



تحلیل کمی ساختار جنگل در مرحله افزایش حجم در روند تحول توده‌های طبیعی راش (مطالعه موردی: جنگل خیرود)

مرتضی مریدی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، محمدرضا پورمجیدیان^۳ و کیومرث سفیدی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۴ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰)

چکیده

ساختار توده‌های جنگلی با گذشت زمان و تحت تأثیر آشفتنگی‌های محلی دچار دگرگونی می‌شود. این تغییرات را پویایی توده‌های جنگلی نام نهاده‌اند. تغییر ساختار توده‌های جنگلی، سبب شکل‌گیری مراحل تحولی می‌شود. این پژوهش با هدف شناخت ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های طبیعی راش در مرحله تحولی افزایش حجم در جنگل خیرود نوشهر انجام گرفت. به این منظور، سه قطعه نمونه یک هکتاری دارای ویژگی‌های ساختاری مرحله تحولی افزایش حجم انتخاب شدند و موقعیت مکانی، قطر و ارتفاع همه درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در هر قطعه اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های ساختاری این مرحله با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه بررسی شد. براساس نتایج، مقدار متوسط شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۹۶ به دست آمد که نشان‌دهنده الگوی مکانی کپه‌ای متمایل به تصادفی درختان در این مرحله بود. نتایج شاخص آمیختگی نشان داد که تمایل درختان راش به آمیختگی با گونه‌های دیگر کم است. همچنین نتایج شاخص تمایز قطری اختلاف آشکار و شاخص تمایز ارتفاعی بیانگر اختلاف متوسط درختان از نظر ابعاد بود. به‌طور کلی استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه نشان داد که این شاخص‌ها از توانایی زیادی در آشکارسازی مشخصه‌های ساختاری توده‌های جنگل در مرحله تحولی افزایش حجم برخوردارند و در نتیجه ابزار مفیدی برای مدیریت جنگل هستند.

واژه‌های کلیدی: آمیختگی، الگوی مکانی، تمایز قطری، مدیریت جنگل، نزدیک‌ترین همسایه.

مقدمه

ساختار توده دچار دگرگونی شده و در وضعیت‌های متفاوتی دیده می‌شود که از آن با عنوان فازهای تحولی یاد می‌شود (Sefidi et al., 2014). ساختار توده‌های جنگلی به شکل ترکیب، اندازه و توزیع مکانی درختان تعریف می‌شود (Zhang et al., 2001).

شناخت مراحل تحولی و تبیین ویژگی‌های کمی آن از الزامات اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی در جنگل‌های با ساختار ناهمگن مانند جنگل‌های شمال ایران است. در طی روند تحول توده‌ها با گذشت زمان

مرحله اولیه، بلوغ (اپتیمال) و تخریب (پوسیدگی) شناسایی و تشخیص داد که با توجه به مطالعات اولیه مراحل تحولی در جنگل‌های شمال ایران اغلب این سه مرحله تحولی توسط دانشمندان ایرانی ملاک عمل قرار گرفتند (Sagheb-Talebi et al., 2003; Delfan-Abazeri et al., 2004; Mataji & Sagheb-Talebi, 2007; Parhizkar et al., 2011; Akhavan et al., 2012). علاوه بر این (Sefidi et al., 2014) مطالعه ۷۵ هکتار از جنگل‌های طبیعی و آمیخته راش در شمال ایران سه مرحله افزایش حجم، انباشت حجم و دگرگونی حجم را برای تحول توده‌های راش شرقی شناسایی کردند، که هر یک از این سه مرحله تحولی، مراحل متعددی دارند (Sefidi et al., 2014).

جنگل‌های پهن‌برگ شمال ایران به دلیل داشتن تنوع گیاهی و جانوری زیاد از اهمیت فراوانی برخوردارند (Parhizkar et al., 2011). پوشش گیاهی جنگل‌های شمال تحت تأثیر شیوه‌های نادرست مدیریتی و آشفستگی‌های مختلف انسانی از جمله چرای دام، آتش‌سوزی و تغییر کاربری اراضی است که پوشش گیاهی این جنگل‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. جنگل‌های هیرکانی بر اثر برداشت‌های قانونی و غیرقانونی، چرای دام، گونه‌های مهاجم و آتش‌سوزی‌های نامتعارف متعدد در مسیر تخریب و کاهش سطح قرار گرفته‌اند (Wilke, 2010).

به منظور مدیریت مناسب این جنگل‌ها، داشتن اطلاعات کمی از روند تحولی توده‌های جنگلی و پویایی آن ضروری است. در واقع ناآگاهی از روند تحول ساختار جنگل، سبب از بین رفتن تعادل طبیعی جنگل در اثر مداخلات انسانی می‌شود. شناخت کافی از ساختار توده (پراکنش تعداد در طبقات قطری و ارتفاعی) و تغییرات آن در طول زمان به جنگل‌شناسان امکان می‌دهد که قبل از هر گونه دخالت در توده‌های جنگلی اطلاعات مناسبی از وضعیت ساختاری جنگل داشته باشند و با دقت و اطمینان بیشتری در خصوص آینده توده‌ها تصمیم‌گیری کنند. از این رو با توجه به اینکه اطلاعات

مطالعه ساختار توده‌های طبیعی، امکان مدیریت بهینه جنگل را برای رسیدن به ساختار مطلوب مشخص می‌کند، به طوری که استفاده از عملیات جنگل‌شناسی مناسب در توده‌های تحت مدیریت، راهی برای حفظ تنوع بیولوژیکی، پویایی و پایداری جنگل به شمار می‌رود (Ruprecht et al., 2010).

ساختار توده‌های جنگلی، با توجه به مرحله تحولی توده و ترکیب آن ممکن است متفاوت باشد. کیفیت اطلاعات داده‌های ساختاری توده تا حد زیادی به مقیاس مکانی انتخاب شده بستگی دارد و این امر در مورد نتایج حاصل از طبقه‌بندی مرحله تحولی نیز صدق می‌کند (Zenner et al., 2014). چرخه تحولی جنگل، مفهومی نظری برای توصیف پویایی ساختار جنگل‌های طبیعی است که توسط فرایندهای وابسته به جمعیت و آشفستگی‌های بیرونی هدایت شده‌اند که با تشکیل نسل جدید، تکرار می‌شود. فرایند پویایی جنگل در مقیاس‌های مختلف مکانی، از تک‌درخت تا سطح توده به وقوع می‌پیوندد (Zhang et al., 2001). انتخاب مناسب‌ترین مقیاس مکانی برای مطالعه به نوع آشفستگی و ترکیب گونه‌های درختی بستگی دارد که هر دو با توجه به شرایط آب‌وهوایی و خاک متفاوت‌اند (Král et al., 2010).

