مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۹ شماره ۳، صفحه ۲۲۹-۲۱۴، (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2021.354945.2004
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1400.29.3.2.9

کاربرد سیستم‌های تخصص‌محور در طبقه‌بندی پوشش گیاهی

پری کرمی کردعلیوند [۱] و امید اسماعیل‌زاده [۲*]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت‌مدرس، نور، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت‌مدرس، نور، ایران
پست الکترونیک: oesmailzadeh@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

چکیده

در پژوهش پیش‌رو کارایی دو سیستم تخصص‌محور طبقه‌بندی پوشش گیاهی در بازیابی جوامع گیاهی سرخ‌دار (*Taxus baccata* L.) در جنگل‌های هیرکانی مرکزی و شرقی ارزیابی شد. برای این منظور، ابتدا جوامع گیاهی با استفاده از تحلیل گونه‌های معرف دوطرفه (TWINSPAN) و براساس اطلاعات ترکیب پوشش گیاهی ۴۰۸ رلوه ۴۰۰ متر مربعی طبقه‌بندی شدند. سپس، گونه‌های معرف هریک از جوامع گیاهی مذکور با بهره‌گیری از نتایج تلفیقی سه شاخص تعلقه‌فی، نسبت پایایی و نسبت تاج‌پوشش کل تعیین شدند. جوامع گیاهی اولیه پس از سنتر به‌روش جدولی براون- بلانکه در قالب پنج جامعه گیاهی سرخ‌دار معرفی شدند. همچنین، با استفاده از دو رویکرد مختلف شامل گروه‌گونه عملکردی (در روش تخصص‌محور تلفیقی) و گروه‌گونه جامعه‌شناختی (در روش تخصص‌محور ترکیب گونه‌های معرف)، رلوه‌ها به هریک از پنج جامعه مذکور تخصیص یافتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، همه رلوه‌ها در روش تخصص‌محور تلفیقی به گروه‌های هدف اختصاص یافته بودند و انطباق صددرصد را با جوامع گیاهی پنج‌گانه سرخ‌دار نشان دادند، درحالی‌که در روش ترکیب گونه‌های معرف، ۸۷ رلوه به هیچ‌کدام از این جوامع تعلق نداشتند یا به بیشتر از یک جامعه اختصاص یافتند. مقدار انطباق نتایج این روش با جوامع گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده سرخ‌دار، ۷۸/۷ درصد ارزیابی شد. به‌طورکلی، نتایج پژوهش پیش‌رو تصریح می‌کند که باتوجه‌به اهمیت ثبات و انعطاف‌پذیری سیستم‌های طبقه‌بندی پوشش گیاهی و اختصاص صحیح یک رلوه به جامعه هدف، استفاده از روش تخصص‌محور تلفیقی نسبت به روش ترکیب گونه‌های معرف در طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی ارجحیت دارد.

واژه‌های کلیدی: تخصیص، طبقه‌بندی خودکار، گروه‌گونه جامعه‌شناختی، گروه‌گونه عملکردی، گونه معرف.

مقدمه

تدوین الکترونیکی پایگاه‌های اطلاعاتی بزرگ گیاهی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های علم جامعه‌شناسی گیاهی از اوایل دهه ۱۹۹۰ محسوب می‌شود (Haveman & Janssen, 2008). تشکیل این پایگاه، زمینه‌ساز مطالعه جامع و دقیق‌تر جوامع گیاهی یک منطقه است و استفاده از آن، شناخت رابطه گونه- محیط را به‌نحو مطلوب‌تری میسر می‌کند، اما حجم زیاد داده‌ها باعث محدودیت جدی در کاربرد روش دستی و مبتنی‌بر تجربه براون- بلانکه می‌شود (Haveman & Janssen, 2008). در این حالت، استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) سبب کاهش پیچیدگی در فرایند تصمیم‌گیری تخصیص

قطعه‌نمونه- گروه برای طبقه‌بندی جوامع گیاهی شده است (McLeod, 1998; Kočí *et al*., 2003; Černá & Chytrý, 2005; van Tongeren *et al*., 2008; De Cáceres *et al*., 2009). تاکنون دو شاخه از هوش مصنوعی برای داده‌های پوشش گیاهی استفاده شده است. شاخه اول، الگوریتم‌های یادگیری ماشین را شامل می‌شود (Hastie *et al*., 2009) که ابزاری برای استنتاج دانش پایه مستقل است. سیستم‌های تخصص‌محور (Expert Systems) نیز شاخه دوم هستند که با پیروی از تصمیم‌های انسانی، فرایند طبقه‌بندی انجام‌شده توسط انسان را تقلید می‌کنند (Noble, 1987).

سیستم تخصص‌محور، شاخه‌ای از هوش مصنوعی کاربردی است که توسط جامعه هوش مصنوعی در اواسط دهه ۱۹۶۰ معرفی شد و توسعه یافت. ایده اصلی این سیستم، ساده و برپایه توصیف دانش و تخصصی است که توسط انسان به رایانه منتقل می‌شود. دانش مذکور پس از ذخیره در رایانه، توسط کاربران فراخوانی می‌شود (Calling data) و برای حل مسائل از آن کمک گرفته می‌شود (Turban *et al*., 2004). کدگذاری اطلاعات در این سیستم به‌گونه‌ای است که کاربران کم‌تجربه نیز به‌آسانی می‌توانند از آن بهره ببرند. امروزه استفاده از روش‌های تخصص‌محور باتوجه‌به قدرت، انعطاف‌پذیری و توانمندی زیاد در حل مسائلی که در روش سنتی قابل‌انجام نیستند، در بسیاری از بخش‌ها درحال‌گسترش هستند و کاربرد آن‌ها در فرایند پشتیبانی تصمیم و حل مسئله اثبات شده است (Liao, 2005). براین‌اساس، روش تخصص‌محور به‌طور فزاینده‌ای برای طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده در مجموعه داده‌های بزرگ پوشش گیاهی استفاده می‌شود. دقت این طبقه‌بندی‌ها به انتخاب گونه‌هایی بستگی دارد که به‌طور مؤثری سبب تمایز واحدهای گیاهی از هم می‌شوند (Tichý *et al*., 2019).

روش ترکیبی گونه‌های معرف یا کوکتایل (Cocktail) از روش‌های تخصص‌محور است که با تعریف قوانین منطقی (Bruelheide, 1997; Bruelheide & Chytrý, 2000) و براساس وقوع مشترک تعدادی از گونه‌های معرف، قطعه‌نمونه‌ها را طبقه‌بندی می‌کند (Asadi *et al*., 2016). در واقع، ماهیت روش کوکتایل همانند روش سنتز جدولی براون- بلانکه بر ایده گونه معرف تأکید دارد، اما استفاده از تابع‌ها یا عملگرهای منطقی (Logical operator) در روش کوکتایل سبب می‌شود تا در درجه اول، طبقه‌بندی جوامع گیاهی به‌صورت تابع‌های عددی گزارش شود، درحالی‌که این فرایند در روش سنتز جدولی بروان- بلانکه همچنان به‌صورت تجربی انجام می‌گیرد. ضمن اینکه استفاده از تابع‌های عددی، امکان تخصیص رلوه‌ها به گروه‌گونه‌های معرف در پایگاه اطلاعاتی بزرگ را به‌صورت خودکار فراهم می‌کند (Bruelheide & Chytrý, 2000).

