



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه در ارزیابی ساختار جامعه راش - ممرزستان در ناحیه رویشی هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های ناو اسالم گیلان)

پیمان فرهادی^۱، * جواد سوسنی^۲، سید یوسف عرفانی‌فرد^۳ و میر حامد اختری^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، ایران.

^۲ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، ایران.

^۳ دانشیار بخش منابع طبیعی و محیط زیست دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.

^۴ کارشناس ارشد جنگلداری، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: حفظ ساختار و تنوع زیستی اکوسیستم‌ها، یکی از اهداف مهم جنگلداری نوین در نظر گرفته می‌شود. به این منظور، برای مدیریت جنگل به ابزارهایی نیاز است که بتوان با صرف کمترین هزینه و زمان به بررسی وضعیت فعلی و همچنین تغییرات ایجاد شده بر اثر فعالیت‌های مدیریتی و تکامل طبیعی جنگل پرداخت. شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه دارای مزایایی هستند که کاربرد آن‌ها را نسبت به اندازه‌گیری‌های مستقیم تنوع زیستی ارجحیت می‌بخشد. زیرا علاوه بر بررسی تنوع گونه‌ای به بررسی موقعیت مکانی درختان می‌پردازند. همچنین شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه اطلاعات ارزشمندی در مورد روابط بوم‌شناختی درختان در جنگل ارائه می‌کنند. بنابراین این پژوهش با هدف کاربرد شاخص‌های مهم مبتنی بر تحلیل نزدیک‌ترین همسایه در بررسی روابط بوم‌شناختی جامعه راش ممرزستان در جنگل‌های ناو اسالم گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها: به منظور انجام این پژوهش ۷ قطعه نمونه یک هکتاری در جوامع طبیعی راش ممرزستان ناو اسالم گیلان که از لحاظ شرایط محیطی همگن بودند، آماربرداری شدند و در هر قطعه نمونه مشخصه‌های فاصله، گونه، قطر برابر سینه و آزمون کلیه پایه‌های درختی موجود در قطعات نمونه با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به مرکز قطعه نمونه یادداشت و ثبت شد. سپس با استفاده از شاخص‌های زاویه یکنواخت، میانگین جهت، آمیختگی گونه‌ای و تفکیک به تحلیل توزیع مکانی و تنوع گونه‌ای درختان پرداخته شد. مقدار هر یک از شاخص‌های مذکور ابتدا برای هریک از قطعات نمونه به صورت مجزا محاسبه شد. سپس با میانگین‌گیری از مقادیر به دست آمده برای هر یک از قطعات نمونه، مقدار میانگین شاخص‌ها برای جامعه راش ممرزستان محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در ۷ قطعه نمونه یک هکتاری مورد بررسی در جامعه راش ممرزستان، گونه‌های راش، ممرز، شیردار، پلت و توسکای بیلاقی از نظر تعداد در هکتار دارای بیشترین مقدار تراکم پایه‌ها هستند. میانگین

*مسئول مکاتبه: Soosani.j@lu.ac.ir

شاخص‌های زاویه یکنواخت و میانگین جهت به ترتیب ۰/۵۳ و ۲/۰۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده توزیعی بین تصادفی و کپه‌ای است. از نظر تنوع گونه‌ای، جوامع راش ممرزستان با میانگین ارزش‌های ۰/۴۷ و ۰/۲۵ برای شاخص‌های آمیختگی گونه‌ای و تفکیک، دارای اختلاط گونه‌ای متوسطی بودند. مقدار شاخص آمیختگی گونه‌ای نشان‌دهنده اختلاط کم گونه راش و اختلاط زیاد سایر گونه‌ها بود. مقدار شاخص تفکیک نشان داد که جفت‌های درختی مشاهده شده یا نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان مرجع متعلق به گونه‌های متفاوتی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج این مطالعه کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه را در تحلیل مؤلفه‌های ساختاری جوامع راش ممرزستان نشان می‌دهد و از نتایج به‌دست آمده می‌توان جهت برنامه‌ریزی به‌منظور احیای ساختار و وضعیت تنوع زیستی جوامع راش ممرزستان تخریب یافته استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، بوم‌شناسی، تنوع گونه‌ای، جنگل‌های ناو اسالم، شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه

مقدمه

یکی از آشکارترین جنبه‌های ساختاری یک توده جنگلی، الگوی مکانی یا نحوه توزیع درختان در آن است. فرآیندهای بوم‌شناختی در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌طور مستقیم از الگوی مکانی درختان و محدودیت‌های محیطی مانند توپوگرافی و اقلیم تأثیر می‌پذیرند (۴۱). حفظ تنوع زیستی نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت منابع طبیعی در اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود (۵۰). تنوع گونه‌ای ترکیبی از غنای گونه‌ای و فراوانی نسبی آن محسوب می‌شود و یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین جنبه تنوع زیستی در نظر گرفته می‌شود (۳۴ و ۴۳). امروزه به‌منظور ساده کردن بررسی و اندازه‌گیری‌های مربوط به تنوع زیستی و الگوی مکانی درختان شاخص‌هایی توسعه یافته‌اند که اندازه‌گیری آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها به مراتب ساده‌تر می‌باشد (۴۰). این شاخص‌ها برای مطالعه روابط درختان با یکدیگر در بوم‌شناسی کمی ارائه شده‌اند که بر پایه فاصله درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش استوار هستند. هر کدام از این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد الگوی مکانی و تنوع گونه‌ای درختان در یک توده و همچنین روابط

بوم‌شناختی درختان با یکدیگر ارائه می‌دهند (۸) و (۲۹).

در نظریه نزدیک‌ترین همسایه، فرض بر این است که فاصله هر درخت تا نزدیک‌ترین درخت به آن به نحوه الگوی پراکنش درختان حساس است و بر روابط بوم‌شناختی آن‌ها با یکدیگر تأثیر می‌گذارد (۲۹). در چنین شرایطی، تحلیل فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه امکان مطالعه این روابط و نتایج آن بر درختان را فراهم می‌آورد (۹). این شاخص‌ها به‌علت دارا بودن ویژگی‌هایی از جمله آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن صحت زیاد و توانایی کافی در تشریح ساختار توده‌های جنگلی مورد توجه و استفاده محققین خارجی قرار گرفته است (۱ و ۴۸ و ۴۴ و ۵۴ و ۳). در ایران علی‌جانی و همکاران (۲۰۱۲) به‌منظور کمی‌سازی ساختار مکانی جنگل‌های بخش گرازبن جنگل خیرود از مجموعه‌ای از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه استفاده کردند و به‌این نتیجه رسیدند که شاخص‌ها و تابع‌های به‌کار رفته دارای توانایی بالایی در تشریح ساختار گونه‌های تیپ ممرز-راش هستند (۲). فرهادی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از آماربرداری صددرصد از محدوده‌ای به وسعت ۳۲ هکتار در جنگل‌های پرک قلعه‌گل استان لرستان و همچنین با استفاده از شاخص‌های