ساختار توده‌های جنگلی با گذشت زمان و تحت تأثیر آشفستگی‌های محلی دچار دگرگونی می‌شود که از این تغییرات با عنوان پویایی توده‌های جنگلی یاد می‌شود. تغییر ساختار توده‌های جنگلی، سبب شکل‌گیری مراحل و فازهای تحولی می‌شود (Sefidi et al., 2014). در جنگل‌های طبیعی، مراحل تحولی براساس مشخصه‌های ساختاری توده‌ها به لحاظ تعداد و حجم درختان زنده، تعداد و حجم خشکه‌دار و نسبت آنها در طبقه‌های قطری مختلف و همچنین حضور ریشه در پوشش تاجی، زادآوری و تعداد آشکوب‌های توده به مراحل مختلف دسته‌بندی شده‌اند (Zenner et al., 2014). (Korpel 1995) در جنگل‌های طبیعی و بکر راش اروپا سه مرحله شامل

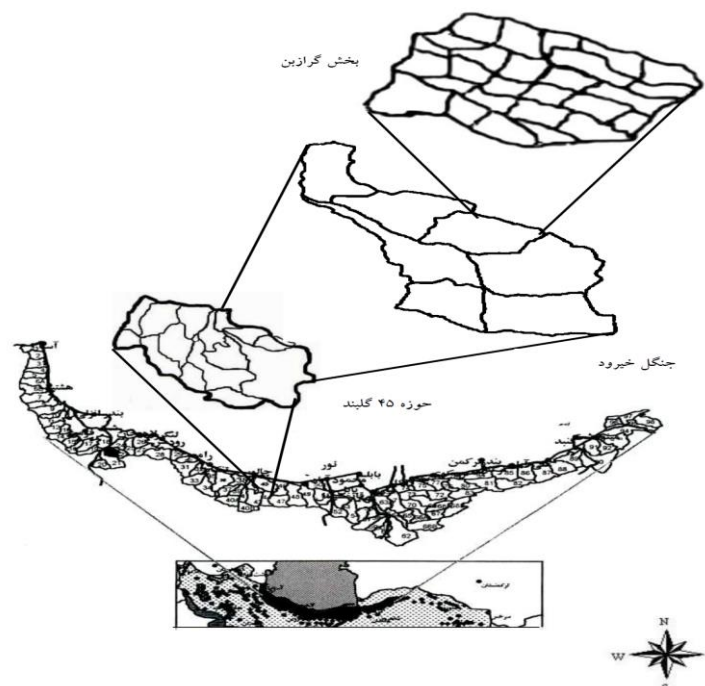
راشستان‌های مدیریت نشده در پارسل ۳۲۶ بخش گرازین جنگل خیرود و در مناطق کمتر دست‌خورده انتخاب شد. این منطقه با میانگین بارندگی سالیانه ۱۵۳۲/۳۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد نمونه‌ای از جنگل‌های طبیعی با ساختار ناهمسال است (Moridi et al., 2015). شیب منطقه کمتر از ۳۰ درصد و جهت عمومی منطقه شمالی است. اقلیم منطقه براساس فرمول آمبرژه، مرطوب نوع ب است (Moridi et al., 2015). قطعه‌های تحت بررسی دارای حداقل دخالت انسانی است و تاکنون هیچ‌گونه فعالیت جنگل‌شناسی در آنها انجام نگرفته است. از این‌رو می‌توان گفت توده‌های تحت بررسی نمونه‌ای از جنگل‌های طبیعی مدیریت نشده‌اند.

کمی در خصوص ویژگی‌های ساختاری توده‌های طبیعی راش در مرحله تحولی افزایش حجم وجود دارد، این پژوهش با هدف شناخت ویژگی‌های ساختاری جنگل‌های طبیعی راش در این مرحله تحولی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود دانشگاه تهران در عرض جغرافیایی ۲۷° ۳۶' تا ۴۰° ۳۶' شمالی و طول ۳۲° ۵۱' تا ۴۳° ۵۱' شرقی واقع شده است (شکل ۱). جنگل خیرود با داشتن مساحت تقریبی ۸۰۰۰ هکتار از شمال به نوار ساحلی و روستای خیرودکنار و از جنوب به بیلاقات و روستای کلیک محدود می‌شوند. منطقه پژوهش، در



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه تحقیق در جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود

خشکه‌دار، نسبت درختان زنده و خشکه‌دار در طبقات قطری مختلف، حضور روشن‌ها و تجدید حیات در توده و همچنین تعداد آشکوب‌های توده

شیوه اجرای پژوهش

پس از جنگل‌گردشی‌های متعدد و در نظر گرفتن معیارهایی از جمله تعداد و حجم درختان زنده و

آید، الگوی مکانی درختان حالت کپه‌ای دارد و زمانی که مقدار شاخص کلارک و ایوانز بیشتر از ۱ باشد، نشان‌دهنده موقعیت منظم درختان است (Pommerening, 2002). شاخص زاویه یکنواخت بین صفر تا ۱ متغیر است و در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ را می‌توان برای این شاخص در نظر گرفت (Pommerening, 2002). با میانگین گرفتن از ارزش‌های محاسبه‌شده برای گروه‌های ساختاری موجود، مقدار متوسط شاخص زاویه یکنواخت برای کل جنگل قابل محاسبه است. مقدار شاخص زاویه یکنواخت برای مطالعه ساختار یک توده کاملاً مفید است، اما به سفارش پژوهشگران پیشین، بهتر است از نمودار توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت استفاده شود (Aguirre et al., 2003). ارزش کم شاخص زاویه یکنواخت زمانی که به سمت صفر میل می‌کند، نشان‌دهنده وضعیت منظم درختان است، در حالی که در درختان با توزیع کپه‌ای این ارزش به سمت ۱ میل می‌کند و ارزش ۰/۵ الگوی مکانی تصادفی را نشان می‌دهد. با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه‌ها نسبت به یکدیگر، شاخص آمیختگی ممکن است دارای ارزشی بین صفر تا ۱ باشد که هرچه از سمت صفر دور و به ۱ نزدیک شود، آمیختگی گونه‌ای افزایش پیدا می‌کند (Pommerening, 2002). 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 گونه مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه متفاوت با گونه مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه متفاوت با گونه مرجع) یا ۱ (هیچ‌یک از همسایه‌ها مشابه گونه مرجع نیستند) به دست می‌آید (Ruprecht et al., 2010). شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی نمایانگر حد رقابت براساس مقایسه قطر و ارتفاع بین درخت شاهد و درختان همسایه هستند و چهار مقدار کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ را در بر می‌گیرند که به ترتیب دارای مقادیر

