

مروری بر خدمات اکوسیستم خزوها

محدثه مقصودی^۱، حمید اجتهادی^{۱*}، امید اسماعیل‌زاده^۲ و حبیب زارع^۳

^۱ ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی.

^۲ ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، گروه علوم و مهندسی جنگل.

^۳ ایران، نوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، باغ گیاه‌شناسی نوشهر.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳

چکیده

خزوها یکی از مهم‌ترین اجزای محیط‌زیست نقش مهمی در ارائه خدمات اکوسیستمی (Ecosystem Services) شامل: تأمین (Provisioning)، تنظیمی (Regulating)، حمایتی (Supporting) و فرهنگی (Cultural) ایفا می‌کنند. از تمامی پایگاه داده برای دریافت و جست‌وجو منابع استفاده کردیم. به‌طورکلی خدمات اکوسیستم خزوها را می‌توان از قبیل: خدمات حمایتی شامل: تشکیل و کنترل فرسایش خاک، تأمین زیستگاه موجودات، مؤثر در چرخه مواد غذایی و آب، تجزیه کربن و نشانه تغییر آب و هوا، تثبیت نیتروژن، احیای و بازسازی زیستگاه با استعمار زیراشکوب پس از رخداد وقایع طبیعی، تسهیل جوانه‌زنی گیاهچه سایر گروه‌های گیاهی، همزیستی میکوریزایی و افزایش فعالیت میکروبی جهت حاصلخیزی خاک؛ خدمات تنظیمی نظیر: مؤثر در چرخه آب، کاربردهای زیست‌محیطی در مطالعات آلودگی و شاخص‌های زیستی فلزات سنگین در هوا، کنترل آفات و بیماری‌ها، گونه‌های شاخص اکوسیستم، حفاظت از خاک، کاهندگی اثرات اشعه UV-B، زیست-شاخص‌های محیط‌های خشکی و آبی؛ تأمین خدمات تأمینی و فرهنگی مانند: سوخت، مواد سازنده اثاثیه، لباس، ساخت و ساز، وسایل بسته‌بندی، داروها و سایر فعال‌های بیولوژیکی، دارای خواص ضدتومور، ایجاد بام‌های سبز و باغ‌های خزهای، باغبانی و مهندسی ژنتیک نام برد. نتیجه این بررسی می‌تواند در حفاظت، بازسازی و نگهداری اکوسیستم و محیط‌زیست استفاده شود عمل کند.

واژه‌های کلیدی: خدمات تأمینی، خدمات تنظیمی، خدمات حمایتی، خدمات فرهنگی، خزوها

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: hejtehadi@um.ac.ir

مقدمه

(Supporting) و فرهنگی (Cultural) تقسیم کرد (Balvanera *et al.*, 2017). ظرفیت اکوسیستم برای ارائه کالاها و خدمات به جامعه انسانی به طور مستقیم با تنوع‌زیستی مرتبط است (Mori *et al.*, 2017). تنوع‌زیستی طیف گسترده‌ای از خدمات را مانند: تنظیم آب و هوا، تولید غذا، گرده افشانی، کنترل آفات و غیره حفظ می‌کند (Cardinale *et al.*, 2012). در این راستا شایان ذکر است که خزوها یکی از اجزای مهم تنوع‌زیستی که خدمات عظیمی را فراهم می‌کنند مورد توجه قرار می‌گیرد. فقدان کلی ارزش تجاری، اندازه کوچک و مکان نامشخص آن‌ها در اکوسیستم باعث شده است که برای اکثر مردم بی‌فایده به نظر برسند اما شواهد پراکنده کاربردهای متنوعی را توسط فرهنگ‌های مختلف در سراسر جهان نشان می‌دهد (Glime & Saxena, 1991). به‌طوریکه نویسندگان بر اهمیت استفاده پایدار و

جوامع انسانی رابطه باورنکردنی با اکوسیستم دارند و از زمان‌های بسیار قدیم تمدن‌های بشری خدماتی را از اکوسیستم دریافت کرده‌اند (Combertia *et al.*, 2015). اصطلاح خدمات اکوسیستمی توسط Ehrlich و Ehrlich در سال ۱۹۸۱ ابداع شد. با این حال این مفهوم تنها در سال ۱۹۹۷ برجسته شد (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010) زمانی که خدمات اکوسیستم در منابع توسط Costanza و Daly (1992)، Costanza و همکاران (1997) و Daily (1997a, b) برجسته شد. این خدمات اکوسیستم (Ecosystem Services) عملکردها و محصولات اکوسیستم‌هایی هستند که به نفع انسان هستند یا رفاه را برای جامعه به ارمغان می‌آورند (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). خدمات اکوسیستم را می‌توان به چهار دسته مختلف تأمینی (Provisioning)، تنظیمی (Regulating)، حمایتی

منابع از مقالات، متون الکترونیکی و سایت‌ها پرداختیم. از تمامی روش‌ها، ابزارها و پایگاه‌های داده متعدد از جمله: Scopus, ScienceDirect, PubMed, Google Scholar, Google و همچنین سایت‌های researchgate.net و کتابخانه دیجیتالی گیگا (<http://gigalib.org/>) و غیره برای دریافت و جست‌وجو منابع استفاده شد. لازم به ذکر است از بین خدمات اکوسیستم گونه‌های خزهای ذکر شده در جهان ما به خدمات اکوسیستمی تیره‌ها، جنس‌ها و گونه‌هایی که در آخرین چک لیست بریولور ایران (Akhami & Kürschner, 2014; Amiri, 2004) موجود هستند اشاره کردیم و در این مقاله گردآوری و در مورد آن‌ها توضیحات اجمالی داده شد.

نتایج و بحث

خدمات اکوسیستمی خزها بسیار زیاد است. اما گروه تحقیقاتی ما به مهم‌ترین و جامع‌ترین خدمات اکوسیستم خزها در جدول ذیل پرداخته است. به طور کلی انواع خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط خز به چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به گستردگی خدمات اکوسیستمی خزها (جدول ۱) به شرح و تفصیل هر یک از چهار مورد خدمات اکوسیستمی که توسط گونه‌های بریولور ایران ارائه می‌شوند پرداختیم.

خدمات اکوسیستم حمایتی

خزها توسعه خاک را از طریق اولاً تسریع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، دوماً به دام انداختن مواد معدنی و آلی از جو و سوماً افزودن مواد آلی تجزیه نشده (Vanderpoorten & Goffinet, 2009) انجام می‌دهند. تشک‌های خزهای تشکیل شده از خزهای حصیری (Moss Mats) می‌توانند رطوبت کافی را جمع کنند و باروری را افزایش دهند که ابتدا به رشد گیاهان علفی صخره‌دوست کمک می‌کند که بعدها بوته‌ها و درختان در توالی قرار گرفتند (Majumdar & Dey, 2020). *Bryum*, *Barbula* و *Weissia* پیشگامان مهمی در حاشیه جاده‌های جدید معرفی شدند که به کنترل فرسایش در آنجا کمک کردند (ایالت آیووا (Conard, 1935)). همچنین *Pogonatum*, *Atrichum* و *Pohlia* در جلوگیری از فرسایش سواحل نقش دارند (ژاپن (Ando, 1957)). ظرفیت نگهداری آب (Water Retention) ویژگی فوق‌العاده‌ای که *Calliagon sarmentosum* دارد و

حفاظت از خدمات و همچنین راه‌های تخمین ارزش اقتصادی آن‌ها تأکید کردند (Lelea et al., 2013).

تقریباً ۲۸۰۰۰ گونه بریوفیت در سرتاسر جهان وجود دارد و خزها گروه بزرگ آن را تشکیل می‌دهد (Shaw et al., 2011). بریوفیت‌ها به سه شاخه مختلف تقسیم می‌شوند که عبارتند از: *Marchantiophyta* (جگرواش‌ها)، *Anthocerochyta* (شاخ‌واش‌ها) و *Bryophyta* (خزها) (Majumdar & Dey, 2020). آن‌ها تقریباً در همه زیستگاه‌ها به جز دریا و اقیانوس‌ها وجود دارند و خدمات اکوسیستم قابل توجهی را در هر یک از آن‌ها ارائه می‌دهند (Yayintas & Irkin, 2018). خزها می‌توانند در طیف وسیعی از رویشگاه‌ها رشد کنند و خدماتی مانند: شروع تشکیل خاک، کنترل فرسایش خاک، تأثیرگذاری بر چرخه هیدرولوژیکی و نیتروژن، جذب کربن و نشان دهنده وجود فلزات سنگین در محیط را ارائه می‌دهند (Chimyang et al., 2022). علاوه بر این آن‌ها همچنین می‌توانند زیستگاه میکروارگانیسم‌ها، تأمین سوخت و مصالح ساختمانی را فراهم کنند که این ممکن است به اکتوهیدریک، پوکیلوهیدریک، ظرفیت بالا برای تبادل کاتیون‌ها و ماهیت مقاوم به خشکی خزها نسبت داده شود (Chimyang et al., 2022). این گیاهان همچنین ظرفیت بالایی برای ذخیره آب و مواد غذایی دارند.

جلب توجه علاقه‌مندان جدید و پرده‌برداری از ماهیت دنیای ریزنگار (Miniatori) خزها از اهداف مهم همه مطالعات علمی انجام شده و بخصوص این پژوهش بود. در این مطالعه تمام خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط خزها از منابع پراکنده به صورت منبع یکپارچه آورده شده و تحت انواع مختلف خدمات اکوسیستم دسته‌بندی شد. این مقاله همچنین زمینه‌های تحقیقاتی آینده را که می‌تواند به درک خدمات اکوسیستم کمک کند شناسایی کرده است که می‌تواند به عنوان یک کنش‌یار (Catalyst) برای گسترش حوزه شناخت به سمت یافته‌های تحقیقاتی دیرینه (Classic) و جدید خدمات اکوسیستم ارائه شده توسط خزها که خود می‌تواند در حفاظت، بازسازی و نگهداری از محیط‌زیست استفاده شود عمل کند.

گردآوری اطلاعات

ما از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ به جمع‌آوری مطالب و مرور

کوچک (Rotifers)، عنکبوت‌ها، پرندگان و همچنین گیاهان دیگر (Bahuguna *et al.*, 2013; Glime, 2017d; Glime, 2017e) هستند که برای حیوانات کوچک و بی‌مهرگان غذا، سرپناه و مواد لانه‌سازی و برای پرندگان جایگاهی را برای جستجوی غذا و جمع‌آوری مواد لانه فراهم می‌کنند (Chmielewski & Eppley, 2019).

آب را در طول رواناب بهاره (Spring Runoff) کنترل می‌کند (Oechel & Sveinbjornsson, 1978).