جنگلی بر اساس الگوی طبیعت به شکل علمی و نه تنها بر اساس تجربه شخصی عمل کرد (۱۲). با بررسی پیشینه پژوهشی که در بالا اشاره شد، ملاحظه گردید که این شاخص‌ها در تحلیل مؤلفه‌های ساختاری درختان چندان توسعه نیافته‌اند و بخش عمده‌ای از این تحقیقات بر تئوری آماری شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه تمرکز دارند. همچنین برخی از این شاخص‌های مهم و کاربردی مانند شاخص میانگین جهت هنوز توسط محققین داخلی مورد استفاده قرار نگرفته و محققین داخلی اندک مطالعاتی از شاخص‌هایی همانند شاخص تفکیک به‌منظور بررسی تنوع گونه‌ای درختان استفاده کرده‌اند. این موضوع منجر شده که جای خالی این شاخص‌های مهم در مطالعات داخلی محسوس باشد. بنابراین آشنایی با شاخص‌های مهم نزدیک‌ترین همسایه و استفاده از آن‌ها در جوامع راش - ممرزستان که می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد روابط بوم‌شناختی آن‌ها در جنگل‌های هیرکانی ارائه کنند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

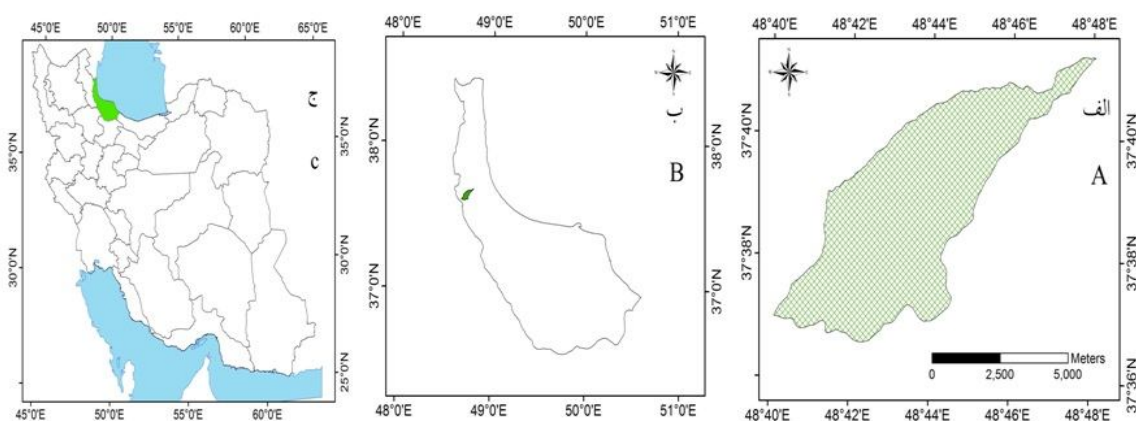
ناحیه رویشی هیرکانی شامل جنگل‌های انبوه دامنه شمالی رشته کوه‌های البرز است که از آستارا در غرب تا گلیداغ در شرق آن گسترش دارد (۱۳). این جنگل‌ها مهم‌ترین و ارزشمندترین بوم‌سازگان جنگلی کشور و منبع مهم تولید چوب و سایر خدمات جنگلی است (۳۸). در این جنگل‌ها، گونه راش یکی از ارزشمندترین گونه‌های تولید کننده چوب است که ۱۷/۶ درصد سطح و ۳۰ درصد حجم سرپای این جنگل‌ها را تشکیل می‌دهد و ارتفاع آن به بیش از ۴۰ متر و قطر برابر سینه آن به بیش از ۱/۵ متر هم می‌رسد (۴۷). با توجه به اهمیت راش از نظر جنبه‌های اقتصادی و بوم‌شناختی، بررسی ساختار توده‌های طبیعی آن در ناحیه رویشی هیرکانی دارای اهمیت زیادی است.

نزدیک‌ترین همسایه به تحلیل ساختار جنگل‌های زاگرس پرداختند (۱۵). عرفانی‌فرد و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه خود را با هدف معرفی و کاربرد شاخص‌های مهم مبتنی بر تحلیل نزدیک‌ترین همسایه در بررسی روابط بوم‌شناختی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در محدوده مورد بررسی که همه شرایط یکسان و همگن بود، به‌صورت پراکنده مستقر شدند و به لحاظ بوم‌شناختی به یکدیگر وابسته نیستند (۱۱). کاکاوند و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه به کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری توده‌های آمیخته راش در مرحله میانی توالی در جنگل‌های کمتر دخالت شده بخش گرازبن جنگل خیرود پرداختند (۳۰). سفیدی و همکاران (۲۰۱۴) به منظور بررسی تنوع ساختاری در جنگل‌های شمال و همچنین بررسی وضعیت رقابت بین گونه‌ای و درون گونه‌ای گونه انجیلی از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه استفاده کردند (۴۹). نوری و همکاران (۲۰۱۵) جهت مطالعه وضعیت ساختاری توده‌های دست نخورده راش، از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه استفاده کردند و بر کاربرد این شاخص‌ها در مطالعه مؤلفه‌های ساختاری جنگل‌های راش تأکید کردند (۴۲). مریدی و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی توده‌های مدیریت نشده راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های شمال ایران، به کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری توده‌ها در فازهای مختلف توالی با استفاده از شاخص‌های معمول نزدیک‌ترین همسایه پرداختند (۳۹). همچنین اعتماد و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور کمی‌سازی ساختار افقی توده‌های آمیخته راش در فاز تکاملی کاهش پایه‌ها از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده می‌توان در نحوه نشانه‌گذاری‌های توده‌های

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: سری شماره سه ناو، که یکی از سری‌های حوزه هفت ناو در استان گیلان و شهرستان تالش به شمار می‌آید، بین عرض جغرافیایی ۲۲° ۴۱' تا ۳۷° ۲۸' ۳۶' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۲۲° ۴۰' ۴۸' تا ۴۸° ۴۸' ۰۴' شرقی واقع شده است. این سری از شمال به رودخانه ناو (کوه‌رود)، از جنوب به یال سیلین خونی و اولسه پشت، از شرق به جنگل‌های سری یک ناو و از غرب به رودخانه سوکله و مراتع ییلاقی محدود می‌گردد. این سری در حدود ارتفاعی ۴۵۰ تا ۲۱۵۰ متر از سطح دریا با ارتفاع اکثریت سطح سری ۱۲۰۰ متر واقع شده است (شکل ۱). جنگل‌های این منطقه از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی و از نظر خاک‌شناسی، تیپ خاک هوموسی واریزی و نوع سنگ مادری آن شیست است. متوسط بارش سالانه منطقه، حدود ۹۴۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد بوده و نوع اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، از نوع مرطوب سرد می‌باشد. در این منطقه از عمده‌ترین گونه‌های موجود به‌همراه راش درختان ممرز، بلوط، توسکا، افرا، شیردار، ملج، ون، خرمندی و گیلاس وحشی می‌باشد (۱۴).

در بوم‌شناسی کمی شاخص‌هایی که از تحلیل نزدیک‌ترین همسایه برای مطالعه روابط درختان استفاده می‌کنند بسیار متنوع هستند و آشنایی با آن‌ها و کارایی هر کدام در استفاده بهینه از این شاخص‌ها در مطالعات مختلف بسیار مؤثر است. همچنین به‌منظور آگاهی از فرآیندهای طبیعی در اکوسیستم‌های جنگلی لازم است ساختار توده‌های دست‌نخورده بررسی شود و مقادیر آن به‌عنوان مرجعی برای مدیریت هماهنگ و درخور جنگل‌ها مورد استفاده قرار گیرد تا هرچه بیشتر به مدیریت پایدار و هم‌گام با طبیعت در مناطق جنگلی تحت مدیریت نزدیک شویم (۴۱). از این‌رو با توجه به اهمیت زیاد جنگل‌های شمال کشور، به‌منظور مدیریت صحیح آن نیاز است که اطلاعات کافی در رابطه با وضعیت الگوی مکانی و تنوع گونه‌ای توده‌های طبیعی راش و گونه‌های موجود در آن جمع‌آوری و در اختیار مدیران جنگل قرار گیرد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق، مطالعه روابط بوم‌شناختی جوامع راش ممرزستان در جنگل‌های ناو اسالم گیلان می‌باشد تا علاوه بر کاربرد این شاخص‌ها، موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی درختان و همچنین تأثیر آن‌ها بر یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در سری شماره سه ناو اسالم (الف)، استان گیلان (ب) و ایران (ج).

