مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۲
ص ۴۲۸-۴۱۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.363038.1892

تحلیل گونهٔ معرف با استفاده از ایدهٔ ترکیب گروه‌ها/جوامع گیاهی

رزگار داروند[۱] و امید اسماعیل‌زاده[۲]*

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹)

چکیده

مقدمه: در این پژوهش، قابلیت تعیین گونهٔ معرف با استفاده از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی در بازیابی جوامع گیاهی از قبل طبقه‌بندی‌شده بررسی شد.
مواد و روش‌ها: نخست گروه‌های بوم‌شناختی سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما با استفاده از TWINSPAN و برمبنای اطلاعات وفور ترکیب گیاهی مشخص شد. سپس با استفاده از روش ارزش معرف تعدیل‌شده و ایدهٔ گروه‌های ترکیبی، گونهٔ معرف در گروه‌های بوم‌شناختی مزبور تعیین شد. مقادیر ارزش معرف گونه- گروه با استفاده از تابع multipatt تعیین شد و معنی‌داری آنها با استفاده از آزمون جایگشت در بستهٔ indicspecies بررسی شد. در پایان اهمیت نتایج تعیین گونهٔ معرف با استفاده از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی در بازیابی ساختار سلسله‌مراتبی جوامع گیاهی سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما بررسی شد.
یافته‌ها: بهره‌گیری از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی ضمن ارائهٔ فهرست گونه‌های معرف در گروه‌های هدف ترکیبی، با ارائهٔ وفاداری صفر یا عدم اجتماع‌پذیری همان ترکیب گونه‌ای در بقیهٔ گروه‌ها (گروه‌های غیر هدف) تفکیک و تمایز گروه‌ها/جوامع گیاهی را با تأکید بر حضور و نبود گونه‌های معرف مقدور می‌سازد. این درحالی است که در رویکرد معمولی روش ارزش معرف (بدون ترکیب گروه‌ها) فقط اجتماع‌پذیری گونه‌ها به گروه‌های هدف مدنظر قرار می‌گیرد. نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تعیین ارزش معرف گونه‌ها با استفاده از رویکرد ترکیب گروه‌ها گذشته از ایجاد تمایز جوامع گیاهی از قبل طبقه‌بندی‌شده براساس روش سنتز براون- بلانکه، سطوح مختلف ساختار سلسله‌مراتبی و سین‌تاکسون‌های بزرگ‌تر در سنتز جدولی یا دارنگارهٔ طبقه‌بندی براون- بلانکه را نیز ارائه می‌کند.
نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج این پژوهش تصریح می‌کند که تحلیل گونهٔ معرف با رویکرد ترکیب گروه‌ها در مقایسه با حالت انفرادی آن سبب ارائهٔ فهرست منطقی‌تری از ترکیب گونهٔ معرف برای تمایز جوامع گیاهی در پژوهش‌های جامعه‌شناسی گیاهی می‌شود. بنابراین می‌توان به قابلیت استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل گونه‌های معرف در فرایند طبقه‌بندی خودکار (تخصص‌محور) جوامع گیاهی که اجرای آن به‌هنگام دسترسی به پایگاه اطلاعاتی بزرگ پوشش گیاهی اجتناب‌ناپذیر است خوشبین بود. بهره‌گیری از روش تعیین گونهٔ معرف برمبنای ایدهٔ گروه‌های ترکیبی به‌دلیل ارائهٔ وقوع مشترک ترکیب گونه‌های معرف در سطوح مختلف دارنگارهٔ طبقه‌بندی جوامع گیاهی، قابلیت روش‌های تخصص‌محور را در تعیین سین‌تاکسون‌های بالاتر از واحد پایهٔ جامعهٔ گیاهی در روش سنتز جدولی براون- بلانکه بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی: جوامع گیاهی، روش ارزش معرف، روش سنتز جدولی براون- بلانکه، گروه‌های اکولوژیک.

مقدمه

گونه‌هایی که به حضور در رویشگاه خاصی تمایل داشته و در گسترهٔ محدودی از شرایطی رویشگاهی پراکنش دارند، گونه‌های معرف قلمداد می‌شوند. این گونه‌ها معیاری مناسب برای برآورد خصوصیات

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۱۱۴۴۹۹۸۰۸۲ ایمیل: oesmailzadeh@modares.ac.ir

بوم‌شناختی در پژوهش‌های جوامع گیاهی[1] و نشانگرهای مناسب در ارزیابی تغییرات محیط‌زیستی هستند (De Cáceres et al., 2010; Niemi & McDonald, 2004; Ricotta et al., 2021). حضور گونه‌های معرف در رویشگاهی معین، برآورد کیفیت و کمیت مشخصه‌های مهم محیط زیستی را ممکن می‌کند (Burger, 2006; Landres et al., 1988; Siddig et al., 2016). گونه‌های معرف ابزار ارزشمندی در ارزیابی اثربخشی برنامهٔ مدیریتی محسوب می‌شوند و همچنین به‌منزلهٔ نوعی نشانگر زیستی، بروز اختلال یا تخریب در رویش‌های گیاهی را هشدار می‌دهند (Siddig et al., 2016). گونه‌های معرف برمبنای داده‌های حضور یا وفور گونه‌های گیاهی در مجموعه‌ای از قطعات نمونه و گروه‌های از پیش تعیین‌شده (برمبنای اطلاعات همان سری از قطعات نمونه) تعیین می‌شوند (Dufrêne & Legendre, 1997). تحلیل گونه‌های معرف برمبنای دو سری از اطلاعات شامل ماتریس فراوانی- غلبه گونه‌های گیاهی و جدول گروه‌بندی قطعات نمونه سبب می‌شود که نتایج این تحلیل اطلاعات مفیدی را دربارهٔ رفتار گونه‌ها و کیفیت گروه‌بندی (گروه‌های از پیش تعیین‌شده) ارائه دهد. در واقع تحلیل گونه‌های معرف، ترجیح‌پذیری[2] گونه‌های گیاهی به خصوصیات محیطی رویشگاه را بازتاب می‌دهد و براساس نتایج آن می‌توان واحدهایی از سطح یک رویشگاه با شرایط بوم‌شناختی ویژه را به‌منظور اجرای برخی پژوهش‌های آینده تعیین کرد (De Cáceres et al., 2010). همچنین نتایج تحلیل گونهٔ معرف به‌منظور آمایش سرزمین و طراحی ذخیره‌گاه‌های طبیعی با هدف مدیریت عرصه‌های تحت بررسی و حفاظت از رویشگاه کاربرد دارد (Chytrý et al., 2002).

در تجزیه‌وتحلیل گونه‌های معرف باید به این نکته اذعان داشت که برخی گونه‌ها ممکن است به گروهی از رویشگاه‌ها اختصاص داشته باشند، اما برخی دیگر ممکن است به بیش از یک گروه مرتبط باشند (Tsiripidis et al., 2009). متخصصان اروپایی جامعه‌شناسی گیاهی با تعیین گونه‌های معرف در هر یک از سطوح سلسله‌مراتبی از طبقه‌بندی پوشش گیاهی نشان دادند که از این موضوع اطلاع کافی داشتند (Barkman, 1989). این حقیقت که تأکید جامعه‌شناسان گیاهی بر ایدهٔ سلسله‌مراتبی در طبقه‌بندی جوامع گیاهی، موجب توسعهٔ روش عددی تحلیل گونه‌های معرف دوطرفه یا TWINSPAN شد (Hill, 1979) مورد پذیرش متخصصان پوشش گیاهی است. فرایند طبقه‌بندی در TWINSPAN از ماتریس گونه- قطعه نمونه استفاده می‌کند و یک طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی قطعات نمونه مربوطه را انجام و همزمان گونه‌های معرف هر دو سمت چپ و راست هر یک از سطوح طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی را ارائه می‌دهد. ماهیت چندمتغیره بودن TWINSPAN در تعیین گونه‌های معرف موجب تغییر ارزش معرف یک گونه در یک گروه تحت تأثیر فراوانی بقیهٔ گونه‌های آن گروه می‌شود (McGeoch & Chown, 1998) که این مسئله سبب می‌شود گزارش صحیحی از اجتماع‌پذیری[3] گونه‌ها به گروه‌های دوگانه (گروه‌های چپ و راست در هر سطح طبقه‌بندی) ارائه نشود. براساس این نتایج گونهٔ معرف در دارنگارهٔ سلسله‌مراتبی TWINSPAN مورد توجه کاربران طبقه‌بندی جوامع گیاهی قرار نگرفته و برای این

۱. استفاده از مفهوم جوامع گیاهی برای گروه‌های گیاهی حاصل روش‌های عددی طبقه‌بندی پوشش گیاهی (Plant communities) و گروه‌های حاصل از روش سنتز جدولی براون- بلانکه (Associations) در مطالعهٔ جامعه‌شناسی گیاهی مرسوم است. اما مفهوم جوامع گیاهی در دو رویکرد عام طبقه‌بندی پوشش گیاهی و جامعه‌شناسی گیاهی تفاوت فاحش دارد. اگرچه واحد پایه در طبقه‌بندی عددی پوشش گیاهی، اجتماع گیاهی و جامعهٔ گیاهی واحد پایه در روش جامعه‌شناسی گیاهی است، جمع هر دو آنها در نگارش فارسی به‌صورت جوامع گیاهی معرفی می‌شود. بنابراین محتوا و مفهوم جوامع گیاهی در ارتباط با هریک از دو روش طبقه‌بندی مزبور متفاوت است.

