaroğlu ve ark., 2011).

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, briyofitlerdeki oksidatif streslerin giderilmesinde

aşırı antioksidan aktivitenin sürdürüldüğünü ve çevresel strese karşı toleransın bu şekilde arttırıldığını kanıtlamıştır (Gahtori ve Chaturvedi, 2019).

### 4. Şimdiye Kadar Gerçekleştirilen Çalışmalara Göre Antioksidan İçeriğine Sahip Briyofit Türleri

Karasal ekosistemlerin temel bileşenlerinden olan briyofitler oksidatif stresle başa çıkmak için enzimatik ve/veya enzimatik olmayan antioksidanlar vb. iç savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Sekonder metabolitlerce zengin olan bu bitkiler büyük terapötik potansiyele sahip biyoaktif bileşiklerin kaynağıdır (Yayintas ve Irkin, 2018). Günümüzde briyofitler üzerine terapötik araştırmalar hızla artsa da terapötik kimyası çözümlerin sayısı %10'u geçmemektedir (Asakawa, 2004). Birçok bilim insanı antioksidan potansiyele sahip briyofit türlerini araştırmışlardır (Chobot ve ark., 2006; Bhattarai ve ark., 2009; Dey ve De, 2012; Pejin ve ark., 2013).

*Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske Amblystegiaceae familyasına ait olup Antarktika Deniz kıyılarında en çok yayılışa sahip karayosunlarından biridir (Pizarro ve ark., 2019). Bu bölgede bulunan bitkiler yaşamları boyunca sıfırın altındaki sıcaklıklar, verimsiz topraklar, şiddetli rüzgarlar ve kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerine maruz kalmaktadır. *Sanionia uncinata*'nın antioksidan aktivitesi, süperoksit süpürme aktivitesi, ABTS katyon süpürme aktivitesi ve DPPH serbest radikal süpürme aktivitesi ile indirgeyici gücü analiz edilerek değerlendirilmiştir. 0,1 mg *Sanionia uncinata* ekstraktının indirgeyici gücü 31,9 µg/mL, DPPH serbest radikal süpürme, süperoksit süpürme ve ABTS katyon süpürme aktiviteleri sırasıyla 356 µg/mL, 466,2 µg/mL ve 181,3 µg/mL olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, *Sanionia uncinata*'nın doğal antioksidan kaynağı olabileceğini, tıp ve kozmetik alanlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Aynı bölgeden temin edilen *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L. Sm. iki çeşit benzonaptoksanton (ohioensins F ve G) izole edilmiştir. *P. alpinum*'un yüksek antioksidan etkiye sahip olduğu saptanmış, ayrı ayrı izole edilen iki etken maddenin tüm bitki ekstraktının olduğu gruptan iki kat daha fazla antioksidan aktivite gösterdiği ifade edilmiştir (Bhattarai ve ark., 2009).

Pejin ve ark (2013) *Bryum moravicum* (*Ptychostomum moravicum* (Podp.) Ros &

Mazimpaka)'un antioksidan potansiyelini incelemişlerdir. Araştırmada türün sulu ekstraktının antioksidan kapasitesi, ABTS katyon süpürme aktivitesi ve toplam fenolik içeriği analiz edilerek değerlendirilmiştir. Türün antioksidan aktivitesi 84,56 µg (askorbik aside göre hesaplanmıştır) ve 356,44 µg (ferulik aside göre hesaplanmıştır) olarak saptanmıştır. Çalışma *B. moravicum*'un tıbbi açıdan faydalı antioksidan kaynaklar ihtiva ettiğini ortaya koymuştur.

*Plagiochasma appendiculatum* Lehm. & Lindenb. Hindistan'ın farklı bölgelerinde geniş yayılışa sahip türlerdendir. Kangra vadisindeki Gaddi kabilesi tarafından cilt hastalıklarının tedavisinde macun şeklinde kullanılmaktadır (Kumar ve ark., 2000). Singh ve ark (2006) yapmış oldukları bir çalışmada yara iyileşmesinin patogenezinde serbest radikallerin de rol olabileceğini düşünmüşler ve *P. appendiculatum*'un antioksidan aktivitesini araştırmışlardır. Bu türün lipit peroksidasyonunu inhibe ederek SOD ve CAT aktivitelerini arttırdığını bulmuşlardır. Enzimlerdeki artış *P. appendiculatum*'un güçlü bir antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmada yara iyileştirme kapasitesinin güçlü radikal süpürücü aktiviteye bağlı olabileceği ifade edilmiştir. Benzer şekilde *Marchantia paleacea* var. *diptera* (Nees & Mont.) S. Hatt.'nın da önemli derecede SOD aktivitesinin olduğu belirtilmiştir (Tanaka ve ark., 1998).