Figure 1. Location of study area in District 3, Nave Asalem (A), Guilan province (B) and Iran (C).

نشان داده شده است. اساس کار این شاخص بر مبنای مقایسه زاویه بین درختان همسایه (α_j) نسبت به زاویه استاندارد (α_0) می‌باشد. مقدار زاویه استاندارد (α_0) و شاخص زاویه یکنواخت (W_i) به ترتیب از روابط ۱ و ۲ قابل محاسبه است (۴۶).

$$\alpha_0 = \frac{360}{1 + \text{Number of neighbors}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow \alpha_j \geq \alpha_0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

با توجه به رابطه ۱، مقدار زاویه استاندارد برای چهار همسایه برابر با ۷۲ درجه می‌باشد (۲۶). در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، مقدار این شاخص با توجه به رابطه ۲، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ می‌تواند در نظر گرفته شود. با میانگین گرفتن از ارزش‌های به دست آمده برای کل گروه‌های ساختاری، مقدار متوسط تجمع (\bar{W}_i) برای کل جنگل قابل محاسبه است. اگرچه مقدار \bar{W}_i به منظور مطالعه ساختار یک توده کاملاً مفید است اما با این وجود محققین توصیه می‌کنند که به منظور به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تری از تنوع موقعیت مکانی درختان، از نمودار توزیع ارزش‌های W_i استفاده شود (۱). ارزش پایین \bar{W}_i نشان‌دهنده وضعیت پراکنده درختان می‌باشد در حالی که در درختان با توزیع کپه‌ای این شاخص به سمت ۱ میل می‌کند (۷). در کل می‌توان بیان نمود که:

$$\bar{W}_{\text{کپه‌ای}} < \bar{W}_{\text{تصادفی}} < \bar{W}_{\text{پراکنده}}$$

شاخص میانگین جهت (Mean directional Index)

این شاخص با R_i نشان داده می‌شود. برای محاسبه مقدار این شاخص نیازی به اندازه‌گیری فاصله بین درختان نیست. شاخص میانگین جهت اطلاعاتی در مورد موقعیت (جهت) درختان مرجع و نزدیک‌ترین همسایه‌های آن‌ها به شیوه‌ای متفاوت با

با توجه به این‌که بررسی روابط بوم‌شناختی بین درختان باید در محدوده‌ای همگن صورت گیرد (۲۹)، با استفاده از نقشه‌های ویژگی‌های فیزیوگرافیک منطقه و پس از انجام جنگل‌گردشی‌های متعدد و شناخت وضعیت جنگل‌های اسالم، تعداد ۷ قطعه نمونه یک هکتاری در جوامع راش ممرزستان جنگل‌های این منطقه به صورت تصادفی پیاده و مورد آماربرداری قرار گرفت که از جنبه‌های فیزیوگرافیک (شیب، جهت و ارتفاع) و نوع خاک یکسان بودند. در چنین شرایطی تنها عامل تأثیرگذار بر روی وضعیت ساختاری درختان، روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر است (۵۱). سپس با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری (Trupulse 360) (محصول شرکت لیزر تکنولوژی کشور آمریکا)، فاصله و آزیموت کلیه پایه‌های درختی موجود در قطعات نمونه با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به مرکز قطعه نمونه یادداشت و گونه و قطر برابر سینه آن‌ها نیز ثبت شد. به منظور اندازه‌گیری قطر درختان از دستگاه کالیپر با دقت سانتی‌متر استفاده شد.

شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص زاویه یکنواخت (Uniform Angle Index)

این شاخص که با W_i نشان داده می‌شود، به بررسی موقعیت مکانی درخت مرجع نسبت به درختان مجاور خود در گروه‌های ساختاری می‌پردازد. هر گروه ساختاری شامل یک درخت مرجع و چندین همسایه اطراف آن است. اندازه‌گیری شاخص زاویه یکنواخت نیازمند تعیین زاویه بین درختان است. بدین منظور فاصله درخت مرجع تا درختان همسایه با متر اندازه‌گیری شد و با استفاده از قطب‌نما آزیموت بین درختان تعیین گردید. سپس بر اساس فاصله و آزیموت بین درختان، زاویه بین آن‌ها محاسبه شد (۴۵). نحوه اندازه‌گیری این زوایا در شکل ۲- الف

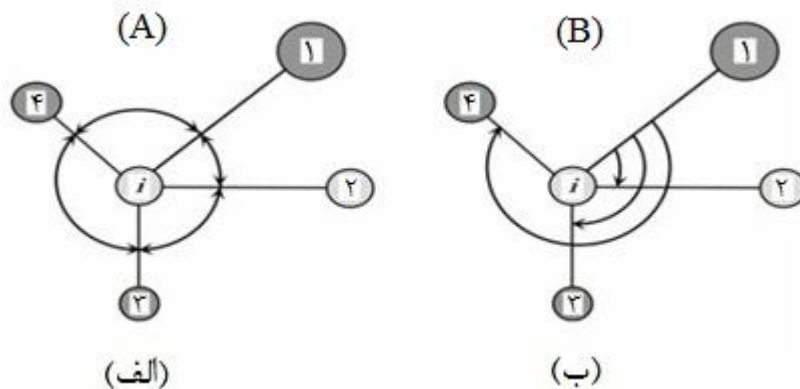
در رابطه ۳، α_{ij} زاویه بین درختان نسبت به درخت مرجع می‌باشد. شاخص میانگین جهت دارای مقادیر مابین صفر تا ۴ می‌باشد (۳۵). اگر درختان به صورت پراکنده چیدمان داشته باشند؛ مقدار این شاخص برابر با صفر می‌باشد و زمانی که درختان به صورت کپه‌ای در سطح منطقه پراکنده شده باشند این شاخص دارای بیشترین ارزش می‌باشد. زمانی که مقدار این شاخص به عدد $1/779$ نزدیک می‌شود درختان به صورت تصادفی در سطح منطقه توزیع شده‌اند (۵۳). با میانگین‌گیری از مقادیر شاخص میانگین جهت برای هر گروه ساختاری مقدار این شاخص برای تمام درختان موجود در توده‌های جنگلی قابل محاسبه می‌باشد. در کل می‌توان حالت‌های مختلف این شاخص را به صورت زیر نشان داد:

$$\bar{R}_{\text{کپه‌ای}} < \bar{R}_{\text{تصادفی}} < \bar{R}_{\text{پراکنده}}$$

شاخص زاویه یکنواخت مطرح می‌کند (۷). بنابراین در این شاخص بر خلاف شاخص زاویه یکنواخت تنها به زاویه بین درختان نیاز است که با استفاده از قطب‌نما تعیین گردید. نحوه اندازه‌گیری زاویه در این شاخص به این صورت است که محوری (پاره خطی) که درخت مرجع را به اولین همسایه در جهت شمالی خود، در یک گروه ساختاری مرتبط می‌کند به عنوان مبنایی برای تشکیل زاویا بین سایر درختان همسایه در نظر گرفته می‌شود (۳۵ و ۴۰ و ۳۶) و زاویه بین این محور و تک تک درختان موجود در هر گروه ساختاری در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲-ب). لازم به ذکر است که جهت تشکیل این زاویا در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد. مقدار این شاخص از رابطه ۳ قابل محاسبه می‌باشد (۵ و ۵۳).