(Akhavan et al., 2012; Alijani et al., 2014; Moridi et al., 2015; Gu et al., 2019) سه قطعه نمونه یک هکتاری که دارای ویژگی‌های ساختاری مرحله تحولی افزایش حجم بودند انتخاب و بررسی شدند. شایان ذکر است که در انتخاب این سه قطعه نمونه سعی شد شاخص‌هایی مانند خاک، اقلیم و عوامل توپوگرافی تا حد امکان دارای شرایط به نسبت مشابهی باشند. در قطعات نمونه یک هکتاری همه مشخصات درختان زنده قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر با ثبت موقعیت مکانی درختان اندازه‌گیری شد (Alijani et al., 2014; Sefidi et al., 2014; Moridi et al., 2015).

به منظور کمی‌سازی ساختار افقی جنگل‌های تحت مطالعه در مرحله تحولی افزایش حجم، موقعیت مکانی درختان با شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز تعیین شد. برای بررسی آمیختگی از شاخص آمیختگی mingling، برای بررسی تنوع ابعاد درختان در این مراحل از شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی و برای بررسی تراکم درختان از شاخص فاصله تا همسایه‌ها استفاده شد (جدول ۱). شایان ذکر است که آنالیزهای مربوط به تحلیل نوع آمیختگی، حد رقابت و نوع پراکنش درختان در توده‌های تحت بررسی با استفاده از نرم‌افزار Crancod و پس از اجرای عملیات تصحیح حاشیه محاسبه شد. علاوه بر این، به منظور دستیابی به ویژگی‌های ساختاری توده در این مرحله، برای همه درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر، قطر برابر سینه، ارتفاع و فاصله درختان از یکدیگر اندازه‌گیری و ثبت شد (Pommerening, 2002).

از شاخص کلارک و ایوانز برای بررسی میزان انحراف هر توده جنگلی از جنگل پواسون (جنگلی با توزیع تصادفی) استفاده می‌شود. اگر در جنگل تحت مطالعه، پراکنش درختان از الگوی تصادفی پیروی کند، مقدار شاخص کلارک و ایوانز برابر با ۱ می‌شود. زمانی که شاخص کلارک و ایوانز کمتر از ۱ به دست

به طور کلی شاخص فاصله تا همسایگی نشان دهنده حد تراکم توده های جنگلی یا به عبارتی تعداد پایه های درختی در هر واحد از سطح است و ممکن است نمایانگر فشار رقابتی بین درختان در توده ها باشد (Pommerening, 2002)، چنانکه با افزایش فاصله بین درختان و در نتیجه افزایش شاخص فاصله همسایگی از تراکم توده های جنگلی کاسته می شود و در نتیجه رقابت کاهش می یابد. شایان ذکر است که علاوه بر تعداد درختان، الگوی پراکنش درختان نیز بر نتایج حاصل از این شاخص تأثیرگذار است (Alijani et al., 2014).

عددی ۰ تا ۰/۳، ۰/۳ تا ۰/۵، ۰/۵ تا ۰/۷ و ۰/۷ تا ۱ می شوند. زمانی که درختان همسایه دارای اختلاف کمی باشند، این شاخص ها به سمت صفر میل می کنند، در حالی که اگر ناهمگنی زیادی بین درختان همسایه مشاهده شود، ارزش این شاخص ها به سمت ۱ پیش می رود (Ruprecht et al., 2010). بیشتر شاخص های به کار گرفته شده در این پژوهش بدون در نظر گرفتن فاصله های بین درختان به بررسی ساختار مکانی جنگل می پردازند. بنابراین، این شاخص ها در تشریح اختلاف بین جنگل های دارای ساختار یکسان ولی با تراکم متفاوت ناتوان اند. برای برطرف شدن این مشکل از شاخص فاصله تا همسایه ها استفاده شده است.

جدول ۱- شاخص های به کاررفته به منظور کمی سازی ویژگی های ساختاری جنگل

منبع	رابطه	شاخص
(Ruprecht et al., 2010)	$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_{ij}$	فاصله تا نزدیک ترین همسایه ها
(Pommerening, 2002)	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	زاویه یکنواخت
(Pommerening, 2002)	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V_{ij}$	آمیختگی
(Ruprecht et al., 2010)	$T_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز قطری درختان
(Ruprecht et al., 2010)	$T_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز ارتفاعی درختان
(Pommerening, 2002)	$R = \frac{d_{obs}}{d_{exp}}$	کلارک و ایوانز

S_{ij} فاصله درخت مرجع i از درخت همسایه j زاویه بین درخت مرجع i از درخت همسایه j تفاوت گونه درخت مرجع i از درخت همسایه j در شاخص تمایز قطری نسبت بین قطر درخت کم قطرتر به قطرتر، r_{ij} در شاخص تمایز ارتفاعی نسبت بین درخت بلندتر به کوتاه تر، d_{obs} میانگین فاصله درختان نسبت به نزدیک ترین همسایه خود در توده تحت بررسی و d_{exp} مقدار این فاصله در یک جنگل با توزیع کاملاً تصادفی (جنگل پواسون) و دارای N درخت در سطحی برابر با A است.

شناخت بهتر وضعیت توده های بررسی شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۳ تعداد گروه های ساختاری را قبل و بعد از تصحیح حاشیه به روش نزدیک ترین همسایه و همچنین فراوانی گروه های ساختاری را که راش به عنوان درخت شاهد در نظر گرفته شده نشان می دهد.

