

مقایسه روش‌های رسته‌بندی غیرمستقیم در تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی (مطالعه موردی: جنگلکاری فرودگاه ارومیه)

جواد اسحاقی راد^{۱*}، نغمه پاک‌گهر^۲، عباس بانج شفیعی^۳ و سیدجلیل علوی^۴

* نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. پست الکترونیک: javad.eshaghi@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۱۹

چکیده

هدف این پژوهش بررسی توانایی‌های روش‌های مختلف رسته‌بندی غیرمستقیم با کاربرد وسیع در تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی است. عرصه جنگلکاری شده با کاج سیاه (*Pinus nigra Arnold*) با مساحت ۹/۲ هکتار واقع در محوطه فرودگاه ارومیه مورد مطالعه قرار گرفت. نه قطعه‌نمونه مربعی شکل با مساحت ۱۰۰ مترمربع به روش منظم تصادفی با ابعاد شبکه ۵۰×۵۰ متر پیاده شد و نوع و درصد پوشش گونه‌های علفی در آنها ثبت شد. یک منطقه مرتعی مجاور توده جنگلکاری مذکور (منطقه کنترل) انتخاب شد و سه قطعه‌نمونه با فاصله‌های ۵۰ متر بر روی یک خط‌نمونه پیاده شد و پوشش علفی هر قطعه‌نمونه همانند منطقه جنگلکاری مورد بررسی قرار گرفت. سه روش رسته‌بندی تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، رسته‌بندی تطبیقی قوس‌گیری (DCA) و رسته‌بندی چندبعدی غیرمتریک (NMDS) براساس معیارهای طول گرادیان، Kaiser-Guttman، عسای شکسته، مقدار ویژه بیشتر از ۰/۴ و تجزیه و تحلیل Procrustean برای ارائه مناسب‌ترین روش تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هر سه روش رسته‌بندی توانایی نشان دادن ماهیت اصلی ساختار داده‌ها را دارد. اگرچه با توجه به تجزیه و تحلیل Procrustean، همبستگی بین روش‌های رسته‌بندی اختلاف معنی‌داری داشتند، اما همبستگی بین NMDS و DCA بیشتر از سایر رسته‌بندی‌ها بود. میزان تنش نهایی رسته‌بندی NMDS کمتر از ۱۰ بود. DCA معیار Kaiser-Guttman را با یک محور و PCA با سه محور پوشش می‌داد. همچنین PCA معیار عسای شکسته را با سه محور می‌پوشاند و میزان مقدار ویژه در DCA بیشتر از ۰/۴ بود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در مجموع برای منطقه مورد مطالعه، روش‌های رسته‌بندی DCA و NMDS مناسب‌ترند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، رسته‌بندی تطبیقی قوس‌گیری، رسته‌بندی چندبعدی غیرمتریک، تجزیه و

تحلیل Procrustean.

مقدمه

گرفته‌اند (Gauch, 1982; Digby & Kempton, 1987; Podani, 1989; Hong, 1994; Ruokolainen & Salo, 2006; Xianping et al., 2006; Ahmad & Yasmian,

از دهه‌های گذشته، روش‌های آماری چندمتغیره به‌طور گسترده در تجزیه و تحلیل جوامع گیاهی مورد استفاده قرار

قرار گرفت. برای ارزیابی ارتباط بین ساختار جوامع قارچ‌ها و وضعیت محیط و همچنین تعیین همبستگی گونه‌های قارچی با عناصر شیمیایی خاک و گیاهان از رسته‌بندی چندبعدی غیرمتریک (NMDS) استفاده شد (Burke *et al.*, 2009). در داخل کشور نیز می‌توان به مواردی مانند بررسی فلورستیکی و جامعه‌شناختی گیاهی بخش بهارین جنگل خیرود نوشهر و ارتباط آن با خصوصیات شکل زمین با روش DCA (Jashni *et al.*, 2012) و بررسی زادآوری طبیعی بلوط ایرانی در بین گروه‌های بوم‌شناختی در منطقه حفاظت شده مله‌گون شهر ایلام با استفاده از تجزیه و تحلیل تطبیقی متعارفی و PCA (Heidari *et al.*, 2011) اشاره کرد.

روش‌های رسته‌بندی بسیار متنوع هستند و هر کدام اهداف متفاوتی را دنبال می‌کنند (Tahmaseby, 2011). اما مشکل استفاده از این فنون انتخاب روش مناسب با توجه به ساختار داده‌هاست (Podani, 1989). استفاده از مناسب‌ترین رسته‌بندی برای ارائه الگوی پنهان محیطی، مسئله چالش برانگیزی است. از آنجاکه فنون رسته‌بندی در دهه اخیر به‌عنوان ابزاری کارآمد در علوم مختلف و به‌ویژه در اکولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، هدف پژوهش پیش‌رو مقایسه روش‌های مختلف رسته‌بندی غیرمستقیم PCA، DCA و NMDS برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی است تا با استفاده از روش مناسب، ماهیت اصلی و پنهان داده‌ها به‌طور شفاف نمایش داده شود و با شناخت کامل جوامع گیاهی، برنامه‌ریزی صحیحی در راستای حفظ و بهبود جوامع گیاهی انجام گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