خزه‌ها زیست‌پناه گونه‌های نادر (Stewart, 2001; Harvey *et al.*, 2002) و طیف وسیعی از موجودات مانند: حشرات، کرم‌های خاکی، میکروارگانیزم‌ها، نرم‌تنان، نماتدها، تک‌یاخته‌ها (Protozoans)، حیوان‌های آبزی چند سلولی

جدول ۱- انواع خدمات اکوسیستمی خزه‌ها

فرهنگی	تأمینی	تنظیمی	حمایتی
مراسم و آداب مذهبی محلی جشن کریسمس و تزئینی (Harris, 2008)	تأمین سوخت (Marko <i>et al.</i> , 2001)، تأمین زیستگاه (Gall <i>et al.</i> , 2023)، مصالح ساختمانی (Harris, 2008)، بام‌سبز، باغبانی (Harris, 2008)، پوشاک (Harris, 2008)، پزشکی (Harris, 2008; Zhou <i>et al.</i> , 2004; Motti & de Falco, 2021)	تنظیم چرخه آب (Altuner, 2008; Putzke, 2023)، حفاظت از خاک (Oechel & Van Cleve, 1986; Turetsky, 2003; Gall <i>et al.</i> , 2023) و کنترل فرسایش (Canli, 2009)، کنترل آفات و بیماری‌ها (Eldridge <i>et al.</i> , 2023)، شاخص زیستی فلزات سنگین (Pahlsson, 1989; Nyman & Lindau, 2016; Yang <i>et al.</i> , 2019) و نظارت و کنترل بر آلودگی (Lal Uniyal & Decker & Reski, 2020; Motti <i>et al.</i> , 2023; Putzke, 2023)	تشکیل خاک (Eldridge <i>et al.</i> , 2023) و پوشش گیاهی (Beike <i>et al.</i> , 2014; Lal Uniyal <i>et al.</i> , 2023)، چرخه مواد غذایی (Çetin, 1998; Gignac, 2001)، چرخه و جداسازی کربن (Stefanie <i>et al.</i> , 2016; Eldridge <i>et al.</i> , 2023)، تثبیت نیتروژن (Stefanie <i>et al.</i> , 2016; S. Sabovljević & D. Miller, 2020)، بازسازی زیستگاه (Miller, 1984; Gignac, 2001)، برای مثال بازسازی جنگل (Sprugel, 1976; Simard <i>et al.</i> , 1998; Wright <i>et al.</i> , 1998; Prescott, 2002; Abd Latif & Blackburn, 2010; Soudzilovskaia <i>et al.</i> , 2011; Muscolo <i>et al.</i> , 2014; Filazzola & Lortie, 2014; Petrie <i>et al.</i> , 2016; Lett <i>et al.</i> , 2017; Maréchaux <i>et al.</i> , 2021; Dovčiak <i>et al.</i> , 2003) و زدودن آلاینده‌ها (Canli, 2009)

اکثر اکولوژیست‌ها خزه‌ها را به‌عنوان منابع غذایی برای حیوانات بی‌اهمیت می‌دانند و مشاهده شد خزه‌ها کمترین ارزش کالری را در بین گیاهان مورد تجزیه و تحلیل داشتند (کوه واشنگتن نیوهامپشایر (Forman, 1968)). همین‌طور فقدان گیاه خواری در نمونه‌های هرباریوم خزه حمایت بیشتری از این ادعا می‌کند. در واقع همان ترکیباتی که ممکن است خزه‌ها را دارویی کنند معمولاً طعم بدی به آن‌ها می‌بخشد. گونه‌های امثال *Anomodon* و *Entodon* که در مخروطیان از برگ‌های *Rhododendron campanulatum* پیچیده شده‌اند استفاده می‌کنند (هیمالیا، سرخپوستان کوماون) تا به‌عنوان فیلتر عمل کنند. در موردی استثنا حشره آبزی *Asellus militaris* علیرغم محتوای فنلی بالا در *Fontinalis antipyretica* آن را می‌خورد و جمعیت‌های سایه‌دار این گونه با محتوای فنلی کمتر را می‌خورد (Glime, 2007).

خزه‌ها دارای ویژگی‌های دوگانه منحصر به فرد جذب سریع و رهاسازی آهسته عناصر به محیط نقش مهمی در چرخه مواد غذایی دارند (Oluwole, 2019) و مواد غذایی را از زیر لایه (فسفر) معدنی کنند یا به‌طور فعال از اتمسفر و شیرابه‌های تاج پوشش (کلسیم، پتاسیم، منیزیم و نیتروژن) روی تالوس خود جمع و به آرامی این مواد غذایی را در خاک آزاد کرده و در دسترس گیاهان دیگر قرار دهند (Bates, 2009; Alam & Sharma, 2015). همچنین جریان مواد غذایی در محیط را از طریق تولید زی‌توده به‌ویژه در اکوسیستم‌های با عرض جغرافیایی بالا و ارتفاعات که غالبیت آن‌ها زیاد است کنترل می‌کنند (Lett *et al.*, 2021) که گاهی بیش از ۵۰ درصد از زی‌توده و تولید اولیه توده (Standing) تشکیل می‌دهند (انواع اکوسیستم توندرا (Wielgolaski, 1971; Huemmmrich *et al.*, 2010)).

قرار گرفت زیرا این خزها گونه‌های غالب اکوسیستم شمالی هستند.

خزها به احیای جنگل‌ها از طریق چند مورد مانند استعمار زیراشکوب (پس از آتش‌سوزی) توسط گونه‌هایی مانند: *Ceratodon purpureus*، *Funaria hygrometrica* Hedw.، *Bryum argenteum* Hedw. و *Ryoma* & (Hedw.) Brid. (Lindberg, 2005; Hylander et al., 2021)، تسهیل جوانه‌زنی گیاهچه سایر گروه‌های گیاهی (Rehm et al., 2019) کمک می‌کند. همچنین سطح خاک را تثبیت، فرسایش خاک سطحی را کاهش، کاهش از دست دادن رطوبت خاک، بهبود حاصلخیزی خاک و فعالیت میکروبی، همزیست‌های گیاهی مثل میکوریزا را در خود جای داده و فضای آزاد برای جوانه زنی فراهم می‌کند (Staunch et al., 2012). خزها به‌عنوان جزئی از پوسته‌زیستی (Biocrust or Biological Soil Crusts) به احیای مناطق بیابانی صخره‌ای آهکی (Karst) کمک می‌کنند (Tang et al., 2019) و متعاقباً منجر به تشکیل و حفظ خاک می‌شود که تهاجم و استقرار سایر گونه‌های گیاهی عمدتاً گیاهان را تسهیل می‌کند (Zheng et al., 2009; Xiao et al., 2014; Warren et al., 2019).

خدمات اکوسیستم تنظیمی

خزهای کف زمین در آب و هوای نیمه خشک خزها رطوبت خاک را در عمق کم افزایش (Xiao et al., 2016) و با تبخیر به حفظ یکنواختی دما (Homeothermy) خاک کمک می‌کنند در حالی که بخش بزرگی از بارندگی سالانه را به جو باز می‌گرداند (Chen et al., 2019; Clark, 2019). برخی گونه‌های خز به دلیل فراوانی آن‌ها در جنگل از نظر اکولوژیکی جهت شروع آب اتمسفر برای ذخیره‌سازی و رهاسازی تنظیم شده آب در چرخه خردهدیدرولوژیکی (Micro-Hydrological) جنگل مهم هستند (Ah-Peng et al., 2017). همچنین خزها با کاهش فرسایش خاک به حفظ خاک کمک می‌کنند. آن‌ها با تشکیل یک صفحه تشک مانند پیوسته از سطح خاک در برابر ضربه قطرات باران محافظت می‌کنند (شکل ۱). این تشک نفوذ و همچنین زبری سطح را افزایش می‌دهد و رواناب سطحی را کاهش می‌دهد (Rodríguez-Caballero et al., 2012). علاوه بر این ریزوئیدها در زیر خاک شبیه لنگر (Anchor) تجمع و از

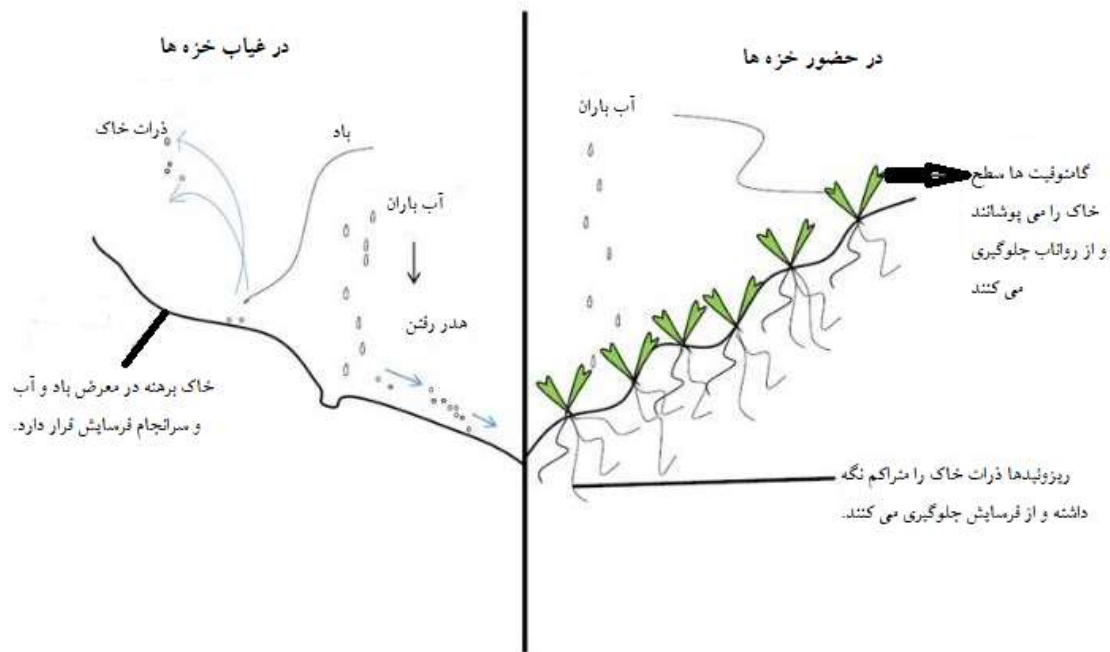
خزها برای صنعت مهم آجیل (Gallnut) به دلیل منبع اسید تانیک است (چین (Min & Longton, 1993)). بسیار حیاتی هستند و در صنعت برای شته‌های صفاوی *Schlechtendalia chinensis* قبل از مهاجرت به برگ‌های *Rhus javanica* جهت ساختن گال خود روی بستر خزها به‌ویژه گونه‌های *Plagiomnium* زمستان‌گذرانی می‌کنند (Wu, 1982; Horikawa, 1952). افزایش خزهای مناسب را برای افزایش تولید گردو توصیه شد (ژاپن (Takagi, 1937)).

یکی از مهم‌ترین نقش‌های خزها جداسازی یا تجزیه کربن (Sequestration) از دی‌اکسید کربن (CO₂) از جو است (Decker & Reski, 2020; Salimi et al., 2021). تجزیه و تحلیل پاسخ گیاهان به گرم شدن آزمایشی در اکوسیستم‌های توندرا نشان داد که پوشش خزهای کاهش یافته است (Hollister et al., 2005; Jónsdóttir et al., 2005; Walker et al., 2006; Alatalo et al., 2020). با این حال مطالعات دیگر افزایش پوشش خزهای را تحت گرمایش تجربی (Hudson & Henry, 2010; Shortlidge et al., 2017) یا بدون تغییر (Jägerbrand et al., 2009, 2012) نشان می‌دهد. خزها همچنین به دلیل نیازهای اکولوژیکی خاص و تمایلات قوی به زیستگاه خود با مشاهده رشد و فراوانی در نواحی تحت غلبه خزهای محاسبه تغییر در محدوده گونه‌ها، برهم‌کنش آن‌ها با گیاهان آوندی و سایر گونه‌های خز یک شاخص عالی از تغییرات آب و هوایی هستند (Frahm & Klaus, 2001; Gignac, 2011).