نتایج

براساس نتایج این بررسی در مجموع ۹۱۲ اصله درخت زنده شامل هشت گونه درختی (راش، ممرز، توسکا ییلاقی، پلت، شیردار، بلندمازو، ملج و بارانک) در سه قطعه نمونه یک هکتاری شناسایی شد که مشخصات کمی اندازه گیری شده قطعات به منظور

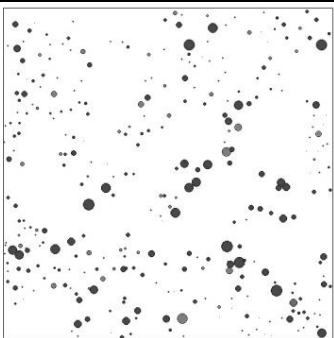
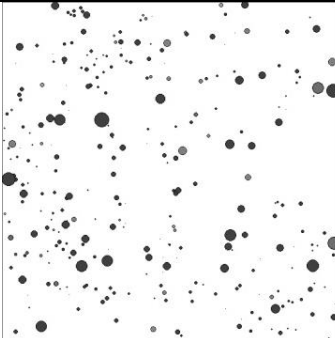
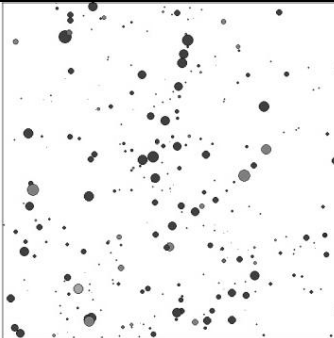
جدول ۲- مشخصات کمی قطعات نمونه یک هکتاری در مرحله تحولی افزایش حجم

قطعه نمونه	تعداد در هکتار (اصله)	حداقل قطر (cm)	حداکثر قطر (cm)	میانگین قطر (cm)	انحراف معیار قطر (درصد)	میانگین ارتفاع (m)	انحراف معیار ارتفاع (درصد)
یک	۳۲۹	۷/۵	۱۱۲	۳۰/۳	۲۳/۲	۲۷/۴	۱۰/۲
دو	۲۹۵	۷/۵	۱۳۸	۳۲/۷	۲۴/۸	۳۰/۳	۹/۵
سه	۲۸۸	۷/۵	۱۲۵	۳۰/۵	۲۶/۴	۲۸/۱	۹/۱

جدول ۳- فراوانی گروه‌های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه

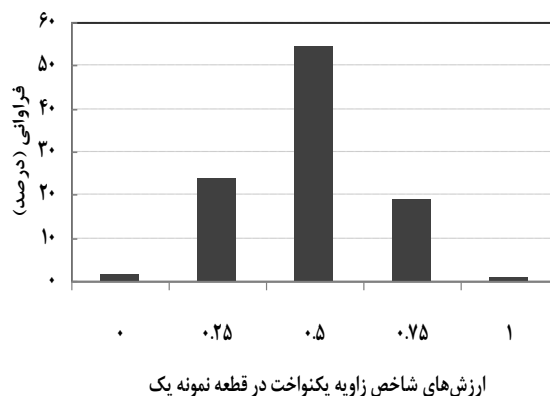
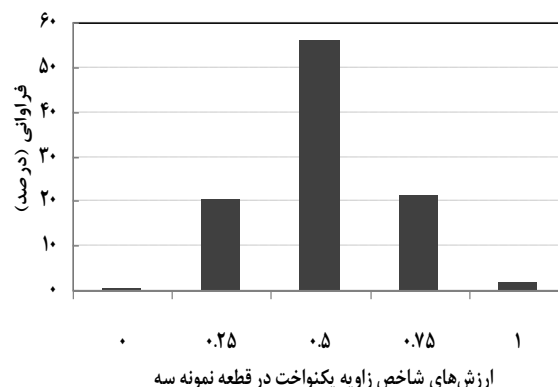
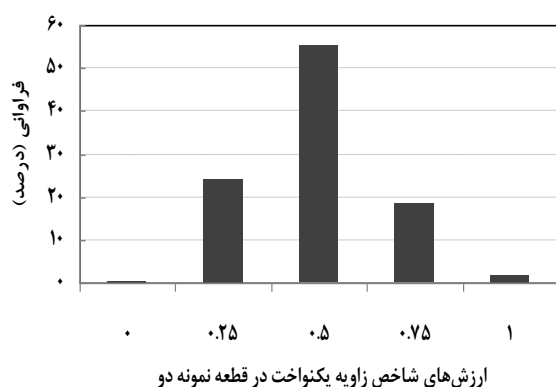
قطعه نمونه	تعداد گروه‌های ساختاری قبل از تصحیح حاشیه	تعداد گروه‌های ساختاری بعد از تصحیح حاشیه	فراوانی گروه‌های ساختاری راش
یک	۳۲۹	۲۸۹	٪۸۶/۱
دو	۲۹۵	۲۷۳	٪۸۵/۷
سه	۲۸۸	۲۵۹	٪۸۶/۹

جدول ۴- میانگین شاخص‌های کمی سازی ساختار جنگل در مرحله تحولی افزایش حجم

شاخص	قطعه نمونه ۱	قطعه نمونه ۲	قطعه نمونه ۳
الگوی پراکنش درختان			
کلارک و ایوانز	۰/۹۹ (کپه‌ای - تصادفی)	۰/۹۶ (کپه‌ای - تصادفی)	۰/۹۲ (کپه‌ای - تصادفی)
زاویه یکنواخت	۰/۴۸ (کپه‌ای - تصادفی)	۰/۴۹ (کپه‌ای - تصادفی)	۰/۵۰ (تصادفی)
آمیختگی	۰/۳۷ (آمیختگی کم تا متوسط)	۰/۲۲ (آمیختگی کم)	۰/۳۳ (آمیختگی کم تا متوسط)
تمایز قطری	۰/۴۷ (اختلاف قطری آشکار)	۰/۴۵ (اختلاف قطری آشکار)	۰/۴۶ (اختلاف قطری آشکار)
تمایز ارتفاعی	۰/۳۷ (اختلاف ارتفاعی متوسط)	۰/۳۳ (اختلاف ارتفاعی متوسط)	۰/۳۲ (اختلاف ارتفاعی متوسط)
فاصله تا همسایه‌ها	۵/۸	۶/۲	۶/۱

مرحله تحولی است. در شکل ۲ به منظور درک بهتر از توزیع گروه‌های ساختاری در طبقات مختلف صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱، فراوانی نسبی ارزش‌های این شاخص در طبقات ذکر شده، ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین فراوانی در طبقه ۰/۵ دیده می‌شود که نشان می‌دهد از چهار زاویه بین درختان همسایه یک گروه ساختاری، دو زاویه کوچک‌تر و دو زاویه بزرگ‌تر از زاویه مرجع است.