روش تلفیقی گروه‌گونه‌های معرف، عملکردی و تشخیصی (Landucci *et al*., 2015) که در این مقاله به‌اختصار به آن، روش تخصص‌محور تلفیقی اطلاق می‌شود، یکی دیگر از روش‌های تخصص‌محور است که نتایج طبقه‌بندی آن نسبت به روش کوکتایل (روش تخصص‌محور ترکیبی) ثبات بیشتری دارد. در این روش نه‌تنها تعریف‌های عددی از گروه‌ها/ جوامع گیاهی ارائه می‌شود، بلکه مجموعه‌ای از قوانین برای ساخت این تعریف‌ها نیز فراهم می‌شود. در روش تخصص‌محور تلفیقی، بهره‌گیری هم‌زمان از ایده گروه‌گونه‌های عملکردی (مشتمل‌بر گونه‌هایی با شکل زیستی مشابه) به‌همراه ایده گروه‌گونه‌های معرف (گونه‌هایی با دامنه توزیع مشابه که در رویشگاه‌های شبیه‌به‌هم، وقوع مشترک دارند) و ایده گونه‌های غالب (که به‌عنوان گونه‌های تشخیصی یا ممیزی جوامع گیاهی محسوب می‌شوند) سبب کارایی این روش در فرایند طبقه‌بندی جوامع گیاهی با غنای گونه‌ای کم می‌شود (Tichý *et al*., 2019)، درحالی‌که روش تخصص‌محور ترکیبی فقط برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی مناطقی که غنی از گونه هستند، استفاده می‌شود و برای پوشش گیاهی با غنای گونه‌ای اندک، کارایی لازم را ندارد (Landucci *et al*., 2015).

هرچندکه استفاده از راهبرد تخصص‌محور ترکیبی نسبت به روش تلفیقی، قدمت بیشتری در حوزه جامعه‌شناسی گیاهی دارد، اما امروزه کاربرد روش تخصص‌محور تلفیقی

به‌منظور ارائه جامع و دقیق‌تر ظرفیت جوامع گیاهی هر منطقه با استفاده از روش سنتز جدولی براون- بلانکه به‌ویژه در صورت کاربرد پایگاه اطلاعاتی بزرگ، مورد توجه پژوهشگران این حوزه قرار گرفته است (Chytrý & Tichý, 2018; Çoban & Willner, 2019; Gholizadeh *et al.*, 2020; Novák *et al.*, 2020). مرور منابع، دلالت بر این نکته دارد که استفاده از روش تخصص‌محور تلفیقی به‌منظور طبقه‌بندی جوامع گیاهی در سطوح وسیع، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. ازاین‌رو در پژوهش پیش‌رو ضمن معرفی روش تخصص‌محور تلفیقی برای نخستین‌بار در کشور، نتایج حاصل از فرایند طبقه‌بندی خودکار در دو روش تخصص‌محور تلفیقی و ترکیبی با استفاده از ترکیب گیاهی جنگل‌های سرخ‌دار در دو استان گلستان و مازندران (Karami-Kordalivand *et al.*, 2021) ارزیابی شد.

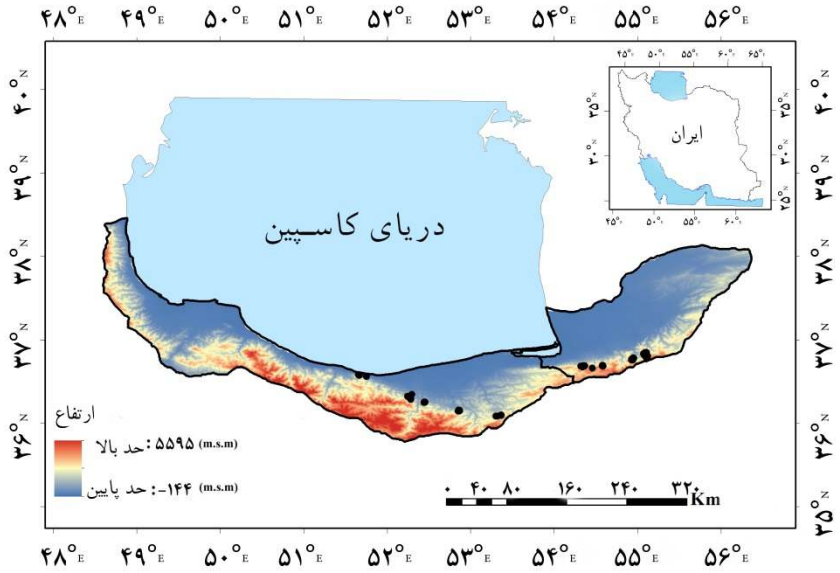
مواد و روش‌ها

بانک اطلاعاتی پوشش گیاهی

پایگاه اطلاعاتی ترکیب پوشش گیاهی با وارد کردن اطلاعات پوشش گیاهی در نرم‌افزار Turboveg تشکیل شد (Hennekens & Schaminée, 2001). اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی، حاصل نمونه‌برداری از رویشگاه‌های سرخ‌دار در استان‌های گلستان و مازندران از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ بودند که در محدوده ارتفاعی ۹۶ (رویشگاه مزگاء) تا ۱۹۶۶ (رویشگاه افراتخته) متر از سطح دریا پراکنش دارند (شکل ۱). در این مناطق، ۴۰۸ رلوه با مساحت ۴۰۰ متر مربع به‌روش براون- بلانکه و با در نظر داشتن اصل توده معرف برداشت شد. در هر رلوه، فهرست همه گونه‌های گیاهی آوندی ثبت شد و درصد تاج‌پوشش آن‌ها براساس روش براون بلانکه برآورد شد. شناسایی دقیق گونه‌ها پس از جمع‌آوری با کمک متخصصان حوزه گیاه‌شناسی و بهره‌گیری از منابع معتبر فلوری موجود انجام گرفت (Rechinger, 1963-2015).

روش طبقه‌بندی تخصص‌محور

طبقه‌بندی اولیه جوامع گیاهی سرخ‌دار با استفاده از تحلیل گونه‌های معرف دوطرفه یا TWINSPAN (Hill *et al.*, 1975) براساس درصد تاج‌پوشش گونه‌ها و برمبنای سطح‌های قطع صفر، پنج و ۲۵ با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری Juice (Tichý, 2002) انجام شد.



شکل ۱- موقعیت رلوه‌های برداشت‌شده (دایره‌های سیاه‌رنگ) در دو استان گلستان و مازندران به‌منظور تهیه بانک اطلاعاتی سرخ‌دار

براین‌اساس، در سطح قطع سوم دارنگاره طبقه‌بندی TWINSPAN، هشت گروه گیاهی (جوامع گیاهی اولیه) شناسایی شد. سپس با استفاده از شاخص تعلقه‌فی تعدیل‌شده، شاخص نسبت پایایی و شاخص نسبت تاج‌پوشش، گونه‌های معرف در هریک از گروه‌ها/جوامع گیاهی اولیه تعیین شدند (Chytrý *et al*., 2002; Tichý & Chytrý, 2006; Willner *et al*., 2009). درنهایت، با کاربرد دو روش تخصص‌محور شامل ترکیب گونه‌های معرف (کوکتایل) و روش تلفیقی گروه‌گونه‌های معرف، عملکردی و تشخیصی (روش تخصص‌محور تلفیقی که در آن دانش تجربی متخصص به‌صورت کدهای عددی برای تخصیص رلوه‌ها به گروه هدف به‌کار گرفته می‌شود)، تخصیص خودکار قطعه‌نمونه‌ها به گروه‌های اولیه ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده انجام شد (Tichý *et al*., 2019).

الگوریتم طبقه‌بندی تخصص‌محور تلفیقی، مجموعه‌ای از قوانین تعریف‌شده است که در قالب فایل متنی ارائه می‌شود و شامل سه بخش (۱) اجتماع یا ادغام گونه‌ها (Species aggregation)، (۲) گروه‌گونه‌ها (Species groups) و (۳) تعریف گروه‌ها (Group definitions) به شرح زیر است.