رابطه ۳

$$R_i = \sqrt{1 + \left(\sum_{j=2}^n \cos(\alpha_{ij}) \right)^2 + \left(\sum_{j=2}^n \sin(\alpha_{ij}) \right)^2}$$



شکل ۲- نحوه اندازه‌گیری زاویه بین درختان، جهت محاسبه شاخص زاویه یکنواخت (الف) و شاخص میانگین جهت (ب) برای چهار همسایه درخت مرجع (۷).

Figure 2. Measurement method of angle between trees to calculate Uniform Angle Index (A) and Mean Directional Index (B) for four neighboring reference trees (7).

(۵۳). این روش بر اساس نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد و تعداد جفت اختلاط گونه‌ای مشاهده شده را با مقادیر مورد انتظار در حالت پراکنش تصادفی

شاخص تفکیک (Segregation Index): این شاخص، آمیختگی نسبی دو گونه را بدون در نظر گرفتن الگوی مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد

ارزش‌های این شاخص بین مقادیر ۱- و ۱ متغیر می‌باشد. اگر مقدار این شاخص بین صفر تا ۱ باشد نشان‌دهنده این است که نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان مرجع متعلق به گونه‌های متفاوتی می‌باشد (گونه‌ها دارای جدایی مکانی می‌باشند) و اگر مقدار این شاخص بین صفر تا ۱- باشد، نشان‌دهنده این است که گونه‌ها از لحاظ مکانی به یکدیگر مرتبط و وابسته هستند. اما در صورتی که مقدار این شاخص برابر صفر باشد، دو گونه به صورت تصادفی در سطح منطقه توزیع شده است (۴ و ۵۳).

بررسی می‌کند (۳۲). برای محاسبه مقدار این شاخص، ابتدا باید گونه‌های نزدیک‌ترین همسایه برای هر N درخت در سطح منطقه مورد مطالعه بررسی شود، تا از این طریق بتوان تعداد درختان گونه‌های یک و دو (m, n)، تعداد درختان با همسایه‌هایی از گونه خودشان (d, a) و تعداد درختان با همسایه‌هایی غیر از گونه خودشان (c, b) را تعیین نمود (جدول ۱). این شاخص از رابطه ۴ به دست می‌آید (۳۳).

$$S = 1 - \frac{n(b+c)}{(a+c)(c+d) + (b+d)(a+b)}$$

جدول ۱- جدول احتمالی تعداد درختان دو گونه A و B همراه با نزدیک‌ترین همسایه آن‌ها (A و B) جهت محاسبه شاخص تفکیک (۵۳).
Table 1. Contingency table of the number of trees of both species (A and b) with their nearest neighbors (a and b) to calculate Segregation Index (53).

		گونه‌های نزدیک‌ترین همسایه		
		Nearest neighbor species		
		A	B	مجموع
گونه‌های مرجع	A	a	b	m
	B	c	d	n
Reference species	مجموع	v	w	N
		Total		

Explanation: $m= a+b, n= c+d, v= a+c, w= b+d, N= m+n$

بین صفر تا ۱ است. در هنگام استفاده از چهار همسایه در یک گروه ساختاری، یکی از مقادیر صفر (همه همسایه‌ها مشابه گونه مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه متفاوت با درخت مرجع) و یا ۱ (هیچ‌کدام از همسایه‌ها مشابه گونه مرجع نمی‌باشند) به دست خواهد آمد (۴۸ و ۵۳). محققین توصیه می‌کنند به منظور به دست آوردن جزئیات بیشتر و دقیق‌تر از میزان اختلاط گونه‌ای موجود در توده‌های جنگلی، از نمودار توزیع ارزش‌های شاخص آمیختگی گونه‌ای نیز استفاده شود (۵۳). با افزایش مقدار این شاخص، آمیختگی در توده مورد بررسی افزایش می‌یابد (۲۱).

شاخص آمیختگی گونه‌ای (Species Mingling Index)

این شاخص به بررسی میزان اختلاط گونه‌ای میان گونه‌های درختی موجود در منطقه می‌پردازد. به عبارت دیگر اساس کار شاخص آمیختگی گونه‌ای بر مبنای مقایسه نوع گونه درخت مرجع نسبت به درختان همسایه است. مقدار این شاخص از رابطه ۵ قابل محاسبه است (۳).

رابطه ۵

$$DM_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad v_{ij} = \begin{cases} \text{گونه } i \neq \text{گونه } j \rightarrow 1 \\ \text{گونه } i = \text{گونه } j \rightarrow 0 \end{cases}$$

در رابطه ۵، i درخت مرجع و j درختان همسایه است. با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر این شاخص دارای ارزشی

Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، پلت
 (*Acer velutinum* Boiss)، توسکای ییلاقی
 (*Alnus subcordata* C.A.M.)، بلوط (*Quercus*)
 (*castaneifolia* C.A.M.)، شیردار (*Acer*)
 (*cappadocicum* Gled)، گیلاس وحشی (*Cerasus*)
 (*avium* L.)، ملج (*Ulmus glabra* Huds) و ون
 (*Fraxinus excelsior* L.) ثبت شد. پنج گونه راش،
 ممرز، شیردار، پلت و توسکای ییلاقی بیش از ۹۷
 درصد تراکم پایه‌ها را تشکیل می‌دهند. خصوصیات
 کمی گونه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در
 جدول ۲ ارائه شده است.

از آنجایی که بر اساس تحقیق‌های محققین
 مختلف ثابت شده است که به کاربردن چهار همسایه
 در شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه دارای
 بیشترین دقت می‌باشد (۳۱ و ۷ و ۵۴). در این مطالعه
 نیز شاخص‌های ذکر شده با استفاده از همین تعداد از
 نزدیک‌ترین همسایه‌های هر درخت مورد بررسی قرار
 گرفت.

نتایج

پس از انجام آماربرداری در منطقه مورد مطالعه،
 گونه، قطر برابر سینه و موقعیت مکانی ۱۸۰۶ پایه
 درختی از گونه‌های راش (*Fagus orientalis*)

جدول ۲- خصوصیات کمی درختان در ۷ قطعه نمونه یک هکتاری در جامعه راش - ممرزستان.

Table 2. Quantitative characteristics of trees within seven 1-ha plots in beech-hornbeam stands.

