

کمی سازی ساختار توده های دست نخورده راش در مراحل مختلف تحولی (مطالعه موردی: منطقه کلاردشت، مازندران)

وحید علی جانی^۱، خسرو ناقب طالبی^{۲*} و رضا اخوان^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگل داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران. پست الکترونیک: saghebtalebi@rifr-ac.ir

۳- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۹

چکیده

ساختار جنگل تحت تأثیر فرایندهای طبیعی و دخالت های بشر می باشد. به منظور مدیریت صحیح جنگل به ابزارهایی نیاز است که با استفاده از آنها بتوان تغییرات ایجاد شده در ساختار جنگل را بررسی کرد. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات ساختار جنگل های طبیعی و دست نخورده راش منطقه کلاردشت، از سه قطعه نمونه یک هکتاری موجود در مراحل اولیه، بلوغ و پوسیدگی استفاده شد. پس از اندازه گیری فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به گوشه جنوب غربی هر قطعه نمونه و ثبت مشخصاتی از جمله نوع گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع، با به کارگیری مجموعه ای از شاخص های مبتنی بر نزدیکترین همسایه، سه ویژگی موقعیت مکانی (شاخص کلارک و ایوانز و زاویه یکنواخت)، آمیختگی (شاخص آمیختگی) و ابعاد درختان (شاخص تمایز قطر برابر سینه و ارتفاع) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق تراکم بیشتر درختان در مرحله اولیه را نشان می دهد. شاخص کلارک و ایوانز نشان دهنده پراکنش کپه ای درختان در مراحل اولیه و پوسیدگی و پراکنش تصادفی درختان در مرحله بلوغ می باشد. همچنین شاخص زاویه یکنواخت بیان می کند که چیدمان درختان در داخل گروه های ساختاری در هر سه مرحله تحولی حالت تصادفی دارد. نتایج شاخص آمیختگی نشان دهنده آمیختگی کمتر مرحله اولیه نسبت به سایر مراحل تحولی می باشد. همچنین نتایج شاخص تمایز قطر برابر سینه و ارتفاع به ترتیب نشان دهنده اختلاف متوسط تا آشکار و اختلاف کم تا متوسط برای درختان هر سه مرحله تحولی می باشد. در پایان با توجه به دست نخورده بودن توده های مورد بررسی، نتایج حاصل از این شاخص ها می تواند به عنوان مبنایی برای مقایسه با سایر جنگل های مشابه و تعیین میزان انحرافات بوجود آمده در اثر فرایندهای طبیعی و دخالت های بشر مورد استفاده قرار گیرد.

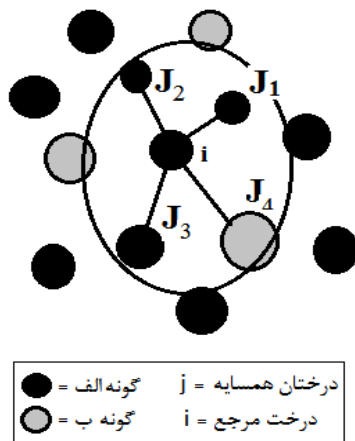
واژه های کلیدی: الگوی مکانی، شاخص آمیختگی، شاخص تمایز، نزدیکترین همسایه، جنگل شاهد.

مقدمه

مختلف ساختار را به سه ویژگی تنوع موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان (قطر برابر سینه و ارتفاع) تقسیم کرده اند (شکل ۱-الف) (Kint *et al.*, 2000, Pommerening, 2002 و Gadow, 2003). موقعیت مکانی درختان که نشان دهنده الگوی پراکنش آنها می باشد، از یکی از الگوهای کپه ای، تصادفی، منظم و یا حالتی بین آنها پیروی می کند. آمیختگی به بررسی نحوه

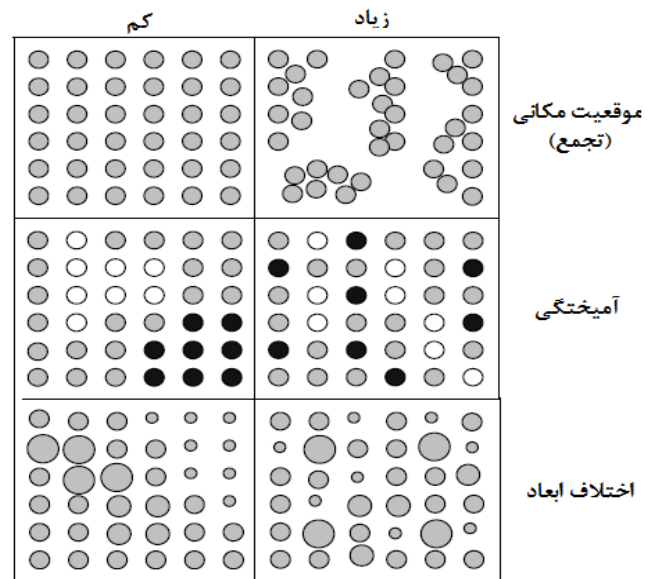
بررسی تنوع زیستی و ساختار جنگل از مهمترین پیش نیازها برای درک و مدیریت اکوسیستم های جنگلی است (Motz *et al.*, 2010). به طور کلی ساختار جنگل چگونگی توزیع ویژگی های درختان در داخل اکوسیستم های جنگلی را مورد بررسی قرار می دهد (Gadow *et al.*, 2012). البته برای درک بهتر ساختار جنگل، محققان

شاخص‌هایی توسعه یافته‌اند که اندازه‌گیری آنها نسبت به سایر شاخص‌ها بمراتب ساده‌تر می‌باشد (Motz *et al.*, 2010). این شاخص‌ها که برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط مؤسسه مدیریت جنگل دانشگاه گوتینگن آلمان توسعه یافتند با دارا بودن عملکردی مشابه ساختار مولکول‌های شیمیایی به بررسی همسایه‌های هر درخت می‌پردازند (شکل ۱-ب) (Pommerening, 2006).



ب

چیدمان گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر می‌پردازد؛ درحالی‌که تنوع ابعاد درختان نشان‌دهنده چیدمان مکانی مشخصه‌هایی از جمله قطر برابر سینه و ارتفاع است (Pommerening, 2006). به منظور بررسی تنوع زیستی و ساختار درختان شاخص‌های زیادی توسعه یافته‌اند که به بررسی سطوح مختلف تنوع زیستی می‌پردازند؛ در سال‌های اخیر به منظور ساده کردن این اندازه‌گیری‌ها،



الف

شکل ۱-الف- ویژگی‌های مختلف ساختار جنگل، ب- یک گروه ساختاری بر مبنای چهار درخت همسایه (هر یک از دایره نشان‌دهنده یک پایه درختی و هر رنگ نشان‌دهنده یک گونه می‌باشد) (Gadow, 2003; Gadow, 2006)

(2012a) و همچنین Alijani *et al.* (2012b) اشاره کرد که با استفاده از قطعات نمونه ۱۰۰۰ متر مربعی به بررسی ساختار گونه‌های مختلف در بخش گرازبن جنگل خیرود نوشهر پرداخته‌اند.