۱- ادغام گونه‌ها: این بخش شامل قوانینی برای ادغام گونه‌ها یا زیرگونه‌هایی است که در بیشتر از یک لایه قرار دارند و یا در پایگاه داده با چند نام متفاوت ذخیره شده‌اند.

۲- گروه‌گونه‌ها: این بخش توسط انواع گروه‌گونه‌ها شامل گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی (Sociological species groups)، گروه‌گونه‌های عملکردی (Functional species groups) و گروه‌گونه‌های تمایزی (Discriminating species groups) تعریف می‌شود و در نوشتن فرمول‌های منطقی به‌کار می‌رود.

الف) گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی: این گروه در فرمول‌های منطقی تهیه‌شده برای روش ترکیبی گونه‌های معرف (کوکتایل) استفاده می‌شود (Bruelheide & Chytrý, 2000; Kočí *et al*., 2003; Tichý *et al*., 2019). گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی دربرگیرنده گونه‌هایی با تمایل زیاد وقوع مشترک در یک رویشگاه هستند. این گروه‌گونه‌ها به‌صورت تجربی یا با استفاده از شاخص تعلقه‌فی تعیین می‌شوند. یک قطعه‌نمونه/رلوه در صورتی به یک گروه‌گونه جامعه‌شناختی تعلق خواهد گرفت که حداقل نیمی از گونه‌های آن گروه‌گونه در قطعه‌نمونه/رلوه مزبور وقوع یابند.

ب) گروه‌گونه‌های عملکردی: این گروه‌گونه‌ها شامل گونه‌های با صفات عملکردی مشابه هستند (به‌عنوان مثال شکل زیستی مشابه، دامنه توزیع یکسان یا گونه‌هایی که در رویشگاه‌های مشترک انتشار دارند). ترکیب این گروه‌گونه‌ها توسط کاربر و به‌طور معمول براساس قوانین ازپیش‌تعیین‌شده (مبتنی‌بر تخصص) صورت می‌گیرد. گروه‌گونه‌های عملکردی براساس دو معیار: (۱) تاج‌پوشش کل (TC: Total cover) گروه‌گونه مورد نظر و یا (۲) بیشترین درجه تاج‌پوشش یک گونه (SC: Species cover) در گروه عملکردی مذکور معرفی می‌شوند.

یک گروه‌گونه عملکردی در صورتی برای یک قطعه‌نمونه در نظر گرفته می‌شود که تاج‌پوشش کل آن گروه‌گونه در قطعه‌نمونه مزبور، بزرگ‌تر یا مساوی حدآستانه ازپیش‌تعیین‌شده باشد (Landucci *et al*., 2015; Tichý *et al*., 2019). تاج‌پوشش کل، حاصل‌جمع ساده از پوشش تاج تک‌تک گونه‌ها نیست، بلکه این شاخص طبق رابطه (۱) از تفریق حاصل‌ضرب مقدار سطح‌های خالی از درصد تاج‌پوشش هریک از گونه‌های گیاهی یک گروه عملکردی در هر قطعه‌نمونه از عدد واحد (یک) محاسبه می‌شود (Fischer, 2015).

$$TC = 1 - \prod_{i=1}^{s} (1 - p_i) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، TC بیانگر شاخص تاج‌پوشش کل در یک گروه‌گونه عملکردی و p_i نشان‌دهنده درصد تاج‌پوشش گونه i (i= از گونه یک تا گونه s در یک گروه‌گونه عملکردی) هستند.

پ) گروه‌گونه‌های تمایزی: این گروه‌گونه، مختص هر واحد/اجتماع گیاهی است و تفکیکی بهینه را در برابر گروه‌گونه‌های دیگر ایجاد می‌کند. هر واحد گیاهی فقط یک گروه‌گونه تمایزی دارد،

اما گونه‌های منفرد آن می‌توانند در بیشتر از یک گروه‌گونه حضور داشته باشند. هر گروه‌گونه تمایزی باید گسترده و تا جای ممکن دربرگیرنده گونه‌های تشخیصی، غالب یا فراوان وقوع‌یافته در هر واحد گیاهی باشد. تعیین این گروه‌گونه با استفاده از الگوریتم تکرارشونده بهینه‌سازی گروه (Group Improvement) یا GRIMP انجام می‌شود (Tichý *et al*., 2019).

۳- تعریف گروه‌ها: این بخش شامل همه فرمول‌های منطقی است که واحدهای طبقه‌بندی را تعریف می‌کند. هر فرمول، شرایط عضویت‌پذیری که به‌وسیله عملگرهای منطقی باهم ترکیب می‌شوند را دربرمی‌گیرد. موارد یا اصطلاحات قابل‌استفاده در عضویت شامل گونه‌ها، گروه‌گونه‌ها و اغلب، آستانه تاج‌پوشش هستند (جدول ۱). فرمول‌های مزبور برای طبقه‌بندی ترکیبی گونه معرف نیز کاربرد دارند. شایان‌ذکر است که در پژوهش پیش‌رو برای طبقه‌بندی تخصص‌محور تلفیقی فقط از گروه‌گونه‌های عملکردی و جامعه‌شناختی استفاده شد.

روش طبقه‌بندی ترکیبی گونه‌های معرف

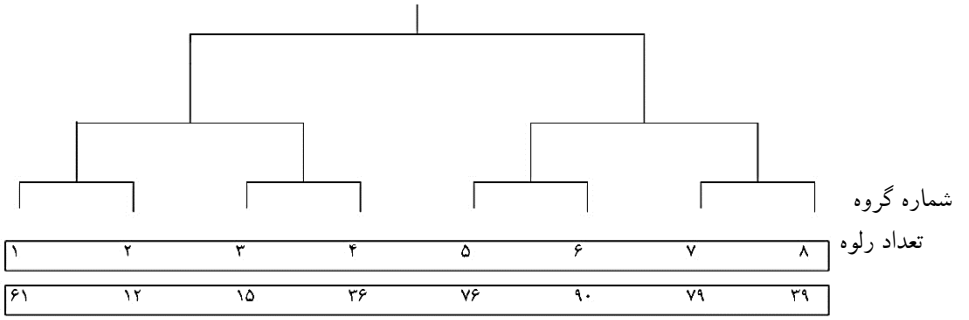
در این روش، ابتدا یک گونه معرف آغازین از جامعه هدف انتخاب می‌شود. این گونه می‌تواند براساس نظر متخصص، استفاده از یک گروه‌بندی اولیه و محاسبه مقدار اجتماع‌پذیری گونه‌ها یا براساس نتایج پژوهش‌های پیشین انتخاب شود. در پژوهش پیش‌رو از نتایج یک گروه‌بندی اولیه و شاخص اجتماع‌پذیری فی اصلاح شده استفاده شد. گونه‌هایی که بیشترین مقدار اشتراک یا اجتماع‌پذیری را به هریک از گونه‌های معرف آغازین نشان دادند، انتخاب شدند (Bruelheide, 1997; Bruelheide & Chytrý, 2000). در مرحله بعدی، درجه اجتماع‌پذیری ترکیب گونه‌ای دوتایی حاصل با گونه‌های دیگر براساس وقوع مشترک آن‌ها برآورد شد و ترکیب گروه‌گونه سه‌تایی شکل گرفت. این فرایند برای گروه‌های با چهار گونه و بیشتر نیز ادامه یافت تا براین‌اساس، گروه‌گونه‌های تشخیصی به‌روش ترکیبی به‌دست آمد (Bruelheide, 2016). البته در معرفی گروه‌گونه‌های معرف ترکیبی باید به این نکته توجه داشت که هر گونه گیاهی فقط در یک گروه می‌تواند به‌عنوان گونه تشخیصی معرفی شود (Boublík, 2010). همچنین، هر رلوه‌ای که حداقل نیمی از تعداد گونه‌های هریک از گروه‌گونه‌های تشخیصی ترکیبی را شامل شود، به آن گروه اختصاص می‌یابد (Bruelheide & Chytrý, 2000; Douda, 2008). مرحله نهایی روش طبقه‌بندی ترکیبی، معرفی عددی جامعه‌های گیاهی به‌دست‌آمده در مرحله‌های پیشین (گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی به‌روش ترکیبی) توسط فرمول‌های منطقی است.