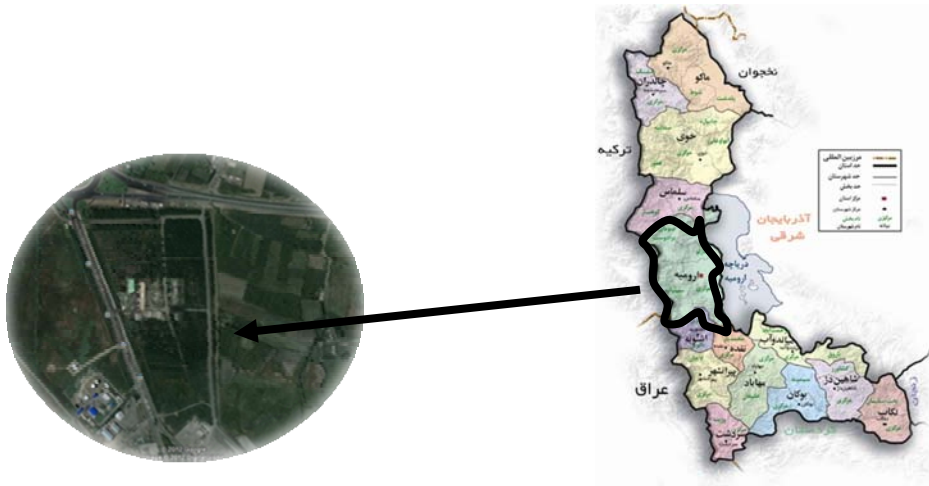
منطقه مورد مطالعه، عرصه جنگلکاری شده فرودگاه بین‌المللی ارومیه در ۱۲ کیلومتری شمال شهرستان ارومیه است. از کل مساحت ۱۳ هکتاری منطقه مذکور، ۹/۲ هکتار در سال ۱۳۵۰ با کاج سیاه (*Pinus nigra* Arnold.) جنگلکاری شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه

از جمله روش‌های آماری چندمتغیره مورد استفاده در دانش بوم‌شناسی در سه دهه اخیر، فنون رسته‌بندی هستند (Hong, 1994; Xianping *et al.*, 2006; Kharkwal *et al.*, 2009; Ahmad & Yasmin, 2011; Khan & Hussain, 2013). از جمله روش‌های آماری چندمتغیره مورد استفاده در دانش بوم‌شناسی در سه دهه اخیر، فنون رسته‌بندی هستند (Hong, 1994; Xianping *et al.*, 2006; Kharkwal *et al.*, 2009; Ahmad & Yasmin, 2011; Khan & Hussain, 2013). چرا که اکولوژیست‌ها اغلب می‌خواهند ارتباط اصلی بین جمعیت گونه‌ها و جوامع زنده را به‌صورت گرافیکی در دو بعد به نمایش درآورند. هدف اصلی رسته‌بندی یافتن شیب اصلی تغییرات، شناسایی عامل‌های اصلی محیطی و همچنین بررسی ترکیب گونه‌ها در شیب تغییرات عامل‌های محیطی است (Ruokolainen & Salo, 2006). همچنین رسته‌بندی سبب آشکار شدن ساختار پنهان در داده‌های جمع‌آوری شده و نیز موجب کاهش حجم آنها می‌شود (McCune & Grace, 2002). علاوه‌براین، فنون رسته‌بندی تغییرات جوامع گیاهی را به‌طور پیوسته بررسی می‌کنند (Leps & Smilauer, 2003). امروزه می‌توان رسته‌بندی را به‌عنوان ابزاری بنیادی برای تجزیه و تحلیل داده‌های اکولوژیکی معرفی کرد (Belbin & McDonald, 1993).

تاکنون بسیاری از پژوهشگران داخلی و خارجی از روش‌های رسته‌بندی غیرمستقیم در مطالعاتشان بهره برده‌اند. در این زمینه می‌توان به مواردی مانند بررسی تغییرات پوشش گیاهی با توجه به وضعیت محیط اطراف رودخانه Elbe در شمال آلمان با استفاده از رسته‌بندی تطبیقی قوس‌گیری شده (DCA) با هدف تعیین ارتباط بین ترکیب و غنای گونه‌ها با گرادیان معین اشاره کرد (Hardtle *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر، تنوع زیستی اشکوب علفی در جنگل‌های خزان‌کننده در پارک ملی Hainich آلمان بررسی شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها دو روش مورد استفاده قرار گرفت. در مواردی که طول گرادیان کمتر از ۱/۵ بود، تکنیک تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و هنگامی که طول گرادیان بیش از ۱/۵ بود، DCA استفاده شد (Molder *et al.*, 2008). همچنین در تحقیق دیگری، تأثیر پراکنش گیاهان و وضعیت محیط بر اجتماع و تنوع ساختاری قارچ‌ها در جنگل بالغ راش - افرا مورد بررسی

۱۱/۲ درجه است. منطقه مسطح و ارتفاع از سطح دریای آن ۱۳۲۷ متر است (Ghafarnezhad & Eshaghi Rad, 2011).