اما در تحقیقات متعددی در خارج از کشور، کاربرد شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه در کمی‌سازی ساختار توده‌های جنگلی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. Kint *et al.* (2000) در بررسی این شاخص‌ها به توانایی زیاد آنها در تشریح دقیق ساختار توده و همچنین بررسی سیر تکامل توده اشاره کردند. همچنین Pommerening (2002) از دیگر مزایای این شاخص‌ها

در رابطه با ساختار جنگل، در داخل کشور مطالعات زیادی انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات (Daneshvar, Mattaji & Namiranian, 2003) و (Eslami & Sagheb-Talebi, 2008) *et al.* (2007) و (Hassani & Amani, 2010) اشاره کرد. اما هیچ‌کدام از این تحقیقات به بررسی ساختار جنگل بر اساس سه ویژگی موقعیت مکانی، آمیختگی و ابعاد درختان نپرداخته‌اند. از تنها تحقیقاتی که در جنگل‌های ایران با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه، به بررسی سه ویژگی ذکر شده پرداخته‌اند، می‌توان به تحقیقات Alijani & Fegghi (2012) و Alijani *et al.*

در چهار منطقه از جنگل‌های هیرکانی از جمله قطعه شاهد لنگای کلاردشت در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در دست انجام است (Sagheb-Talebi, 2012). در این تحقیق به منظور بررسی ساختار مراحل مختلف تحولی راشستان‌ها، از سه قطعه نمونه پیاده شده در پارسل شاهد شماره ۱۳۹ واقع در سری ۱ طرح جنگل‌داری لنگای کلاردشت استفاده شد. از مهمترین ویژگی جنگل‌های این منطقه که بررسی ساختار آن را ضرورت می‌بخشد، عدم وجود دخالت‌های انسانی می‌باشد، بنابراین می‌توان جنگل‌های این منطقه را به‌عنوان نمونه‌ای از جنگل‌های دست‌نخورده و مدیریت نشده شناخت (Akhavan *et al.*, 2012). منطقه مورد بررسی دارای ارتفاعی حدود ۱۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریاست و با دارا بودن بارندگی سالانه ۱۳۰۰ میلی‌متر در سال و دمای سالانه ۸ درجه سانتی‌گراد فاقد فصل خشک است. همچنین منطقه مورد مطالعه دارای خاک قهوه‌ای جنگلی و pH اسیدی بوده و به‌طور کلی دارای دو تیپ جنگلی راش خالص و راش-ممرز همراه با سایر پهن‌برگان می‌باشد (Anonymous, 1998).

جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق با استفاده از سه قطعه نمونه یک هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر) که هر کدام در یکی از مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی جنگل قرار دارند، جمع‌آوری شد (شکل ۲). تشخیص این مراحل با استفاده از تجربیات و همچنین تعاریف موجود (Korpel, 1995; Delphan Abazari *et al.*, 2004; Sagheb-Talebi *et al.*, 2005; Mattaji & Sagheb-Talebi, 2007 صورت پذیرفت. در انتخاب این سه قطعه نمونه علاوه بر در نظر گرفتن مراحل تحولی سعی شد که هر سه قطعه نمونه از نظر خاک، اقلیم و عوامل توپوگرافی دارای شرایط یکسانی باشند، بنابراین تنها تفاوت از نظر مرحله تحولی توده می‌باشد و سایر عوامل در ساختار این سه قطعه نمونه نقش ندارند.

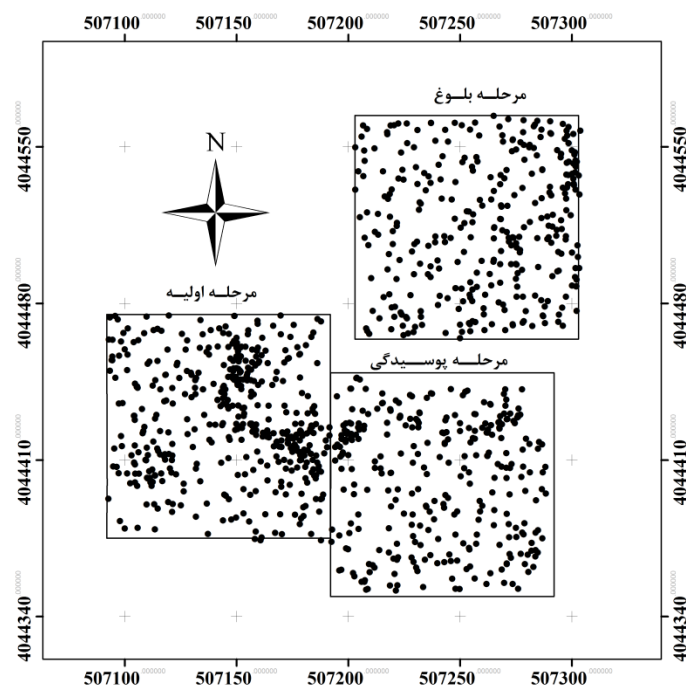
به توانایی بکار بردن آنها در اندازه‌گیری اختلافات بین توده‌ها در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، تعیین اختلاف بین ساختار جنگل مشاهده شده و مورد انتظار و همچنین کمی‌سازی تغییرات حاصل از عملیات بهره‌برداری اشاره کرد. در تحقیقی دیگر (Aguirre *et al.*, 2003) از مزایای این شاخص‌ها به عدم نیاز به ثبت موقعیت درختان و اندازه‌گیری فاصله بین آنها اشاره و بیان کردند که ارزیابی ساختار جنگل با استفاده از این شاخص‌ها کامل‌تر و راحت‌تر از روش‌های سنتی می‌باشد. در تحقیقی که Pommerening & Stoyan (2006) انجام دادند، ضمن تشریح مشکل درختان مرزی در تشکیل گروه‌های ساختاری، بیان کردند که استفاده از روش تصحیح حاشیه نزدیکترین همسایه (Nearest neighbour) در صورت وجود تعداد کافی درخت در قطعات نمونه می‌تواند مفید باشد. همچنین Kint (2005) کاربرد نتایج حاصل از این شاخص‌ها را در مدیریت پایدار جنگل و به‌ویژه در رابطه با گونه‌های در معرض انقراض (Ruprecht *et al.*, 2010) توصیه کرد.

با توجه به اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی زیاد راشستان‌های شمال ایران، لازم است تا مطالعات کاملی در رابطه با ساختار این جنگل‌ها انجام گیرد. از آن جا که راشستان‌های قطعه شاهد لنگای کلاردشت جزء توده‌های نسبتاً دست‌نخورده می‌باشند، با کمی‌سازی ساختار این جنگل‌ها در مراحل مختلف تحولی علاوه بر این که کارایی این شاخص‌ها در کمی‌سازی ساختار این جنگل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، نتایج حاصل از این بررسی می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مدیریت پایدار و فعالیت‌های جنگل‌شناسی همگام با طبیعت مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

طرح ملی «شناخت و ویژگی‌های مناسب راشستان‌های شمال کشور برای اعمال جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت»



شکل ۲- موقعیت سه قطعه نمونه مورد بررسی نسبت به یکدیگر (نقاط موقعیت درختان در هر قطعه را نشان می دهند).