جدول ۱- معرفی علائم و جزئیات فرمول‌های منطقی تخصص‌محور در نرم‌افزار Juice

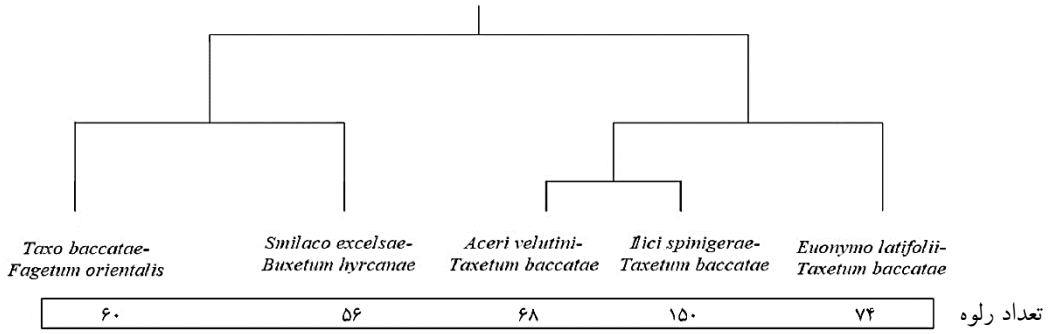
نوع علائم	علائم	توضیحات
عملگرهای منطقی	AND	هر دو شرط عضویت باید باهم اتفاق بیفتند.
	OR	حداقل یکی از دو شرط عضویت باید اتفاق بیفتد.
	NOT	شرایط عضویت نباید اتفاق بیفتند.
عملگرهای رابطه‌ای	GR	بیشتر از
	EQ	برابر با
	GE	بیشتر یا مساوی با
شرایط عضویت	|	برای ادغام گروه‌گونه‌ها یا گونه‌ها استفاده می‌شود.
	< >	برای تشکیل شرایط عضویت استفاده می‌شوند.
گروهی از شرایط عضویت	() یا [] یا {}	برای تشکیل گروهی از شرایط عضویت به‌کار برده می‌شوند. هر سه نوع علامت، عملکرد یکسانی دارند و تفاوتی باهم ندارند.

نتایج

نتایج طبقه‌بندی اولیه ترکیب پوشش گیاهی با استفاده از TWINSPAN در سطح سوم دارنگاره طبقه‌بندی سبب تفکیک و تمایز هشت گروه بوم‌شناختی شد (شکل ۲). گروه‌های بوم‌شناختی هشت‌گانه به‌عنوان گروه‌های اولیه در روش جدولی براون- بلانکه سنتز شدند. با جابه‌جایی رلوه‌هایی که شامل گونه‌های تشخیصی مشابه بودند و فرموله کردن این فرایند در روش تخصص‌محور تلفیقی، پنج جامعه گیاهی معرفی شد (شکل ۳). به‌طوری‌که دو جامعه سرخ‌دار- راشستان (*Taxo baccatae-Fagetum orientalis*) و ازملک- شمشادستان (*Smilaco excelsae-Buxetum hyrcanae*) در جنگل‌های سرخ‌دار هیرکانی مرکزی (حوزه آبخیز هراز و گزو) انتشار دارند و سه جامعه پلت- سرخ‌دارستان (*Aceri velutini-Taxetum baccatae*)، خاس- سرخ‌دارستان (*Ilici spinigerae-Taxetum baccatae*) و ال‌اسبی- سرخ‌دارستان (*Euonymo latifolii-Taxetum baccatae*) در قسمت شرقی جنگل‌های هیرکانی وقوع می‌یابند. جدول سنتز بروان بلانکه در این پژوهش ارائه نشده است و فقط از ماتریس رلوه- اجتماع گیاهی حاصل از آن به‌منظور مقایسه با نتایج دو روش تخصص‌محور تلفیقی و ترکیبی گونه‌های معرف در طبقه‌بندی جوامع گیاهی استفاده شد.



شکل ۲- دارنگاره طبقه‌بندی TWINSPAN برای بانک اطلاعاتی سرخ‌دار در استان‌های گلستان و مازندران



شکل ۳- دارنگاره طبقه‌بندی جوامع حاصل از روش تخصص‌محور برای بانک اطلاعاتی سرخ‌دار در استان‌های گلستان و مازندران

در بانک اطلاعات ترکیب گیاهی جنگل‌های سرخ‌دار مورد مطالعه، لایه‌های مختلف و یا اسم‌های مترادف وجود نداشت، بنابراین در بخش اول از ادغام گونه‌ها استفاده نشد و با کلمه End خاتمه یافت (جدول ۲). در بخش دوم، دو گروه‌گونه عملکردی براساس توزیع مشابه گونه‌ها و انتشار آن‌ها در رویشگاه‌های مشترک در دو بخش از جنگل‌های سرخ‌دار هیرکانی مرکزی و شرقی تعیین شد (جدول ۳). گونه‌های *Dryopteris affinis* (Lowe) Fraser-Jenk.، *Luzula forsteri* Lej.، *Campanula odontosepala* Boiss.، *Polystichum woronowii* Fomin، سرخس پنجه‌ای (*Pteris cretica* L.)، جل (*Prunus laurocerasus* L.)، ازملک (*Smilax excelsa* L.)، سرخس (*Dryopteris pallida* Fomin)، انجیر (*Ficus carica* L.)، *Polypodium vulgare* L.، دافنه (*Daphne mezereum* L.)، *Buxus hyrcana* Pojark.، علف جیوه (*Mercurialis perennis* L.) و کوله‌خاس (*Ruscus hyrcanus* Woronow) به‌دلیل انتشار در جنگل‌های هیرکانی مرکزی و عدم وقوع در جنگل‌های سرخ‌دار هیرکانی شرقی به‌عنوان گروه‌گونه عملکردی بخش مرکزی (#TC Central) تعیین شدند. همچنین، گروه‌گونه عملکردی جوامع جنگلی سرخ‌دار در هیرکانی شرقی (#TC East) شامل پیرو (*Juniperus communis* L.)، خلر (*Solidago virga-aurea* Auct.)، ازگیل (*Mespilus germanica* L.)، سرخ‌ولیک (*Crataegus monogyna* Jacq.)، دغدغک (*Colutea buhsei* (Boiss.) Shap.)، گلابی (*Pyrus boissieriana* Buhse)، *Lapsana communis* L.، *Bupleurum falcatum* L.، *Berberis vulgaris* L.، *Bunium persicum* B.Fedtsch.، *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey.، *Paeonia wittmanniana* Steven و *Poa nemoralis* L. و *Epipactis helleborine* (L.) Crantz بودند (جدول ۳).

جدول ۲- کدهای مرتبط با بخش ادغام گونه‌ها

بخش ۱: ادغام گونه‌ها
SECTION 1: End

دو گروه عملکردی #Tc Dry- C1 و #Tc Bux- C2 به‌همراه گروه عملکردی #TC Central سبب تفکیک و تمایز دو جامعه سرخ‌دار- راشستان و ازملک- شمشادستان از یکدیگر به‌عنوان جوامع جنگلی سرخ‌دار هیرکانی مرکزی شدند. همچنین، سه گروه عملکردی #Tc Fag- E1، #Tc Pru- E2 و #Tc Juni- E3 به‌همراه گروه عملکردی #TC East باعث تفکیک و تمایز سه جامعه پلت- سرخ‌دارستان، خاس- سرخ‌دارستان و الاسبی- سرخ‌دارستان به‌عنوان جوامع جنگلی انبوه و متراکم سرخ‌دار در هیرکانی شرقی شدند.