۳۴۱ میلی‌متر، متوسط حداکثر درجه حرارت سالانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل درجه حرارت سالانه، ۱/۸- درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای سالانه



شکل ۱- نقشه موقعیت و تصویر جنگلکاری فرودگاه ارومیه

بار توسط پیرسون در سال ۱۹۰۱ ارائه شد، اما روش محاسباتی عملی آن بعدها توسط هاتلینگ در سال ۱۹۳۳ ابداع شد. هدف اصلی این روش کاهش تعداد زیاد متغیرهای همبسته به یک یا چند متغیر غیرهمبسته است که همان محورها یا مؤلفه‌های عمود برهم هستند (Leps & Simlauer, 1999; Mosadeghani, 2001; Moghadam, 2001; McCune & Grace, 2002; Tahmaseby, 2011).

- تجزیه و تحلیل تطبیقی متعارفی قوس گیری شده: این روش توسط هیل و گوس در سال ۱۹۸۰ ارائه شد. مبنای کار آن شبیه تجزیه و تحلیل تطبیقی است با این تفاوت که اثر قوس و کشیدگی محورها در آن حذف شده است. این روش از ضریب فاصله کای اسکور استفاده می‌کند (Leps & Simlauer, 1999; Mosadeghani, 2001; Moghadam, 2001; McCune & Grace, 2002; Tahmaseby, 2011).

- تجزیه و تحلیل مقیاس‌بندی چندبعدی غیرمتریک: این روش یکی از روش‌های غیرمستقیم رسته‌بندی است. هدف این روش کاهش تعداد ابعاد فضایی موجود در داده‌ها به

روش جمع‌آوری داده

نه قطعه‌نمونه مربعی شکل با مساحت ۱۰۰ مترمربع به روش منظم تصادفی با ابعاد شبکه ۵۰×۵۰ متر پیاده شد و نوع و درصد پوشش گونه‌های علفی در آنها ثبت شد. یک منطقه مرتعی مجاور توده جنگلکاری مذکور (منطقه کنترل) انتخاب شد و سه قطعه‌نمونه با فاصله‌های ۵۰ متر بر روی یک خط‌نمونه پیاده شد و پوشش علفی هر قطعه‌نمونه همانند منطقه جنگلکاری مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها

رسته‌بندی پوشش گیاهی

در این تحقیق توانایی سه مورد از پرستفاده‌ترین روش‌های رسته‌بندی غیرمستقیم در جوامع کاج سیاه منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزارهای PC-ORD5 و R3.1.0 مورد ارزیابی قرار گرفتند که شرح آنها در زیر ارائه شده است:

- تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی یکی از معمول‌ترین روش‌های چندمتغیره است. این روش اولین

اطلاعات فراوانی هستند، برای تفسیر نتایج نگه داشته می‌شوند (Guttman, 1954; Cliff, 1988).

- معیار عصای شکسته (Broken stick): این روش توسط Frontier در سال ۱۹۷۶ پیشنهاد شد. فرضیه وی این بود که اگر میزان واریانس کل به‌طور تصادفی بین مؤلفه‌های مختلف تقسیم شود، پراکنش مورد انتظار مقادیر ویژه از پراکنش عصای شکسته پیروی می‌کند. در این صورت محورهایی قابل تفسیر خواهند بود که مقادیر ویژه آنها بیشتر از مقدار عصای شکسته باشد.

- میزان مقادیر ویژه بیشتر از ۰/۴: به صورت یک قانون کلی مقادیر ویژه باید حداقل ۰/۴ باشد تا نمایش بهتری از تغییرات طول گرادیان را نشان دهد، این روش برای تجزیه و تحلیل‌های تطبیقی مناسب است (Braak & Verdonscho, 1955).

- مقایسه درصد مقادیر ویژه: درصد مقدار ویژه رسته‌بندی‌ها برای بررسی نحوه پوشش اطلاعات توسط دو محور اول محاسبه می‌شود.

- میزان تنش نهایی در NMDS: میزان تنش نهایی با استفاده از قانون Kruskal (۱۹۶۴) و Clarke (۱۹۹۳) وابسته به شرایطی است. اگر میزان تنش نهایی کمتر از پنج باشد، روش NMDS برای رسته‌بندی مجموعه داده‌ها مناسب است. اگر بین پنج تا ده باشد، این روش خوب است و در صورتی که میزان تنش بین ۱۰ تا ۲۰ باشد، روش قابل قبول است و اگر میزان تنش به بیشتر از ۲۱ برسد، روش ضعیف ارزیابی می‌شود.