پوسته‌های خزهای که دارای سیانوباکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هستند می‌توانند نیتروژن قابل‌توجهی در خاک به‌ویژه در خاک‌های مرتعی خشک داشته باشند. در واقع تخمین زده می‌شود که جامعه *Pleurozium schreberi*-cyanobacteria برای ۸۰ درصد گیاهانی که کف جنگل‌های شمالی را می‌پوشاند نیتروژن فراهم می‌کند (Deluca et al., 2007). خزهای میزبان سیانوباکتری‌ها (*Fissidens taxifolius*) Hedw. و *Thuidium delicatum* (Hedw.) Schimp. همچنین در سایر اکوسیستم‌ها مانند توندراهای زیرقطبی (Sub Arctic) و زیستگاه‌های معتدله یافت می‌شوند (Deane-Coe & Sparks, 2016; Liu & Rousk, 2022). تا به امروز تثبیت N₂ از طریق ارتباط با سیانوباکتری‌ها بیشتر در *Pleurozium schreberi* مورد مطالعه

.et al., 2014

Goebes et al., 2014; Zhao) می کنند



شکل ۱. خزّه ها در کنترل فرسایش خاک. از سویی در غیاب خزّه ها سطح خاک برهنه در معرض فرسایش ناشی از ضربات باران (Rain Splash) است. از سوی دیگر هنگامی که خزّه ها سطح خاک را می پوشانند تأثیر ضربات باران را کاهش می دهد و همچنین ذرات خاک را توسط ریزوبیدهای خود نگه می دارد و در نتیجه فرسایش خاک را کاهش می دهد (اقتباسی از Chimyang و همکاران (۲۰۲۲)).

(Pant & Tewari, 1989). عصاره متانولی *Funaria hygrometrica* Hedw. زی توده را در قارچ *Alternaria sp.* به مقدار ۶۹ درصد کاهش داد (Srivastava, 2015). خزّه ها ممکن است حاوی آفت کش های طبیعی باشند (Yepsen, 1984). مثلاً شاخه های *Brachythecium rutabulum* توسط راب ها چرا نمی شوند اما کیسول های نابالغ به راحتی خورده می شوند. آن ها احتمالاً coumaric-m یا coumaric-p اسید را از بخش جدا شده از شاخه برگ جدا کردند که نشان می دهد این ترکیبات به نوعی ضد تغذیه عمل می کنند (Davidson, 1989).

در میان سه شاخه مختلف بریوفیت (*Marchantiophyta*, *Bryophyta* و *Anthocerotophyta*) گونه های متعلق به خزّه ها (*Bryophyta*) بیشتر به عنوان شاخص های زیستی آلودگی فلزات سنگین و ایزوتوپ های رادیویی در هوا استفاده می شوند (Oishi & Hiura, 2017; Klos et al., 2018). آن ها شاخص زیستی خوبی برای فلزات هستند زیرا: الف) آن ها اکتوهیدریک هستند و مواد معدنی از جمله فلزات سنگین در کل سطح جذب می شوند (Degola et al., 2014). ب) آن ها می توانند به راحتی فلزات را به دلیل لایه نازک

توانایی خزّه ها در جلوگیری از فرسایش خاک به عوامل ذیل نسبت داده شده است که عبارتند از: ۱) پروتوناتا های شبکه ای و گامتوفورها که یک تالوس پیوسته را تشکیل می دهند که زیر لایه های در معرض دید را می پوشاند و همچنین ظرفیت نگهداری آب در خاک برای اتصال ذرات بالای خاک را افزایش می دهد (Bahuguna et al., 2013). ۲) ظرفیت بازسازی سریع دارند. ۳) آن ها با ترویج تشکیل هوموس به تجمع ذرات اولیه خاک کمک می کنند (Zhang et al., 2016). ۴) آن ها با مقاومت در برابر نیروهای ساینده ناشی از حوادث مزمین و حاد از ریشه کن کردن گیاهان جلوگیری می کنند. ۵) آن ها می توانند در محیط های سخت رشد کنند (Vitt et al., 2014).

در مورد کنترل آفات و بیماری ها اسیدهای چرب به دست آمده از خزّه های *Hypnum*، *Dicranum scoparium* Hedw. و *Homalothecium lutescens* (Hedw.) و *cupressiforme* Hedw. H. Rob. فعالیت حشره کشی را در برابر غلات *Sitophilus*، *Linnaeus* نشان داد (Chandra et al., 2017). *Brachythecium*، *Thuidium* و *Neckera*، *Hypnum*، *Dicranum* حشرات و مقاوم بودن در برابر پوسیدگی را اضافه می کنند

عنوان شاخص SO₂ در انگلستان منتشر کرد. باران اسیدی ناشی از انتشار SO₂ در واقع می‌تواند شرایط را برای *Pleurozium schreberi* در برخی از جنگل‌های کاج (*Pinus banksiana*) بهبود بخشد (Raeymaekers, 1987) و سریعتر رشد کرد و در پوشش زمانی که با آب اسیدی شده به pH=۴,۵ اسپری شد افزایش یافت. در واقع زیستگاه آن در طبیعت تمایل به اسیدی دارد اما در pH=۳,۵ رشد و محتوای کلروفیل آن کاهش یافت و تولید کپسول کاهش یافت.

به طور مشابه در جنگل‌های شمالی *Hylocomium splendens* و *Ptilium crista-castrensis* می‌توانند جایگزین *Pleurozium schreberi* تا حدودی حساس به آلودگی با افزایش تنش SO₂ شوند اما نزدیک‌تر به منبع آلودگی این گونه‌ها نیز ناپدید می‌شوند (Winner & Bewley, 1978).

در ژاپن Taoda (۱۹۷۲) از گونه‌های اپیفیت (Epiphytic) برای ارزیابی تاثیر آلودگی در شهر توکیو استفاده کرد و شهر را بر اساس شدت آلودگی به پنج منطقه تقسیم کرد و چهار گروه از بریوفیت‌ها (هم خزه و هم جگرواش) را به ترتیب افزایش حساسیت به SO₂ مانند *Bryum argenteum* بیان کرد که این گونه برای نظارت بر ضخامت لایه اوزون بر روی قطب جنوب استفاده می‌شود. با کاهش لایه اوزون افزایش قرار گرفتن در معرض اشعه UV-B باعث تحریک تولید فلاونوئیدها در این گونه شد اما مانند قرار گرفتن در معرض ازن پاسخ‌ها به طور قابل توجهی در بین گونه‌ها متفاوت است (Markham et al., 1990; Lewis Smith, 1999).

در واقع خزه‌ها اغلب شاخص‌های خوبی از شرایط محیطی هستند (Richards, 1932). چندین تلاش برای متقاعد کردن زمین‌شناسان به استفاده از خزه‌ها برای اکتشاف مواد معدنی انجام شده است. در مطالعه‌ای Brooks (۱۹۷۲) خزه‌ها را نوعی راهنمای کانی‌سازی توصیه کرد. به طور مثال *Ceratodon purpureus* زهکشی خوب و مقادیر بالای نیتروژن را پیشنهاد می‌کند در حالی که *Pleurozium schreberi* و *Pogonatum urnigerum* از نیتروژن کمتری را نشان می‌دهند. همچنین *Funaria hygrometrica* و *Leptobryum pyriforme* اشباع پایه خوبی را نشان می‌دهند.

کوتیکول جذب کنند (Roberts et al., 2012)، ج) آن‌ها خواص تبادل یونی برجسته‌ای دارند (Little & Martin, 1974; Clough, 1975)، د) نسبت سطح به وزن بالایی دارند (Jiang et al., 2018) و ه) آن‌ها گیاهان چند ساله هستند که می‌توانند در طول سال جمع‌آوری شوند (Mahapatra et al., 2019). این عوامل به آن‌ها اجازه می‌دهد تا نسبت به اکثر گیاهان آوندی واکنش سریع‌تری نسبت به تفاوت‌های سطح فلزات سنگین نشان دهند (Zvereva & Kozlov, 2011).

گونه‌های *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp. *Bryum argenteum* Hedw. *Bryum capillare* Hedw. *Hypnum cupressiforme* *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm. *Thuidium delicatulum* و *Tortula muralis* Hedw. (Hedw.) Schimp. رشد قوی در حضور فلزات سنگین را نشان می‌دهند (Govindaparyi et al., 2010; Ceschin, 2012; Vázquez et al., 2019). پایش‌زیستی (Monitoring) با استفاده از خزه از طریق منابع منشأ و جهت انتشار آلودگی امکان ارزیابی سطح آلودگی مناطق مورد مطالعه را فراهم می‌کند (Klos et al., 2018). گونه *Bryum argenteum* نسبت به سطوح بالای بافتی کادمیوم (۶۱۰ ppm)، مس (۲۷۰۰ ppm) و روی (۵۵۰۰۰ ppm) بسیار متحمل است (Nash, 1972) و *Hypnum cupressiforme* سه برابر بیشتر از گل‌سنگ‌ها یا گیاهان دانه روی، مس و کادمیوم انباشته می‌کند (Thomas, 1984).

با توجه به مطلب ذکر شده فوق یک بریومتر (Bryometer) کیسه‌ای از خزه‌ها توسط Taoda (۱۹۷۳، ۱۹۷۵) که در ژاپن کار می‌کرد ساخته شد که به روش‌های قابل پیش‌بینی به سطوح مختلف آلودگی هوا پاسخ می‌دهند. بطوریکه با قرار دادن انواع خزه‌ها در معرض سطوح مختلف سولفید دی اکسید (SO₂) مشخص شد که بیشتر گونه‌ها با ۱۰ تا ۴۰ ساعت قرار گرفتن در معرض ۰,۴ ppm یا ۰,۸ ppm از SO₂ پس از ۲۰ تا ۸۰ ساعت آسیب می‌بینند. از آن زمان استفاده از بریومتر در سراسر جهان گسترش یافته است اما در اروپا جایی که به کیسه‌خزه نیز معروف است از ارزش ویژه‌ای برخوردار بوده است.

همچنین Gilbert (۱۹۶۸) دریافت که SO₂ می‌تواند توزیع موفقیت باروری و تشکیل کپسول را در خزه‌ها محدود کند و در سال ۱۹۶۹ استفاده موفق از *Grimmia pulvinata* را به-

Neckera و *Pseudoscleropodium purum* و طناب‌هایی از *Dicranum crispum* و *Dicranum* برای تزئین کلاه‌ها و کلاه‌های زنانه ساخته شد (Glime, 2007). از *Dicranum scoparium* برای پوشش پوشک بهداشتی استفاده شد و این گونه برای ویتترین مغازه‌ها نیز بسیار محبوب است زیرا حاشیه‌های بزرگی از رنگ سبز را تشکیل می‌دهد (Welch, 1948; Thieret, 1956).

مدت‌ها قبل از کشف ترکیبات ثانویه در خزها در هیمالیا از آن‌ها جهت دافع حشرات هنگام نگهداری غذا استفاده می‌کردند (Pant & Tewari, 1989). آن‌ها را خشک می‌کردند به ذرات درشت تبدیل می‌کردند و روی غلات و سایر کالاهای ظروف می‌پاشیدند. دسته‌ای از خزها نیز ظرف را مسدود کردند. به‌طور مثال *Pseudoscleropodium purum* (Dickson, 1967) به دلیل استفاده گسترده از آن در بسته‌بندی در سراسر جهان رایج شده است (Seaward & Williams, 1976).

از *Pseudoscleropodium purum* به‌عنوان مواد بسته‌بندی در جعبه‌های درختان جوان که در حال حاضر به *Tristan da Cunha* حمل می‌شود استفاده شد (Allen & Crosby, 1987). از *Rhytidiadelphus triquetrus* برای محافظت از محصولات شکننده استفاده شده است (Dickson, 1973). حتی از *Antitrichia curtipendula* برای بسته‌بندی سبزیجات استفاده می‌شود چون رطوبت را حفظ می‌کند (ایالات متحده، ایالت‌های غربی (Frye, 1920)). سیب و آلو در گونه‌هایی چون *Hypnum cupressiforme* و *Brachythecium salebrosum* اغلب برای بسته‌بندی استفاده می‌شود (هیمالیا (Pant & Tewari, 1989)). از *Hypnum* و *Plagiomnium undulatum* برای محافظت از تیغه‌های چاقوها و خراش‌ها استفاده شد (اروپا (Dickson, 1967)).