قطر و ارتفاع درختان را محاسبه و ارتفاع تمامی درختان استخراج گردید.

شاخص های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور کمی سازی ساختار جنگل های مورد مطالعه از شاخص های کلارک و ایوانز (Clark and Evans)، زاویه یکنواخت (Uniform angle)، آمیختگی (Mingling)، تمایز قطر برابر سینه (DBH differentiation)، تمایز ارتفاع (Height differentiation) و همچنین فاصله تا همسایه ها (Distance to neighbors) استفاده شد. در جدول ۱ شاخص های بکار رفته در این تحقیق به طور مختصر تشریح شده اند.

به منظور جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، پس از تعیین مختصات گوشه جنوب غربی هر سه قطعه نمونه، با استفاده از دستگاه VERTEX III و قطب نماي سونتو، آزمون و فاصله درختان نسبت به گوشه جنوب غربی تعیین و بعد با استفاده از روابط مثلثاتی فاصله هر درخت نسبت به دو ضلع منتهی به گوشه جنوب غربی قطعه نمونه تعیین شد. همچنین علاوه بر مختصات هر درخت مشخصه هایی مانند نوع گونه، قطر برابر سینه درختان بیشتر از ۷/۵ سانتی متر و همچنین در نواری به عرض ۱۰ متر و طول ۱۰۰ متر در وسط هر قطعه نمونه ارتفاع تمام درختان موجود (به منظور ترسیم منحنی ارتفاع) اندازه گیری شد. سپس با استفاده از منحنی ارتفاع، رابطه بین

جدول ۱- تشریح شاخص های ساختاری مبتنی بر نزدیکترین همسایه

منبع	تشریح	معادله	نام شاخص /تابع	ویژگی مورد بررسی
Pommerening, 2002	$E(r) = \frac{1}{2 \times \sqrt{\frac{N}{A}}}$	$R = \frac{\bar{\gamma}_{observed}}{E(r)}$	کلارک و ایوانز	موقعیت مکانی
Corral et al., 2010	$v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow \alpha_j \geq \alpha_0 \end{cases}$	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	زاویه یکنواخت	
Graz, 2004	$v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{گونه } j \neq \text{گونه } i \\ 0 \rightarrow \text{گونه } j = \text{گونه } i \end{cases}$	$DM_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	آمیختگی	آمیختگی
Ruprecht et al., 2010	$r_{ij} = \frac{\text{قطر کوچکتر}}{\text{قطر بزرگتر}}$	$TD_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز قطر برابر سینه	ابعاد درختان
Ruprecht et al., 2010	$r_{ij} = \frac{\text{ارتفاع کوچکتر}}{\text{ارتفاع بزرگتر}}$	$HD_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز ارتفاع	
Ruprecht et al., 2010	$S_{ij} = \text{فاصله درخت مرجع تا همسایه ها}$	$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 S_{ij}$	فاصله تا همسایه ها	تراکم درختان

مقدار شاخص زاویه یکنواخت به هنگام استفاده از چهار درخت همسایه (Aguirre et al., 2003; Graz, 2004; Gadow 2006; Corral et al., 2010) یکی از ارزش های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ بدست می آید که ارزش صفر نشان دهنده چیدمان منظم، ۰/۵۰ چیدمان تصادفی و ۱ چیدمان کپه ای می باشد.

دومین ویژگی ذکر شده برای بررسی ساختار جنگل، آمیختگی گونه ای می باشد. به منظور بررسی این ویژگی از شاخص آمیختگی که اساس کار آن بر مبنای مقایسه نوع گونه درخت مرجع نسبت به درختان همسایه است، استفاده شد. به هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از مقادیر صفر (گونه همه همسایه ها مشابه گونه مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایه دارای گونه متفاوت نسبت به درخت مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه دارای گونه متفاوت نسبت به درخت مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه دارای گونه متفاوت نسبت به درخت مرجع) و ۱ (گونه هیچ کدام از همسایه ها مشابه گونه مرجع نمی باشند) بدست می آید (Ruprecht et al., 2010). به عبارت دیگر با افزایش مقدار

شاخص کلارک و ایوانز برای تعیین میزان انحرافی که یک جنگل از توزیع پواسون (Poisson) دارد استفاده می شود. در این شاخص $\bar{\gamma}_{observed}$ میانگین فاصله درختان نسبت به نزدیکترین همسایه خود در توده مورد بررسی می باشد، در حالی که $E(\gamma)$ مقدار این فاصله در یک جنگل با توزیع کاملاً تصادفی (جنگل پواسون) و دارای N درخت در سطحی برابر با A می باشد (Pommerening, 2002). هنگام بررسی یک جنگل با توزیع تصادفی، مقدار این شاخص برابر ۱ و در جنگل هایی با توزیع کپه ای و منظم مقدار این شاخص به ترتیب کمتر و بیشتر از ۱ بدست می آید (Kint et al., 2000). دومین شاخصی که در این تحقیق برای بررسی موقعیت مکانی درختان انتخاب شد، شاخص زاویه یکنواخت می باشد. این شاخص با مقایسه زاویه بین درختان همسایه (α_i) و زاویه استاندارد (α_0) (رابطه ۱) به بررسی منظم بودن موقعیت مکانی درخت مرجع نسبت به درختان همسایه خود می پردازد.

رابطه (۱) $\alpha_0 = 360 / \text{number of neighbor} + 1$

این شاخص، آمیختگی در توده مورد بررسی افزایش می‌یابد (Graz, 2004).

همچنین در این تحقیق به منظور بررسی ابعاد قطری و ارتفاعی درختان (ویژگی سوم ساختار جنگل)، از شاخص‌های تمایز قطر برابرسینه و تمایز ارتفاع استفاده شد. نتایج حاصل از این دو شاخص که به بررسی میزان اختلاف قطر برابرسینه و ارتفاع درختان همسایه در داخل توده می‌پردازد، بین صفر (بدون اختلاف) تا ۱ (ناهمگنی زیاد در میان درختان همسایه) در نوسان است. به منظور سهولت در تفسیر نتایج این دو شاخص، ارزش‌های آن به پنج طبقه اختلاف کم (۰-۰/۲)، متوسط (۰/۲-۰/۴)، آشکار (۰/۴-۰/۶)، زیاد (۰/۶-۰/۸) و خیلی زیاد (۰/۸-۱) تقسیم می‌شوند (Kint et al., 2000).