2. Preferences

3. Association

منظور از معیار ارزش معرف یا IndVal[1] (Dufrêne & Legendre, 1997) یا روش تعلقه فی[2] (Tichy & Chytry, 2006) برای ارزیابی اجتماع‌پذیری گونه- گروه و تعیین گونهٔ معرف استفاده می‌شود.

مرور منابع بر این نکته دلالت دارد که در تعیین گونهٔ معرف در پژوهش‌های جامعه‌شناسی گیاهی، استفاده از شاخص تعلقه فی و در تجزیه‌وتحلیل بوم‌شناختی برپایهٔ طبقه‌بندی عددی پوشش گیاهی، استفاده از روش ارزش معرف در اولویت است (Asadi et al., 2021). چون مقادیر عددی شاخص اجتماع‌پذیری گونه- گروه در روش ارزش معرف نسبت به گونه‌های فراوان اریبی دارد، در این رابطه وزن کمتری به گونه‌های نادر اختصاص می‌یابد که این مسئله با مفهوم گونهٔ معرف در روش سنتز جدولی براون- بلانکه یا فیتوسوسیولوژی مبنی بر وقوع گونه‌های معرف در تعداد اندکی از قطعات نمونهٔ پوشش گیاهی (فراوانی کم) در تضاد است (Cáceres & Legendre, 2009). اما ازآنجا که در برآورد شاخص تعلقه فی از فراوانی غیاب گونه‌ها در گروه غیرهدف نیز استفاده می‌شود (با توجه به زیاد بودن فراوانی غیبت گونه‌های نادر در گروه غیرهدف) به گونه‌های نادر وزن بیشتری داده می‌شود و از این نظر مقادیر عددی شاخص اجتماع‌پذیری گونه- گروه با استفاده از شاخص تعلقه فی با مفهوم گونهٔ معرف در روش براون- بلانکه همسویی بیشتری دارد. این درحالی است که مدنظر قرار نگرفتن فراوانی غیاب گونه‌ها در گروه غیرهدف در برآورد مقادیر اجتماع‌پذیری گونه- گروه به روش ارزش معرف سبب می‌شود تا مقادیر عددی گزارش‌شده در این روش، توصیف مناسب‌تری از درجهٔ مطلوبیت رویشگاهی گروه هدف برای هر یک از گونه‌های بررسی‌شده را بازتاب دهد. همچنین در روش ارزش معرف، با استفادهٔ همزمان از دو معیار فراوانی نسبی و وفور نسبی می‌توان برآورد مناسب‌تری از مطلوبیت رویشگاهی گروه‌های هدف برای هریک از گونه‌های تحت بررسی ارائه داد (Asadi, et al., 2021).

اما ایرادی که به روش ارزش معرف همانند شاخص تعلقه فی به‌هنگام تعیین گونهٔ معرف گروه‌ها بدون توجه به ساختار سلسله‌مراتبی گروه‌های تحت بررسی وارد است، تخصیص هر یک از گونه‌های معرف فقط به یک گروه است. این درحالی است که ممکن است یک گونه در گسترهٔ وسیعی از خصوصیات بوم‌شناختی حضور داشته باشد (آشیان بوم‌شناختی وسیع) و در هر محدوده یا کران از آشیان بوم‌شناختی خود با تعدادی از گونه‌های گیاهی با دامنهٔ بوم‌شناختی باریک (که انتشار آنها فقط به آن کران مزبور محدود می‌شود) وقوع مشترک یابد و گروه‌های بوم‌شناختی متعدد تشکیل دهد. در این زمینه برای مثال می‌توان به وقوع گونهٔ توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa*) در شش جامعهٔ لرگ- توسکاستان (*Pteocarya fraxinifolia-Alnetum barabatae*)، سفیدپلت- توسکاستان (*Populus caspicae-Alnetum barbatae*)، سرخس دندانه‌ای- توسکاستان (*Pteridio dentatae-Alnetum barbatae*)، اوجا- توسکاستان (*Ulmo minoris-Alnetum barbatae*)، *Carici acusiformis-Alnetum barbatae* و *Galio elongati-Alnetum barbatae* در جنگل‌های پایین‌بند هیرکانی اشاره داشت (Hamzeh'ee et al., 2008). اگرچه توسکای قشلاقی در هیچ‌کدام از جوامع گیاهی مزبور به‌منزلهٔ گونهٔ معرف تعیین نشد، در سطح اتحادیه دارنگارهٔ طبقه‌بندی جوامع گیاهی جنگل‌های هیرکانی، مهم‌ترین گونهٔ معرف تفکیک‌کنندهٔ جوامع مذکور از دیگر جوامع جنگلی ناحیهٔ هیرکانی محسوب می‌شود (Gholizadeh et al., 2020).

این اشکال در پژوهش‌های جامعه‌شناسی گیاهی به‌دلیل ارائهٔ نتایج طبقه‌بندی در قالب سلسله‌مراتبی و تعیین گونهٔ معرف در سطوح مختلف طبقه‌بندی برطرف می‌شود، اما در دیگر روش‌های طبقه‌بندی پوشش گیاهی که فقط به گروه‌های نهایی در سطح قطع انتخابی دارنگارهٔ طبقه‌بندی توجه شده و گونهٔ معرف هر یک از گروه‌ها بدون توجه به نحوهٔ اتصال آنها (در سطوح بالای

1. Indicator value index
2. Phi coefficient of association

دارنگارهٔ طبقه‌بندی) تعیین می‌شود همچنان پابرجاست. چون گستردگی آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها سبب می‌شود تعیین گونه‌های معرف گونه‌های جوامع گیاهی در سطوح قطع پایین دارنگارهٔ طبقه‌بندی دچار اشکال شود، مگر اینکه ارزیابی تخصیص گونه گروه یا تعیین گونهٔ معرف در هر سطح از دارنگارهٔ طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی انجام گیرد (Dufrêne & Legendre, 1997). همچنین برای رفع این مشکل ایدهٔ گروه‌های ترکیبی[1] با هدف ترکیب گروه‌های با ترکیب گونه‌ای مشابه بدون توجه به موقعیت جغرافیایی آنها شکل گرفت (De Cáceres, et al., 2010).

در این روش، از ترکیب احتمالی همهٔ گروه‌های دارنگارهٔ طبقه‌بندی در تحلیل ارزش معرف استفاده شده و نتایج تخصیص گونه- گروه برای هر یک از گروه‌های انفرادی و گروه‌های ترکیبی گزارش می‌شود (De Cáceres, et al., 2010). زمانی که از تعداد بیشتری گروه (ترکیب گروه‌های اولیه) برای تعیین وفاداری گونه‌ها استفاده می‌شود، گونه‌های مزبور خواهند توانست از تمام محدودهٔ اکولوژی خود برای نشان دادن بیشترین درجهٔ اجتماع‌پذیری به گروه هدف بهره‌مند شوند. ترکیب گروه‌های طبقه‌بندی‌شده همزمان برای دو سری از اطلاعات (گونه‌ها و گروه‌ها) مزیت تلقی می‌شود. توجه به گونه‌ها در دامنهٔ وسیع‌تری از رویشگاه (در نظر گرفتن همهٔ ترکیبات احتمالی گروه‌ها)، توصیف بهتری از خصوصیات رویشگاهی که گونهٔ مزبور ترجیح می‌دهد در آن حضور یابد ارائه می‌دهد. از طرف دیگر در نظر گرفتن همهٔ ترکیبات احتمالی گروه‌ها، این قابلیت را دارد که بین گونه‌هایی که به یک گروه خاص تعلق دارند و گونه‌هایی که در چند گروه حضور پیدا می‌کنند تمایز قائل شود، زیرا این گونه‌ها در گروه‌هایی با اندازهٔ بزرگ‌تر اجتماع‌پذیری بیشتری دارند (Ricotta et al., 2021).

بهره‌گیری از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی، ارزیابی تخصیص همزمان یک گونه به بیش از یک گروه (دو، سه یا بیشتر) با استفاده از نتایج روش ارزش معرف را فراهم می‌سازد. بنابراین با استفاده از این راهبرد، تخصیص هر یک از گونه‌ها در ترکیبی از گروه‌هایی که آن گونه‌ها با درجهٔ فراوانی به‌نسبت زیادی حضور می‌یابند بررسی و بر این اساس یک گونه به‌منزلهٔ گونهٔ معرف بیش از یک گروه تعیین می‌شود. این در حالی است که در حالت معمولی (بدون استفاده از راهبرد گروه‌های ترکیبی) تعیین گونهٔ معرف با استفاده از روش ارزش معرف، هر گونه فقط در یک گروه به‌منزلهٔ گونهٔ معرف تعیین می‌شود.

معرفی یک گونه به‌منزلهٔ گونهٔ معرف در بیش از یک گروه، یک ساختار منطقی از اتصال گروه‌های تحت بررسی در سطوح بالاتر دارنگارهٔ طبقه‌بندی را پیش روی کاربران طبقه‌بندی پوشش گیاهی قرار می‌دهد. از این‌رو می‌توان به درک درستی از وضعیت اجتماع‌پذیری گونه‌ها در سطوح بالاتر یک دارنگارهٔ طبقه‌بندی بدون اجرای چندبارهٔ تحلیل گونهٔ معرف در هر سطح قطع طبقه‌بندی رسید. ضمن اینکه در این روش در ترکیب گروه‌های کوچک به‌منظور شکل‌گیری گروه‌های مربوط به سطح قطع بالاتر طبقه‌بندی فقط از گروه‌های مربوط به یک سین‌تاکسون مشابه در سطح بالاتر دارنگارهٔ سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی استفاده نشده، بلکه می‌توان از گروه‌های متعلق به دیگر سین‌تاکسون‌ها نیز استفاده کرد. این مزیت سبب می‌شود که درجهٔ تخصیص یک گونه به گروه‌های مورد بررسی بدون توجه به معیار وقوع یا درجهٔ وفور دیگر گونه‌های گیاهی (که تأثیر بسیار تعیین‌کننده‌ای در ساختار دارنگارهٔ طبقه‌بندی پوشش گیاهی دارند) انجام گیرد. از این‌رو به نظر می‌رسد که گزارش عددی روش ارزش معرف با تأکید بر ایدهٔ گروه‌های ترکیبی می‌تواند درک صحیح و مناسبی از ترجیح‌پذیری تک‌تک گونه‌ها در سطح رویشگاه مدنظر ارائه دهد.

