

Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp. Karayosununun Antimikrobiyal, Antibiyofilm ve Antioksidan Aktivitelerinin Araştırılması

Güray UYAR¹, Neslihan DEMİR², Nurcihan HACIOĞLU DOĞRU^{2*}

¹Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Çanakkale

*Sorumlu Yazar: nurcihan.n@gmail.com

Geliş Tarihi: 06.09.2022 Düzeltme Geliş Tarihi: 08.06.2023 Kabul Tarihi: 08.06.2023

ÖZ

Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp., Dicranaceae familyası üyesi; Avrupa, Asya, Kuzey Amerika ve Afrika gibi çeşitli bölgelerde yayılış gösteren bir karayosunudur. Bu çalışmada, *D. pellucidum* karayosununun dört farklı ekstraktının (etanol, metanol, aseton ve etil asetat) antimikrobiyal, antibiyofilm ve antioksidan potansiyelleri araştırılmıştır. Antimikrobiyal aktiviteyi değerlendirmek için disk difüzyon, minimum inhibitör konsantrasyon, ve minimum bakterisidal konsantrasyon testleri yapılmıştır. Karayosunu ekstraktlarının biyofilm oluşumu (antibiyofilm) üzerine etkileri, mikropilaka biyofilm metoduna göre değerlendirilmiştir. Ekstraktların antioksidan aktiviteleri serbest radikal temizleme yöntemi olarak 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ve CUPRAC kullanılarak ölçülmüştür. Karayosunu ekstraktları bakteriler için 8.0-16.0 mm, maya kültürü için 8.0-13.0 mm arasında değişen inhibisyon zonlarıyla tüm test mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. En yüksek antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivite *Bacillus subtilis* ATCC 6633 bakterisine karşı etil asetat ekstraktında saptanmıştır. Metanol çözünenin diğer çözücülerden daha etkili antioksidan aktivite sergilediği gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, *D. pellucidum* yüksek potansiyelinden dolayı doğal antimikrobiyal ve antioksidan ajan araştırmalarında ve biyofilm kontrolünde tercih edilebileceğini kanıtlamıştır. Bu çalışma, *D. pellucidum* biyoaktivitesi için ilk rapordur. Bu yaklaşım aynı zamanda medikal kullanım veya ilaç araştırma geliştirmeleri için yeni araştırmalara izin verebilir.

Anahtar kelimeler: *Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp., ekstrakt, antagonistik aktivite, biyofilm

Investigation of Antimicrobial, Antibiofilm and Antioxidant Activities *Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp

ABSTRACT

Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp. is a moss species belonging to the family Dicranaceae. It is distributed in various regions around the world, including Europe, Asia, North America, and Africa. In this study, antimicrobial, antibiofilm and antioxidant potentials four extracts (ethanol, methanol, acetone and ethyl acetate) of *D. pellucidum* were investigated. Disc diffusion, minimum inhibitory concentration, and minimum bactericidal concentration tests were performed to evaluate the antimicrobial activities. The effects of moss extracts on biofilm formation (antibiofilm) were evaluated based on crystal violet binding assay. The antioxidant activity of the extracts were measured by using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) as a free radical scavenging method. The extracts of the moss have exhibited antimicrobial activity against all tested microorganisms with inhibition zones ranged from 8.0 to 16.0 mm for bacteria, 8.0 to 13.0 mm for the yeast culture. The highest antimicrobial and antibiofilm activity was achieved in ethyl acetate extract against the bacterium *B. subtilis* ATCC 6633. It was observed that the methanol solvent exhibited an effective antioxidant activity than other solvents. Obtained findings proved that the *D. pellucidum* frequently preferred in the investigation of natural antimicrobial and antioxidant agents and could be preferred for surveys of biofilm

control due to their high potentials. This is the first report on the bioactivities of *D. pellucidum*. This approach may also allow new kind of research in medicinal usage or development of drug research.

Key words: *Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp., extract, antagonistic activity, biofilm.