جدول ۴ نتایج حاصل از کمی‌سازی موقعیت مکانی ساختار جنگل‌های تحت بررسی را در مرحله تحولی افزایش حجم، با استفاده از شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز را نشان می‌دهد. شاخص کلارک و ایوانز (به‌طور متوسط ۰/۹۶) نشان‌دهنده الگوی مکانی کپه‌ای متمایل به تصادفی درختان در این مرحله است. از شاخص زاویه یکنواخت به‌عنوان مکمل شاخص کلارک ایوانز استفاده شد که نتایج آن، نشان‌دهنده الگوی تصادفی درختان همسایه در این



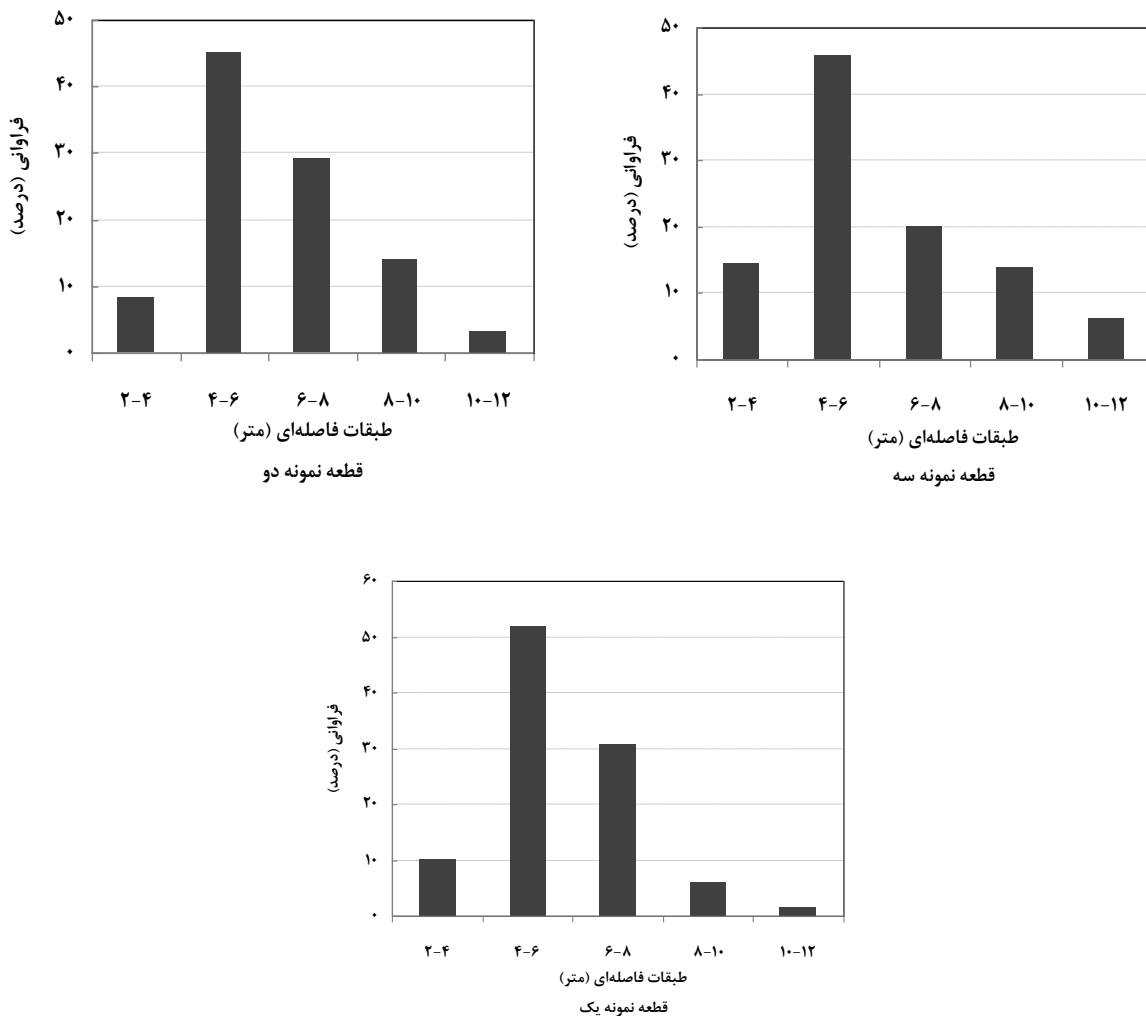
شکل ۲- نمودارهای توزیع مقادیر شاخص زاویه یکنواخت در قطعات نمونه یک هکتاری

۰/۲۲ و ۰/۳۳ اندازه‌گیری شد و به‌طور متوسط ۰/۳۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده تمایل کم درختان راش به قرار گرفتن در کنار گونه‌های دیگر در قطعات تحت

شاخص آمیختگی گونه‌ای که به بررسی وضعیت درختان همسایه از نظر آمیختگی نسبت به یکدیگر می‌پردازد در قطعات نمونه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۳۷،

شاخص فاصله تا همسایگی در توده‌های تحت بررسی به‌طور متوسط ۶/۰۳ متر به‌دست آمد.