همچنین خزها در ساخت و ساز و مبلمان خانه‌ها در مناطق مختلف به‌ویژه در کشورهایی که خزها غالب هستند و دسترسی به چوب محدود است استفاده می‌شود (Singh & Srivastava, 2013). از خزهای تشک مانند در ترکیب با درخچه‌ها (Shrubs)، بامبو و علف‌ها برای ساختن فارکی (Pharki) استفاده می‌شود که دری است که در دهانه کلبه‌های موقت قرار می‌گیرد (هیمالیا (Singh & Srivastava, 2013)). همین‌طور چوپانان هیمالیا- هندی از خزهایی مانند: *Entodon* sp.، *Leucodon sciuroides* (Hedw.)

گونه‌های زیست‌شاخص (Bioindicators) مناسب پایش در آب *Fontinalis* spp. و *Leptodictyum riparium* هستند (Satake et al., 1989). که در درجه واکنش خاک پایین ۳،۹ زنده می‌ماند و این یک تجمع‌کننده بسیار مفید برای روی، سرب و کادمیوم است (Shacklette, 1965a, 1965b). گونه *Fontinalis antipyretica* به چهار هفته قرار گرفتن در معرض ۰،۰۲ میلی‌گرم در لیتر فنل عدم تحمل دارد در حالی که *Leptodictyum riparium*، *Leskea polycarpa* و *Fissidens crassipes* هرکدام ۰،۸ میلی‌گرم در لیتر را برای همان دوره زمانی تحمل کردند (Frahm, 1976). حتی ممکن است ارگانسیم‌های پاکساز بهتری باشند که این یکی از بزرگترین مزایای خزها توانایی آن‌ها در پاکسازی برخی از آلاینده‌ها است.

خدمات اکوسیستم تأمینی

خزها به همراه ماکرو جلبک‌ها می‌توانند منبع مناسبی برای سوخت زیستی دوستدار محیط‌زیست نسل سوم برای آینده باشند (Sirohi et al., 2019).

از خزها در تن‌پوش و لباس (Harris, 2008) و خزهای ساکن صخره‌ای با عصاره‌های تیره رنگشان برای رنگ-آمیزی پشم (مکزیک (Glime, 2007)) استفاده می‌شود. از *Dicranum* sp. برای تزئین کلاه، سرپوش (Bonnet) و پوشاندن بدن زنان (فیلیپین، انگلستان و پاپوا گینه نو (Tan, 2003; Tripp, 1888; Dickson, 2000)) و در لباس و کلاه مرد یخی تیرولی (Tyrolean Iceman) استفاده شده است (بومی یا ساکن ایالت تیرولی اتریش (Dickson et al., 1996)) که یکی از شایع‌ترین گونه‌ها *Pohlia* spp. بود.

خزها در آکواریوم‌ها اکسیژن، مکان‌های مخفی و بسترهای تخم‌گذاری را برای ماهی‌ها فراهم می‌کنند مانند بسیاری از گونه‌های *Bryum pseudotriquetrum*، *Fontinalis antipyretica* و *Leptodictyum riparium* را می‌توان استفاده کرد به شرطی که آب برای آن‌ها خیلی گرم نباشد (Glime, 2007). از *Fontinalis antipyretica* Hedw. به‌عنوان عایق آتش بین دیوارها و دودکش استفاده می‌شود (شمال اروپا (Thieret, 1956)). در فنلاند واژه *Karhunsammal* وجود دارد که به استفاده خرس‌ها از خزهای تافت-مانند (Tufts) نظیر *Pleurozium schreberi* برای پوشش مکان‌های خواب زمستانی اشاره دارد (Glime, 2007). در بوستون بافته‌هایی از

Hypnum cupressiforme و *purum* برای پر کردن بالش‌ها و تشک‌ها استفاده می‌شد (Glime, 2007). در نورث‌امبرلند انگلستان شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که هم انسان و هم حیوانات اهلی روی خزها قرار می‌گرفتند که نه تنها چیزی نرم بود بلکه جاذب مایعات هم بود (Ando & Matsuo, 1984) که یکی از متداول‌ترین گونه مورد استفاده *Pseudoscleropodium purum* (۱/۶) بود. گروه باستان‌شناسی در لیدن طی شناسایی سفال‌های عصر حجر فرانسه دریافتند سفال‌گران اولیه از *Tortula Neckera crispera* و خزهای دیگر استفاده کردند (Glime, 2007) که ظاهراً برای همان هدفی که امروزه مردم از رس (Sand) استفاده می‌کنند تا سفال‌ها کمتر ضخیم (Fat) شوند و کیفیت سفال‌ها بهبود یابد.

از کاربردهای دارویی خزها می‌توان گفت که از خاکستر خز مخلوط با عسل و چربی به‌عنوان مرهم برای سوختگی، زخم و بریدگی استفاده می‌کردند (مردم هند منطقه هیمالیا (Saxena & Harinder, 2004)). در طب مدرن خزها برای درمان بیماری‌های مختلف مانند باکتری، قارچ، سرطان، دیابت، التهاب مفاصل، بیماری‌های قلبی-عروقی استفاده می‌شود (Ludwiczuk & Asakawa, 2019, Mossang, et al., 2021).

خواص دارویی خزها به وجود ترکیبات متعددی مانند: پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پلی‌فنل‌ها، تریپن‌ها، استروئیدها، اسیدهای چرب، اسیدهای آلی، قند، ترکیبات معطر و آلیفاتیک، الکل‌ها، استروئین‌ها، مواد فنلی و فنیل کینین نسبت داده می‌شود (Halder & Mitra, 2020). برخی از خزهای مهم دارویی شامل: *Hypnum Fissidens* sp. و *cupressiforme* Hedw. (Glime, 2007; Harris, 2008). از *Philonotis Mnium Bryum* و انواع هیپناس (Hypnaceous) استفاده می‌کردند به‌طوری‌که آن‌ها را به صورت خمیر خرد می‌کردند و به صورت ضماد برای کاهش درد سوختگی استفاده می‌کردند (سرخپوستان یوتا (Flowers, 1957)). همچنین از *Rhodobryum giganteum* و *Rhodobryum roseum* برای درمان بیماری‌های قلبی عروقی و عصبی (Nervous Prostration) استفاده می‌کردند (Glime, 2007).

در سال ۱۹۷۶ کارکنان آزمایشگاه دانشکده پزشکی چهارم در چین به سزچوان شرقی رفتند جایی که خزهای مورد

Thuidium delicatulum (Hedw.) *Philonotis* sp. Schwägr. Schimp. و *Plagiochila* sp. به‌عنوان مواد پرکننده درز و منافذ (Chinking) در خانه‌های تابستانی موقت استفاده می‌کردند (Pant & Tewari, 1989).

گونه‌هایی نظیر: *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. و *Isothecium myosuroides* Brid. *canescens* (Hedw.) Brid. درزها استفاده شد (شمال اروپا و آلاسکا (Richardson, 1981; Lewis, 1981)). علاوه‌براین از *Leucodon Entodon* *Philonotis sciuroides* و *Thuidium delicatulum* (Pant & Tewari, 1989) برای پرکردن فضاهای بین ستون‌های چوبی دیوارها و زونا (Shingles) سقف‌ها در ارتفاعات هیمالیا توسط چوپانان و برخی از خانه‌ها در شمال اروپا از *Isothecium myosuroides Homalothecium sericeum Pleurozium schreberi* و آلاسکایی‌ها از *Racomitrium canescens* (Richardson, 1981) استفاده شد. همچنین خانه گرانیتی که توسط Scott آخرین اعزامی قطب جنوب (Antarctic Expedition) در سال ۱۹۱۱ در بندر گرانیث کیپ (Cape) ساخته شد از *Bryum argenteum* در شکاف‌های دیوارها پر شده است.

در فیلیپین (Harris, 2008) و در کشورهای شمال اروپا *Fontinalis antipyretica* برای عایق آتش بین دودکش و دیوارها استفاده شده است (Thieret, 1956) و *Neckera complanata* برای مهر و موم کردن درزها و شکاف‌های کشتی‌های کوچک و قایق‌ها استفاده شده‌اند (Pant & Tewari, 1990). رومی‌ها نزدیکی گلاسکو از خزها برای دستمال توال استفاده می‌کردند (Birks, 1982). در هند از خزها برای پوشش درب‌ها و فیلترهای دود استفاده می‌شود (Pant & Tewari, 1989). دوام و خاصیت ارتجاعی خزها ممکن است به‌خوبی به پرکردن توپ‌ها و عروسک‌های ژاپنی با *Hypnum* کمک کرده باشد (Pant & Tewari, 1990).

Polytrichum به دلیل ساقه‌های بلند و سفت خود جاروهای خوبی برای گردگیری پرده‌ها و فرش‌ها می‌سازد (Crum, 1973). به‌طوریکه ساقه‌ها را از برگ‌هایشان جدا می‌کنند تا جارویی به طول ۱۲ تا ۱۸ اینچ درست شود (Thieret, 1954). رومیان ظاهراً از *Polytrichum* برای ساختن سبد (Bland) استفاده می‌کردند. در آזור از *Pseudoscleropodium*

گامتوفیت‌های خشک شده خزها را جدا شد که بر برگ-های گیاهان زراعی می‌توان توانایی مقاومت در برابر خشکسالی یا به‌ویژه ترمیم آسیب ناشی از خشک شدن را داشته باشد (وزارت کشاورزی ایالات متحده، تگزاس، لوبوک (Oliver et al., 1993)) که بهترین نماینده برای این خزها مقاوم به خشکی *Tortula ruralis* (syn= *Syntrichia ruralis*) بود.

خدمات اکوسیستم فرهنگی

گونه‌های *Bryum* sp. و *Thuidium* sp. برای مراسم مذهبی در مناطق مختلف استفاده شد (مکزیک (Martinez-Lopez et al., 2017; Hernandez-Rodriguez & Delgadillo-Moya, 2020)) و در کریسمس از *Dicranum* spp. و *Thuidium delicatulum* (Hedw.) Schimp. برای تزئین استفاده می‌شد. همچنین از خزها در جهت حفظ و مومیایی کردن در قبرستان به خوبی شناخته شده است (Painter, 1991). به-طوریکه هم آلاسکایی‌ها و هم ژاپنی‌ها به استفاده از یک بستر خزها برای دفن مردگان شناخته شده‌اند (Bland, 1971; Ando & Matsuo, 1984). از *Pleurozium schreberi* و *Rhytidium rugosum* برای کمک به قرار دادن ورقه‌های پوست در پوشش سقف مقبره‌ها که اکنون ۲۵۰۰ سال قدمت دارند استفاده می‌کردند (سبیری (Glime, 2007)).

برای تزئین درخت کریسمس و صحنه‌های تولد خزها در صفحاتی جمع‌آوری می‌شوند (Crum, 1973) و حتی اسپوروفیت‌ها در ژاپن برای ساختن صحنه‌های تزئینی استفاده می‌شوند. از *Bryum* برای چیدمان گل جمع‌آوری می‌شود (میزوری (Glime, 2007)). *Hypnum cupressiforme* و *Pleurozium schreberi* *Isotrichum myosuroides* در ویتنام مغازه‌ای را در رامبوئه نزدیک پاریس در طول یک جشنواره ماه مه در سال ۱۹۷۰ تزئین کردند (Glime, 2007). از *Hypnum Thuidium* به‌مانند فرش برای صحنه‌های تولد در مکزیک استفاده می‌شود. در ایالات متحده استفاده از *Hypnum* انتخاب‌های رایجی است و خزها ورقه‌ای در هر زمانی جمع‌آوری اما ترجیحاً در تابستان می‌شود. یک عمده‌فروش تنها حدود ۱۴۰۰۰ پوند خزها خشک در سال به صنعت تزئینی عرضه می‌کند (Glime, 2007) که یکی از کاربردهای اقتصادی خره‌ها در این زمینه به شمار می‌رود.