GİRİŞ

1920’li yıllarda keşfedildiği günden bugüne yoğun kullanım oranı antibiyotiklere karşı direnci de beraberinde getirmiştir. Bu durum enfeksiyonların tedavisinde yeni antimikrobiyal maddeler ve türevlerinin araştırılmasını önemli kılmıştır. Doğal antimikrobiyal maddelerin en önemli kaynakları arasında bakteriler, funguslar ve yüksek bitkiler yer alırken, yüzyıllardır yara iyileştirme ve enfeksiyon riskini azaltma gibi amaçlarla kullanılan karayosunlarının yeni antibiyotik kaynağı olarak yeterince değerlendirilmediği bilinmektedir (Basile ve ark., 1999; Sawant, 2010). Oligosakkarit, polisakkarit, alkol, aminoasit, yağ asitleri, alifatik bileşikler, fenilkinon, aromatik ve fenolik maddeler gibi biyoaktif bileşenleri karayosunlarını çevresel zararlılara (böcek larva, fungus, bakteri vb.) karşı koruması sebebiyle tıbbi açıdan bu grubun araştırılmasını da gerekli kılmaktadır (Kang, 2007; Altuner, 2008; Canlı ve ark., 2015).

Karayosunlarının antibakteriyel (Van ve ark., 1981; Singh ve ark., 2006), antifungal (Wu ve ark., 2008; Cheng ve ark., 2009), antiviral (Van ve ark., 1981; Singh ve ark., 2006), antioksidan (Dey ve De, 2012), antiinflamatuvar (Ivanova ve ark., 2007) ve antikanser (Lee, 1999; Dholwani ve ark., 2008; Dey ve Mukherjee, 2015) aktiviteye sahip farmakolojik olarak önemli bileşenler içerdiklerini ortaya koyan pek çok araştırma mevcuttur. Bu nedenle tıp, biyoteknoloji, farmasötik endüstrisi gibi pek çok alanda karayosunlarının doğal tıbbi kaynaklar olarak kullanımları oldukça önemlidir.

Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp. karayosunu, dere ve nehir kenarlarındaki çakıllı ve kumlu topraklarda ve nemli kum tepeliklerinde, nadiren de kireçli otlaklarda yayılış gösteren (Smith, 2004) bir tür olup; literatür araştırmaları, bu türün şimdiye kadar herhangi bir biyolojik aktivite çalışmasına konu olmadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada amacımız, *D. pellucidum* karayosununun ilk kez toplam flavanoid ve fenolik madde bileşenleriyle birlikte antimikrobiyal, antibiyofilm ve antioksidan aktivitelerini ortaya koymak ve terapötik madde olma potansiyelinin aydınlatılmasına katkı sağlamaktır.

MATERYAL ve METOT

Karayosunu Materyalinin Toplanması

Araştırma materyali Sakarya, Akyazı, 40° 35’ 09” K, 30° 33’ 11” D, 750 m’den Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Öğretim Üyesi Prof. Dr. Güray UYAR tarafından 24.08.2017 tarihinde toplanmış olup; türün teşhisi yine aynı Öğretim Üyesi tarafından henüz basılı bir Türkiye Briyofit Florası olmadığı için çeşitli ülkelere ait flora eserlerinden faydalanılarak yapılmıştır (Nyholm, 1986, 1989, 1993, 1998; Smith, 2004).

Karayosunu Ekstresinin Hazırlanışı

Oda sıcaklığında kurutulan test materyali (15 g) mekanik parçalayıcıyla parçalanmış ve Soksilet cihazında 12 saat süreyle farklı polariteye sahip etanol, metanol, aseton ve etil asetat çözümleri ile ekstrakte edilmiştir (Khan ve ark., 1988). Evaporatör ile çözümler uçurulduktan sonra bitki ekstraktı dimetil sülfoksit (DMSO) ile çözülerek biyolojik aktivite çalışmalarına hazır hale getirilmiştir.

Toplam Flavonoid ve Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Ekstraktların toplam flavonoid madde miktarı, Matejić ve ark. (2013)’nin geliştirdiği yöntemle göre belirlenmiştir. Toplam flavonoid madde miktarı standart olarak kullanılan mg kuersetin eşdeğeri (KE)/g ekstrakt olarak hesaplanmıştır.

Ekstraktların toplam fenolik bileşik miktarı Folin-Ciocalteu ayırıcı ile Slinkard ve Singleton (1977)’un geliştirdiği metoda göre tayin edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı standart olarak kullanılan mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g ekstrakt olarak hesaplanmıştır.

Ekstraktların Antimikrobiyal ve Antibiyofilm Aktivitelerinin Belirlenmesi

Escherichia coli NRRL B-3704, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 bakterileri ile *Candida albicans* ATCC 10231 maya kültürü ekstraktların antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivitelerinin saptanması için kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivite disk difüzyon (Bauer, 1966) ve mikrodilüsyon [minimum inhibisyon konsantrasyon (MİK) ve minimum mikrobisidal konsantrasyon (MBK)] (Wikler, 2006) metotları kullanılarak; antibiyofilm aktiviteleri ise MİK ve MİK altı konsantrasyonda mikropilaka biyofilm metodu (Merritt ve ark., 2005) ile saptanmıştır.

