

## بررسی استقرار خزه‌های دارای ارزش زینتی بر روی تنه درختان پوسیده و رابطه آن‌ها با درختان میزبان برای استفاده در فضای سبز

یاسر شریعتی<sup>۱</sup>، هدایت زکی‌زاده<sup>۲</sup>، حبیب زارع<sup>۳\*</sup> و جمالعلی الفتی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری باغبانی، گروه علوم باغبانی، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- نویسنده مسئول، استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: hh.zare@gmail.com

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

### چکیده

امروزه جایگاه و ارزش زیبایی‌شناختی خزه‌ها به‌عنوان گیاهان ابتدایی و همیشه‌سبز در طراحی چشم‌اندازهای طبیعی و انسان‌ساخت رو به افزایش است. ازجمله اقدام‌های مؤثر در راستای حفاظت از تنوع زیستی خزها و استفاده از آن‌ها در بوم‌سازگان‌های دیگر به‌ویژه فضای سبز شهری می‌توان به مطالعه نحوه توزیع مکانی گونه‌های خز، اثر متقابل آن‌ها بر درختان میزبان و بررسی فراوانی، تاج‌پوشش و تنوع آن‌ها در طول زمان اشاره کرد. در پژوهش پیش‌رو، وضعیت استقرار گونه‌های خز دارای ارزش زینتی بر روی تنه و چوب‌های میزبان شامل راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، مرز (*Carpinus betulus* L.)، توسکا بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) و پلت (*Acer velutinum* Boiss.) در چهار دوره شش‌ماهه با استفاده از شاخص‌های درصد تاج‌پوشش، تنوع آلفا و بتا و تعیین گونه معرف با استفاده از شاخص ارزش معرف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در مجموع، ۲۸ گونه خز مربوط به ۱۵ جنس و ۱۲ خانواده بر روی درختان میزبان مستقر شده بودند. به‌طورکلی تنوع، فراوانی و تاج‌پوشش خزها در پایان دوره چهارم، عملکرد کاهشی داشتند. بیشترین و کمترین فراوانی گونه‌های خز به ترتیب روی درختان مرز و پلت مشاهده شد. بررسی برهم‌کنش خزها با درختان میزبان نشان داد که راش و مرز، بیشترین گونه‌های معرف ترکیبی را دارند. درصد تاج‌پوشش خزها، عملکردی متفاوت نسبت به تنوع و فراوانی آن‌ها داشت. به‌طوری‌که در پایان دوره زمانی، بیشترین افزایش درصد تاج‌پوشش خز در پلت با کمینه شاخص‌های تنوع و فراوانی مشاهده شد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که در انتخاب مناسب‌ترین گونه‌های خز برای کاشت در بوم‌سازگان‌های دیگر باید تلفیقی از معیارهای درصد تاج‌پوشش، فراوانی گونه‌ها و رابطه آن‌ها با درختان میزبان در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: باغ گیاه‌شناسی نوشهر، خز زینتی، شاخص ارزش معرف، شاخص تنوع شانون- وینر.

## مقدمه

برهم‌کنش مؤلفه‌های زیستی رویشگاه، محرک‌های کلیدی در پویایی جوامع گیاهی و ترکیب پوشش گیاهی هستند (Gavini *et al.*, 2019). در بیشتر پژوهش‌ها، اثرات متقابل مؤلفه‌های زیستی براساس گیاهان آوندی بررسی شده‌اند. اگرچه این رویکرد را می‌توان برای بخش‌های بزرگی از بوم‌سازگان متصور شد، اما در طیف وسیعی از رویشگاه که با شرایط سخت زیستی روبرو هستند، رشد گیاهان آوندی، وابستگی زیادی به بریوفیت‌ها دارند (Gornall *et al.*, 2011). در شرایط رویشگاهی دشوار، رابطه بین گیاهان آوندی و بریوفیت‌ها به‌عنوان فرایند تسهیل‌کننده در حفظ تنوع گیاهی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Brooker *et al.*, 2008). مطالعه برهم‌کنش گیاهان و بریوفیت‌ها، زمینه پژوهشی مناسبی را برای تفسیر الگوهای توزیع (Patterns of distribution)، فراوانی گیاهان و حفظ تنوع زیستی فراهم می‌کند (Bertness & Callaway, 1994).

خزده‌ها به‌عنوان یکی از حساس‌ترین مؤلفه‌های بوم‌سازگان‌ها از مهم‌ترین زیرشاخه‌های بریوفیت‌ها هستند که نسبت به تغییر شرایط آب‌وهوایی به‌سرعت واکنش نشان می‌دهند (Rudolphi *et al.*, 2014). از این رو، خزده‌ها به‌عنوان نشانگرهای زیستی (Biological Indicators) قابل‌اعتمادی در شناسایی وضعیت بوم‌سازگان‌های جنگلی استفاده می‌شوند (Hofmeister *et al.*, 2015; Czerepko *et al.*, 2021). خزده‌ها، پوشش زمینی غالب در مجموعه وسیعی از بوم‌سازگان‌ها هستند. آن‌ها مانند بسیاری از گیاهان آوندی با شکل زیستی بالشتکی، افزایش رطوبت و مواد مغذی خاک، کاهش سرمازدگی نهال‌ها و ریشه‌های گیاهان و ایجاد لایه‌های بافر در دمای کم سبب ایجاد خُرداقلیم‌های (Microclimate) مناسب در محیط اطراف خود می‌شوند (Roberts *et al.*, 2009). خزده‌ها به‌دلیل ساختار فیزیکی‌شان علاوه‌بر به دام انداختن بذرهای گیاهان و کمک به رویش آن‌ها، به‌عنوان مکان‌های امنی برای جلوگیری از بذرخواری نیز شناخته شده‌اند

(Jeschke & Kiehl, 2008)، بنابراین خُرداقلیم‌های ایجادشده توسط خزده‌ها می‌توانند استقرار، رشد و بقای گونه‌های گیاهی دیگر را بهبود دهند (Groeneveld *et al.*, 2007; Angélica Casanova-Katny & Cavieres, 2012).

خزده‌ها در جنگل‌های بکر به‌دلیل فراهم بودن مداوم رطوبت محیطی، استفاده از تاج درختان برای محافظت در برابر سرما و خشکی و درنهایت، شرایط آب‌وهوایی پایدار (Von Arx *et al.*, 2013; Frey *et al.*, 2016) همواره تنوع و غنای زیادی دارند (Cooper-Ellis, 1998). مؤلفه‌های متنوع جنگل‌های بکر مانند تاج گسترده، کُنده‌ها، شیارهای عمیق پوستی و ریشه‌دوانی عمیق در درختان ریشه‌کن‌شده سبب تشکیل انواع خُرداقلیم و خُردزیستگاه (Microhabitat) تخصصی برای افزایش تنوع خزده‌ها می‌شوند. با این حال، تغییر اقلیم و مداخله‌های انسان مانند مدیریت نادرست جنگل‌ها و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی سبب کاهش پایداری شرایط محیطی در بوم‌سازگان‌های جنگلی شده‌اند که تهدید جدی برای تنوع خزده‌ها به‌شمار می‌آیند (Becker Scarpitta *et al.*, 2017; Hänsel, 2020; Pińskwar *et al.*, 2020).