Model organizma olarak sıçanların kullanıldığı bir çalışmada, kalp kası hücrelerinde uyarılmış oksidatif stres sonucu oluşan lipid peroksidasyonunu inhibe edici olarak *Rhodobryum roseum* (Hedw.) Limpr. ekstraktları kullanılmıştır. Yüksek antioksidan özelliğe sahip olan türün oksidatif hasarın sebep olduğu zararlı etkilerin giderilmesine aracılık ettiği saptanmıştır (Hu ve ark., 2009).

Rajan ve Murugan (2010) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada *Pallavicinia lyelli* (Hook.) Gray'nin çeşitli stres koşullarında hücreyi korumada görevli enzimlerden biri olan askorbat peroksidaz (APX)'i yüksek oranda ihtiva ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, *Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen ve *Marchantia polymorpha* L. türleri de hidrojen peroksidin zararlı etkilerinin giderilmesinde rol alan APX'i yüksek miktarda içermektedir (Paciolla ve Tommasi, 2003). Mishra ve ark. (2014) *Marchantia polymorpha*'nın metanol ve etilasetat ekstraktlarının antioksidan özelliğe sahip olduğunu, briyofitlerin antioksidan kaynağı

olarak birçok yeni ilacın üretiminde yer alabileceğini ifade etmişlerdir.

*Calypothecium ramosii* Broth., *Gymnostomum recurvirostum* Hedw., *Hypnum plumiforme* Wilson, *Leucobryum skaler* Müll.Hal. ör. M.Fleisch., *Meteoriopsis reclinata* (Müll.Hal.) M.Fleisch., *Mitthyridium undulatum* (Dozy & Molk.) H.Rob. ve *Pelekium boniamum* (Besch) türlerinin antioksidan potansiyellerinin incelendiği bir çalışmada *Gymnostomum recurvirostum*, *Pelekium boniamum* ve *Calypothecium ramosii*'nin serbest radikallere karşı son derece düşük yarı maksimum inhibitör potansiyel sergilediği görülmüştür (Carranza ve ark., 2019). Elde edilen veriler *Gymnostomum recurvirostum*, *Pelekium boniamum* ve *Calypothecium ramosii* 'nin yarı maksimum inhibitör konsantrasyonlarının diğer tıbbi bitkilerin değerlerinden daha iyi olduğunu ifade eden Pourmorad ve ark., (2006)'nın çalışmasıyla uyumludur.

Manoj (2012) *Plagiochilla beddomei* Steph., *Leucobryum bowringii* Mitt. ve *Octoblepharum albidum* Hedw. 'un antioksidan ve antibakteriyel özelliklerini araştırdığı doktora tez çalışmasında bu briyofitlerin metanol ekstraktlarının antioksidan özelliklere sahip olduğunu bildirmiştir. Manoj ve Murugan (2012) *Plagiochilla beddomei* 'nin antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesini belirlemek amacıyla DPPH, ferrik indirgeyici antioksidan güç ve hidroksil radikal süpürücü aktivite yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda *Plagiochilla beddomei*'nin yüksek seviyede antioksidan aktiviteye sahip olduğunu, yüksek oranda flavonoid ve fenolik bileşikler içerdiğini ifade etmişlerdir.

Yaygın etnomedikal kullanıma sahip *Leucobryum bowringii* Mitt. ve *Dicranum scoparium* Hedw., epifitik karayosunlarının fitokimyasal bileşimlerinin ve antioksidan potansiyellerinin belirlendiği çalışmada *Leucobryum bowringii*'nin *Dicranum scoparium*'dan daha fazla antioksidan potansiyel gösterdiği saptanmıştır. Her iki örneğin etanol ve metanol ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin fenolik ve flavonoid içeriğinden, kloroform ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin terpenoidlerden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Mitra ve ark., 2019).