تجزیه و تحلیل Procrustean

دو روش رسته‌بندی می‌توانند بسیار شبیه به هم باشند، اما مشاهده این امر بسیار مشکل است، زیرا محورها دارای جهت‌گیری و مقیاس‌بندی تقریباً متفاوتی هستند. بهترین روش مقایسه روش‌های رسته‌بندی، استفاده از چرخش محورها توسط تجزیه و تحلیل Procrustean است. تجزیه و تحلیل Procrustean از مقیاس یکسان (انبساط یا انقباض) استفاده می‌کند و برای به حداقل رساندن مجموع مربعات بین دو رسته‌بندی محورها را به گردش در می‌آورد. در حقیقت

نحوی است که ابعاد کمتری استخراج شود و این ابعاد استخراج‌شده بهترین برآورد را از فاصله‌های بین واحدهای نمونه‌برداری در فضای چندبعدی داشته باشند (Leps & Simlauer, 1999; Urban *et al.*, 2002; Tahmaseby, 2011). انواع شاخص‌های فاصله را می‌توان برای محاسبه ماتریس فاصله در این روش استفاده کرد، در نتیجه استفاده از این روش برای داده‌های اکولوژیکی بسیار مناسب است (McCune & Grace, 2002). هر سه رسته‌بندی در نرم‌افزار PC-ORD5 انجام شد.

معیارهای مقایسه روش‌های رسته‌بندی

معیارهایی که برای مقایسه روش‌های رسته‌بندی فوق استفاده شد، عبارت بودند از:

- نمایش گرافیکی و مقایسه عینی عملکرد روش‌های مختلف

- معیار طول گرادیان: برای استفاده از معیار طول گرادیان دو نظریه Leps و Smilauer (۲۰۰۳) و نظریه Braak و Prentic (۱۹۸۸) وجود دارد. در نظریه اول، اگر طول گرادیان محیطی کمتر از سه باشد باید به سراغ روش‌های خطی رسته‌بندی رفت. در شرایطی که طول گرادیان بین سه تا چهار باشد، هر دو روش خطی و غیرخطی را می‌توان برای نمایش تغییرات طول گرادیان استفاده کرد و در صورتی که این مقادیر بیشتر از چهار باشد، روش‌های غیرخطی رسته‌بندی انتخاب مناسب‌تری خواهند بود. طبق نظریه دوم، روش‌های رسته‌بندی با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده بدین صورت قابل تغییر هستند: اگر طول گرادیان کمتر از ۱/۵ برابر انحراف معیار باشد، روش‌های خطی رسته‌بندی، بین ۱/۵ تا سه برابر انحراف معیار، هر دو روش خطی و غیرخطی رسته‌بندی و در صورتی که بیشتر از سه باشد، روش‌های غیرخطی رسته‌بندی برای نشان دادن ماهیت داده‌ها مناسب خواهند بود.

- معیار Kaiser-Guttman: این معیار برای تکنیک‌هایی که دارای مقادیر ویژه باشند، کاربرد دارد. میانگین مقدار ویژه محورها محاسبه می‌شود و محورهایی که مقادیر ویژه آنها بیشتر از میانگین به‌دست‌آمده باشند، به دلیل اینکه حاوی

قطعات نمونه هستند.

در جدول ۱ نتایج به دست آمده از مقایسه روش‌های مختلف رسته‌بندی با معیارهای مختلف برای مجموعه داده‌های منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. براساس معیار طول گرادیان Leps و Smilauer (۲۰۰۳)، روش‌های رسته‌بندی خطی یعنی PCA مناسب هستند و براساس معیار طول گرادیان Braak و Prentic (۱۹۸۸) انتخاب هر دو روش رسته‌بندی خطی و غیرخطی برای داده‌های منطقه مورد مطالعه صحیح است. همان‌گونه که پیشتر بیان شد، به‌طور کلی برای نمایش تجزیه و تحلیل رسته‌بندی انتخاب دو محور الزامیست، بنابراین هرچه تعداد محورها کمتر باشد، آن روش مناسب‌تر است. با توجه به معیار Guttman-Kaiser و عصای شکسته، PCA دارای سه محور است، اما DCA معیار مقدار ویژه بیشتر از ۰/۴ و همچنین معیار Kaiser-Guttman را با یک محور پوشش می‌دهد. میزان تنش نهایی در NMDS برابر ۹/۲۷۸ است. در جدول ۲ درصد مقادیر ویژه برای دو روش غیرمستقیم PCA و DCA ارائه شده است که درصد مقدار ویژه DCA در دو محور بیشتر از PCA می‌باشد.

نتایج رسته‌بندی‌ها برای تعیین درجه تناسب بین رسته‌بندی‌ها با تجزیه و تحلیل Procrustean مقایسه می‌شوند (Gower, 1971) و میزان باقیمانده مجموع مربعات را در قالب آماره m_{12} برای مقایسه نتایج رسته‌بندی‌ها در اختیار کاربر قرار می‌دهد. محدوده تغییرات m_{12} صفر تا یک است. m_{12} کمتر از ۰/۶ (Levis et al. 2014) نشان‌دهنده درجه تناسب زیاد بین دو روش می‌باشد (Jackson, 1995). این تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار R در بسته Vegan انجام شد (Oksanen et al., 2014).