یکی از معایب شاخص‌های ذکر شده در بالا، در نظر نگرفتن تراکم توده‌های جنگلی می‌باشد؛ بگونه‌ای که به هنگام مقایسه دو جنگل با چیدمان مشابه ولی تراکم‌های متفاوت، اختلافات به خوبی نشان داده نمی‌شوند. به همین منظور شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها به طور مکمل با شاخص‌های دیگر در کمی‌سازی ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ruprecht et al., 2010). بنابراین با استفاده از این شاخص به راحتی می‌توان به مقایسه توده‌های مختلف در زمان‌ها و مکان‌های مختلف پرداخت.

اما مسئله بسیار مهمی که به هنگام کمی‌سازی ساختار جنگل با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه باید در نظر گرفت، تأثیر حاشیه قطعات نمونه بر

روی تشکیل گروه‌های ساختاری می‌باشد، هر گروه ساختاری عبارت است از یک درخت مرجع و چهار درخت همسایه آن. به عبارت دیگر، ممکن است به هنگام تشکیل گروه‌های ساختاری نزدیک به مرز قطعه نمونه، یک یا چند درخت همسایه خارج از مرز قرار گرفته و در نتیجه عدم توجه به این موضوع سبب ایجاد انحراف در محاسبه شاخص‌های یاد شده شوند. در این تحقیق برای جلوگیری از این انحراف از روش تصحیح حاشیه نزدیکترین همسایه (NN_1) استفاده شد. در این روش برای هر درخت با توجه به چیدمان مکانی آن تصمیم گرفته می‌شود که در محاسبات ساختار وارد شود یا خیر. به عبارت دیگر، تنها در صورتی درخت i به عنوان درخت مرجع انتخاب می‌شود که فاصله آن تا n مین درخت همسایه بیشتر یا مساوی با فاصله آن تا n مین درخت همسایه باشد (Pmmerening & Stoyan, 2006).

در این تحقیق، تمامی محاسبات مربوط به شاخص‌های ساختاری و همچنین انجام عملیات تصحیح حاشیه با استفاده از مجموعه نرم‌افزاری Crancod با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌نویسی در محیط برلند دلفی مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی پاسکال، انجام شد.

نتایج

مشخصات کمی سه قطعه نمونه یک هکتاری برداشت شده به منظور شناخت بهتر وضعیت توده‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات کمی سه قطعه نمونه یک هکتاری برداشت شده

مرحله تحولی	تعداد درخت	حداقل قطر	حداکثر قطر	میانگین قطر	ضریب تغییرات قطر
اولیه	۴۵۴	۷/۵	۱۵۴	۲۷/۶	٪۸۴
بلوغ	۳۳۶	۷/۵	۱۱۰	۳۶/۸	٪۵۵
پوسیدگی	۳۰۲	۷/۵	۹۷	۳۵/۸	٪۵۹

پوسیدگی محاسبه شد. در جدول ۳ تعداد گروه های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه به روش نزدیکترین همسایه و همچنین فراوانی گروه های ساختاری که راش به عنوان درخت مرجع می باشد، ارائه شده است.

همچنین به منظور مطالعات ساختاری، پس از تصحیح حاشیه و حذف گروه های ساختاری که دارای یک یا چند همسایه در خارج از مرز قطعه نمونه بودند، شاخص های ساختاری مذکور در سه مرحله تحولی اولیه، بلوغ و

جدول ۳- تعداد گروه های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه با استفاده از روش نزدیکترین همسایه

مراحل تحولی	تعداد گروه ساختاری قبل از تصحیح حاشیه	تعداد گروه ساختاری بعد از تصحیح حاشیه	فراوانی گروه ساختاری راش
مرحله اولیه	۴۵۴	۳۹۲	٪۹۰/۰۵
مرحله بلوغ	۳۳۶	۲۵۱	٪۸۵/۶۵
مرحله پوسیدگی	۳۰۲	۲۶۱	٪۸۹/۶۵

همسایه یک گروه ساختاری، دو زاویه کوچکتر و دو زاویه بزرگتر از زاویه مرجع است.

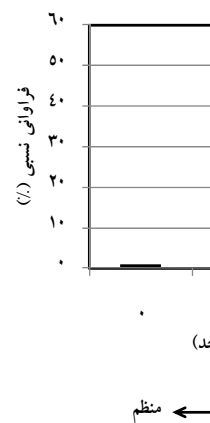
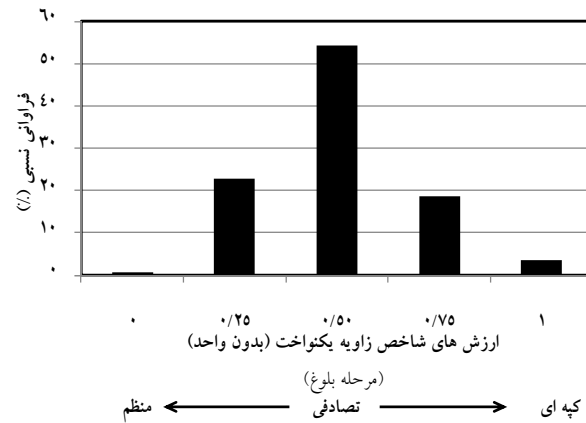
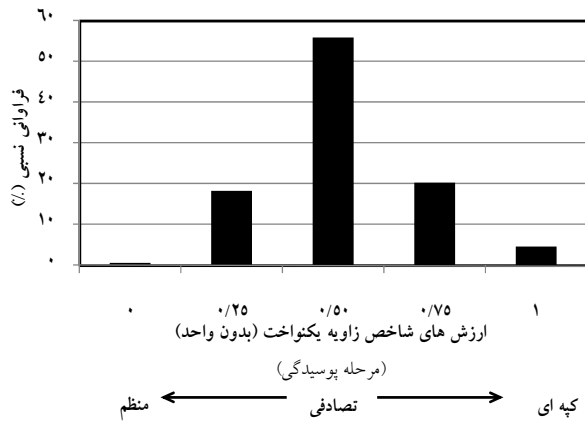
میانگین حاصل از شاخص آمیختگی که به بررسی آمیختگی درختان همسایه در سه مرحله تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی پرداخته در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از این شاخص به ترتیب در مراحل اولیه، پوسیدگی و بلوغ افزایش می یابد. به عبارتی دیگر مرحله اولیه دارای آمیختگی کمتری نسبت به سایر مراحل است. شکل ۴ نشان دهنده توزیع گروه های ساختاری در هر یک از طبقات ۱-۰ می باشد. با توجه به شکل ۴ بیشترین فراوانی گروه های ساختاری در طبقه صفر می باشد که بیانگر یکسان بودن چهار درخت همسایه با گونه درخت مرجع می باشد.