در سال‌های اخیر، حفظ و احیای تنوع زیستی خزده‌ها در محیط‌های تخریب‌شده با بهره‌گیری از روش‌های پایش زیستی مورد توجه قرار گرفته است (Sheng *et al.*, 2021). خزده‌ها با ریخت‌شناسی ساده، تمایز سلولی کم و پتانسیل رشد سلولی زیاد، توانایی قابل‌ملاحظه‌ای در استقرار و پایداری در تقابل با تغییر اقلیم، آلودگی و دخالت‌های انسانی دارند (Figueira & Ribeiro, 2005; Hurtado *et al.*, 2022). به‌رغم اهمیت گیاهان غیرآوندی و برهم‌کنش آن‌ها با مؤلفه‌های دیگر بوم‌سازگان، پژوهش‌های بوم‌شناسی و حفظ تنوع زیستی خزده‌ها در ایران، بسیار ناچیز هستند.

نقش ارزش زیبایی‌شناختی خزده‌ها به‌عنوان توده‌های سبزرنگ با سطح‌های ناهموار لطیف و چشم‌نواز در رویشگاه‌های طبیعی همواره جلوه خاصی از سلامت و

عرض شمالی و "۵۱' ۳۰' ۵۱° طول شرقی، بدون شیب و پستی و بلندی است و در ارتفاع ۲۰ متر پایین تر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم منطقه مورد مطالعه، معتدل مرطوب با زمستان‌های ملایم و خنک و تابستان‌های گرم و مرطوب است. براساس آمار هواشناسی بیست‌ساله فرودگاه نوشهر (۱۳۷۸-۱۳۹۸)، میانگین بارش سالانه این منطقه ۱۱۵۰ میلی‌متر و میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه آن به ترتیب برابر با ۱۲/۲ و ۲۱/۶ درجه سانتی‌گراد هستند. حضور تاج‌پوشش درختان متنوعی مانند انجیلی (*Parrotia persica* C.A.Mey)، کاج هیمالیا (*Pinus wallichiana* A.B.Jacks)، عنبرسائل (*Liquidambar orientalis* Mill.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.) و گیلاس وحشی (*Prunus avium* (L.) L.) در عرصه مورد پژوهش سبب شده است که نور ملایمی به کف رویشگاه برسد. تنه درختان که محل استقرار گونه‌های مختلف خزه هستند، در زیر تاج‌پوشش این درختان قرار گرفته‌اند.

#### روش پژوهش نمونه‌برداری

به منظور بررسی استقرار برخی گونه‌های خزه دارای ارزش زینتی بر روی تنه‌های درختان پوسیده، ابتدا بعضی از گونه‌های خزه‌ای براساس سیمای ظاهری آن‌ها انتخاب شدند. سپس، مقدار کافی از توده‌های هر گونه خزه از سطح درختان در حال فساد جنگل شامل ممرز، راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، توسکا بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey) و پلت (*Acer velutinum* Boiss) در ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا جنگل‌های بخش دالخان‌ی رامسر جمع‌آوری شدند. این نمونه‌ها در پاکت‌های مخصوص با حفظ مقدار رطوبت کافی نگهداری شدند. هم‌زمان، برخی تنه‌های درختان میزبان که قابلیت حمل و جابه‌جایی داشتند، همراه با توده‌های خزه‌ای مستقر در سطح آن‌ها به عرصه مورد مطالعه در باغ گیاه‌شناسی نوشهر منتقل و مستقر شدند.

زیبایی را به محیط طبیعی جنگل‌ها القا می‌کند (Julinova & Beckovsky, 2019). از این رو، طراحان و معماران چشم‌اندازهای طبیعی با کاربرد خزه‌ها در آرایش و زیباسازی مناظر شهری از جمله پارک‌ها و فضای سبز در مقیاس‌های متفاوت به‌ویژه طراحی باغ‌های کوچک، دریچه‌های نوین و عامه‌پسند در معماری و طراحی محیط ایجاد کرده‌اند. به طوری که در بعضی از سبک‌های طراحی به‌ویژه در طراحی باغ‌های شرقی مانند چین و ژاپن و نیز در برخی مناطق آلمان، خزه‌ها از عنصرهای اصلی طراحی محسوب می‌شوند (Glime, 2017). انجام پژوهش‌های گسترده در مورد استفاده از خزه‌ها و چگونگی پرورش و توسعه آن‌ها در خارج از رویشگاه اصلی روزبه‌روز بر توجه به این گیاهان و ایجاد محیط‌های جدید و غیر تکراری با استفاده از آن‌ها افزوده است (Julinova & Beckovsky, 2019).

پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی استقرار گونه‌های مختلف خزه برای قضاوت، انتخاب و یا پیشنهاد گونه‌های مناسب به بخش اجرا و یا پژوهش‌های بیشتر انجام شد. برای این منظور، ابتدا تنوع زیستی گونه‌های خزه در سطح تنه و جوب‌های میزبان ارزیابی شد. سپس، پایداری آن‌ها در چهار بازه شش‌ماهه بررسی شد. علاوه بر این، بررسی توزیع گونه‌های خزه بر روی گیاهان آوندی و معرفی گونه‌های شاخص خزه انجام گرفت تا مبنای نظری جدیدی برای بازکاشت و توسعه در خارج از بوم‌سازگان‌های طبیعی به منظور حفاظت از تنوع زیستی گونه‌های شاخص خزه بر روی درختان میزبان فراهم شود.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در قسمتی از زمین‌های پوشیده از درختان در باغ گیاه‌شناسی شهرستان نوشهر از توابع استان مازندران و در بخشی که سایه‌سار درختان بومی و غیربومی، محیطی شبیه بوم‌سازگان جنگل طبیعی ایجاد کرده بود، اجرا شد. این منطقه با مختصات "۵۲' ۳۸' ۳۶°

## شناسایی خزدها

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_b P_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن‌ها،  $S$  بیانگر تعداد کل گونه‌ها است. همچنین،  $P_i$  و  $b$  به ترتیب فراوانی نسبی گونه  $i$ ام و پایه لگاریتم را نشان می‌دهند.