تعیین گونهٔ معرف برمبنای ایدهٔ گروه‌های ترکیبی به‌دلیل ارائهٔ فهرست گونه‌هایی که به‌طور همزمان در

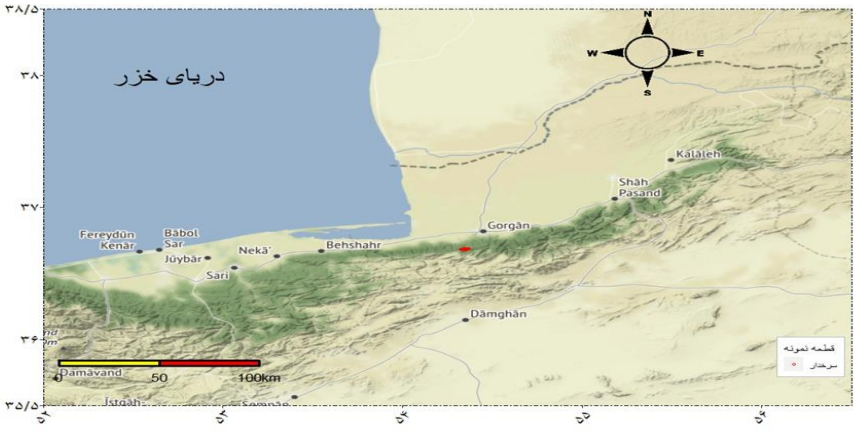
1. Group Combination

گروه‌های مختلف، گونهٔ معرف قلمداد می‌شوند، اشتراک گروه‌ها/ جوامع گیاهی با یکدیگر و تشکیل دارنگارهٔ سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی جوامع مزبور را فراهم می‌سازد. به دیگر سخن، روش ترکیبی تعیین ارزش معرف گونه- گروه با فراهم ساختن امکان تلفیق گروه‌های مختلف و در نتیجه تعیین گونهٔ معرف مشابه در بیش از یک گروه (که حتی ممکن است از یک خوشه در سطح قطع بالاتر طبقه‌بندی نیز نباشند) راهنمای مناسبی از تلفیق گروه‌ها را به‌منظور ایجاد گروه‌ها/جوامع گیاهی بزرگ‌تر در سطوح قطع بالاتر طبقه‌بندی بدون در نظر گرفتن وضعیت جغرافیایی آنها فراهم می‌سازد. در واقع گزارش حاصل از تعیین گونهٔ معرف برمبنای ایدهٔ گروه‌های ترکیبی همانند روش سنتز جدولی براون- بلانکه ساختار طبقه‌بندی گروه‌ها/جوامع گیاهی تحت بررسی را ارائه می‌دهد. این قابلیت به‌ویژه برای طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی اساس پایگاه اطلاعاتی بزرگ (Karami-Kordalivand & Esmailzadeh, 2021) از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو پژوهش حاضر در نظر دارد تا ضمن معرفی ایدهٔ گروه‌های ترکیبی در تعیین گونه‌های معرف جوامع گیاهی (برای نخستین بار در کشور) اهمیت این روش را در تبیین ساختار سلسله‌مراتبی جوامع گیاهی نشان دهد. برای این منظور از اطلاعات ترکیب گیاهی جوامع سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما (Esmailzadeh & Soofi, 2022) استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

برای این پژوهش از اطلاعات ترکیب پوشش گیاهی ۸۷ قطعه نمونهٔ ۴۰۰ متر مربعی استفاده شد که به روش انتخابی و با رعایت اصل تودهٔ معرف در جنگل‌های سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما پیاده شدند (شکل ۱). در هر قطعه نمونه ابتدا موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه ثبت شده و سپس فهرست همهٔ گونه‌های گیاهی به‌همراه میزان وفور یا درصد تاج‌پوشش آنها به‌صورت تخمینی و براساس ضرایب غلبه- وفور وان در مارل (۰: غایب، ۱: ۰-۱، ۲: ۱-۲/۵، ۳: ۲/۵-۵، ۴: ۵-۱۲/۵، ۵: ۱۲/۵-۲۵، ۶: ۲۵-۵۰، ۷: ۵۰-۷۵، ۸: ۷۵-۱۰۰ درصد) ثبت شد (Esmailzadeh & Soofi, 2022).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ پژوهش
Figure 1. Location of the study area

شیوهٔ اجرای پژوهش

ابتدا، گروه‌های بوم‌شناختی سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما با استفاده از TWINSPAN و برمبنای اطلاعات وفور ترکیب گیاهی تعیین شد. سپس با معرفی گروه‌های مزبور به سنتز جدولی براون- بلانکه شش اجتماع گیاهی تعیین شد. برای دریافت جزئیات بیشتر به مقاله Esmailzadeh & Soofi (2022) مراجعه شود. در این پژوهش فقط از

ماتریس گروه‌بندی جوامع گیاهی سرخدار به‌عنوان جوامع گیاهی از قبل طبقه‌بندی‌شده استفاده شد. سپس گونهٔ معرف هر یک از جوامع گیاهی مزبور با استفاده از روش ارزش معرف[1] یا IndVal تعیین شد.

روش ارزش معرف براساس دو معیار فراوانی نسبی[2] (B) یا وفاداری[3] و وفور نسبی[4] (A) یا درجهٔ اختصاص[5] پایه‌گذاری شده است که به‌طور گسترده در بوم‌شناسی جوامع گیاهی برای شناسایی گونه‌های معرف استفاده می‌شود (Legendre & Legendre, 2012; Saberi et al., 2020). برای این تحلیل از تابع multipatt در بستهٔ indicspecies استفاده شد (De Cáceres, 2013; De Caceres et al., 2016). در این زمینه با استفاده از تابع multipatt گونه‌هایی که به‌طور معنی‌داری ترجیح‌پذیری یا ارزش معرف زیاد (حاوی بیشترین وفور و فراوانی نسبی) را به هر یک از گروه‌های تحت بررسی نشان می‌دهند، گونهٔ معرف آن گروه‌ها قلمداد می‌شوند. اهمیت آماری این رابطه با استفاده از آزمون جایگشت (De Cáceres, 2013) آزمایش شد. البته ضریب ارزش معرف در دو حالت تعدیل‌شده (رابطهٔ ۱) و تعدیل‌نشده (رابطهٔ ۲) ارائه می‌شود. در حالت تعدیل‌نشده ممکن است برآورد معیار ویژگی تحت تأثیر اندازهٔ گروه‌ها (تعداد قطعه نمونه) قرار گیرد و مقدار برآوردی آن به‌سمت گروه‌های بزرگ‌تر اریب باشد که در نتیجه برآورد ضریب ارزش معرف را با اشتباه مواجه می‌سازد (Tichy & Chytry, 2006; Esmailzadeh & Asadi, 2014). برای حذف تأثیر اندازهٔ گروه در برآورد ضریب ارزش معرف روش تعدیل‌شده توسعه داده شد (Tichy & Chytry, 2006; Cáceres & Legendre, 2009). در روش تعدیل‌شده به‌دلیل استفاده از معیار مجموع متوسط وفور گونه‌ها به‌جای معیار مجموع وفور گونه‌ها، اثر تغییرات اندازهٔ گروه در برآورد ضریب ارزش معرف حذف می‌شود. در پژوهش حاضر از روش ارزش معرف تعدیل‌شده استفاده شد.

رابطهٔ ۱
$$IndVal = A \times B = \frac{n_p}{N_p} \times \frac{a_p}{a}$$

رابطهٔ ۲
$$IndVal_g = A \times B = \frac{n_p}{N_p} \times \frac{a_p / N_p}{\sum_{k=1}^{k} a_k / N_k}$$

IndVal= ضریب ارزش معرف؛ $IndVal_g$= ضریب **ارزش** معرف تعدیل‌شده؛ np= فراوانی گونهٔ مدنظر در گروه هدف؛ Np= تعداد رولوه در گروه هدف؛ ap= مجموع متوسط مقادیر وفور گونهٔ مدنظر در گروه هدف؛ a= مجموع متوسط وفور گونهٔ مدنظر در همهٔ گروه‌ها؛ Nk= تعداد رولوه در گروه k؛ ak= مجموع مقادیر وفور گونهٔ مدنظر در گروه k

گونه‌های معرف با استفاده از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی

روش گروه‌بندی ترکیبی برای بهبود روش اصلی تعیین گونهٔ معرف (Dufrêne & Legendre, 1997) در مطالعات مربوط به تجزیه‌وتحلیل گونه‌های معرف ارائه می‌شود. ورودی این روش همانند روش اولیهٔ تعیین ارزش معرف شامل دو سری از اطلاعات ترکیب پوشش گیاهی (داده‌های حضور و غیاب یا درصد تاج‌پوشش) و گروه‌بندی اولیهٔ حاصل از طبقه‌بندی پوشش گیاهی است (مرحلهٔ اول شکل ۲). تفاوت اصلی میان روش اصلی تعیین ارزش معرف و روش ارزش معرف ترکیبی، تغییر در تعداد گروه‌ها در برآورد مقدار عددی ارزش معرف گونه‌هاست. در روش اصلی ارزش معرف، اجتماع‌پذیری گونه‌ها در k گروه موجود در طبقه‌بندی اولیه انجام می‌گیرد، اما در روش ترکیبی، ارزش معرف هر یک از گونه‌های گیاهی در انواع مختلف گروه‌های ترکیبی (ترکیب گروه‌بندی اولیه) و البته گروه‌های اولیه برآورد می‌شود (مرحلهٔ دوم شکل ۲). در این صورت اگر تعداد k گروه اولیه (k= تعداد گروه‌بندی اولیه) در دست باشد، تعداد 2^k-1 گروه برای تعیین گونهٔ معرف در روش ترکیبی مدنظر قرار می‌گیرد.