در بخش سوم، کدها یا تابع‌های عددی جوامع گیاهی پنج‌گانه مزبور با استفاده از فرمول‌های منطقی و برمبنای وقوع گروه‌های عملکردی ارائه شده است (جدول ۴). در این رابطه، جامعه سرخ‌دار- راشستان (جامعه یک) رلوه‌هایی را شامل می‌شود که در آن‌ها، شاخص تاج‌پوشش کل در گروه‌گونه عملکردی هیرکانی مرکزی بیشتر از گروه‌گونه عملکردی هیرکانی شرقی بود. ضمن اینکه در رلوه‌های مذکور، مقدار شاخص تاج‌پوشش کل در گروه‌گونه عملکردی #Tc Dry- C1 بیشتر از این شاخص در کل گروه عملکردی #Tc Bux- C2 بود. جامعه ازملک- شمشادستان (جامعه دو) نیز مانند جامعه یک، رلوه‌هایی را دربرگرفت که در آن‌ها، شاخص تاج‌پوشش کل در گروه‌گونه عملکردی هیرکانی مرکزی بیشتر از گروه‌گونه عملکردی هیرکانی شرقی باشد، اما مقدار این شاخص برای گونه‌های معرفی شده در گروه‌گونه عملکردی #Tc Bux- C2 در جامعه مذکور برخلاف جامعه قبلی، بیشتر از گروه‌گونه عملکردی #Tc Dry- C1 بود.

جدول ۳- گروه‌گونه‌های عملکردی جوامع گیاهی سرخ‌دار در جنگل‌های هیرکانی مرکزی و شرقی

بخش ۲: گروه‌گونه‌های عملکردی	
TC Central#	TC Dry- C1#
Dryopteris affinis	*Dryopteris affinis*
Luzula forsteri	*Luzula forsteri*
Campanula odontosepala	*Campanula odontosepala*
Polystichum woronowii	*Pteris cretica*
Pteris cretica	
Prunus laurocerasus	TC Bux-C2#
Smilax excelsa	*Buxus hyrcana*
Dryopteris pallida	*Dryopteris pallida*
Ficus carica	*Ficus carica*
Polypodium vulgare	*Polypodium vulgare*
Daphne mezereum	
Buxus hyrcana	TC Fag- E1#
Mercurialis perennis	*Lamium album*
Ruscus hyrcanus	*Ulmus glabra*
	Parietaria sp.
	Fagus orientalis
	Digitalis nervosa
TC East#	*Carex sylvatica*
Juniperus communis	*Athyrium filix-femina*
Solidago virga-aurea	*Hedera pastuchovii*
Lathyrus laxiflorus	
Mespilus germanica	TC Pru- E2#
Crataegus pentagyna	*Prunus avium*
Colutea buhsei	*Dryopteris caucasica*
Pyrus boissieriana	
Lapsana communis	TC Juni- E3#
Bupleurum falcatum	*Juniperus communis*
Berberis vulgaris	*Lathyrus laxiflorus*
Caucalis platycarpos	*Mespilus germanica*
Acer hyrcanum	*Crataegus monogyna*
Paeonia wittmanniana	*Colutea arborescens*
Poa nemoralis	*Pyrus boissieriana*
Epipactis helleborine	*Lathyrus roseus*
	Quercus macranthera
	Lithospermum officinale
	Solidago virga-aurea

بخش ۲: گروه‌گونه‌های عملکردی
Bunium persicum
Vicia crocea
Acer hyrcanum
Paeonia wittmanniana
Poa nemoralis
Cirsium osseticum
Clinopodium vulgare
Serratula quinquefolia
Cornus australis
SECTION 2: End

جدول ۴- فرمول‌های منطقی در طبقه‌بندی خودکار (تلفیقی) جوامع گیاهی سرخ‌دار در جنگل‌های هیرکانی مرکزی و شرقی

بخش ۳: فرمول‌های منطقی
جامعه سرخ‌دار- راشستان (*Taxo baccatae-Fagetum orientalis*)
۰۱ ۵
<#TC Central GR #TC East> AND <#TC Dry-C1 GR #TC Bux-C2>
جامعه ازملک- شمشادستان (*Smilaco excelsae-Buxetum hyrcanae*)
۰۲ ۵
<#TC Central GR #TC East> AND <#TC Bux-C2 GE #TC Dry-C1>
جامعه پلت- سرخ‌دارستان (*Aceri velutini-Taxetum*)
۰۳ ۵
<#TC *Fagus orientalis* GR 05> NOT <#TC Central GR 00>
جامعه خاس- سرخ‌دارستان (*Ilici spinigerae-Taxetum baccatae*)
۰۴ ۵
<*Taxus baccata* GR 00> NOT (<#TC Central GR 00> OR (<#TC *Fagus orientalis* GR 05> OR <#TC *Juniperus communis* GR 01>))
جامعه الاسبی- سرخ‌دارستان (*Euonymo latifolii-Taxetum baccatae*)
۰۵ ۵
<#TC *Juniperus communis* GR 01> NOT (<#TC Central GR 00> OR <#TC *Fagus orientalis* GR 05>)
SECTION 3: End

جامعه پلت- سرخ‌دارستان (جامعه سه) مشتمل بر رلوه‌هایی بود که در آن‌ها، گروه عملکردی راش شامل گونه‌های گزنه سفید (*Lamium album* Desf.)، *Ulmus* . *glabra* Huds، *Parietaria* sp.، *Fagus orientalis* *Digitalis nervosa* Steud. & Hochst. ex Lipsky، *Carex sylvatica* Dewey، *Athyrium filix-femina* (L.) Roth و *Hedera pastuchovii* Woronow با شاخص تاج‌پوشش کل بیشتر از پنج درصد

وقوع می یابند. جامعه خاس- سرخ‌دارستان (جامعه چهار) نیز رلوه‌هایی را دربرگرفت که در آن، گروه‌های عملکردی جنگل‌های سرخ‌دار هیرکانی مرکزی یا هیچ‌یک از دو گروه عملکردی راش با شاخص تاج‌پوشش کل بیشتر از پنج درصد و گروه عملکردی پیرو (*Juniperus communis* L.) با شاخص تاج‌پوشش کل بیشتر از یک درصد حضور نداشتند. جامعه الاسبی- سرخ‌دارستان (جامعه پنج)، رلوه‌هایی را شامل می‌شد که در آن‌ها، گروه عملکردی پیرو با شاخص تاج‌پوشش کل بیشتر از یک درصد وقوع یابد، اما هیچ‌یک از دو گروه عملکردی جنگل‌های سرخ‌دار هیرکانی مرکزی یا گروه عملکردی جنگل راش حضور نداشته باشند (جدول ۴).

در روش طبقه‌بندی ترکیبی گروه‌گونه معرف با استفاده از نتایج طبقه‌بندی اولیه و شاخص اجتماع‌پذیری فی اصلاح‌شده، گونه‌های *Dryopteris affinis* (Lowe) Fraser-Jenk.، *Ruscus hyrcanus* Woronow، *Smilax excelsa* L.، *Daphne mezereum* L.، *Ulmus glabra* Huds.، *Juniperus communis* L. و *Solidago virga-aurea* Auct. که بیشترین مقدار تعلقه به گروه‌های اولیه را داشتند، به‌عنوان گونه‌های آغازین برای دستیابی به ترکیب گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی مناسب انتخاب شدند. هرکدام از گونه های معرفی‌شده به‌طور جداگانه وارد تحلیل اجتماع‌پذیری فی شدند. سپس، اجتماع‌پذیری هریک از آن‌ها با گونه‌های دیگر محاسبه شد. براین‌اساس، هفت گروه‌گونه جامعه‌شناختی معرفی شد. گروه‌گونه جامعه‌شناختی اول (Asso.2 & Asso.1###) دو جامعه گیاهی سرخ‌دار در هیرکانی مرکزی را از سه جامعه متناظر آن در هیرکانی شرقی متمایز کرد. این گروه‌گونه شامل گونه‌های *Ruscus Hyrcanus* Woronow، *Pteris cretica* L.، *Polystichum woronowii* Fomin، متامتی (*Hypericum androsaemum* L.)، *Prunus laurocerasus* L. و *Mercurialis perennis* L. بود (جدول ۵).