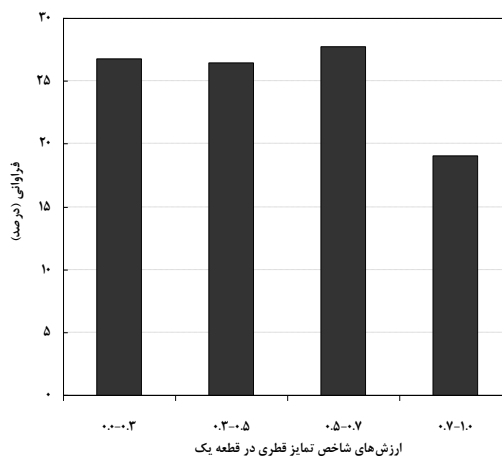
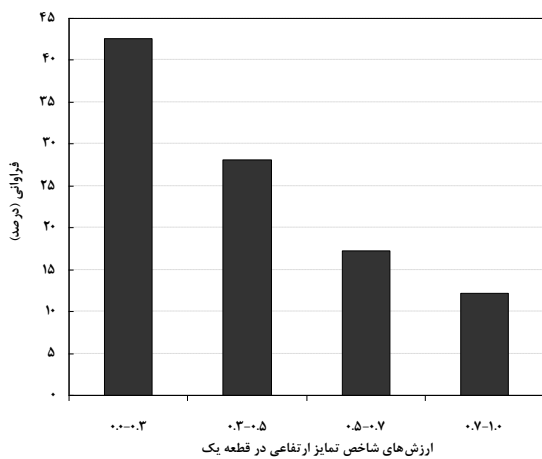
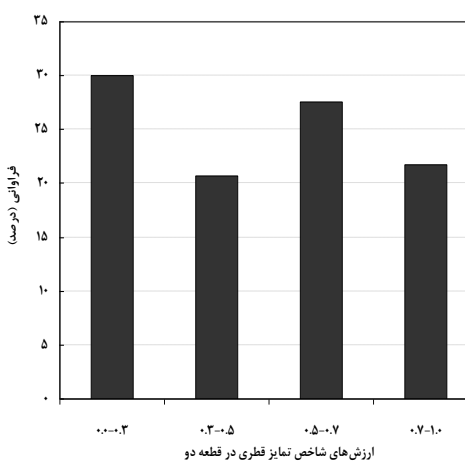
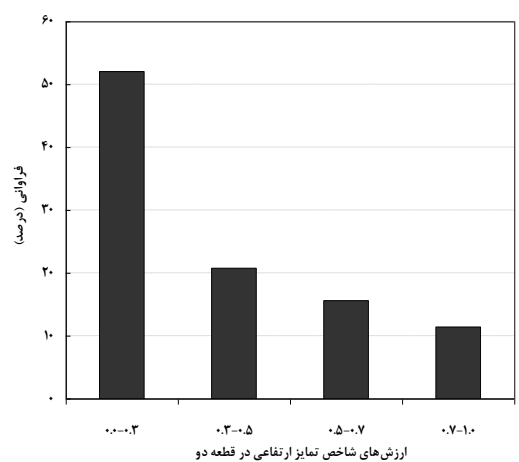
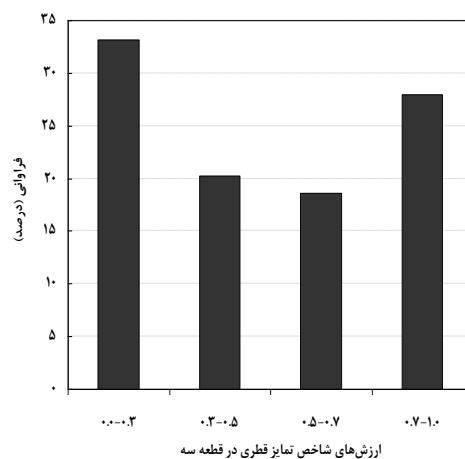
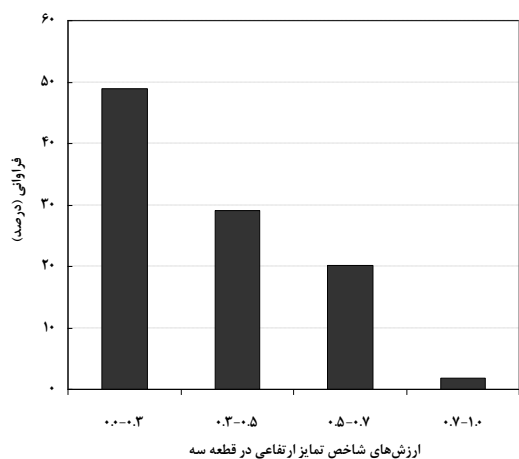
بررسی است (جدول ۴). به‌منظور مقایسه فاصله بین درختان همسایه در سه قطعه نمونه، از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها استفاده شد (شکل ۳). مقدار



شکل ۳- نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص فاصله تا همسایگی در قطعات نمونه یک هکتاری

شایان ذکر است که هرچه ارزش عددی مقدار این دو شاخص از صفر به سمت ۱ میل کند، اختلاف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین درخت از نظر ویژگی تحت بررسی بیشتر می‌شود. به‌منظور درک بهتر وضعیت توده‌ها، توزیع ارزش گروه‌های ساختاری برای شاخص‌های تمایز قطری و تمایز ارتفاعی به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

میانگین شاخص تمایز قطری نشان‌دهنده اختلاف قطری آشکار برای درختان همسایه در هر سه قطعه نمونه است به‌طوری که مقدار متوسط این شاخص در توده‌های تحت بررسی ۰/۴۶ محاسبه شد. همچنین میانگین مقدار عددی شاخص تمایز ارتفاعی در این تحقیق ۰/۳۴ به‌دست آمد که بیانگر اختلاف ارتفاعی متوسط درختان همسایه نسبت به یکدیگر است.