در این روش، نخست فرایند ترکیب گروه‌های تحت بررسی (گروه‌های حاصل از هر گونه فرایند طبقه‌بندی) به تعداد 2^k-1 مرتبه (k= تعداد گروه) انجام می‌گیرد. سپس ترکیب گروهی که واحدهای آن

1. Indicator Value Index
2. Relative frequency
3. Fidelity
4. Relative abundance
5. Specifcity

حائز بیشترین درجه تشابه گونه‌ای باشد به‌منزلهٔ ترکیب گروه‌ها/جوامع گیاهی (گروه ترکیبی) انتخاب می‌شود. گروه ترکیبی مزبور به‌منزلهٔ گروه هدف مدنظر قرار می‌گیرد و سپس براساس مقادیر فراوانی نسبی و وفور نسبی هر یک از گونه‌های گیاهی در گروه هدف ترکیبی و مقایسهٔ آن مقادیر عددی ضرایب فراوانی و وفور نسبی بقیهٔ گروه‌ها، ضریب ارزش معرف برآورد و در نهایت گونهٔ هدف تعیین می‌شود. به دیگر سخن، با بهره‌گیری از رویکرد گروه ترکیبی، نخست گروه هدف برمبنای دامنهٔ آشیان بوم‌شناختی هر یک از گونه‌های تحت بررسی (به‌تفکیک هر گونهٔ گیاهی) صرف‌نظر از مجاورت جغرافیایی گروه‌هایی که در آنها انتشار دارند یا موقعیت گروه‌های تحت بررسی در دارنگارهٔ طبقه‌بندی تعیین می‌شود و سپس در گام دوم با استفاده از توابع عددی ضرایب ارزش معرف (مشابه روش معمولی تعیین گونه) گونهٔ معرف تعیین می‌شود. تعیین گونهٔ معرف در روش ترکیب گروه‌ها همانند روش اصلی آن (تعیین گونهٔ معرف در گروه‌های اولیه) برمبنای بیشینهٔ مقدار ضرایب ارزش معرف در گروه‌های تحت بررسی (مرحلهٔ سوم شکل ۲) و نتایج آزمون تصادفی‌سازی جایگشت[1] (P<۰/۰۵) (Cáceres & Legendre, 2009) انجام می‌گیرد (مرحلهٔ چهارم شکل ۲).

آزمون معنی‌داری تعیین گونهٔ معرف به روش ترکیبی نیز با استفاده از آزمون جایگشت انجام می‌گیرد. در این آزمون مقادیر ارزش معرف هر یک از گونه‌های گیاهی به‌صورت انفرادی (گونهٔ هدف) در هر یک از گروه‌های ترکیبی با مقادیر ارزش معرف همان گونه‌ها در گروه‌هایی که به‌صورت تصادفی (تعداد N بار) توسط نرم‌افزار شکل می‌گیرد مقایسه می‌شود. سپس تعداد دفعاتی که مقادیر ارزش معرف گونهٔ هدف براساس گروه‌های تصادفی ایجادشده بیشتر یا مساوی بیشینهٔ مقدار ارزش معرف همان گونه در گروه‌های ترکیبی باشد (n) شمارش می‌شود. سپس با استفاده از رابطهٔ ۳ مقدار ضریب معنی‌داری (P) برآورد می‌شود.

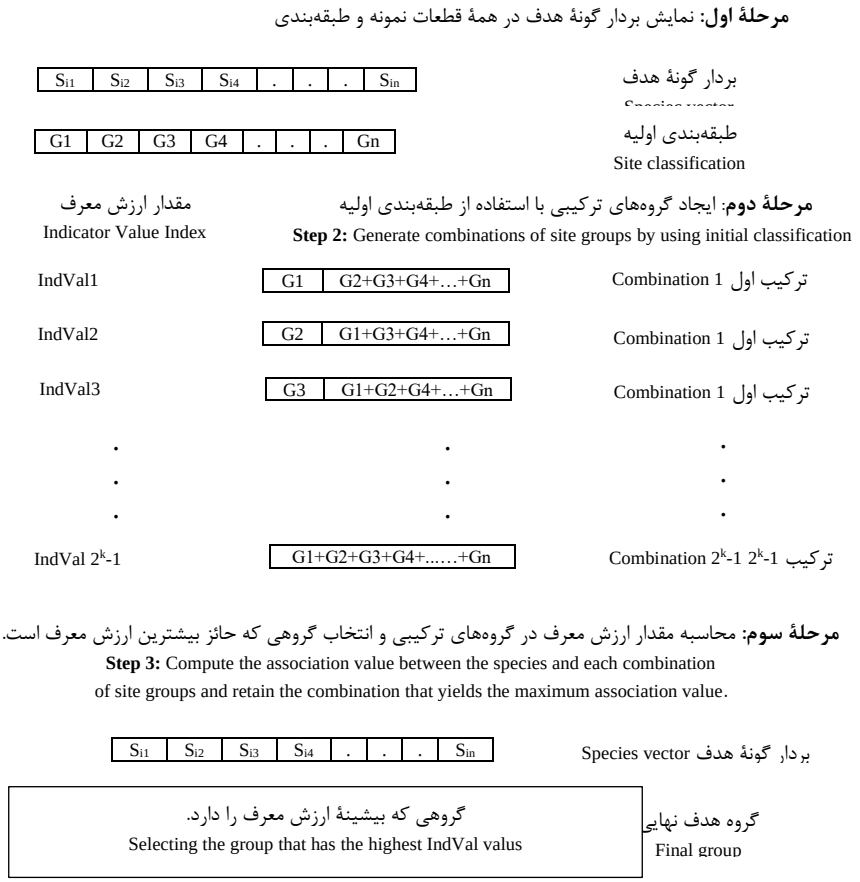
البته به‌هنگام استفاده از آزمون تصادفی‌سازی جایگشت باید این در نظر داشت که با افزایش تعداد گروه‌ها (بهره‌مندی از روش ترکیبی)، مقادیر عددی ضریب ارزش معرف گونه‌ها به گروه‌های جدید در هر مرحله از آزمون جایگشت به‌طور غیرواقعی افزایش می‌یابد. به دیگر سخن، گونه‌های تصادفی به‌عنوان گونهٔ معرف با سطح معنی‌داری بالا به هر کدام از گروه‌های ترکیبی اختصاص پیدا می‌کنند که خطای نوع اول را به‌همراه خواهد داشت. در واقع با افزایش تعداد گروه‌های تحت بررسی، احتمال انتخاب گونه‌های تصادفی به‌عنوان گونهٔ معرف فزونی می‌یابد که این امر موجب رد فرض صفر یا همان خطای نوع اول می‌شود. بنابراین اصلاح ضریب معنی‌داری برحسب تعداد گروه تحت بررسی اجتناب‌ناپذیر است. در این حالت به‌جای استفاده از ضریب خطای مجاز که در بررسی معنی‌داری مقادیر ارزش معرف در روش انفرادی یا معمولی تعیین گونهٔ معرف به‌کار گرفته می‌شود (P<۰/۰۵) باید خطای مجاز یا ضریب آلفا (α= تقسیم مقدار خطای مجاز به تعداد گروه‌های ترکیبی) تصحیح شود (رابطهٔ ۴) و گونه‌هایی که سطح معنی‌داری ضرایب ارزش معرف آنها از مقدار آلفا کمتر باشد، گونهٔ معرف قلمداد شوند.