تحلیل خوشه‌بندی و آنالیز گونه‌های معرف

نمایش هم‌زمان گونه‌های خزده بر روی درختان میزبان با استفاده از بسته ComplexHeatmap در نرم‌افزار R خوشه‌بندی شدند. سپس، نقشه حرارتی آن‌ها مصورسازی شد. هرکدام از گونه‌های درختی به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته شدند. تعیین گونه معرف هر یک از درختان میزبان با استفاده از روش ارزش معرف یا IndVal در دو حالت معمولی و ترکیبی انجام گرفت. با توجه به رابطه (۳)، روش ارزش معرف براساس دو معیار فراوانی نسبی ( $A$ ) یا وفاداری و وفور نسبی ( $B$ ) محاسبه می‌شوند (Legendre & Legendre, 2012). گونه‌های معرف (معمولی و ترکیبی) با استفاده از تابع multipatt در بسته indicpecies تجزیه و تحلیل شدند (De Cáceres *et al.*, 2016). در روش معمولی تعیین گونه معرف، هرکدام از گونه‌های خزده فقط به یک گونه درختی میزبان تخصیص می‌یابند. در صورتی که در حالت ترکیبی، ابتدا براساس گروه‌بندی اولیه (در این پژوهش، پنج درخت میزبان)، تعداد  $2k-1$  (=k) تعداد گروه‌بندی اولیه) گروه جدید شکل می‌گیرد. سپس، هرکدام از گونه‌های خزده به یک گروه یا ترکیبی از درختان میزبان تخصیص می‌یابند (De Cáceres *et al.*, 2010).

$$IndVal = A \times B = \frac{n_p}{N_p} \times \frac{a_p}{a} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن،  $IndVal$  بیانگر ضریب ارزش معرف،  $n_p$  فراوانی گونه مورد نظر در درخت هدف،  $N_p$  تعداد بازه زمانی در درخت هدف،  $a_p$  مجموع مقدارهای وفور گونه مورد نظر

برای شناسایی نمونه‌های خزده مربوط به هرکدام از درختان، مقداری از آن‌ها جدا شد و به بخش خزده‌شناسی هر یاریوم باغ گیاه‌شناسی نوشهر منتقل شدند. این نمونه‌ها در آب به منظور آب‌گیری سلول‌ها نگهداری شدند. سپس، تعدادی برگ از قسمت‌های مختلف هر نمونه با استفاده از بی‌نوکولار یا استریومیکروسکوپ برداشت شد و روی لام و لامل، نمونه اسلاید تهیه شد. در نهایت، نمونه‌های اسلاید با استفاده از مهم‌ترین منابع خزده‌شناسی (Nyhholm, 1954; Ignatov & Ignatova, 2003 & 2004; Smith, 2004)، مطالعه‌های سلولی، تکنیک‌های لازم و نیز با کاربرد میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی متغیر شناسایی شدند.

استقرار گونه‌های خزده بر روی درختان میزبان

همه گونه‌های خزده شناسایی شده دوباره بر روی چوب‌های جنگلی مشابه رویشگاه مبدأ شامل راش، ممرز، توسکا بیلاقی، بلندمازو و پلت استقرار یافتند. در مرحله بعدی در چهار دوره زمانی شش‌ماهه (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، درصد تاج‌پوشش همه گونه‌های خزده در پایان هر دوره زمانی بر روی درختان میزبان اندازه‌گیری شد.

تحلیل شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای

در پژوهش پیش‌رو برای بررسی غنا گونه‌ای (تنوع آلفا) از شاخص غنا کل ( $R$ ) استفاده شد (رابطه ۱). این شاخص، فراوانی گونه‌های خزده را از طریق شمارش هرکدام از گونه‌ها بر روی درختان میزبان نشان می‌دهد (Magurran, 1988). همچنین، شاخص شانون-وینر ( $H'$  در رابطه ۲) به‌عنوان یکی از شاخص‌های تنوع گونه‌ای (تنوع بتا) خزده‌ها محاسبه شد (Peet, 1974). تجزیه و تحلیل مرتبط با غنا و تنوع گونه‌ای با استفاده از تابع‌های بسته Vegan در نرم‌افزار R انجام شد.

$$R = S \quad \text{رابطه (۱)}$$

*salebrosum* (Hoffm. ex F. Weber & D. Mohr)  
*Hypnum jutlandicum* Holmen & Schimp.  
*Plagiomnium affine* (Blandow ex Warncke  
*Plagiomnium undulatum* Funck) T.J. Kop.  
*Pseudoleskea incurvata* (Hedw.) T.J. Kop.  
*Schistidium apocarpum* (Hedw.) Loeske  
*Thamnium* و (Hedw.) Bruch & Schimp.  
*alopecurum* (Hedw.) Schimp. یا توانایی استقرار بر  
روی گونه‌های درختی میزبان را نداشتند یا درصد  
تاج پوشش آن‌ها در همه گونه‌های درختی در پایان دوره  
کاهش یافت. ۱۴ گونه دیگر خزه، عملکردی بینابینی نشان  
دادند. به طوری که در برخی از درختان میزبان، افزایش  
درصد تاج پوشش و بعضی دیگر، کاهش درصد تاج پوشش  
را داشتند (جدول ۱).

تجزیه و تحلیل شاخص تنوع آلفا برای خزه‌ها نشان داد  
که تفاوت این شاخص بین سری‌های زمانی، معنی‌دار بود  
(شکل ۱-الف). به طوری که بیشینه شاخص تعداد کل  
گونه‌های خزه به درختان ممرز و راش تعلق داشت (جدول  
۲). کمینه آن نیز در پلت مشاهده شد. براساس نتایج  
شاخص شانون-وینر، بیشترین تنوع در بین گونه‌های  
درختی متعلق به ممرز بود (جدول ۲ و شکل ۱). بررسی  
موفقیت حضور گونه‌های خزه در دوره‌های زمانی مورد  
مطالعه بر روی درختان میزبان نیز نشان داد که میانگین  
تنوع گونه‌ای خزه در طول دوره به طور کلی با کاهش در  
همه گونه‌های درختی همراه بود (شکل ۱-پ و ت).  
به طوری که بیشینه و کمینه تنوع گونه‌های خزه به ترتیب در  
شش ماهه اول و شش ماهه آخر مشاهده شد.

در درخت هدف و a نشان‌دهنده مجموع وفور گونه مورد نظر  
در همه درختان هستند.

به منظور بررسی الگوی توزیع گونه‌های خزه و درختان  
میزبان از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.  
PCA براساس اطلاعات ماتریس درصد اشغال گونه‌های خزه  
انجام گرفت. هرکدام از دوره‌های زمانی شش ماهه (چهار  
دوره) در گونه درختی میزبان به عنوان تکرار در نظر گرفته  
شدند. آنالیز PCA با استفاده از بسته FactoMineR و  
مصورسازی آن با استفاده از بسته ggplot2 در نرم‌افزار R  
اجرا شد.

## نتایج

از نمونه‌های خزه جمع‌آوری شده، ۲۷ گونه مربوط به  
۱۵ جنس و ۱۲ تیره شناسایی شد (جدول ۱). تیره‌های  
غالب، *Brachytheciaceae* و *Hypnaceae* بودند که  
به ترتیب ۲۹ و ۱۸ درصد از کل تنوع خزه‌ها را شامل  
می‌شدند. در پایان چهار دوره زمانی مورد مطالعه، درصد  
تاج پوشش گونه‌های خزه‌ها در گونه‌های میزبان درختی  
متفاوت بودند. به طوری که سطح تاج پوشش پنج گونه خزه  
شامل *Anomodon attenuatus* (Hedw.) Huebener  
*A. viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor  
*Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Schimp.  
*Palamocladium* و *Leucodon immerses* Lindb.  
*euchloron* (Bruch ex Müll. Hal.) Wijk & Margad.  
عملکرد افزایشی در همه درختان میزبان را نشان دادند.  
از طرف دیگر، نه گونه شامل *Amblystegium subtile*  
*B. B. geheebii* Milde (Hedw.) Schimp