گونه‌های *Dryopteris affinis* (Lowe) Fraser-Jenk، *Luzula forsteri* Lej. و سرخس صخره‌ای (*Asplenium trichomanes* L.) در گروه‌گونه جامعه‌شناختی دوم (Asso.2###) جایی گرفتند. گروه‌گونه جامعه‌شناختی سوم با ترکیب گونه‌های معرف *Smilax excelsa* L.، *Ficus carica* L. و *Dryopteris pallida* Fomin به‌همراه گروه‌گونه جامعه‌شناختی چهارم با ترکیب گونه‌های معرف *Daphne mezereum* L. و *Carex remota* L. در تفکیک و تمایز جامعه ازملک- شمشادستان با استفاده از تابع‌های عددی روش تخصص‌محور ترکیبی استفاده شدند (جدول ۵). گروه‌گونه جامعه‌شناختی پنجم شامل *Ulmus glabra* Huds.، *Salvia glutinosa* L. و *Lamium album* Desf. بود. گروه‌گونه جامعه‌شناختی ششم با ترکیب گونه‌های معرف *Juniperus communis* L.، *Bunium persicum* B.Fedtsch.، آل (*Cornus australis* C.A.Mey.) و *Vicia crocea* (Desf.) Fritsch به‌همراه گروه‌گونه جامعه‌شناختی هفتم با ترکیب گونه‌های معرف *Solidago virga-aurea* Auct.، *Lathyrus laxiflorus* Kuntze، *Mespilus germanica* L.، *Vicia* sp.، *Colutea buhsei* (Boiss.) Shap.، *Pyrus boissieriana* Buhse، *Crataegus monogyna* Jacq.، *Lathyrus roseus* Phil.، *Bupleurum falcatum* L. و کرب (*Acer campestre* L.) در تفکیک و تمایز جامعه الاسبی- سرخ‌دارستان از جوامع گیاهی دیگر سرخ‌دار در جنگل های هیرکانی با استفاده تابع‌های عددی روش تخصص‌محور ترکیبی استفاده شدند (جدول ۵).

جدول ۵- گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی و فرمول‌های منطقی در طبقه‌بندی خودکار (ترکیبی) جوامع گیاهی سرخ‌دار در جنگل‌های هیرکانی مرکزی و شرقی

گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۱	گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۲
Ruscus hyrcanus	*Dryopteris affinis*
Pteris cretica	*Luzula forsteri*
Polystichum woronowii	*Asplenium trichomanes*
Hypericum androsaemum	
Prunus laurocerasus	
Mercurialis perennis	
جامعه سرخ‌دار- راشستان	
گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۳	گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۴
Smilax excelsa	*Daphne mezereum*
Ficus carica	*Carex remota*
Dryopteris pallida	
جامعه ازملک- شمشادستان	
گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۵	
Ulmus glabra	
Digitalis nervosa	
Lamium album	
جامعه پلت- سرخ‌دارستان	
جامعه خاس- سرخ‌دارستان	
گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۶	گروه‌گونه جامعه‌شناختی ۷
Juniperus communis	*Solidago virga-aurea*
Bunium persicum	*Lathyrus laxiflorus*
Cornus australis	*Vicia* sp.
Vicia crocea	*Mespilus germanica*
	Colutea buhsei
	Pyrus boissieriana
	Crataegus monogyna
	Bupleurum falcatum
	Acer campestre
	Lathyrus roseus
جامعه الاسبی- سرخ‌دارستان	

برمبنای وقوع (حضور- غیاب) گروه‌گونه‌های جامعه‌شناختی معرفی‌شده و با بهره‌گیری از تابع‌های اشتراک و اجتماع، پنج اجتماع گیاهی طبقه‌بندی شدند. البته درنتیجه اجرای تابع‌های روش ترکیبی، ۸۷ رلوه به هیچ‌کدام از جوامع گیاهی پنج‌گانه اختصاص نیافت یا به بیشتر از یک اجتماع گیاهی تعلق گرفت. این ۸۷ رلوه به‌عنوان رلوه‌های طبقه‌بندی‌نشده در نظر گرفته شدند و به اجتماع گیاهی که بیشترین مقدار شاخص اجتماع‌پذیری قطعه‌نمونه- گروه FPFI را داشتند، اختصاص یافتند. بررسی عضویت‌پذیری مشابه رلوه‌ها در جوامع گیاهی حاصل از دو روش طبقه‌بندی خودکار تلفیقی با سنتز جدولی براون- بلانکه نشان داد که ۳۲۱ رلوه از مجموع ۴۰۸ رلوه بانک اطلاعاتی به‌طور مشابه در دو روش مزبور طبقه‌بندی شدند. ازاین‌رو، انطباق بین این دو روش ۷۸/۷ درصد ارزیابی شد، درحالی‌که نتایج طبقه‌بندی خودکار جنگل‌های سرخ‌دار با استفاده از روش تخصص‌محور تلفیقی به‌طور کامل منطبق‌بر نتایج روش سنتز جدولی براون- بلانکه بودند.

بحث

در فرایند طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی در پژوهش پیش‌رو، انطباق هریک از روش‌های تخصص‌محور تلفیقی و ترکیبی با نتایج روش سنتز جدولی براون- بلانکه به‌ترتیب صد و ۷۸/۷ درصد به‌دست آمد. این نتایج تصریح می‌کند که رویکرد جدید روش تخصص‌محور می‌تواند یک طبقه‌بندی باثبات و آشکار برای قطعه‌نمونه‌ها یا رلوه‌های هریک از جوامع گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده ارائه کند. عملکرد مناسب‌تر روش طبقه‌بندی خودکار تلفیقی به‌علت بهره‌گیری هم‌زمان از ایده گروه‌گونه‌های عملکردی و جامعه‌شناختی است. استفاده از ایده گروه‌گونه عملکردی سبب می‌شود تا در فرایند تخصیص قطعه‌نمونه/ رلوه در روش طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی از معیار وفور (درصد تاج‌پوشش) گونه‌های گیاهی نیز استفاده شود. روش ترکیبی فقط برمبنای ایده گروه‌گونه جامعه‌شناختی تعریف می‌شود که در آن فقط معیار حضور- غیاب گونه‌ها مهم است (Landucci *et al*., 2015; Tichý *et al*., 2019). معیار وفور گونه در هر رلوه، دلالتی آشکار بر درجه مطلوبیت رویشگاهی آن رلوه برای گونه مزبور است. ازاین‌رو توجه به این معیار کمی سبب می‌شود تا نتایج فرایند تخصیص رلوه- گروه با کیفیت مناسب‌تری انجام گیرد (Asadi *et al*., 2021). براساس نظر Willner و همکاران (۲۰۱۷)، زمانی‌که یک گونه، تعلقه زیادی به یک گروه دارد، درصد تاج‌پوشش آن در گروه مزبور نسبت به گروه‌های دیگر، بیشتر خواهد بود، بنابراین استفاده از معیار درصد تاج‌پوشش گونه‌ها سبب می‌شود تا سهم تأثیرگذاری گونه‌ها در برآورد درجه تخصیص قطعه‌نمونه‌ها به گروه‌های گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده براساس مقدار مطلوبیت رویشگاهی آن گروه، وزن‌دار شود. این امر، بهبود کیفیت نتایج تخصیص قطعه‌نمونه- گروه را به‌دنبال دارد (Saberi *et al*., 2021).