استفاده دهقانان را مورد مطالعه قرار دادند و تحقیقات بالینی نشان داد که عصاره اتری *Rhodobryum giganteum* که توسط دهقانان برای درمان آئزین استفاده می‌شود حاوی روغن‌های فرار، لاکتون‌ها و اسیدهای آمینه است. هنگامی که به موش‌های سفید داده شد عصاره در واقع مقاومت اکسیژن را با افزایش سرعت جریان در آئورت تا بیش از ۳۰ درصد کاهش داد (Wu, 1982).

Pavletic و Stilinovic (۱۹۶۳) دریافتند که *Dicranum scoparium* به شدت تمام باکتری‌هایی را که آن‌ها آزمایش کردند اما اشرشیاکلی (گرم منفی) را مهار می‌کند. وقوع بالایی از فعالیت ضدباکتریایی را در عصاره گونه *Barbula Timmiella* که به ۳۶٫۲٪ می‌رسد در حالی که در گونه *Timmiella* فقط ۱۸٫۸٪ بود. در واقع اسیدهای آلی غیر یونیزه و ترکیبات پلی فنولیک ممکن است به خواص آنتی‌بیوتیکی خزها کمک کنند. هجده خزها که برخی از فعال‌ترین آن‌ها *Dicranum Atrichum* و *Mnium* بودند که به شدت یکی یا هر دو باکتری گرم مثبت و گرم منفی را مهار می‌کردند و *Atrichum undulatum* به طور مؤثری از رشد همه باکتری-های آزمایش شده به جز *Aerobacter aerogenes* و *Escherichia coli* جلوگیری کرد (Glime, 2007). گونه *Hypnum cupressiforme* اثرات ضدباکتریایی و ضدقارچی مشخصی دارد (Glime, 2007).

بریوفیت‌ها متعاقباً علاقه مؤسسه ملی سرطان ایالات متحده را برانگیخت و تعداد ۱۸۴ گونه خزها و ۲۳ گونه از جگرواش را از نظر فعالیت ضدتوموری آزمایش کردند که دریافتند عصاره‌های ۴۳ گونه فعال بودند در حالی که عصاره‌های ۷۵ گونه برای موش‌های آزمایش سمی بودند و بیشترین فعالیت در گونه‌هایی از تیره‌های خره‌ای *Brachytheciaceae*, *Dicranaceae*, *Grimmiaceae*, *Hypnaceae*, *Mniaceae*, *Neckeraceae*, *Polytrichaceae* و *Thuidiaceae* مشاهده شد (Spjut et al., 1986).

توانایی خزها برای زنده ماندن در خشکسالی و عملکرد دوباره در عرض ۲۴ ساعت تخیل کشاورزان را برانگیخته است (Comis, 1992). علاوه بر این تحقیقات مهندسی ژنتیک نشان می‌دهد که چگونه خزها می‌توانند در حالی که هنوز در حالت هیدراتاسیون هستند در برابر انجماد مقاومت کنند اما تقریباً فوراً بهبود می‌یابند (Rütten & Santarius, 1992). چندین ژن خاص برای بازیابی

تغییرات آب و هوایی، بازسازی زیستگاه، کنترل آفات و بیماری، شاخص‌های زیستی، سوخت، ساخت و ساز، بام-های سبز، باغبانی، صنعت پوشاک، کاربرد دارویی و طب- سنتی و اهمیت فرهنگی می‌باشد.

خزه‌ها به خوبی با سیانوباکتری‌های تثبیت‌کننده N_2 مرتبط هستند. با این حال این ارتباط فراتر از مناطق قطبی و زیرقطبی کشف نشده است. بنابراین مطالعات بیشتری برای کشف پتانسیل این ارتباط برای به دست آوردن حداکثر فواید مورد نیاز است. نقش خزه‌ها در تحمل استرس فلزات سنگین به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است. با این وجود درصد کمی از گونه‌های خزه‌ای گزارش شده است. از این رو ظرفیت تحمل فلزات سنگین در گونه‌های بیشتری قابل بررسی است. پاسخ‌های متنوع خزه‌ها به گرم‌شدن تجربی مطالعات بیشتری را برای بررسی تأثیر گرم‌شدن خزه‌ها در رویشگاه‌های مختلف ضروری می‌کند.

کاربرد عملی خزه‌ها در پایش زیست‌محیطی، در کنترل و کاهش آلاینده‌ها مثلاً در محوطه‌سازی، دفع‌کننده‌های زیستی و آفت‌کش‌های زیستی و در تولید انرژی، درمان بیماری‌های انسان و حیوان و سایر حوزه‌ها نیاز به تبلیغ بیشتری دارد. با این حال این گروه از گیاهان به طور کامل برای به دست آوردن مزایای بهینه از آن‌ها کاوش نشده است. بنابراین تحقیقات آینده را می‌توان به سمت پر کردن شکاف‌های اصلی به خصوص با مطالعات مولکولی برجسته هدایت کرد. این مطالعه می‌تواند به گسترش حوزه دانش به سمت یافته‌های تحقیقاتی خدمات دیرینه و جدید ارائه‌شده توسط خزه‌ها که می‌تواند در حفاظت، بازسازی و نگهداری از اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست استفاده شود برجسته کند.

سپاسگزاری

از دانشگاه فردوسی مشهد بابت حامی مالی این پژوهش (گرنه به شماره ۳/۵۹۷۱۴) نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می‌آوریم.

های با نوک سفید مانند *Racomitrium canescens* ظاهری برفی ایجاد می‌کنند.

در شمال غربی اقیانوس آرام از *Leptobryum pyriforme* تحت نام خزه کیوتو برای سینی‌های بونسای فروخته می‌شود. همچنین در مکزیک خزه‌ها به‌ویژه *Thuidium* و *Hypnum* برای بونسای‌های تقلبی یا باغ‌های غذا استفاده می‌شوند (Glime, 2007). استفاده گیاهان کوتوله (*Dwarf Plants*) که شامل گونه‌های مفید *Atrichum undulatum*، *Bryum argenteum*، *Barbula unguiculata* و *Funaria hygrometrica* و *Weissia controversa* (Glime, 2007) هستند و مانند یک خزه تشک-مانند مرطوب و متراکم از رشد ریشه جلوگیری می‌کند و می‌تواند منجر به رشد ناگهانی قارچ شود. به دیگر سخن توصیه می‌کنند که خزه‌ها را هر پائیز در باغ‌ها (باغ بونسای) از بین ببرید (Bland, 1971).

در مقابل خزه‌ها نیز ممکن است در معرض خطر برداشت بیش از حد باشند و با توجه به رشد آهسته اکثر گونه‌ها ممکن است چندین دهه طول بکشد تا مجموعه یک روزه را جایگزین کند. گونه‌های به‌شدت برداشت شده عبارتند از: *Hypnum*، *Brachythecium*، *Antitrichia curtispindula* و *Isoetium cupressiforme* (Glime, 2007). خوشبختانه برداشت‌کنندگان بیشتری تلاش می‌کنند تا به گونه‌ای برداشت کنند که به خزه‌ها اجازه جایگزینی بدهد و تحقیقات در مورد بازسازی ادامه دارد (آمریکای شمالی، اروپا و نیوزلند (Rocheft, 2000; Tilling, 1995)).

جمع‌بندی

خزه‌ها به‌عنوان یک گروه مهم از نظر اکولوژیکی از گیاهان بی‌نظیر هستند و خدمات اکوسیستمی که آن‌ها ارائه می‌کنند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. خدمات اکوسیستمی آن‌ها را می‌توان به چهار دسته مختلف تأمین، تنظیمی، پشتیبانی و فرهنگی تقسیم کرد که بطور کلی شامل: حفاظت تشکیل توالی خاک، ایجاد زیستگاه، چرخه مواد غذایی و آب، تجزیه و تثبیت کربن و نیتروژن، نشانه

منابع

- Abd Latif, Z., & Blackburn, GA. (2010) The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *Int J Biometeorol* 54:119–129.
- Ah-Peng, C., Cardoso, AW., Flores, O., West, A., Wilding, N., Strasberg, D., & Hedderson, TAJ. (2017) The role of epiphytic bryophytes in interception, storage, and the regulated release of atmospheric moisture in a tropical montane cloud forest. *Journal of Hydrology* 548: 665–673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.043>.
- Akhani, H., & Kürschner, H. (2004). An annotated and updated checklist of the Iranian bryoflora. *Cryptogamie Bryologie*, 25, 315-347.

- Alam, A. & Sharma, V. (2015) Horticultural importance of bryophytes-a review, *International Journal of Horticulture* 5(19): 1-9. Doi: 10.5376/ijh.2015.05.0019.
- Alatalo, J. M., Jägerbrand, A. K., Erfanian, M. B., Chen, S., Sun, S. Q., & Molau, U. (2020) Bryophyte cover and richness decline after 18 years of experimental warming in alpine Sweden. *AoB Plants*, 12(6), plaa061.
- Allen, B. H., & Crosby, M. R. (1987) Revision of the genus *Squamidium* (Musci: Meteoriaceae). *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 61, 423-476.
- Altuner, E. M. (2008) Bazı karayosunu türlerinin antimikrobiyal aktivitesinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı).
- Amiri, A. A. (2014). Biodiversity of mosses of Iran, the first national conference on environmental science and management, Ardabil. [in Persian].
- Ando, H. (1957) Notes on useful bryophytes. *Bull. Biol. Soc. Hiroshima Univ.* 7 (2): 23-26.
- Ando, H. (1983) *Use of bryophytes in China 1*. Proceedings of the Bryological Society of Japan. Tokyo 3: 104-106.
- Ando, H., & Matsuo, A. (1984) *Applied bryology*. Advances in bryology, 2, 133-224.
- Bahuguna, Y.M., Gairola, S., Semwal, D.P., Uniyal, P.L. & Bhatt, A.B. (2013) Bryophytes and Ecosystem. In: R.K Gupta & M. Kumar (Ed.), *Biodiversity of Lower Plants*. IK International Publishing House Pvt. Ltd. Pp. 279-296.
- Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D.S., Ash, N., Bennett, E.M., Boumans, R., Brown, C., Kai, M.A.C., Rebecca, C.K., Benjamin, S.H. *et al.* (2017) Ecosystem Service. In: Walters M and Scholes R.J (Ed.), *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. Springer. Pp. 39-78. DOI: 10.1007/978-3-319-27288-7.
- Bates, J. W. (2009) Mineral nutrition and substratum ecology. In *Bryophyte Biology*, 2nd edn, eds. Goffinet, B., & Shaw, A. J. Cambridge University Press, pp. 299-356.
- Beike, A.K., Jaeger, C., Zink, F., Decker, E.L., & Reski, R. (2014) High contents of very long-chain polyunsaturated fatty acids in different moss species. *Plant Cell Rep* 33:245-254.
- Beyer, D.M. (1997) The effect of chelating agents on the later break yields of *Agaricus bisporus*. *Canadian Journal of Botany* 75: 402-407. Doi: <https://doi.org/10.1139/b97-043>.
- Birks, H. J. B. (1982) Quaternary bryophyte paleoecology, pp. 273-490. In A. J. E. Smith (ed.), *Bryophyte Ecology*, Chapman & Hall, NY.
- Bland, J. H. (1971) *Forests of Lilliput: The Realm of Mosses and Lichens*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Brooks, R.R., (1972) *Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration*. Harper and Row, New York, N.Y.
- Burszta-Adamiak, E., Fudali, E., Łomotowski, J. & Kolasińska, K. (2019) A pilot study on improve the functioning of extensive green roofs in city centers using mosses. Scientific Review – *Engineering and Environmental Sciences* 28 (1): 118-130. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.1.11.
- Canlı K. (2009) Karayosunlarının Kullanım Alanları. *Orman Mühendisliği Dergisi*. 46:7-8-9, 41-44.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P. *et al.* (2012) Impoverishing our planet: biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486 (7401): 59-67. DOI: 10.1038/nature11148.
- Ceschin, S., Ale, S., Savo, V. & Zuccarello, V. (2012) Aquatic bryophytes as ecological indicators of the water quality status in the Tiber River basin (Italy). *Ecological Indicators* 14: 74-81. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.020>.
- Çetin, B. (1989) Köprülü Kanyon, *Fauna och Flora*. 84, 97-105.
- Chandra, S., Chandra, D., Barh, A., Pandey, R.K. & Sharma, I.P. (2017) Bryophytes: Hoard of remedies, an ethnomedicinal review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 7(1): 94-98. Doi: 10.1016/j.jtcme.2016.01.007.
- Chen, S., Yang, Z., Liu, X., Sun, J., Xu, C., Xiong, D. *et al.* (2019) Moss regulates soil evaporation leading to decoupling of soil and near-surface air temperatures. *Journal of Soils and Sediments* 19(7): 2903-2912.
- Chimyang, N., Chimyang, Ph., Shankar, V., Evelin, H., & Uniyal, P.L. (2022) Bryophytes in the Ecosystem Services: A review. *Journal of Bioresources* 9 (1): 25-34, <http://jbr.rgu.ac.in>.
- Chmielewski, M.W. & Eppley, S.M. (2019) Forest passerines as a novel dispersal vector of viable bryophyte propagules. Proceedings of the Royal Society. B, *Biological Sciences* 286(1897): 20182253-20182253. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2253>.
- Clark, J.A. (2019) *The role of tundra vegetation in the arctic water cycle*. A Ph.D. Thesis submitted to the University of Alaska Fairbanks.
- Clough, W.S. (1975) The Deposition of particles on moss and grass surface. *Atmospheric Environment* 9: 1113-1119. Doi: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(75\)90187-0](https://doi.org/10.1016/0004-6981(75)90187-0).
- Combertia, C., Thornton, T.F., de Echeverria, V.W. & Patterson, T. (2015) Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems. *Global Environmental Change* 34: 247-262. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.007>.
- Comis, D. (1992) Miracle moss: add water and watch it grow; moss may have genes to make lawns and crops truly drought-tolerant. *Agricultural Research*, 40(6), 10-12.
- Conard, H. (1935) Mosses and Soil Erosion. Iowa State Coll. *Journ.Sci.* 9:347-351.
- Costanza, R. & Daly, H.E. (1992) Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6(1): 37-46. DOI: <https://www.jstor.org/stable/2385849>.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., *et al.* (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253-260. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Crum, H. A. (1973) *Mosses of the Great Lakes Forest*. Contributions from the University of Michigan Herbarium 10: 1-404.
- Cruz de Carvalho, R., Varela, Z., do Paço, T.A. & Branquinho, C. (2019) Selecting Potential Moss Species for Green Roofs in the Mediterranean Basin. *Urban Science* 3(2): 57. Doi: <https://doi.org/10.3390/urbansci3020057>.
- Daily, G.C. (1997a) Introduction: what are ecosystem services. In: Daily G.C (Ed.), *Nature's Services*. Island Press, Washington DC. Pp. 1-10.