نتایج

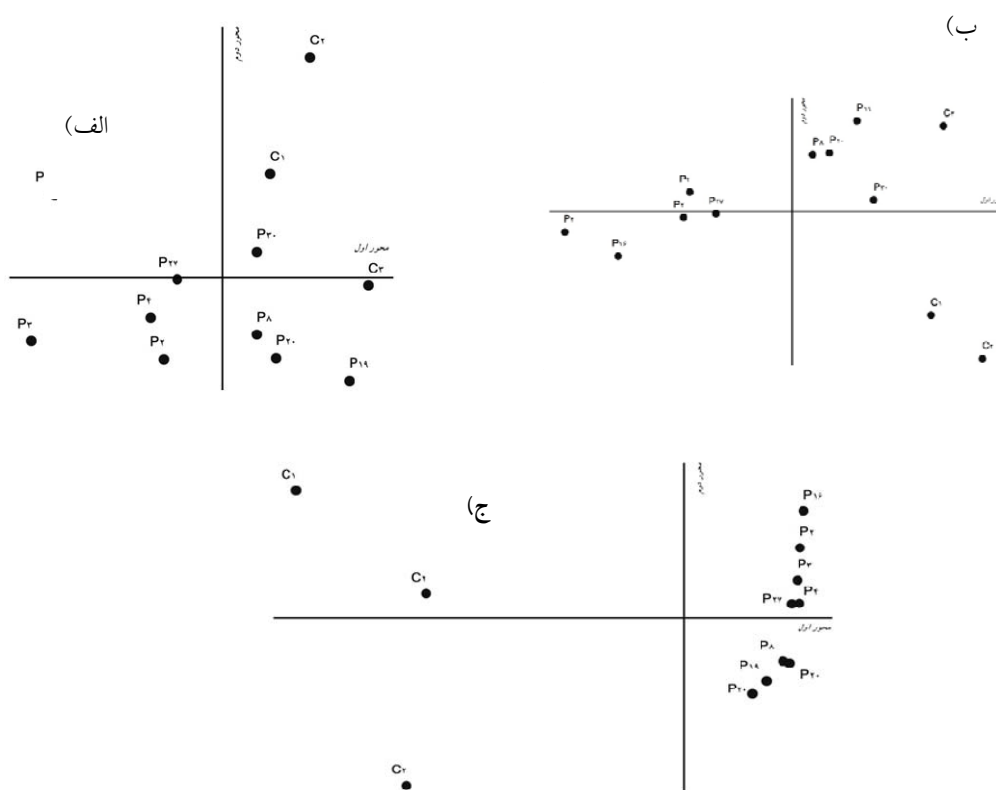
نتایج به دست آمده از سه روش رسته‌بندی مورد استفاده برای داده‌های پوشش گیاهی ۱۲ قطعه نمونه با ۲۹ گونه گیاهی به منظور تعیین مناسب‌ترین روش در شکل ۲ ارائه شده است. محورهای اول و دوم رسته‌بندی با داشتن بیشترین ارزش ویژه برای نشان دادن نتایج استفاده شدند. هر سه روش رسته‌بندی توانایی نشان دادن ماهیت واقعی تغییرات در داخل پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را داشتند، اما دارای تفاوت‌هایی در نحوه نمایش پراکنش

جدول ۱- مقایسه روش‌های مختلف رسته‌بندی داده‌های برداشت شده از جنگلکاری فرودگاه ارومیه با معیارهای مختلف

داده	طول گرادیان	معیار طول گرادیان		عصای شکسته	مقدار ویژه بیشتر از ۰/۴	میزان تنش نهایی در NMDS
		Braak	Leps & Smilauer			
جنگلکاری فرودگاه ارومیه	۲/۶۵	هر دو روش خطی و غیرخطی	روش خطی	سه = PCA محور	DCA = سه محور	خوب

جدول ۲- مقایسه درصد مقادیر ویژه محورهای مختلف روش‌های رسته‌بندی PCA و DCA با داده‌های جنگلکاری فرودگاه ارومیه

نوع داده	محورها	درصد مقادیر ویژه در PCA	درصد مقادیر ویژه در DCA
جنگلکاری فرودگاه ارومیه	محور ۱	۷۰/۷۱	۷۶/۳۳
	محور ۲	۱۶/۰۲	۱۶/۵۰



شکل ۲- نمودار نتایج به دست آمده از رسته‌بندی سه روش مختلف: الف) رسته‌بندی NMDS (ب) رسته‌بندی DCA (ج) رسته‌بندی PCA. قطعات نمونه P نشان‌دهنده منطقه جنگلکاری و قطعات نمونه C منطقه کنترل را نشان می‌دهند.