Antioksidan Aktivite Tayini**Serbest Radikal Giderme Aktivitesi (DPPH) Tayini**

DPPH tayini Blois (1958) metoduna göre 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikali kullanılarak yapılmıştır. Taze olarak hazırlanan DPPH çözeltisinden örnekler 0.5 mL eklenerek karanlık ortamda oda sıcaklığında 30 dk. bekletildikten sonra spektrofotometrede 517 nm’de örneklerin absorbanları köre karşı ölçülmüştür. Pozitif kontrol olarak bütül hidroksi toluen (BHT) kullanılmıştır. Her örneğin radikal giderme aktivitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmış, sonuçlar % inhibisyon olarak belirlenmiştir.

$$\text{İnhibisyon (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A₀: Ekstrakt veya standart içermeyen kontrol absorbanı; A₁: Ekstrakt veya standart absorbanı

Cu (II) İyonu İndirgeyici Antioksidan Kapasite (CUPRAC) Belirleme Tayini

CUPRAC yöntemi Apak ve ark. (2005) tarafından belirtilen metoda göre yapılmıştır.

Veri Analizi

Tüm denemeler üç tekrarlı çalışılmıştır. Antioksidan değerleri ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. Verilerin tanımlayıcı istatistikleri MINITAB Statistical Software 13.20 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA**Toplam Flavanoid ve Fenolik Madde Bileşenleri**

D. pellucidum karayosununun 4 farklı ekstraktından en yüksek toplam flavonoid ve fenolik madde içerikleri sırasıyla 4.15 ± 0.11mg KE/g ve 32.87 ± 2.13mg GAE/g olarak metanol ekstraktında bulunmuştur (Çizelge 1). Çalışmamızda tespit ettiğimiz flavonoid ve fenolik madde içerikleri daha önce farklı karayosunlarından elde edilen içeriklerle korelasyon göstermektedir (Basile ve ark., 1999; Dülger ve ark., 2009; Ertürk ve ark., 2015; Onbaşlı ve Yuvalı, 2021).

Çizelge 1. *D. pellucidum* ekstraktlarının toplam flavonoid ve fenolik madde içerikleri

Ekstrakt	Toplam flavonoid madde (mg KE/g Ekstrakt)	Toplam fenolik madde (mg GAE/g Ekstrakt)
E1	469.434.06 ± 0.09	17.18 ± 1.65
E2	4.15 ± 0.11	32.87 ± 2.13
E3	3.98 ± 0.04	18.65 ± 1.56
E4	4.02 ± 0.02	15.62 ± 0.84

E1: Etanol; E2: Metanol; E3: Aseton; E4: Etil asetat; KE: Kuersetin; GAE: Gallik asit

Antimikrobiyal ve Antibiyofilm Sonuçları

Ekstraktların test mikroorganizmaları üzerine antimikrobiyal aktivite bulguları Çizelge 2’de verilmiştir. Ekstraktların test kültürlerine karşı 8.0-16.0 mm aralığında antagonistik aktiviteleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, *B. subtilis* ATCC 6633 bakterisine karşı etil asetat; *P. aeruginosa* ATCC 27853 test bakterisine karşı ise tüm ekstraktların mukayese antibiyotiği Penisilinden (P10)’den yüksek antibakteriyel etki gösterdiği saptanmıştır. MİK değerleri ise test bakterilerine karşı 10.0 – 20.0 µg/mL ve *C. albicans* ATCC 10231 maya kültürüne karşı 5.0 – 20.0 µg/mL aralığında değişmekle birlikte hiçbir MİK değerinin mukayese antibiyotiklerinin MİK değerlerinden yüksek olmadığı da belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen MBK değerleri ise tüm test mikroorganizmalarına karşı 20.0 µg/mL olarak belirlenmiştir.