- Daily, GC. (1997b) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC. Pp.15-392.
- Davidson, A. J., Harborne, J. B. & Longton, R. E., (1989) Identification of hydroxycinnamic acids and phenolic acids in *Mnium hornum* and *Brachythecium rutabulum* and their possible role in protection against herbivory. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 67: 415-422.
- Deane-Coe, KK. & Sparks, JP. (2016) Cyanobacteria associations in temperate forest bryophytes revealed by $\delta^{15}N$ analysis. *Journal of the Torrey Botanical Society* 143(1): 50–57. DOI: 10.3159/TORREY-D-15-00013.
- Decker, EL. & Reski, R. (2020). Mosses in biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 61: 21–27. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.09.021>.
- Degola, F., Benedictis, MD., Petraglia, A., Massimi, A., Fattorini, L., Sorbo, S., Basile, A. & Toppi, LS. (2014) A Cd/Fe/Zn-responsive phytochelatin synthase is constitutively present in the ancient liverwort *Lunularia cruciata* (L.) Dumort. *Plant and Cell Physiology* 55(11): 1884–1891. Doi: 10.1093/pcp/pcu117.
- Deluca, TH., Zackrisson, O., Gentili, F., Sellstedt, A. & Nilsson, MC. (2007) Ecosystem controls on nitrogen fixation in boreal feather moss communities. *Oecologia* 152: 121–130. Doi: 10.1007/s00442-006-0626-6.
- Dickson, J. H. (1967) The British moss flora of the Weichselian Glacial. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2(1-4), 245-253.
- Dickson, J. H. (1973) *Bryophytes of the Pleistocene: the British record and its chorological and ecological implications*. CUP Archive.
- Dickson, JH. (2000) Bryology and the Iceman: Chorology, ecology, and ethnobotany of the mosses *Neckera complanata* Hedw. and *N. crispa* Hedw. In: Bortenschlager S and Oeggl K. Slovenia (Ed.), *The Iceman and his Natural Environment: Palaeobotanical Results*. Springer Wien, New York. Pp: 77-87.
- Dickson, JH., Bortenschlager, S., Oeggl, K., Porley, R. & McMullen, A. (1996) Mosses and the Tyrolean Iceman's southern provenance. Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences* 263: 567- 571. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0085>.
- Dovčiak, M., Reich, PB., & Frelich, LE. (2003) Seed rain, safe sites, competing vegetation, and soil resources spatially structure white pine (*Pinus strobus* L.) regeneration and recruitment. *Can J For Res* 33:1892–1904.
- Ehrlich, PR. & Ehrlich, AH. (1981) *Extinction. The causes and consequences of the disappearance of species*. Conservation of natural resources. Random House, New York. Pp:1-305.
- Eldridge, D. J., Guirado, E., Reich, P. B., Ochoa-Hueso, R., Berdugo, M., Sáez-Sandino, T., et al. (2023) The global contribution of soil mosses to ecosystem services. *Nature Geoscience*, 16(5), 430-438.
- Filazzola, A. & Lortie, CJ. (2014) A systematic review and conceptual framework for the mechanistic pathways of nurse plants. *Glob Ecol Biogeogr* 23:1335–1345.
- Flowers, S. (1957) Ethnobotany of the Gosiute Indians of Utah. *The Bryologist* 60:1, 11-14.
- Forman, R. T. (1968) Caloric values of bryophytes. *Bryologist*, 344-347.
- Frahm, JP. & Klaus, D. (2001) Bryophytes as indicators of recent climate fluctuations in Central Europe. *Lindbergia* 26: 97–104. DOI: 10.2307/20150069.
- Frahm, JP. (1976) Transplantationsversuche mit epigäischen Moosen zur Eichung von Bioindikatoren für die Luftverschmutzung. *Natur Landsch* 51: 19 22.
- Frye, T. C. (1920) Notes on useful and harmful mosses. *The Bryologist*, 23(5), 71-71.
- Gall, C., Veste, M., & Seitz, S. (2023). Role of mosses on water retention, soil stability and CO2 storage in temperate forest soils. Poster September 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.14835.50721.
- Gigalib, <http://gigalib.org/>.
- Gignac, LD. (2011) Bryophytes as Predictors of Climate Change. In: Tuba Z, Slack NG and Stark LR (Ed.), *Bryophyte ecology and climate change*. New York: Cambridge University Press. Pp: 461–482.
- Gignac, LD: (2001) New frontiers in bryology and lichenology: Bryophytes as indicators of climate change. *The Bryologist* 2001; 104: 410-420.
- Gilbert, O.L. (1968) Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne valley. *New Phytologist* 67, 15–30.
- Glime, J. M. (2007) Economic and ethnic uses of bryophytes. *Flora of North America*, 27(1919), 14-41.
- Glime, J.M. & Saxena, D. (1991) *Uses of bryophytes*. Today and Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi.
- Glime, JM. (2017b) Gardening: Moss Garden development and maintenance (Chapter 7-4). In: Glime JM. Houghton, MI: Janice M. Glime (Ed.). *Bryophyte Ecology* Vol. 5. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Pp. 1-22.
- Glime, JM. (2017d) Birds and bryophytic food sources (Chapter 16-2). In: Glime JM (Ed.), *Bryophyte Ecology* Vol. 2. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Pp. 1-32.
- Glime, JM. (2017e) Invertebrate: Introduction (Chapter 4-1). In: Glime JM (Ed.), *Bryophyte Ecology* Vol. 2. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Pp. 1-22.
- Glime, JM. (2017g) Construction (Chapter 5). In: Glime JM (Ed.), *Bryophyte Ecology* Vol. 2. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Pp. 1-36.
- Goebes, P., Seitz, S., Geißler, C., Lassu, T., Peters, P., Seeger, M. et al. (2014) Momentum or kinetic energy – How do substrate properties influence the calculation of rainfall erosivity? *Journal of Hydrology* 517: 310–316. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.031>.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, RS., Lomas, PL. & Montes, C. (2010) The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics* 69(6): 1209–1218. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>.
- Govindaparyi, H., Leleekam, M., Nivedita, M. & Uniyal, PL. (2010) Bryophytes: indicators and monitoring agents of pollution. *NeBio* 1(1): 35–41.
- Halder, K. & Mitra, S. (2020) A short review of the ethnomedicinal perspectives of bryophytes. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 46(1): 73-81.
- Harris, ESJ. (2008) Ethnobotany: Traditional uses and folk classification of bryophytes. *The Bryologist* 111(2):169-217. DOI: 10.1639/0007-2745(2008)111[169:ETUAF]2.0.CO;2.
- Harvey, PR., Nellist, DR. & Telfer, MG (2002) *Provisional Atlas of British spiders (Arachnida,*