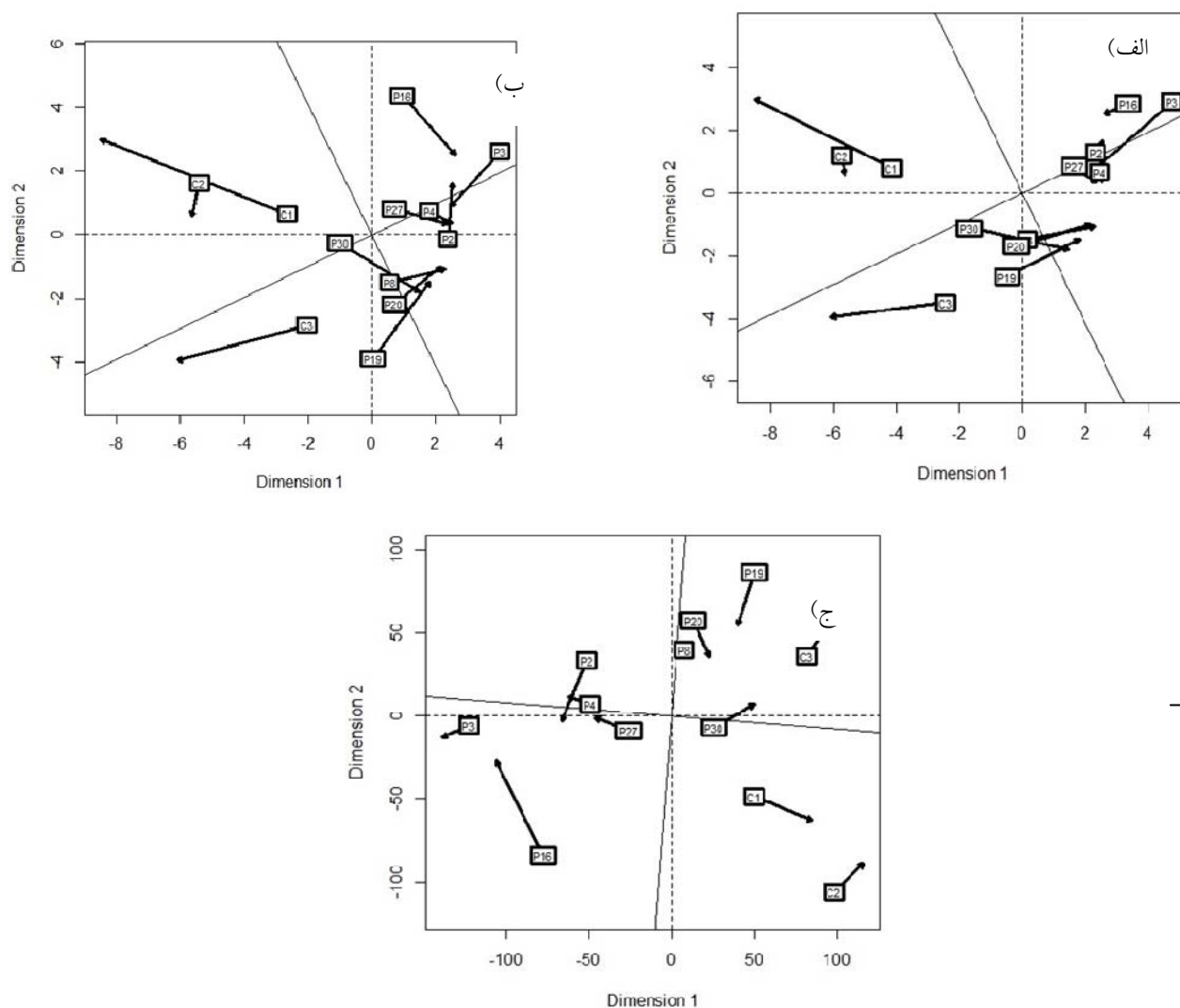
کمتری را شامل می‌شود. تجزیه و تحلیل Procrustean همچنین اطلاعات جزئی‌تری از درجه تناسب دو قطعه نمونه متناظر را در اختیار قرار می‌دهد تا شباهت و تفاوت نحوه قرارگیری قطعات نمونه در هر دو رسته‌بندی مشخص شود (Olden & Jackson, 2001). در شکل ۳ نتایج تجزیه و تحلیل Procrustean در قالب نمودار ارائه شده است که می‌توان فاصله‌های قطعات نمونه متناظر از یکدیگر را در دو رسته‌بندی مشاهده کرد. دو جفت رسته‌بندی DCA و NMDS در قطعات نمونه P_{16} و P_{19} بیشترین اختلاف و در قطعات نمونه P_3 و C_3 بیشترین شباهت را دارند. دو جفت رسته‌بندی PCA و NMDS در اکثر قطعات نمونه اختلاف به نسبت زیادی دارند، اما اختلاف فواصل آنها تنها در قطعات نمونه P_4 و C_1 کمتر شده است.

تجزیه و تحلیل Procrustean درجه تناسب بین رسته‌بندی‌ها را در سری داده‌های جنگلکاری فرودگاه ارومیه مورد ارزیابی قرار داد (جدول ۳). نتایج تجزیه و تحلیل Procrustean مشخص می‌کند که اختلاف بین جفت رسته‌بندی‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنین این تجزیه و تحلیل با به حداقل رساندن مجموع مربعات بین نقاط متناظر در دو ماتریس، درجه تناسب بین رسته‌بندی‌ها را تعیین کرد. همان‌طور که اشاره شد، با توجه به نتایج جدول ۳ در منطقه مورد مطالعه، DCA و NMDS با بیشترین همبستگی ($0/9384$) و کمترین میزان m_{12} ($0/1195$) در مقایسه با جفت رسته‌بندی‌های دیگر تجزیه و تحلیل گرادیان غیرمستقیم بیشترین درجه تناسب را دارا هستند. جفت رسته‌بندی PCA و NMDS با درجه همبستگی $0/7492$ و m_{12} معادل $0/4387$ درجه تناسب

جدول ۳- ضریب همبستگی و آماره m_{12} بین روش‌های مختلف رسته‌بندی در چرخش Procrustean در داده‌های جنگلکاری فرودگاه ارومیه