میانگین سطح مقطع برابر سینه (متر مربع)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)			میانگین Mean	تعداد در هکتار Number per hectare	گونه Species
	Diameter at breast height (cm)					
در هکتار)	حداکثر Max	حداقل Min	درصد ضریب تغییرات CV (%)			
Mean basal area (M ² hec ⁻¹)						
48.7	280	7	92	42.8	154	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky
8.7	163	8	62	32.6	43.7	<i>Carpinus betulus</i> L
0.8	70	8	59	22.6	14.9	<i>Acer cappadocicum</i> Gled
4.8	170	10	95	51	12.3	<i>Acer velutinum</i> Boiss
6	190	7	82	73.1	8.6	<i>Alnus subcordata</i> C.A.M.
0.25	95	59	40	74.5	1	<i>Quercus castaneifolia</i> C.A.M
0.09	41	10	43	22.7	2	<i>Cerasus avium</i> L
0.27	115	14	91	45.3	1	<i>Ulmus glabra</i> Huds
0.58	86	12	65	48.4	2.3	<i>Fraxinus excelsior</i> L

به زمانی است که درختان همسایه به صورت تصادفی
 در اطراف درختان مرجع پراکنده شده باشند. همچنین
 با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت، موقعیت مکانی
 هر یک از گونه‌های درختی به طور مجزا از یکدیگر
 مورد بررسی قرار گرفت. میانگین این شاخص برای
 هر گونه در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار
 میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای گونه‌های راش،
 ممرز، شیردار، پلت، توسکای ییلاقی، بلوط و ون
 نشان‌دهنده الگوی تصادفی می‌باشد. در حالی که مقدار

مقدار شاخص زاویه یکنواخت (W_i) برای کل
 درختان و صرف‌نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر
 با ۰/۵۳ محاسبه شد که نشان‌دهنده الگوی تصادفی
 برای درختان موجود در منطقه مورد مطالعه است. در
 شکل ۳ طبقات مختلف توزیع ارزش‌های شاخص
 زاویه یکنواخت برای درختان منطقه مورد مطالعه
 ترسیم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده
 می‌شود بیشترین فراوانی (بیش از ۵۵ درصد) مربوط
 به طبقه سوم (ارزش ۰/۵) می‌باشد. این مقدار مربوط

کل منطقه مورد مطالعه ۰/۴۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده حد متوسط آمیختگی برای گونه‌های تشکیل دهنده است. در شکل ۳ نمودار توزیع ارزش‌های شاخص آمیختگی گونه‌ای برای درختان منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود کمترین فراوانی مربوط به طبقه پنجم (ارزش یک) می‌باشد. این ارزش مربوط به زمانی است که گونه درخت مرجع با چهار درخت همسایه اطراف آن متفاوت باشد. همچنین در جدول ۳ مقدار میانگین شاخص آمیختگی گونه‌ای برای هر گونه آورده شده است. مقدار میانگین این شاخص برای گونه‌های بلوط، گیلاس وحشی، ملج و ون نشان‌دهنده آمیختگی بسیار زیاد، برای گونه‌های توسکای بیلاقی و پلت نشان‌دهنده آمیختگی زیاد، برای گونه‌های شیردار و ممرز نشان‌دهنده آمیختگی متوسط و برای گونه راش نشان‌دهنده آمیختگی کم می‌باشد.

این شاخص برای گونه گیلاس وحشی نشان‌دهنده الگوی کپه‌ای و برای گونه ملج نشان‌دهنده الگوی مابین تصادفی و پراکنده می‌باشد.

مقدار شاخص میانگین جهت (R_i) برای کل درختان برابر با ۲/۰۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده الگوی مابین تصادفی و کپه‌ای برای درختان منطقه مورد مطالعه است. در جدول ۳ مقدار میانگین شاخص میانگین جهت برای هر یک از گونه‌های منطقه مورد مطالعه آورده شده است. مقدار میانگین این شاخص برای گونه‌های توسکای بیلاقی، بلوط و ون نشان‌دهنده الگوی تصادفی می‌باشد. در حالی که مقدار این شاخص برای گونه‌های راش، ممرز، شیردار، پلت و گیلاس وحشی نشان‌دهنده الگوی مابین تصادفی و کپه‌ای و برای گونه ملج نشان‌دهنده الگوی مابین تصادفی و پراکنده می‌باشد.

شاخص آمیختگی گونه‌ای (DM_i) به بررسی تنوع آمیختگی می‌پردازد، مقدار میانگین این شاخص برای

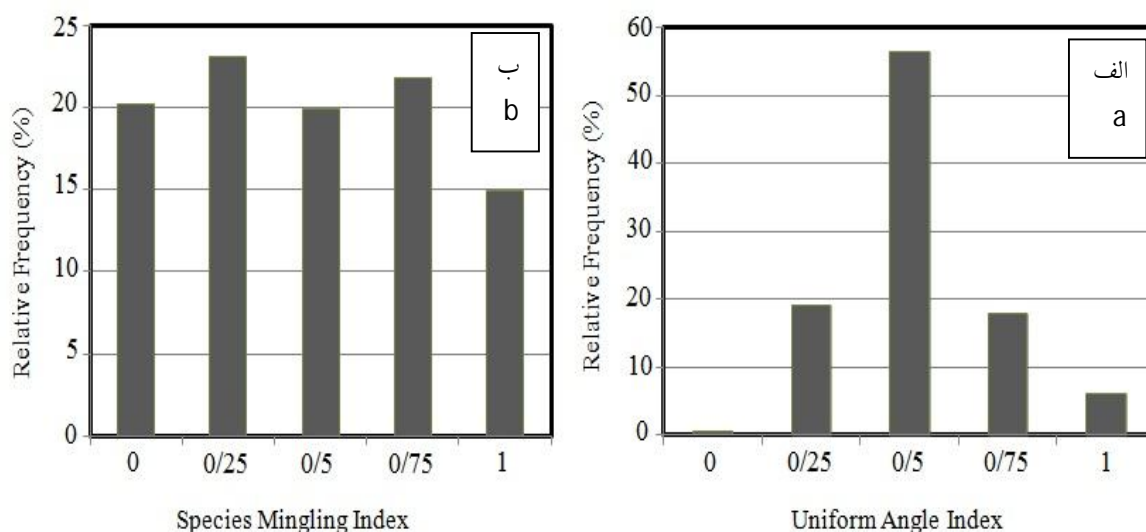
جدول ۳- میانگین شاخص‌های زاویه یکنواخت، میانگین جهت و آمیختگی گونه‌ای برای گونه‌های موجود در ۷ قطعه نمونه یک هکتاری در جامعه راش - ممرزستان (بدون واحد).

Figure 3. Mean uniform angle, mean directional and species mingling indices for the species at seven 1-ha plots in beech-hornbeam stands (without unit).

شاخص آمیختگی گونه‌ای (DM_i)	شاخص میانگین جهت (R_i)	شاخص زاویه یکنواخت (W_i)	گونه
Species Mingling Index (DM_i)	Mean Directional Index (R_i)	Uniform Angle Index (W_i)	Species
0.33	1.92	0.51	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky
0.57	2.18	0.54	<i>Carpinus betulus</i> L
0.63	2.28	0.59	<i>Acer cappadocicum</i> Gled
0.83	2.20	0.57	<i>Acer velutinum</i> Boiss
0.89	1.72	0.51	<i>Alnus subcordata</i> C.A.M
1	1.76	0.50	<i>Quercus castaneifolia</i> C.A.M
1	2.82	0.75	<i>Cerasus avium</i> L
1	1.39	0.47	<i>Ulmus glabra</i> Huds
1	1.79	0.50	<i>Fraxinus excelsior</i> L

از صفر می‌باشد نشان‌دهنده این است که جفت‌های درختی مشاهده شده یا نزدیک‌ترین همسایه‌های درختان مرجع متعلق به گونه‌های متفاوتی می‌باشد یا به عبارت دیگر گونه‌ها دارای جدایی مکانی می‌باشند.

شاخص تفکیک (S) اختلاط دو گونه درختی را بر اساس روش نزدیک‌ترین همسایه تعیین می‌کند. مقدار این شاخص در منطقه مورد مطالعه ۰/۲۵ به‌دست آمد. از آنجایی که مقدار این شاخص بزرگتر



شکل ۳- نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص‌های زاویه یکنواخت (الف) و آمیختگی گونه‌ای (ب) کل گونه‌های درختی.
Figure 3. Diagrams of distribution of uniform angle (A) and species mingling (B) indices for all tree species.