Karayosununun etanol, metanol, aseton ve etil asetat ekstraktlarından elde edilen MİK değerlerinden yola çıkılarak MİK ve MİK altı değerlerde konsantrasyonlar ayarlanmış ve biyofilm üretim miktarlarındaki azalma biyofilm giderim yüzdesi olarak Çizelge 3’de verilmiştir. Tüm ekstraktların MİK ve MİK/2 değerlerinde antibiyofilm aktivitesi saptanmış ve en yüksek oranın *B. subtilis* ATCC 6633 bakterisine karşı elde edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 2. *D. pellucidum* ekstraktlarının disk difüzyon, MİK ve MBK değerleri

Mikroorganizmalar	*Disk Difüzyon ^a				MİK				MBK							
	E1	E2	E3	E4	Kontrol		Kontrol		Kontrol		Kontrol					
					P 10	NY100	E1	E2	E3	E4	ST	NY100	E1	E2	E3	E4
<i>E. coli</i> NRRL B-3704	11.0	9.0	10.0	13.0	16.0	-	10.0	20.0	10.0	10.0	4.0	-	20.0	20.0	20.0	20.0
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	10.0	12.0	11.0	10.0	8.0	-	10.0	10.0	10.0	10.0	1.0	-	20.0	20.0	20.0	20.0
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	11.0	9.0	11.0	16.0	14.0	-	10.0	10.0	10.0	10.0	4.0	-	20.0	20.0	20.0	20.0
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	9.0	10.0	11.0	13.0	15.0	-	20.0	20.0	10.0	10.0	4.0	-	20.0	20.0	20.0	20.0
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	10.0	8.0	12.0	13.0	-	16.0	5.0	20.0	5.0	5.0	-	2.5	20.0	20.0	20.0	20.0

E1: Etanol; E2: Metanol; E3: Aseton; E4: Etil asetat; *Inhibisyon zonu (mm); a disk çapı (6 mm); P10 = Penisilin (10 ug/disc); NY100: Nistatin; ST: Streptomisin; -: Denenmedi

Çizelge 3. *D. pellucidum* karayosunu ekstraktlarının antibiyofilm (% inhibisyon) aktivitesi

Konsantrasyon (µg/mL)	Test Mikroorganizmaları																			
	<i>E. coli</i> NRRLB 3704				<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853				<i>B. subtilis</i> ATCC 6633				<i>S. aureus</i> ATCC 6538P				<i>C. albicans</i> ATCC 10231			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
MİK	66.44	67.12	65.10	72.04	60.09	87.65	76.05	77.06	85.04	87.4.2	85.04	90.03	76.65	75.04	77.08	72.16±1.	79.82	65.03	72.04	75.12
	±2.33	±1.22	±2.22	±0.21	±2.12	±3.14	±2.24	±0.32	±2.14	2±1.24	±0.15	±0.01	±5.45	±3.12	±2.14	14	±1.12	±1.4	±1.21	±1.02
MİK/2	49.45	48.09	54.03	55.04	75.33	65.05	68.07	67.04	70.01	53.56±	62.23	65.12	44.16	55.78	43.26	45.04±1.	68.67	56.87	44.18	52.04
	±1.23	±0	±0.21	±0.14	±5.67	±0.45	±2.25	±1.24	±0.10	4.22	±0.12	±1.25	±1.76	±1.23	±1.43	24	±2.56	±2.33	±1.54	±2.12
MİK/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.98	-	-	-	-	-	-	-
													±1.20							
MİK/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.62	-	-	-	-	-	-	-
													±2.11							