جدول ۱- روند درصد تاج پوشش گونه‌های خزده بر روی درختان میزبان در پایان دوره مورد مطالعه

**Table1. The percentage trend of moss species crown coverage on the host trees at the end of the studied period**

گونه خزده Moss species	راش <i>Fagus orientalis</i>	ممرز <i>Carpinus betulus</i>	بلندمازو <i>Quercus castaneifolia</i>	پلت <i>Acer velutinum</i>	توسکا بیلاتی <i>Alnus subcordata</i>
<i>Amblystegium serpens</i>	-	✗	✗	✓	-
<i>Amblystegium subtile</i>	-	✗	✗	-	✗
<i>Anomodon attenuatus</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Anomodon viticulosus</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Brachythecium campestre</i>	✓	✓	✓	-	✓
<i>Brachythecium geheebii</i>	-	✗	✗	-	✗
<i>Brachythecium populeum</i>	✗	✓	✓	✓	✓
<i>Brachythecium rutabulum</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Brachythecium salebrosum</i>	-	✗	-	-	✗
<i>Entodon schleicheri</i>	✗	✗	✓	✓	-
<i>Eurhynchium hians</i>	✗	✓	✗	-	✗
<i>Eurhynchium speciosum</i>	✗	-	✓	✓	✗
<i>Hypnum cupressiforme</i>	✓	✓	✓	✗	✓
<i>Hypnum jutlandicum</i>	✗	✗	-	-	✗
<i>Hypnum revolutum</i>	-	✓	-	✓	-
<i>Hypnum vaucheri</i>	-	✓	-	✓	-
<i>Leucodon immersus</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Neckera complanata</i>	✗	✗	✗	✓	✗
<i>Neckera pennata</i>	✓	✓	✗	✓	-
<i>Palamocladium euchloron</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Plagiomnium affine</i>	✗	✗	-	-	-
<i>Plagiomnium undulatum</i>	✗	-	-	-	✗
<i>Pseudoleskea incurvata</i>	✗	✗	✗	-	-
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	✗	-	✗	-	✓
<i>Schistidium apocarpum</i>	✗	-	-	-	-
<i>Thamnium alopecurum</i>	✗	✗	-	-	✗
<i>Tortella tortuosa</i>	✗	✗	-	-	✓

✓: افزایش درصد تاج پوشش؛ ✗: کاهش درصد تاج پوشش؛ -: عدم استقرار

✓: Increase the percentage of canopy cover, ✗: Decrease the percentage of canopy cover, -: Non-establishment

جدول ۲- نتایج آزمون دانکن غنا و تنوع زیستی خزها

Table 2. The results of the Duncan richness and diversity test in the mosses

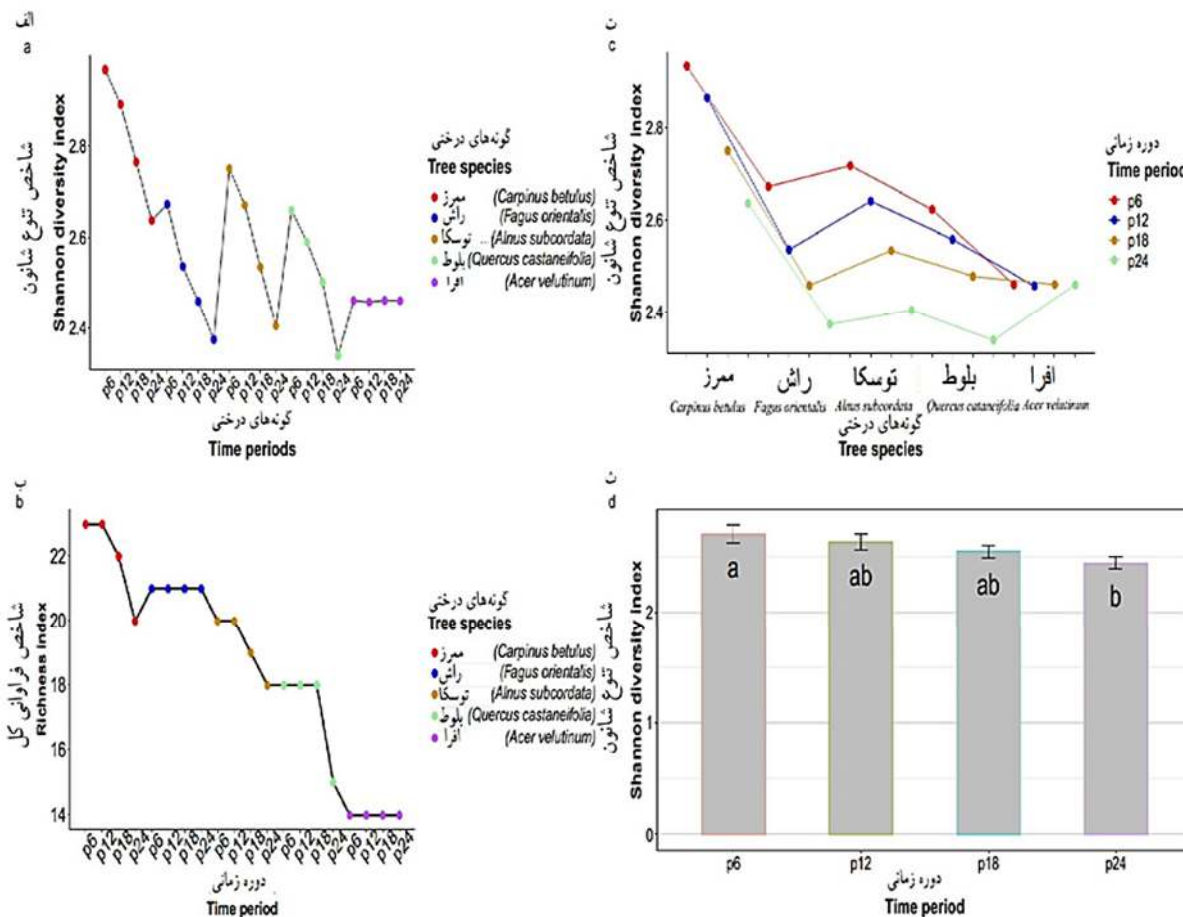
شاخص Index	گونه درختی میزبان Host trees species				
	ممرز <i>Carpinus betulus</i>	راش <i>Fagus orientalis</i>	توسکا بیلاقی <i>Alnus subcordata</i>	بلندمازو <i>Quercus castaneifolia</i>	پلت <i>Acer velutinum</i>
غنای کل خزها در درختان میزبان Total species richness in host trees	22 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	19 <sup>b</sup>	17 <sup>c</sup>	14 <sup>d</sup>
شاخص تنوع شانون- وینر خزها در درختان میزبان Shannon-Wiener diversity index of mosses in host trees	2.8 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>
شاخص تنوع شانون- وینر در دوره‌های زمانی Shannon-Wiener diversity index in time periods	دوره زمانی Time period				
	P6	P12	P18	P18	P24
	2.7 <sup>a</sup>	2.63 <sup>ab</sup>	2.55 <sup>ab</sup>	2.55 <sup>ab</sup>	2.46 <sup>b</sup>

P6: دوره شش‌ماهه اول، P12: دوره شش‌ماهه دوم، P18: دوره شش‌ماهه سوم و P24: دوره شش‌ماهه چهارم

P6: The first six-month period, P12: The second six-month period, P18: The Third six-month period, P24: The fourth six-month period

از گونه‌های خزها مثل *Entodon*, *B. geheebii*, *Eurhynchium schleicheri* (Schimp.) Demet. *Tortella* و *T. alopecurum speciosum* (Brid.) Jur. *tortuosa* (Hedw.) Limpr. گونه درختی یا بیشتر را داشتند (شکل ۲-ب). گونه‌های مذکور، وفاداری مشترک به درختان میزبان داشتند. به این معنی که در دامنه وسیع‌تری از درختان میزبان مشاهده شدند.