بحث و نتیجه‌گیری

ساختار کنونی جنگل‌هایی که به‌طور طبیعی شکل یافته‌اند، نتیجه تعامل پیچیده بین درختان با عوامل محیطی مختلف از جمله اقلیم و رویشگاه می‌باشد و توسعه جنگل‌های با ساختار پیچیده به‌خصوص در اکوسیستم‌های جنگلی که شامل گونه‌های درختی با دیر زیستی بالا می‌باشند، نیازمند طی سالیان زیادی می‌باشد (۱۸). به‌طور کلی در جوامع جنگلی الگوی پراکنش بسیاری از گونه‌ها به‌صورت کپه‌ای است، دلیل این امر نیز روابط متقابل درختان با سایر عوامل محیطی است (۳۷). نتایج حاصل از شاخص میانگین جهت نشان‌دهنده چیدمان مابین تصادفی و کپه‌ای درختان نسبت به همسایگان خود بود. از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی و محدود بودن ارزش آن (صفر-۴) اشاره کرد. نکته قابل توجه در رابطه با این شاخص دقت بالای این شاخص در تشخیص نحوه پراکنش درختان می‌باشد (۵۳). این شاخص خیلی کاربردی‌تر از سایر شاخص‌های مربوط به اندازه‌گیری موقعیت مکانی درختان می‌باشد و به‌عنوان روش‌های آماری کلاسیک مرتبط با نحوه قرارگیری درختان و

موقعیت آن‌ها شناخته می‌شود (۶). نتایج حاصل از شاخص میانگین جهت با نتایج حاجی میرزا آقایی و همکاران (۲۰۱۰)، حبشی و همکاران (۲۰۰۷)، نوری و همکاران (۲۰۱۳)، ابراهیمی و پوربابایی (۲۰۱۳) و کاکاوند و همکاران (۲۰۱۴) که همگی الگوی مکانی گونه راش را در ناحیه رویشی هیرکانی کپه‌ای معرفی کرده‌اند، همخوانی دارد (۲۳، ۲۲، ۴۱، ۱۰ و ۳۰). همچنین نتایج حاصل از پژوهش پیش‌رو با نتایج علی‌جانی و همکاران (۲۰۱۲) که با استفاده از شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت الگوی پراکنش گونه‌های درختی موجود در بخش گرازبن جنگل خیرود را مابین تصادفی و کپه‌ای معرفی کردند، همخوانی دارد (۲). یکی از مهم‌ترین دلایل پراکنش کپه‌ای گونه راش در خصوصیات بوم‌شناختی آن از جمله بذرها، سنگین، سایه‌پسندی و داشتن زادآوری لکه‌ای می‌باشد (۲۲ و ۲۴). شاخص زاویه یکنواخت، الگوی پراکنش تصادفی را برای گونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد که به‌دلیل طبیعی بودن جنگل‌های منطقه مورد مطالعه است. نکته مهمی که در این زمینه باید به آن توجه نمود این است که در

جنگل‌های طبیعی الگوی مکانی درختان تحت تأثیر آشفستگی منطقه، روابط متقابل رقابتی و حضور گونه‌های مهاجم قرار دارد (۱۷). همچنین نحوه مدیریت توده‌ها تأثیر مستقیمی بر روی الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های طبیعی دارد؛ به گونه‌ای که در توده‌های مدیریت شده کپه‌ها به نفع درختان مرغوب تنک می‌شوند و در نتیجه منجر به ایجاد تغییر در توزیع درختان می‌شود (۳۱). بنابراین می‌توان عواملی مانند اندازه و وزن بذر درخت، شکل و شیب زمین، شرایط جوی منطقه (باد، برف، بارندگی و رواناب ناشی از آن در فصل ریزش بذر) و سرانجام دخالت‌های انسانی را در چگونگی انتشار بذر درختان و در نهایت الگوی پراکنش آن‌ها مؤثر دانست؛ که در بین آن‌ها اندازه و وزن بذر با مسافت انتشار رابطه معکوس داشته و مابقی رابطه مستقیم دارند (۲۵). نتایج به‌دست آمده از این شاخص با نتایج اعتماد و همکاران (۲۰۱۷) که با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت الگوی پراکنش مکانی گونه راش را به صورت تصادفی معرفی کردند، همخوانی دارد (۱۲). همچنین در پژوهشی که هوی و همکاران (۲۰۰۷) انجام دادند بیان کردند که شاخص زاویه یکنواخت به منظور بررسی موقعیت مکانی درختان دارای توانایی بالایی می‌باشد (۲۷).

بررسی تنوع گونه‌ای به‌منظور حفاظت بیولوژیکی، پایش، پویایی جنگل، بازسازی بوم‌سازگان و مدیریت توده‌های جنگلی اهمیت فراوان دارد (۱۶). به عبارت دیگر با کمی‌کردن و اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای اطلاعات مهمی در زمینه نحوه پراکنش گونه‌ها در جوامع گیاهی فراهم می‌شود (۲۸). در این پژوهش به منظور بررسی تنوع گونه‌ای، از دو شاخص تفکیک و آمیختگی گونه‌ای استفاده شد. این شاخص‌ها غالباً به صورت مکمل یکدیگر در بررسی نحوه اختلاط گونه‌ای درختان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱).

مقدار شاخص تفکیک نشان‌دهنده این مطلب است که تعداد جفت‌های درختی مشاهده شده کمتر از مقدار مورد انتظار بوده که نشان‌دهنده جدایی مکانی گونه‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این شاخص با نتایج نوری و همکاران (۲۰۱۵) که وضعیت تنوع گونه‌ای توده‌های راش را در جنگل‌های هیرکانی در خیرود نوشهر به‌صورت گونه‌های منفک (تفکیک گونه‌ها) گزارش نمودند، مطابقت دارد (۴۲). گتزین و همکاران (۲۰۰۶) با به‌کارگیری شاخص تفکیک در توده‌های صنوبر جزیره ونکوور در هر سه وضعیت توده‌های نابالغ، بالغ و کهنسال، جدایی مکانی گونه‌های موجود را گزارش دادند (۲۰). مقادیر بالای این شاخص بیانگر رقابت درون گونه‌ای می‌باشد در حالی که مقادیر کم این شاخص به‌دلیل پیوستگی گونه‌ای، غالبیت شرایط بین گونه‌ای را نشان می‌دهد (۴۲). از آنجایی که گونه غالب در منطقه مورد مطالعه راش می‌باشد، امکان رقابت درون گونه‌ای بین پایه‌های راش بیشتر از رقابت بین گونه‌های مختلف می‌باشد. یکی از معایب شاخص تفکیک این است که تنها یکی از نزدیک‌ترین همسایگان درخت مرجع را مورد بررسی قرار می‌دهد (۳۱). بنابراین نتایج این شاخص دارای دقت کم خصوصاً در مورد توده‌های با میزان اختلاط گونه‌ای بالا می‌باشد (۱۹). این ویژگی نامناسب در شاخص تفکیک با در نظر گرفتن تعداد درخت همسایه بیشتر و وارد کردن آن‌ها در محاسبات توسط شاخص آمیختگی گونه‌ای برطرف شده است (۳۱). شاخص آمیختگی گونه‌ای دارای توانایی بالایی در بررسی روابط بین گونه‌های درختی می‌باشد (۲). نتایج حاصل از به‌کارگیری این شاخص نشان داد، گونه‌ی راش دارای تمایل زیادی به حضور در کنار پایه‌های همجنس خود دارد در حالی که سایر گونه‌ها (افرا پلت، بلوط، توسکای بیلاقی، شیردار، گیلان وحشی، ملج، ممرز و ون) غالباً با پایه‌هایی از