رابطهٔ ۳
$$P = \frac{n+1}{N+1}$$

رابطهٔ ۴
$$\alpha = \frac{P}{N_g}$$

n= تعداد دفعاتی که حداکثر ارزش معرف محاسبه‌شده برای یک گونه حاصل از مجموعهٔ داده‌های تصادفی بزرگ‌تر یا مساوی حداکثر ارزش معرف آن گونه حاصل از داده‌های واقعی باشد؛ N= تعداد دفعات تصادفی‌سازی؛ P= ضریب خطای مجاز؛ α= ضریب آلفا یا ضریب خطای مجاز تصحیح‌شده؛ Ng= تعداد گروه‌های ترکیبی

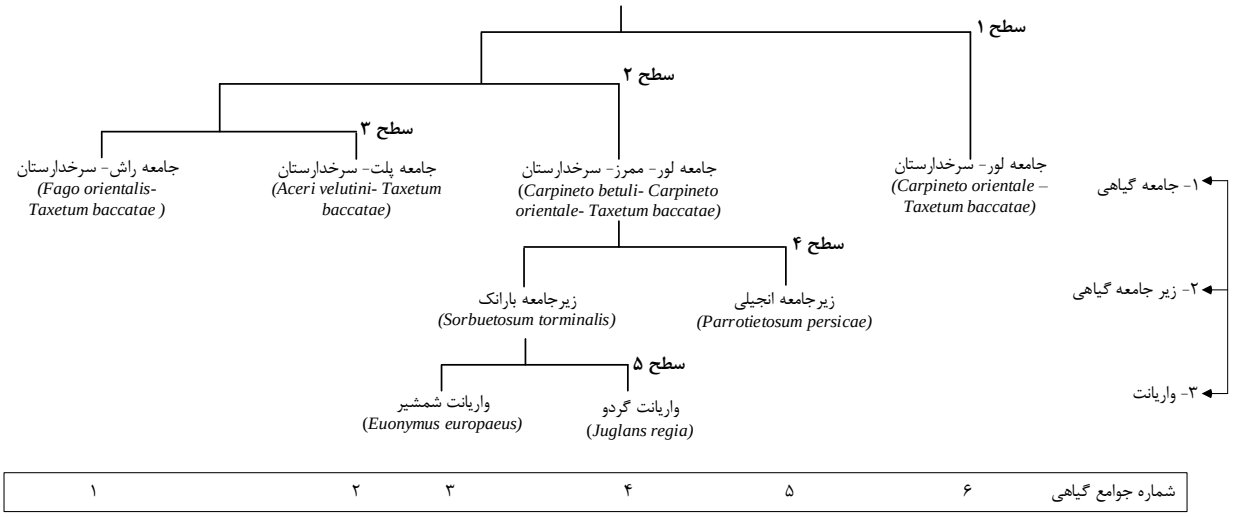
1. Permutation



شکل ۲- مراحل تجزیه‌وتحلیل ارزش معرف در گروه‌های ترکیبی و انتخاب گروهی که حائز بیشترین مقدار ارزش معرف است
Figure 2. The steps of analyzing indicator value in group combinations and selecting the group that yields the maximum association value

نتایج

براساس نتایج روش سنتز جدولی براون- بلانکه، شش اجتماع گیاهی سرخدار شامل چهار جامعهٔ گیاهی دو زیرجامعه و دو واریانت در جنگل‌های حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما تعیین شد. شکل ۳ دارنگارهٔ طبقه‌بندی جوامع گیاهی شش‌گانه را در سه سطح قطع اول، دوم و سوم (جامعهٔ گیاهی)، چهارم (زیرجامعهٔ گیاهی) و پنجم (واریانت) نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی گونه‌های معرف با استفاده از روش ارزش معرف و برمبنای ایدهٔ گروه‌های ترکیبی نشان داد که برخلاف حالت معمولی ارزش معرف، گونه‌های گیاهی ممکن است همزمان به چند گروه تعلق داشته باشند (جدول ۱).



شکل ۳- دارنگارهٔ روش سنتز جدولی براون- بلانکه در طبقه‌بندی جوامع گیاهی سرخدار در جنگل‌های منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما (Esmailzadeh & Soofi, 2022)

Figure 3. Dendrogram of Braun-Blanquet synoptic method in Jahan Nama protected area yew syntaxa classification (Esmailzadeh & Soofi, 2022)

نتایج نشان داد که در تعیین گونهٔ معرف با استفاده از روش ارزش معرف هنگامی که ترکیب گروه‌های گیاهی در نظر گرفته شد (ایدهٔ گروه‌های ترکیبی) از بین ۶۶ گونهٔ گیاهی، اجتماع‌پذیری ۲۸ گونه (۴۲/۴ درصد) به گروه‌های مختلف معنی‌دار ارزیابی شد و گونهٔ معرف محسوب شدند (جدول ۲، سطرهای خاکستری). هشت گونه فقط به یک گروه، شش گونه به ترکیب دو گروه، دو گونه به ترکیب سه گروه، سه گونه به ترکیب چهار گروه و نه گونه به ترکیب پنج گروه وفاداری نشان دادند (جدول ۱).

نتایج تعیین گونهٔ معرف با استفاده از روش ارزش معرف ترکیبی براساس مقادیر وفور ترکیب پوشش گیاهی و ماتریس گروه‌بندی جوامع گیاهی ضمن ارائهٔ فهرست گونه‌های معرف، تلفیق گروه‌های جامعه‌شناختی در سطوح قطع بالاتر دارنگارهٔ طبقه‌بندی براون- بلانکه را نیز تأیید کرد (جدول ۲). تلفیق گروه‌های مزبور براساس وقوع مشترک گونه‌های معرف در بدنهٔ جدول ۱ با خطوط پررنگ (حاشیهٔ سلول‌هایی که گونهٔ معرف در آنها وقوع یافته است) مشخص است. در این زمینه، اجتماع‌پذیری معنی‌دار نمدار (*Tilia rubra*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، تاج‌ریزی جنگلی (*Solanum kieseritzkii*)، *Galium odorata*، تمشک (*Rubus hyrcanus*) و آلوک (*Prunus avium*) در جوامع گیاهی اول تا پنجم و وقوع نیافتن آنها در اجتماع گیاهی ششم سبب شد که جامعهٔ لور- سرخدارستان (*Carpino orientalis- Taxetum baccatae*) با استفاده از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی از بقیهٔ جوامع گیاهی منطقه (جنگل آمیختهٔ سرخدار- ممرز) متمایز شود. بنابراین در سطح قطع اول، جامعهٔ لور- سرخدارستان از جنگل‌های آمیختهٔ سرخدار- ممرز مشتمل بر سه جامعهٔ راش- سرخدارستان (*Fago orientalis- Taxetum baccatae*)، پلت- سرخدارستان (*Aceri velutinid- Taxetum baccatae*) و ممرز- لور- سرخدارستان (*Carpino-Carpino- Taxetum baccatae*) متمایز می‌شود.

جدول ۱- فهرست گونه‌های معرف در گروهای ترکیبی با استفاده از نتایج ارزش معرف

Table 1. List of indicator species in group combiantion by IndVal result

الگو pattern	گونه species	IndVal	معنی‌داری significant	الگو pattern	گونه species	IndVal	معنی‌داری significant
1 4 2 5 3 6	*Fagus orientalis* *Queecus castaneifolia*	0.900 0.816	0.001 0.001	1 4 2 5 3 6	*Brachypodium pinnatum*	0.642	0.001
1 4 2 5 3 6	*Carex sylvatica* *Lamium album*	0.674 0.509	0.001 0.002	1 4 2 5 3 6	*Sorbus torminalis*	0.609	0.003
1 4 2 5 3 6	*Juglanse regia* *Polysticum oriental* *Hypericum androsaemum*	0.856 0.544 0.452	0.001 0.023 0.017	1 4 2 5 3 6	*Frangula alnus*	0.726	0.041
1 4 2 5 3 6	*Parrotia persica*	0.837	0.001	1 4 2 5 3 6	*Polystichum aculeatum*	0.842	0.001
1 4 2 5 3 6	*Acer velunitum* *Athyrium filix-femina*	0.710 0.499	0.001 0.013	1 4 2 5 3 6	*Carpinus orientalis*	0.930	0.001
1 4 2 5 3 6	*Brachypodium sylvaticum*	0.479	0.001	1 4 2 5 3 6	*Sanicula europea* *Dannae racemose*	0.856 0.800	0.001 0.002
1 4 2 5 3 6	*Asplenium sclopondrium*	0.632	0.001	1 4 2 5 3 6	*Viola alba*	0.771	0.02
1 4 2 5 3 6	*Circaa lutetiana*	0.470	0.02	1 4 2 5 3 6	*Tilia rubra* *Carpinus betulus* *Solanum kieseritzkii* *Galium odorata* *Rubus hyrcanus* *Prunus avium*	0.889 0.888 0.884 0.742 0.781 0.829	0.001 0.001 0.001 0.002 0.002 0.006
1 4 2 5 3 6	*Cephalantera caucasica*	0.433	0.043				

اجتماع‌پذیری پلت (*Acer velutinum*)، سرخس ماده (*Athyrium filix-femina*) و *Brachypodium pinnatum* با دو اجتماع گیاهی اول و دوم سبب تفکیک این دو اجتماع گیاهی به‌عنوان جنگل سرخدار- ممرز (*T. baccata- C. betulus*) ولی فاقد لور (*C. orientalis*) از سه اجتماع سوم، چهارم و پنجم (جامعهٔ ممرز- لور- سرخدارستان) در جدول سنتز براون- بلانکه برمبنای نتایج روش ارزش معرف و با تأکید بر ایدهٔ گروه‌های ترکیبی می‌شود (جدول ۲). البته اجتماع‌پذیری مشترک گونه‌های *Sanicula europea*، همیشک (*Dannae racemose*)، بنفشه (*Viola alba*) و سرخس *Polystichum aculeatum* با سه اجتماع گیاهی سوم، چهارم و پنجم نیز در تمایز این سه اجتماع گیاهی با دو اجتماع گیاهی اول و دوم نیز مؤثر است. وقوع همزمان درختان لور و ممرز در سه اجتماع گیاهی سوم، چهارم و پنجم سبب تفکیک و تمایز جامعهٔ ممرز- لور- سرخدارستان از دو جامعهٔ راش- سرخدارستان (اجتماع اول) و پلت- سرخدارستان (اجتماع دوم) در سطح قطع سوم می‌شود.