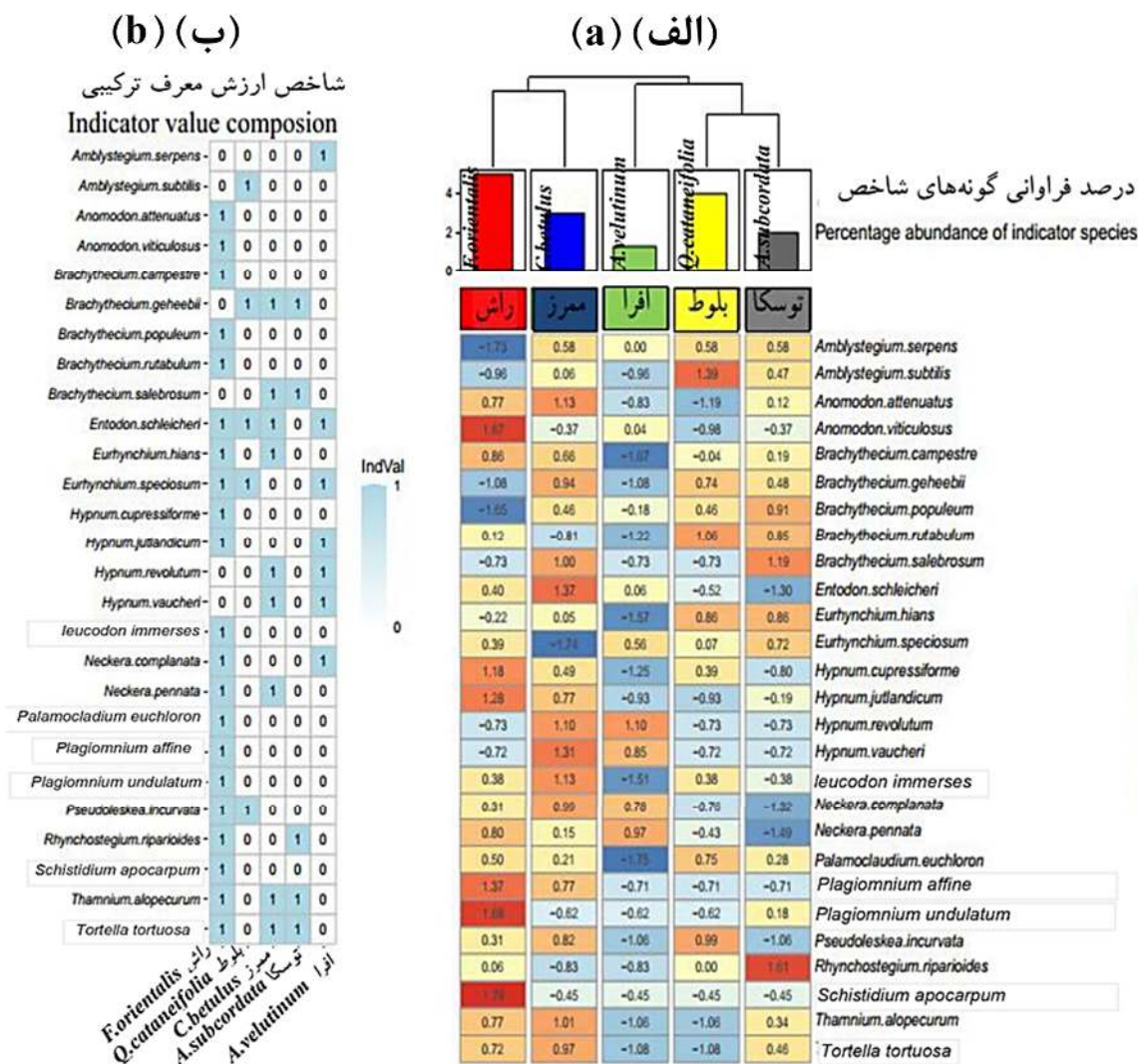
نرخ توزیع گونه‌های خزها بر روی درختان میزبان نشان داد که سهم راش در توزیع گونه‌های خزها، بیشتر از گونه‌های درختی دیگر بود (شکل ۲-الف). به طوری که علاوه بر گونه‌هایی که فقط به صورت اختصاصی به راش، وفاداری نشان دادند (۱۵ گونه)، ۶ گونه خزها دیگر به طور هم‌زمان به حضور بر روی این درخت و گونه‌های درختی دیگر تمایل داشتند. مقدار تمایل گونه‌های خزها برای حضور بر روی درختان میزبان به ترتیب از راش به بلوط، ممرز، توسکا بیلاقی و پلت، روندی کاهشی داشت. برخی



شکل ۱- شاخص تنوع شانون- وینر گونه‌های خزده بر روی درختان میزبان در چهار دوره زمانی شش‌ماهه (الف)، غنای گونه‌های خزده بر روی درختان میزبان در طول دوره‌های مورد مطالعه (ب)، تنوع گونه‌های خزده در بازه‌های زمانی مورد مطالعه بر روی هر کدام از درختان میزبان (پ) و تفاوت بازه‌های زمانی از نظر شاخص تنوع شانون وینر در گونه‌های خزده‌ای (ت)  
 P6: دوره شش‌ماهه اول، P12: دوره شش‌ماهه دوم، P18: دوره شش‌ماهه سوم و P24: دوره شش‌ماهه چهارم

**Figure 1. Shannon-Wiener diversity index of moss species on host trees in four six-month time periods (a), richness of moss species on host trees during the studied period (b), diversity of moss species in time intervals on each of the host trees (c) The difference between time periods in the diversity of moss species (d)**  
 P6: The first six-month period, P12: The second six-month period, P18: The Third six-month period, P24: The fourth six-month period





شکل ۲- نمایش هم‌زمان توزیع گونه‌های خزه در درختان میزبان (الف)، ارزش شاخص ترکیبی آن‌ها (ب)

Figure 2. Simultaneous display of the distribution of moss species in host trees (a), indicator values composition in moss species (b)