- Araneae*) Vol. 1. Basel, Arachnologische Gesellschaft. Pp. 76-78.
- Heim, A. & Lundholm, J. (2014) Species interactions in green roof vegetation suggest complementary planting mixtures. *Landscape and Urban Planning* 130: 125–133. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.007>.
- Heim, A., Lundholm, J. & Philip, L. (2014) The impact of mosses on the growth of neighbouring vascular plants, substrate temperature and evapotranspiration on an extensive green roof. *Urban Ecosystems* 17(4): 1119–1133. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0367-y>.
- Hernandez-Rodriguez, E. & Delgadillo-Moya, C. (2020) The ethnobotany of bryophytes in Mexico. *Botanical Sciences* 99 (1): 13-27. Doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.2685>.
- Hollister, R. D., Webber, P. J. & Tweedie, C. E. (2005) *Global Change Biol.* 11, 525-536.
- Horikawa, Y. (1952) The Ranges of Noteworthy Japanese Bryophytes. *Bulletin of the Society of Plant Ecology*, 2(1), 13-18.
- Hudson, JMG, & Henry, GHR. (2010) High Arctic plant community resists 15 years of experimental warming. *Journal of Ecology*, 98:1035–1041.
- Huemmerich, KF., Gamon, JA., Tweedie, CE., Oberbauer, SF., Kinoshita, G., Houston, S. *et al.* (2010) Remote sensing of tundra gross ecosystem productivity and light use efficiency under varying temperature and moisture conditions. *Remote Sensing of Environment* 114: 481–489. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.003>.
- Hylander, K., Frisk, CA., Nemomissa, S. & Johansson, MU. (2021) Rapid post fire re-assembly of species rich bryophyte communities in Afroalpine heathlands. *Journal of Vegetation Science* 32(13033): 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.003>.
- Jägerbrand, A. K., Kudo, G., Alatalo, J. M., & Molau, U. (2012) Effects of neighboring vascular plants on the abundance of bryophytes in different vegetation types. *Polar Science*, 6(2), 200-208.
- Jägerbrand, AK., Alatalo, JM., Chrimes, D., & Molau, U. (2009) Plant community responses to 5 years of simulated climate change in meadow and heath ecosystems at a subarctic-alpine site. *Oecologia* 161:601–610.
- Jiang, Y., Fan, M., Hu, R., Zhao, J. & Wu, Y. (2018) Mosses are better than leaves of vascular plants in monitoring atmospheric heavy metal pollution in urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(6):1105. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph15061105>.
- Jónsdóttir, I. S., Magnússon, B., Gudmunsson, J., Elmarsdóttir, A. & Hjartarsson, H. (2005) *Global Change Biol.* 11, 553-563.
- Klos, A., Ziembik, Z., Rajfur, M., Dolhanczuk-Srodka, A., Bochenek, Z., Bjerke, JW. *et al.* (2018) Using moss and lichens in biomonitoring of heavy-metal contamination of forest areas in southern and north-eastern Poland. *Science of the Total Environment* 627: 438–449. Doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.01.211](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.211).
- Lal Uniyal, P., Shantanu, K., & Pyari, G. (2018) Chapter: Bryophyte Diversity, Utility and Prospects, In book: *Plant Diversity in India* publisher: I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.
- Lelea, S., Springate-Baginskib, O., Lakerveldc, R., Debd, D. & Dashe, P. (2013) Ecosystem Services: Origins, Contributions, Pitfalls, and Alternatives. *Conservation and Society* 11(4): 343-358. Doi: [10.4103/0972-4923.125752](https://doi.org/10.4103/0972-4923.125752).
- Lett, S., Jónsdóttir, IS., Becker-Scarpitta, A., Christiansen, CT., Doring, H., Ekelund, F. *et al.* (2021) Can bryophyte groups increase functional resolution in tundra ecosystems? *Arctic Science* 8(3): 609–637. Doi: <https://doi.org/10.1139/AS-2020-0057>.
- Lett, S., Nilsson, MC., Wardle, DA., & Dorrepaal, E. (2017) Bryophyte traits explain climate-warming effects on tree seedling establishment. *J Ecol* 105:496–506.
- Lewis Smith, R. I. (1999) Biological and environmental characteristics of three cosmopolitan mosses dominant in continental Antarctica. *J. Veg. Sci.*, 10: 231-242.
- Lewis, M. (1981) Human uses of bryophytes I. Use of mosses for chinking log structures in Alaska. *The Bryologist* 84: 571-572.
- Little, P. & Martin, MH. (1974) Biological monitoring of heavy metal pollution. *Environmental Pollution* 6: 1–19. Doi: [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(74\)90042-1](https://doi.org/10.1016/0013-9327(74)90042-1).
- Liu, X. & Rousk, K. (2022) The moss traits that rule cyanobacterial colonization. *Annals of Botany* 129(2): 147–160. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcab127>.
- Ludwiczuk, A. & Asakawa, Y. (2019) Bryophytes as a source of bioactive volatile terpenoids - A review. *Food and Chemical Toxicology* 132(2019)110649. Doi: [10.1016/j.fct.2019.110649](https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110649).
- Mahapatra, B., Dhal, NK., Dash, AK., Panda, BP., Panigrahi, KCS. & Pradhan, A. (2019) Perspective of mitigating atmospheric heavy metal pollution: using mosses as biomonitoring and indicator organisms. *Environmental Science and Pollution Research* 26: 29620–29638. Doi: [10.1007/s11356-019-06270-z](https://doi.org/10.1007/s11356-019-06270-z).
- Mahrup Kusnarta, GM., Ma'shum, M. & Fahrudin. (2019) *Role of Moss on Improving Physical Characteristics of Entisols, Nutrient Uptake and Growth of Corn and Green Beans*. Proceedings of the 2nd International Conference on Bioscience, Biotechnology, and Biometrics. AIP Conf. Proc. 2199: 070016-1–070016-10. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.5141330>.
- Majumdar, S. & Dey, M. (2020) *A Handbook on Bryophytes with Special Reference to Type Specimens of Liverworts and Hornworts in Indian Herbaria*. Botanical Survey of India.
- Mallik, A. & Kayes, I. (2018) Lichen mated seedbeds inhibit while moss dominated seedbeds facilitate black spruce (*Picea mariana*) seedling regeneration in post-fire boreal forest. *Forest Ecology and Management* 427: 260-274. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.064>.
- Maréchaux, I., Langerwisch, F., Huth, A., Bugmann, H., Morin, X., Reyser, C., Seidl, R., Collalti, A., & Bohn, F. (2021) Tackling unresolved questions in forest ecology: the past and future role of simulation models. *Ecol Evolut* 11:3746–3770.
- Markham, K. R., A. Franke, D. R. Given & P. Brownsey. (1990) Historical Antarctic ozone level trends from herbarium specimen flavonoids. *Bull. Liaison Groupe Polyphenols*, 15: 230-235.
- Marko, S., Aneta, B., & Dragoljub, G. (2001) Bryophytes as a potential source of medicinal compounds. *Pregl Rev*, 21:17e29.
- Martinez-Lopez, J., Ramos, AA., Martínez y Ojeda, E., & Manzano-Méndez, F. (2017) Recursos forestales no maderables en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7: 37-52. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.73>.
- Mayrand, F. & Clergeau, P. (2018) Green Roofs and Green Walls for Biodiversity Conservation: A Contribution to Urban Connectivity? *Sustainability* 10(4): 985. Doi: [10.3390/su10040985](https://doi.org/10.3390/su10040985).

- Miles, C. J., & Longton, R. E. (1990) The role of spores in reproduction in mosses. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 104(1-3), 149-173.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. Pp. 1-136.
- Miller, N. G. (1980) Fossil mosses of North America and their significance, pp. 9–36. In R. J. Taylor & A. E. Leviton (eds.), *The Mosses of North America. Pacific Division of the American Association for the Advancement of Science*, San Francisco, CA.
- Miller, N. G. (1984) Tertiary and quaternary fossils, pp. 1194–1232. In R. M. Schuster (ed.), *New Manual of Bryology*, Vol. 2. The Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, Japan.
- Min, L. Y., & Longton, R. E. (1993) Mosses and the production of Chinese galls. *Journal of bryology*, 17(3), 421-430.
- Mossang, P., Chimyang, N., Shankar, V., Mangangcha, IR., Evelin, H. (2021) Bryophytes in Medicines. *Journal of Bioresources* 8(1): 1-23. DOI: 10.17605/OSF.IO/VQ2TD.
- Motti, R., Di Palma, A. & de Falco, B. (2023) Bryophytes Used in the Folk Medicine: An Ethnobotanical Overview. *Horticulturae* 2023, 9, 137.
- Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M., & Mercurio, R. (2014) A review of the roles of forest canopy gaps. *J For Res* 25:725–736.
- Nash, E. (1972) Effects of effluents from a zinc smelter on mosses. Ph.D. dissertation, Rutgers University. New Brunswick, NJ.
- Nyman, JA. & Lindau, CW. (2016) Nutrient availability and flooding stress interact to affect growth and mercury concentration in *Taxodium distichum* (L.) Rich. seedlings. *Environ Exp Bot* 125:77–86.
- Oechel, W. C., & Sveinbjörnsson, B. (1978) Primary production processes in arctic bryophytes at Barrow, Alaska. In *Vegetation and production ecology of an Alaskan arctic tundra* (pp. 269-298). New York, NY: Springer New York.
- Oechel, W.C. & Van Cleve, K. (1986) The role of bryophytes in nutrient cycling in the taiga. *Forest Ecosystems in the Alaskan Taiga* (eds K. Van Cleve, F.S. Chapin, P.W. Flanagan, L.A. Viereck & C.T. Dyrness), pp. 121–137. Ecological Studies 57. Springer-Verlag, New York.
- Oishi, Y. & Hiura, T. (2017) Bryophytes as bioindicators of the atmospheric environment in urban-forest landscapes. *Landscape and Urban Planning* 167: 348–355. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.07.010.
- Oliver, M. J., B. D. Mishler, and J. E. Quisenberry. (1993) Comparative measures of desiccation tolerance in the *Tortula ruralis* complex. I. Variation in damage control and repair. *Am. J. Bot.* 80:127–136.
- Oluwole, OO. (2019) Nutrient uptake of *Archidium acanthophyllum* and *Cyanotis lanata* from Savanna Microsites on Baasi Inselberg in Southwestern Nigeria. *African Journal of Science and Nature* 8: 10-18. DOI: <https://doi.org/10.46881/ajsn.v8i0.161>.
- Pahlsson, AMB. (1989) Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water Air Soil Pollut* 47:287–319.
- Painter, TJ. (1991) Lindow man, Tollund man and other peat-bog bodies: the preservative and antimicrobial action of sphagnum, a reactive glycuronoglycan with tanning and sequestering properties. *Carbohydr Polym* 15:123–142.
- Pant, G & Tewari, S.D. (1989) Various Human Uses of Bryophytes in the Kumaun Region of Northwest Himalaya. *Bryologist* 1989, 92, 120–122.
- Pant, G, & Tewari, SD. (1990) Bryophytes and mankind. *Ethnobotany*, 2:97e103.
- Pavletic Z. & Stilinovic B. (1963). Untersuchungen über die antibiotische Wirkung von Moosestraktenaufeinige Bakterien. *Acta Bot Croat* 1963; 22: 133-139.
- Petrie, MD., Wildeman, AM., Bradford, JB., Hubbard, RM., & Lauenroth, WK. (2016) A review of precipitation and temperature control on seedling emergence and establishment for ponderosa and lodgepole pine forest regeneration. *For Ecol Manag* 361:328–338.
- Prescott, CE. (2002) The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiol* 22:1193–1200.
- Putzke, J. (2023) *Introductory Chapter: Bryophytes - Why Should We Study Them?* IntechOpen.
- Raeymaekers, G (1987) Effects of Simulated Acidic Rain and Lead on the Biomass, Nutrient Status, and Heavy Metal Content of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 63, 219-230.
- Razzaghamanesh, M., Beecham, S. and Salemi, T. (2016) The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry and Urban Greening* 15: 89–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.013>.
- Rehm, EM., Thomas, MK., Yelenik, SG, Bouck, DL. & D'Antonio, CM. (2019) Bryophyte abundance, composition and importance to woody plant recruitment in natural and restoration forests. *Forest Ecology and Management* 444: 405-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.055>.
- Researchgate, <http://researchgate.net/>.
- Richards, P.W. (1932) Ecology F. Verdoorn (Ed.), *Manual of bryology*, Nijhoff, The Hague (1932), pp. 367-395.
- Richardson, DHS. (1981) *The Biology of Mosses*. New York: Wiley. Pp. 1- 220.
- Roberts, AW., Roberts, EM. & Haigler, CH. (2012) Moss cell walls: structure and biosynthesis. *Frontiers in Plant Science* 3:1–8. DOI: 10.3389/fpls.2012.00166.
- Rocheft, L. (2000) *Sphagnum*—a keystone genus in habitat restoration. *The Bryologist*, 103(3), 503-508.
- Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Chamizo, S., Afana, A. & Solé-Benet, A. (2012) Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology* 145–146(1): 81–89. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.12.042.
- Rütten, D., & Santarius, K. A. (1992) Relationship between frost tolerance and sugar concentration of various bryophytes in summer and winter. *Oecologia*, 91, 260-265.
- Ryoma, R. & Lindberg, SL. (2005) Bryophyte recolonization on burnt soil and logs, Scandinavian. *Journal of Forest Research* 20(6): 5-16.
- S. Sabovljević, M., & D. Sabovljević, A. (Eds.). (2020) *Bryophytes*. IntechOpen.
- Salimi, S., Berggren, M. & Scholz, M. (2021) Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management. *Global Change Biology* 27: 5154–5168. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15753>.
- Satake, K., Takamatsu, T., Soma, M., Shibata, K., Nishikawa, M., Say, P.J., & Whitton, BA. (1989) *Lead accumulation and location in the shoots of the aquatic liverwort Scapania undulata (L.) Dum. in stream water at greenside mine*, England, Aquatic Botany, Volume 33, Issues 1–2, 1989, Pages 111-122, ISSN