اجتماع‌پذیری مشترک درختان راش (*Fagus orientalis*) و بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) در اجتماع گیاهی اول و همچنین اجتماع‌پذیری مشترک *Carex sylvatica*، گزنهٔ سفید (*Lamium album*) و سرخس زنگی‌دارو (*Asplenium sclopondrium*) با اجتماع گیاهی دوم سبب بازیابی دو جامعهٔ راش- سرخدارستان و پلت- سرخدارستان شد (جدول ۲). جوامع راش- سرخدارستان و پلت- سرخدارستان، جوامع گیاهی سرخدار فاقد لور منطقه محسوب می‌شوند.

همچنین اجتماع‌پذیری مشترک *Cephalantera caucasica*، بارانک (*Sorbus torminalis*) و سیاه‌توسه (*Frangula alnus*) با دو اجتماع گیاهی سوم و چهارم به‌همراه اجتماع‌پذیری معنی‌دار انجیلی (*Parrotia persica*) با اجتماع گیاهی پنجم به‌ترتیب سبب تمایز دو زیرجامعهٔ بارانک و انجیلی می‌شود. اجتماع‌پذیری مشترک گردو (*Juglans regia*)، شقاقل (*Polygonatum orientale*)، متامتی (*Hypericum androsaemum*) و *Brachypodium sylvaticum* با اجتماع گیاهی چهارم نیز سبب تمایز واریتهٔ گردو از اجتماع گیاهی سوم به‌عنوان واریانت شمشیر (*Euonymus europaeus*) می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- فهرست گونه‌های معرف جوامع گیاهی سرخدار منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما با استفاده از نتایج روش ارزش معرف با رویکرد گروه‌های ترکیبی

Table 2. list of indicator specis in Jahan Nama protected area yew syntaxa using result of Indval method with group combination approch

ترکیب گونهٔ گیاهی Composition of plant species	جوامع گیاهی Syntaxa 1	2	3	4	5	6	ضریب ارزش معرف IndVal	معنی‌داری Significant
جنگل آمیختهٔ سرخدار- ممرز Mixed forest of *Taxus baccata- Carpinus betulus*								
Tilia rubra	1	1	1	1	1	0	0.889	0.001
Carpinus betulus	1	1	1	1	1	0	0.888	0.001
Solanum kieseritzkii	1	1	1	1	1	0	0.884	0.001
Galium odorata	1	1	1	1	1	0	0.742	0.002
Rubus hyrcanus	1	1	1	1	1	0	0.781	0.002
Prunus avium	1	1	1	1	1	0	0.829	0.006
جنگل سرخدار- ممرز *T. baccata- C. betulus*								
Acer velutinum	1	1	0	0	0	0	0.710	0.001
Athyrium filix-femina	1	1	0	0	0	0	0.499	0.013
Brachypodium pinnatum	1	1	0	1	0	0	0.642	0.001
جامعهٔ راش- سرخدارستان *Fago orientalis- Taxetum baccatae*								
Quercus castaneifolia	1	0	0	0	0	0	0.817	0.001
Fagus orientalis	1	0	0	0	0	0	0.900	0.001
جامعهٔ پلت- سرخدارستان *Aceri velutinid- Taxetum baccatae*								
Carex sylvatica	0	1	0	0	0	0	0.674	0.001

ادامه جدول ۲

ترکیب گونهٔ گیاهی Composition of plant species	جوامع گیاهی Syntaxa ۱	۲	۳	۴	۵	۶	ضریب ارزش معرف IndVal	معنی‌داری Significant
Lamium album	0	1	0	0	0	0	0.509	0.002
Asplenium sclopondrium	0	1	1	0	0	0	0.632	0.001
جامعهٔ ممرز- لور- سرخدارستان *Carpino-Carpino- Taxetum baccatae*								
Sanicula europea	1	0	1	1	1	1	0.856	0.001
Dannae racemose	1	0	1	1	1	1	0.800	0.002
Viola alba	0	1	1	1	1	1	0.771	0.02
Polystichum aculeatum	0	1	1	1	1	0	0.842	0.001
زیرجامعهٔ بارانک *Carpino-Carpino- Taxetum subasso. sorbuetosum torminalis*								
Cephalantera caucasica	0	0	1	1	0	0	0.433	0.043
Sorbus torminalis	1	0	1	1	0	0	0.609	0.003
Frangula alnus	1	0	1	1	1	0	0.726	0.041

				واریانت گردو *Juglans regia*				
Juglans regia	0	0	0	1	0	0	0.856	0.001
Polygonatum orientale	0	0	0	1	0	0	0.544	0.023
Hypericum androsaemum	0	0	0	1	0	0	0.452	0.017
Circaa lutetiana	0	1	0	1	0	0	0.470	0.02
Brachypodium sylvaticum	1	0	0	1	0	0	0.479	0.039
				زیرجامعهٔ انجیلی *Carpino-Carpino- Taxetum subasso. parrotietosum persica*				
Parrotia persica	0	0	0	0	1	0	0.837	0.001
				جامعهٔ لور- سرخدارستان *Carpino orientalis- Taxetum baccatae*				
Carpinus orientalis	0	0	1	1	1	1	0.930	0.001
				گونه‌های معرف سطوح بالاتر واحدهای سین تاکسونومی سرخدار Diagnostic species belong to higher level of *T. Bacata* syntaxa				
Taxus baccata	1	1	1	1	1	1	1	NA
Euphorbia amygdaloides	1	1	1	1	1	1	0.809	NA
Carex digitata	1	1	1	1	1	1	0.851	NA
Salvia glutinosa	1	1	1	1	1	1	0.851	NA
Acer campestre	1	1	1	1	1	1	0.903	NA
Hedera pastuchovii	1	1	1	1	1	1	0.878	NA
				گونه‌های همراه Companion species				
Acer campestre	1	0	0	0	0	0	0.378	0.089
Dryopteris caucasica	1	0	1	0	1	0	0.518	0.093
Anthriscus sylvestris	0	0	0	1	0	0	0.333	0.098
Alnus subcordata	0	0	0	1	0	0	0.333	0.098
Berberis vulgaris	0	0	0	1	0	0	0.333	0.098

ادامه جدول ۲

ترکیب گونهٔ گیاهی Composition of plant species	جوامع گیاهی Syntaxa						ضریب ارزش معرف IndVal	معنی‌داری Significant
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		
Andrachne rotundifolia	0	0	0	1	0	0	0.333	0.098
Asplenium trichomanes	0	0	0	1	0	0	0.333	0.098
Scutelaria tourneforttii	0	1	0	0	0	0	0.333	0.104
Fraxinus excelsior L.	1	1	0	1	0	0	0.408	0.104
Primula heterochroma	0	0	0	1	1	1	0.393	0.109
Euonymus europaeys	1	0	1	0	0	1	0.450	0.117
Tamus communis	0	1	0	1	1	0	0.496	0.118
Clinopodium vulgare L.	0	0	0	1	0	0	0.333	0.125
Cyclamen coum	1	0	0	0	0	0	0.309	0.188
Crataegus monogyna	0	0	0	0	1	0	0.316	0.21
Carex pendula	1	0	0	0	0	0	0.309	0.214
Cardamine tenera	0	0	0	1	0	0	0.279	0.339
Cornus australis	0	1	0	1	0	0	0.302	0.452
Asplenium adiantum-nigrum	0	0	0	1	1	0	0.314	0.63
Perribloca gracea	0	0	0	1	1	0	0.389	0.741
Fragaria vesca	0	1	0	0	0	0	0.236	0.754
Vicia crocea	1	0	0	0	0	0	0.218	1
Epipactis veratrifolia	1	0	0	0	0	0	0.218	1
Bunium persicum	1	0	0	0	0	0	0.218	1
Epipactis helleborin	1	0	0	0	0	0	0.218	1
Mespilus germanica	1	0	0	0	0	0	0.218	1
Acer mazandaranicum	1	0	0	0	0	0	0.218	1

بحث

پیچیدگی‌های پوشش گیاهی تا حد زیادی با تقسیم به جوامع مختلف گیاهی درک می‌شود (Legendre & Legendre, 2012) با اینکه محدود کردن جوامع گیاهی به بخش‌های مختلف زادهٔ تجربه و روش‌های خودکار و خودکار است و ماهیت واقعی ندارد، می‌تواند تفسیر نتایج بررسی‌های محیط‌زیستی، بوم‌شناسی و روابط گونهٔ محیط را آسان‌تر کند. از این‌رو انتخاب روشی مطمئن برای تصمیم‌گیری نهایی به حساسیت زیادی نیاز دارد (Mucina, 1997). نتایج به‌دست‌آمده از گونه‌های معرف در گروه‌بندی ترکیبی امکان می‌دهد که شباهت‌های جوامع را با دقت بیشتری ارزیابی کرد، زیرا حجم اطلاعات دربارهٔ گونهٔ معرف افزایش می‌یابد و هنگام تصمیم‌گیری دربارهٔ گروه‌بندی می‌توان از ماهیت گونه‌هایی که در گروه‌های چندگانه معرف شده‌اند برای تفاوت و شباهت گروه‌های حاصل استفاده کرد و با این رویکرد سهم اثرگذاری گونه‌های نادر و گونه‌هایی که شناخت صفات عملکردی[1] آنها برای محقق آشکار نیست کم می‌شود.