معنی داری	نوع تجزیه و تحلیل	r	m_{12}	نوع داده
۰/۰۰۱**	PCA*DCA	۰/۸۱۷۹	۰/۳۳۱۱	جنگلکاری فرودگاه ارومیه
۰/۰۰۱**	PCA*NMDS	۰/۷۴۹۲	۰/۴۳۸۷	
۰/۰۰۱**	DCA*NMDS	۰/۹۳۸۴	۰/۱۱۹۵	

** معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۳- نمودار Procrustean: الف) مقایسه PCA و NMDS؛ ب) مقایسه PCA و DCA؛ ج) مقایسه DCA و NMDS. انتهای پیکان نشان‌دهنده ماتریکس چرخیده و نوک پیکان نشان‌دهنده ماتریکس هدف است. طول پیکان میزان Procrustean residual را بیان می‌کند (پیکان طولی-residual بیشتر- مطابقت کمتر).

- and reciprocal averaging for the ordination of simulation coenoclines and coenoplanes. *Ecology*, 58(3): 551-561.
- Froniter, S., 1976. Etude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 25: 67-75.
 - Gauch, H.G., 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 295p.
 - Gauch, H.G. and Whittaker, R.H., 1972. Coenocline simulation. *ESA Ecology*, 53(2): 446-451.
 - Gauch, H.G., Whittaker, R.H. and Singer, S.B., 1981. A comparative study of nonmetric ordinations. *Journal of Ecology*, 69(1): 135-152.
 - Ghafarnezhad, P. and Eshaghi Rad, J., 2011. Effect of *Pinus nigra* plantation on herb layer diversity (Case study: Urmia airport). Abstracts of Second National Conference on Biodiversity and its Impact on Agriculture and Environment. Iran, 4-5 June 2011: 23-24 (In Persian).
 - Gower, J.C., 1971. A general coefficient similarity and some of its properties. *Biometric*, 27(4): 857-871.
 - Guttman, L., 1954. Some necessary conditions for common factor analysis. *Psychometrika*, 19(2): 149-161
 - Hardtle, W., Redecker, B., Assmann, T. and Meyer, H., 2006. Vegetation responses to environmental conditions in floodplain grasslands: Prerequisites for preserving plant species diversity. *Basic and Applied Ecology*, 7(3): 280-288.
 - Heidari M., Pourbabaei H. and Roushan S., 2011. Natural regeneration of persian oak (*Quercus brantii*) between ecological species group in Kurdo-Zagros region. *Iranian Journal of Biology*, 24(1): 578-593 (In Persian).
 - Hong, J., 1994. DCA ordination, environmental interpretation and geographical distribution model of spruce and fir plant communities in northwest Sichuan and South Gansu. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 18(3): 209-218.
 - Jackson, D.A., 1995. PROTEST: A procrustean randomization TEST of community environment concordance. *Ecoscience*, 2(3): 297-303.

در نهایت با توجه به نتایج پژوهش پیش‌رو می‌توان بیان کرد که در تحلیل غیرمستقیم گرادیان، NMDS و DCA برای استخراج شیب تغییرات محیطی و بررسی ارتباط گونه‌ها و واحدهای نمونه‌برداری در جنگلکاری فرودگاه ارومیه عملکرد بهتری داشتند. این نتیجه‌گیری می‌تواند برای جوامع گیاهی مشابه از نظر غنا و یکنواختی گونه‌ای صدق کند. برای ارزیابی بهتر عملکرد رسته‌بندی در نمایش شیب تغییرات محیطی می‌توان از معیار همبستگی Procrustean همراه با معیار تنش نهایی استفاده کرد.

References

- Ahmad, S. and Yasmin, T., 2011. Vegetation classification along Hanna lake, Baluchistn using ordination techniques. *Pakistan Journal of Botany*, 43(2): 863-872.
- Anderson, A.J.B., 1971. Ordination methods in ecology. *Journal of Ecology*, 59: 713-726.
- Belbin, L. and McDonald, C., 1993. Comparing three classification strategies in ecology. *Journal of Vegetation Science*, 4(3): 341-348.
- Braak, C. and Prentic, L., 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research*, 18: 271-317.
- Braak, C. and Verdonschot, P., 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Science-Research Arcross Boundaries*, 57(3): 255-289.
- Burke, D.J, López-Gutiérrez, J.C, Smemo, K.A. and Chan, C.R., 2009. Vegetation and soil environment influence the spatial distribution of root-associated fungi in mature beech-maple forest. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(24): 7639-7648.
- Clark, K., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1): 117-143.
- Cliff, N., 1988. The eigenvalues-greater than one rule and the reliability of components. *Psychological Bulletin*, 103(2): 704-712.
- Digby, P.G. and Kempton, R.K., 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, London, UK, 206p.
- Fashman, M., 1977. A comparison of nonmetric multidimensional scaling, principal components