سومین ویژگی ساختار جنگل اختلاف ابعاد درختان است. میانگین شاخص تمایز قطر برابر سینه (جدول ۴) نشان دهنده اختلاف قطری متوسط تا آشکار برای درختان همسایه در هر سه مرحله تحولی است. از آن جا که ارتفاع تمامی درختان در این تحقیق اندازه گیری نشده بود، برای محاسبه ارتفاع درختان راش از منحنی ارتفاع استفاده شد (شکل ۵) و ارتفاع سایر گونه های درختی به علت تعداد کم داده های ارتفاعی آنها محاسبه نگردید. به همین دلیل

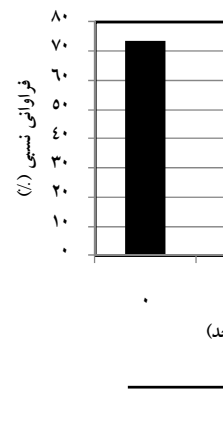
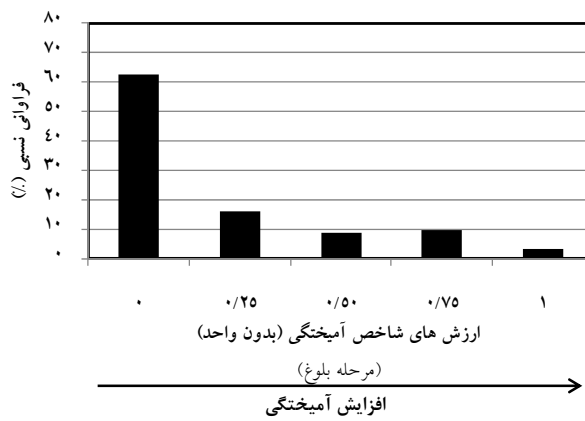
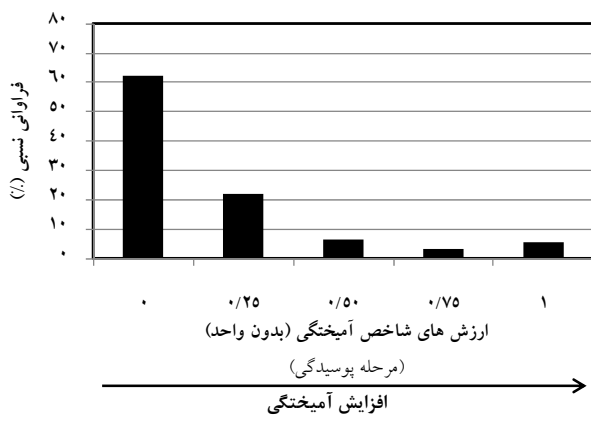
نتایج حاصل از شاخص کلارک و ایوانز (جدول ۴) نشان دهنده الگوی مکانی کپه ای درختان در مراحل اولیه و پوسیدگی می باشد. هر چند که میانگین این شاخص در مرحله اولیه (۰/۸۸) به مقدار بسیار ناچیزی کمتر از مرحله پوسیدگی (۰/۸۹) است که نشان دهنده تمایل بیشتر مرحله اولیه به داشتن الگوی کپه ای می باشد، ولی این تفاوت بسیار جزئی است. بر خلاف دو مرحله اولیه و پوسیدگی، میانگین شاخص کلارک و ایوانز در مرحله بلوغ بیان کننده الگوی مکانی تصادفی درختان می باشد. بکارگیری شاخص زاویه یکنواخت به طور مکمل با شاخص کلارک و ایوانز نشان دهنده چیدمان تصادفی درختان همسایه در سه مرحله تحولی می باشد (جدول ۴). نتایج حاصل از این شاخص بیان کننده این مطلب است که هر چند در مراحل اولیه و پوسیدگی درختان به شکل کپه ای قرار دارند، ولی در داخل کپه ها درختان به شکل تصادفی چیده شده اند. در شکل ۳ به منظور درک بهتر از توزیع گروه های ساختاری در طبقات مختلف صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱، فراوانی نسبی گروه های ساختاری در طبقات ذکر شده، ارائه شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، بیشترین فراوانی گروه های ساختاری در طبقه ۰/۵ می باشد که بیان کننده این مطلب است که از چهار زاویه بین درختان

اختلاف بین کوچکترین و بزرگترین درخت از نظر ویژگی مورد بررسی بیشتر می‌شود. به‌منظور مقایسه فاصله بین درختان همسایه در سه مرحله ذکر شده، شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه‌ها بکار گرفته شد. نتایج حاصل از این شاخص (جدول ۴) نشان‌دهنده افزایش فاصله بین درختان طی مراحل اولیه، پوسیدگی و بلوغ می‌باشد. البته لازم به ذکر است که علاوه بر تعداد درختان، الگوی پراکنش درختان نیز بر نتایج حاصل از این شاخص تأثیرگذار می‌باشد.

تعدادی از گروه‌های ساختاری که دارای گونه‌های دیگر بودند حذف و محاسبات مربوط به شاخص تمایز ارتفاع برای مراحل اولیه، بلوغ و پوسیدگی به‌ترتیب با ۲۸۸، ۱۶۶ و ۱۷۸ گروه ساختاری انجام شد. نتایج حاصل از این شاخص (جدول ۴) نشان‌دهنده اختلاف کم تا متوسط درختان از نظر ارتفاعی می‌باشد. همچنین به‌منظور درک بهتر از توده‌های مورد بررسی، نمودارهای توزیع گروه‌های ساختاری برای دو شاخص تمایز قطر برابرسینه و ارتفاع به‌ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. این دو شاخص هر چه از ارزش صفر به سمت ۱ میل کنند،

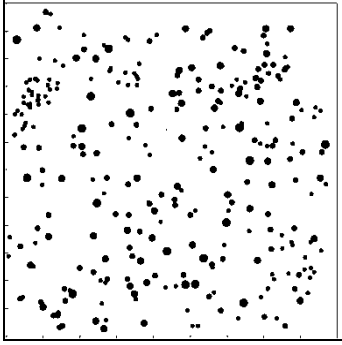
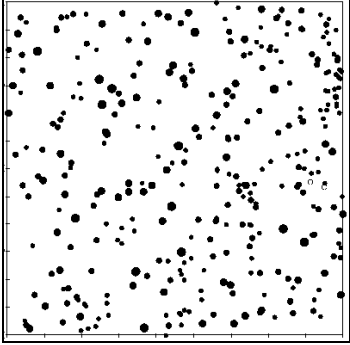
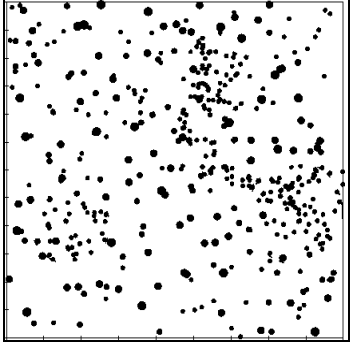