رویکرد گروه‌های ترکیبی به ماهیت بوم‌شناختی گونه‌ها توجه بیشتری داشته و بر این نکته دلالت دارد که پراکنش یک گونه و اجتماع‌پذیری آن، دامنهٔ جغرافیایی گسترده‌تری از رویشگاه‌های طبیعی را شامل شده و به‌طور همزمان در چندین گروه/ جوامع گیاهی، گونهٔ معرف قلمداد می‌شود. این درحالی است که در روش معمولی تعیین ارزش معرف، گونهٔ معرف هر گروه ممکن است نتواند توصیف مناسبی از آشیان بوم‌شناختی آن گروه را ارائه دهد؛ زیرا با اینکه به حضور در چند گروه تمایل دارد، با محدودیت تعلقه به یک گروه خاص مواجه است. ولی در روش ارزش معرف با رویکرد ترکیب گروه‌ها، هر گونه با الهام از موجودیت واقعی خود می‌تواند در یک گروه یا گروه‌های چندگانه حضور داشته باشد و بنابراین هر گونه درک بهتر از شرایط جغرافیایی موجود و تفسیر روابط گونه- محیط را ارائه می‌دهد. این مزیت موجب بهبود عملکرد گونهٔ معرف در تفسیر رابطهٔ گونه-محیط به‌منظور برآورد غیرمستقیم خصوصیات محیطی نسبت به روش معمولی آن می‌شود (De Cáceres et al., 2010). همچنین تنوع آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها، کارکرد رویکرد معمولی روش ارزش معرف در تعیین گونهٔ معرف را با چالش مواجه می‌کند. زیرا با اینکه محتمل است خاستگاه گونه‌ها از نظر شرایط جغرافیایی نزدیک به هم باشد، آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها گسترهٔ مکانی بیشتری را شامل می‌شود و بنابراین به‌منظور قضاوت مناسب‌تر در بررسی وضعیت اجتماع‌پذیری گونه‌ها، نیازمند بهره‌گیری از تعداد گروه‌های بیشتر است (Tsiripidis et al., 2009). اگرچه دیدگاه کلی بر وفاداری یک گونه به گروه خاصی تأکید دارد (Dufrêne & Legendre, 1997)، گونه‌ها لزوماً در طبیعت از چنین الگویی پیروی نمی‌کنند و گاهی به اجتماع‌پذیری در گروه‌های مختلف تمایل دارند. رویکرد ترکیب گروه‌ها در تعیین ارزش معرف گونه‌ها به‌دلیل فراهم ساختن انتخاب آزادانه گونه‌ها برای ترجیح‌پذیری به گروه‌ها/جوامع گیاهی با خصوصیات بوم‌شناسی مختلف با الگوی طبیعی تمایل گونه‌ها در وفاداری به بیش از یک گروه تطابق دارد.

اجتماع‌پذیری درختان لور در جامعهٔ لور-سرخدارستان به‌همراه دو زیرجامعهٔ انجیلی و بارانک از جامعهٔ ممرز-لور-سرخدارستان در جنگل‌های جهان‌نما نیز بر این نکته تأکید دارد. درحالی که اگر رویکرد معمولی روش ارزش معرف در تعیین گونهٔ معرف جوامع مزبور استفاده می‌شد، به‌دلیل کاهش مقدار عددی ارزش معرف ممکن بود لور معرف یک گروه/اجتماع گیاهی معرفی شود یا به‌دلیل معنی‌دار نبودن درجهٔ تعلقه آن به هیچ یک از گروه‌های مزبور، گونهٔ معرف هیچ یک از گروه‌ها معرفی نشود. ولی استفاده از رویکرد ترکیب گروه‌ها در روش ارزش معرف سبب شد که ضمن جلوگیری از کاهش مقدار عددی

1. Functional treat

ارزش معرف یا درجهٔ وفاداری لـور در گروه‌هـای مزبـور، سطح معنی‌داری معیار ارزش معرف نیز افـزایش یابـد و بر این اساس لور در چهار گروه/اجتماع گیاهی سـرخدار منطقه، گونهٔ معرف قلمداد شد. اجتماع‌پـذیری لـور بـه جوامع گیاهی سوم، چهـارم، پـنجم و ششـم، تمـایز دو جامعهٔ راش- سرخدارستان و پلت- سرخدارستان را بـه سهولت مقدور می‌سازد. از سویی وفاداری درختان ممرز به جوامع گیاهی سوم، چهارم و پنجم و وقوع نیافتن آن در اجتماع گیاهی ششم سبب تمـایز و تفکیـک جامعـهٔ ممرز- لور- سرخدارستان از جامعهٔ لـور- سرخدارسـتان می‌شود. در واقـع می‌تـوان اذعـان داشـت کـه رویکـرد ترکیبی روش ارزش معرف به‌درستی گونهٔ لـور را گونـهٔ معرف در تعداد چهار اجتماع گیـاهی شـامل دو جامعـهٔ گیـاهی (سـطح قطـع دوم) یـک جامعـه بـه‌همراه یـک زیرجامعه و دو واریانت در سـطح قطـع ششـم دارنگـارهٔ طبقه‌بندی جوامع گیاهی سـرخدار جهان‌نمـا (بـه‌روش براون- بلانکه) معرفی کرده است.

بهره‌گیری از ایدهٔ گروه‌های ترکیبـی ضـمن اینکـه فهرست گونه‌های معرف در گروه‌های هدف ترکیبـی را ارائـه می‌دهـد، بـا ارائـهٔ وفـاداری صـفر یـا عـدم اجتماع‌پذیری همان ترکیب گونـه‌ای در بقیـهٔ گروه‌هـا (گروه‌های غیرهدف) تفکیـک و تمـایز گروه‌هـا/جوامع گیاهی را با تأکید بر حضـور و نبـود گونـه‌های معـرف مقدور می‌سازد. درحالی که در رویکـرد معمـولی روش ارزش معـــرف (بـــدون ترکیـــب گروه‌هـــا) فقـــط اجتماع‌پذیری گونه‌ها به گروه‌های هدف مدنظر است و تمایز هر یک از گروه‌ها/ جوامع گیاهی فقـط براسـاس فهرست گونه‌های معرف همان گروه‌ها انجام می‌گیـرد. به دیگر سخن فهرست گونهٔ معرف یک گـروه در روش معمولی ارزش معرف هیچ دلالتی بر قابلیت تفکیـک و تمـایز بقیـهٔ گروه‌هـا نداشـت. همـین ویژگـی امکـان اسـتفاده از نتـایج روش ارزش معـرف در روش سـنتز جدولی براون- بلانکه را بـا محـدودیت جـدی مواجـه می‌سـازد (Asadi et al., 2021) کـه متخصصـان جامعه‌شناسی گیـاهی را بـر آن داشـته کـه بـه‌منظور تحلیل گونهٔ معرف از روش تعلقه فـی اسـتفاده کننـد. چون در روش تعلقه فی برخلاف روش معمـولی ارزش معـرف تعلقـه منفـی گونـه‌های معـرف بـه گروه‌هـای غیرهدف نیز ارائـه می‌شـود کـه ایـن ویژگـی، قابلیـت تفکیک جوامع گیاهی و تعیین مرز آنها در طبیعـت را بهبود می‌بخشد. ازآنجا که در تعیین گونه‌های معرف با اسـتفاده از روش ارزش معـرف بـا رویکـرد گروه‌هـای ترکیبی ضمن ارائهٔ اجتماع‌پذیری معنـی‌دار گونـه‌های گیـاهی بـه گـروه/ گروه‌هـای ترکیبـی، وفـادار نبـودن گونه‌های مزبور بـه گروه/گروه‌هـای غیرهـدف هماننـد روش تعلقه فی نیز ارائه می‌شود، نتـایج آن را می‌تـوان در سنتز جدول براون- بلانکه مدنظر قرار داد. از این‌رو استفاده از رویکـرد گروه‌هـای ترکیبـی در روش ارزش معرف، ضمن بهبود نتایج این روش در تفسـیر آشـیان بوم‌شـــناختی گونـــه‌ها (Thuiller et al., 2004)، محدودیت روش ارزش معـرف در طبقه‌بنـدی جوامـع گیاهی با استفاده روش سنتز جدولی براون- بلانکـه را بهبود می‌بخشد.

نتـایج تحقیـق حاضـر همچنـین نشـان داد کـه بهره‌گیری از رویکرد ترکیبـی تعیـین گونـهٔ معـرف بـا استفاده از روش ارزش معـرف در روش سـنتز جـدول براون- بلانکه نه‌تنها به شناسایی جوامع گیاهی از قبل طبقه‌بندی‌شده منجر می‌شـود، بلکـه سـطوح مختلـف دارنگارهٔ طبقه‌بندی را نیز متمایز ساخته است. قابلیـت تعیین سـطوح مختلـف دارنگـارهٔ طبقه‌بنـدی جوامـع گیاهی یا معرفی سین‌تاکسون‌ها در سطح قطـع بـالای طبقه‌بنـدی یـک نکتـهٔ مهـم اسـتفاده از روش‌هـای تخصص‌محور (expert system) یا کوکتایل (Asadi et al., 2016) در طبقه‌بنـدی خودکـار جوامـع گیـاهی محســـوب می‌شـــود (Karami-Kordalivand & Esmailzadeh, 2021). در واقـع نتـایج ایـن پـژوهش تصریح می‌کند که با توجه به اینکه کـاربرد روش‌هـای خودکـار طبقه‌بنـدی پوشـش گیـاهی مـورد توجـه متخصصان تجزیه‌وتحلیل جوامـع گیـاهی قـرار دارد و امـروزه اسـتفاده از آن در طبقه‌بنـدی جوامـع گیـاهی

براساس بانک اطلاعاتی بزرگ ترکیب پوشش گیاهی اجتناب‌ناپذیر است، می‌توان به قابلیت استفاده از رویکرد ترکیبی در تعیین گونه‌های معرف در روش تخصص‌محور و طبقه‌بندی جوامع گیاهی خوشبین بود. زیرا روش‌های تخصص‌محور طبقه‌بندی جوامع گیاهی برمبنای وقوع مشترک ترکیب گونه‌های معرف در گروه‌ها/جوامع گیاهی پایه‌گذاری شدند که شناخت آنها مستلزم تجربهٔ کافی یا اطلاع دقیق از سیستم سلسله‌مراتبی گروه‌ها/ جوامع گیاهی تحت بررسی است (Landucci et al., 2015; Khabazi et al., 2019; Tichý et al., 2019) که به‌راحتی با بهره‌گیری از ایدهٔ گروه‌های ترکیبی در روش سنتز جدولی براون- بلانکه قابل دستیابی است. البته تأیید این مسئله نیازمند پژوهشی مستقل در آینده است.