همسو با نتایج پژوهش پیش‌رو، Esmailzadeh و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی شاخص‌های تشابه در اختصاص قطعه‌نمونه‌ها به جوامع گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده نشان دادند که بهره‌گیری از معیار کمی درصد تاج‌پوشش گونه‌ها در محاسبه درجه اختصاص یک قطعه‌نمونه به یک گروه سبب می‌شود تا سهم اثرگذاری هریک از گونه‌ها در هر قطعه‌نمونه/رلوه مشابه نباشد. بلکه هر گونه گیاهی به‌نسبت درصد تاج‌پوشش خود که تابعی از درجه مطلوبیت رویشگاهی برای آن گونه محسوب می‌شود (افزایش درصد پوشش یک گونه بیانگر تأمین نیازهای بوم‌شناختی آن است) در این ارزیابی مؤثر باشد. نسبت به گونه‌های با درصد تاج‌پوشش کمتر در هر قطعه‌نمونه، گونه‌هایی که با درصد تاج‌پوشش بیشتری در آن قطعه‌نمونه حضور می‌یابند، سهم بیشتری در این ارزیابی دارند. ازاین‌رو، اعتبار نتایج روش تلفیقی (مبتنی‌بر درجه وفور گونه‌ها) بیشتر از روش-های مبتنی‌بر فروانی است.

عدم تخصیص برخی از رلوه‌ها/قطعه‌نمونه‌ها به جوامع گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده در روش کوکتایل، به‌عنوان یک اشکال دیگر این روش مطرح است. ضمن اینکه در این روش طبقه‌بندی ممکن است رلوه‌ها به بیشتر از یک گروه

تخصیص یابند (Kočí *et al*., 2003). همان‌طورکه نتایج این روش در پژوهش پیش‌رو نشان داد، ۶۵ رلوه به هیچ‌یک از جوامع پنج‌گانه تخصیص نیافت و ۲۲ رلوه نیز به بیشتر از دو گروه تعلق گرفت. Asadi و همکاران (۲۰۱۶) در طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی شمشاد هیرکانی (*Buxus hyrcana* Pojark.) با استفاده از روش کوکتایل نشان دادند که بیشتر از ۱۴ درصد رلوه‌ها (۶۳ رلوه از مجموع ۴۴۲ رلوه) به هیچ‌کدام از جوامع گیاهی ازپیش‌طبقه‌بندی‌شده تخصیص نیافتند. دلیل این مشکل را می‌توان در فرایند تخصیص قطعه‌نمونه- گروه در این روش جستجو کرد. شرط اصلی تخصیص یک قطعه‌نمونه به یک گروه گیاهی در روش کوکتایل این است که در قطعه‌نمونه مزبور باید حداقل نیمی از گونه‌های معرف گروه‌گونه موردنظر حضور داشته باشند (Willner, 2011)، درحالی‌که غلبه زیاد برخی از گونه‌های معرف به‌ویژه گونه‌های معرف اشکوب فوقانی در یک قطعه‌نمونه ممکن است زمینه حضور گونه‌های معرف دیگر از گروه گیاهی هدف را به‌علت رقابت‌های نوری و فضای رشد در زیراشکوب جنگل با محدودیت مواجه کند، بنابراین ممکن است یک قطعه‌نمونه با وجود داشتن برخی از گونه‌های معرف گروه هدف، امکان حضور سهم عمده‌ای از گونه‌های معرف آن گروه را (به‌دلیل محدودیت‌های نوری و فضای رشد که ناشی از غلبه زیاد برخی از گونه‌های معرف است) نداشته باشد. درنتیجه، قطعه‌نمونه مزبور به‌احتمال زیاد مشمول قانون برخورداری از کمینه ۵۰ درصد گونه‌های معرف هدف نمی‌شود و به‌اشتباه در گروه هدف جای نمی‌گیرد یا اینکه جزء قطعه‌نمونه‌های فاقد گروه معرفی می‌شود (Kočí *et al*., 2003).

استفاده از حدآستانه ۵۰ درصد در روش کوکتایل که برای کمینه تعداد گونه مناسب توصیه شده است، سبب از دست رفتن بخش زیادی از اطلاعات می‌شود. به‌عنوان مثال، حضور ۴۰ درصدی گونه‌های معرف در یک واحد گیاهی باعث حذف آن خواهد شد و با آن مانند گونه‌های غایب برخورد می‌شود (Kuželová & Chytrý, 2004). این مسئله به‌ویژه برای رویشگاه‌های با غنای گونه‌ای کم، بسیار مشهود است (Willner, 2011; Landucci *et al*., 2015). عملکرد درختان بردبار به سایه سرخ‌دار و نیز عملکرد مشابه درختان شمشاد، جل و حتی پیرو و خاس (*Ilex spinigera* Loes.) در کاهش قابل‌توجه مقدار نور دریافتی و فضای کافی برای رشد گونه‌های دیگر در زیراشکوب جنگل و درنتیجه، کاهش غنای گونه‌ای (Esmailzadeh *et al*., 2012; Hosseinzadeh & Esmailzadeh, 2017) سبب موفقیت اندک روش کوکتایل در طبقه‌بندی خودکار جوامع گیاهی سرخ‌دار در پژوهش پیش‌رو شد. البته نتایج این پژوهش نشان داد که درمجموع، ۲۱/۴ درصد از رلوه‌ها به هیچ‌یک از جوامع گیاهی تخصیص نیافتند یا اینکه به بیشتر از یک جامعه تعلق گرفتند، درحالی‌که Chytrý (۲۰۰۷) با طبقه‌بندی پوشش گیاهی کشور چک، تعداد این رلوه‌ها را ۵۰ تا ۷۰ درصد گزارش کرد.

یافته‌های پژوهش پیش‌رو تصریح می‌کند که باتوجه‌به انطباق صددرصدی نتایج طبقه‌بندی خودکار به‌روش تلفیقی با نتایج طبقه‌بندی براون- بلانکه، استفاده از این روش نسبت به روش طبقه‌بندی خودکار ترکیبی (کوکتایل) در اولویت است، بنابراین کاربرد روش تلفیقی برای طبقه‌بندی بانک اطلاعاتی بزرگ ترکیب پوشش گیاهی به پژوهشگران پوشش گیاهی داخل کشور توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش از دکتر Wolfgang Willner بابت راهنمایی‌های ارزنده و نیز زحمات بی‌دریغ سرکار خانم‌ها اعظم همت‌زاده و بختی‌گل صابری و آقایان محمدرضا عباس‌زاده، میثم صوفی و مرتضی روکی به‌دلیل همراهی و کمک در نمونه‌برداری‌ها، کمال تشکر و امتنان را دارند.

منابع مورد استفاده

- Asadi, H., Esmailzadeh, O., De Cáceres, M. and 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): 13.