- Oregon, 300p.
- Moghadam, M., 2001. Quantity and Statistical Vegetation Ecology. University of Tehran Press, Tehran, 279p (In Persian).
 - Molder, A., Bernhardt, M. and Schmidt, R., 2008. Herb-layer diversity in deciduous forests: Raised by tree richness or beaten by beech?. *Forest Ecology and Management*, 256(3): 272-281.
 - Mosadeghani, M., 2001. Analysis and Description of the Vegetation (translation). Publication of Jahad Daneshgahi, Mashhad, 284p (In Persian).
 - Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P.M., Stevens, H. and Wagner, H., 2014. Community Ecology Package. R Package Version 2.2-0.
 - Olden, J.D. and Jackson, D.A., 2001. Spatial isolation and fish communities in drainage lakes. *Oecologia*, 127(4): 527-585.
 - Podani, J., 1989. Comparison of ordination and classification of vegetation data. *Vegetation*, 83(1-2): 11-128.
 - Ruokolainen, L. and Salo, K., 2006. Differences in performance of four ordination on a complex vegetation dataset. *Annales Botanici Fennici*, 43(4): 269-275
 - Tahmaseby, P., 2011. Ordination (Multivariate Analyzes in Environmental Sciences and Natural Resources) Publication of Shahrekord University, Shahrekord, 188p (In Persian).
 - Urban, D., Goslee, S., Pierce, K. and Looking, T., 2002. Extending community ecology to landscape. *Ecoscience*, 9(2): 200-202.
 - Wilson, J.B., 1981. A statistical test of the accuracy and consistency of ordination. *Oecologia*, 62: 8-12.
 - Xianping, Z., Mengben, W., Bo. Sh. and Yang, X., 2006. Quantitative classification and ordination of forest communities in Pangquangou National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 26(3): 754-761.
 - Jashni, J., Marvi Mohadjer, M., Zahedi Amiri, Gh., Etemad, V. and Hamzehee, B., 2012. Plant associations in Baharbon district of Kheyroud Forest and its relationship to land forms. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3): 402-419 (In Persian).
 - Kenkel, N.C. and Orloci, L., 1986. Applying metric and nonmetric multidimensional scaling to ecological studies. some new results *Ecology*, 67(4): 919-928.
 - Kessell, S.R. and Whittaker, R.H., 1976. Comparisons of three ordination techniques. *Vegetation*, 32(1): 9-21.
 - Khan, M. and Hussain, F., 2013. Classification and ordination of vegetation in Tehsil Takht-e-Nasrati, District Karak, Kyber Pakhtunkhawa, Pakistan. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 5(3): 30-39.
 - Kharkwal, G., Rawat, Y. and Pangtey, Y., 2009. An ordination of the forest communities in Nainital catchment of Kumaun Himalaya. *Journal of Environmental Biology*, 30(5): 853-857.
 - Kruskal, J.B., 1964. Nonmetric multidimensional Scaling: a numerical method. *Psychometrika*, 29(2): 115-129.
 - Leps, J. and Smilauer, P., 1999. Multivariate analysis of ecological data. Faculty of Biological Science, University of South Bohemia Ceske Budjovice, 110p.
 - Leps, J. and Smilauer, P., 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using Canoco*. Cambridge University Press, New York, 267p.
 - Levis, E., Cakiroglu, A., Bucak, T., Odgaard, B. and Davidson, T., 2014. Similarity between contemporary vegetation and plant remains in the surface sediment in Mediterranean lakes. *Freshwater Biology*, 59(4): 724-736.
 - Martinez, L.M., Estada, J.C. and Soriguer, J.A., 2012. The performance of three ordination methods applied to demersal fish data sets: Stability and interpretability. *Fisheries Management and Ecology*, 19: 200-213.
 - McCune, B. and Grace, G., 2002. Analysis of ecological communities, MjM software design,

Comparison of indirect ordination methods for analysis of the vegetation (Case study: Urmia airport plantation)

J. Eshaghi Rad^{1*}, N. Pakgohar², A. Banj shafei³ and J. Alavi⁴

1* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. Email: javad.eshaghi@yahoo.com

2- M.Sc. Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

3- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

4- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 10.11.2014

Accepted: 04.05.2015

Abstract

This study aimed at investigating a range of widely-used approaches for indirect ordination analysis of vegetation. To this aim, a black pine (*Pinus nigra* Arnold.) plantation (9.2 ha) located at Urmia airport was studied. Nine plots of 100 m² each were randomly set up in 50×50 m sampling grid, in which vegetation was recorded. In addition, three plots of 100 m² with 50 meters interval were set up along transect in an adjacent meadow site as control area. We evaluated three ordination techniques (Principal Component Analysis, Detrended Correspondence Analysis, Non-Metric Multidimensional Scaling) with varying values of gradient length, Kaiser-Guttman, Broken stick, 70% of variance, eigenvalues > 0.4, final stress in NMDS ordination and Procrustean analysis. Result showed that all three ordinations are able to illustrate length of environmental gradient, though Procrustean analysis of all three datasets revealed significant differences in correlation between ordination methods. DCA had eigenvalues > 4.0, and the covered Kaiser-Guttman criterion with an axis. Moreover, final stress was < 10 in NMDS ordination, yet PCA covered Kaiser-Guttman and broken stick criteria at three axes. In conclusion, the most appropriate ordination methods across our test site included DCA and NMDS.

Keywords: PCA, DCA, NMDS, Procrustean analysis.