سپاسگزاری

این مقاله براساس بانک اطلاعاتی اخذ شده از جنگل‌های سرخدار با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس تدوین شد. بدین وسیله از حمایت و پشتیبانی دانشگاه تربیت مدرس تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از نویسندگان مقالهٔ Syntaxonomy and gradient analysis of common yew (*Taxus baccata* L.) communities in eastern Hyrcanian forests, northern Iran بابت در اختیار گذاشتن نتایج جامعه‌شناسی سرخدار منطقهٔ جهان‌نما سپاسگزاری می‌شود.

References

Asadi, H., Esmailzadeh, O., De Cáceres, M., & Hosseini, S.M. (2021). The assignment of relevés to pre-existing vegetation units: a comparison of approaches using species fidelity. *Annals of Forest Science*, *78*(1), 1-23. https://doi.org/10.1007/s13595-020-01017-0

Asadi, H., Esmailzadeh, O., Hosseini, S.M., Asri, Y., & Zare, H. (2016). Application of Cocktail method in vegetation classification. *Taxonomy and Biosystematics*, *8*(28), 21-38. (In persian)

Barkman, J. (1989). Fidelity and character-species, a critical evaluation. *Vegetatio*, *85*(1), 105-116. https://doi.org/10.1007/BF00042260

Burger, J. (2006). Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, *1*(1), 22-39. https://doi.org/10.1080/15555270590966483

Cáceres, M.D., & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, *90*(12), 3566-3574. https://doi.org/10.1890/08-1823.1

Chytrý, M., Tichý, L., Holt, J., & Botta-Dukát, Z. (2002). Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation science*, *13*(1), 79-90. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02025.x

De Cáceres, M. (2013). How to use the indicspecies package (ver. 1.7. 1). *R Proj*, *29*.

De Caceres, M., Jansen, F., & De Caceres, M.M. (2016). Package 'indicspecies'. *indicators*, *8*, 1.

De Cáceres, M., Legendre, P., & Moretti, M. (2010). Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, *119*(10), 1674-1684. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18334.x

Dufrêne, M., & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, *67*(3), 345-366. https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2

Esmailzadeh, O., & Asadi, H. (2014). Total phi fidelity index (TPFI) as a new algorithm in plant communities analysis. *Iranian journal of forest*, *6*(2), 215-232. (In persian)

Esmailzadeh, O., & Soofi, M. (2022). Syntaxonomy and gradient analysis of common yew (Taxus baccata L.) communities in eastern Hyrcanian forests, northern Iran. *Ecological Research*, *37*(3), 325-343. https://doi.org/10.1111/1440-1703.12291

Gholizadeh, H., Naqinezhad, A., & Chytrý, M. (2020). Classification of the Hyrcanian forest vegetation, Northern Iran. *Applied Vegetation Science*, *23*(1), 107-126. https://doi.org/10.1111/avsc.12469

Hamzeh'ee, B., Naqinezhad, A., Attar, F., Ghahreman, A., Assadi, M., & Prieditis, N.. (2008). Phytosociological survey of remnant Alnus glutinosa ssp. barbata communities in the lowland Caspian forests of northern Iran. *Phytocoenologia*, 117-132. https://doi.org/10.1127/0340-269X/2008/0038-0117

Hill, M.O. (1979). A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *TWINSPAN*.

Karami-Kordalivand, P., & Esmailzadeh, O. (2021). Application of expert systems in vegetation classification. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *29*(3), 214-229. (In persian)

Khabazi, F., Esmailzadeh, O., & Najafi, A. (2019). Supervised classification of Buxus hyrcana plant communities using artificial neural network. *Iranian Journal of Forest*, *11*(3), 387-400. (In persian)

Landres, P.B., Verner, J. & Thomas, J.W. (1988). Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation biology*, *2*(4), 316-328. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1988.tb00195.x

Landucci, F., Tichý, L., Šumberová, K., & Chytrý, M. (2015). Formalized classification of species-poor vegetation: a proposal of a consistent protocol for aquatic vegetation. *Journal of Vegetation Science*, *26*(4), 791-803. https://doi.org/10.1111/jvs.12277

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology*. Elsevier.

McGeoch, M.A., & Chown, S.L. (1998). Scaling up the value of bioindicators. *Trends in Ecology & Evolution*, *13*(2), 46-47. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01279-2

Mucina, L. (1997). Classification of vegetation: Past, present and future. *Journal of Vegetation Science*, *8*(6), 751-76. https://doi.org/10.2307/3237019

Niemi, G.J., & McDonald, M.E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *35*, 89-111. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132

Ricotta, C., Acosta, A.T., Caccianiga, M., Cerabolini, B.E., Godefroid, S., & Carboni, M. (2020). From abundance-based to functional-based indicator species. *Ecological Indicators*, *118*, 106761. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106761

Ricotta, C., Pavoine, S., Cerabolini, B.E., & Pillar, V.D. (2021). A new method for indicator species analysis in the framework of multivariate analysis of variance. *Journal of Vegetation Science*, *32*(2), e13013. https://doi.org/10.1111/jvs.13013

Saberi, B.G., Esmailzadeh, O., & Asadi, H. (2020). Evaluating the different indicator species analysis in the classification of plant communities. *Iranian Journal of Forest*, *12*(4), 541-555. (In persian)

Siddig, A.A., Ellison, A.M., Ochs, A., Villar-Leeman, C., & Lau, M.K. (2016). How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in Ecological Indicators. *Ecological Indicators*, *60*, 223-230. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.036

Thuiller, W., Lavorel, S., Midgley, G., Lavergne, S., & Rebelo, T. (2004). Relating plant traits and species distributions along bioclimatic gradients for 88 Leucadendron taxa. *Ecology*, *85*(6), 1688-1699. https://doi.org/10.1890/03-0148

Tichy, L., & Chytry, M. (2006). Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *Journal of Vegetation science*, *17*(6), 809-818. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02504.x

Tichý, L., Chytrý, M., & Landucci, F. (2019). GRIMP: A machine-learning method for improving groups of discriminating species in expert systems for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science, 30*(1), 5-17. https://doi.org/10.1111/jvs.12696

Tsiripidis, I., Bergmeier, E., Fotiadis, G., & Dimopoulos, P. (2009). A new algorithm for the determination of differential taxa. *Journal of Vegetation Science*, *20*(2), 233-240. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.05273.x

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 4, Winter 2024
pp. 411-428

DOI: 10.22034/ijf.2023.363038.1892

Research Article

Indicator species analysis by considering all possible combinations of site groups

R. Darvandand[1] and O. Esmailzadeh[2*]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
[2]Associate Prof., Dep. of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

(Received: 16 October 2022; Accepted: 8 April 2023)

Abstract

Introduction: In this research, the capability of indicator species analysis with the emphasis of the group combination concept for determining the pre-classified plant communities was investigated.

Material and Methods: For this purpose, the yew ecological groups of sites in the Jahan Nama Protected Area (JNPA) yew forests were firstly classified by TWINSPAN method based of vegetation abundance data and then the indicator species of each ecological groups were derived by using group-equalized indicator value analysis as well as the groups combination concept. The indicator value of the species-group was analyzed by 'multipatt' function and its statistical significance was evaluated using the permutation test in the 'indicspecies' package. Finally, the importance of indicator species analysis results by considering all possible combinations of JNPA yew groups of sites in order to assigning each ecological groups to pre- classified yew communities in the Braun-Blanquet hierarchical synoptic table were illustrated.

Findings: Combining groups of sites in the indicator species analysis not only provide indicator species in target combined groups but also presenting the zero fidelity of those species to non-target groups of sites and allows the differentiation and distinction of plant communities/groups of sites based on both features of prescence and absent of indicator species. While, in the typical indicator special analysis only species-target groups of sites association is taken into account. Results also showed that indicator species analysis by combining groups of sites not only provided the pre-classified JNPA yew communities which were determined by Braun-Blanquet synoptic table but also provides their hierarchical order and also higher syntaxa at the next hierarchical rank in Braun-Blanquet synoptic tables as well as dendrogram.

Conclusion: Consequently, the results of this research reiterate that indicator species analysis by combining groups of sites compared with individual ones provides the more reliable indicator species lists for characterizing plant communities in phytosociological studies. So, we believe that applying indicator species analysis by combining groups of sites approach could be useful in the automatic (expert system) classification of plant communities which is inevitable while an extensive database of vegetation composition is available. Consideration of combining groups of sites in indicator species analysis due to providing common occurrence of indicator species at different hierarchical plant community classification, will improve the capability of expert system method in characterizing of the next higher syntaxa than association as the basic unit in the braun-blanquet synoptic table method.

Keywords: Braun-Blanquet synoptic method, Plant communities, Ecological groups, IndVal.

* Corresponding author Tel**:** +981144998082 E-mail:oesmailzadeh@modares.ac.ir