- Asadi, H., Esmailzadeh, O., Hosseini, S.M., Asri, Y. and Zare, H., 2016. Application of Cocktail method in vegetation classification. Taxonomy and Biosystematics, 28(8): 21-38 (In Persian).
- Boublík, K., 2010. Formalized classification of the vegetation of *Abies alba*-dominated forests in the Czech Republic. Biologia, 65(5): 822-831.
- Bruelheide, H. and Chytrý, M., 2000. Towards unification of national vegetation classifications: A comparison of two methods for analysis of large data sets. Journal of Vegetation Science, 11(2): 295-306.
- Bruelheide, H., 1997. Using formal logic to classify vegetation. Folia Geobotanica, 32(1): 41-46.
- Bruelheide, H., 2016. Cocktail clustering–a new hierarchical agglomerative algorithm for extracting species groups in vegetation databases. Journal of Vegetation Science, 27(6): 1297-1307.
- Černá, L. and Chytrý, M., 2005. Supervised classification of plant communities with artificial neural networks. Journal of Vegetation Science, 16(4): 407-414.
- Chytrý, M. and Tichý, L., 2018. National vegetation classification of the Czech Republic: a summary of the approach. Phytocoenologia, 48(2): 121-131.
- Chytrý, M., 2007. Vegetation of the Czech Republic: 1. Grassland and Heathland Vegetation. Academia, Prague, Czech, 528p (In Czech).
- Chytrý, M., Tichý, L., Holt, J. and Botta-Dukát, Z., 2002. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. Journal of Vegetation science, 13(1): 79-90.
- Çoban, S. and Willner, W., 2019. Numerical classification of the forest vegetation in the Western Euxine Region of Turkey. Phytocoenologia, 49(1): 71-106.
- De Cáceres, M., Font, X., Vicente, P. and Oliva, F., 2009. Numerical reproduction of traditional classifications and automatic vegetation identification. Journal of Vegetation Science, 20(4): 620-628.
- Douda, J., 2008. Formalized classification of the vegetation of alder carr and floodplain forests in the Czech Republic. Preslia, 80(2): 199-224.
- Esmailzadeh, O., Darvand, R. and Asadi, H., 2018. Assessing of similarity indices for the assignment of the plots to the plant communities of an existing phytosociological classification. Journal of Plant Research, 30(4): 732-744 (In Persian).
- Esmailzadeh, O., Hosseini, S.M., Asadi, H., Ghadiripour, P. and Ahmadi, A., 2012. Plant biodiversity in relation to physiographical factors in Afratakhteh Yew (*Taxus baccata* L.) Habitat, NE Iran. Journal of Plant Biology, 4(12): 1-12 (In Persian).
- Fischer, H.S, 2015. On the combination of species cover values from different vegetation layers. Applied Vegetation Science, 18(1): 169-170.
- Gholizadeh, H., Naqinezhad, A. and Chytrý, M., 2020. Classification of the Hyrcanian forest vegetation, northern Iran. Applied Vegetation Science, 23(1): 107-126.
- Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J., 2009. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition. Springer, New York, NY, 745p.
- Haveman, R. and Janssen, J.A.M., 2008. The analysis of long-term changes in plant communities using large databases: The effect of stratified resampling. Journal of Vegetation Science, 19(3): 355-362.
- Hennekens, S.M. and Schaminée, J.H.J., 2001. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science, 12(4): 589-591.
- Hill, M.O., 1979. TWINSPAN—a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, NY, 90p.
- Hosseinzadeh, S. and Esmailzadeh, O., 2017. Floristic study of *Buxus hyrcana* stands in the Western forests of Haraz district, Amol. Iranian Journal of Applied Ecology, 6(1): 1-13 (In Persian).
- Karami-Kordalivand, P., Esmailzadeh, O., Willner, W., Noroozi, J., and Alavi, S.J., 2021. Classification of forest communities (co-)dominated by *Taxus baccata* in the Hyrcanian forests (northern Iran) and their comparison with southern Europe. European Journal of Forest Research, 140(2): 463-476.
- Kočí, M., Chytrý, M. and Tichý, L., 2003. Formalized reproduction of an expert-based phytosociological classification: A case study of subalpine tall-forb vegetation. Journal of Vegetation Science, 14(4): 601-610.
- Kuželová, I. and Chytrý, M., 2004. Interspecific associations in phytosociological data sets: how do they change between local and regional scale? Plant Ecology, 173(2): 247-257.
- Landucci, F., Tichý, L., Šumberová, K. and 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.
- Liao, S.H., 2005. Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. Expert Systems with Applications, 28(1): 93-

A machine-learning method for improving groups of discriminating species in expert systems for vegetation classification. Journal of Vegetation Science, 30(1): 5-17.
- Turban, E., Aronson, J.E. and Liang, T.P., 2004. Decision Support Systems and Intelligent Systems, 7th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 936p.
- van Tongeren, O., Gremmen, N. and Hennekens, S., 2008. Assignment of relevés to pre-defined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. Journal of Vegetation Science, 19(4): 525-536.
- Willner, W., 2011. Unambiguous assignment of relevés to vegetation units: The example of the *Festuco-Brometea* and *Trifolio-Geranietea sanguinei*. Tuexenia, 31: 271-282.
- Willner, W., Jiménez-Alfaro, B., Agrillo, E., Biurrun, I., Campos, J.A., Čarni, A., ... and Chytrý, M., 2017. Classification of European beech forests: a Gordian Knot? Applied Vegetation Science, 20(3): 494-512.
- Willner, W., Tichý, L. and Chytrý, M., 2009. Effects of different fidelity measures and contexts on the determination of diagnostic species. Journal of Vegetation Science, 20(1): 130-137.
103.
- McLeod, R., Jr., 1998. Management Information System, 7th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 655p.
- Noble, I.R., 1987. The role of expert systems in vegetation science. Vegetatio, 69(1): 115-121.
- Novák, P., Willner, W., Zukal, D., Kollár, J., Roleček, J., Świerkosz, K., ... and Chytrý, M., 2020. Oak-hornbeam forests of central Europe: a formalized classification and syntaxonomic revision. Preslia, 92(1): 1-34.
- Rechinger, K.H. (Ed.), 1963-2015. Flora Iranica, Vols. 1-181. Akademische Druck und Verlagsanstalt, Verlag des Naturhistorischen Museum Wien, Graz and Wien, Austria.
- Saberi, B.G., Esmailzadeh, O. and Asadi, H., 2021. Evaluating the different indicator species analysis in the classification of plant communities. Iranian Jornal of Forest, 12(4): 541-555 (In Persian).
- Tichý, L. and Chytrý, M., 2006. Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. Journal of Vegetation Science, 17(6): 809-818.
- Tichý, L., 2002. JUICE, software for vegetation classification. Journal of Vegetation Science, 13(3): 451-453.
- Tichý, L., Chytrý, M. and Landucci, F., 2019. GRIMP:

Application of expert systems in vegetation classification

P. Karami-Kordalivand [1] and O. Esmailzadeh [2*]

1- PhD. Student of Forestry, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: oesmailzadeh@modares.ac.ir

Received: 20.06.2021 Accepted: 30.08.2021

Abstract

The aim of this study was to evaluate the efficiency of two expert systems in automatic classification of pre-defined yew (*Taxus baccata* L.) communities in the central and eastern of the Hyrcanian forests. Therefore, initial plant communities were recognized using Two-Way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) based on floristic data of 408 relevés with 400 m^2 areas each. To determine representative species, the integrative results of Phi-coefficient index, constancy ratio, and the ratio of average cover were used. Five plant communities were introduced after transferring the initial communities to the Braun-Blanquet synthesis table. The assignment of relevés into the fifth yew associations were done by functional and sociological species groups as two different automatic algorithms of expert system for vegetation classification. The results showed that all relevés in the expert system based on functional species groups were correctly assigned to the target groups. This method was in 100% agreement with the existing yew syntaxa. However, 87 relevés were not assigned to any of the five pre-defined yew associations, or they were assigned to more than one unit in the Cocktail method, which showed 78.7% agreement with the previously yew syntaxa. Finally, our results illustrate that application of expert system based on functional species groups is preferred to sociological species groups in automatically plant community classification due to the importance of consistency and flexibility of vegetation classifications and the correct assignment of relevés to the target units.

Keywords: Assignment, automatic classification, functional species group, indicator species, sociological species group.