Karayosunlarının ham ekstraktlarının hipnojenoller, biflavonoidler ve dihidroflavonoller polisiklik aromatik hidrokarbon, biflavonoidler ve hidroksi flavonoidler içerdikleri ve bu içeriklerin mikrobiyal enfeksiyonlara bitkilerdeki önemli yanıtlardan oldukları pek çok araştırmada bildirilmiştir (Sievers ve ark., 1994; Basile ve ark., 1999; Dülger ve ark., 2009; Ertürk ve ark., 2015). Antimikrobiyal aktivite muhtemelen hücre dışı ve çözünebilir olan bu proteinlerin bakteriyel hücre duvarları ile kompleksleşme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle lipofilik flavonoidlerin mikrobiyal membranları bozabildiği bilinmektedir (Basile ve ark., 1999). Dolayısıyla çalışmamızda tüm test mikroorganizmalarına karşı önemli derecede antimikrobiyal aktivite tespit edilmiş olması karayosunu örneğinin içerdiği flavanoid ile ilişkilendirilebilir. Farklı araştırmacılarca yapılan çalışmalarda farklı karayosunu türlerinin genellikle antifungal aktivitelerinin güçlü olduğu bildirilmiştir (Veljić ve ark., 2008; Ertürk ve ark., 2015). Bununla birlikte, Dülger ve ark. (2009), *Anomodon viticulosus*, *Polytrichostrom formosum*, *Plasteurhynchium meridionale* ve *Ctenidium molluscum* karayosunlarından özellikle *P. meridionale* ve *A. viticulosus* türlerinin bakteri, maya ve küf gruplarından tüm test mikroorganizmalarına karşı antagonistik etkilerini saptamışlardır. Çalışmamızda elde edilen antimikrobiyal aktivite bulgularının Dülger ve ark. (2009) tarafından elde edilen verilerle benzerlik gösterdiği ve bu antagonistik etkinin geniş kapsamlı olmasının karayosununun coğrafi özellikleri ve ekstraksiyonda kullanılan çözügen çeşitliliği ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Doğal kaynaklardan elde edilen pek çok antimikrobiyal ajanın aynı zamanda mikrobiyal biyofilm oluşumunu da engellediği bilinmektedir. Özellikle mevcut antibiyotiklere karşı, biyofilm oluşturan mikroorganizmaların planktonik olanlara nazaran yüksek direnç göstermesi, araştırmacıları antibiyofilm özellikte olan yeni doğal antibiyotik kaynaklarının saptanmasına yönlendirmektedir (Karaca ve ark., 2017). Karayosunlarının doğal antibiyofilm özellikte terapötik maddeler olabilir potansiyellerinin tarandığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Onbaşlı ve Yuvalı (2021), *Bryum capillare* türünün *S. aureus*, *S. epidermidis* ve *C. albicans* test kültürlerine karşı biyofilm giderme yüzdelerini araştırdıkları çalışmalarında sadece *S. epidermidis* ATCC 12228 bakterisine karşı %3-5 oranında giderim yüzdesi tespit etmişlerdir. *D. pellucidum* karayosununda ise tüm test kültürlerine karşı antibiyofilm ilaç olma potansiyeli bakımından ümit veren sonuçlar elde edilmiştir.

Antioksidan Aktivite Sonuçları

Çalışmada *D. pellucidum* karayosununun altı farklı konsantrasyondaki (100, 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg/mL) antioksidan aktiviteleri, 517 nm'de absorbans değerleri ölçülerek hesaplanmıştır. Çalışmada serbest radikal giderme aktivitesinin konsantrasyona bağlı olarak arttığı tespit edilmiş ve en yüksek DPPH inhibisyonu 1000 µg/mL konsantrasyonunda %72.96 olarak metanol ekstraktında görülmüştür. Sırası ile BHT>Metanol>Aseton>Etil Asetat>Etanol ekstraktları DPPH antioksidan aktivitesi sergilemişlerdir (Çizelge 4).

Çizelge 4. *D. pellucidum* Karayosununun DPPH yöntemi ile serbest radikal giderme aktivitesi (% inhibisyon±SH)

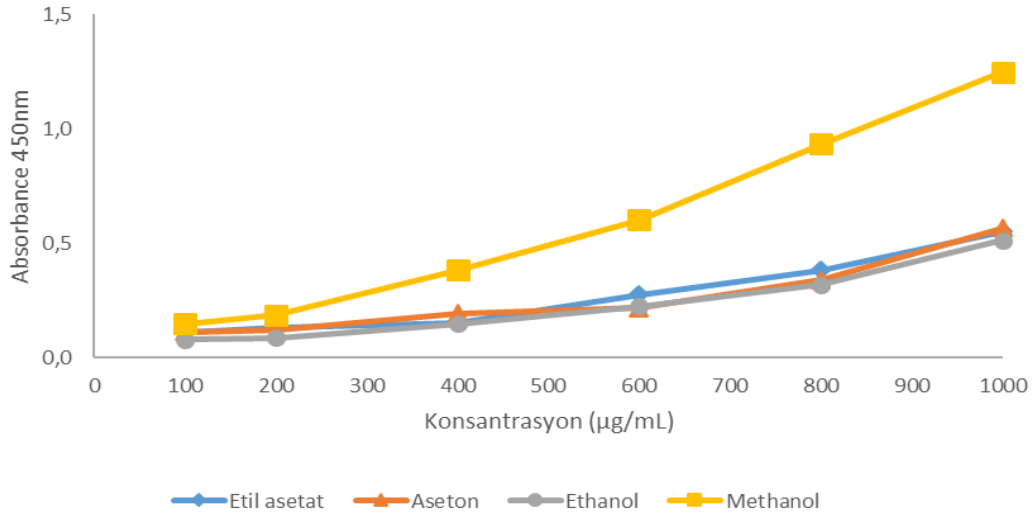
Konsantrasyon (µg/mL)	E1	E2	E3	E4	BHT
100	46.12±0.90	60.50±1.52	47.75±0.18	47.56±1.60	61.12±2.34
200	46.98±0.25	62.99±0.53	47.84±0.71	48.03±0.69	64.37±1.98
400	47.46±0.85	63.57±1.33	51.87±0.58	48.42±1.58	71.49±1.64
600	47.84±0.93	69.80±1.06	54.65±1.55	52.16±0.57	73.90±0.99
800	49.28±0.74	74.30±0.84	56.28±2.03	53.50±0.96	75.14±2.17
1000	49.76±0.63	72.96±1.57	60.21±1.42	53.69±0.88	85.44±2.87