شکل ۵- نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص تمایز ارتفاعی در قطعات نمونه یک هکتاری

شکل ۴- نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص تمایز قطری در قطعات نمونه یک هکتاری

بحث

شناخت ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی، از نظر تئوری و عملی در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی اهمیت چشمگیری دارد، زیرا ساختار جنگل صفتی است که اغلب پس از استقرار توده جنگلی برای دستیابی به اهداف مدیریتی استفاده می‌شود (Zenner et al., 2014). توصیف کمی تفاوت بین توده‌های جنگلی به منظور طبقه‌بندی انواع جنگل و اهداف جنگل‌شناسی مورد نظر و نیز حفاظت از طبیعت ضروری است (Pommerening, 2002). توانایی ارزیابی تغییرات ساختاری ناشی از تحول توده، آشفتگی‌های ناشی از عوامل طبیعی و بهره‌برداری چوب از اهمیت زیادی برای مدیریت پایدار و بهینه اکوسیستم‌های جنگلی پیچیده، مانند جنگل‌های ناهمسال نامنظم هیرکانی برخوردار است. براساس نتایج، توزیع کپه‌های درختان راش در این تحقیق می‌تواند به دلیل مشخصات اکولوژیکی این گونه از جمله بذور سنگین و درشت، زادآوری لکه‌ای و سایه‌پسندی آن باشد (Habashi et al., 2007). ولی با توجه به اینکه در هر سه قطعه نمونه، این شاخص بیشتر از ۰/۹ به دست آمد و متمایل به عدد ۱ (الگوی مکانی تصادفی) بود، می‌توان این‌گونه در نظر گرفت که الگوی مکانی درختان در حال تغییر از حالت کپه‌ای به حالت تصادفی است. همچنین براساس نتایج شاخص فاصله تا همسایگی با توجه به اینکه فاصله متوسط بین درختان ۶/۰۳ متر به دست آمد که نشان‌دهنده تراکم متوسط پایه‌های درختی در توده‌های تحت بررسی بود، می‌توان استنباط کرد که درختان در حال فاصله گرفتن از یکدیگر و دور شدن از حالت کپه‌ای هستند. علاوه بر این، براساس نتایج حاصل از شاخص زاویه یکنواخت، با توجه به اینکه در هر سه قطعه نمونه بیش از ۵۰ درصد از درختان در طبقه ۰/۵ قرار گرفتند، این موضوع تأیید می‌شود. در توده‌هایی مانند جنگل‌های موجود در پارسل‌های شاهد و ذخیره‌گاه‌ها که مداخلات انسانی کم است، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر الگوی مکانی

پایه‌ها، رقابت و مرگ‌ومیر است. الگوهای توزیع جمعیت به طور چشمگیری به مقیاس مکانی وابسته است (Ruprecht et al., 2010). (Frelich et al., 1993) در بررسی شکل‌گیری و نگهداری موزاییک‌ها در یک جنگل کهن‌رست بلوط، از سه عامل تاریخچه آشفتگی منطقه، روابط متقابل رقابتی و گونه‌های مهاجم، به عنوان عوامل مؤثر بر الگوی مکانی درختان در جنگل نام برده‌اند. نکته‌ای که در این زمینه باید به آن توجه کرد این است که مقیاس مطالعه و تراکم توده‌ها دو متغیر اصلی اثرگذار بر محاسبات آماری تعیین الگوی پراکنش هستند. به عبارت دیگر الگوی مکانی درختان ممکن است الگوهای متنوعی را در مقیاس‌های کوچک‌تر نسبت به مقیاس‌های بزرگ‌تر نشان دهد (Cressie, 1993). همچنین شرایط پیچیده توپوگرافی در جنگل‌های کوهستانی نیز بذرها را در مکان‌های محدود متمرکز می‌کند (Yang et al., 2018). الگوی مکانی تصادفی ممکن است به دلیل تنگ شدن طبیعی در اثر رقابت درون‌گونه‌ای و نیاز به منابع غذایی زیاد باشد (Halpin & Lorimer, 2016). (Szmyt, 2012) در بررسی کاربرد شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه بر ساختار مکانی جنگل غالب راش بیان کرد که توده‌های مدیریت‌شده راش خالص و آمیخته با الگوی پراکنش مکانی یکنواخت درختان زنده مشخص می‌شوند و الگوی مکانی تصادفی یا کپه‌ای بسیار نادر است.

مقدار شاخص آمیختگی بیانگر آمیختگی کم توده‌های تحت بررسی بود. در توده‌های راش کهن‌رست آمیختگی کم کاملاً طبیعی است، زیرا گونه راش سایه قوی را در زیر تاج پوشش خود ایجاد می‌کند تا مانع رشد گونه‌های دیگر به خصوص گونه‌های نورپسند در زیر تاج پوشش جنگل شود. گونه‌های دیگر ممکن است در روشن‌های حاصل از آشفتگی‌های طبیعی خردمقیاس یا آشفتگی‌های غیرطبیعی ناشی از مداخلات انسانی مستقر شوند. تنوع ساختاری،

Bilek et al. (2011) در تحقیقی به منظور بررسی ساختار توده‌های جنگلی راش مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده پس از ۵۰ سال تکامل در بوهمیا، به این نتیجه دست یافتند که در جنگل‌های راش مدیریت‌نشده، شاخص تمایز قطری مقادیر بیشتری را نشان داد. اثبات شده است که ابعاد درخت عامل مهمی است که بر رشد درخت تأثیر می‌گذارد و می‌توان از آن برای تشریح پویایی جنگل استفاده کرد (Zhang et al., 2001).

یکی از اهداف پژوهش حاضر، ارائه راهکاری نو به منظور کاهش هزینه و زمان برداشت اطلاعات لازم در توده‌های جنگلی بود. کمی‌سازی ساختار قطعه نمونه‌های تحت مطالعه به منظور شناخت بیشتر وضعیت توده‌های موجود انجام گرفت. با توجه به مدیریت نشدن توده‌های تحت بررسی و در نتیجه دست‌خوردگی کمتر آنها، نتایج کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی از جمله تنوع الگوی مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد می‌تواند راهنما و الگویی برای مدیریت دیگر توده‌های جنگلی مشابه باشد. مدیران جنگل نیز می‌توانند از شاخص‌ها و توابع استفاده‌شده در این تحقیق برای سنجش دخالت‌های صورت‌گرفته در توده‌ها، از جمله اقداماتی مانند عملیات پرورشی و نشانه‌گذاری و همچنین پایش تحول این توده‌ها در طی زمان استفاده کنند.