- 0304-3770, [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(89\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90024-7).
- Saxena, DK. & Harinder. (2004) *Uses of Bryophytes*. Resonance 56-65. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02839221>.
- Scott, D. H. (1911) *The evolution of plants* (No. 9). Williams and Norgate.
- Seaward, M. R. D., & Williams, D. (1976) An interpretation of mosses found in recent archaeological excavations. *Journal of Archaeological Science*, 3(2), 173-177.
- Shacklette, H.T. (1965a) *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1198-C 1-18.
- Shacklette, H.T. (1965b) *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1198-D 1-21.
- Shaw, AJ., Szovenyi, P. and Shaw, B. (2011) Bryophyte diversity and evolution: windows into the early evolution of land plants. *American Journal of Botany* 98(3): 352-369. Doi: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000316>.
- Shortlidge, E. E., Eppley, S. M., Kohler, H., Rosenstiel, T. N., Zúñiga, G. E., & Casanova-Katny, A. (2017) Passive warming reduces stress and shifts reproductive effort in the Antarctic moss, *Polytrichastrum alpinum*. *Annals of botany*, 119(1), 27-38.
- Simard, MJ., Bergeron, Y., & Sirois, L. (1998) Conifer seedling recruitment in a southeastern Canadian boreal forest: the importance of substrate. *J Veg Sci* 9:575-582
- Singh, S. & Srivastava, K. (2013) Bryophytes as Green Brain: Unique and Indispensable Small Creature. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 23(2): 28-35. DOI: <http://www.globalresearchonline.net/>.
- Sirohi, S., Yadav, C. & Banerjee, D. (2019) Biofuel from Bryophyta as an Alternative Fuel for Future. *Nature Environment and Pollution Technology. An International Quarterly Scientific Journal* 18 (3): 889-895.
- Soudzilovskaia, NA., Graae, BJ., Douma, JC., Grau, O., Milbau, A., Shevtsova, A., Wolters, L., & Cornelissen, JHC. (2011) How do bryophytes govern generative recruitment of vascular plants? *New Phytologist* 190:1019-1031.
- Spjut, R.W., Suffness, M., Cragg, G.M. & Norris, D.H. (1986) Mosses, liverworts and hornworts screened for antitumor agents. *Economic Botany* 40 (3): 310-338.
- Sprugel, DG. (1976) Dynamic structure of wave-regenerated *Abies balsamea* forests in the north-eastern United States. *J Ecol* 64:889-911.
- Srivastava, N. (2015) *Funaria hygrometrica* extracts with activity against plant pathogenic fungi *Alternaria* species. - *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* 2: 105 - 112.
- Staunch, A., Redlecki, M., Wooten, J., Sleeper, J. & Titus, J. (2012) Moss and soil substrates interact with moisture level to influence germination by three wetland tree species. *International Scholarly Research Network. ISRN Botany*: 1-6. Doi:10.5402/2012/456051.
- Stefanie, JM., Desirée, DG., Jean-Pierre J., Ralf, R. (2016) Can mosses serve as model organisms for forest research? *Annals of Forest Science*, 2016, 73 (1), pp.135-146.
- Stewart, JA. (2001) Some spiders of Flanders Moss. *The Forth Naturalist and Historian* 24: 49-56.
- Studlar, SM. & Peck, JE. (2009) Extensive green roofs and mosses: reflections from a pilot study in Terra Alta, West Virginia. *Evansia* 26(2): 52-63. DOI: 10.1639/0747-9859-26.2.52.
- Takagi, G. (1937) Studies on the artificial Multiplication of the Sumach Gall Aphid. I. Especially *Schlechtendalia chinensis* Bell.
- Tan, BC. (2003) Bryophytes (mosses). In: Amoroso VB and Winter WP (Ed.), *Plant Resources of South-East Asia*. Backhuys Publishers. Pp: 193-200.
- Tang, J., Tang, XX., Qin, YM., He, QS., Yi, Y. & Ji, ZL. (2019) Karst rocky desertification progress: Soil calcium as a possible driving force. *Science of the Total Environment* 649: 1250-1259. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.242.
- Taoda, H. (1972) Mapping of atmospheric pollution in Tokyo based upon epiphytic bryophytes. *Japanese Journal of Ecology*, 22(3), 125-133.
- Taoda, H. (1973) Effect of air pollution on bryophytes. I. SO₂ tolerance of bryophytes. *Hikobia* 6: 238-250.
- Taoda, H. (1975) *Bryophytes as indicators of air pollution. Science for Better Environment*. Proc. Int. Congr. Human Environment (HESC), Kyoto, 292-301.
- Thieret, J.W. (1954) *Mosses and liverworts: Old and new uses*. Chicago Nat. Hist. Mus. Bull.: pp. 4, 8.
- Thieret, JW. (1956) Bryophytes as economic plants. *Economic Botany* 10: 75-91.
- Thomas, W. (1984) Statistical models for the accumulation of PAH, chlorinated hydrocarbons and trace metals in epiphytic *Hypnum cupressiforme*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 22, 351-371.
- Tripp, F.E. (1888) *British Mosses. Their Homes, Aspects, Structure, and Uses*, Vols 1-2. George Bell and Sons, Covent Garden, London.
- Turetsky, MR. (2003) The role of bryophytes in carbon and nitrogen cycling. *The Bryologist* 106, 395-410.
- Vanderpoorten, A. & Goffinet, B. (2009) *Introduction to Bryophytes*. Cambridge University Press, Cambridge: 312 pp.
- Vásquez, C., Calva, J., Morocho, R., Donoso, DA. & Benítez, A. (2019) Bryophyte Communities along a Tropical Urban River Respond to Heavy Metal and Arsenic Pollution. *Water* 11(4): 813. DOI: 10.3390/w11040813.
- Vitt, DH., Crandall-Stotler, B. & Wood, A. (2014) Survival in a dry world through avoidance and tolerance. In: Rajakaruna NR Boyd and Harris T (Ed.), *Plant Ecology and Evolution in Harsh Environments*. Nova Publishers. Pp: 267-295.
- Walker, M.D., C.H. Wahren, R.D. Hollister, G.H.R. Henry, L.E. Ahlquist, J.M. Alatalo, M.S. Bret-Harte, M.P. Calef, T.V. Callaghan, A.B. Carroll, H.E. Epstein, I.S. Jónsdóttir, J.A. Klein, B. Magnússon, U. Molau, S.F. Oberbauer, S.P. Rewa, C.H. Robinson, G.R. Shaver, K.N. & Sudling, C.C. Thompson, A. Tolvanen, R. Totland, P.L. Turner, C.E. Tweedle, P.J. Webber & P.A. Wookey. (2006) Plant community responses to experimental warming across the tundra biome. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 103: 1342-1346.
- Warren, SD., St. Clair, LL., Stark, LR., Lewis, LA., Pombubpa, N., Kurbessoian, T. et al. (2019) Reproduction and Dispersal of Biological Soil Crust Organisms. *Frontiers in ecology and evolution* 7(344): 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00344>.
- Welch, W. H. (1948) Mosses and their uses. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 58: 31-46.
- Wielgolaski, FE. (1971) Vegetation types and primary production in tundra. In: Wiel FE and Roswall T (Ed.), *Proceedings of the IV International Meeting on the Biological Productivity of Tundra*. The Tundra Steering Committee, Leningrad USSR. Pp: 9-34.

- Winner, W. E., & Bewley, J. D. (1978) Contrasts between bryophyte and vascular plant synecological responses in an SO₂-stressed white spruce association in central Alberta. *Oecologia*, 33, 311-325.
- Wright, EF., Coates, KD., & Bartemucci, P. (1998) Regeneration from seed of six tree species in the interior cedar-hemlock forests of British Columbia as affected by substrate and canopy gap position. *Can J For Res* 28:1352-1364.
- Wu, PC. (1982) Two new species of bryophytes from Xizang (Tibet), China. *Journal of Systematics and Evolution*, 20(3), 351.
- Xiao, B., Hu, K., Ren, T. and Li, B. (2016) Moss-dominated biological soil crusts significantly influence soil moisture and temperature regimes in semiarid ecosystems. *Geoderma* 263: 35-46. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.012>.
- Xiao, H., Xiong, KN., Zhang, H., & Zhang, QZ. (2014) Research progress for karst rocky desertification control models. *China population, resources and environment* 24(3): 330-334.
- Yang, T., Chen, J., Li, X., Wu, T., Hu, Z., & Wang, S. (2019) Ecological risk by heavy metal contents in sediments within the Wei River Basin, China. *Environmental earth sciences*, 78, 1-12.
- Yayintas, OT. & İrkin, LC. (2018) Bryophytes as hidden treasure. *Health Sciences Quarterly* 2(1): 71-83. DOI:10.26900/jsp.2018.07.
- Zhang, Y., Aradottir, AL., Serpe, M. & Boeken, B. (2016) Interactions of biological soil crusts with vascular plants. In: Weber B, Büdel B and Belnap. J (Ed.), *Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands*. Ecological Studies, 226. Springer, Switzerland. Pp: 385-406. DOI: 10.1007/978-3-319-30214-0.
- Zhao, Y., Qin, N., Weber, B. & Xu, M. (2014) Response of biological soil crusts to raindrop erosivity and underlying influences in the hilly Loess Plateau region, China. *Biodiversity and Conservation* 23: 1669-1686. DOI: 10.1007/s10531-014-0680-z.
- Zheng, YP., Zhao, JC., Zhang, BC., Li, L. & Zhang, YM. (2009) Advances on ecological studies of algae and mosses in biological soil crust. *Chinese Bulletin of Botany* 44(3): 371-378. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3466.2009.03.015.
- Zvereva, EL. & Kozlov, MV. (2011) Impacts of industrial pollutants on bryophytes: a meta-analysis of observational studies. *Water, Air and Soil Pollution* 218: 573-586. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0669-5>.

A review of the ecosystem services of mosses

Maghsoudi M.¹, Ejtehadi H.¹, Esmailzadeh O.² and Zare H.³

¹ Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, I.R. of Iran.

² Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, I.R. of Iran.

³ Botanical Garden of Nowshahr, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, I.R. of Iran.

Abstract

Mosses are part of bryophytes and are one of the most important components of the environment. They are important in ecosystem services, including provisioning, regulating, supporting, and cultural. We used all databases to get and search for literature. Generally, mosses ecosystem services can be provided such as support services including formation and control of soil erosion, provision of habitat for organisms, effective in the food and water cycle, carbon decomposition and a sign of climate change, nitrogen fixation, restoration and regeneration habitat with understory colonization after the occurrence of natural events, facilitating the germination of seedlings of other plant groups, mycorrhizal symbiosis and increasing microbial activity for soil fertility; Regulatory services such as effective in the water cycle, environmental applications in pollution studies and biological indicators of heavy metals in the air, pest and disease control, ecosystem indicator species, soil protection, reducing the effects of UV-B radiation, Bioindicators land and water; Provision of security and cultural services such as fuel, the provision of materials in furniture, clothing, construction, packaging materials, medicines and other biological agents, having antitumor properties, creating green roofs and moss gardens, Horticulture and genetic engineering. The result of this review can be used in the protection, restoration, and maintenance of ecosystems and the environment.

Keywords: Provisioning Services, Regulating Services, Supporting Services, Cultural Services, Mosses