E1: Etanol; E2: Metanol; E3: Aseton; E4: Etil asetat

Ekstraktların CUPRAC etkisine baktığımızda da metanol ekstraktının diğer ekstraktlardan çok daha yüksek antioksidan etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Etil asetat, aseton ve etanol ekstraktlarının 200 µg/mL'den sonra konsantrasyon artışına bağlı olarak antioksidan aktivitelerinin yükseldiği görülmüştür (Şekil 1). *D. pellucidum* karayosununun yüksek DPPH ve CUPRAC aktiviteleri bu karayosununun güçlü serbest radikal süpürücü aktivitesini ortaya koymaktadır.

Karayosunlarının içerdiği polifenoller ve flavonoidler aynı zamanda antioksidan aktiviteden de sorumlu ana bileşenlerdir (Ertürk ve ark., 2015). *D. pellucidum*'un antioksidan aktivitesi hakkında herhangi bir araştırma saptanamazken farklı karayosunlarıyla yapılan pek çok çalışma mevcuttur (Dey and De, 2012; Ertürk ve ark., 2015; Gahtori ve Chaturvedi, 2019; Onbaşlı ve ark., 2019; Onbaşlı ve Yuvalı, 2021). *Dicranum scoparium* ve

Porella platyphylla taksonları ile yapılan DPPH radikal giderme aktivitesi çalışmasında *D. scoparium* türünün içerdiği polifenolik bileşikler miktarına bağlı olarak daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu görülmüştür (Aydın, 2020).



Şekil 1. *D. pellucidum* ekstraktlarının Cu (II) iyonu indirgeyici antioksidan kapasitesi

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde tıbbi bitkilerin aksine karayosunları, sistematik, ekolojik vb. çalışma alanlarına kıyasla sınırlı ölçüde biyolojik aktiviteleri araştırılmış önemli bir taksondur (Dülger ve ark., 2009; Uyar ve ark., 2016; Ballı ve ark., 2018; Keskin ve Uyar, 2019; Canoğlu ve ark., 2019; Çöteli ve ark., 2019). Çalışmamıza konu alan *D. pellucidum* türü ile ilgili ise sistematik çalışmalar (Uyar ve ark., 2020) haricinde antimikrobiyal, antibiyofilm ve antioksidan aktivite gibi ilaç hammaddesi olma potansiyelinin ortaya konduğu çalışmalara dair literatür tespit edilememiştir. Bu sebeple araştırmamız bu türün fitokimyasal, antimikrobiyal ve antibiyofilm ile antioksidan aktivitelerinin ortaya konduğu ilk araştırma olma özelliği taşımaktadır. Sonuçlar, antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivite bakımından tüm ekstraktların, antioksidan aktivite bakımından ise özellikle metanol ekstraktının daha ileri biyolojik aktivite çalışmaları için önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu karayosununun insan, hayvan ve bitki hastalıkları için doğal bir antioksidan ve antimikrobiyal ajan olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Altuner, E.M. 2008. Bazı karayosunu türlerinin antimikrobiyal aktivitesinin belirlenmesi, Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Karademir, S. E. N., ve Altun, M. 2005. Total antioxidant capacity assay of human serum using copper (II)-neocuproine as chromogenic oxidant: the CUPRAC method. *Free Radical Research*, 39(9): 949-961.
- Aydın, S. 2020. The free radical scavenging activities of biochemical compounds of *Dicranum scoparium* and *Porella platyphylla*. *Anatolian Bryology*, 6(1): 19-26.
- Ballı, D.Z., Ezer, T., Ünal, T.B. ve İşlek, C. 2018. *Plagiomnium undulatum* (Bryophyta) ekstraktlarının *Sinapis arvensis*'in fide gelişimi üzerine etkileri. *Anatolian Bryology*. 4(2): 84–91.
- Basile, A., Giordano, S., Saez, J.A.L. ve Cobianchi, R.C. 1999. Antibacterial activity of pure flavonoids isolated from mosses. *Phytochemistry*, 52: 1479-1482.
- Bauer, A.W., Kirby, W.M., Sherris, J.C. ve Turck, M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45: 493-496.