تشریح وضعیت فعلی ساختار جوامع راش ممرزستان از دو جنبه الگوی مکانی و تنوع گونه‌ای می‌باشند و کاربرد این شاخص‌ها در مطالعه حاضر مورد تأیید قرار گرفت. به نحوی که نتایج به‌دست آمده در راستای پیشینه پژوهش بوده است. با به‌کارگیری شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه علاوه بر تشریح وضعیت فعلی توده‌های جنگلی و گونه‌های موجود در آن می‌توان به بررسی تغییرات ایجاد شده در طی زمان و مکان و همچنین به بررسی تفاوت‌های میان وضعیت تنوع زیستی و ساختار جنگل‌های مدیریت شده و مدیریت نشده پرداخت. البته در این زمینه لازم است با کمی‌سازی وضعیت ساختاری و تنوع زیستی جوامع راش ممرزستان کمتر تخریب یافته و با آگاهی از روابط بوم‌شناختی بین گونه‌های درختی آن، الگویی جهت احیای وضعیت ساختار جوامع راش ممرزستان تخریب یافته ایجاد شود.

گونه‌های دیگر اختلاط دارند که این امر منجر به بالا رفتن مقادیر شاخص آمیختگی گونه‌ای برای سایر گونه‌ها شد. نتایج به‌دست آمده از این شاخص با نتایج اسمیت (۲۰۱۲) که عنوان کرد توده‌های راش غالباً خالص و همگن هستند و منجر به مقادیر کم شاخص آمیختگی برای این‌گونه می‌شود اما دیگر گونه‌ها دارای آمیختگی بالایی می‌باشند و مقادیر به دست آمده برای این گونه‌ها معمولاً بیشتر است، مطابقت دارد (۵۲). نوری و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان کردند در توده‌های خالص با توده‌های جنگلی که ۶۰ تا ۷۰ درصد توده را یک گونه تشکیل می‌دهد، شاخص آمیختگی کل توده کم می‌باشد (۴۲). در این پژوهش نیز با توجه به این مسئله که گونه اصلی تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه (از نظر تعداد در هکتار) راش بود، این موضوع دور از انتظار نمی‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که شاخص‌های به‌کار رفته دارای توانایی قابل قبولی در

منابع

1. Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., and Jimenez, J. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183: 137-145.
2. Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M., and Marvi Mohadjer, M.R. 2012. Quantifying the spatial structure in hyrcanian submountain Forest (Case Study: Gorazbon District of Kheirud Forest-Noushahr-Iran). *Iranian Journal of the Natural Resource*, 65: 1. 111-125. (In Persian)
3. Bettinger, P., and Tang, M. 2015. Tree-Level harvest optimization for structure-Based forest management based on the species mingling index. *Forests*, 6: 1121-1144.
4. Bilek, L., Remes, J., and Zahradnik, D. 2011. Managed vs unmanaged structure of beech forest stands (*Fagus sylvatica* L.) after 50 years of development, Central Bohemia. *Forest Systems*, 20: 1. 122-138.
5. Crecente-Campo, F., Pommerening, A., and Rodriguez-Soalleiro, R. 2009. Impacts of thinning on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 257: 1945-1954.
6. Corral-Rivas, J.J., Pommerening, A., Gadow K., and Stoyan, D. 2006. An analysis of two directional indices for characterizing the spatial distribution of forest trees. In: *Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico)*. PhD dissertation. Faculty of Forest Science and Forest Ecology, Georg-August University of Göttingen. Pp: 106-121.
7. Corral-Rivas, J.J., Wehenkel, C., Castellanos-Bocaz, H., Vargas-Laretta, B., and Dieguez-Aranda, U. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *Journal of Forestry Research*, 15: 218-225.

8. Dale, M.R.T. 2004. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge University Press, UK, 338p.
9. Diggle, P.J. 2003. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Arnold Pub, UK, 159p.
10. Ebrahimi, S.S., and Pourbabaei, H. 2013. Effect of conservation on spatial pattern of dominant trees in Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) communities, (case study: Masal, Guilan). Iranian Journal of Applied Ecology, 2: 4. 13-24. (In Persian)
11. Erfanifard, S.Y., Zare, L., and Fegghi, J. 2014. Application of nearest neighbor indices in Persian Oak (*Quercus brantii* var. persica) coppice stands of zagros forests. Iranian Journal of Applied Ecology, 2: 5. 15-25. (In Persian)
12. Etemad, V., Moridi, M., and Sefidi, K. 2017. Quantification of beech stands structure in the stem exclusion phase. Forest and Wood Products, 69: 4. 647-656. (In Persian)
13. Fallah, A., Zobeiri, M., and Marvie Mohajer, R. 2006. An appropriate model for distribution of diameter classes of natural Beech stands in the sangdeh and shastkoloteh forests. Iranian Journal natural research, 58: 4. 813-821. (In Persian)
14. Falahchay, M.M., Kalantaricherode, K., and Payam, H. 2012. Compare quantitative profile Natural forest stands in both protected and non-protected area. Iranian Journal of Biological Sciences, 5: 4. 113-121. (In Persian)
15. Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K., and Alijani, V. 2014. Analysis of zagros forest structure using neighborhood-based indices (Case study: Ghalehjol forest, Khorramabad). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22: 2. 294-306. (In Persian)
16. Fontaine, N., Poulin, M., and Rochefort, L. 2007. Plant diversity associated with pools in natural and restored peatlands. Peatland Ecology Research Group, 2: 1-17.
17. Frelich, L.E., Calcote, R.L., Davis, M.B., and Pastor, J. 1993. Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. Journal of Ecology, 72: 2. 513-527.
18. Freund, J.A., Franklin, J.F., and Lutz, J.A. 2015. Structure of early old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. Forest Ecology and Management, 335: 11-25.
19. Fuldner, K. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. Forstarchiv, 66: 235-240.
20. Getzin, S., Dean, Ch., Trofymow, A., Wiegand, K., and Wiegand, T. 2006. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. Ecography, 29: 671-682.
21. Graz, P.F. 2004. The behavior of the species mingling index Msp in relation to species dominance and dispersion. European Journal Forest Research, 123: 87-92.
22. Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., and Rahmani, R. 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forest of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15: 1. 55-64. (In Persian)
23. Haji Mirza Aghayee, S., Jalilvand, H., Kooch, Y., and Pormajidian, M.R. 2010. Analysis of important value and spatial pattern of woody species in ecological units (Case study: Sardabrood forests). Journal of Forest, 1: 2. 51-60. (In Persian)
24. Hassani, M., and Amani, M. 2010. Investigation on structure of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand at optimal stage in Sangdeh forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18: 2. 163-176. (In Persian)
25. Hossieni, A. 2011. Seed dispersal and sexual regeneration natural establishment of oak, pistachio and maple in zagros forests (case study, Ilam miyantang forest). Natural Ecosystems of Iran, 1: 3. 65-73. (In Persian)
26. Hui, G., and Gadow, K. 2002. Das Winkelmass-Herleitung des optimalen standardwinkels. Allgemeine Forst- Jagdzeitung (AFJZ), 10: 173-177.
27. Hui, G., Li, L., Zhonghua, Z., and Puxing, D. 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. Acta ecologica Sinica. 27: 11. 4717- 4728.
28. Hui, G., and Pommerening, A. 2014. Analysing tree species and size diversity patterns in multi-species uneven-aged forests of Northern China. Forest Ecology and Management, 316: 125-138.

29. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley and Sons Pub, UK, 557p.
30. Kakavand, M., Marvie Mohadjer, M.R., Sagheb-Talebi, Kh., and Sefidi, K. 2014. Structural diversity of mixed beech stands in the middle stage of succession (Case study: Gorazbon District, Kheiroud Forest of Nowshahr). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22: 3. 411- 422. (In Persian)
31. Kint, V., Lust, N., Ferris, R., and Olsthoorn, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Forests. Investigación Agraria: Sistemasy Recursos Forestales, 1: 147-163.
32. Kint, V., Meirvenne, M., Nachtergale, L., Geudens, G., and Lust, N. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest neighbor indices and variogram analysis. Forest Science, 49: 36-49.
33. Kint, V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. Forest Ecology and Management, 214: 237-250.
34. Kimmins, J.P. 2004. A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry, third ed. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, 700p.
35. Kuehne, C., Weiskittel, A.R., Fraver, S., and Puettmann, K.J. 2015. Effects of thinning-induced changes in structural heterogeneity on growth, ingrowth, and mortality in secondary coastal Douglas-fir forests. Canadian Journal of Forest Research, 45: 1448-1461.
36. Lilleleht, A., Sims, A., and Pommerening, A. 2014. Spatial forest structure reconstruction as a strategy for mitigating edge-bias in circular monitoring plots. Forest Ecology and management, 316: 47-53.
37. Manabe, T., Nishimura, N., Miura, M., and Yamamoto, S. 2000. Population structure and spatial patterns for trees in temperate old-growth evergreen broad-leaved forests in Japan. Journal of Plant Ecology, 151: 181-197.
38. Marvi Mohajer, M.R. 2006. Silviculture. Tehran Univ. Press, 387p. (In Persian)
39. Moridi, M., Sefidi, K., and Etemad, V. 2015. Stand characteristics of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the Stem exclusion phase, northern Iran. European journal of forest research, 134: 4. 693-703. (In Persian)
40. Motz, K., Sterba, H., and Pommerening, A. 2010. Sampling measures of tree diversity. Forest Ecology and Management, 260: 1985-1996.
41. Nouri, Z., Zobeiri, M., Feghhi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2013. An Investigation on the Forest Structure and Trees Spatial Pattern in *Fagus orientalis* stands of Hyrcanian Forests of Iran (Case Study: Gorazbon District of Kheyrud Forest). Iranian Journal of Natural Resources, 66: 1. 113-125. (In Persian)
42. Nouri, Z., Zobeiri, M., Feghhi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2015. Application of nearest neighbor indices in studying structure of the unlogged beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) Forests in Kheyrud, Nowshahr. Iranian Journal of Applied Ecology, 4: 12. 11-21. (In Persian)
43. Newton, A.C. 2007. Forest Ecology and Conservation. A Handbook of Techniques. Oxford University Press, Oxford, 454p.
44. Pastorella, F., and Paletto, A. 2013. Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). Journal of Forest Science, 59: 4. 159-168.
45. Pilehvar, B., Mirazadi, Z., Alijani, V., and Jafari Sarabi, H. 2015. Investigation of Hawthorn and Maple's stands structures of Zagros forest using nearest neighbors indices. Journal of Zagros Forests Research, 1: 2. 1-14. (In Persian)
46. Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. Forest Ecology and Management, 224: 266-277.
47. Resaneh, Y., Moshtagh, M.H., and Salehi, P. 2001. Quantitative study of North forests. In: National Seminar of Management and Sustainable Development of North forests, Iran, Ramsar. Forest and Range Organization Press, 55-79.

48. Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K., and Vacik, H. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, 129: 189-198.
49. Sefidi, K., Copenheaver, C.A., Kakavand, M., and Keivan behjou, F. 2014. Structural diversity within mature forests in Northern Iran: a case study from a relic population of persian ironwood (*Parrotia persica* C.A. Meyer). *Forest Science*, 61: 2. 258-265.
50. Smith, B., and Wilson, J.B. 1996. A consumer's guide to evenness indices. *Oikos*, 76: 70-82.
51. Stoyan, D., and H, Stoyan. 1994. *Fractals, Random Shapes and Point Fields*. John Wiley and Sons, UK, 399p.
52. Szmyt, J. 2012. Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. *Dendrobiology*, 68: 69-76.
53. Szmyt, J. 2014. Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 38: 1-31.
54. Szmyt, J., and Korzeniewicz, R. 2014. Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands. *Forest Research*, 75: 2. 171-179.



Efficiency of nearest neighbor indices to assess structure of Fageto-Carpinetum in Hyrcanian vegetation zone (Case Study: Nave Asalem-Guilan forests-Iran)

P. Farhadi¹, *J. Soosani², S.Y. Erfanifard³ and M.H. Akhtari⁴

¹Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Iran,

²Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Iran, ³Associate Prof., Dept., of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Iran, ⁴M.Sc. Forestry, Range and Watershed Management Organization, Iran

Received: 08/16/2016 ; Accepted: 05/16/2017

Abstract

Background and objectives: Maintaining the structure and biodiversity of ecosystems is considered to be one of the most important goals of modern forestry. For this purpose, tools are needed for forest management, to investigate the current status, as well as the changes caused by development of forest management activities with spending the lowest cost and time. Indicators of the nearest neighbor have advantages that their application gives them priority to direct measurements of biological diversity. Because in addition to study species diversity, they investigate the locations of trees. Furthermore, nearest neighbor indices provide valuable information about ecological interactions of trees in forests. Therefore, this study was aimed to apply important indices based on nearest neighbor analysis to study ecological relationships of trees in beech-hornbeam stands in Nave Asalem- Giulan forests.

Materials and methods: In order to do this research, seven 1-ha plots with homogeneous environmental conditions were inventoried in a Fageto-Carpinetum association in Nave Asalem- Giulan. In each plot distance, type of species, diameter at breast height and azimuth all trees on the plot with more than 7.5 cm diameter at breast height were recorded also registered of from the center of sampling area. The spatial pattern and species diversity were then investigated using the uniform angle, mean directional, species mingling and segregation indices. The amounts of each mentioned indic were individually calculated for each plot. The average of the values obtained for each plot was calculated for the Fageto-Carpinetum.

Results: In seven 1-ha plots, the results showed that Fageto- Carpinetum, *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Acer cappadocicum*, *Acer velutinum* and *Alnus subcordata* had the maximum density per hectare. The values of uniform angle and mean directional indices were 0.53 and 2.02, respectively, showing a spatial distribution between random and clustered. In terms of species diversity, Fageto- Carpinetum association (an average of 0.47 and 0.25 for species mingling and segregation indices, respectively) presented a medium level of species mixing. The amount of species mingling indices indicated low level of mixing of beech species and high level of mixing of other species. Segregation index showed a pair of trees or nearest neighbor reference trees belonged to different species.

Conclusion: In general, the results of this study indicated the efficiency of nearest neighbor indices to study the structure of Fageto- Carpinetum associations and the results can be used for planning to revitalize the structure and status of biodiversity in degraded Fageto-Carpinetum associations.

Keywords: Spatial pattern, Ecology, Species diversity, Nave asalem forests, Nearest neighbor indices

*Corresponding author: Soosani.J@Lu.ac.ir