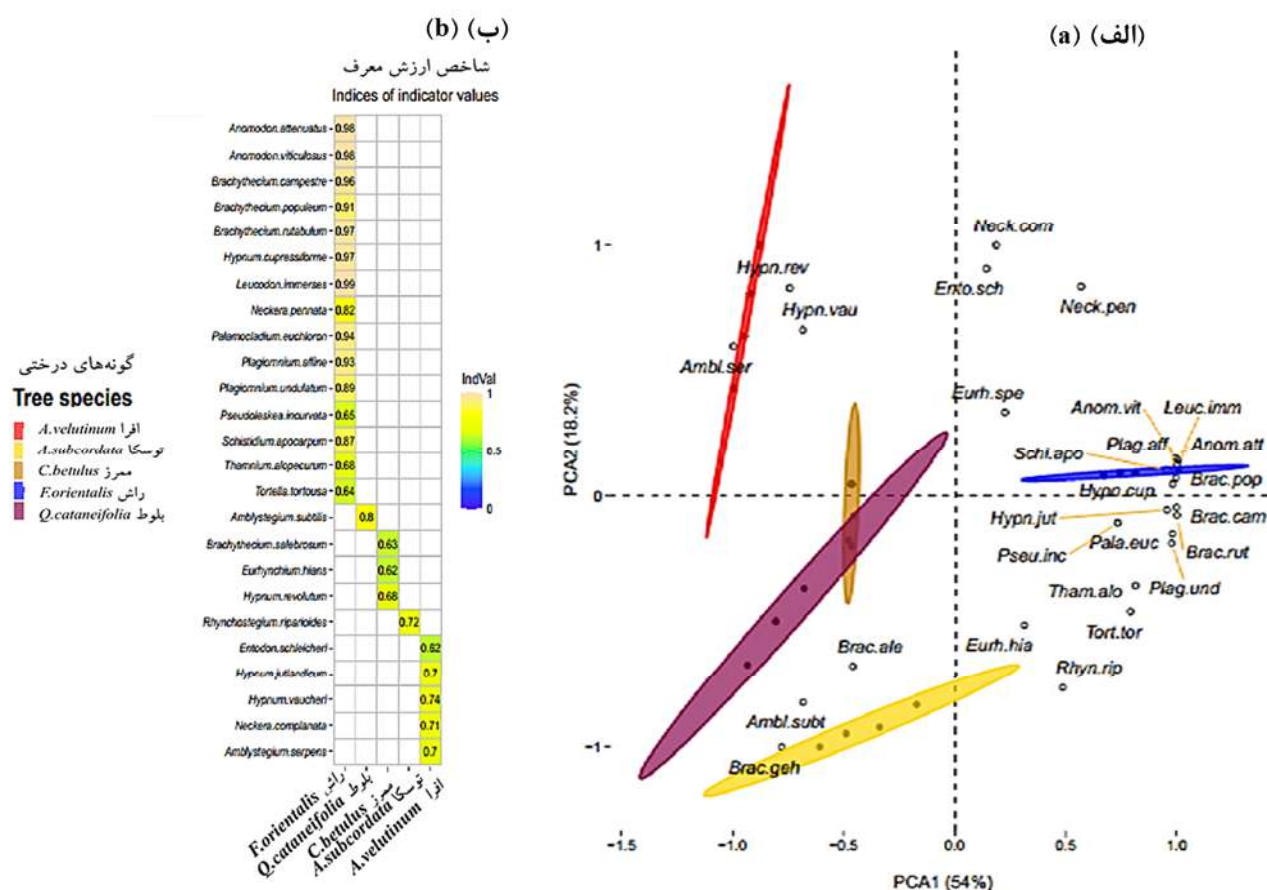
*T. alopecurum*, *P. incurvata undulatum* و *A. subtile* معرف گونه بلندمازو بود. سه گونه خزه شامل *B. salebrosum*, *H. revolutum* (Mitt.) و *hians* (Hedw.) Sande Lac. معرف ممرز محسوب می‌شوند. تنها گونه خزه معرف توسکا *Rhynchostegium riparioides* (Hedw.) Cardot بود. گونه‌های خزه معرف پلت نیز شامل *E. schleicheri*, *N. complanata*, *H. vaucheri* Lesq.، *H. jutlandicum*

نتایج تجزیه و تحلیل گونه‌های معرف با استفاده از روش ارزش معرف نشان داد که بیشترین سهم گونه‌های خزه معرف به راش (۱۵ گونه) تعلق داشت (شکل ۲-ب). گونه‌های خزه معرف راش شامل *A. viticulosus*، *A. attenuatus*، *B. populeum*، *campestre* (Müll. Hal.) Schimp.، *H. cupressiforme*، *B. rutabulum* (Hedw.) Schimp.، *Neckera L. immersus*، *H. cupressiforme* Hedw.، *P. P. affine*، *P. euchloron pennata* Hedw.

تعلقه گونه‌های خزه بر روی درختان راش و تا حدودی افرا، بیشتر از گونه‌های درختی دیگر بود. در جدول ۳، نتایج مقدار ویژه و درصد تبیین واریانس توجیه‌شده مربوط به محورهای رسته‌بندی PCA آمده است. درصد واریانس توجیه‌شده در دو محور اول و دوم به ترتیب ۵۴ و ۱۸/۲ به دست آمد. به این معنی که این دو محور حدود ۷۲/۳ درصد از سهم تغییرات تبیین واریانس کل محورها را توجیه کردند. تا محور ششم، ۹۷/۴ درصد از سهم کل واریانس محورها توجیه شد.

*A. serpens* (Hedw.) Schimp. و (Hedw.) Huebener بودند.

شکل ۳، نمایش هم‌زمان توزیع گونه‌های خزه بر روی درختان میزبان را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که الگوی پراکنش خزها بر روی درختان میزبان، متفاوت است (شکل ۳-الف). پراکنش گونه‌های خزه بر روی ممرز، بلندمازو و توسکا بیلاقی به مقدار مشابهی بود. راش و پلت، تمایز مناسب‌تری از خزها را نشان دادند. از این رو،



شکل ۳- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نحوه توزیع گونه‌های خزه بر روی گونه‌های درختی میزبان (الف) و تعیین گونه

معرف هر کدام از درختان با استفاده از روش ارزش شاخص معرف (ب)

Figure 3. Principal component analysis (PCA) between moss and their distribution with host tree species (a) and determining the indicator species of each tree by using indicator value index technique (IndVal) (b)

جدول ۳- مقدار ویژه و درصد واریانس توجیه شده در شش محور اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

**Table 3. The Eigen value and percentage of variance explanation of the first six axes of principal component analysis (PCA)**

محور Axis	مقدار ویژه Eigen value	درصد تبیین واریانس The percentage of variance explanation
محور اول First axis	15.13	54.04
محور دوم Second axis	5.1	18.24
محور سوم Third axis	2.91	10.39
محور چهارم Fourth axis	1.96	7.02
محور پنجم Fifth axis	1.39	4.97
محور ششم Sixth axis	0.76	2.73

*N. complanata* *H. cupressiform* *E. hians* *serpens*

*T. tortuosa* و *R. riparioides* به صورت تخصصی عمل کردند. به این معنی که فقط نسبت به یک درخت میزبان، افزایش درصد تاج پوشش داشتند. این نتایج، اهمیت انتخاب مناسب بستر کاشت را آشکار می‌کند.

باتوجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که درصد تاج پوشش گونه‌های خزه به تنهایی معیار مناسبی برای موفقیت در استقرار آن‌ها نیست. بلکه عواملی مانند فراوانی گونه‌های مستقر و تنوع گونه‌ها در پایداری و استقرار خزها نیز مؤثر هستند (Hurtado et al., 2022). به طور کلی با افزایش دوره زمانی، فراوانی گونه‌های خزه کاهش یافت، اما درصد تاج پوشش گونه‌های خزه، عملکردی متفاوت داشتند. به طوری که سطح تاج پوشش برخی از گونه‌های خزه با طولانی‌تر شدن زمان کاشت افزایش یافتند. همچنین، راش و پلت در طول دوره زمانی، تعداد گونه‌های خزه خود را ثابت نگه داشتند، در حالی که فراوانی گونه‌های خزه روی سه گونه درختی دیگر با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۱-ب). در بین درختان میزبان، پلت با وجود کمترین شاخص‌های تنوع شانون-وینر و غنای کل، شرایط پایداری در تعداد گونه‌های

## بحث

افزایش تنوع زیستی با استقرار خزه در یک بوم‌سازگان، مستلزم انتخاب مناسب گونه‌های خزه است (Borkenhagen & Cooper, 2018). بر اساس شاخص‌های متنوعی مانند درصد تاج پوشش گونه‌های خزه می‌توان گونه‌های سازگارتر با محیط‌های جدید را شناسایی کرد و برای کاشت در مکان‌های خارج از رویشگاه‌های جنگلی به کار برد. نتایج پژوهش پیش‌رو به منظور تعیین مناسب‌ترین گونه‌های خزه برای کشت و توسعه نشان داد که برخی از گونه‌ها در همه درختان میزبان با افت درصد تاج پوشش همراه بودند (جدول ۱)، بنابراین می‌توان از انتخاب و یا کاشت آن‌ها چشم‌پوشی کرد. برخی از گونه‌ها نیز علی‌رغم درصد تاج پوشش زیاد در دوره اول (شش ماهه اول) به مرور زمان از سطح تاج پوشش آن‌ها کاسته شد. بیشترین سطح تاج پوشش گونه‌های خزه روی تنه‌های راش مشاهده شد، اما این گونه نسبت به گونه‌های درختی دیگر، بیشترین کاهش سطح تاج پوشش را در پایان دوره نشان داد. مناسب‌ترین گونه‌ها برای انتخاب و توسعه کاشت، گونه‌هایی بودند که واکنش مثبت نسبت به همه درختان میزبان نشان دادند. برخی دیگر از گونه‌ها مانند *A.*

استقرار آن در بوم‌سازگان‌های دیگر است، اما علاوه بر این مشخصه، توجه به تنوع و فراوانی خزها بر روی میزبان خود می‌تواند درک کامل‌تری از انتخاب هر کدام از خزها را ارائه دهد. با انتخاب مناسب گونه‌های خزها با توجه به میزبان اختصاصی خود، استقرار و افزایش سطح تاج پوشش این گیاهان را می‌توان متصور شد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که توجه به رابطه‌های بین هر کدام از شاخص‌های درصد تاج پوشش، تنوع و فراوانی خزها با گونه‌های میزبان و طول دوره استقرار می‌تواند فرایند انتخاب و استقرار گونه‌های مناسب خزهای را برای کاشت و توسعه در محیط‌های انسان‌ساخت دیگر یا خارج از رویشگاه‌های طبیعی تسهیل کند. با انتخاب درست نوع گونه این گیاهان ارزشمند برای طراحی چشم‌اندازهای شهری، بدون دخالت و آسیب به تنوع زیستی بوم‌سازگان‌های طبیعی می‌توان از خدمات و ارزش‌های زیستی و زیبایی‌شناختی آن‌ها بهره برد.

#### منابع مورد استفاده

- Angélica Casanova-Katny, M. and Cavieres, L.A., 2012. Antarctic moss carpets facilitate growth of *Deschampsia antarctica* but not its survival. *Polar Biology*, 35(12): 1869-1878.
- Becker Scarpitta, A., Bardat, J., Lalanne, A. and Vellend, M., 2017. Long-term community change: bryophytes are more responsive than vascular plants to nitrogen deposition and warming. *Journal of Vegetation Science*, 28(6): 1220-1229.
- Bertness, M.D. and Callaway, R., 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9(5): 191-193.
- Borkenhagen, A. and Cooper, D.J., 2018. Tolerance of fen mosses to submergence, and the influence on moss community composition and ecosystem resilience. *Journal of vegetation science*, 29(2): 127-135.
- Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., Lortie, C.L., Cavieres, L.A., Kunstler, G., ... and Michalet, R., 2008. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *Journal of Ecology*, 96(1): 18-34.
- Cooper-Ellis, S., 1998. Bryophytes in old-growth forests of western Massachusetts. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 125(2): 117-132.
- Czerepko, J., Gawryś, R., Szymczyk, R., Pisarek, W., Janek, M., Haidt, A., ... and Cacciatori, C., 2021. How

خزه در پایان دوره نسبت به ابتدای دوره داشت. همچنین، بیشترین موفقیت در افزایش سطح تاج پوشش خزه در پلت مشاهده شد.

برعکس نتایج به‌دست‌آمده برای استقرار گونه‌های خزه در پایان دوره، شاخص ارزش معرف ترکیبی، رابطه قوی با درصد تاج پوشش گونه‌های خزه در درختان میزبان داشت. بلندمازو در شاخص ارزش معرف ترکیبی، جایگاه دوم را داشت، اما فقط یک گونه خزه (*A. subtilis*) به‌طور اختصاصی به آن تعلق گرفت. این مسئله نشان می‌دهد که برهم‌کنش خزها با درختان میزبان با درصد سطح اشغال آن‌ها مرتبط است. همچنین، فراوانی گونه‌های خزه، سهم کمتری در معرفی آن‌ها به‌عنوان گونه معرف درخت میزبان دارد. این مسئله به‌وضوح در پلت نیز مشاهده شد. اگرچه پلت، کمترین درصد فراوانی خزه را نسبت به گونه‌های میزبان دیگر داشت، اما پس از راش، بیشترین گونه‌های معرف را به‌خود اختصاص داد. راش علاوه بر اینکه از نظر تنوع زیستی و فراوانی گونه‌های خزه غنی بود، بیشترین سهم گونه‌های معرف را نیز داشت. این نتایج به درصد تاج پوشش زیاد گونه‌های خزه بر روی راش برمی‌گردد. از این رو، وفور گونه‌های خزه بر روی درختان میزبان، تمایز بین گونه‌های خزه را نسبت به فراوانی آن‌ها، بیشتر آشکار می‌کند. نتایج مقایسه ممرز و توسکا بیلاقی نیز نشان داد که فراوانی و تنوع ممرز در تجزیه و تحلیل شاخص ارزش ترکیبی به‌مراتب بیشتر از توسکا بیلاقی بود، اما تعداد گونه‌های معرف دو گونه، الگوی مشابهی داشتند.

نتایج رسته‌بندی گونه‌های خزه بر روی درختان میزبان، الگوی مشابهی با تجزیه و تحلیل شاخص ارزش معرف نشان داد. این نتایج به‌روشنی بیان می‌کنند که توزیع گونه‌های خزه بر روی درختان میزبان متأثر از گونه‌های معرف است. گونه‌های خزهای که به درختان میزبان وفاداری نشان دادند، به‌صورت کامل تمایز یافتند.