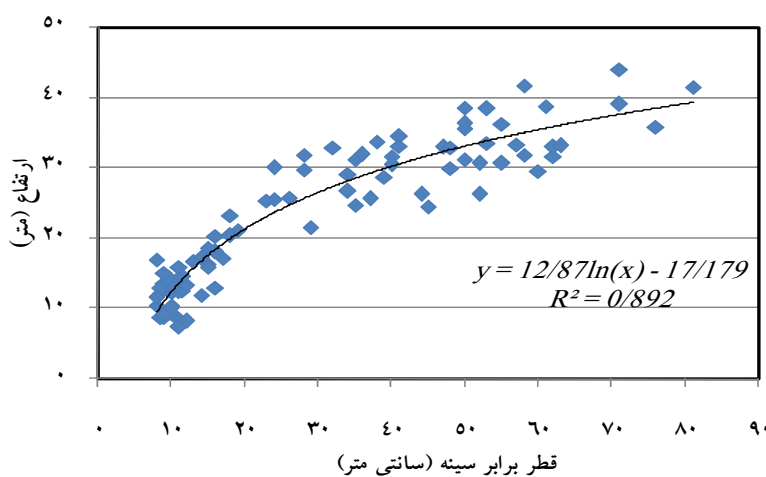
شکل ۳- نمودارهای توزیع مقادیر شاخص زاویه یکنواخت در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی



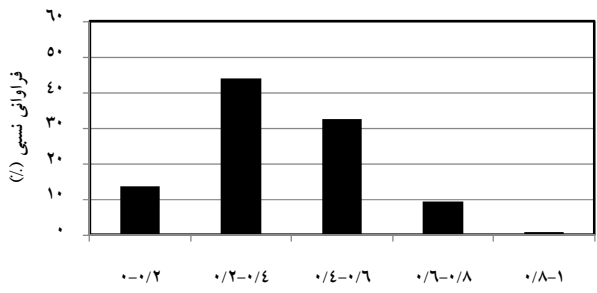
شکل ۴- نمودارهای توزیع مقادیر شاخص آمیختگی در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی

جدول ۴- میانگین شاخص‌های ساختار جنگل در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی

مرحله پوسیدگی	مرحله بلوغ	مرحله اولیه	
			
۰/۸۹ (کپه‌ای)	۰/۹۷ (تصادفی)	۰/۸۸ (کپه‌ای)	R
۰/۵۲ (تصادفی)	۰/۵۰ (تصادفی)	۰/۵۲ (تصادفی)	\bar{W}_i
۰/۱۷ (آمیختگی متوسط)	۰/۱۹ (آمیختگی بیشتر)	۰/۱۳ (آمیختگی کمتر)	\overline{DM}_i
۰/۳۸ (اختلاف قطری متوسط تا آشکار)	۰/۳۷ (اختلاف قطری متوسط تا آشکار)	۰/۳۷ (اختلاف قطری متوسط تا آشکار)	\overline{TD}_i
۰/۲۵ (اختلاف ارتفاعی متوسط)	۰/۲۳ (اختلاف ارتفاعی کم تا متوسط)	۰/۲۹ (اختلاف ارتفاعی متوسط)	\overline{HD}_i
۴/۱۴ (فاصله بین درختان متوسط)	۴/۴۲ (فاصله بین درختان زیاد)	۲/۸۴ (فاصله بین درختان کم)	\overline{D}_i

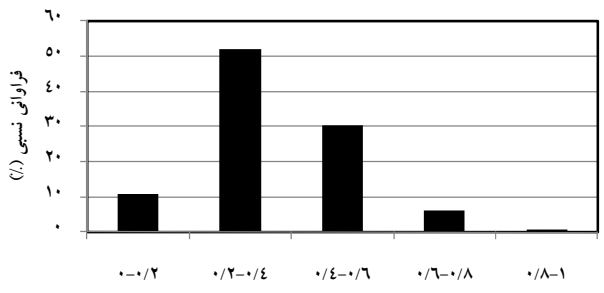


شکل ۵- منحنی ارتفاع گونه راش در منطقه کلاردشت



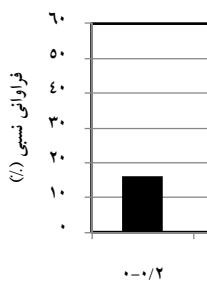
ارزش های شاخص اختلاف قطری (بدون واحد)
(مرحله پوسیدگی)

اختلاف کم	اختلاف متوسط	اختلاف آشکار	اختلاف زیاد	اختلاف خیلی زیاد
-----------	--------------	--------------	-------------	------------------



ارزش های شاخص اختلاف قطری (بدون واحد)
(مرحله بلوغ)

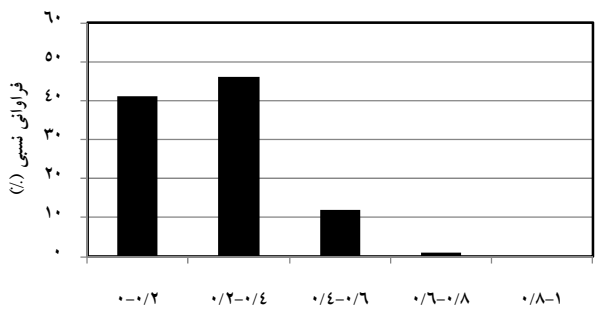
اختلاف کم	اختلاف متوسط	اختلاف آشکار	اختلاف زیاد	اختلاف خیلی زیاد
-----------	--------------	--------------	-------------	------------------



(واحد)

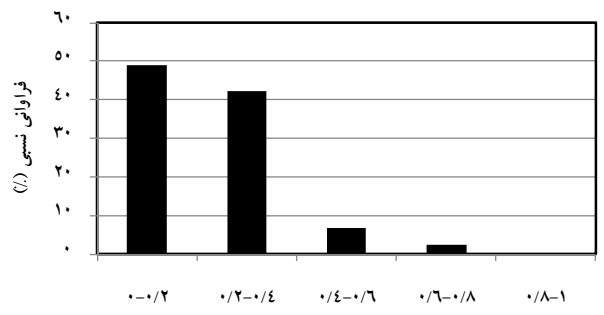
اختلاف کم

شکل ۶- نمودارهای توزیع مقادیر شاخص تمایز قطر برابر سینه در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی



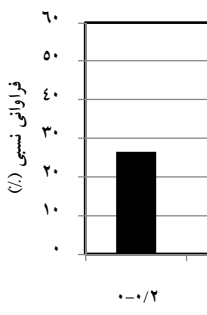
ارزش های شاخص اختلاف ارتفاعی (بدون واحد)
(مرحله پوسیدگی)

اختلاف کم	اختلاف متوسط	اختلاف آشکار	اختلاف زیاد	اختلاف خیلی زیاد
-----------	--------------	--------------	-------------	------------------



ارزش های شاخص اختلاف ارتفاعی (بدون واحد)
(مرحله بلوغ)

اختلاف کم	اختلاف متوسط	اختلاف آشکار	اختلاف زیاد	اختلاف خیلی زیاد
-----------	--------------	--------------	-------------	------------------



(واحد)

اختلاف کم

شکل ۷- نمودارهای توزیع مقادیر شاخص تمایز ارتفاع در مراحل تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی

بحث

با وجود این که درختان در جای خود ثابت هستند، ولی توده‌های جنگلی در زمان و مکان‌های مختلف دارای تغییراتی در ساختار خود می‌باشند. از عوامل مؤثر در این تغییرات می‌توان به فرایندهایی از جمله تجدیدحیات، رویش و مرگ و میر درختان اشاره کرد. بنابراین می‌توان بیان نمود که ساختار جنگل اثرات متقابلی با فرایندهایی از جمله تجدیدحیات، رویش و مرگ و میر دارد. بررسی ساختار جنگل و مدیریت آن نه تنها از نظر اکولوژیست‌ها جذاب می‌باشد؛ بلکه از نظر اقتصاددانان نیز بسیار مفید است. به گونه‌ای که یک جنگل با ساختار ناهمسال و آمیخته بمراتب نسبت به خطرات طبیعی مقاوم‌تر بوده و همچنین می‌تواند دارای تولیدات پایدار بیشتری باشد.