- Blois, M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a free radical. *Nature*, 181: 1199- 1200.
- Canlı, K., Altuner, E.M. ve Akata, I. 2015. Antimicrobial screening of *Mnium stellare*. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 10: 321-325.
- Canoğlu, B., Başbülbül, F. ve Kırmacı M. 2019. Determination of antibacterial activities of *Sphagnum centrale* C.E.O. Jensen and *S. nemoreum* Scop. which are naturally growing in Turkey. *Anatolian Bryology*, 5(2): 100-106.
- Cheng, A., Sun, L., Wu, X. ve Lou, H. 2009. The inhibitory effect of a macrocyclic bisbibenzyl riccardin D on the biofilms of *Candida albicans*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 32(8): 1417-1421.
- Çöteli, E., Alataş, M., Batan, N. ve Hazer, Y. 2019. Bazı Bryaceae (Bryophyta) türlerinin glutatyon içeriklerinin karşılaştırılması. *Anatolian Bryology*. 5(1): 15–21.
- Dey, A. ve De, J.N. 2012. Antioxidative potential of bryophytes: stress tolerance and commercial perspectives: a review. *Pharmacology*, 3(6): 151-9.
- Dey, A., ve Mukherjee, A. 2015. Therapeutic potential of bryophytes and derived compounds against cancer. *Journal of Acute Disease*, 4(3): 236–248
- Dholwani, K.K., Saluja, A.K., Gupta, A.R. ve Shah, D.R. 2008. A review on plant-derived natural products and their analogs with anti-tumor activity. *Indian Journal of Pharmacology*, 40(2): 49-58.
- Dülger, B., Hacıoğlu, N. ve Uyar, G. 2009. Evaluation of antimicrobial activity of some mosses from Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 21(5): 4093-4096.
- Ertürk, Ö., Şahin, H., Ertürk, E., Hotaman, H.E., Koz, B. ve Özdemir, Ö. 2015. The antimicrobial and antioxidant activities of extracts obtained from some moss species in Turkey. *Herba Polonica*, 61(4):52-65.
- Gahtori, D. ve Chaturvedi, P. 2019. Bryophytes: A Potential Source of Antioxidants. In Bryophytes. IntechOpen.
- Ivanova, V., Kolarova, M., Aleksieva, K., Dornberger, K.J., Haertl, A. ve Moellmann, U. 2007. Sanionins: anti-inflammatory and antibacterial agents with weak cytotoxicity from the Antarctic moss *Sanionia georgico-uncinata*. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 37(4): 343-52.
- Kang, S.J., Kim, S.H., Liu, P., Jovel, E. ve Towers, G.H.N. 2007. Antibacterial activities of some mosses including *Hylocomium splendens* from South western British Columbia. *Fitoterapia*, 78(5): 373-376.
- Karaca, B., Akata, I., Çöleri Cihan, A. 2017. *Lentinus edodes*, *Lactarius deliciosus* ve *Ganoderma lucidum*'ün antibiyofilm ve antimikrobiyal etkinlikleri. *Kastamonu Univ., Orman Fakültesi Dergisi*,17(4): 660-668.
- Keskin, N.O. ve Uyar, G. 2019. Methylene blue dye removal using *Sphagnum palustre* L. Bog-moss as a reusable biosorbent. *Anatolian Bryology*. 5(1): 1–7.
- Khan, N.H., Rahman, M. ve Nur-e-Kamal, M.S.A. 1988. Antibacterial activity of *Euphorbia thymifolia* Linn. *The Indian Journal of Medical Research*, 87(4): 395–397.
- Lee, K.H. 1999. Anticancer drug design based on plant-derived natural products. *Journal of Biomedical Science*, 6(4): 236-50.
- Matejić, J.S., Džamić, A.M., Mihajilov-Krstev, T.M., Randelović, V.N., Krivošej, Z.Đ. ve Marin, P.D. 2013. Total phenolic and flavonoid content, antioxidant and antimicrobial activity of extracts from *Tordylium maximum*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(1): 55-59.
- Merritt, J.H., Kadouri, D.E. ve O'Toole, G.A. 2005. Growing and analyzing static biofilms. *Current Protocols in Microbiology*, 1(1B):1-17.
- Nyholm, E. 1986. Illustrated flora of Nordic mosses, Fasc. 1. Fissidentaceae - Seligeriaceae, 1-72, The Nordic Bryological Society, Lund.
- Nyholm, E. 1989. Illustrated flora of Nordic mosses, Fasc. 2. Pottiaceae – Splachnaceae -Schistostegaceae, 75-141, The Nordic Bryological Society, Lund.
- Nyholm, E. 1993. Illustrated Flora of Nordic mosses, Fasc. 3. Bryaceae - Rhodobryaceae Mniaceae – Cinclidiaceae - Plagiomniaceae. 145-244, The Nordic Bryological Society, Lund.
- Nyholm, E. 1998. Illustrated flora of Nordic mosses, Fasc. 4. Aulacomniaceae – Meesiaceae –Catocopiaceae – Bartramiaceae – Timmiaceae – Encalyptaceae – Grimmiaceae Ptychomitriaceae – Hedwigiaceae - Orthotrichaceae. 145-244, The Nordic Bryological Society, Lund.
- Onbaşı, D., Yuvalı, G., Celik, G., Altuner, E.M. ve Aslim, B., 2019. Investigation of pharmacological properties of bryophyte *Hypnum andoi* from Turkey. *Int. Pharm. Nat. Med.* 7(1): 10-14.
- Onbaşı, D. ve Yuvalı, G. (2021). In vitro medicinal potentials of *Bryum capillare*, a moss sample, from Turkey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28:478-483.
- Sawant, U.J. ve Karadge, B.A. 2010. Antimicrobial activity of some bryophytes (Liverworts and a Hornwort) from Kolhapur District. *Pharmacognosy Journal*, 2 (16): 29-32.