Doğal habitatı Şili olan *Sphagnum magellanicum* Brid.'un antioksidan içeriği incelendiğinde benzer şekilde yüksek miktarda fenolik madde ihtiva ettiği ve dolayısıyla antioksidan aktivite

gösterdiği tespit edilmiştir (Montenegro ve ark., 2009).

Ertürk ve ark. (2015) doğal yaşam alanları arasında Türkiye'nin de bulunduğu bazı briyofit türlerinin toplam fenolik madde miktarı ve potansiyel antioksidan durumlarını tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. ve *Eurhynchium striatulum* (*Plasteurhynchium striatulum* (Spruce) M. Fleisch.) türlerinin en yüksek aktiviteye sahip olduğunu saptamışlardır.

Tonguc Yayintas ve ark. (2017) Türkiye'nin farklı lokalitelerinden topladıkları *Oxystegus tenuirostris* (Hooker & Taylor) A. Smith, *Eurhynchium striatum* (Schreb. ex Hedw.) Schimp ve *Rhynchostegium murale* (Hedw.) Schimp türlerinin antioksidan kapasitelerini inceledikleri çalışmalarında bu üç türün ekstraktlarının kolaylıkla ulaşılacak doğal antioksidan kaynakları olduklarını ifade etmişlerdir.

Çanakkale İda dağından toplanan *Marchantia polymorpha* L., *Polytrichum juniperinum* Hedw., *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., *Hedwigia ciliata* (Hedw.) P. Beauv., *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Nieuwl. Ex Gangulee, *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J. Kop, *Antitrichia curtipendula* (Timmex Hedw.) Brid., *Thuidium tamariscinum* (Hedw.) Schimp., *Hypnum cupressiforme* Hedw., *Neckera complanata* (Hedw.) Huebener ve *Isothecium myurum* Brid. briyofit türlerinin antioksidan içeriklerinin araştırıldığı bir çalışmada ise *Marchantia polymorpha*, *Hypnum cupressiforme* ve *Neckera complanata*'nın yüksek ekstraksiyon verimi ve antioksidan aktiviteye sahip oldukları belirtilmiştir (Yayintas ve ark., 2019).

*Thuidium tamariscinum* (Hedw.) Schimp. ve *Platyhypnidium riparioides* (Hedw.) Dixon türlerinden elde edilen ekstraktların antioksidan etki gösterdikleri ve bu etkinin briyofitlerin yapısında bulunan fenolik bileşiklerden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Aslanbaba ve ark., 2017).

Gerçekleştirilen çalışmalarda briyofitlerin fenolik bileşikler, flavonoidler, saponinler, tanenler ve glikozitler gibi değerli biyoaktif maddeleri ihtiva ettikleri saptanmıştır. *Marchantia linearis* Lehm. & Lindenb.'in hücre süspansiyon kültürlerinden ekstrakte edilen flavonoidlerin kolon kanseri hücre hatlarına karşı tedavi edici özelliği belirlenmiştir (Krishnan ve Murugan, 2013).

Araştırmalar genellikle ciğerotlarının toplam flavonoid miktarlarının yapraklı karayosunlarından daha yüksek olduğunu bildirmektedir. Ciğerotlarının antioksidan kapasitelerinin vasküler bitkilerinkine daha yakın olduğu da bilinmektedir. Akrokarp karayosunları pleurokarp karayosunlarından, düşük ışık seviyelerinde büyüyenler tam güneşte büyüyenlerden, epifitik olanlar suda yaşayanlardan, düşük enlemlerde yaşayanlar yüksek enlemlerde bulunanlardan daha yüksek flavonoid içeriğine sahiptir (Wang ve ark., 2017).

Sharma ve ark (2015)'nin yaptığı çalışmada guaiacol peroksidaz ve CAT aktivitesi *Pellia appendiculatum* (*Plagiochasma appendiculatum* Lehm. & Lindenb.)'da *Pellia endiviifolia* (Dicks.) Dumort.'dan daha yüksekken, süperoksit dismutaz aktivitesi, askorbik asit, prolin, glutatyon ve toplam fenoller *Pellia endiviifolia*'da daha fazla olarak saptanmıştır. Önemli bir kirlilik belirteci olan *Pseudoscleropodium purum* (Hedw.) M. Fleisch.'da da glutatyon yüksek seviyede bulunan bir antioksidan olarak tespit edilmiştir (Varela ve ark., 2018).