نتایج حاصل از شاخص‌های بکار رفته در این تحقیق نشان‌دهنده وجود کپه‌های درختان در دو مرحله اولیه و پوسیدگی است، البته باید بیان نمود که مرحله اولیه دارای تمایل بیشتری به حالت کپه‌ای می‌باشد. پژوهشگرانی مانند Habashi et al. (2007)، Hassani & Amani (2010) و Akhavan et al. (2012) علت پراکنش کپه‌ای گونه راش را در خصوصیات اکولوژیکی این گونه از جمله بذره‌های سنگین، سایه‌پسندی و داشتن زادآوری لکه‌ای می‌دانند. اما نکته قابل توجه، وجود چیدمان تصادفی درختان داخل کپه‌ها نسبت به یکدیگر بود که حکایت از طبیعی بودن جنگل‌های منطقه مورد مطالعه داشت. بررسی موقعیت مکانی درختان مرحله بلوغ، وجود الگوی مکانی تصادفی را برای این مرحله نشان داد که نشان‌دهنده حذف تعداد زیادی از درختان داخل خوشه‌ها به علت رقابت موجود در مرحله اولیه می‌باشد. همچنین حذف این درختان سبب افزایش فاصله بین درختان همسایه می‌شود. نتایج حاصل از بررسی موقعیت مکانی در این تحقیق با نتایج Akhavan et al. (2010) که با استفاده از تابع K راپیلی به بررسی الگوی مکانی جنگل مورد بررسی در این تحقیق پرداختند، هماهنگی دارد. همچنین Kint et al.

(2000) بیان کردند که علاوه بر تغییرات حاصل از فرایندهای طبیعی، مدیریت توده‌ها نیز سبب تغییر در موقعیت مکانی درختان می‌شود؛ به گونه‌ای که در توده‌های مدیریت شده با تنک کردن خوشه‌ها به نفع درختان مرغوب، الگوی مکانی به سمت منظم شدن پیش می‌رود. طی مقایسه‌ای که Commarmot et al. (2005) بر روی دو توده راش بکر و مدیریت شده انجام دادند، بیان کردند که در توده مدیریت شده درختان اشکوب بالایی تحت تأثیر تنک کردن از بالا دارای توزیع منظم شده‌اند، درحالی‌که درختان در اشکوب پایینی و میانی پراکنش خوشه‌ای داشتند. در جنگل بکر درختان مسن با قطر بیشتر از ۸۰ سانتی‌متر دارای پراکنش تصادفی و درختان اشکوب‌های میانی و پایینی تحت تأثیر زادآوری انجام شده در روزه‌های حاصل از خشک‌دارها، پراکنش خوشه‌ای داشتند.

با وجود اختلاف کم در مقادیر شاخص آمیختگی در سه مرحله تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی؛ هر سه ارزش نشان‌دهنده آمیختگی کم درختان به دلیل فراوانی بیشتر راش بوده است. نتایج حاصل از این شاخص نشان‌دهنده وجود رقابت درون گونه‌ای در سه توده مورد بررسی (به‌ویژه مرحله اولیه) می‌باشد. Akhavan & Sagheb (2012) بیان کردند که سرشت سایه‌پسندی راش و رقابت درون گونه‌ای آن در طول زمان و در مراحل مختلف تحولی جنگل تغییر می‌کند که به همراه محدودیت پراکنش بذر آن سبب ایجاد الگوهای پراکنش مختلف می‌شود. همچنین Pommerening (2002) ضمن تشریح ساختار درختان بلوط و راش بیان می‌کند که آمیختگی گونه‌ای به‌طور مستقیم تحت تأثیر موقعیت مکانی درختان قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال تمایل گونه راش به داشتن الگوی مکانی کپه‌ای سبب شده که بیشتر درختان مجاور این گونه را پایه‌هایی از همان گونه تشکیل دهند، درحالی‌که الگوی مکانی تصادفی گونه بلوط سبب آمیختگی زیاد این گونه با سایر گونه‌ها می‌باشد. Alijani

پیشنهاد می‌شود که به‌منظور کسب اطلاعات بیشتر از تغییرات ساختار جنگل در مراحل مختلف تحولی، ساختار این توده‌های جنگلی طی دوره‌های زمانی پایش شود. همچنین لازم است که کاربرد نتایج حاصل از این شاخص‌ها در عملیات جنگل‌شناسی، بهره‌برداری، جنگل‌کاری و احیای جنگل مورد بررسی و استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