شاخصی مهم برای درک توزیع گونه‌های درختی، شرایط رشد فردی و روابط رقابتی موجود در هر توده جنگلی است (Pommerening, 2002). در توده‌های جنگلی خالص یا توده‌های جنگلی که بیش از ۷۰ درصد توده را یک گونه تشکیل می‌دهد، مقدار شاخص آمیختگی توده به‌طور معمول اندک است. در پژوهش حاضر نیز از آنجا که راش، گونه اصلی منطقه بود، این مسئله دور از تصور نیست. از طرفی آمیختگی گونه‌ای به‌طور مستقیم تحت تأثیر الگوی مکانی درختان قرار می‌گیرد (Pommerening, 2002) و تمایل گونه راش به داشتن الگوی مکانی کپه‌ای سبب می‌شود که بیشتر درختان مجاور این گونه از پایه‌های راش باشند که این موضوع با نتایج تحقیق Alijani et al., (2014) در جنگل خیرود نوشهر مطابقت دارد.

نتایج حاصل از شاخص تمایز قطری و ارتفاعی نشان داد که درختان تحت بررسی در این مرحله تحولی از نظر قطر برابر سینه دارای اختلاف آشکار و از نظر ارتفاعی دارای اختلاف متوسط بودند که این موضوع می‌تواند بیانگر طبیعی و دست‌نخورده بودن توده‌ها باشد، زیرا همگنی بیشتر از نظر تنوع در ابعاد درختان در توده‌های مدیریت‌شده نسبت به توده‌های مدیریت‌نشده توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Pommerening, 2002; Bilek et al., 2011).

References

- Aguirre, O., Hui, G., Gadov, K.V., & Jimenez, J. (2003). An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183(1), 137-145.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., Zenner, E.K., & Safavimanesh, F. (2012). Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1355-1366.
- Alijani, V., Sagheb-Talebi, Kh., & Akhavan, R. (2014). Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3), 396-410.
- Bilek, L., Remes, J., & 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.

- Cressie, N.A. (1993). *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley and Sons.
- Delfan-Abazeri, B., Sagheb-Talebi, Kh., & Namiranian, M. (2004). Investigation of development stage of control part in beech forest (case study: reserve area-lenga). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 12(3), 307-326.
- Frelich, L.E., Calcote, R.L., Davis, M.B., & Pastor, J. (1993). Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. *Journal of Ecology*, 72(2), 513-527.
- Gu, L., O'Hara, K.L., Li, W.Z., & Gong, Z.W. (2019). Spatial patterns and interspecific associations among trees at different stand development stages in the natural secondary forests on the Loess Plateau, China. *Ecology and Evolution*, 9, 6410-6421.
- Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., & Rahmani, R. (2007). Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1), 55-64.
- Halpin, C.R., & Lorimer, C.G. (2016). Trajectories and resilience of stand structure in response to variable disturbance severities in northern hardwoods. *Forest Ecology and Management*, 365, 69-82.
- Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarlanten*. Gustav Fischer Verlag, 310p.
- Král, K., Vrška, T., Hort, L., Adam, D., & Šamonil, P. (2010). Developmental phases in a temperate natural spruce-fir-beech forest: determination by a supervised classification method. *European Journal of Forest Research*, 129(3), 339-351.
- Mataji, A., & Sagheb-Talebi, Kh. (2007). Development stages and dynamic of two oriental beech (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheiroudkenar-Noshahr. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4), 398-415.
- Moridi, M., Sefidi, K., & 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.
- Parhizkar, P., Sagheb-Talebi, K., Mataji, A., Nyland, R., & Namiranian, M. (2011). Silvicultural characteristics of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) regeneration under different RLI and positions within gaps. *Forestry*, 84, 177-185.
- Pommerening, A., (2002). Approaches to quantifying forests. *Forestry*, 3, 305-324.
- Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K., & Vacik, H. (2010). Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, 129, 189-198.
- Sagheb-Talebi, K., Delfan Abazari, B., & Namiranian, M. (2003). *Description of the decay stage in a natural oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) forest in Iran, Preliminary results*. In Natural Forests in the Temperate Zone of Europe-Values and Utilisation. Proceedings of IUFRO International Conference, Oct 13. pp. 13-17.
- Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Etemad, V., & Mosandl, R. (2014). Late successional stage dynamics in natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, Northern Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 270-283.
- Szmyt, J. (2012). Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. *Dendrobiology*, 68, 69-76.
- Wilke, M.L. (2010). *Global forest resources assessment 2010: Islamic Republic of Iran*. Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Yang, J., Vázquez, L., Feng, L., Liu, Z., & Zhao, G. (2018). Climatic and soil factors shape the demographical history and genetic diversity of a deciduous oak (*Quercus liaotungensis*) in Northern China. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1534

Zenner, E.K., Peck, J.E., Hobi, M.L., & Commarmot, B. (2014). The dynamics of structure across scale in a primaeval European beech stand. *Forestry an International Journal of Forest Research*, 88(2), 180-189.

Zhang, L.J., Gove, J.H., Liu, C.M., & Leak, W.B. (2001). A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated sigmoid, uneven-aged stands. *Journal of Forest Research*, 31, 1654–1659.



Research Article

Quantitative Analysis of Forest Structure at Growing Up Volume Stage in the Evaluation of Natural Beech Stands (Case Study: Kheyroud Forest)

M. Moridi^{1*}, A. Fallah², M.R. Pourmajidian³, and K. Sefidi⁴

¹ Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

² Prof, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

³ Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

⁴ Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Agriculture Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(Received: 9 April 2020, Accepted: 20 August 2020)

Abstract

The structure of forest stands changes over time and under the influence of local disturbances, these changes are referred as the dynamics of forest stands. Changes in the structure of forest stands result in the formation of development phases. The purpose of this study was to identify the structural characteristics of natural beech forests during the stage of growing up volume in the Kheyroud forest. For this purpose, three one-hectare sample plots with structural features of growing up volume stage were selected and the location, diameter and height of all trees within each sample plot with DBH N 7.5 cm were measured. The structural properties of this stage were investigated using a set of indices based on the nearest neighbors. Based on the results, the mean values of uniform angles and Clark and Evans indices were 0.49 and 0.96, respectively, which indicated a random clumped spatial pattern of trees at this stage. The results of the mingling index showed that the tendency of beech trees to mix with other species was low. The results of diameter differentiation index indicated a clear difference and height differentiation index showed a moderate difference in dimensions of trees with each other. In general, using the nearest neighbor indices showed that these indices have a high ability to detect the differentiation of forest stands in the growing up volume stage and thus are useful tools for forest management.

Keywords: Mingling, spatial pattern, diameter differentiation, forest management, nearest neighbor.