Briyofitlerden izole edilen terpenoidlerin ve aromatik bileşiklerin biyoaktif özellikleri nedeniyle antibakteriyel ve antifungal aktivite gösterdikleri bilinmektedir (Greeshma ve ark., 2017; Greeshma ve Murugan, 2018). *Thuidium tamariscinum* (Hedw.) Schimp. üzerinde yapılan bir araştırmada ilgili briyofitin fazla miktarda terpenoid içerdiği belirtilmiş, *T. tamariscinum*'un yüksek antioksidan özelliğe sahip olmasının içerdiği terpenoidle ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Mohandas ve Kumaraswamy, 2018). *Lunularia cruciata* (L.) Dumort. ex Lindb.'nin asetonlu ekstraktlarının da flavonoid ve seskiterpen içerikleri belirlenmiş, bunların çeşitli sağlık sorunlarının tedavisinde kullanılabileceği düşünülmüştür (Ielpo ve ark., 1998).

Briyofitlerin antioksidan aktivitesi diğer bitkilerde olduğu gibi çeşitli stres faktörlerinden etkilenebilmektedir. Yapılan bir çalışmada *Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst.'a bazı abiyotik (ağır metal, sıcaklık ve tuzluluk) stres faktörleri uygulandığında antioksidan aktivitesinde artış meydana geldiği saptanmıştır (Basile ve ark., 2011).

Örneklendirdiğimiz bitkiler dışında da antioksidan potansiyele sahip birçok briyofit bulunmaktadır (Mukhopadhyay ve ark., 2013; Vats ve Alam, 2013; Oyedapo ve ark., 2015). *In vitro* koşullarda çeşitli elisitörler kullanılarak briyofitlerin sekonder metabolitlerini arttırmaya

yönelik çalışmalar mevcuttur (Becker, 2009; Milošević ve ark., 2017). Son yıllarda özellikle yüksek antioksidan içeriğe sahip bazı briyofitlerin in vitro koşullarda üretimi gündeme gelmiştir. Hazer ve ark (2019) *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Gangulee'u in vitro koşullarda üretmiş, bu briyofit türünün zengin fenolik içeriğiyle önemli antioksidan kapasiteye sahip olduğunu bildirmiştir.

##### 5. Tartışma ve Sonuç

Briyofitlerin antioksidan kapasitelerine ait bazı bulgular bu derlemede özetlenmiştir. Bitkisel kaynaklı doğal antioksidanlar gıda, kozmetik, tıp vb. endüstrilerde sentetik antioksidanlar yerine alternatif oluşturabilmektedir. Doğal antioksidanlar kolay erişilebilirlik, düşük maliyet ve yan etkilerinin bulunmaması/az olması nedenleriyle tercih edilmektedir. Birçok bitki türünde doğal olarak bulunan antioksidanlar ROS'ların zararlı etkilerinin giderilmesinde önemli rol oynamaktadır. Doğal antioksidan kaynağı olarak geleneksel tıpta kullanılan Angiospermler ön planda olmasına rağmen, günümüzde farklı bitki kaynakları araştırılmaktadır. Yüksek adaptasyon yeteneği gösteren ve zengin sekonder metabolit içerikleri olan briyofitler güçlü antioksidan kaynakları olarak tıp, kozmetik, gıda başta olmak üzere çeşitli endüstri alanlarında kullanım potansiyeline sahiptirler. Antioksidan içeriklerinin tespiti ile bunların elde edilmesi ve artırılmasına yönelik daha kapsamlı ve büyük ölçekli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

##### Kaynaklar

Asakawa Y. 2004. Chemosystematics of the hepaticae. *Phytochemistry*. 65: 623-669.

Aslanbaba B. Yılmaz S. Yayıntaş Ö.T. Özyurt D. Öztürk B.D. 2017. Total phenol content and antioxidant activity of mosses from Yenice forest (İda mountain). *Journal of Scientific Perspectives*. 1:1, 1-12.