فرآیند استقرار گونه‌های خزه، رابطه معنی‌داری با درصد تاج پوشش، برهم‌کنش زیستی با مؤلفه‌های دیگر بوم‌سازگان، تنوع زیستی و فراوانی آن‌ها بر روی درخت میزبان خود دارد. اگرچه درصد تاج پوشش خزه، یکی از مهم‌ترین عامل‌های

- Ignatov, M.S. and Ignatova, E.A., 2004. Moss Flora of the Middle European Russia, Vols. 2. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 351p (In Russian with English summary).
- Jeschke, M. and Kiehl, K., 2008. Effects of a dense moss layer on germination and establishment of vascular plants in newly created calcareous grasslands. *Flora*, 203(7): 557-566.
- Julinova, P. and Beckovsky, D., 2019. Perspectives of moss species in urban ecosystems and vertical living-architecture: A review: 2370-2375. In: Zingoni, A. (Ed.). *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications*. CRC Press, London, England, 918p.
- Legendre, P. and Legendre, L., 2012. *Numerical Ecology*, 3rd Edition. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1006p.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 179p.
- Nyholm, E., 1954. *Illustrated Moss Flora of Fennoscandia: Musci*, Vol. 2. CWK Gleerup Publisher, Lund, Sweden, 799p.
- Peet, R.K., 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5(1): 285-307.
- Pińskwar, I., Choryński, A. and Kundzewicz, Z.W., 2020. Severe drought in the spring of 2020 in Poland—more of the same? *Agronomy*, 10(11): 1646.
- Roberts, P., Newsham, K.K., Bardgett, R.D., Farrar, J.F. and Jones, D.L., 2009. Vegetation cover regulates the quantity, quality and temporal dynamics of dissolved organic carbon and nitrogen in Antarctic soils. *Polar Biology*, 32(7): 999-1008.
- Rudolphi, J., Jönsson, M.T. and Gustafsson, L., 2014. Biological legacies buffer local species extinction after logging. *Journal of Applied Ecology*, 51(1): 53-62.
- Sheng, X., Zhaohui, Z. and Zihui, W., 2021. Effects of heavy metals on moss diversity and analysis of moss indicator species in Nancha manganese mining area, Southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 28: e01665.
- Smith, A.J.E., 2004. *The Moss Flora of Britain and Ireland*. Cambridge University Press, Cambridge, England, 511p.
- von Arx, G., Graf Pannatier, E., Thimonier, A. and Rebetez, M., 2013. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of Ecology*, 101(5): 1201-1213.
- sensitive are epiphytic and epixylic cryptogams as indicators of forest naturalness? Testing bryophyte and lichen predictive power in stands under different management regimes in the Białowieża forest. *Ecological Indicators*, 125: 107532.
- De Caceres, M., Jansen, F. and De Caceres, M.M., 2016. Package 'indicspecies'. R package, Version 1.7.6.
- De Cáceres, M., Legendre, P. and Moretti, M., 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119(10): 1674-1684.
- Figueira, R. and Ribeiro, T., 2005. Transplants of aquatic mosses as biomonitors of metals released by a mine effluent. *Environmental Pollution*, 136(2): 293-301.
- Frey, S.J., Hadley, A.S., Johnson, S.L., Schulze, M., Jones, J.A. and Betts, M.G., 2016. Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests. *Science Advances*, 2(4): e1501392.
- Gavini, S.S., Suárez, G.M., Ezcurra, C. and Aizen, M.A., 2019. Facilitation of vascular plants by cushion mosses in high-Andean communities. *Alpine Botany*, 129(2): 137-148.
- Glime, J.M., 2017. The fauna: a place to call home: 16p. In: Glime, J.M. (Ed.). *Bryophyte Ecology*, Vol. 2: *Bryological Interaction*. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan, USA.
- Gornall, J.L., Woodin, S.J., Jónsdóttir, I.S. and van der Wal, R., 2011. Balancing positive and negative plant interactions: how mosses structure vascular plant communities. *Oecologia*, 166(3): 769-782.
- Groeneveld, E.V.G., Masse, A. and Rochefort, L., 2007. *Polytrichum strictum* as a nurse-plant in peatland restoration. *Restoration Ecology*, 15(4): 709-719.
- Hänsel, S., 2020. Changes in the characteristics of dry and wet periods in Europe (1851–2015). *Atmosphere*, 11(10): 1080.
- Hofmeister, J., Hošek, J., Brabec, M., Dvořák, D., Beran, M., Deckerová, H., ... and Svoboda, D., 2015. Value of old forest attributes related to cryptogam species richness in temperate forests: A quantitative assessment. *Ecological Indicators*, 57: 497-504.
- Hurtado, F., Estébanez, B., Aragón, P., Hortal, J., Molina-Bustamante, M. and Medina, N.G., 2022. Moss establishment success is determined by the interaction between propagule size and species identity. *Scientific Reports*, 12(1): 20777.
- Ignatov, M.S. and Ignatova, E.A., 2003. *Moss Flora of the Middle European Russia*, Vols. 1. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 608p (In Russian with English summary).

## Investigating the establishment of mosses with ornamental value on decayed tree trunks and their relationship with the host trees for use in green spaces

Y. Shariati <sup>1</sup>, H. Zakizadeh <sup>2</sup>, H. Zare <sup>3\*</sup> and J. Olfati <sup>4</sup>

1- Ph.D. Candidate of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Assistant Prof., Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

3\* - Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: hh.zare@gmail.com

4- Associate Prof., Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 21.01.2023

Accepted: 08.03.2023

### Abstract

There is a growing interest in using mosses as primary and evergreen plants in both natural and man-made landscapes. A strategy for biodiversity conservation and restoration in green spaces is to study the spatial distribution patterns of moss species, their relationship with host trees, and their abundance levels and diversity over time. This study aimed to investigate the establishment of moss species with ornamental value on the trunks of five tree species (*Fagus orientalis* Lipsky, *Carpinus betulus* L., *Alnus subcordata* C.A.Mey., *Quercus castaneifolia* C.A.Mey., and *Acer velutinum* Boiss.) by measuring canopy level and alpha and beta diversity indices over four six-month periods. The researchers also used indicator value index (IndVal) to determine indicator moss species. The study identified 28 moss species from 15 genera and 12 families on the host trees. Results showed that moss diversity, abundance, and canopy levels decreased over time. Among the host trees, *C. betulus* had the highest moss species diversity and abundance, while *A. velutinum* had the lowest. The interaction of mosses with their host trees revealed that *F. orientalis* and *C. betulus* had the highest number of combined indicator species. Moss crown coverage had a different function from moss diversity and abundance. At the end of the study period, the highest percentage of moss crown cover was observed in *A. velutinum*, which had the lowest diversity and abundance indices. Overall, the study suggests that using a combination of canopy percentage and abundance indices, and considering the relationship between mosses and host trees, can help select the most suitable moss species for use in other ecosystems.

Keywords: IndVal, Nowshahr Botanical Garden, ornamental moss, Shannon-Wiener index.