References

- 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.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, KH., 2012. Application of bivariate Ripley's *K*-function for studying competition and spatial association of trees (Case study: intact Oriental beech stands in Kelardasht). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 632-644.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, KH., Hassani, M. and Parhizkar, P., 2010. Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2): 322-336.
- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, KH., Zenner, E.k. and 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. and Feghhi, J., 2012. Investigation on the elm (*Ulmus glabra* Hudson) spatial structure to applying for sustainable management (Case Study: Gorazbon district, Kheirud Forest). *Journal of Environmental Studies*, 37(60): 35-44.
- Alijani, V., Feghhi, J. and Marvi Mohadjer, M.R., 2012a. Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheirud forest). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(3): 175-188.
- Alijani, V., Feghhi, J., Zobeiri, M. and Marvi Mohadjer, M.R., 2012b. Quantifying the Spatial Structure in Hyrcanian Submountain Forest (Case Study: Gorazbon District of Kheirud Forest-Noushahr-Iran). *Iranian Journal of Natural Resources*. 65(1): 111-125.
- Anonymous, 1998. Management plan of district1 of Langa Forest, watershed basin No.36 (Kazemrood), Natural Resources Department of Noushahr Township, 450 p.
- Commarmot, B., Bachofen, H., Bundziak, Y., Bürgi, A., Ramp, B., Shparyk, Y., Sukhariuk, D., Viter, R., and Zingg, A., 2005. Structures of virgin and *et al.* (2012a) با مقایسه آمیختگی گونه راش و بلوط بیان کردند که میزان اختلاف مطلق بین نمودارهای توزیع مقادیر این دو گونه برابر ۵۹/۳ درصد می‌باشد که میزان زیاد این ارزش به‌خوبی نمایانگر تفاوت موجود بین آمیختگی این دو گونه می‌باشد. همچنین مدیریت توده بر روی ترکیب گونه‌ای بدون تأثیر نمی‌باشد، به گونه‌ای که در جنگل‌های مورد مطالعه (Commarmot *et al.* (2005)، مدیریت توده‌های راش سبب افزایش تنوع گونه‌های درختی نسبت به جنگل بکر شده بود.
- ویژگی سوم ساختار جنگل که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، اختلاف ابعاد درختان نسبت به یکدیگر می‌باشد. درختان مورد بررسی در هر سه مرحله تحولی از نظر قطر برابر سینه دارای اختلاف متوسط تا آشکار و از نظر ارتفاعی دارای اختلاف کم تا متوسط می‌باشند. (Pommerening (2002 بیان می‌کند که علاوه بر سن و مراحل تکاملی توده، مدیریت جنگل نیز بر اختلاف ابعاد درختان مؤثر است. به‌طور مثال در توده بلوطی که Kint *et al* (2000) بررسی کردند، برداشت پایه‌های قطور گیلاس وحشی در مجاورت بلوط سبب افزایش اختلاف قطری توده مورد بررسی شده بود. همچنین رابطه بین قطر درختان و رقابت موجود در توده‌های راش را Akhavan & Sagheb-Talebi (2012) به‌طور مفصل بحث نموده‌اند. با وجود این که میانگین شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، اطلاعات مناسبی را ارائه می‌دهند؛ ولی Aguirre (2003) *et al.* پیشنهاد کردند که به‌منظور درک بهتر از ساختار درختان از نمودارهای توزیع مقادیر شاخص‌های مذکور در طبقات مختلف استفاده شود (شکل‌های ۳، ۴، ۶ و ۷).
- شاخص‌های بکار رفته در این تحقیق دارای توانایی زیادی در کمی‌سازی ساختار جنگل و تشریح ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های درختی می‌باشند. از مزیت‌های این شاخص‌ها نسبت به روش‌های کلاسیک می‌توان به آسانی اندازه‌گیری، ارزان بودن و صحت زیاد اشاره کرد. در پایان

- 18(2): 163-176.
- Kint, V., 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management*, 214: 237-250.
 - 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. *Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 1: 147-163.
 - Korpel, S., 1995. *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer, Berlin, 310 p.
 - Mattaji, A. and Namiranian, M., 2003. Investigation the structure and evolution process of beech forests natural stands in north of Iran (Case study: Kheyroud-Kenar, Noushahr). *Iranian Journal of Natural Resources*, 55(4): 531-541.
 - Mattaji, A. and Sagheb-Talebi, KH., 2007. Development stages and dynamic of two oriental beech (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheiroudkenar-Noushahr. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 15(4): 398-416.
 - Motz, K., Sterba, H. and Pommerening, A., 2010. Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management*, 260: 1985-1996
 - Pommerening, A., 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 3: 305-324.
 - Pommerening, A., 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 224: 266-277.
 - Pommerening, A. and Stoyan, D., 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1723-1739.
 - 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.
 - Sagheb-Talebi, KH., 2012. Primary report of national plan of recognition the appropriate properties of Oriental beech forests for applying close to nature silvicultural system in north of Iran. *Research Institute of Forests and Rangelands*, Tehran, 32 p.
 - Sagheb-Talebi, KH., Delfan Abazari, B. and Namiranian, M., 2005. Regeneration process in natural un-even aged Caspian beech forests of Iran. *Swiss Forestry Journal*, 156(12): 477-480.
 - managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study. *Forest Snow Landscape Research*, 79(1/2): 45-56.
 - Corral, J.J., Wehenkel, C., Castelanos, H.A., Vargas, B. and Dieguez, U., 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *Journal of Forest Research*, 15: 218-225.
 - Daneshvar, A., Rahmani, R. and Habashi, H., 2007. The heterogeneity of structure in mixed beech forest (case study: Shastkalateh, Gorgan. *Journal of Agriculture Science and Natural Resource*, 14(4): 20-31.
 - Delphan Abazari, B., Sagheb-Talebi, KH, and Namiranian, M., 2004. Development stages and dynamic of undisturbed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Kelardasht region (Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 12(3): 307-325.
 - Eslami, A.R. and Sagheb-Talebi, KH., 2008. Investigation on the structure of pure and mixed beech forests in north of Iran. *Pajouhesh & Sazandegi*, 77: 39-46.
 - Gadow, K.V., 2006. *Forsteinrichtung, Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip*. University of Göttingen, 163 p.
 - Gadow, K.V., 2003. *Waldstruktur und Wachstum*. Universitätsdrucke Göttingen, 241 p.
 - Gadow, K.V., Zhang, C.Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Myklush, S., Hui, G.Y., Kiviste, A. and Zhao, X.H., 2012. Forest structure and diversity, 29-83. In: Pukkala, T. and Gadow, K.V. (Eds.). *Continuous cover forestry*. 2nd edition, *Managing Forest Ecosystem* 23. Springer, Dordrecht, 296 p.
 - Graz, P.F., 2004. The behavior of the species mingling index M_{sp} in relation to species dominance and dispersion. *European Journal of Forest Research*, 123: 87-92.
 - Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. and 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: 55-64.
 - 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*,

Quantifying structure of intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands at different development stages (Case study: Kelardasht area, Mazandaran)

V. Alijani¹, Kh. Sagheb-Talebi^{2*} and R. Akhavan³

1- PhD student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2*- Corresponding Author, Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran. E-mail: saghebtalebi@rifr-ac.ir

3- Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran

Received: 09.12.2012

Accepted: 08.05.2013

Abstract

Forest structure is influenced by natural processes and human interventions. For proper forest management, some tools are required to study changes made at forest structure. In this study, to investigate changes made at structure of intact and natural forest of Kelardast area of Caspian Forests of Iran, three one-hectare area plots, representative of initial, optimal and decay stages of forest development, were used. After measuring distance and azimuth of each tree to the southwest corner of each sampling plot and recording some parameters such as species, diameter at breast height (dbh) and total height, three characteristics, including geographical location (Clark & Evans and uniform angle indices), mixture (Mingling index) and tree dimensions (dbh and total height differentiation indices) were studied, using a set of indices, based on nearest neighbor criteria. Results of this study showed that greatest density of trees was found at the initial stage and according to the Clark & Evans index, distribution pattern of the trees at initial and decay stages in one hand and at optimal stage at second hand was clumped and random, respectively. Furthermore, result of the uniform angle index showed that the trees arrangement within the structural groups at the three development stages was at random form. Results of Mingling index showed that mixture at initial stage was at lowest rate, compared to the other development stages. Moreover, result of dbh and total height differentiation indices showed that there were moderate-obvious and low-moderate variations for the trees at the three development stages, respectively. Regarding the intactness of the studied stands, results of these indices might be applied as a basis for similar forests and determination variation rates caused by natural processes and human interventions.

Key words: Spatial patterns, Mingling index, differentiation indices, nearest neighbors, witness forest.