Basile A. Sorbo S. Conte B. Golia B. Montanari S. Castaldo Cobianchi R. Esposito S. 2011. Antioxidant activity in extracts from *Leptodictyum riparium* (Bryophyta), stressed by heavy metals, heat shock, and salinity. *Plant Biosystems*. 145:1, 77-80.

Becker, H. 2009. Bryophyte in vitro cultures, secondary products. *Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation, and Cell Technology*. Flickinger M. C (Editor) pp. 1-6.

Bhattarai H.D. Paudel B. Lee H.K. Oh H. Yim J.H. 2009. In vitro antioxidant capacities of two Benzonaphthoxanthones: ohioensins F and G, isolated from the

antarctic moss *Polytrichastrum alpinum*. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 64: 3-4, 197-200.

Carranza M.S.S. Linis V.C. Ragasa C.Y. Tan M.C.S. 2019. Chemical constituents and antioxidant potentials of seven Philippine mosses. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 23:6, 950-962.

Chandna R. Hakeem K.R. Ahmad P. 2012. Proteomic markers for oxidative stress: new tools for reactive oxygen species and photosynthesis research. Ahmad P, Prasad M.N.V (Editors) *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. Springer. New York.

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.

Chopra S. Wallace H.M. 1998. Induction of spermidine/ spermine N-1 acetyl transferase in human cancer cells in response to increased production of reactive oxygen species. *Biochemical Pharmacology*. 55: 1119-1123.

Christenhusz M.J.M. Byng J.W. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*. 261: 3, 201-217.

Dey A. De J.N. 2012. Antioxidative potential of bryophytes: stress tolerance and commercial perspectives: a review. *Pharmacologia*. 3:6, 151-159.

Erdağ A. Kürschner H. 2017. A reference list of Turkish bryophytes. The state of knowledge from 1829 until 2017. *Anatolian Bryology*. 3:2, 81-102.

Erşahin M. Özşavcı D. Şener A. Özakpınar Ö.B. Toklu H.Z. Akakin D. Yeğen B.Ç. 2013. Obestatin alleviates subarachnoid haemorrhage-induced oxidative injury in rats via its anti-apoptotic and antioxidant effects. *Brain Injury*. 27:10, 1181-1189.

Erturk O. Sahin H. Erturk E.Y. Hotaman H.E. Koz B. Oldemir O. 2015. The antimicrobial and antioxidant activities of extracts obtained from some moss species in Turkey. *Herba Polonica Journal*. 61:4, 52-65.

Ezer T. 2017. Contributions to the bryophyte flora of Turkey. *Acta Biologica Turcica*. 30:4, 128-133.

Gahtori D. Chaturvedi P. 2019. Bryophytes: A Potential Source of Antioxidants. In *Bryophytes*. IntechOpen.

Gaurav B. Rathore Kajal S. Shivom S. 2018. Phytochemical screening and total phenolic content in the extract of bryophyte *Plagiochasma appendiculatum*