- Singh, M., Govindarajan, R., Nath, V., Rawat, A.K. ve Mehrotra, S. 2006. Antimicrobial, wound healing and antioxidant activity of *Plagiochasma appendiculatum* Lehm. et Lind. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(1): 67-72.
- Sievers, H., Burkhardt, G., Becker, H. ve Zinsmeister, H.D. 1994. Further biflavonoids and 3'-phenylflavonoids from *Hypnum cupressiforme*. *Phytochemistry*, 35(3): 795-798.
- Slinkard, K. ve Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1): 49-55.
- Smith, A.J.E. 2004. The moss flora of Britain and Ireland. Second Edition, ISBN: 0-52181640- 8, 1012 pp, Cambridge University Press, Cambridge.
- Uyar, G., Hacıoğlu Doğru, N., Ören, M ve Çavuş, A. 2016. Determining antibacterial activity of some mosses (*Cinclidotus riparius* (Host ex Brid.) Arn., *Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske, *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Gangulee, *Leucobryum juniperoideum* (Brid.) Müll. Hal., *Cirriphyllum crassinervium* (Taylor) Loeske & M.Fleisch.), *Anatolian Bryology*, 2(1-2):1-8.
- Uyar, G., Ören, M. Ve Alataş, M. 2020. The bryophyte flora of Akyazı, Arifiye, Geyve, Karapürçek districts (Sakarya, Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 13(1): 27-43.
- Van Hoof, L.D., Vanden Berghe, D.A., Petit, E. ve Vlietnick, A.J. 1981. Anti microbial and antiviral screening of bryophyta. *Fitoterapia*, 52(5): 223-229.
- Veljić, M., Tarbuk, M., Marin, P.D., Ćirić, A., Soković, M. ve Marin, M. 2008. Antimicrobial activity of methanol extracts of some genuine mosses from Serbia. *Pharmac Biol*, 46(12): 871-875.
- Wikler, M.A. 2006. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. *Clinic Lab stand Ins*, 61-64.
- Wu, X.Z., Cheng, A.X., Sun, L.M. ve Lou, H.X. 2008. Effect of plagiochin E, an antifungal macrocyclic bis(bibenzyl), on cell wall chitin synthesis in *Candida albicans*. *Acta Pharmacol Sin*, 29(12): 1478-85.