- and *Dicranum scoparium*. Environment Conservation Journal. 19: 1-2, 175-181.
- Giri U. Kausar H. Athar M. 1999. Free radicals and oxidative stress in biological system. Environ Health. 1–16.
- Greeshma G.M. Manoj G.S. Murugan K. 2017. Insight into pharmaceutical importance of bryophytes. Kongunadu Research Journal. 4:2, 84-88.
- Greeshma G.M. Murugan K. 2018. Comparison of antimicrobial potentiality of the purified terpenoids from two moss species *Thuidium tamariscinum* (C. Muell.) Bosch. & Sande-Lac and *Brachythecium buchananii* (Hook.) A. Jaeger. J Anal Pharm Res. 7:5, 530-538.
- Habtemariam, S. 2019. Modulation of Reactive Oxygen Species in Health and Disease. Antioxidants. 8:11, 513.
- Hazer Y. Çölgeçen H. Koca-Çalışkan U. Uyar G. 2019. *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Gangulee in vitro Doku Kültürü, Fitokimyasal İçeriği, Biyolojik Aktivitesi. Karaelmas Science and Engineering Journal. 9:1, 142-151.
- Hu Y. Guo D.H. Liu P. Rahman K. Wang D.X. Wang B. 2009. Antioxidant effects of a *Rhodobryum roseum* extract and its active components in isoproterenol-induced myocardial injury in rats and cardiac myocytes against oxidative stress-triggered damage. Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences. 64: 1, 53-57.
- Hurrell R. 2003. Influence of vegetable protein sources on trace element and mineral bioavailability. Journal of Nutrition. 133: 9, 2973-2977.
- Ielpo M.T.L. Sole P.D. Basile A. Moscatiello V. Laghi E. Cobianchi R.C. Vuotto M. L. 1998. Antioxidant properties of *Lunularia cruciata* (Bryophyta) extract. Immunopharmacology and Immunotoxicology. 20: 4, 555-566.
- Kataria S. Baghel L. Jain M. Guruprasad K.N. 2019. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 18: 1-9.
- Krishnan R. Murugan K. 2013. In vitro anticancer properties of flavonoids extracted from cell suspension culture of *Marchantia linearis* Lehm & Lindenb.(Bryophyta) against SW 480 colon cancer cell lines. Indo American Journal of Pharmaceutical Research. 3: 12, 1427-1437.
- Kumar K. Singh K.K. Asthana A.K. Nath V. 2000. Ethnotherapeutics of Bryophyte *Plagiochasma appendiculatum* among the Gaddi Tribes of Kangra Valley, Himachal Pradesh, India. Pharmaceutical Biology. 38, 353–356.
- Manoj G.S. 2012. Screening of secondary metabolites from *Plagiochilla beddomei* Steph., *L. bowringii* Mitt. and *Octoblepharum albidum* Hedw. (Bryophytes) and their antioxidant and antimicrobial potentiality (Ph.D. thesis). Department of Botany. University College, Thiruvananthapuram, Kerala, India.
- Manoj G. S. Murugan K. 2012. Phenolic profiles, antimicrobial and antioxidant potentiality of methanolic extract of a liverwort, *Plagiochila beddomei*. Indian Journal of Natural Products and Resources. 3:2, 173-183.
- Milošević S. Vujičić M.M. Sabovljević M.S. Sabovljević A. D. 2017. Effect of ABA treatment on activities of antioxidative enzymes in selected bryophyte species. Botanica Serbica. 41:1, 11-15.
- Mishra S. Jha A.B. Dubey R.S. 2011. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings. Protoplasma. 248: 3, 565–577.
- Mishra R. Pandey V.K. Chandra R. 2014. Potential of bryophytes as therapeutics. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 5:9, 3584-3593.
- Mitra S. Manna A. Rai R. 2019. Phytochemical screening and in-vitro antioxidant potential of two ethnomedicinally important mosses of Dicranaceae from Darjeeling hills. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8: 1, 649-654.
- Mohandas G.G. Kumaraswamy M. 2018. Antioxidant activities of terpenoids from *Thuidium tamariscinum* (C. Muell.) Bosch. and Sande-Lac. A Moss. Pharmacognosy Journal. 10: 4, 645-649.
- Montenegro G. Portaluppi M.C. Salas F.A. Díaz M.F. 2009. Biological properties of the Chilean native moss *Sphagnum magellanicum*. Biological Research. 42: 2, 233-237.
- Mukhopadhyay S.T. Mitra S. Biswas A. Das N. Poddar-Sarkar M. 2013. Screening of antimicrobial and antioxidative potential of Eastern Himalayan mosses. Journal of Medicinal Plants. 3: 3, 422-428.
- Nobushiro S. Shai K. R Mittler. G Miller. 2012. ROS and redox signalling in the response

- of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ.* 35: 259–270.
- O'Brien J.A. Daudi A. Butt V.S. Bolwell G.P. 2012. Reactive oxygen species and their role in plant defence and cell wall metabolism. *Planta.* 236: 765–779.
- Oyedapo O.O. Makinde A.M. Ilesanmi G.M. Abimbola E.O. Akiwunmi K.F. Akinpelu B.A. 2015. Biological activities (anti-inflammatory and anti-oxidant) of fractions and methanolic extract of *Philonotis hastata* (Duby Wijk & Margadant). *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicine.* 12: 4, 50-55.
- Paciolla C. Tommasi F. 2003. The ascorbate system in two bryophytes: *Brachythecium velutinum* and *Marchantia polymorpha*. *Biologia plantarum.* 47: 3, 387-393.
- Sharma P. Jha A.B. Dubey R.S. Pessarakli M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany.*
- Pejin B. Bogdanovic-Pristov J. Pejin I. Sabovljevic M. 2013. Potential antioxidant activity of the moss *Bryum moravicum*. *Natural Product Research.* 27: 10, 900-902.
- Pizarro M. Contreras R.A. Köhler H. Zúñiga G.E. 2019. Desiccation tolerance in the Antarctic moss *Sanionia uncinata*. *Biological Research.* 52: 1, 46.
- Pourmorad F. Hosseinimehr S.J. Shahabimajd N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology.* 5: 11, 1142-1145.
- Provenzano F. Sánchez J.L. Rao E. Santonocito R. Ditta L.A. Borrás Linares I. ... & Segura-Carretero A. 2019. Water extract of *Cryphaea heteromalla* (Hedw.) D. Mohr bryophyte as a natural powerful source of biologically active compounds. *International Journal of Molecular Sciences.* 20: 22, 5560.
- Rajan S.S. Murugan K. 2010. Purification and kinetic characterization of the liverwort *Pallavicinia lyelli* (Hook.) S. Gray. cytosolic ascorbate peroxidase. *Plant Physiology and Biochemistry.* 48: 9, 758-763.
- Rasheed A. Azeed R.F.A. 2019. A Review on Natural Antioxidants. In *Traditional and Complementary Medicine.* IntechOpen.
- Saroya A.S. 2011. Herbalism, Phytochemistry, and Ethnopharmacology. Science Publishers. Punjab. pp. 286-293.
- Savaroğlu F. İşçen C.F. Vatan A.P.Ö. Kabadere S. İlhan S. Uyar R. 2011. Determination of antimicrobial and antiproliferative activities of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. *Turkish Journal of Biology.* 35: 3, 361-369.
- Sharma A. Slathia S. Gupta D. Handa N. Choudhary S.P. Langer A. Bhardwaj R. 2015. Antifungal and antioxidant profile of ethnomedicinally important liverworts (*Pellia endiviifolia* and *Plagiochasma appendiculatum*) used by indigenous tribes of district Reasi: North West Himalayas. *Proceedings of the National Academy of Sciences. India Section B: Biological Sciences.* 85: 2, 571-579.
- Singh M. Govindarajan R. Nath V. Rawat A.K.S. Mehrotra S. 2006. Antimicrobial, wound healing and antioxidant activity of *Plagiochasma appendiculatum* Lehm. et Lind. *Journal of Ethnopharmacology.* 107:1, 67-72.
- Srivastava S. Dubey R.S. 2011. Manganese-excess induces oxidative stress, lowers the pool of antioxidants and elevates activities of key antioxidative enzymes in rice seedlings. *Plant Growth Regulation.* 64: 1–16.
- Tanaka K. Takio S. Yamamoto I. Satoh T. 1998. Characterization of a cDNA encoding CuZn-superoxide dismutase from the liverwort *Marchantia paleacea* var. *diptera*. *Plant and cell physiology.* 39: 2, 235-240.
- Tonguc Yayintas O. Sogut O. Konyalioglu S. Yilmaz S. Tepeli B. 2017. Antioxidant activities and chemical composition of different extracts of mosses gathered from Turkey. *AgroLife Scientific Journal.* 6: 2, 205-213.
- Xie C.F. Lou H.X. 2009. Secondary metabolites in bryophytes: An ecological aspect. *Chemistry and Biodiversity.* 6: 3, 303-312.
- Varela Z. Debèn S. Saxena D.K. Aboal J.R. Fernández J.A. 2018. Levels of antioxidant compound glutathione in moss from industrial areas. *Atmosphere.* 9: 7, 284.
- Vats S. Alam A. 2013. Antioxidant activity of *Barbula javanica* Doz. Et Molk.: A relatively unexplored bryophyte. *Elixir Applied Botany.* 65: 3, 20103-20104.
- 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: 6, 1-10.



Yayintas O.T. Irkin L.C. 2018. Bryophytes as hidden treasure. Journal of Scientific Perspectives. 2: 1, 71-82.

Yayintas, O.T. Yilmaz S. Sökmen M. 2019. Determination of antioxidant,

antimicrobial and antitumor activity of bryophytes from Mount Ida (Canakkale, Turkey). Indian Journal of Traditional Knowledge. 18: 2, 395-401.